SUSTAINABLE DENSITY
DENSITÀ SOSTENIBILE

Form, Built Environment, Energy

forma, ambiente costruito, energia

Michele Morganti

Ambits de Recerca en l'Energia i el Medi Ambient a l'Arquitectura

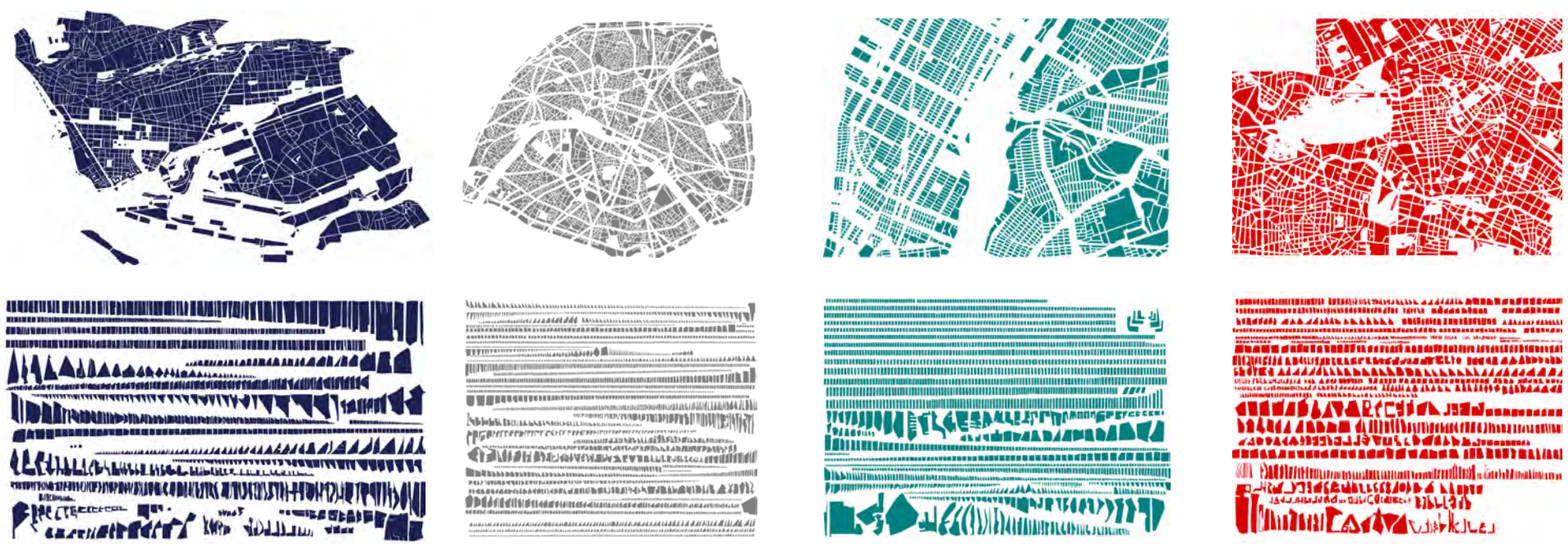
Dottorato di Ricerca in Ingegneria Edile-Architettura

Thesis supervisors
Prof. Helena Coch Roura, UPC
Prof. Carlo Cecere, Sapienza

UNIVERSITAT POLITECNICA DE CATALUNYA
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA
DEPARTAMENT DE CONSTRUCCIONS ARQUITECTÒNIQUES I

SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA CIVILE E INDUSTRIALE
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

SUSTAINABLE DENSITY
DENSITÀ SOSTENIBILE



Working with densities means accepting the arrogance of the average - because of its productive advantages - but at the same time elaborating on the (more or less) divers characteristics of the component that constitute this average.[1]

Meta Berghauser Pont e Per Haupt

[1] "Lavorare con le densità vuol dire accettare l'arroganza della media - poiché produce vantaggi - ma allo stesso tempo, approfondire le diverse caratteristiche degli elementi che compongono tale media." Berghauser Pont, M., Haupt, P., *Spacematrix. Space, Density and Urban Form*, NAi, Rotterdam, 2010 p. 100.

In copertina
Amille Carron, *Tutto in ordine, anagrammi grafici di piante di città*, 2005-2008.

Nota sulle traduzioni
Tutte le traduzioni delle citazioni dei testi stranieri sono a cura dell'autore. Le traduzioni di Abstract, Introduzione e Conclusioni sono a cura di Chiara Cianfarani.

Indice

ABSTRACT 5

INTRODUZIONE (INTRODUCTION) 7

DENSITÀ E SOSTENIBILTÀ: CONDIZIONI E STRUMENTI DEL PROGETTO 25

- Ambiente costruito: una condizione imprescindibile 25
- Energia: una condizione illusoria 31
- Normativa: uno strumento inadeguato 37
- Modellazione: uno strumento efficace 58
- Conclusioni 60

DENSITÀ E FORMA: IL PROGETTO TRA MODERNITÀ E CONTEMPORANEITÀ 67

- Declinazioni e interpretazioni della densità 67
- Densità come parametro di misura 78
- Densità e progetto: da strumento a fondamento 86
- Conclusioni 108

DENSITÀ E AMBIENTE COSTRUITO: LA METROPOLI EUROPEA 115

- Caratteri della metropoli compatta europea 115
- Densità e indicatori di sostenibilità 120
- Conclusioni 126

DENSITÀ ED ENERGIA: LA SCALA URBANA NEL CONTESTO MEDITERRANEO 131

- Densità, forma, costruzione, energia: il comportamento energetico del costruito 131
- Clima, energia e struttura urbana della città compatta 134
- Conclusioni 150

DENSITÀ SOSTENIBILI: IL CASO DEI TESSUTI EDILIZI DI ROMA E BARCELLONA 155

- Densità urbana, morfologia, energia 162
- Densità di massa, tipologia, Energia 206
- Conclusioni 237

UN OBIETTIVO DA PERSEGUIRE (A GOAL TO BE PURSUED) 247

BIBLIOGRAFIA 257

This research aims at exploring meaning, quality and analytical capacity of density concept and its potential interpretations in architecture and sustainability fields. Its goal is to determine the relationships among built environment, energy and form of urban textures in Mediterranean compact city, taken density as useful parameter to illustrate their features. Despite the growing unsustainability of today's city facing an effective energy and environmental crisis, recent statistics have confirmed the increasing attractive power of metropolitan areas. Within the context of European compact city, new building models, based on energy conservation, account for an insignificant percentage compared to existing city whose functioning remarkably affects the efficiency of the whole metropolitan system. Therefore, an approach determining instruments and design methods at both urban and architectural scale, should be found in order to set out conditions more appropriate to the compact city. In respect of this kind of scale, the relationship between energy and form takes a central role in the variation of energy performances; at the same time the concept of density has showed itself as an efficient instrument of analysis of the morphological performances of the built form. This research is composed by five interconnected parts. The first one examines urban and energy dynamics' current conditions to comprehend the role and contribution of the building industry considering the scientific progress and the implementation of present operational instruments. The second one investigates role and evolution of the density concept as parameter, design instrument and basis of theoretical categories, especially referring to interactions with urban form and sustainability. In the third part the analytical abilities of density are employed to prove the environmental implications and verify the existence of interactions among urban sustainability indicators and density. Then, the fourth one enquires into the relationships among density and energy at the urban scale. Finally, the fifth part investigates such relationships in the compact fabrics in Rome and Barcelona by models and simulations set up in order to control the correspondent factors. The influence of urban morphology, built-form and constructive features on solar access and energy demand for heating and cooling is shown by different definitions of density indicators. Among these, are determined those more suitable to express reliable trends in relation with solar access and energy demand. Firstly results point out that the contribution of the built environment to the complex energy issue arisen by metropolitan systems must be focused on the reduction of the demand - even before on the consumption and impact - operating with multi-scale methods and instruments for the transformation of existing city. Density has a preferred role in the relationship between sustainability and form, thanks to its interpretative skills and meanings undertaken as theoretical and design category. At the metropolitan scale, urban sustainability indicators and density do not always show evident relationships with energy and environmental implications. Built-form, typology and constructive features are the main factors that occur on energy performances variation of urban fabrics. The investigation of these kinds of performances by density parameters permit the comprehension of the different energy behaviors in each urban texture, offering a contribution to the instruments of energy analysis at urban scale and permitting more efficient conditions for the built environment leading to the concept of *sustainable density*. Methodological structure and the determined parametrical instruments show themselves as knowledge base for aware transformations of Mediterranean compact city.

Abstract

La ricerca esplora significati, proprietà e capacità analitiche del concetto di densità e delle sue possibili interpretazioni nell'ambito dell'architettura e della sostenibilità. Il suo obiettivo è la determinazione di relazioni tra costruito, energia e forma dei tessuti urbani della città compatta mediterranea ricorrendo alla densità quale parametro utile a decifrarne le specificità. A dispetto della sempre maggiore insostenibilità della città odierna, di fronte alla crisi energetica ed ambientale in atto, recenti statistiche hanno confermato il crescente potere attrattivo delle aree metropolitane. Nel contesto della città compatta europea, i nuovi modelli insediativi basati su principi di risparmio energetico rappresentano una percentuale insignificante rispetto alla città esistente che, nel funzionare, incide notevolmente sull'inefficienza dell'intero sistema metropolitano. In questo quadro, potrebbe essere risolutivo identificare un approccio che individui strumenti e metodi progettuali alla scala urbana piuttosto che a quella architettonica, utili a definire condizioni più appropriate e realmente incisivi per la città compatta. Se riferito in primo luogo a tale scala il rapporto tra energia e forma assume un ruolo centrale sulla variazione delle prestazioni energetiche; allo stesso tempo il concetto di densità appare un'efficace strumento di analisi delle prestazioni morfologiche del costruito. La ricerca si compone di cinque parti. La prima analizza la condizione odierna delle dinamiche urbane ed energetiche, per comprendere ruolo e contributo dell'edilizia alla luce dell'avanzamento del pensiero scientifico e degli strumenti operativi disponibili. La seconda affronta il significato e l'evoluzione del concetto di densità quale parametro di misura, strumento progettuale e fondamento teorico, facendo riferimento in particolare alle interazioni con la forma urbana e la sostenibilità. Nella terza si utilizzano le capacità analitiche della densità per comprovare le implicazioni ambientali e verificare l'esistenza di leggi di dipendenza tra indicatori di sostenibilità urbana e densità. La quarta pone le basi per la comprensione delle relazioni tra densità ed energia alla scala urbana. La quinta parte, infine, indaga tali relazioni nei tessuti compatti di Roma e Barcellona declinandole in termini di caratteri formali e costruttivi, con l'ausilio di modellazioni e simulazioni strutturate allo scopo di controllare i corrispondenti fattori. S'illustra l'influenza di morfologia urbana e caratteri tipologico-costruttivi su guadagno solare e domanda energetica per riscaldamento e climatizzazione, individuando per mezzo di differenti definizioni d'indicatori di densità, i più adeguati ad esprimere con queste leggi di variazione affidabili. I risultati evidenziano che il contributo dell'edilizia alla complessa questione energetica posta dai sistemi metropolitani deve concentrarsi sulla riduzione della domanda - ancor prima che su consumo e impatto - operando con strumenti e metodi interscalari per la trasformazione della città esistente. La densità ha un ruolo privilegiato nel rapporto forma-sostenibilità per capacità interpretative e significati assunti quale categoria teorica e progettuale. A scala metropolitana, indicatori di sostenibilità urbana e densità non sempre mostrano chiare relazioni con le implicazioni ambientali ed energetiche. Morfologia, tipologia e aspetti costruttivi sono i fattori che più intervengono sulla variazione delle prestazioni energetiche dei tessuti urbani. Analizzarli mediante parametri di densità conduce alla comprensione del diverso comportamento energetico, fornendo un contributo agli strumenti d'indagine a scala urbana e favorendo una connotazione più efficiente del costruito riconducibile alla dimensione della *densità sostenibile*. Il metodo e gli strumenti individuati si offrono come base di conoscenza per trasformazioni consapevoli della città compatta mediterranea.

Introduzione

1. A fronte: insediamento residenziale a El Mirage in Arizona, MacLean 2005.

Con sempre maggiore frequenza, stampa specializzata e mezzi d'informazione generalisti riferiscono di buone pratiche e innovazioni sviluppate nell'ambito urbano per fronteggiare le problematiche ambientali ed energetiche che il perdurare negli anni del modello occidentale di sviluppo ha prodotto. Allo stesso tempo guardano affascinati alla crescita esponenziale e vertiginosa delle città asiatiche, sudamericane e africane richiamando l'attenzione sulla centralità del tema della città e della sua sostenibilità (nonostante quest'ultima resti pervasa da un alone di ambiguità).

A dispetto di ciò però, non tutte le città sono generiche e globalizzate alla maniera delle metropoli formatesi, ad esempio, in Asia a partire dagli anni ottanta. Non tutte le città sono Singapore, né sono il *ritratto di una metropoli Potemkin* come sottotitola la traduzione italiana del testo *Singapore Songlines* di Rem Koolhaas, né tanto meno sono il frutto voluto di trent'anni di tabula rasa.[1] Eppure la crisi del convenzionale modello occidentale che sembra aver spazzato via per sempre le componenti fondamentali della morfologia urbana, gli archetipi che ne conformavano l'idea stessa, si accompagna al tributo che molte delle città - anche europee - offrono al modello orientale, assumendo alcuni caratteri dell'artificiosità generica delle metropoli asiatiche, quali l'ossessione per la governabilità, per la pulizia, per il controllo, per la sicurezza. "Le vecchie città europee, dopo l'esaurimento della spinta distruttivamente creativa della modernità e il superamento, non senza ripensamenti, della fase forzatamente ricostruttiva, dopo che la *storia naturale della distruzione* aveva dispiegato la sua potenza, hanno scelto di scoprire la memoria, la storia, l'identità, e nel farlo hanno giustificato questa scelta da *vecchie signore* con l'ecologia, la sostenibilità" (Cecere, Coch Roura, Morganti, & Clementella, 2012 p. 12). Nonostante la pervasività di questa artificiosità generica, dunque, è visibile il permanere di alcune peculiarità nei diversi contesti geografici che si riflette nelle corrispondenti

Introduction

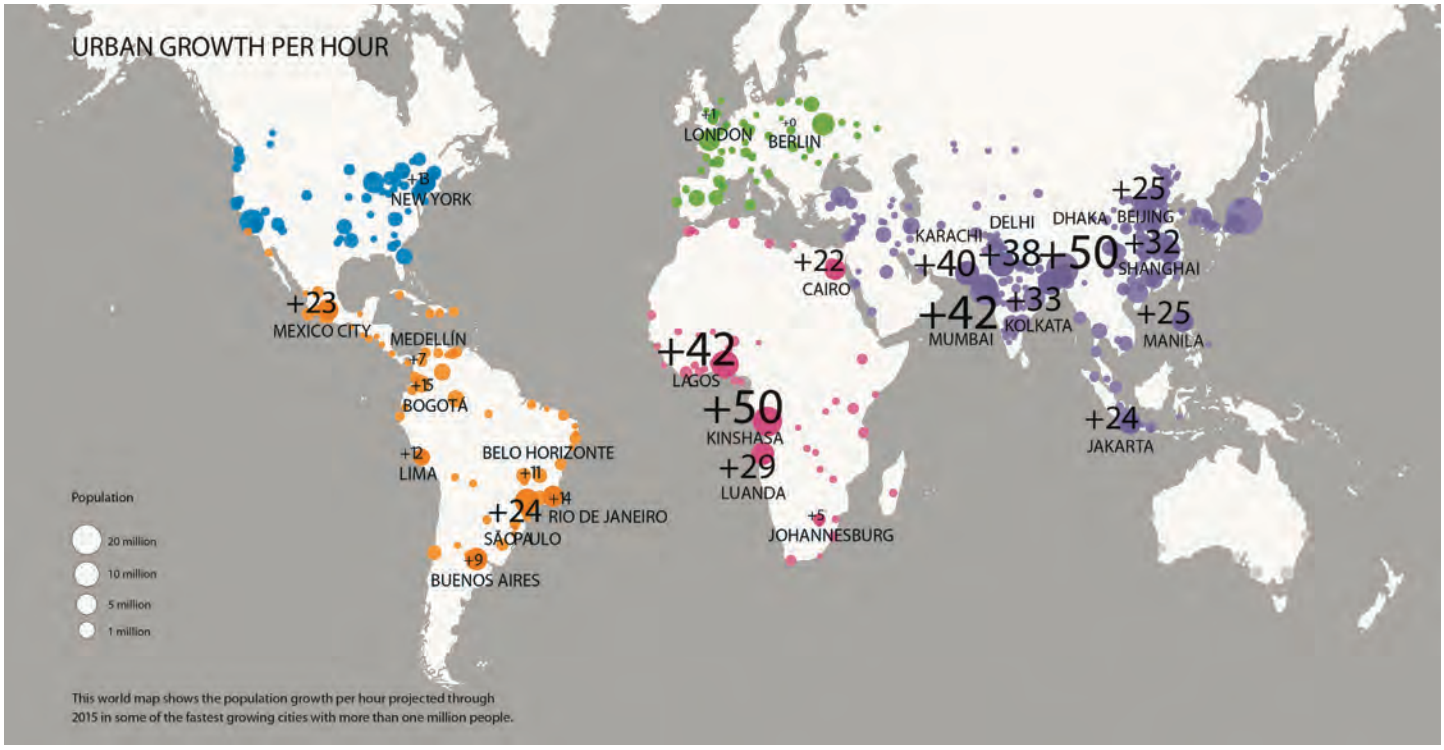
More and more frequently, specialized press and mass media talk about good practices and innovations developed in urban sector in order to face environmental and energy issues produced by a long-lasting Western development model of these years. At the same time, they are fascinated by the exponential and vertiginous increase of Asian, South American and African cities, drawing attention to the centrality of the city issue and its sustainability (even though sustainability is still today an ambiguous issue).

However, there are not all generic and globalized cities such as the metropolises built up, for example, in Asia starting from Eighties. Not all cities are as Singapore or the picture of a Potemkin metropolis as underlined in the Italian translation of the volume Singapore Songlines by Rem Koolhaas, or least of all they are the desired result of a blank slate thirty years long. But the crisis of conventional Western model that seems to have cleared out for ever the fundamental components of urban form, the archetypes that conformed the idea itself, comes with the tribute offered by many cities, also European cities, to oriental model. In this regard, they adopt some features of generic Asian metropolises' artificiality, such as the obsession for governability, tidiness, control and security. "After the exhaustion of the destructively creative impulse of modernity and the not always easy passing of the forcedly reconstructive stage, and after the deployment of power of the destruction of natural history, Old European cities chose to find out memory, history, identity, obviously their identity, and doing so they justified this choice with ecology, sustainability like old ladies" (Cecere, Coch Roura et al. 2012 p. 12).

Nevertheless the spread of this generic metropolises' artificiality, some specific peculiarities are still present in the different geographic contexts and they reflect the corresponding evolutions of urban systems. As an example, in terms of population, the biggest "magnitude" of growth is located far from Western countries and concentrated mainly in the Eastern part, in Sub-Saharian Africa and in South America (Burdett, Sudjic et al. 2011). In Europe, the attractive power of metropolitan areas, is weakened by crisis effect as well as a demographic condition unable to sustain the past growth trends. These peculiarities require a carefully approach and design solution balance basing on morphological, structural and cultural features of the city taken into account.

In the meanwhile, theorists and starchitects summarize these issues with two key topics: density and sustainability. They entrust to them the role of analytical instruments and expectations of building properties, design instruments and around these ones, they organize new project methodologies and base concepts of theoretical doctrines. Both the concepts have a central role in outlining the dominant evolutive features of great part of architectonic experimentations in last years. The latters are in fact characterized by the confrontation with two among the most important issues: dimensional dilatation, closely connected to the extension of reference scales – and the rationalization project process.

With the emerging interest in urban issue, the entire architecture world has necessarily begun facing the concept of density, so that it has occurred in several ways within the disciplinary



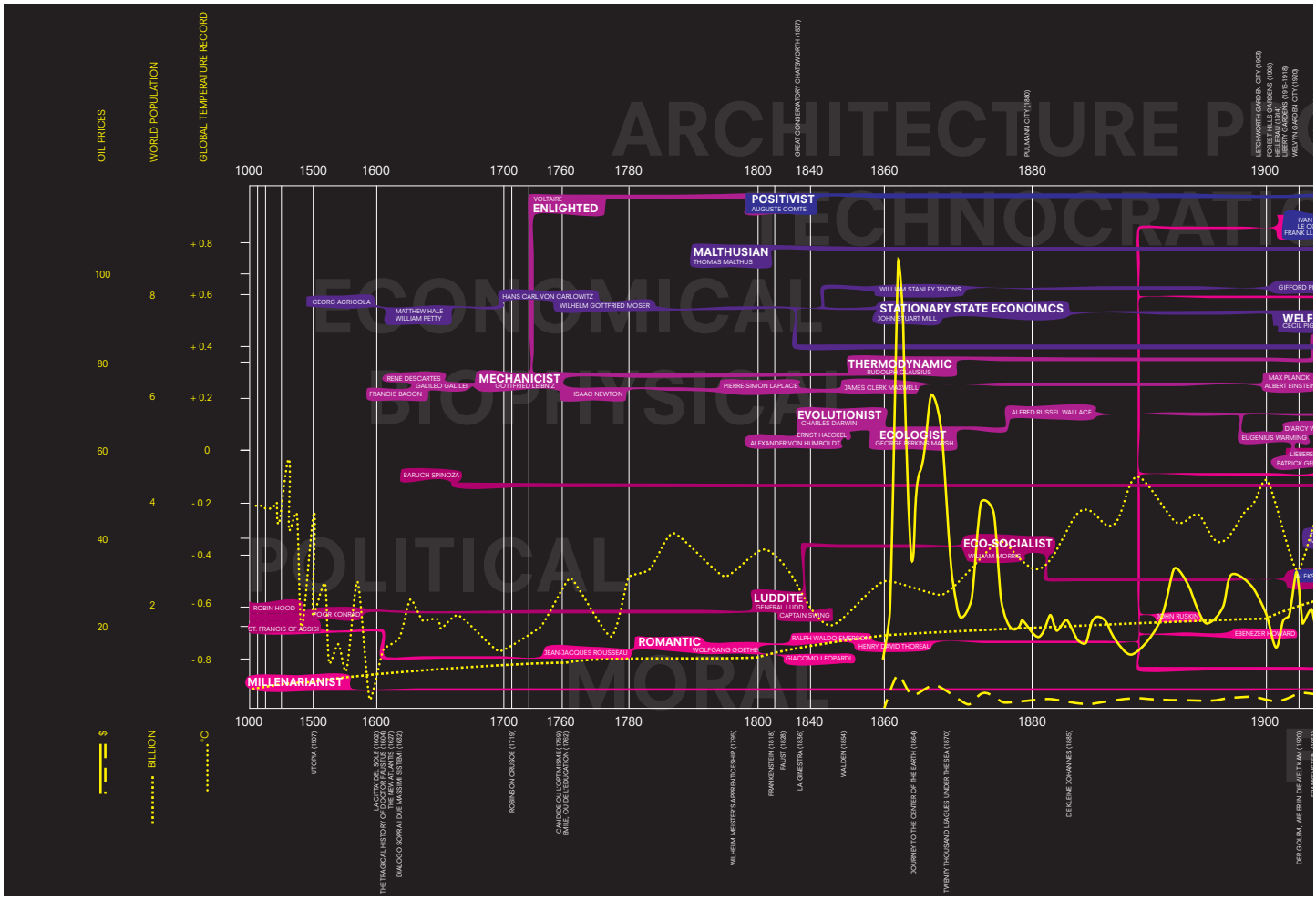
2. Aumento orario della popolazione delle principali metropoli mondiali, Urban Age Project, 2007.

modalità evolutive dei sistemi antropizzati. Ad esempio, in termini di popolazione, la crescita a "magnitudo" più elevata si registra lontano dai paesi occidentali cosiddetti "ad economia avanzata", concentrandosi prevalentemente in Oriente, nell'Africa subsahariana e nel Sudamerica (Burdett, Sudjic, London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft für Internationalen Dialog., 2011). In Europa, il potere attrattivo delle aree metropolitane è, invece, affievolito dall'effetto della crisi e da un profilo demografico incapace di mantenere i ritmi di crescita del passato. Tali peculiarità richiedono un'attenta calibratura degli approcci e delle soluzioni progettuali in base alle caratteristiche morfologiche, strutturali e culturali dell'insediamento urbano di riferimento.

Di pari passo, sempre più, i teorici e le archistar condensano questi temi attorno a due concetti chiave: densità e sostenibilità. Ad essi affidano il ruolo di strumenti analitici e previsionali delle proprietà del costruito, di strumenti operativi attorno a cui strutturare nuove metodologie progettuali e di concetti fondativi di dottrine teoriche. Entrambi i concetti hanno un ruolo cruciale nel delineare i caratteri evolutivi dominanti di buona parte delle sperimentazioni architettoniche recenti, che si caratterizzano per il confronto con due tra i temi più rilevanti: la dilatazione dimensionale - strettamente connessa all'ampliamento delle scale di riferimento - e il processo di razionalizzazione del progetto.

Con il crescente interesse nei confronti della questione urbana, la densità in architettura è divenuta un concetto con cui tutto il mondo dell'architettura ha necessariamente iniziato a fare i conti, tanto da ricorrere in modalità innumerevoli all'interno del dibattito disciplinare: riviste di architettura, pubblicazioni scientifiche, conferenze, esperienze didattiche universitarie, richiamano sempre più spesso il tema della densità declinato - all'occorrenza - in termini teorici, progettuali, analitici. In alcuni casi però, il ricorso a questa categoria di pensiero suscita interrogativi che spesso restano irrisolti sia per la vaghezza con cui viene trattato tale tema, sia per sua la controversia intrinseca.

Questi medesimi caratteri di vaghezza e controversia diffusa accomunano il tema di densità a quello del *progetto sostenibile* e, più in generale, della *sostenibilità*. Non v'è dubbio, infatti, che la sostenibilità per la sua natura multiforme e, per certi versi persino indeterminata, susciti un certo sospetto: la ricerca è contraddittoria, i risultati appaiono spesso ambigui. Tutto ciò non dipende certamente dalla sola struttura del pensiero architet-



debate: architectural magazines, scientific literature, conferences, university educational experiences refer more and more often to density issue, expressed, as required, in theoretical, project, analytical terms. But sometimes the reference to this category of thought arouses questions that often do not find an answer because the indeterminacy of the dealt issue and because its intrinsic controversy.

Indeed these features of indeterminacy and widespread controversy share the density issue to that of sustainability project and more in general, to sustainability. It is quite clear that sustainability for its multiform nature, and for some reasons, even undetermined nature, stirs some suspects: the research is contradictory, results are often ambiguous. All of this is clearly not the only consequence of architectonic thought (even though many make it in crisis) but it should be entered within the more complex and thorny issue of inadequacy of thought which is under the weight of technological dominance in our era (Sertorio 2002).

If, for a while, we refer to numerous interpretations ascribed to sustainability in political and economical fields, we could comprehend the speculative use of this concept done since ever (Latouche 2005).

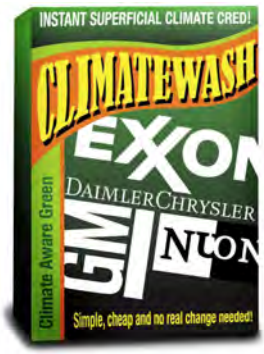
Paralyzing, ideologically religious, schizophrenic, ugly, hyperbolic, too slow, ineffective, misleading, tiring, expensive, too limited and overestimated; these are some of the adjectives used for referring at today sustainability condition and all this inevitably wastes it so that it turns out to be ineffective in project practice (Maas, Hackauf et al. 2010).

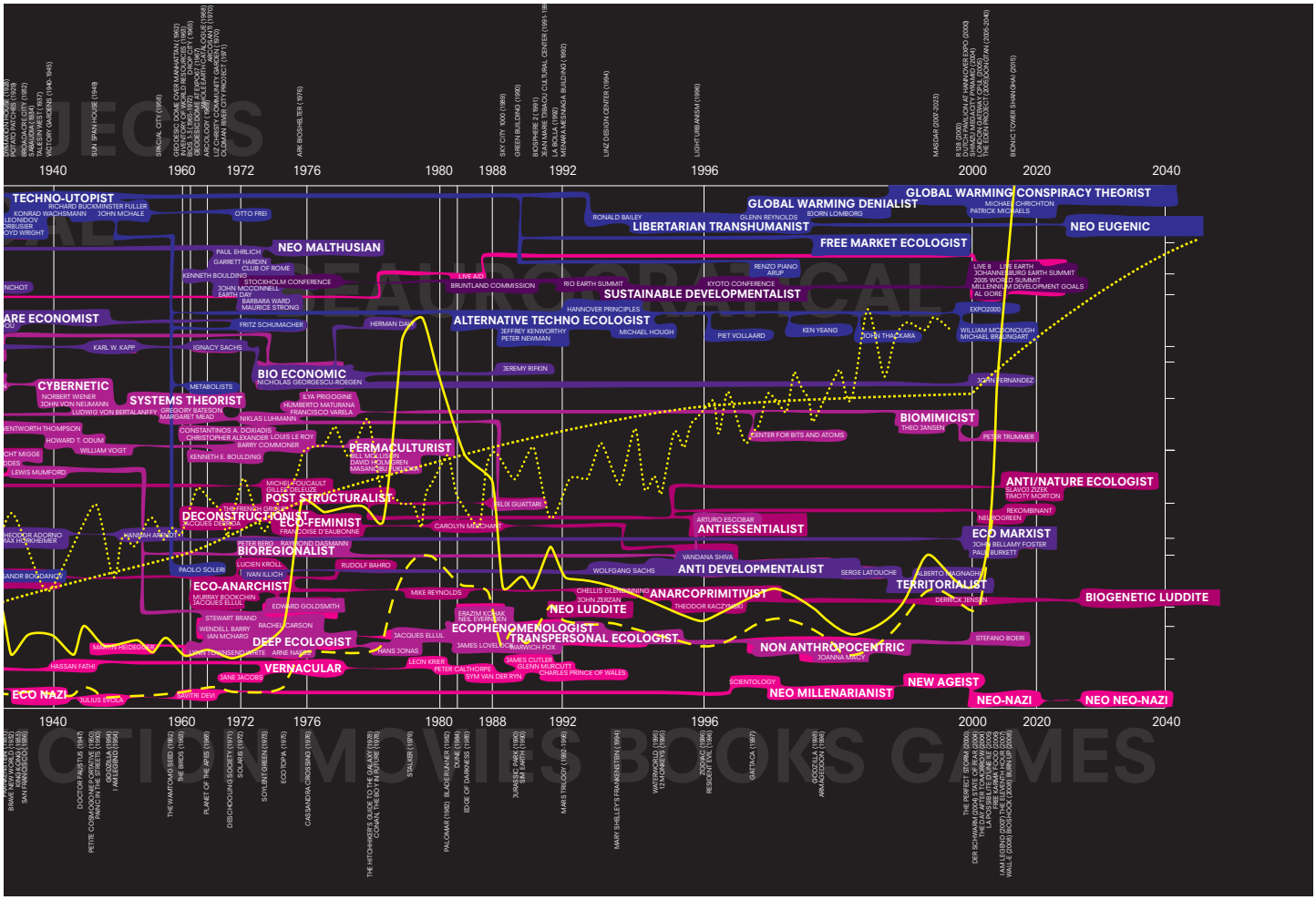
Nonetheless, sustainability is a longed-for condition in association with built environment and other fields of knowledge, too. Therefore, it is time to pass this moment of "ideological abuse" and confusion, leading towards a rational approach of sustainable design and turning the process of knowledge towards methods and rational tools.

This sequence of rules, requirements and the introduction of energy protocols let sustainability enter the design practice. But, unfortunately, these project instruments appeared inadequate so that the great part of research efforts failed in this field because focused on goals limited, only to materials or building technologies or formal and typological building transformation. Furthermore

3. Genealogia dell'odierno concetto di sostenibilità: teoria e progetto di architettura in relazione al contesto culturale, Djalali e Vollaard, 2008.

4. Strategie commerciali nell'era "green": il greenwashing e l'antidoto dei sistemi di certificazione ambientale ed energetica.





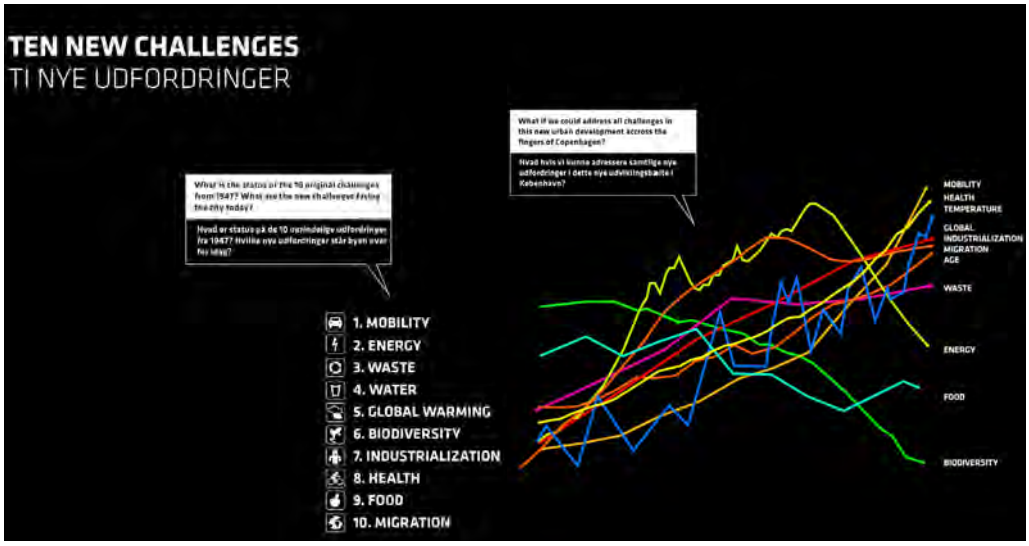
tonico, seppur da più parti dichiarato in crisi, ma è da ascriversi al ben più complesso e spinoso tema dell'inadeguatezza di pensiero della nostra epoca, schiacciato sotto il peso della dominanza tecnologica (Sertorio, 2002).

Se per un attimo ci si riferisce alle innumerevoli interpretazioni che sono state attribuite alla sostenibilità nelle discipline politico-economiche si comprende l'uso speculativo che da sempre si compie di questo concetto (Latouche, 2005). Paralizzante, ideologicamente religiosa, schizofrenica, brutta, iperbolica, troppo lenta, inefficace, fuorviante, faticosa, costosa, troppo limitata, sovrastimata, sono alcuni degli aggettivi riferiti alla condizione odierna della sostenibilità e che inevitabilmente la logorano fino a punto da renderla inefficace nella pratica progettuale (Maas, Hackauf, Haikola, & Why Factory., 2010).

Nonostante ciò, associata all'ambiente costruito - come negli altri campi della conoscenza - la sostenibilità è una condizione estremamente ambita. Appare opportuno, dunque, superare questo momento di "abuso ideologico" e confusione, riconducendosi a un approccio razionale alla progettazione sostenibile, orientando il processo di conoscenza verso metodi e strumenti di natura oggettiva.

Il susseguirsi di direttive, prescrizioni normative e dell'introduzione delle etichette di certificazione energetica, ha avuto il pregio di far entrare la sostenibilità a far parte della pratica progettuale. Sfortunatamente però, tali strumenti del progetto si sono dimostrati inadeguati finendo per rendere improduttivi gran parte degli sforzi di ricerca intrapresi in questo campo, poiché incentrati su obiettivi ristretti - ai soli materiali, alle sole tecnologie costruttive o alla sola ridefinizione morfo-tipologica degli edifici - e intraprendendo molto raramente e con notevoli difficoltà un approccio a scale più ampie. Di contro, tali scale si sono rese necessarie per analizzare le interrelazioni tra fenomeni che, superati i limiti naturali locali, avvengono oggigiorno a scala globale.

Del resto appare essere ormai una condizione ineludibile, in molteplici ambiti scientifici, relazionarsi con tali fenomeni per affrontare seriamente le questioni energetiche



5. Sfide con cui sono chiamate a confrontarsi le metropoli odierne e strategie immaginate per risolverle nel progetto "Loop City" per l'area urbana di Copenhaghen, BIG architects, 2010.

they engaged an approach at larger scales rarely and difficultly. At the same time, such scales have been necessary to analyze the interrelations among phenomenon that happen every day at a global scale, once passed local natural limits.

Besides, the relation with these phenomenon is by now an unavoidable condition in many scientific fields in order to face seriously energy and environmental issues.

Nor the architecture could avoid being involved in this process effectively governed by common thought and by economical and technical dynamics. Therefore, with a closely project view, the attempt to determine sustainable features cannot be restricted only within the building field. Its integration into the metropolitan dimension of our cities and its interrelation with the surrounding environment is necessary, according to a logic that allows a complex view and complementary scales of reference. This is a more impelling need if, in the meanwhile, the most widespread human habitat, obviously the city, becomes day by day the most destroyer of the ecosystem and the main threat for humanity survival. As it was rightly observed this is a little funny condition. (Rogers and Gumuchdjian 1998).

Statistics and the more alarming predictions of energy consumption, natural resources, production of waste, pollution or urban heat island phenomena clearly prove it. It is well-known that the complex of activities connected with the European built environments is responsible for 75% of GHG global emissions and 69% of energy consumptions (Sudjic, Burdett et al. 2007, IEA, Agency et al. 2008). Especially in the European compact city context of Mediterranean climate where the building stock prevails over new settlements, it becomes crucial the confrontation with the building heritage topic, whose dedicated residential part is responsible for 65% final energy consumptions of the entire building sector (Market Observatory for Energy and European Commission 2010).

If it is true that, as proposed in Roadmap 2050, European Union is determined to reduce GHG emissions of 80% by 2050 (compared to 1990 levels), this ambitious goal requires innovative project strategies and technological solutions for new buildings, but it especially requires, in the meanwhile, the energy performance improvement of existing urban fabrics in order to reduce energy demand.

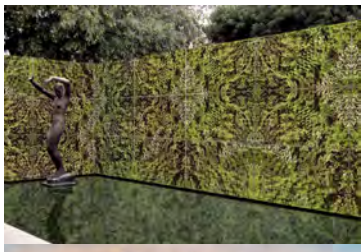
In fact, in spite of their conditions of apparent unsustainability, cities exist and keep functioning, increasing their ecological mark and absorbing resources, proving that urban condition has become unavoidable in today's society. So it becomes a priority to concentrate the efforts of research on comprehension and definition of sustainable conditions within urban metropolitan context.

Experiences collected up to now in the field of architecture and sustainable city, if, on one hand, proved the impossibility to imagine strategies and technologies that could redefine more appropriate conditions for metropolitan habitat, on the other hand, they lacked in incisiveness.

New settlement models designed by new simulations and modeling methods, based on technological innovations developed in these years, or on their different use due to the

6. In basso: O'Mighty Green, icone architettoniche in veste eco-friendly, Beatriz Ramo, 2011.

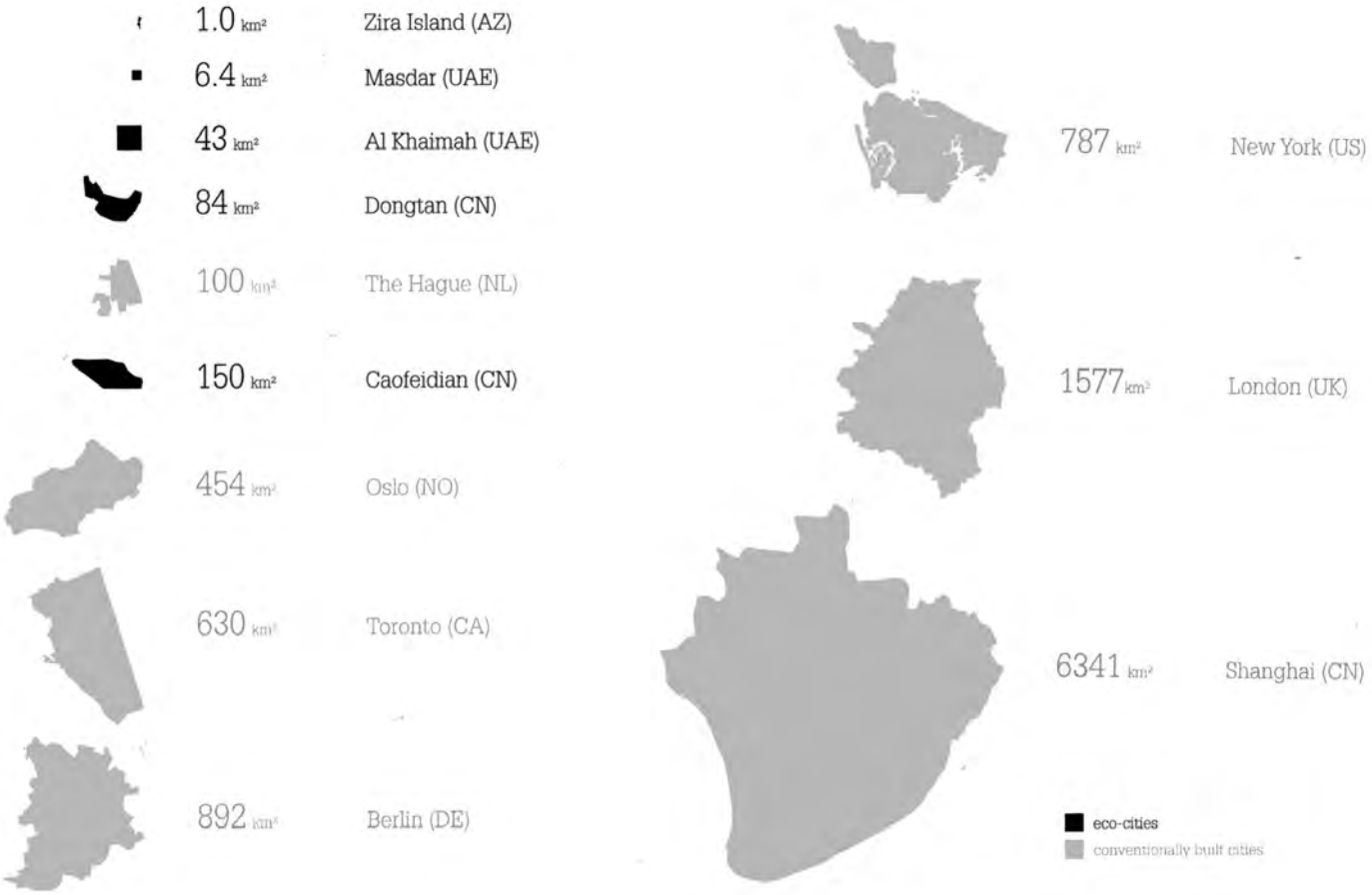
7. A lato: il must della "green architecture".



e ambientali. Neppure l'architettura allora ha potuto esimersi dall'essere coinvolta in questo processo, di fatto governato, oltre che dal pensiero comune, da dinamiche tecnico-economiche. Nella prospettiva strettamente progettuale, dunque, il tentativo di giungere all'individuazione di caratteri sostenibili non può ritagliarsi un territorio protetto nel solo campo dell'edilizia. È necessaria una sua integrazione nella dimensione metropolitana delle nostre città e nei suoi meccanismi d'interazione con l'ambiente circostante, in una logica che ne permetta una visione complessiva e secondo scale di riferimento complementari. Una necessità ancor più impellente, dato che nel frattempo l'habitat umano più diffuso, la città appunto, diventa ogni giorno di più il maggiore distruttore dell'ecosistema e la principale minaccia per la sopravvivenza dell'umanità stessa; una condizione che, com'è stato osservato, appare alquanto ironica (Rogers & Gumuchdjian, 1998).

Le statistiche e le ancor più preoccupanti previsioni sul consumo di energia e risorse naturali sulla produzione dei rifiuti, sull'inquinamento, o sul fenomeno della bolla di calore di una qualsiasi metropoli, lo dimostrano chiaramente. È ormai risaputo che il complesso delle attività connesse agli ambienti costruiti in Europa è responsabile del 75% delle emissioni globali di CO_2 e del 69% dei consumi energetici (IEA, Agency, & OECD, 2008; Sudjic, Burdett, London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft fèur Internationalen Dialog., 2007). Specie nel contesto della città compatta europea dal clima mediterraneo, in cui il costruito esistente prevale sui nuovi insediamenti, diviene cruciale confrontarsi con il tema del patrimonio edilizio, di cui la parte destinata a residenziale è responsabile del 65% dei consumi finali di energia dell'intero comparto dell'edilizia (Market Observatory for Energy & European Commission, 2010). Se è vero, come proposto nella *Roadmap 2050,* che l'Unione Europea si prefigge di ridurre le emissioni di gas serra dell'80% entro il 2050 (rispetto al valore del 1990), tale ambizioso obiettivo richiede strategie progettuali innovative e soluzioni tecnologiche per le nuove costruzioni, ma soprattutto richiede al contempo il miglioramento delle prestazioni energetiche dei tessuti urbani esistenti, allo scopo di ridurre la domanda di energia.

Infatti, nonostante la loro condizione di apparente insostenibilità, le città esistono, continuano a funzionare, ad aumentare la loro impronta ecologica e a fagocitare risorse, dimostrando come la condizione urbana sia divenuta imprescindibile nella società odierna.[2] Diviene dunque prioritario concentrare gli sforzi di ricerca sulla comprensione e sulla definizione di condizioni sostenibili all'interno del contesto urbano metropolitano. Le esperienze finora condotte nei campi dell'architettura e della città sostenibile, se da un lato hanno avuto la capacità di dimostrare che è possibile immaginare strategie e tecnologie che ridefiniscano condizioni più appropriate per l'habitat metropolitano, dall'altro



8. Confronto dimensionale tra città sostenibili (in nero) e città convenzionali (in grigio), MVRDV, 2010.

transformation of environmental and energy attention, represent a minimum percentage compared to the great building "mass" of "ordinary" city. The importance of these virtuous connections lays on the fact that they demonstrated to be a real alternative but, because of their exceptionality, they inevitably need some time before finding an adequate spread till changing into usual practice.

Good practices undertaken into design and construction of new buildings are no more sufficient. They have to be accompanied by methods as well as actually incisive and effective strategies that let operate immediately on urban context at a larger scale: firstly for the comprehension of its functioning and only then for the definition of more sustainable conditions.

Many examples of this need of enlarged scale and view come from various disciplinary fields that try to face adequately current problems both from a point of view exclusively theoric both from a technical- practical one by design methods. In this dissertation, it will be shown how they can be connected to streams of thought and common "genealogical" origins, often owing modern era influential designers conduct.

The research of more appropriate conditions compared to the actual ones has to tackle necessarily with the enormous "mass" of existing city, concentrating the attempts of research on instruments, techniques and project methods providing for numerous scales of reference together with that specific of the architectural project. This is true especially in the connextion between energy and built environment. The current energy topic is governed by dynamics far from building sector, dynamics that lie outside the control of designers.

Nevertheless the considerable direct and indirect consequences caused by this operative process become previous conditions that architectural project has to take into account if it expects to be really incisive.

In particular, today the condition of energy topic is referable to the illusoriness feature: its sustainability cannot be originated from solutions, proposed and wished by many, that apply only renewable energy technologies and efficient systems.

hanno mancato d'incisività. I nuovi modelli insediativi progettati con nuove metodologie di modellazione e simulazione, e basati sulle innovazioni tecnologiche messe a punto in questi anni - o sul loro mutato impiego dovuto ad una mutata sensibilità energetica ed ambientale - rappresentano una percentuale minima rispetto alla grande "massa" di costruito appartenente alla città "ordinaria". L'importanza di questi innesti virtuosi, risiede nell'aver dimostrato di essere un'alternativa concreta ma, in quanto eccezionali, necessiteranno inevitabilmente di tempo prima di trovare adeguata diffusione e potersi tramutare in prassi.[3] Le buone pratiche messe in atto nella progettazione e realizzazione di nuove costruzioni non sono più sufficienti; ad esse occorre affiancare metodi e strategie realmente incisive ed efficaci che permettano d'intervenire da subito sul contesto costruito a più ampia scala: dapprima per la comprensione del suo funzionamento e solo in seguito per la definizione di condizioni a maggiore sostenibilità.
Numerosi esempi di questa necessità di ampliamento della scala e della visuale provengono dai più disparati ambiti disciplinari che, per rapportarsi adeguatamente alla portata dei problemi odierni, li affrontano sia dal punto di vista esclusivamente teorico sia da quello tecnico-pratico attraverso metodiche progettuali. Di questi, nella trattazione che segue, si mostrerà come sia possibile ricondurli a correnti di pensiero ed "origini genealogiche" comuni, spesso debitrici dell'operato di autorevoli progettisti dell'epoca moderna.

La ricerca di condizioni più appropriate rispetto a quelle attuali deve necessariamente confrontarsi con l'enorme "massa" della città costruita, concentrando gli sforzi di ricerca su strumenti, tecniche e metodi progettuali che contemplino l'utilizzo di molteplici scale di riferimento da affiancare a quella specifica del progetto di architettura.
Ciò è particolarmente vero nell'ambito del rapporto tra energia e ambiente costruito. La questione energetica odierna è governata da dinamiche esterne all'edilizia, che esulano dal controllo e dalla possibilità d'intervento diretto da parte dei progettisti. Ciononostante le ricadute dirette e indirette che essa induce in tale processo operativo sono notevoli e divengono quindi condizioni previe che il progetto di architettura deve tenere in conto per essere realmente incisivo. In particolare, la condizione della questione energetica è riconducibile oggi al carattere di illusorietà: la sua sostenibilità non può discendere da soluzioni - ormai da più parti auspicate e proposte - minimizzabili nell'applicazione di tecnologie di produzione da fonti rinnovabili e di sistemi efficienti. Non è pensabile di agire esclusivamente su consumi ed impatti da un lato senza porsi la questione delle conseguenze di tali tecnologie e dall'altro senza considerare il vero fulcro del problema: il contenimento e la riduzione della domanda di energia (la componente che per prima determina a cascata consumi ed impatti).
Qual è, allora il ruolo dell'edilizia nella definizione di condizioni energetiche sostenibili? A tal proposito, un livello molto significativo di analisi è quello che ingloba la dimensione urbana al suo interno, permettendo così di studiare adeguatamente le entità spaziali che ne costituiscono il nucleo strutturale: la rete stradale, il tessuto dei lotti e la morfologia edilizia. È stato osservato infatti che tali elementi siano determinanti nell'influenzare le interazioni risorse-ambiente-edificio: forma urbana e tipologia sono alcuni dei principali fattori che hanno maggiore "resilienza" alla trasformazione rispetto a quelli architettonici, tecnologici, costruttivi e d'uso (Baker & Steemers, 2000; Strømann-Andersen & Sattrup, 2011).

In questo quadro, la presente ricerca esplora i significati, le proprietà, le forme, le capacità analitiche e progettuali della densità. Ogni capitolo racchiude una diversa interpretazione del termine nell'ambito dell'architettura e della sostenibilità. Utilizzata prevalente-

We cannot think of acting exclusively on consumptions and impacts without highlighting, from one hand, the consequences of such technologies and from the other, not considering the real topic of the problem: the limitation and control of energy demand (the first component that determines consumptions and impacts as a chain reaction). Then, which is the role of building sector in the definition of sustainable energy conditions? In this regard, a very significant analysis level englobes urban dimension internally, permitting so to study adequately spatial entities that constitute its structural nucleus: road network, plot patterns and built form. It has been observed that such features play a decisive role in influencing the interrelations "resources-environment-building". Urban form and typology are some of the principle factors that show more "resilience" to transformation, compared to those architectural, technological, building and of usage (Baker and Steemers 2000, Strømann-Andersen and Sattrup 2011).

In this scenery, present research explores meaning, quality, form, analytical and design capacity of density. Every chapter contains a different interpretation of the term in the field of architecture and sustainability.

Mostly used in urban planning in order to connote the deep process of transformation that has involved compact city in modern era, causing its transformation firstly into industrial city and then into metropolis, density has been closely related to the myth of progress that took form into the constant quantitative growth of urban phenomenon, following the interest in their relating studies (Pont and Haupt 2010).

At the beginning, it became popular as analytical parameter of transformative processes and once arrived among us as the inheritance of modernist thought, today it plays roles that are beyond its original connotation regarding its usage, scale of reference and the same disciplinary field of application.

If originally it was used in urban studies and urban plans mainly as a descriptive and prescriptive instrument, it has gradually taken on more importance as a real designing instrument, demonstrating an extreme variety and interpretative potentiality in the explorative use attributed to it by influent contemporary designers. This duplex declination that density easily suits for, let it transmigrate in the proper field of urban design and be connoted as the right instrument for interpreting the building performance, able to link the results of morphological models with energy and environmental ones, relate different urban forms to the sustainability specific features of built environment, too. Then, density parameter can constitute the linking element between instruments of analysis, urban design, energy performance prediction and current urban regulations.

Make curios by the fascination for this topic in past and present architectural theory, we started to take interest in density to understand its effective correlations with environmental and energy behavior in urban systems.

It is time energy and environmental requirements became matter of interest by architecture, urban design and urban planning as well as its relating performances have been often associated with

mente in urbanistica per connotare il profondo processo di mutazione che nell'epoca moderna ha investito la città *compatta*, provocandone la trasformazione dapprima in città industriale e poi in metropoli, la densità è stata messa in stretta relazione con il mito del progresso, oggettivato dalla costante crescita quantitativa dei fenomeni urbani, e ha accompagnato l'interesse degli studi ad essi associati (Pont & Haupt, 2010). Affermatasi inizialmente come mero parametro analitico di misura dei processi di trasformazione e giunta a noi quale eredità del pensiero modernista, essa sta assumendo ruoli che travalicano la sua originaria connotazione in merito all'uso, alla dimensione di riferimento e allo stesso campo disciplinare di applicazione. Dall'essere utilizzata negli studi urbani e nei piani urbanistici, per i quali era stata originariamente formulata come strumento prevalentemente descrittivo o prescrittivo, ha assunto sempre maggiore rilievo come vero e proprio strumento progettuale, dimostrando - nell'uso esplorativo attribuitole da noti progettisti contemporanei - un'estrema ricchezza e potenzialità interpretativa. Questa duplice declinazione cui duttilmente si assoggetta, le consente di trasmigrare nel campo proprio del progetto di architettura urbana e la connota come strumento idoneo a interpretare il comportamento del costruito, capace di interfacciare gli esiti delle modellazioni formali con quelle energetiche e ambientali, di relazionare le differenti morfologie ai caratteri specifici di sostenibilità dello spazio costruito. Il parametro di densità può costituire allora l'elemento di congiunzione tra strumenti di analisi, di progettazione urbana, di previsione delle prestazioni energetiche e riferimenti normativi odierni.
Incuriositi dal fascino che suscita il tema all'interno della teoria architettonica passata e contemporanea, ci si è presi ad interessare della densità per comprenderne le effettive correlazioni con il comportamento ambientale ed energetico dei sistemi urbani.
Non è da oggi che i requisiti energetico-ambientali sono divenuti argomenti oggetto di attenzione da parte della progettazione architettonica, urbana e della pianificazione urbanistica, così come le relative prestazioni sono state spesso associate ai diversi parametri di densità. A partire da questi presupposti, il tentativo esperito intende fornire un contributo al filone di ricerca che attualmente tenta di comprendere in forma analitico-quantitativa le interconnessioni tra forma ed energia in ambito urbano, da più parti ritenuto imprescindibile per affrontare i compiti attualmente assegnati alla disciplina architettonica.

Il presente studio è il risultato di un'esperienza condotta a cavallo tra due realtà universitarie, il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università Sapienza di Roma e il gruppo di ricerca Arquitectura, Energia i Medi Ambient del Dipartimento di Construiccions Arquitectòniques I dell'Universitat Politècnica de Catalunya sotto la guida, rispettivamente, del prof. Carlo Cecere e della prof.ssa Helena Coch Roura.

different parameters of density. Starting from these assumptions, this attempt aims at giving a contribution to the research field that is currently trying to comprehend the interconnections between form and energy within urban context in an analytical and quantitative form, from many sides regarded as unavoidable to face the challenges that nowadays are attributed to architecture discipline.

This study comes from an experience made astride two university realities: Department of Civil, Building and Environmental Engineering, Sapienza University of Rome and research group Architecture Energy and Environment at the Department of Architectural Technology 1, UPC Barcelona Tech, under the guide respectively of Professor Carlo Cecere and Professor Helena Coch Roura.

Nonetheless their apparent different origins, these two groups share categories of thought, approaches, aims and convictions developed by different magnifying glasses in front of the current research topic in architecture, energy and sustainability field.

This research is composed by five parts. The first one examines urban and energy dynamics' current conditions, in order to comprehend the role and contribution of the building industry in the light of the scientific progress and the implementation of present operational and regulatory instruments. The connection between energy and built environment caused a mutation of the design process (especially in terms of such conditions and instruments) so that it seems not to have reached such a maturity to be completely understood and resolved.

The second one investigates meaning and evolution of the density concept as parameter, design instrument and basis of theoretical categories, with special reference to the privileged role as interpretative indicator of the interactions between urban form and sustainability for its application at the island and urban texture scale. In front of the more and more increasing frequency of density in architecture, this part goes back to crucial evolutive steps in order to reread our time in a larger historical context and to present a panorama of experiences and opinions, giving a more adequate usage of the concept.

In the third part, well aware of the peculiarity of current European metropolis condition (both in cultural terms both talking about urban settlement condition), we try to reconstruct the nature of "genetic profile". For this scope, we employ the analytical abilities of density to prove the environmental implications and verify the existence of interactions that could manifest more clearly than others, the connection among urban sustainability indicators and density.

Then, the fourth one lies the basis for the understanding of the connections among density and energy at the urban scale in the Mediterranean compact city context. Taking density as representative indicator of formal and building features, we introduce the fundamental notions for the right interpretation of such relations: the importance of urban systems and the need to operate at building fabrics' scale, the features of sustainability of the latters (or presumed) as components of compact city, the peculiarities of Mediterranean climate and its importance in determining morphological, typological and building features and therefore the energy behavior

Benché con origini apparentemente differenti, di fronte al tema odierno della ricerca nel contesto dell'architettura, dell'energia e delle loro declinazioni nell'ambito della sostenibilità del costruito, i due gruppi condividono categorie di pensiero, approcci, intenti e convincimenti, che sviluppano con diverse "lenti di ingrandimento".
La ricerca si articola in cinque parti. La prima analizza le condizioni odierne delle dinamiche urbane ed energetiche, per comprendere ruolo e contributo dell'edilizia alla luce dell'avanzamento del pensiero scientifico e degli strumenti operativi e normativi odierni. Il rapporto tra energia e ambiente costruito ha innescato una mutazione del processo progettuale in termini di tali condizioni e strumenti, che sembra non aver ancora raggiunto la maturità tale da essere pienamente compreso e risolto.
La seconda affronta il significato e l'evoluzione del concetto di densità indagandone la natura di parametro di misura, strumento progettuale e fondamento teorico, e analizzandone il ruolo privilegiato di indicatore interpretativo delle interazioni tra forma urbana e la sostenibilità ai fini di una sua applicazione alla scala dell'isolato e del tessuto urbano. Di fronte alla sempre maggiore diffusione della densità nell'ambito del progetto, questa parte ripercorre i passaggi evolutivi cruciali in modo da rileggere il nostro tempo in un contesto storico più ampio, con l'intenzione di presentare il panorama di esperienze ed opinioni e favorire un uso del concetto più consono. Nella terza parte, consapevoli della peculiarità della condizione della metropoli contemporanea europea (sia in termini culturali, che di caratteristiche dell'insediamento urbano) si tenta di ricostruirne la natura del "profilo genetico". A tale scopo ci si avvale delle capacità analitiche della densità per comprovare le implicazioni ambientali e verificare l'esistenza di leggi di dipendenza tra indicatori di sostenibilità urbana e densità che possano manifestarsi più chiaramente di altre.
La quarta parte pone le basi per la comprensione delle relazioni tra densità ed energia alla scala urbana nel contesto della città compatta mediterranea. Intendendo la densità quale indicatore rappresentativo di proprietà formali e costruttive s'introducono le nozioni fondamentali per la corretta interpretazione di tali relazioni: l'importanza dei sistemi urbani e la necessità di operare alla scala dei tessuti edilizi, i caratteri (o presunti tali) di sostenibilità di quest'ultimi, in quanto componenti della città compatta, le specificità del clima mediterraneo e la sua rilevanza nel determinare i caratteri morfologici, tipologici e costruttivi e quindi il comportamento energetico dell'ambiente costruito.
La quinta parte, infine, indaga le relazioni tra forma, costruzione, densità ed energia che s'instaurano nei tessuti urbani compatti, con l'ausilio di modellazioni e simulazioni strutturate allo scopo di controllare parametricamente i principali fattori formali, costruttivi ed energetici. Vengono mostrate l'influenza di morfologia urbana e caratteri tipologico-costruttivi su guadagno solare e domanda energetica per riscaldamento e cli-

of built environment.
Finally, the fifth part investigates the connection between form, building, density and energy put in place in compact urban fabrics by models and simulations in order to control parametrically the main formal, building and energy factors. Here it is showed the influence of urban form, built-form and constructive features on solar access and energy demand for heating and cooling in the Mediterranean climate, studying in particular way some typical compact fabrics in Rome and Barcelona.
Referring to different definitions of density indicators, we determine those more appropriate to express with these factors representative trends of energy behavior. In fact, any existing urban fabric owns by its very constitutive nature a performance potential that, even if it has suffered in time from technological and of usage transformations, it is widely influenced by the conformation of its essential spatial entities (building, plot pattern and street system). This last part aims at contributing to the understanding of the said capacities and connected formal properties, in order to promote a more efficient connotation of building leading to the dimension of sustainable density. In this way, it is possible to reach the definition of design solutions aware of the interactions established in their urban reality.
The fil rouge that runs the proposed contents is referable to the different interpretations of density in architecture and sustainability and permits us to explore its meaning, quality, form, analytical and design capacity.

matizzazione nel clima mediterraneo studiando, in particolare, alcuni dei tessuti edilizi tipici delle città di Barcellona e Roma.
Facendo ricorso a più definizioni degli indicatori di densità, s'individuano quelle più adeguate ad esprimere con suddetti fattori leggi di variazione rappresentative del comportamento energetico. Qualsiasi contesto urbano consolidato, infatti, possiede per sua natura costitutiva un potenziale prestazionale che seppur abbia subito nel tempo trasformazioni d'uso e tecnologiche viene largamente influenzato dalla conformazione dei suoi elementi strutturanti (il costruito, il vuoto e il connettivo). Quest'ultima parte vuole contribuire alla comprensione di dette capacità e delle proprietà morfologiche connesse, per favorire una connotazione più efficiente del costruito riconducibile alla dimensione della *densità sostenibile*. In questa maniera diviene possibile giungere alla definizione d'interventi progettuali che siano consapevoli delle interazioni che vengono a stabilirsi con la realtà urbana cui appartengono.
Il filo rosso che riannoda i contenuti proposti è riconducibile alla diversa interpretazione della densità nell'ambito dell'architettura e della sostenibilità e ci consente di esplorarne significati, proprietà, forme, capacità analitiche e progettuali.

Note bibliografiche

Baker, N., & Steemers, K. (2000). *Energy and environment in architecture : a technical design guide*. London ; New York: E & FN Spon.

Burdett, R., Sudjic, D., London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft für Internationalen Dialog. (2011). *Living in the endless city : the Urban Age project by the London School of Economics and Deutsche Bank's Alfred Herrhausen Society*. London: Phaidon Press Ltd.

Cecere, C., Coch Roura, H., Morganti, M., & Clementella, G. (2012). Dalla Riqualificazione Energetica al Recupero Sostenibile: un metodo di analisi energetica dei tessuti della città compatta. *In_Bo Ricerche e progetti per il territorio, la città e l'architettura, 3*(5), 7-28. doi: 10.6092/issn.2036-1602/3477

Herzog, T., Kaiser, N., & Volz, M. (1996). Solar energy in architecture and urban planning = Solarenergie in Architektur und Stadtplanung. Munich ; New York: Prestel.

IEA, Agency, I. E., & OECD. (2008). *World Energy Outlook 2008* (pp. 578). Retrieved from http://www.worldenergyoutlook.org/2008.asp

Koolhaas, R., & Robilant, M. d. (2010). *Singapore songlines: ritratto di una metropoli Potemkin ... o trent'anni di tabula rasa*. Macerata: Quodlibet.

Latouche, S. (2005). *Come sopravvivere allo sviluppo: dalla decolonizzazione dell'immaginario economico alla costruzione di una società alternativa*. Torino: Bollati Boringhieri.

Maas, W., Hackauf, U., Haikola, P., & Why Factory. (2010). *Green dream : how future cities can outsmart nature*. Rotterdam: Nai Publishers.

Market Observatory for Energy, & European Commission. (2010). *Europe's energy position : markets & supply*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Pont, M. B., & Haupt, P. (2010). *Spacematrix : space, density and urban form*. Rotterdam: NAI.

Rogers, R. G., & Gumuchdjian, P. (1998). *Cities for a small planet*. London: Faber and Faber.

Sertorio, L. (2002). *Storia dell'abbondanza*. Torino: Bollati Boringhieri.

Strømann-Andersen, J., & Sattrup, P. A. (2011). The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings, 43*(8), 2011-2020.

Sudjic, D., Burdett, R., London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft fèur Internationalen Dialog. (2007). *The Endless city: the urban age project by the London School of Economics and Deutsche Bankk's Alfred Herrhausen Society*. London: Phaidon.

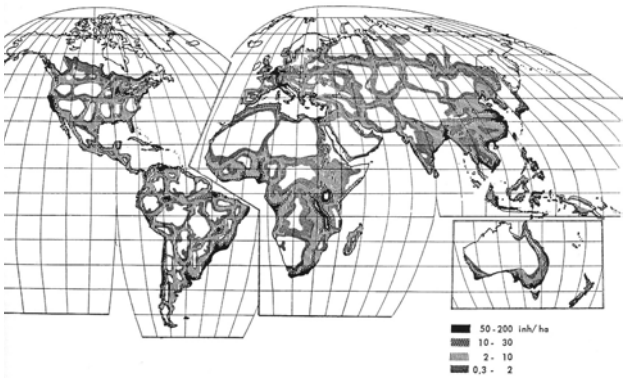
Note

1 L'autore eleva Singapore ad emblema dell'ideologia della città generica contemporanea: "Ho compiuto i miei otto anni nel porto di Singapore. Non siamo scesi a terra, ma ricordo l'odore – dolcezza e marciume, entrambi che prendevano alle narici. L'anno scorso ci sono andato di nuovo. L'odore non c'era più. In effetti, Singapore era sparita, raschiata via, ricostruita. Al suo posto c'era una città tutta nuova. […] Praticamente tutta Singapore ha meno di trent'anni; la città rappresenta la produzione ideologica degli ultimi tre decenni nella sua forma pura, incontaminata da residui contestuali sopravvissuti. È guidata da un regime che ha escluso l'accidente e la casualità; anche la sua natura è interamente rifatta. È pura intenzione, se c'è caos è caos ideato; se è brutta, è di una bruttezza progettata; se è assurda, è di un'assurdità voluta. Singapore rappresenta un caso unico di ecologia del contemporaneo" (Koolhaas & Robilant, 2010).

2 Non sempre si riesce a comprendere con chiarezza le interazioni tra l'ambiente e il contesto metropolitano; quello che però si intuisce è che nella città ci sia ancora molto margine su cui poter operare per una loro maggiore "efficienza".

3 Nonostante le difficoltà incontrate nella diffusione di queste soluzioni, numerosi sono gli esempi di realizzazioni di isolati, insediamenti e quartieri sostenibili: BedZed, Solar City Linz, Bo01 a Malmoe, Hammarrby Sjostad a Stoccolma, Le Albere a Trento etc. sono le realizzazioni frutto di un processo di conoscenza e di ricerca punteggiato di tappe numerose e laboriose. Tra le tappe più importanti vi è di certo l'esperienza del gruppo READ che ha avuto il pregio di compiere lo sforzo programmatico di riflettere sul rapporto tra energia ed architettura in termini progettuali (per approfondimenti si veda (Herzog, Kaiser, & Volz, 1996)) Guidato da Thomas Herzog e composto da eminenti ricercatori e progettisti - Norman Foster, Renzo

Piano, Richard Rogers, Francoise-Helene Jourda e Gilles Perraudin - nel 1996 redige un documento con l'obiettivo di delineare chiaramente le sfide da intraprendere e gli obiettivi da conseguire nell'ottica di un adeguato impiego dell'energia in architettura di fronte alle rapido mutamento di condizioni avvenuto negli ultimi tempi. Avendo ben compreso l'incidenza che la gestione degli insediamenti umani ha sulle risorse naturali e sull'ambiente, richiamano alla necessità di riorientare rapidamente il modo di pensare, progettare e costruire, e di ricollocare al centro della pratica criteri che regolino l'impiego consapevole dell'energia, sia essa proveniente da fonti rinnovabili o meno. Per quanto il documento - nella sua veste di testo programmatico - assuma toni assertivi che in alcuni casi possono apparire quasi dalla vena utopica, il gruppo READ aveva identificato nella città il campo privilegiato della ricerca nell'architettura ad energia solare. "Le città sono risorse in forma costruita e hanno un alto contenuto di energia primaria. Per il raggiungimento di un'integrazione più vicina al globale equilibrio della natura, il territorio circostante, gli edifici e gli spazi aperti, le infrastrutture, i sistemi di trasporto e di comunicazione, devono tutti essere soggetti ad un costante processo di modificazione e ricostruzione che segua cicli naturali di rinnovo". Non deve sorprendere allora il riferimento diretto alla densità urbana e peraltro correlato alla questione ambientale. "Un attento uso del territorio attraverso il perseguimento di una *ragionevole densità* nei nuovi schemi di pianificazione, unitamente ad un programma di sviluppo, può aiutare a ridurre le spese per infrastrutture e servizi di trasporto e a limitare lo sfruttamento indiscriminato di ulteriori aree di terreno".


50 - 200 inh/ha
10 - 30
2 - 10
0,3 - 2

Densità e sostenibilità

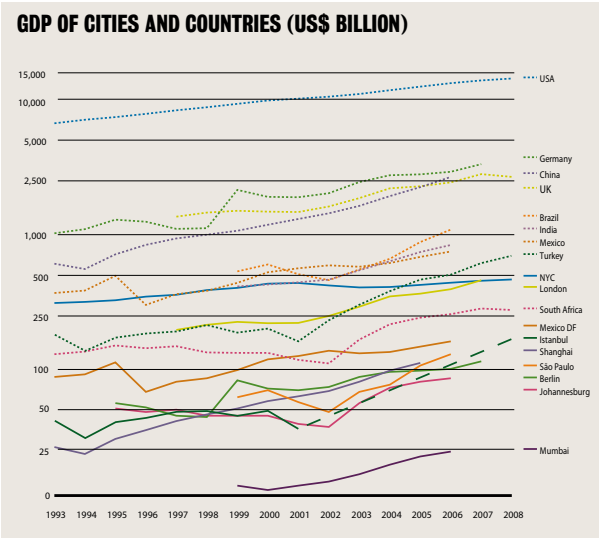
condizioni e strumenti del progetto

Gli aspetti e le questioni trattate in questo capitolo rappresentano il contesto in cui inquadrare temi, enunciati, ipotesi e finalità della presente ricerca. In edilizia, tale contesto può attualmente ricondursi ai concetti di densità e sostenibilità ed alle loro reciproche relazioni e si caratterizza per alcune condizioni e altrettanti strumenti del progetto. Tra queste, ambiente costruito ed energia sono due condizioni centrali poiché le loro dinamiche hanno innescato una mutazione del processo progettuale. Come dimostrato dalle dinamiche di urbanizzazione, il costruito è divenuta una condizione imprescindibile e solleva importanti interrogativi in ambito energetico; l'energia, dal canto suo, mostra alcuni caratteri di illusorietà, dovuti alle incertezze riguardanti la transizione alle fonti rinnovabili. Allo stesso tempo il quadro normativo e i sistemi di modellazione costituiscono gli strumenti operativi cruciali per trasferire nella pratica operativa le conoscenze finora acquisite nell'ambito della sostenibilità edilizia: mentre il primo manifesta una certa inadeguatezza, i secondi racchiudono notevoli potenzialità. L'insieme di queste condizioni e di questi strumenti sembra però non aver ancora raggiunto la maturità tale da poter pienamente comprendere e risolvere il rapporto tra densità e sostenibilità.

AMBIENTE COSTRUITO: UNA CONDIZIONE IMPRESCINDIBILE

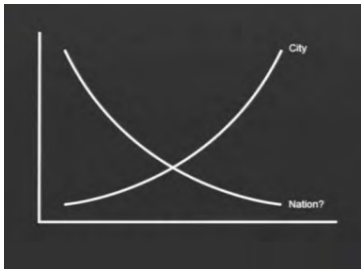
Le categorie tradizionali di pensiero in architettura, urbanistica e paesaggio, così come ereditate dalla cultura moderna, manifestano sempre più la loro inadeguatezza ed incapacità a fronteggiare la complessità in atto nell'ambiente costruito (Koolhaas, 2000). Riflesso inevitabile di questa crisi è la condizione del processo progettuale che, sotto l'effetto delle dinamiche globali, nel tentativo di raggiungere quel complesso stato di equilibrio che in molti definiscono "sostenibilità", riesce a integrare soltanto con notevoli incertezze e scarsi risultati le molteplici forme di conoscenza necessarie a fronteggiare le problematiche odierne. A dispetto della sempre maggiore insostenibilità della città "convenzionale" recenti statistiche, ormai di dominio comune, hanno confermato

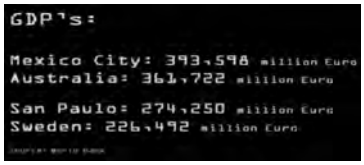
9. A fronte: Ecumenopolis, una previsione sull'urbanizzazione del mondo. Doxiadis 1967.



10. Inversione di importanza tra stati e città: le maggiori aree metropolitane mondiali superano per prodotto interno lordo intere nazioni.

il crescente potere attrattivo dei territori urbani: le metropoli odierne incrementano con ritmo esponenziale il loro numero di abitanti, in alcune aree del globo misurabile persino in unità al secondo e tanto da prevedere che nel 2050 i tre quarti della popolazione mondiale vivrà in città (Burdett, Sudjic, London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft für Internationalen Dialog., 2011). Qualora il termine di paragone numerico degli abitanti non fosse sufficiente a rendere conto della misura della loro centralità, può risultare utile servirsi del confronto tra prodotti interni lordi di città e nazioni: così Città del Messico supera l'Australia, San Paolo del Brasile supera la Svezia. Sebbene in Europa, il fenomeno risulti decisamente più rallentato - non casualmente gli esempi sopracitati fanno riferimento alle aree del globo in forte crescita - a complicare la situazione contribuisce il permanere di un modello di sviluppo inadeguato alla crisi energetica, ambientale ed economica in atto. La città, sotto l'effetto della domanda di sempre maggiori superfici pro-capite, si estende in un *continuum* di territorio urbanizzato tanto da essere associato a nuove denominazioni - *Universal City*, *Megacity*, *Endless City*, *Generic City*, etc. - quasi a voler suggerire che il concetto originario di città o di metropoli sia stato superato da qualcosa d'altro (Burdett et al., 2011; Koolhaas, Mau, Sigler, & Office for metropolitan architecture, 1997; MVRDV, 2005; Sudjic, Burdett, London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft fèur Internationalen Dialog., 2007).

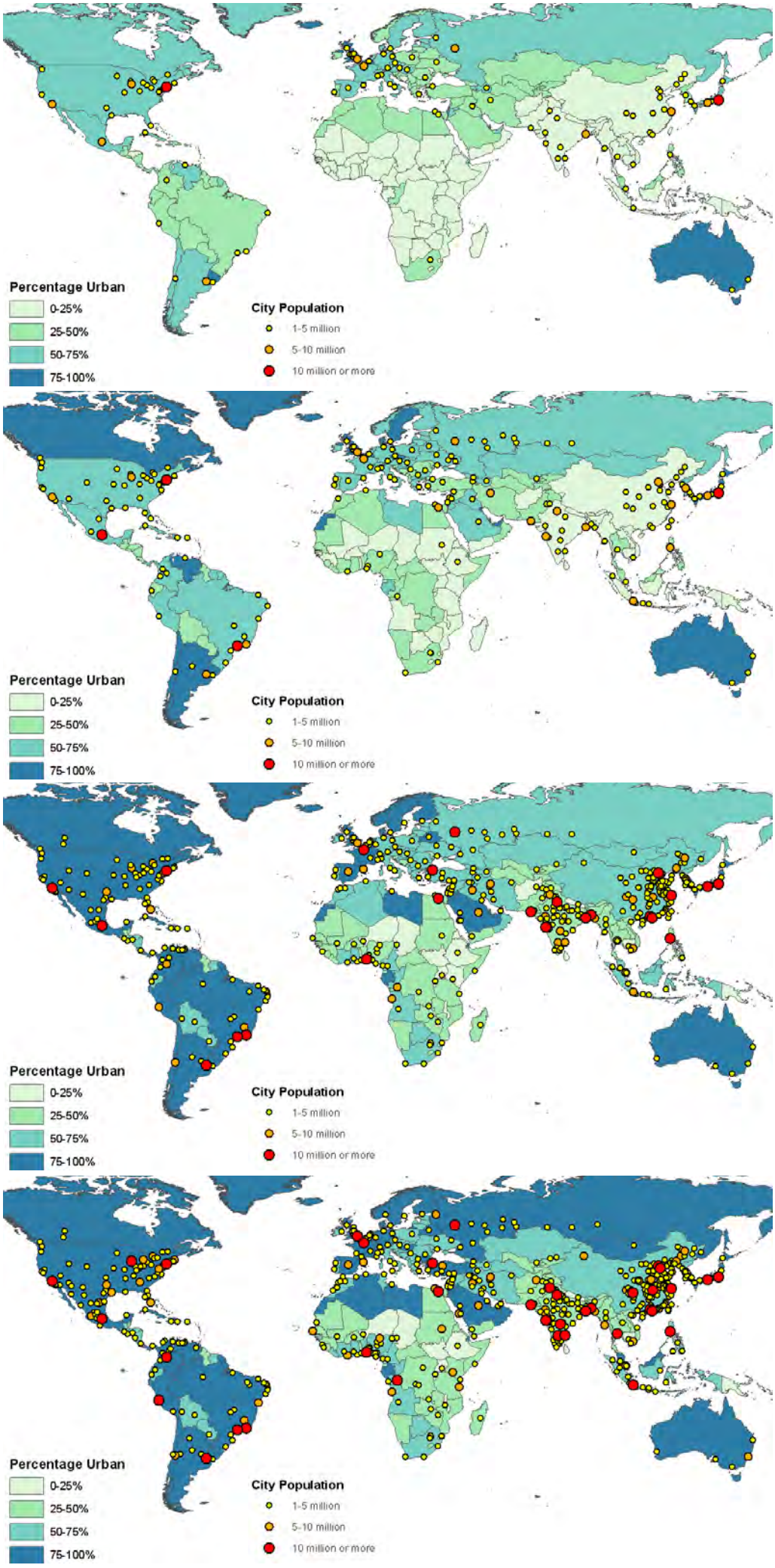


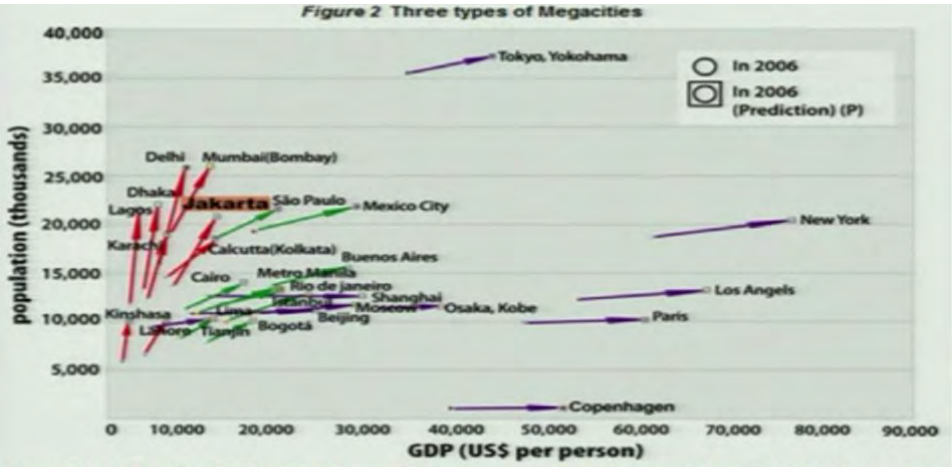


Pertanto diviene sempre più pressante la necessità da parte dei progettisti di fronteggiare le problematiche odierne mediante la ricerca di strumenti, metodi e tecniche innovative destinate all'applicazione nella città: condizione inprescindibile in termini contestuali e progettuali nonché terreno di coltura delle sperimentazioni architettoniche, e territorio privilegiato delle ricerche sulle dinamiche dell'ambiente costruito e sulle sue conseguenze ambientali. La città rappresenta infatti un sistema - divenuto ancor più articolato - di relazioni culturali, sociali, ambientali, economiche e politiche che "richiede un altrettanto sistema complesso di prospettive e di risposte, che risolva condizioni attuali e future possibilità" (Mostafavi & Doherty, 2010 p. 13). È ampiamente riconosciuto che all'interno di questa condizione risiedono certamente la maggior parte delle sfide e dei problemi che gli ambienti costruiti ci pongono, ma anche il luogo in cui effettivamente esista un ampio margine per lavorare e sia possibile risolverli con incisività (Dempsey & Jenks, 2010). Sotto la "pelle" delle città giacciono legami profondi tra forma urbana e sostenibilità: la loro configurazione, la dimensione territoriale che occupano, l'impronta che necessitano, l'energia che consumano, il tipo di trasporto che adottano, il modello abitativo che informano, innegabilmente determinano le sorti dell'efficienza di funzionamento di un sistema.

Il momento storico che sta attraversando la nostra cultura, la congiuntura economica

11. Urbanizzazione e metropoli a confronto: 1960, 1980, 2011, 2025.





Megacities can be classified into the following three types depending on economic growth rate and population growth rate: Mass resource consumption megacities in advanced countries (indicated in purple); Mass resource consumption megacity followers in developing countries (green); and Coexisting poverty megacities in the least developed countries (red)

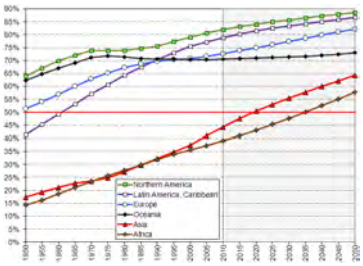
recessiva, la pressione esercitata dai paesi emergenti e l'incalzante consapevolezza dei pericoli della crisi ambientale ed energetica stanno minando gli assiomi fondamentali che sostengono indiscussi da lungo tempo la teoria economica occidentale. In particolare il contesto europeo, che ha ormai pienamente attraversato la sua epoca di massimo sviluppo nel corso del novecento, vive una fase in cui la maturità dei sistemi urbani e del patrimonio edilizio pone questioni complesse che necessitano soluzioni immediate e incisive, specie nell'ambito del funzionamento energetico dell'esistente, prima ancora che in quello delle nuove costruzioni.[1]

Inoltre, le questioni energetiche e ambientali hanno iniziato a far breccia persino nell'impermeabile e conservativo settore delle costruzioni, che da sempre oppone una certa resistenza nei confronti della ricerca e dell'innovazione tecnologica e che costituisce uno dei comparti più energivori e inquinanti per l'ambiente.

Sebbene la sensibilizzazione a tali questioni sia stata dettata non tanto da dinamiche interne al settore, quanto da logiche di mercato (veicolate e sostenute dall'introduzione di normative e finanziamenti comunitari), ci troviamo oggi di fronte ad una grande opportunità da cogliere, per tentare di studiare e comprendere il comportamento energetico del nostro patrimonio edilizio al fine di renderlo più efficiente e proporne trasformazioni consapevoli delle conseguenze in termini d'uso delle risorse naturali. Queste dinamiche hanno innescato un articolato piano strategico di azioni del governo dell'Unione con l'obiettivo di ridurre consumi energetici ed emissioni di gas serra, incentivando il miglioramento delle prestazioni in prevalenza energetiche degli edifici.

Il principale strumento attuativo di questo piano è stato l'atto giuridico della direttiva, per effetto del quale la comunità indica agli stati membri il risultato atteso, lasciando ampio margine in termini di mezzi da utilizzare. In questi anni le politiche europee, si sono concentrate dapprima alla comprensione delle prestazioni energetiche degli edifici (sia esistenti che nuovi) in modo da poter ottenere un quadro il più possibile completo e negli ultimi tempi nella definizione di processi per la realizzazione di "edifici ad energia quasi zero". Politiche che finora però nel duro confronto con le realtà complesse delle città europee, difficilmente hanno superato lo *status* di buone intenzioni.

Per avere un'idea della situazione si pensi che, alla data odierna, a fronte di circa ventinove milioni di alloggi esistenti in Italia, soltanto due milioni sono provvisti di certificazione energetica. Considerato che il processo ha avuto inizio in seguito al recepimento della prima direttiva - avvenuto nel 2005 - se il ritmo di dovesse continuare ad essere lo stesso, si arriverebbe ad ottenere un quadro complessivo soltanto tra più di cinquant'anni (AA. VV., 2011; ISTAT, 2012). S'intuisce, pertanto, che l'implementazione di conoscenze e metodologie per la comprensione delle performance energetiche degli edifici più efficaci - che permettano di considerare piuttosto che il singolo alloggio interi isolati apparte-



12. Evoluzione storica e previsioni sulla popolazione urbanizzata per aree continentali.

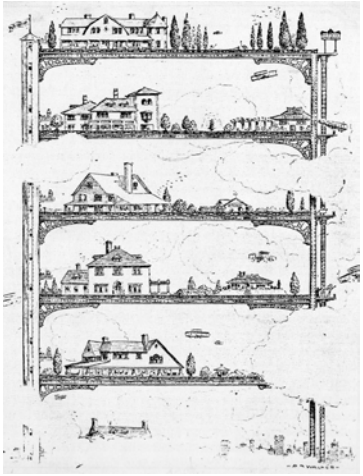
13. A fronte: principali indicatori urbani per alcune delle aree urbanizzate mondiali a confronto. La complessità si riflette sui dati e sulle loro mutue relazioni.

	Population in 1900 in the administrative city	Current population in the metropolitan region	Population growth since 1900	Projected growth 2005-2025 (people per hour)	Peak density (people per km²)	Central Area Density (people per km²)	GDP per capita (US$)	Percentage of national GDP produced by each city	Percentage of the country's population residing in each city
ISTANBUL	903,482	12,697,164 2008	1,305%	14	68,602	20,116	$12,856* 2008	22.0%* 2008	17.8% 2007
NEW YORK	3,437,200	18,815,988 2007	447%	11	53,000	15,361	$55,693 2008	3.3% 2008	2.8% 2008
SHANGHAI	1,000,000*	18,150,000 2006	1,715%	28	96,200	24,673	$8,237 2005	5.0% 2005	1.0% 2005
LONDON	6,506,954	7,556,900** 2007	16%	1	17,200	7,805	$60,831 2007	16.4% 2007	12.4% 2007
MEXICO CITY	415,000*	19,239,910 2005	4,536%	13	48,300	12,541	$18,321 2006	21.5% 2006	8.4% 2006
JOHANNESBURG	829,400 1950	3,888,180** 2007	369% 1950-2007	4	38,500	2,270	$9,229 2005	14.8% 2005	8.1% 2005
BERLIN	2,712,190	4,300,000 2002	59%	0	21,700	7,124	$34,017 2007	3.4% 2007	4.2% 2007
MUMBAI	927,994	19,280,000 2005	1,978%	47	101,066	34,269	$1,871 2006	2.9% 2006	0.9% 2006
SÃO PAULO	239,820	19,223,897 2007	7,916%	18	29,380	10,299	$12,021 2006	11.9% 2006	5.8% 2006

Income inequality (measured by the GINI index)	Murder rate (homicides per 100,000 inhabitants)	% of the population under 20	Car ownership rate (per 1,000 inhabitants)	Metro ticket price in 2009 (US$)	% of daily trips made by walking and cycling	Daily water consumption (litres per capita)	Annual electricity use (kWh per capita)	Annual waste production (kg per capita)	Annual CO_2 emissions (kg per capita)	Pollution levels in 2004 (measured by the PM10 index)***
43 2003	3 2007	32 2008	138.5 2008	$1.0	45.0% 2008	155 2008	2,267 2007	383 2006	2,720	55
50.4 2007 Metropolitan Region	6.3 2008	25.6 2007	209.4 2008	$2.3	11.4% 2007	607 2005	6,603 2007	529 2005	7,396 2007	21
45 2001	1.4 2005	20.2 2000	72.6 2006	$1.3	54.4% 2006	439 2005	6,357 2005	343 1999	10,680 2003	73
31.7 1995	2.2 2007	24.2 2005	344.7 2008	$7.4	21.7% 2007	324 2005	4,539 2000	459 2005	5,599 2005	21
55.7 2005	13.2 2007	31.9 2005	360.0 2007	$0.2	n/a	343	n/a	228	5,862 2000	51
75 2005	15.7 2007	30.9 2001	205.7 2000 Gauteng Province	n/a	31.1% 2002	378	3,388 2007	558 2007	5,025 2007	33
n/a	1.2 2007	16.6 2007	319.0 2008	$4.1	35.0% 1998	171 2000	3,880 2005	497 2007	5,821 2005	22
35 2004	3 2005	36.3 2001	35.9 2006	$0.2	56.3% 2007	90 2005	579 2007 Maharashtra State	193 2001	371 2000 Maharashtra State	63
61 2005	21 2006	31.7 2007	368.0 2007	$1.4	33.9% 2007	185	1,954 2006	504 2007	1,123 2003	40

nenti a tessuti edilizi omogeneamente definiti - diventa utile ad accelerare il processo di riqualificazione energetica degli edifici esistenti e la possibilità di definire strategie di pianificazione energetica sostenibile.
In quest'ottica, il proposito di questo studio vuole essere quello di fornire un contributo analitico alle metodologie e agli strumenti progettuali di confronto con il costruito, per un miglioramento delle prestazioni energetiche e ambientali dei sistemi urbani odierni.
L'ipotesi di partenza consiste nella consapevolezza dell'importanza sempre maggiore della conoscenza e del controllo delle performance energetiche dei tessuti edilizi esistenti, che specialmente in Europa costituiscono gran parte delle nostre città e, di conseguenza, ne influenzano notevolmente il comportamento.
La volontà di ricondurre le indagini a strumenti e fattori razionali di controllo ha come ulteriore potenzialità critica quella di contribuire al superamento della confusione concettuale e operativa attorno al progetto sostenibile, affidando la ricerca della soluzione al confronto con una scala più consona e usando consapevolmente gli strumenti analitici. A tal fine assume un ruolo centrale il rapporto tra realtà e modello. L'intervento di trasformazione, così come quello di nuova edificazione, viene a delinearsi come un processo sempre più legato alle molteplici forme di conoscenza in esso implicate, piuttosto che al solo aspetto della costruzione e della sua fattibilità tecnica. Il buon esito, si struttura attorno ad un percorso di analisi e conoscenza che fa costante ricorso a sistemi di simulazione per la previsione di specifiche performance e la definizione dei requisiti ad esse associati.

In questo processo metodologico, ci si affida ad un parametro, la densità, i cui valori hanno un potenziale descrittivo dei sistemi urbani e che oggi ancor di più sembra essere diventato, per alcuni, uno degli elementi progettuali cardine. La densità è da tempo associata alle diverse modalità ed intensità di utilizzo di uno spazio antropico che possono avere effetti e conseguenze tanto più incisive quanto più la struttura spaziale risulti essere complessa.
Intorno alla metà del XIX secolo, i problemi generati nei sistemi urbani dal rapido processo di urbanizzazione (sovraffollamento, insalubrità, inquinamento, etc.) stimolarono un insieme di riflessioni che contribuì a determinare la formazione di una nuova struttura disciplinare: l'urbanistica moderna. In questa fase, il parametro di densità - in qualità di mero strumento analitico di controllo razionale del progetto - entrò a far parte degli strumenti propri di questo *corpus*. Giunto a noi quale eredità del pensiero modernista, esso assume oggi nuovi ruoli che esulano dalla sua natura originaria sia in termini d'uso, di dimensione di riferimento e di campo disciplinare. Rispetto all'impiego di tipo descrittivo o prescrittivo negli studi urbani per cui era stata concepita, la densità assume



14. Il teorema metropolitano del 1909 per Manhattan: il grattacielo come strumento utopico di densificazione.

15. Koowloon Walled City (Hong Kong): un esempio estremo di isolato urbano ad alta densità.

sempre più rilevanza oggi grazie all'estrema ricchezza e potenzialità dimostrata dall'uso esplorativo che ne compiono i progettisti.
Questa duplice interpretazione attuale, cui essa si presta, la candida a essere uno strumento adeguato allo studio del comportamento degli ambienti costruiti e finisce per associarla sempre di più alle corrispondenti prestazioni energetiche, alle problematiche ambientali, più in generale ai caratteri di sostenibilità dei sistemi insediativi.
Da più parti ci giungono indicazioni sulla maggiore adeguatezza ed efficienza degli ambienti urbani caratterizzati da una più alta densità: in primo luogo per i suoi effetti positivi di riduzione diretta dei trasporti e di conservazione del suolo naturale ed agricolo.[2] Sostenuta da una crescente capacità tecnologica in tutti i settori della conoscenza, la densificazone sembra essere oggi l'unica soluzione possibile e alla portata di mano, al punto da divenire un tema sempre più in voga negli studi d'architettura, nelle redazioni delle riviste e nelle aule universitarie.[3] Sfortunatamente, se osservata con maggiore attenzione, la questione appare essere cangiante a seconda delle possibili prospettive rispetto cui la si osserva: mobilità, rifiuti, benessere luminico, energia, inquinamento ambientale, etc. Il concetto di densità, allora, spesso confuso con quello di alta densità, diventa punto di accumulazione di buona parte delle ricerche sull'architettura e sul progetto degli ambienti urbani, sempre più intesi come sistemi complessi. Ma anche questa pratica investigativa - proprio come quella sulla sostenibilità con cui sempre più frequentemente viene messa in relazione - sembra incedere con incertezza.
Il panorama di studi, pur con un ampio ventaglio di approcci, intrappolato tra l'ambiguità del tema e la complessità urbana, finisce sovente per essere una visione parziale, empirica o snaturata dalla soggettività e dalla disciplinarità degli autori. In aggiunta, la tanto acclamata - quanto altrettanto incertamente definita - alta densità non sempre si rivela essere in assoluto sinonimo di benessere, qualità e ottimalità di prestazioni. Per quanto tali requisiti -entrati a far parte degli elementi cardine della pianificazione urbana a partire dalla costituzione della città industriale e moderna - siano stati spesso associati e studiati per mezzo della densità parametricamente intesa, il cammino intrapreso necessita di ulteriori sforzi di comprensione che impediscano il proliferare delle supposizioni e lascino spazio a un processo di conoscenza il più razionale e scientifico possibile; processo da più parti ritenuto oggi imprescindibile per affrontare le sfide più importanti poste dall'ambiente costruito e che appartiene al dominio di conoscenze in cui potrebbe collocarsi lo studio sulla *densità sostenibile*: un territorio non del tutto nuovo, che approcci in forma interdisciplinare metodi, strategie e strumenti vecchi e nuovi.

ENERGIA: UNA CONDIZIONE ILLUSORIA[4]

I sistemi metropolitani odierni in cui molti di noi vivono e lavorano oltre ad essersi

THE DEATH AND LIFE OF GREAT AMERICAN CITIES
JANE JACOBS
1961
Rem Koolhaas
DELIRIOUS NEW YORK
1978
Cities for a small planet
Richard Rogers
1997
FAR MAX
Excursions on Density
MVRDV
010 Publishers
1998
1999
At home with DENSITY
NUALA COONEY
2003
a+t
densidad density
2002-3
AFTER-SPRAWL
2002
HIGH DENSITY HOUSING
2009
SPACEMATRIX
Space, Density and Urban Form
Meta Berghauser Pont
Per Haupt
NAi Publishers
2010
MVRDV
Three-dimensionality can be seen as architecture's fundamental existence, the profession's acclaimed domain. In times of globalization and scale enlargement, an update of this definition seems needed: meters turn into kilometers, M3 becomes
KM3
ons on Capacities
2005
densità città residenza
2008
la città compatta
sperimentazioni contemporanee sull'isolato urbano europeo
2013
D BOOK
Density
2007

16. Alcuni dei testi sul tema della densità in architettura ordinati cronologicamente.

affermati come l'habitat preferito e a candidarsi come quello predominante del prossimo futuro, sono responsabili di buona parte dei consumi energetici complessivi, delle emissioni e delle scorie prodotte dalle attività umane in essi insediate. Il fenomeno assume una portata tale da suscitare attenzione persino da parte dei mezzi di informazione generalisti, a volte riuscendo ad informare l'opinione pubblica, altre con il solo obiettivo di cavalcare l'onda di un argomento divenuto molto *glamour*: il "vivere green". Non v'è dubbio però che la complessità sistemica degli ambienti urbani presenta notevoli inefficienze, spesso di natura strutturale. Per avere un riferimento quantitativo basta considerare che, pur occupando complessivamente il due percento della superficie terrestre, circa i tre quarti dei consumi e delle corrispondenti emissioni di gas serra sono da attribuire direttamente ai sistemi urbani.

Da quanto espresso nel paragrafo precedente, traspare come anche l'architettura, non sia esente dalle dinamiche complesse che governano la questione energetica e dal fornire un contributo al miglioramento di questa. Per consentire ai progettisti di incidere su tale condizione mediante soluzioni progettuali conformi alle mutate esigenze, diviene opportuno e necessario inquadrare il tema dell'energia in architettura all'interno di una contesto generale: guidato da politiche e decisioni esterne alla nostra disciplina, ma con cui spesso ci troviamo a dover fare i conti.

L'energia e i limiti naturali nell'era tecnologica

Il sistema di interazioni tra ambiente costruito ed energia è governata da un insieme complesso, radicato e consolidato di condizioni al contorno che devono essere comprese e interpretate nonostante appartengano a domini di conoscenza spesso lontani dall'architettura. Per fornire contributi che possano riscontrare una certa incisività nel trovare soluzioni ai problemi che tale sistema produce, è necessaria una comprensione analitica di tali interazioni che, seppur mantenendo lo sguardo alla pratica del progetto, sia supportata da letture capaci di interagire con le molteplici discipline coinvolte.

Se, per esempio, si tenta una lettura evolutiva della cultura occidentale, ne risulta una successione di eventi in cui sovente le innovazioni scientifiche e tecnologiche hanno funzionato da elementi di discontinuità, producendo veri e propri salti, anche detti "gradini tecnologici". Tale lettura può fornire chiavi interpretative estremamente efficaci della condizione che oggi attraversiamo e forse tentare di uscire dalla parabola della "storia intrecciata" cercando una comprensione diversa dell'era tecnologica. Quest'intreccio di saperi è frutto della disgiunzione che potremmo dire avvenne, per fissare le idee, in epoca rinascimentale: scienza, economia ed etica si separano per effetto dei processi culturali e da allora seguono un cammino evolutivo in cerca di una condizione di equilibrio, seppur disgiunto.[5]

L'era tecnologica, contrapposta secondo la divisione presentata da Sertorio all'era fisiocratica[6], è quella vissuta nel recente passato dalle popolazioni occidentali e la cui transizione ha avuto inizio all'incirca con la seconda guerra mondiale. Il principale carattere di quest'epoca è l'azione direttrice combinata di tecnologia ed economia, che tramuta le tre attività con cui l'uomo da sempre interagisce con l'ambiente per abitarlo - la casa, il movimento e l'uso di strumenti - in attività esterne alla sfera naturale, rompendo la convergenza assoluta tra fini e mezzi e diventando semplice uso delle risorse, "azione di consumo". "La tecnologia passa da essere un'attività ancillare prodotta dall'uomo, e controllata dall'uomo, a essere un *partner* dinamico che contribuisce a modificare le motivazioni dell'uomo stesso" (p. 14). L'illusione positivista che tale attività avrebbe dominato la natura supportata dalla facile accessibilità alle risorse (energia e materiali) e dallo sviluppo delle tecniche, fa venir meno il senso del "limite organico" che, così sovvertito dal legame economia-tecnologia, subisce una dilatazione dimensionale dal locale al globale.
La differenza tra le due ere può essere espressa efficacemente dal confronto tra la metafora dell'ippogrifo e lo sviluppo del nucleare. Nell'*Orlando Furioso*, l'ippogrifo è un magico animale raro in grado di volare, che gli uomini con una certa difficoltà imparano a cavalcare. Nonostante il fascino nei suoi confronti e la potenzialità che esso potrebbe celare in una sua diffusione per il trasporto aereo, Ariosto non ci prospetta la nascita di una flotta di ippogrifi, ma continua ad occuparsi delle vicende umane perdendo interesse nei suoi confronti. Di contro, nello sviluppo della scienza del nucleare, il percorso ha seguito la logica esattamente opposta: per gli studiosi come Fermi, la fissione e la fusione avevano un interesse scientifico e il fine di migliorare il benessere dell'umanità, ma l'interazione forte con le logiche egemoni di alcuni paesi e con la conseguente dinamica energivora del denaro all'epoca della guerra fredda, hanno fatto proliferare le bombe H negli arsenali militari. Gli sviluppi di fisica, chimica e soprattutto termodinamica segnano il passaggio dall'evoluzione scientifica alla fase di "dominanza tecnologica", che dalla metà dell'Ottocento - insieme all'enorme disponibilità di energia fossile a basso costo - ha condotto al processo di modificazione irreversibile dell'ecosistema.

Equilibrio disgiunto, ed equilibrio globale della nuova disgiunzione

La nascita del pensiero moderno, viene fatta risalire all'epoca del Rinascimento europeo. La portata di questa rivoluzione culturale stravolge la struttura del sapere consolidatasi nelle epoche precedenti, producendo una separazione che presto si comprenderà essere ineludibile: il cammino dell'etica, della scienza e dell'economia inizia un percorso che le conduce a una condizione stabile: un "equilibrio disgiunto". Sin da quel momento la società occidentale moderna, sorta da queste radici culturali, ha affannosamente inse-

17. Legame tra prodotto interno lordo pro capite e consumo di energia pro capite per nazione.

guito una condizione che riconducesse alla ricucitura dei propri saperi, ma senza grandi successi.

Oggi, infatti, viviamo l'ultima fase di questo processo e allo stesso tempo siamo in grado di distinguere gli effetti dell'operato delle fasi precedenti. In questo momento, il tentativo - sostenuto dall'azione congiunta di economia e tecnica - è quello di ricercare un equilibrio alla scala globale, senza comprendere che in ciò si cela il pericolo di una "nuova disgiunzione": quella definitiva tra uomo ed ecosistema. Un'analisi consapevole del momento deve fondarsi sul confronto con i capisaldi dell'interazione tra dinamica economica e accesso alle risorse. Gli avanzamenti prima scientifici e poi tecnologici sono stati fondamentali per strutturare l'economia odierna basata sul principio della crescita. Tali avanzamenti, hanno reso disponibile l'elevata potenza e l'accesso per decenni alle risorse a basso costo (in gran parte fossili) che hanno agito da vero e proprio carburante economico.

Il consumo di energia "è un primo rudimentale parametro che esprime il contatto fra transazione economica e la realtà naturale alla quale si ha accesso tramite la tecnologia" (p. 33). È facile comprendere, allora, come questo tema, sia fortemente legato ai saperi forti della nostra era: scienza, etica ed economia. Non è certo di oggi, ad esempio, la formulazione di tabelle che legano l'andamento del consumo energetico di un determinato paese con il suo prodotto interno lordo, a testimoniare che il modello di crescita economica richiede per avere successo il supporto del consumo, o meglio, del consumismo. Due sono i punti di partenza della dinamica economica cui oggi assistiamo: che l'energia è una risorsa non sostituibile da altre e che le fonti di energia sono iniquamente distribuite (p. 89).

18. Ruggero libera Angelica a cavallo di un ippogrifo. Scena dell'Orlando Furioso di Ludovico Ariosto dipinta da Ingres, 1819.

Il cammino parallelo di queste discipline è entrato in collisione con le leggi naturali anche per effetto della natura dei sistemi insediativi che dalle dottrine moderne sono derivati e che, in qualità di tecnici, ci riguardano direttamente. Emblematica in questo senso è stata l'analogia rilevata da Luigi Sertorio tra l'atteggiamento della Chiesa di fronte alle teorie galileiane in epoca rinascimentale e quello degli economisti che nel 1972 rigettarono i risultati delle ricerche del Club di Roma sui limiti dello sviluppo: in entrambi i casi gli studi sono stati considerati come un invasione di campo. Aggiungeremo allora, alla stessa stregua, l'atteggiamento recente di quel gruppo di scienziati che rigetta le attuali teorie sulle connessioni tra il riscaldamento globale e le emissioni di gas serra, ritenendo che non vi sono evidenze scientifiche incontrovertibili; come dire che siamo in presenza del cadavere e dell'assassino ma non della "pistola fumante" (Butera, 2007 p. 135). Con l'ulteriore aggravante che in quest'ultimo caso la situazione appare ancor più preoccupante, poiché tale incomunicabilità sembra oggi riuscire a pervadere i singoli saperi persino dal loro interno.

19. Lo scetticismo e l'incomunicabilità odierna hanno pervaso dall'interno i diversi settori del sapere.

Energia fossile ed energia solare

"Risulta evidente dall'esame comparativo dei modi di funzionamento dell'energia fossile e dell'energia solare che, prima di imbarcarsi per il viaggio dell'energia solare, l'uomo tecnologico dovrebbe essersi impadronito della conoscenza scientifica sufficiente a garantire che esista e sia acquisita una tecnologia capace di funzionare con l'esclusiva produzione di prodotti finali facenti parte del ciclo della vita" (p. 163).

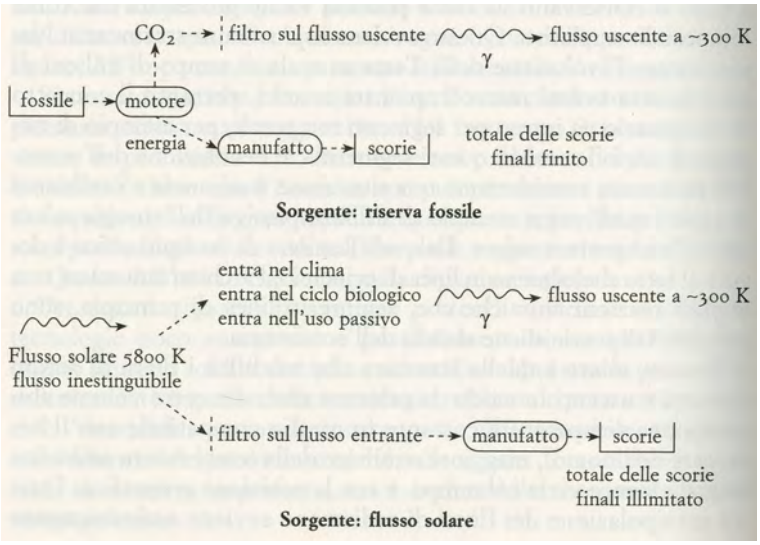
Affrontare consapevolmente la questione energetica non può esimersi dall'avere la padronanza minima dei concetti e dei fenomeni riguardanti il contesto culturale, ma anche all'ecosistema in cui abitiamo. Per Sertorio "l'ecosistema Terra è la dinamica globale che accoppia la dinamica interna delle specie viventi alla dinamica della componente fisico-chimica, con le condizioni al contorno di energia e di entropia fornite dal flusso di radiazione globale entrante e di radiazione terrestre uscente e ceduta alla radiazione di fondo" (p. 71). Dunque, prima di qualsiasi considerazione in termini energetici, è necessario avere presente che i cicli naturali innescati dall'energia solare e dalla struttura del sistema solare sono l'origine delle molteplici fonti energetiche naturali: venti, corsi d'acqua, maree, geotermia, etc.

Per le fonti fossili, ovvero di origine chimica o nucleare il discorso è differente. Queste costituiscono un'eredità energetica risalente ad epoche antichissime ed il loro utilizzo oggi implica delle trasformazioni irreversibili all'interno delle dinamiche ecosistemiche e che pertanto modificano irrevocabilmente l'ambiente. Un'affermazione del genere farebbe pensare, allora, che il ricorso indistinto alle fonti rinnovabili è buona cosa, sicuramente migliore del ricorso alle fonti fossile. Farebbe. Purtroppo, indagando meglio la questione, si scopre che non è così semplice.

Consideriamo a tal proposito l'energia solare; esistono due modi di utilizzarla: quello passivo - per intenderci quello che si utilizza nella cosiddetta architettura *bioclimatica, solare,* o *passiva* che dir si voglia - e quello artificiale, mirato alla produzione di energia - su cui tanto fanno affidamento i piani strategici di transizione energetica dei paesi industrializzati. Innumerevoli iniziative, indipendentemente dal promotore (istituzioni, realtà produttive, mercato immobiliare, mondo professionale e della ricerca), puntano sull'introduzione di queste nuove forme di produzione di energia, facendoci credere che, la loro diffusione, sempre più competitiva economicamente, sia in grado di sostenere gli attuali livelli di consumi (e se necessario incrementarli) senza produrre effetti dannosi sull'ambiente.

20. Il logo del Club di Roma

Questa è solo una metà della storia; l'altra metà nasconde una produzione di scorie potenzialmente illimitata che mette in serio pericolo la sopravvivenza dell'ecosistema a lungo termine. Per spiegare ciò Sertorio ci mostra un grafico apparentemente parados-



21. La produzione di energia elettrica da fonte solare (modo artificiale) ha un doppio impatto ambientale: in ingresso sottrae fotoni all'ecosistema, in uscita produce scorie potenzialmente illimitate.

sale [21]. Per quanto ambientalmente nocive le scorie derivate dall'utilizzo di energia fossile sono finite e nel tempo il loro esaurimento porterà, forse, a preservare il pianeta dal disastro; viceversa il flusso solare è assimilabile a una fonte inestinguibile e pertanto, il continuo "furto di fotoni" alla natura alimenta un flusso continuo di scorie. Alla luce di quanto affermato dall'autore e di fronte all'incertezza riguardo il destino dell'energia solare o delle fonti naturali in genere, è auspicabile una riflessione anche da parte dei progettisti che sono chiamati ad intervenire su un comparto che determina più di un terzo dei consumi energetici complessivi. Nessuno è in grado di assicurarci che il tanto sostenuto mercato di queste nuove fonti energetiche non segua lo stesso destino delle fonti fossili, finendo controllato dall'egemonia tecno-economica di pochi fortunati.
Come sarà possibile leggere più avanti, i primi segni di questo processo cominciano ad intravedersi anche nella pianificazione energetica europea rappresentata della *Roadmap 2050* (OMA & ECF, 2010). In attesa allora, anche nell'ambito edilizio d'innovazioni scientifiche e tecnologiche davvero appropriate, sembra infintamente più saggio puntare su regole e buone pratiche che permettano e incoraggino - sia nell'esistente che nel nuovo - la diffusione di strategie progettuali passive e di sistemi di controllo ambientale, al fine di limitare al minimo indispensabile il fabbisogno energetico e i conseguenti consumi ascrivibili all'ambiente costruito.

NORMATIVA: UNO STRUMENTO INADEGUATO

Negli ultimi quarant'anni il perdurare della crisi ambientale ha posto gli Stati nazionali di fronte alla necessità di immaginare, proporre e sperimentare percorsi condivisi che tentino in qualche maniera di invertire la pericolosa tendenza autodistruttiva dell'ecosistema innescata dalla crescita illimitata. Questa consapevolezza inizia a farsi strada a partire dal dibattito culturale intrapreso nei primi anni settanta (emblematico fu il Rapporto Meadows del Club di Roma) e dalla prima crisi petrolifera di poco successiva (Meadows, 1972).[7] Da quel momento l'interesse di molti comincia a coagularsi attorno ai temi dell'ambiente antropico e degli effetti dello sviluppo incontrollato sul pianeta fino a trovare uno svolgimento coerente con il sostegno dalle iniziative promosse dalle organizzazioni sovranazionali (ONU, UE, WWF, etc.).
Di là dal voler semplicemente ricostruire cronologicamente il percorso compiuto fino ad oggi, è interessante comprendere come nel contesto europeo odierno, questo abbia influenzato e determinato l'emanazione di protocolli, norme e documenti sui temi dell'energia, dell'ambiente e del clima nell'ambito proprio dell'edilizia e - in una prospettiva più adeguata ai tempi ed al tema - nei confronti di come l'ambiente costruito vi interagisca. Per quanto lunghi e spesso faticosi, questi passaggi sembrano voler difendere strenuamente il modello di sviluppo, ormai da più parti dichiarato inadatto e desueto

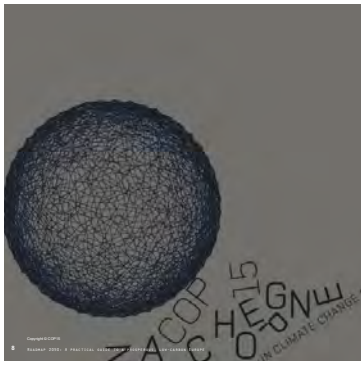
22. Il viaggio dell'energia solare appare replicare l'approccio immaturo utlizzato nei confronti dell'uso del fossile.

per il mondo occidentale e per quello europeo in particolare: quello ispirato alla cieca fiducia nella logica tecnocratica, che ha tracciato e modellato le scelte di politica strategica internazionale e ha condotto all'emanazione delle normative con cui il comparto dell'edilizia oggi deve confrontarsi. La consapevolezza di questo processo, può pertanto rappresentare anche uno strumento di conoscenza utile a superare tali logiche, alla ricerca di soluzioni per le sfide odierne in cui la tecnologia possa riacquistare il suo ruolo fisiocratico e tornare ad un proficuo dialogo con la natura e le sue risorse, oggi più che mai poste nuovamente al centro dalla stessa virtuosa strada tecnocratica.

Nel 1972, alla Conferenza ONU sull'Ambiente Umano si dichiara per la prima volta che le logiche di sviluppo comprendono l'obiettivo imperativo di difesa e miglioramento dell'ambiente presente e futuro. Ciononostante bisognerà attendere vent'anni per vedere innescata pubblicamente l'azione delle Nazioni Unite su scala globale a favore di tali propositi. Nel mezzo abbiamo assistito all'istituzione della Commissione Mondiale su Sviluppo e Ambiente che ha stilato l'ormai noto ai più Rapporto Brundtland. Dalla Conferenza di Rio de Janeiro del 1992 scaturiscono due iniziative rilevanti: l'Agenda 21 e soprattutto la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC o FCCC) che si pone l'obiettivo di "raggiungere la stabilizzazione delle concentrazioni dei gas serra in atmosfera a un livello abbastanza basso per prevenire interferenze antropogeniche dannose per il sistema climatico" (UN, 1992). Il testo prevedeva l'aggiornamento degli obiettivi tramite la stesura di protocolli redatti in occasione di summit internazionali periodici: le Conferenze delle Parti (COP). Tra i più noti, ricordiamo in occasione del *COP 3* del 1997 il cosiddetto *Protocollo di Kyoto,* con il quale dopo estenuanti trattative molte nazioni industrializzate (e altre in fase di transizione economica) concordano una riduzione legalmente vincolante dei gas serra tra il 6% e l'8% in meno rispetto ai valori del 1990 e che ancora oggi risulta essere l'unico strumento effettivamente vincolante.

Il susseguirsi dei negoziati - alcuni conclusisi con esiti positivi, altri con soluzioni incerte o peggio ancora con mancati accordi - non ha ancora sancito un aggiornamento dei limiti di riduzione stabiliti dal Protocollo. Le conferenze degli ultimi anni sembrano seguire perfettamente la deludente linea tracciata dal fallimento degli accordi nel *COP 15* tenutosi a Copenhagen nel 2009.[8] Le dichiarazioni finali e gli accordi raggiunti a Cancun (*COP 16*), Durban (*COP 17*), e Doha (*COP 18*) rimandano ogni atto concreto al 2015 e rilanciano nel frattempo un processo negoziale finalizzato alla conclusione del nuovo accordo internazionale che dovrebbe regolare le emissioni dei gas a effetto serra dal 2020. In attesa del prossimo incontro che si terrà a Varsavia a novembre 2013, Doha ci restituisce un quadro ancora incerto. Lo spostamento dell'attuazione degli impegni vincolanti entro il 2020 (tramite un protocollo che peraltro ancora non esiste) appare ai

23. "In occasione di COP 15 è stata riconosciuta la necessità di contenere l'aumento della temperatura al di sotto di 2 gradi centigradi, ma non si è riusciti a produrre un accordo vincolante, lasciando i leader con la reputazione macchiata." (OMA, 2009)



2% of the earth surface is occupied by cities.

53% of the World's population lives in cities.

69% of the world's energy consumptions are produced by cities.

75% of the world's CO_2 emissions are produced by cities.

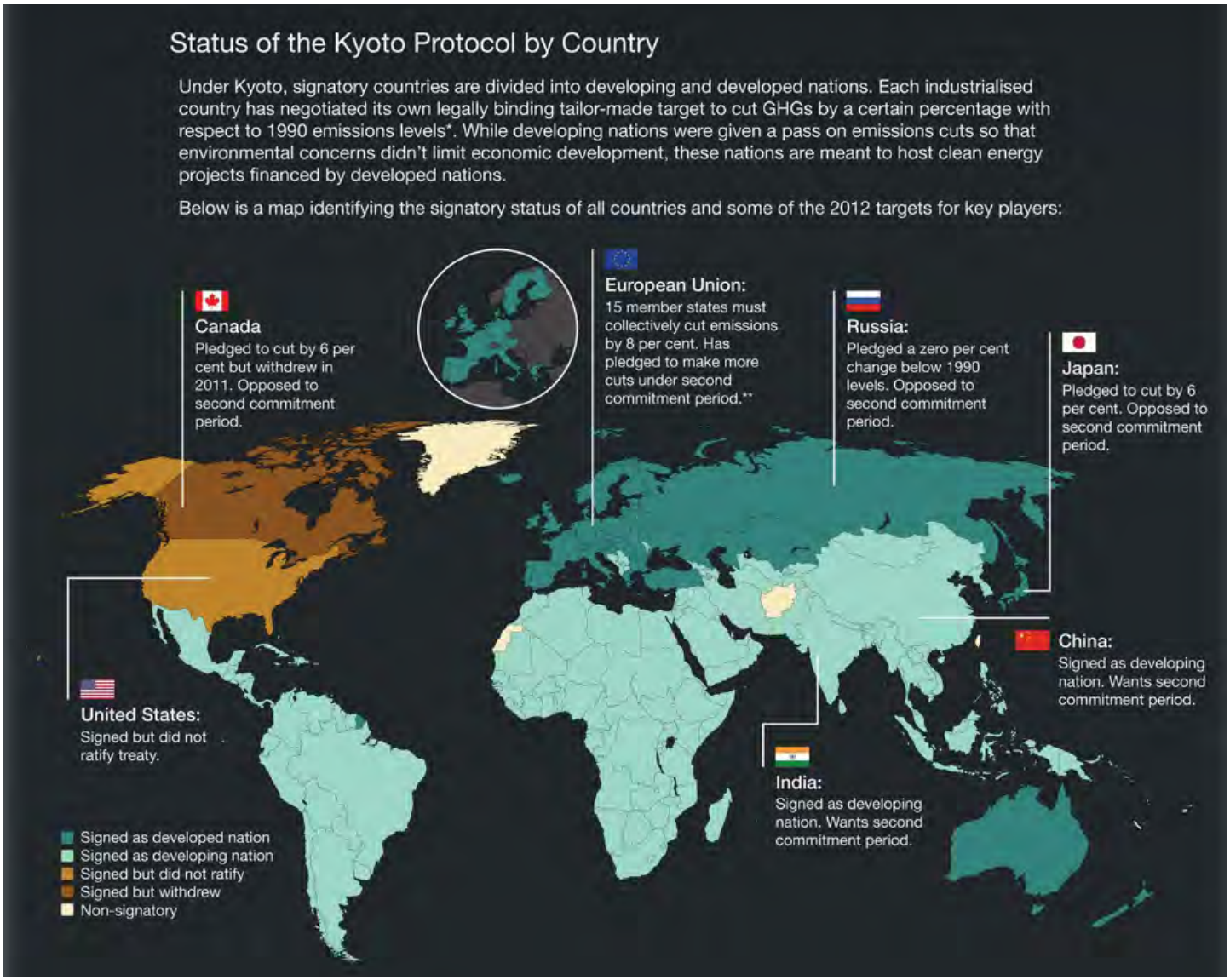
più essere troppo lontano: la scienza è concorde nel sostenere che le emissioni di gas serra dovrebbero essere ridotte entro il 2020, e non a partire da tale data: uno slittamento temporale così ampio rischia di vanificare gli sforzi in atto per contenere l'aumento delle temperature medie terrestri entro i 2 °C rispetto all'era pre-industriale. In aggiunta, la sancita estensione del Protocollo di Kyoto con un secondo periodo di attuazione, dopo aver perso gli Stati Uniti non è stata ratificata da molti paesi tra i maggiori inquinatori (Cina, India, Giappone, Brasile, Russia e Canada tra gli altri), lasciando a "correre" da soli l'Europa e pochi altri paesi industrializzati e rendendo di fatto impossibile il raggiungimento degli obiettivi globali.

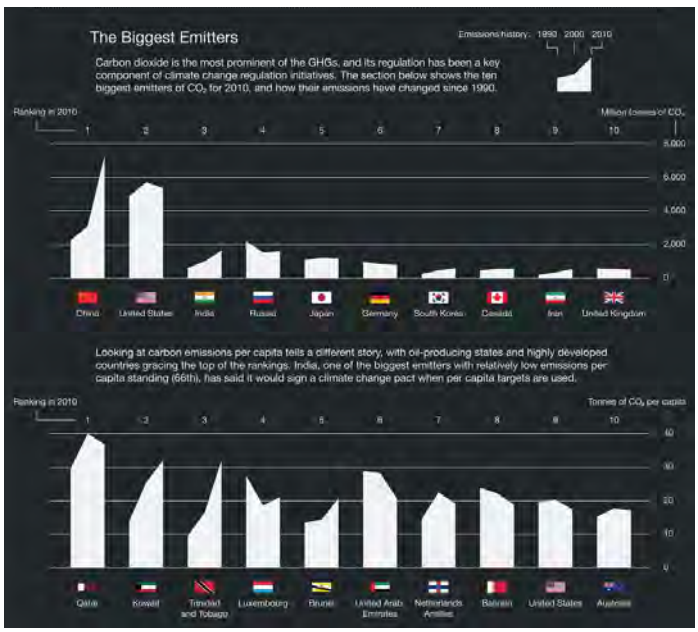
Quale ruolo possono avere l'edilizia e l'ambiente costruito in tutto ciò? A giudicare dalle statistiche note, le metropoli odierne sono responsabili del 69% dei consumi di energia e del 75% delle emissioni di anidride carbonica (Agency, IEA., & OECD., 2008; Burdett et al., 2011; IEA, Agency, & OECD, 2008). Studi recenti evidenziano che, alla luce delle innovazioni tecnologiche raggiunte, sarebbe possibile invertire la tendenza e ridurre gradualmente suddetti valori, con l'obiettivo di tenere sotto controllo gli effetti ambientali delle attività umane. Secondo questa logica, ogni settore produttivo verrebbe investito di una quota parte di contributo, compatibilmente con i vincoli imposti dalle previsioni e alla luce degli avanzamenti tecnologici che li rendono raggiungibili, mantenendo inalterati i livelli di benessere attualmente conseguiti. In sostanza, per rendere sostenibile un'operazione di tale portata, è in particolare all'edilizia, al settore energetico, dei trasporti e dei rifiuti cui si richiedono i maggiori sforzi per compensare l'impossibilità di riduzione degli altri.[9] Diviene importante, allora, giungere a strategie e metodologie progettuali che possano favorire il conseguimento degli obiettivi previsti nei tempi concordati in termini di efficientamento, risparmio energetico e abbattimento delle emissioni inquinanti. Alla luce di questo quadro, analizziamo più dettagliatamente come si articolano gli strumenti normativi e i documenti d'indirizzo che regolano la questione energetica in edilizia e costituiscono uno strumento di riferimento di qualsiasi azione progettuale, per cercare di comprenderne criticità, potenzialità ed elementi innovativi.

24. Alcune delle campagne stampa satiriche sul summmit di Copenhagen.

La Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e il Regolamento delegato 244/2012 UE

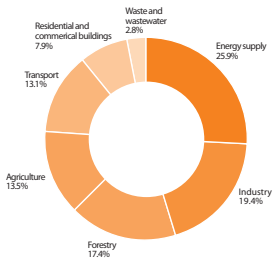
In un panorama normativo che prevede repentine e importanti mutazioni, appare prioritario comprendere gli enunciati, le intenzioni, le prospettive indicate dal governo europeo, per coglierne le conseguenze a livello disciplinare e più propriamente nell'ambito trasformativo dei sistemi urbani odierni. Di fronte al quadro economico globale, alle dinamiche demografiche e sociali, alle problematiche ambientali ed energetiche che il continente europeo è chiamato ad affrontare e in continuità con le politiche condotte in





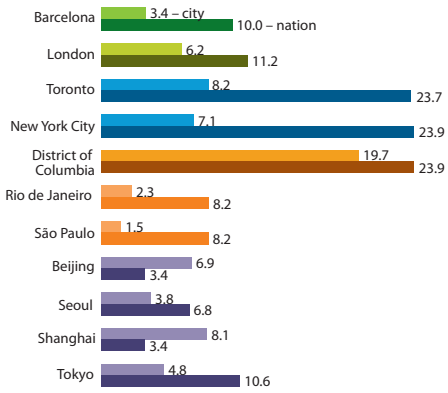
25. Le politiche nazionali sui cambiamenti climatici e la situazione del Protocollo di Kyoto.

GLOBAL GREENHOUSE GAS EMISSIONS

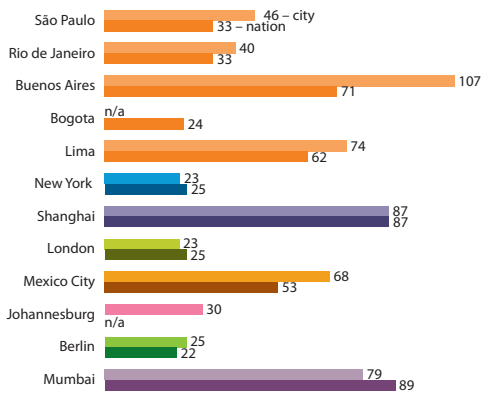


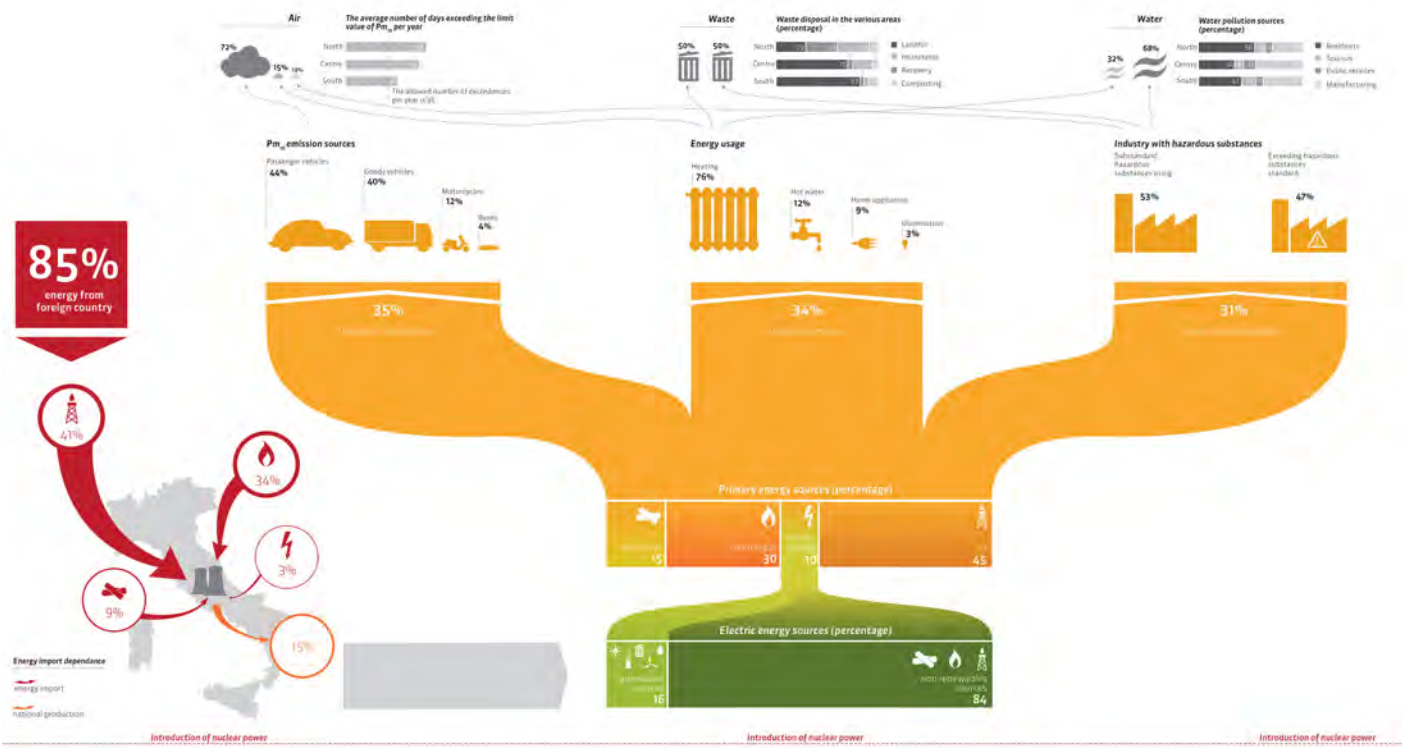
IPCC 2007, Working Group III

CARBON EMISSIONS PER CAPITA



AIR POLLUTION (PM10)





26. Profilo dei consumi energetici italiani.

27. In alto: emissioni di gas serra e inquinamento da polveri sottili delle maggiori metropoli modialli

28. In alto: incidenza dei settori produttivi sulle emissioni di gas serra

GEO/TIME	2010Q1	2010Q2	2010Q3	2010Q4	2011Q1	2011Q2	2011Q3	2011Q4	2012Q1	2012Q2
European Union (27 countries)	87.98	92.63	90.25	88.08	89.55	90.36	90.75	90.02	86.27	:
European Union (15 countries)	86.53	91.22	88.65	86.28	87.82	88.56	88.82	87.79	84.08	:
Euro area (17 countries)	84.11	88.52	84.11	81.49	83.27	83.70	84.03	82.63	79.19	:
Czech Republic	93.99	104.01	107.48	105.26	100.51	98.30	96.79	104.78	92.38	93.94
Denmark	80.54	85.17	85.39	82.74	90.02	84.02	88.65	89.68	89.49	:
Germany	97.99	114.33	114.33	107.59	122.83	123.12	122.95	123.40	120.11	125.09
Ireland	30.70	29.20	27.90	25.50	24.30	23.10	23.00	23.20	21.60	:
Greece	85.84	77.27	59.64	69.56	52.14	50.73	59.85	44.66	47.36	:
Spain	64.46	67.66	51.92	50.15	43.55	47.48	48.79	46.26	43.15	:
France	94.57	96.27	95.00	92.51	97.08	95.88	96.94	96.59	91.93	94.39
Italy	92.26	94.07	95.20	92.78	93.55	91.76	90.68	88.83	80.88	:
Netherlands	89.00	94.86	96.03	96.16	98.25	98.14	97.07	95.24	:	:
Austria	103.49	103.65	104.02	102.91	100.78	104.24	103.28	103.52	102.18	:
Poland	151.58	155.75	161.54	168.90	173.85	182.68	189.89	197.60	195.63	192.47
Portugal	78.30	76.30	77.18	71.99	71.99	68.54	68.41	62.13	62.81	55.37
Finland	111.40	122.79	121.45	126.03	130.22	133.85	133.36	134.37	135.85	:
Sweden	118.70	120.52	123.71	125.42	127.34	131.83	131.56	134.61	135.05	:
United Kingdom	92.48	98.28	101.13	99.21	99.34	101.09	100.80	100.52	95.29	91.54
Norway	102.20	103.30	105.40	105.60	104.00	106.30	107.20	111.70	114.60	:
Switzerland	106.92	109.72	111.76	111.51	112.71	114.07	112.25	110.04	108.05	:

29. Indice di produzione edilizia, Eurostat, 2012.

termini di *sviluppo sostenibile,* l'Unione ha adottato il testo qui analizzato con l'obiettivo specifico - espresso nell'articolo 1 - di "promuovere il miglioramento della prestazione energetica degli edifici […] tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi" (EU, 2010). Intenti, dunque, apertamente dichiarati e pienamente condivisibili che ruotano attorno ai rapporti tra la prestazione, il clima locale, il benessere e i costi.

Il recepimento da parte degli Stati membri della Direttiva ha avuto come prima *deadline* il 9 luglio 2012. A partire da tale data, seppur per gradi successivi s'è innescato il processo di adozione ed applicazione della norma, che giungerà a completezza entro un anno.[10] La formulazione degli enunciati, che precedono la direttiva e spiegano le motivazioni che ne hanno condotto alla stesura, assume sovente dei tratti assiomatici, di difficile dimostrabilità. Questo importante atto d'indirizzo dell'UE, cui pure va riconosciuto il tentativo di introdurre alcune novità potenziali, sembra contenere un vizio di fondo, celato tra le pieghe degli articoli e l'ostentata assertività delle considerazioni inziali: l'incrollabile fede nello sviluppo economico.

Com'è stato osservato - richiamando le parole di Georges Perec - si riscontra una certa reticenza a "mettere in discussione ciò che è abituale" nonostante l'affiorare di nuove problematiche che richiederebbero altrettanto nuove forme di pensiero. Ciò non fa altro che far emergere alcune contraddizioni e confermare quell'incondizionata adesione (in più occasioni riscontrata da parte dei governi europei) alla "virtuosa strada tecnocratica" che oggi porta il nome di *Green Economy* e sotto cui si celano categorie di pensiero consolidate (Cecere, 2012); suscita il timore la strategia, il general framework, cui il testo dovrebbe provvedere non abbia ancora raggiunto il livello di piena coscienza e maturità necessarie.

Osservando l'impostazione generale della norma, tale adesione evidenzia alcune incoerenze non da poco. La prima riguarda l'assoluta certezza nei riguardi dell'espansione del settore edilizio. Stando ai dati *Istat* ed *Eurostat*, il settore delle costruzioni edili sta attraversando notevoli difficoltà per effetto della crisi finanziaria internazionale del 2008, causata dallo sgonfiamento della bolla immobiliare statunitense. I numeri parlano di un costante calo degli indici di produzione edilizia che gli analisti prevedono possa ancora continuare (Eurostat, 2012; ISTAT, 2012). Ci si chiede, allora, quali possano essere le motivazioni che hanno spinto gli autori della norma a porre tra le prime considerazioni un'affermazione di questo tipo. La risposta potrebbe celarsi nel timore di non riuscire a raggiungere gli obiettivi energetici e ambientali prefissati con il reale contributo che il mercato dell'edilizia può fornire. Per "realizzare il grande potenziale di risparmio energetico nell'edilizia, tuttora inattuato" è necessaria la realizzazione di edifici di nuova

30. Confronto tra investimenti in ristrutturazioni e nuove costruzioni in Italia, CRESME, 2010.

costruzione a "energia quasi zero" per controbilanciare l'effetto energivoro del funzionamento dell'edilizia convenzionale. In Italia, ad esempio "le associazioni dei costruttori parlano di un mercato delle costruzioni rappresentato dal 98% da ristrutturazioni ed appena l'1,5-2% da nuove costruzioni" con un rinnovamento medio annuo del patrimonio edilizio intorno al 2% che, secondo alcune stime fornite dall'ENEA, per il comparto residenziale scende all'1% (Boiardi, Ferrante, & Gulli, 2012; Lattanzi, 2012). Appare evidente che questi dati sono sufficienti a rendere inattuabili tali obiettivi se giocati solamente sul terreno della nuova edificazione e a comprendere l'esistenza del rischio che la Direttiva si riveli un'arma potente ma caricata a salve. Se gli obiettivi sono effettivamente quelli stilati nel protocollo di Kyoto per il 2020 o nella Roadmap per il 2050, i punti cardine della Direttiva (riduzione del consumo energetico, utilizzo di energia da fonti rinnovabili ed efficientamento energetico) la massima incisività di suddetto "grande potenziale", seppur con maggiore complessità di attuazione, risiede nelle strategie trasformative dell'ambiente costruito esistente, piuttosto che nei nuovi edifici iper-efficienti.

È proprio in questa forte discrepanza di trattamento tra nuova edificazione e ristrutturazione che risiede il limite principale della norma, a cui però va riconosciuto il pregio di voler tramutare in pratiche operative diffuse le strategie di riduzione dei consumi energetici nell'edilizia. L'intenzione del legislatore è chiara: affidare al nuovo (e al settore pubblico *in primis*) il ruolo guida per la promozione delle strategie di attuazione. Ciò è comprensibile specie perché ci troviamo al primo livello di attuazione della norma, ma rischia di rendere sterili e tardivi gli sforzi che verranno profusi dagli Stati membri.

Ad un'analisi più approfondita emergono ulteriori elementi di primario interesse, che mostrano con maggiore risolutezza rispetto a quanto fatto in precedenza lo sforzo di orientare metodi di calcolo (e indirettamente strategie di progetto) nei confronti delle condizioni climatiche locali. Particolare attenzione viene posta ai fenomeni termodinamici che assumono rilevanza in special modo nei climi in cui la "componente" mediterranea, e pertanto la variabilità nel tempo delle condizioni climatiche, risulta prevalente rispetto a quella continentale, più estremi ma con minore complessità.[11] Con l'obiettivo da un lato di ridurre i carichi termici dovuti al raffrescamento estivo (in continua crescita) e dall'altro di fornire finalmente metodi di calcolo più consoni alle interazioni tra la complessità degli involucri mediterranei e il clima, la norma orienta le metodologie che gli Stati membri dovranno stabilire verso il superamento di quelle di tipo semi-stazionario finora adottate.

Suscita una certa perplessità, invece, la definizione di "ristrutturazione importante" che assume un ruolo cruciale per l'efficacia della Direttiva. Il rispetto dei nuovi requisiti minimi di prestazione energetica dovrà essere garantito, infatti, per tutti gli interventi nei quali "il costo complessivo della ristrutturazione per quanto riguarda l'involucro

dell'edificio o i sistemi tecnici per l'edilizia superi il 25% del valore dell'edificio" oppure per i quali "la ristrutturazione riguardi più del 25% della superficie dell'involucro dell'edificio". Tali requisiti, si legge nell'articolo 7, dovranno essere garantiti "per quanto tecnicamente, funzionalmente ed economicamente fattibile" (EU, 2010). S'introduce, quindi, un principio di fattibilità tecnico-economica in linea con gli enunciati generali dell'articolo 1. Allo stesso tempo, l'assenza di una definizione univoca evidenzia le difficoltà e le incertezze, suscitando perplessità sul conseguimento effettivo degli obiettivi di riduzione dei consumi energetici degli edifici. In primo luogo per la disomogeneità dei due criteri proposti agli Stati membri: uno basato sul costo, l'altro sulle superfici; in secondo luogo perché gran parte delle modificazioni a cui sono soggetti gli edifici in Europa non si concentrano su involucro o sistemi tecnici bensì sulle trasformazioni funzionali, tipologiche e d'uso e, pertanto, rischiano di non ricadere all'interno della Direttiva, se non limitatamente rispetto al numero complessivo di ristrutturazioni che hanno luogo (Cecere, 2012).

Ultimo aspetto su cui è bene soffermarsi, è il contenuto dell'articolo 5 della Direttiva e del correlato Regolamento Delegato n. 244/2012, relativi al calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi (EU, 2012). In essi viene descritto il quadro metodologico all'interno del quale gli Stati membri dovranno sviluppare il calcolo per giungere alla determinazione dell'*ottimalità dei costi* rispetto ai requisiti minimi di prestazione energetica per gli edifici nuovi ed esistenti. Il regolamento, in particolare, "specifica norme per comparare le misure di efficienza energetica, le misure che incorporano l'energia da fonti rinnovabili e i pacchetti e le varianti di tali misure, sulla base della prestazione energetica primaria e del costo assegnato alla loro attuazione. Stabilisce anche le modalità di applicazione di tali norme a determinati *edifici di riferimento* al fine di identificare livelli ottimali in funzione dei costi dei requisiti minimi di prestazione energetica" (EU, 2012). Si basa dunque sulla comparazione dei livelli ottimali di prestazione energetica con i corrispondenti requisiti esistenti, analizzando suddetti edifici di riferimento.[12] Tra le categorie di edifici considerate ci sono abitazioni monofamiliari, condomini di appartamenti e multifamiliari ed edifici adibiti a uffici, assolutamente non rappresentative della varietà morfo-tipologica e costruttiva mediterranea (specie se riferita all'edilizia del passato), ma quantomeno utili a definire un punto di partenza per una futura e più precisa articolazione dei contenuti della norma.

La prima questione cruciale sarà dunque la maniera con cui i singoli stati giungeranno a individuare degli edifici modello (uno per la nuova edificazione, due per l'esistente). L'affidabilità degli esiti allora si dovrà confrontare con le logiche tassonomiche delle tipologie edilizie: un tema inevitabilmente complesso e spinoso, in quanto spesso clas-

31. Tabelle con indicazioni sulle tipologie degli edifici di riferimento e sul calcolo della prestazione energetica contenute nel Reg. 224&

Edificio di riferimento per gli edifici esistenti (ristrutturazione completa)

Per gli edifici esistenti	Geometria dell'edificio (1)	Proporzione di superficie delle finestre dell'involucro dell'edificio e delle finestre senza esposizione al sole	Superficie in m^2 a norma del codice dell'edilizia	Descrizione dell'edificio (2)	Descrizione della tecnologia di costruzione media (3)	Prestazione energetica media kWh/m^2, a (prima dell'investimento)	Requisiti a livello di componenti (valore tipo)
1) **Edifici monofamiliari e sottocategorie**							
Sottocategoria 1							
Sottocategoria 2 ecc.							
2) **Condomini di appartamenti e multifamiliari**							
3) **Edifici per uffici e sottocategorie**							
4) **Altre categorie di edifici non residenziali**							

Esempio di tabella di base per riferire sui dati attinenti alla prestazione energetica

			Quantità	Unità	Descrizione
Calcolo	Metodo e strumenti				Breve descrizione del metodo di calcolo adottato (per esempio con riferimento a EN ISO 13790) e osservazioni sugli strumenti di calcolo impiegati.
	Fattori di conversione dell'energia primaria				Valori dei fattori di conversione dell'energia primaria in energia fornita (per vettore energetico) impiegati per il calcolo.
Condizioni climatiche	Ubicazione				Nome della località con indicazione di latitudine e longitudine.
	Riscaldamento gradi-giorni			HDD	Da valutare conformemente alla norma EN ISO 15927-6, specificando il periodo di calcolo.
	Rinfrescamento gradi-giorni			CDD	
	Fonte della serie di dati climatici				Fornire i riferimenti alla serie di dati climatici impiegata per il calcolo.
	Descrizione del terreno				P. es.: zona rurale, suburbana, urbana. Specificare se la presenza di edifici vicini sia stata presa in considerazione.
Geometria dell' edificio	Lunghezza × larghezza × altezza			m × m × m	Connesso al volume di aria da riscaldare/condizionare (EN 13790) e considerando come «lunghezza» la dimensione orizzontale della facciata orientata a sud.

			Quantità	Unità	Descrizione
	Numero di piani			—	
	Rapporto S/V (superficie/volume)			m^2/m^3	
	Rapporto fra la superficie delle finestre e la superficie totale dell'involucro dell'edificio	Sud		%	
		Est		%	
		Nord		%	
		Ovest		%	
	Orientazione			°	Angolo azimutale della facciata sud (deviazione dalla direzione sud della facciata orientata a sud)
Apporti interni	Utilizzazione dell'edificio				Sulla base delle categorie proposte all'allegato 1 della direttiva 2010/31/UE
	Apporto termico medio degli occupanti			W/m^2	
	Potenza elettrica specifica del sistema di illuminazione			W/m^2	Potenza elettrica totale del sistema di illuminazione completo degli spazi condizionati (tutti i punti luce + impianti di controllo del sistema di illuminazione).
	Potenza elettrica specifica dell'impianto elettrico			W/m^2	
Elementi edilizi	Valore U medio delle pareti			W/m^2K	Valore U ponderato di tutte le pareti: U_parete = (U_parete_1 · A_parete_1 + U_parete_2 · A_parete_2 + … + U_parete_n · A_parete_n)/(A_parete_1 + A_parete_2 + … + A_parete_n); ossia: U_parete_i = valore U di parete di tipo i; A_parete_i = superficie totale di parete di tipo i
	Valore U medio del tetto			W/m^2K	Analogo alle pareti.
	Valore U medio del piano interrato			W/m^2K	Analogo alle pareti.
	Valore U medio delle finestre			W/m^2K	Analogo alle pareti; deve tenere conto del ponte termico dovuto agli infissi e alle divisioni (secondo la norma EN ISO 10077-1).
	Ponti termici	Lunghezza totale		m	
		Trasmittanza termica lineare media		W/mK	
	Capacità termica per superficie di unità	Pareti esterne		J/m^2K	Da valutare secondo la norma EN ISO 13786.
		Pareti interne		J/m^2K	
		Solette		J/m^2K	
	Tipo di sistemi di ombreggiamento				P. es. veneziane, tapparelle, tende ecc.
	Valore g medio di	Vetratura		—	Trasmittanza totale di energia solare della vetratura (per la radiazione perpendicolare alla vetratura), ossia: valore ponderato in funzione della superficie delle diverse finestre (da valutare secondo la norma EN 410).
		Vetratura + ombreggiamento		—	La trasmittanza totale di energia solare della vetratura e un dispositivo esterno di protezione solare vanno valutati secondo la norma EN 13363-1/-2.
	Tasso di infiltrazione (ricambi d'aria all'ora)			1/h	P. es. calcolata per una differenza di pressione interna/esterna di 50 Pa.

			Quantità	Unità	Descrizione
Sistemi per l'edilizia	Sistema di ventilazione	Ricambi d'aria all'ora		1/h	
		Efficienza di recupero del calore		%	
	Guadagni di efficienza del sistema di riscaldamento	Generazione		%	Da valutare secondo le norme EN 15316-1, EN 15316-2-1, EN 15316-4-1, EN 15316-4-2, EN 15232 EN 14825, EN 14511.
		Distribuzione		%	
		Emissione		%	
		Controllo		%	
	Guadagni di efficienza del sistema di rinfrescamento	Generazione		%	Da valutare secondo le norme EN 14825, EN 15243, EN 14511, EN 15232.
		Distribuzione		%	
		Emissione		%	
		Controllo		%	
	Guadagni di efficienza del sistema di acqua calda sanitaria	Generazione		%	Da valutare secondo le norme EN 15316-3-2, EN 15316-3-3.
		Distribuzione		%	
Valori programmati e programmazione oraria negli edifici	Temperatura programmata	Inverno		°C	Temperatura interna funzionale.
		Estate		°C	
	Umidità programmata	Inverno		%	Umidità relativa interna, se del caso: «L'umidità ha un effetto minimo sulla sensazione termica e sulla percezione della qualità dell'aria negli ambienti a occupazione sedentaria» (EN 15251).
		Estate		%	
	Orari e controlli di funzionamento	Occupazione			Fornire osservazioni o riferimenti (norme EN o nazionali ecc.) per le programmazioni utilizzate per il calcolo.
		Illuminazione			
		Apparecchi			
		Ventilazione			
		Sistema di riscaldamento			
		Sistema di rinfrescamento			
Fabbisogno e consumo energetico dell'edificio	Contributo energetico (termico) delle principali strategie passive attuate	1) …		kWh/a	P. es. serra solare, ventilazione naturale, illuminazione naturale ecc.
		2) …		kWh/a	
		3) …		kWh/a	
	Fabbisogno energetico del riscaldamento			kWh/a	Calore da fornire a uno spazio condizionato o da estrarre dal medesimo per mantenere le condizioni di temperatura desiderate durante un dato periodo di tempo.
	Fabbisogno energetico del rinfrescamento			kWh/a	
	Fabbisogno energetico dell'acqua calda sanitaria			kWh/a	Calore da fornire alla quantità necessaria di acqua potabile sanitaria per elevarne la temperatura da quella del circuito di acqua fredda alla temperatura prefissata di fornitura nel punto di utilizzo.
	Fabbisogno energetico di altre funzioni (umidificazione, deumidificazione)			kWh/a	Calore latente nel vapore acqueo fornito a uno spazio condizionato o da esso estratto da un sistema tecnico per gli edifici al fine di mantenere un'umidità minima o massima specificata nello spazio stesso (se del caso).

			Quantità	Unità	Descrizione
	Fabbisogno energetico della ventilazione			kWh/a	Alimentazione elettrica al sistema di ventilazione per la movimentazione dell'aria e il recupero del calore (esclusa l'alimentazione di energia per il preriscaldamento dell'aria) e alimentazione di energia ai sistemi di umidificazione per sopperire ai bisogni di umidificazione.
	Consumo di energia per l'illuminazione interna			kWh/a	Alimentazione elettrica al sistema di alimentazione e ad altri apparecchi/sistemi.
	Consumo di energia per altri usi (apparecchi, illuminazione esterna, sistemi ausiliari ecc.)			kWh/a	
Generazione energia sul sito dell'edificio	Energia termica da fonti rinnovabili (per esempio pannelli solari termici)			kWh/a	Energia da fonti rinnovabili (non esaurite per estrazione, quali energia solare, vento, energia idrica, biomassa rinnovabile) o cogenerazione.
	Elettricità generata nell'edificio e utilizzata in loco			kWh/a	
	Elettricità generata nell'edificio e immessa sul mercato			kWh/a	
Consumo di energia	Energia fornita	Elettricità		kWh/a	Energia, espressa per vettore energetico, fornita ai sistemi tecnici per l'edilizia attraverso il limite del sistema per servire agli usi considerati (riscaldamento, rinfrescamento, ventilazione, acqua calda sanitaria, illuminazione, apparecchi ecc.).
		Combustibili fossili		kWh/a	
		Altri (biomassa, teleriscaldamento, telerinfrescamento ecc.)		kWh/a	
	Energia primaria			kWh/a	Energia non sottoposta ad alcun processo di conversione o trasformazione.

sificare vuol dire escludere criticamente. La corrispondenza tra modello metodologico di analisi e dominio tipologico corrispondente è la discriminante che diviene fondamentale per la validità del processo di analisi.
Un secondo elemento critico, può intravedersi nella scelta dell'ubicazione climatica: di fronte alla marcata variabilità climatica riscontrabile nei climi mediterranei, risulta piuttosto complicato immaginare come un esiguo campione di elementi possa esserne rappresentativo. L'evidente esigenza di uniformità dei sistemi di valutazione poco concilia con il carattere di spiccata località di buona parte del territorio e dell'architettura europea dal punto di vista morfologico, tipologico, costruttivo, funzionale, d'uso, tecnologico, etc. L'incapacità al confronto con i caratteri locali "viene percepita dagli Organismi Comunitari come un fastidioso ostacolo al progresso dei processi di razionalizzazione del settore, piuttosto che come occasione per un reale avanzamento delle conoscenze scientifiche e tecnologiche applicate all'edilizia" e per migliorare la qualità complessiva degli edifici e delle città nel rispetto dei caratteri locali (Cecere, 2012 p. 13).
Ultimo aspetto di cui si ritiene opportuno dare conto è l'introduzione nelle procedure di calcolo dell'interazione tra variabilità dei regimi ed edificio (ad esempio l'effetto delle masse inerziali) nonché dei contributi delle eventuali strategie energetiche passive (serre solari, ventilazione ed illuminazione naturale, etc.) dettagliatamente descritte nell'*Allegato 3* al testo. Elementi indispensabili se si vuole fornire una modellazione il più possibile aderente alla realtà in caso di edifici localizzati nell'area mediterranea. Nello stesso allegato, inoltre, la norma fornisce chiarimenti sulle procedure comparative tra le diverse caratteristiche delle *varianti/misure/pacchetti* selezionati applicati nel calcolo dell'ottimalità dei costi, rispetto allo scenario di riferimento. Qui l'indicazione è di partire dalle tecnologie e dalle soluzioni più comuni e quindi proseguire con quelle più innovative.
Anche in questo caso, allora, emerge lo spirito della nuova regolamentazione europea: rendere la Direttiva di facile applicabilità per estendere il campo della certificazione delle prestazioni energetiche, ad oggi in netto ritardo rispetto agli obiettivi comunitari prefissati. Toccherà dunque agli stati membri - al momento del recepimento e della messa a punto delle leggi nazionali - raccogliere la sfida più difficile lanciata dalla norma: conciliare la complessità e la variabilità del carattere locale mediterraneo con l'adeguatezza dei parametri prestazionali che la descrivono e l'affidabilità di applicazione per una reale efficacia dei provvedimenti.
In questo senso, per dirla con le parole di Maria Chiara Torricelli: "Se il quadro normativo che si apre con il 2012 è strategico, innovativo e ambizioso nei suoi obiettivi, l'unica soluzione è affrontarlo con competenza, spirito critico e umiltà […] facendo valere le specificità che il buon costruire nel Mediterraneo rappresenta" (Torricelli, 2012).

Oltre la norma: la Roadmap 2050 e l'Energy Report 2011

Per avere una visione strategica globale e inquadrare meglio le politiche direttive dell'Unione, può essere d'aiuto un'analisi di due documenti che hanno costituito l'agenda recente. Il primo, a scala europea, commissionato dall' European Climate Foudation (ECF) e intitolato *Roadmap 2050: A Practical Guide to a Prosperous, Low-Carbon Europe,* propone una vision per giungere alla riduzione delle emissioni di gas serra (OMA & ECF, 2010). Il secondo, a scala globale, promosso dal WWF e intitolato *The Energy Report: 100% renewable energy by 2050*, offre soluzioni per giungere alla completa transizione all'utilizzo delle fonti rinnovabili per l'autosufficienza energetica (WWF, Ecofys, OMA, & Stephan, 2011).

Entrambi sono una chiara dimostrazione della necessità di ampliamento della visuale per approcciarsi alla portata dei problemi odierni. Non è un caso che all'interno dei due gruppi di lavoro sia presente *OMA*, per mezzo del suo partner omologo *AMO*.[13] La loro presenza nello sviluppo di entrambi i progetti potrebbe essere stata portatrice della visione analitica a scala globale su cui si strutturano le proposte dei due documenti. Del resto OMA, in proposte del recente passato, aveva già sperimentato le potenzialità progettuali dell'utilizzo simultaneo di più prospettive dimensionali nell'ambito delle questioni poste dalle interazioni tra sistemi urbani ed energia: si pensi ad esempio al *Zeekracht Energy Supergrid* del 2008.[14]

Segno tangibile che gli organismi comunitari avevano chiara l'importanza strategica del momento decisionale, alla pubblicazione della Direttiva 2010/31/UE - presentata nel paragrafo precedente - avevano fatto precedere le analisi tecniche, economiche e politiche, fatte ricadere sotto il nome Roadmap 2050, che l' ECF aveva affidato nelle mani di prestigiosi centri di ricerca, università e società, e immediatamente presentata pubblicamente in molte città europee (Cecere, 2012).15 La Roadmap si pone l'obiettivo di "fornire un analisi concreta, indipendente e oggettiva del percorso da compiere per raggiungere in Europa una low-carbon economy in linea con gli obiettivi dell'UE sia economici che di sicurezza energetica e ambientale". Appena un mese prima della disastrosa conferenza di Copenhagen COP15 indetta dalle Nazioni Unite, i membri dell'unione firmano un accordo, dichiarandolo però non vincolante, per la riduzione delle emissioni di CO2 dell'80% rispetto ai valori del 1990 entro il 2050.

32. La cooperazione degli stati dell'Unione verso un Europa sempre più "green".

Tratteggiata sullo sfondo di un'ormai ineludibile crisi ambientale, dei disastri e dei costi che essa determina, i redattori si prodigano nel comunicarci che siamo di fronte all'ultima rivoluzione in ordine temporale a cui ha assistito l'Era Moderna: la rivoluzione delle energie rinnovabili. Quasi a voler tranquillizzare l'Europa che quest'ultimo, ulteriore e radicale passaggio condurrà le generazioni future a sempre più alti livelli di

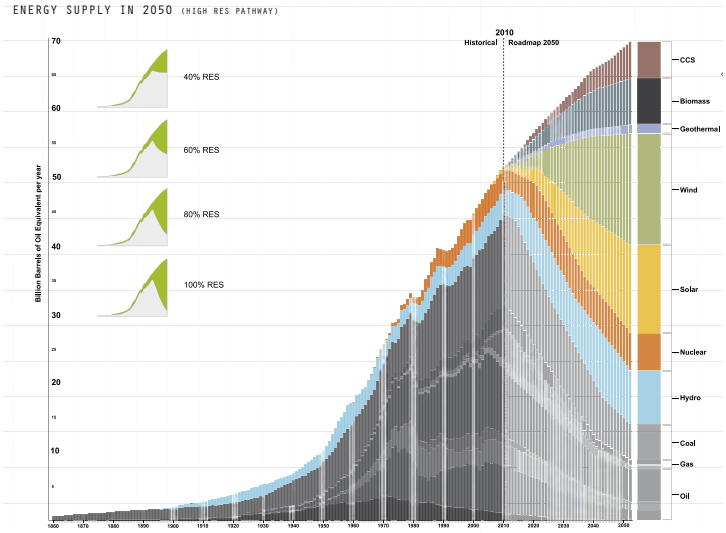
33. Zeekracht Energy Grid, OMA.

benessere, la presentazione è preceduta da una cronistoria illustrata in cui sono mostrate tutte le innovazioni tecnologiche che hanno migliorato il mondo, richiamandosi alla celebre affermazione "La Storia ripete se stessa". Quasi a voler dire: non c'è da preoccuparsi, la rivoluzione delle energie rinnovabili non sconvolgerà le vostre vite; è relativamente economica, tecnologicamente fattibile, pressoché invisibile…insomma: a portata di mano…purché, si legge, "l'Europa sia pronta ad accettare la sfida" (OMA & ECF, 2010).

Inoltre nel documento ci viene dimostrata non solo la necessità dell'operazione, la sua fattibilità tecnica ed economica, ma quanto sia notevolmente vantaggiosa rispetto alla creazione di benefici diretti ed indiretti: dalla riduzione dei costi delle catastrofi naturali, alla creazione di posti di lavoro, alla possibilità di sfruttare le potenzialità dei mercati orientali, al ridotto costo pro-capite dell'intera operazione. Ma di là da tutto ciò, che pure suscita non poca curiosità, due elementi sono particolarmente significativi. Il primo concerne l'approccio sistemico utilizzato per risolvere il problema, che richiama l'attenzione sulla necessità di strutturare le soluzioni al di fuori delle categorie disciplinari tradizionali. Il secondo, riguarda il contribuito all'operazione dato dal comparto edilizio.

Elemento cardine della *Roadmap 2050* è l'aver compreso, e allo stesso tempo considerato, che la soluzione al problema energetico risiede in un approccio alla grande scala, in cui le singole componenti locali sfruttano il potenziale delle risorse energetiche naturali disponibili localmente e le condividono per mezzo di una nuova rete infrastrutturale nata dal potenziamento dell'attuale. Il documento è fondato non solo, dunque, su un ampliamento della prospettiva dimensionale di riferimento ma, soprattutto, sull'integrazione degli interventi tra le diverse scale.

La strategia progettuale mira a razionalizzare e sistematizzare le risorse regionali, indipendentemente dalle barriere costituite dai confini degli stati membri: superando il quadro energetico attuale, frammentato e spesso non pienamente efficace perché limitato entro i singoli confini nazionali, lo scenario tende a comporre una mosaico di approvvigionamento energetico da fonti rinnovabili sfruttando al meglio le potenzialità delle singole "regioni energetiche". La diversificazione dei contributi così strutturati oltre a costituire un sistema razionale e a maggiore efficienza, permette una distribuzione di energia costante e in linea con le previsioni della domanda, sopperendo alla variabilità stagionale di alcune delle risorse: l'esempio lampante è la possibile compensazione tra l'energia eolica del nord e quella solare del sud nelle alternanza estate-inverno. In aggiunta, la transizione alle fonti rinnovabili consente all'Europa di "conseguire la propria sicurezza energetica e ridurre la dipendenza dagli altri stati, specialmente da quelli situati in regioni politicamente instabili" (OMA & ECF, 2010 p. 72). Per ultimo, la ricerca



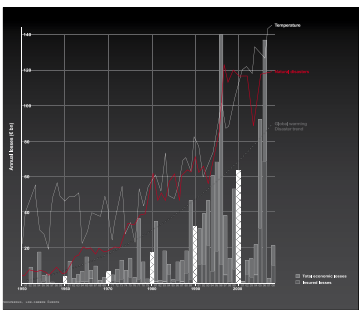
34. Andamento e previsione dei contributi delle diverse fonti energetiche sulla produzione elettrica fino al 2050, OMA, 2010.

dimostra la fattibilità economica dell'impresa: senza nascondere la rilevanza degli investimenti iniziali (paragonabili a quelli sostenuti per due anni di guerra in Iraq), si viene messi in guardia sulle conseguenze di eventuali ritardi nelle operazioni che finirebbero per far lievitare i costi che, nel caso si operasse da subito, risulterebbero essere sostenibili per i singoli e controbilanciati da una riduzione della bolletta energetica.

Il progetto dichiara apertamente, con una sorta di velata ironia, la sua inevitabile complessità su un duplice livello: quello propriamente tecnico, nella necessità di potenziamento delle rete energetica e quello politico. Il primo, è testimoniato dalla preoccupazione da parte degli autori di dover riscuotere il consenso del pubblico, al punto da a giungere persino a prefigurarci una nuova iconografia dell'*Energy Grid,* con tanto di previsione sulle proteste *no global* connesse. Il secondo, è denunciato provocatoriamente presentando la proposta di ridisegno dei confini di *Eneropa*: un'Europa le cui frontiere non prendono più a riferimento i limiti politici, ma ove "la potenza razionalizzatrice del governo tecnologico e tecnocratico europeo dell'energia" (Cecere, 2012 p. 12) li ridefinisce per effetto della prevalenti vocazioni regionali all'utilizzo efficiente delle risorse energetiche: nascono così *Solaria*, l'*Isola del Vento*, *Lo Stato delle Maree*, *Città della Biomassa*, *Geotermalia*, *Hydropia* etc.[16]

Il secondo aspetto rilevante riguarda il ruolo dei settori produttivi e in particolare dell'edilizia, in un processo di tale portata. Si può comprendere senza troppa fatica che i diversi ambiti che costituiscono l'insieme delle attività umane sono considerati dallo studio all'interno di un quadro previsionale che tiene in conto le necessità e le opportunità costituite dalle condizioni al contorno: l'insieme delle interazioni equilibrate tra livelli di benessere, obiettivi politico-economici e avanzamenti scientifico-tecnologici (raggiunti e futuribili). Su ciò dunque si basano le strategie attuative di riduzione dei gas serra previste e proposte, bilanciate con contributi percentuali differenti.

Ad esempio, agricoltura e industria si presume potranno fornire una riduzione ancora ben al di sotto del target medio complessivo (rispettivamente del 20% e 40%). Mentre energia, trasporti terrestri, rifiuti ed edifici, possedendo un maggior potenziale di efficientamento alla luce delle innovazioni tecnologiche acquisite, potranno contribuire maggiormente, in modo da compensare l'incapacità al contenimento delle emissioni da parte degli altri settori. Consapevoli delle possibilità di avanzamento annidate nel complesso di attività che costituiscono il campo dell'edilizia, ad essa si richiede uno sforzo maggiore e le si assegna una percentuale di riduzione delle proprie emissioni pari al 95%. Un dato sostenuto in più punti del documento dal ribadire il ruolo strategico di tale settore per il raggiungimento dell'obiettivo: "per contenere i costi e riuscire a coprire la futura, crescente domanda energetica il fronte dell'efficientamento energetico [degli edifici *Ndt*] è cruciale" (OMA & ECF, 2010). In fondo siamo tutti a conoscenza



35. "Stando ai costi crescenti dei disastri naturali, un fallimento nella comprensione delle cause verrebbe pagato a un prezzo molto elevato." OMA, 2010.

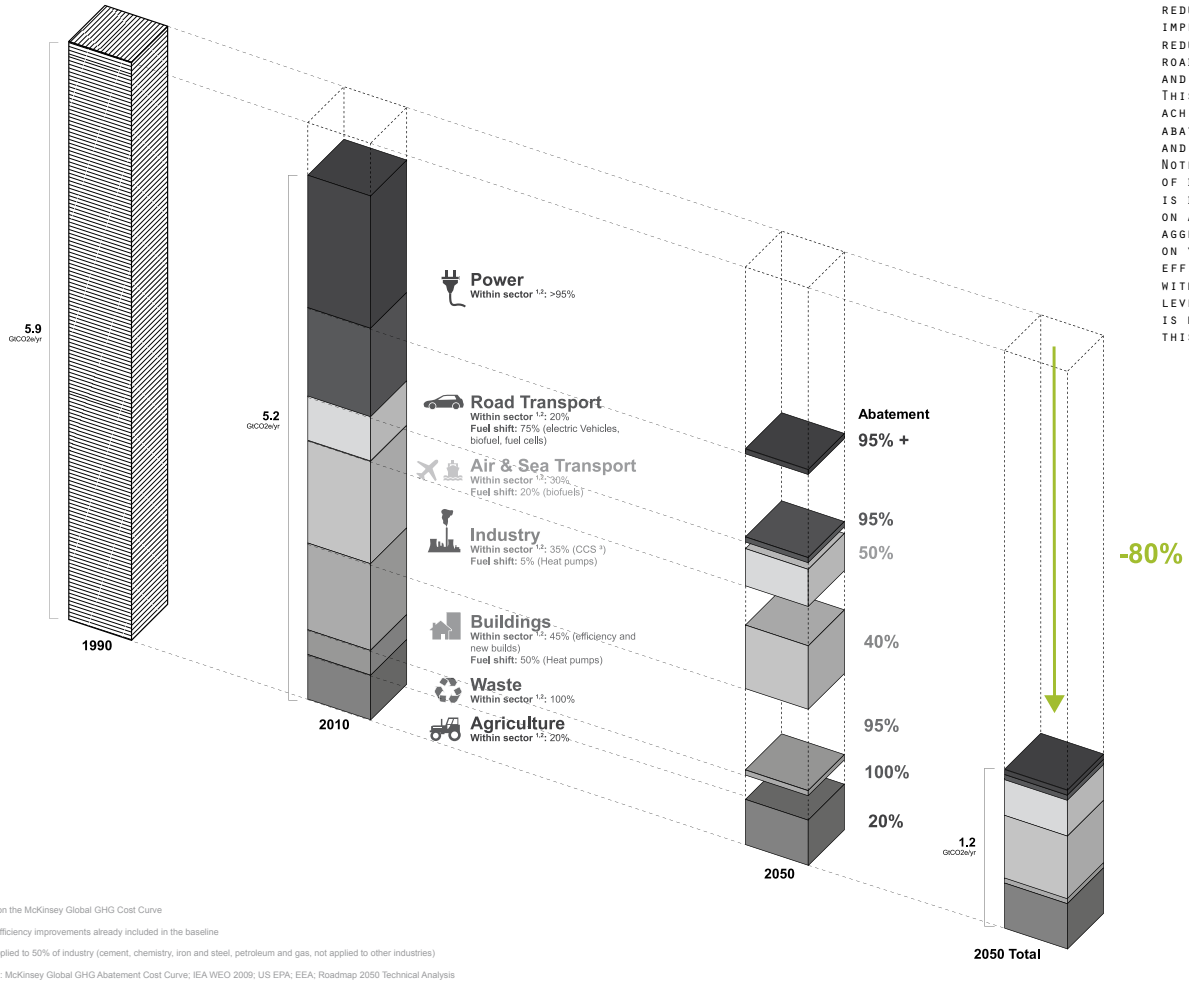
delle notevoli inefficienze celate dietro le facciate delle nostre case, in gran parte risalenti ad epoche in cui l'abbondanza e l'accessibilità alle risorse fossili a buon mercato ci permetteva il lusso di poter sostenere i costi della loro condizione di "colabrodi energetici". Su questa inefficienza, oggigiorno divenuta intollerabile, fa leva lo scenario della *Roadmap*, indicandoci il terreno su cui si gioca la sua riuscita: l'applicazione a più ampio spettro di due elementi. Le tecnologie ormai divenute comuni che permettono una consistente riduzione dei consumi (emblematico il rifermento alla sostituzione delle lampade a incandescenza con quelle a risparmio enegetico); le strategie progettuali per nuove costruzione efficienti e quelle per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente. Lo studio è prodigo nel fornirci anche una stima dei due contributi specifici: 50% per il passaggio a nuove fonti e applicazione di sistemi a maggior resa energetica, 45% gli interventi più propriamente appartenenti alla progettazione architettonica.

Di fronte a questo scenario sembra lecito porsi una questione sulla capacità di risposta da parte del patrimonio edilizio europeo. Non v'è dubbio che nell'ormai vecchia Europa - come segnalato per altre questioni legate all'ambiente costruito - per giungere a un'effettiva riduzione delle emissioni ci si debba confrontare necessariamente, oltre che con le parti di nuova edilizia, all'efficientamento dell'esistente. Oggi ancor di più, in un quadro globale dominato da una crisi economica, il successo della proposta dell'ECF è custodito in larghissima parte nell'intervento sul costruito.[17] Resta l'incognita, allora, di come siano state stimate le due componenti che compongono quel 45% e se non ci sia stato da parte degli organi europei, come nel caso della Direttiva 2010/31/UE, eccessiva fiducia nelle capacità di espansione del mercato edilizio. Sembrerebbe che ancora una volta il pensiero "immaturo" proprio dell'era tecnocratica si sia fatto trascinare dalla logica abituale, determinando l'unica visione di cui sia capace a causa della limitata capacità di controllo della complessità dei fenomeni. Per tentare di risolvere l'intricato quadro che fronteggiamo fatto di previsioni incerte, il contributo della ricerca deve essere quello di strutturare proposte metodologiche e progettuali che favoriscano interventi efficaci di riqualificazione energetica e contribuiscano a compensare gli scarsi effetti della lenta sostituzione del patrimonio edilizio con nuove costruzioni. Un contributo che seppur richieda maggiori sforzi andrebbe ben oltre le potenzialità della semplice introduzione/sostituzione di tecnologie a basso consumo richiamate dalla stessa *Roadmap* (emblematico l'esempio della lampadina) e contribuirebbe ad avvicinarsi al raggiungimento degli obiettivi europei sulla riduzione dei gas serra intervenendo direttamente sulla domanda energetica, piuttosto che su consumo e impatto conseguenti.

L'altro documento su cui vale la pena riflettere è l'*Energy Report 2011* del WWF: "uno scenario provocatorio del mondo nel 2050 alimentato interamente da energie rinnov-

80% CO2 EMISSION REDUCTION

THE 80% CO2 REDUCTION OVERALL IMPLIES 90-95% REDUCTION IN POWER, ROAD TRANSPORT AND BUILDINGS. THIS COULD BE ACHIEVED BY MAXIMUM ABATEMENT WITHIN AND ACROSS SECTORS. NOTE: THIS LEVEL OF DECARBONIZATION IS DEPENDENT ON ACHIEVING AGGRESSIVE 2% YEAR ON YEAR ENERGY EFFICIENCY SAVINGS, WITHOUT WHICH THIS LEVEL OF ABATEMENT IS NOT POSSIBLE IN THIS MODEL.



1 Based on the McKinsey Global GHG Cost Curve

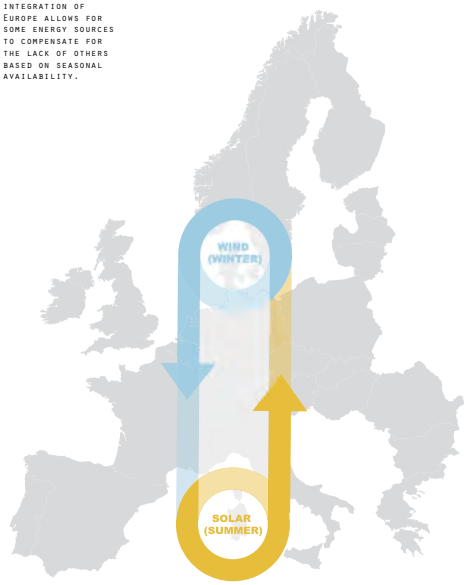
2 Large efficiency improvements already included in the baseline

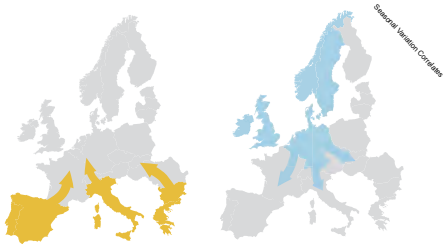
3 CCS applied to 50% of industry (cement, chemistry, iron and steel, petroleum and gas, not applied to other industries)

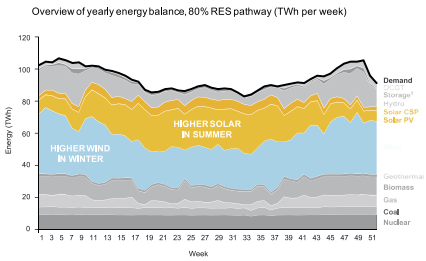
SOURCE: McKinsey Global GHG Abatement Cost Curve; IEA WEO 2009; US EPA; EEA; Roadmap 2050 Technical Analysis

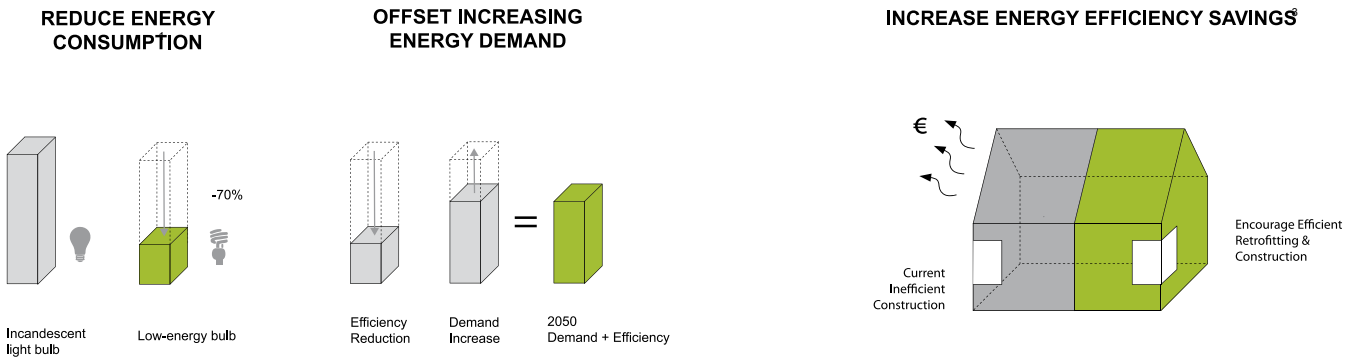
36. I vantaggi dell'integrazione delle fonti rinnovabili (accanto) e le diverse componenti di riduzione delle emissioni di gas serra per settore produttivo (in alto), OMA, 2010.

OVER THE COURSE OF THE YEAR, THE INTEGRATION OF EUROPE ALLOWS FOR SOME ENERGY SOURCES TO COMPENSATE FOR THE LACK OF OTHERS BASED ON SEASONAL AVAILABILITY.









38. Riduzione ed efficientamento: punti chiave della sostenibilità della Roadmap 2050.

abili" (WWF et al., 2011). È interessante analizzarne i contenuti per porre l'accento su analogie e differenze di approccio tra un simile studio, dichiarato indipendente, e le più ortodosse politiche messe a punto dagli organi di governo internazionali. Non un testo prescrittivo, dunque, ma una *vision* - come viene definito nelle righe di presentazione - frutto di circa due anni di lavoro condotto in partenariato tra il WWF, Ecofys e AMO, che propone le principali sfide politiche, economiche, sociali e ambientali da affrontare per giungere alla completa transizione alle energie rinnovabili. Il nucleo della ricerca è costituito da un dettagliato scenario tecnico-economico con l'obiettivo principale di "inspirare governi e mercati", generare interesse e dibattito intorno a quella che viene definita come la madre di tutte le sfide che il nostro tempo è chiamato a fronteggiare. Esaurimento delle fonti fossili tradizionali, cambiamenti climatici, effettiva disponibilità delle risorse naturali rinnovabili a copertura dell'intera domanda energetica, avanzamenti tecnologici sufficienti alla fattibilità dell'operazione, sono le premesse e gli enunciati su cui è fondata la ricerca. Si legge nel testo che "questa transizione non solo è possibile ma anche redditizia, garantendo energia accessibile a tutti e producendola in modo da essere sostenibile per il mercato globale e per il pianeta" (WWF et al., 2011, p. p. 7). In buona sostanza, lo scenario proposto dal WWF sembra sposare un approccio tanto convenzionale nei contenuti, quanto innovativo per la natura dimensionale e sistemica assunta come riferimento. Consapevole che ormai le singole conoscenze disciplinare e gli avanzamenti tecnologici hanno raggiunto la maturazione necessaria (ma forse non sufficiente) a immaginare soluzioni al problema energetico, la vera sfida da fronteggiare è "applicare queste soluzioni all'interno di un quadro globale a grande scala il prima possibile" (WWF et al., 2011 p. 44). *L'Energy Report 2011* s'impone come un tentativo di reazione alle pratiche operative messe in atto dalle singole discipline che sembra incarnare quel medesimo spirito culturale necessario al superamento della crisi dell'epoca moderna fortemente evocato da Sertorio che, riferendosi al pensiero occidentale, la ascrive alla sempre maggiore parcellizzazione dei saperi iniziata ai tempi della rivoluzione galileiana.

37. Fattibilità economica della Roadmap 2050, OMA, 2010..

Non è difficile pertanto prevedere che la prima grande difficoltà che incontrerà la messa a punto delle operazioni necessarie nei diversi settori per conseguire gli obiettivi proposti dal WWF, appare proprio questo "salto di astrazione" che permetta il superamento del "grande vuoto" di conoscenza in cui finora ha grossolanamente operato indisturbato il mito tecno-economico (Sertorio, 2002 p. 72). In un'epoca in cui pare venga messa in discussione la potenza egemone statunitense, che in passato ha determinato le traiettorie di sviluppo di buona parte del globo, occorre immaginare e profondere uno sforzo notevole non solo ripensando il sistema finanziario globale e gli stili di vita, ma soprattutto fronteggiando il delicato tema della "cooperazione e collaborazione internazionale

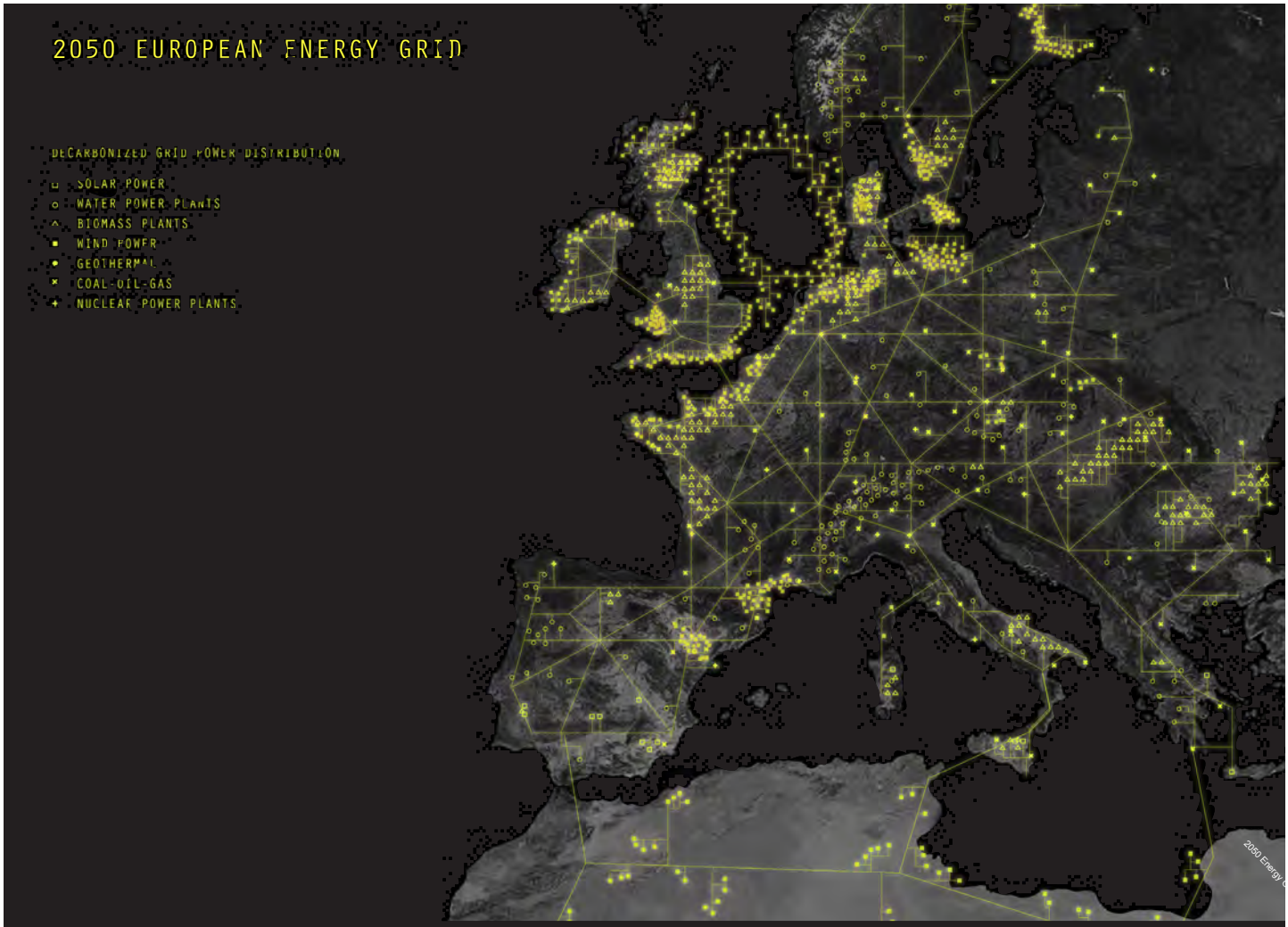
39. La potenza razionalizzatrice del governo tecnocratico dell'unione ridisegna i confini d'Europa, OMA, 2010.

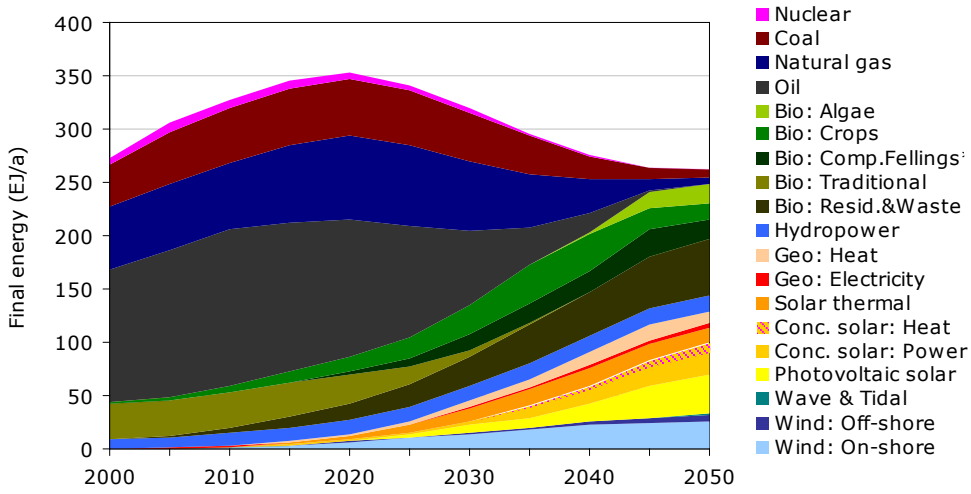
40. A fronte: rete elettrica europea ,secondo la Roadmap 2050 e mondiale, secondo il WWF Energy Report 2011.

senza precedenti per colmare il vuoto tra gli energeticamente ricchi e gli energeticamente poveri" (WWF et al., 2011 p. 43). Alla luce di tutto ciò si può certamente suggerire che lo scenario è tanto affascinante quanto grandioso, quasi pretenzioso. Seppure il suo scopo principale sia quella di agire da "grimaldello logico", non ci si può esimere dal rilevare il pragmatismo delle analisi tecnico-economiche in cui ci si rende conto delle principali sfide da affrontare nei diversi ambiti: risparmio energetico, elettrificazione, equità, uso del suolo e del mare, stile di vita, finanza e innovazione.

Particolarmente rilevante sono i primi due temi sopraelencati. Il primo perché chiama in causa direttamente l'ambiente costruito e la sua trasformazione; il secondo perché propone un esempio su un tema concreto della visione globale finora trattata. Nell'affrontare ciò, il meticoloso scenario proposto da *Ecofys* è pensato per essere "ambizioso e radicale, ma è basato fortemente su ciò che esiste tuttora. Sono state prese in considerazione esclusivamente le tecnologie e i processi già comprovati" (WWF et al., 2011 p. 79). Il report si differenzia da altri scenari simili, perché non sviluppato secondo la logica *business-as-usual*, ma sull'ipotesi di una riduzione dei consumi energetici del 15% nel 2050 rispetto al 2005.[18] Senza questa fondamentale transizione da un utilizzo irrazionale e scriteriato dell'energia verso la sua massima conservazione possibile, risulterebbe impossibile coprire i futuri bisogni. A supporto di un'operazione di tale portata, lo scenario prevede ingenti investimenti nel campo della ricerca e delle innovazione da qui alla scadenza: nell'ambito del risparmio energetico - attualmente rilevata come l'esigenza più pressante - e in particolare nelle reti di fornitura, nelle fonti rinnovabili, nello stoccaggio, nel ruolo dell'idrogeno, etc.

Ma è ancor più interessante osservare come si giunga a considerare il settore dell'edilzia e quali ipotesi costituiscono la base per la costruzione dello scenario. La questione viene sviscerata secondo due aspetti: l'evoluzione prevista del settore e come su di questa si possa agire per migliorarne l'efficienza. Sulla base della crescita mondiale della popolazione e dello spazio costruito pro-capite, *Ecofys* prevede che il comparto edile in espansione raddoppierà il numero di metri quadri complessivi rispetto al 2000. Ciò significa che se consideriamo l'intero pianeta, la metà del patrimonio immobiliare nel 2050 avrà meno di cinquant'anni. Tale patrimonio si prevede venga edificato completamente secondo la logica dell'edificio ad "energia quasi zero", utilizzando strategie progettuali e soluzioni tecnologiche, entrati a far parte della pratica odierna, che permettano di ridurre (fino ad escludere) l'uso di fonti fossili. Inoltre prevede che entro la stessa data, tutto il patrimonio edilizio esistente venga riqualificato energeticamente al punto da ottenere livelli sostenibili di consumi, per effetto di una percentuale di *retrofitting* in termini di metri quadri del 2,5% all'anno (che riferito all'Italia equivale a 76 milioni di m2 residenziali, cioè circa 725.000 alloggi l'anno) (WWF et al., 2011 p. 125). Sia che ci si ponga


2050 EUROPEAN ENERGY GRID
DECARBONIZED GRID POWER DISTRIBUTION
SOLAR POWER
WATER POWER PLANTS
BIOMASS PLANTS
WIND POWER
GEOTHERMAL
COAL-OIL-GAS
NUCLEAR POWER PLANTS



41. Lo scenario energetico prefigurato da ECOFYS basato sul raggiungimento del 100% dell'autonomia energetica da fonti rinnovabili, WWF, 2011.

in una prospettiva che guardi verso la cara vecchia Europa, sia che si tenti di gettare lo sguardo a quei paesi in via di sviluppo, quello che si può osservare è poco rassicurante: da un lato per la reticenza a credere che in una qualsiasi delle città storiche europee si riesca a riqualificare energeticamente la quasi la totalità del patrimonio edilizio esistente (la criticità viene addirittura rilevata dagli autori stessi), dall'altro per la preoccupazione nel vedere confermati i dati sull'espansione del costruito fino a raddoppiare.

In sintesi, per il settore edilizio le operazioni da compiere in sé per sé non costituiscono il superamento di grossi limiti attuali. Ciò che rappresenta la vera sfida è la portata dell'operazione: ambiziosa sia per quanto concerne il terreno della nuova edificazione che dell'esistente. Se si osservano globalmente le dinamiche evolutive dei sistemi urbani odierni, si comprende come nelle aree in forte crescita - dove presumibilmente si concentrerà in futuro la maggiore quantità di nuove costruzioni - sia necessario un enorme avanzamento non tanto tecnologico quanto politico-culturale che sostenga la ricerca, gli investimenti e quindi il mercato delle nuove costruzioni. Nel mondo occidentale invece, portatore della visione proposta dal WWF, l'ostacolo che s'intravede è l'incapacità a sostenere numericamente lo sforzo richiesto, per effetto della crisi finanziaria, economica e culturale in atto. Restano poi tutte le altre aree del mondo, i "popoli non ancora tecnologicizzati" in cui il rischio principale è costituito dallo scontro col "non pensiero del mondo tecnologico occidentale" la cui dinamica finirà per allontanare "sempre di più la specie umana da una interazione di equilibrio con l'ecosistema" (Sertorio, 2002 p. 73). Come dire che l'ostacolo principale è rappresentato ancora una volta dal lento radicamento di un pensiero tecnocratico anche in quelle culture diverse da quelle di origine e che, nel frattempo, avanzano a rapidità spaventose.

Lo studio non può fare altrimenti se non fondarsi sull'incrollabile fede nei fondamenti dell'era tecnocratica. La sua applicabilità è racchiusa principalmente nella conoscere la differenza tra un'interpretazione dello scenario quale *framework* a grande scala (costituito da frammentate e inconciliabili visioni disciplinari) e una quale processo strutturato su una conoscenza unitaria.

Emblema della ricerca proposta è la proposta dell'*Energy grid* a scala mondiale. Nuovamente, dopo le soluzioni immaginate nel progetto *Zeekracht* e in *Eneropa*, OMA ripropone alla dimensione planetaria l'idea di un'immensa rete infrastrutturale che sostenga la possibilità di sistematizzare e condividere unitariamente l'energia prodotta da fonti rinnovabili che, così come distribuite sull'intero pianeta, si integrano a sostenere la variabilità della domanda di energia. L'idea, concettualmente molto semplice e di efficacia potenziale, nasconde notevoli sfide da affrontare in brevissimo tempo. La transizione dalle energie fossili a quella elettrica e la sua produzione di energia da fonti rinnovabili (principalmente da sole, vento e geotermia a scala locale e globale), il massiccio in-

42. Combustibili fossili e potenziale delle risorse rinnovabili a confronto nelle diverse aree geografiche del pianeta, WWF, 2011.

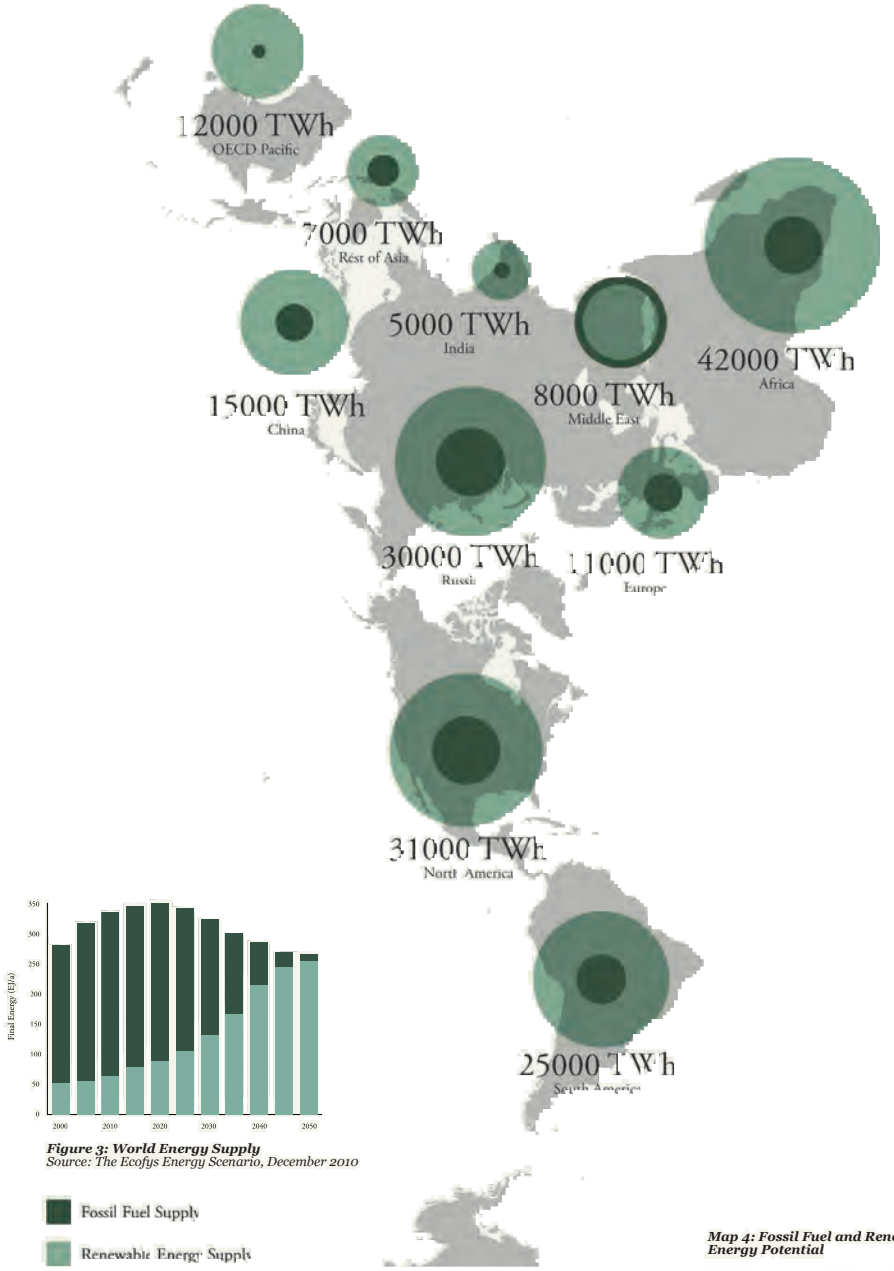
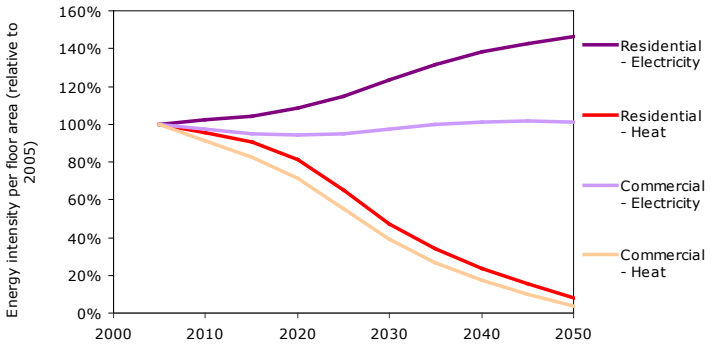
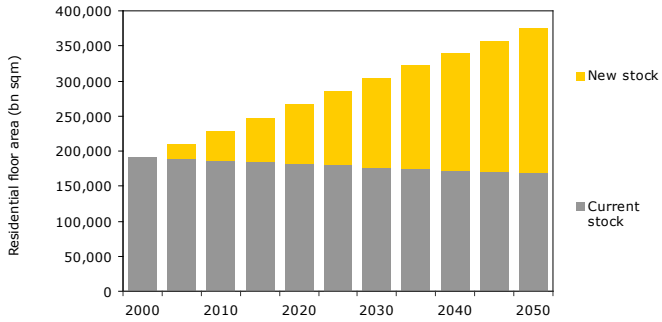


Figure 3: World Energy Supply
Source: The Ecofys Energy Scenario, December 2010

Map 4: Fossil Fuel and Renewable Energy Potential





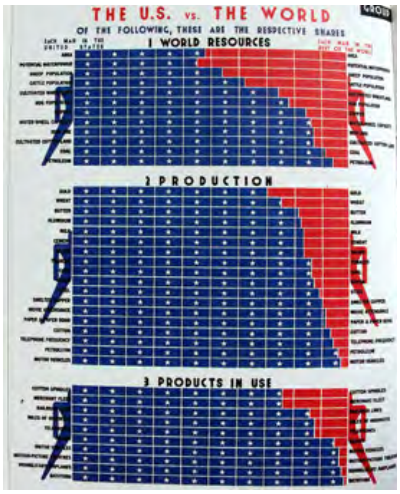
43. Evoluzione dell'intensità energetica per unità di superficie distinte per tipologia energetica e funzionale (previsione), WWF, 2011.

44. Evoluzione delle superfici residenziali globali distinte tra patrimonio esistente e nuovo (previsione), WWF, 2011.

vestimento sulla realizzazione/potenziamento della rete infrastrutturale che garantisca distribuzione e compensazione delle variabilità energetiche, la combinazione di *smart* e *super grid*. L'immagine di sintesi dell'operazione è un vero tributo al lavoro di Buckminster Fuller, tanto da sembrare una riproposizione dei suoi studi sull'energia compiuti il secolo scorso sia nella forma di rappresentazione (la *Dymaxion Projection*) che nell'idea progettuale: un anello attorno al circolo polare artico da cui si diffondono i rami della rete che collega e mette a sistema le diverse fonti energetiche del pianeta [47] (Fuller, 1981; Fuller, Carbondale, & Inventory, 1971; Marks, 1960).
Nonostante i nutriti sospetti sul fatto che la nostra cultura sia in grado da subito di metterlo in atto, *l'Energy Report 2011* ci conferma che la strada da percorrere dalla ricerca nel campo delle relazioni tra energia e costruito deve tenere in conto anche la macro scala, poiché è in essa che avviene l'interazione complessa tra uomo ed ecosistema.

MODELLAZIONE: UNO STRUMENTO EFFICACE

Il salto dimensionale che ha avuto luogo per effetto delle dinamiche dell'era tecnologica è ancora in attesa di un pensiero in grado di corrispondergli anche sul piano qualitativo. L'enorme difficoltà generata dalla complessità dei fenomeni se considerati alla scala planetaria, ha fatto sì che non siamo ancora in possesso di un pensiero adatto a controllare le dinamiche in atto, tanto da poterne solo prendere parte senza intervenire coscientemente e, quindi, subendone gli effetti. Come detto, la scienza moderna che ha origine dal pensiero galileiano ha generato una separazione tra i diversi saperi. Il suo sistema si fonda sull'interrelazione aperta tra esperimento e formalizzazione matematica, ovvero tra realtà e modellazione.[19]
Questo iato tra lettura del fenomeno e fenomeno stesso, tra realtà e sua formalizzazione, rappresenta tutt'oggi l'ossatura sperimentale su cui si sviluppa la ricerca nell'ambito delle relazioni tra energia, ambiente e costruito. Abbiamo assistito negli ultimi anni ai notevoli progressi ottenuti dagli studi dei modelli fisico-matematici applicati all'edilizia: si pensi, ad esempio, al peso crescente che gli strumenti simulazione informatica tridimensionale, strutturale, fluidodinamica, illuminotecnica ed energetica stanno assumendo nel processo progettuale odierno. Al di là delle difficoltà derivanti da una sempre maggiore specializzazione della conoscenza (anche in questo ambito) e dalla complessificazione del processo progettuale, è ormai ineludibile il confronto con tali strumenti per fornire risposte adeguate alle istanze progettuali. Pertanto, il buon esito del progetto si misura sempre di più con una strutturazione consapevole delle modellazioni rispetto alla realtà e con la prefigurazione degli obiettivi e delle prestazioni cui si vuole giungere.
In questo quadro assume centralità il tema dell'innovazione tecnologica all'interno del processo di definizione della città quale ambiente costruito. Nel corso delle epoche ed



45. The US vs the World, la relazione tra energia e sviluppo, Buckminster Fuller, 1960.

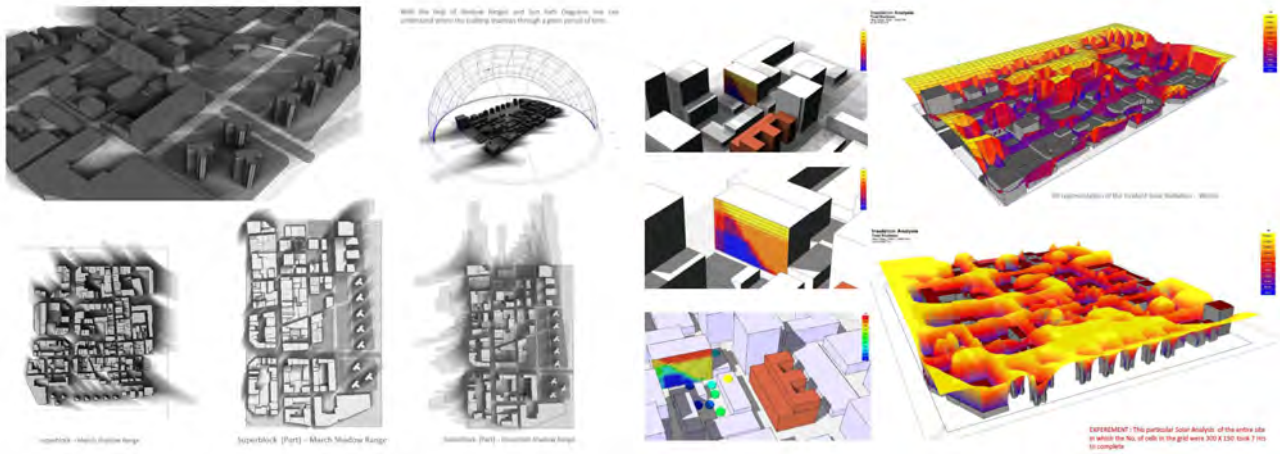
a seconda dei contesti culturali e climatici, la tecnologia ha determinato la natura degli insediamenti (struttura, orientamento, geometria, intensità, materiali costitutivi, etc.). Da sempre l'innovazione tecnologica ha stimolato mutamenti, o per converso, il suo stato di avanzamento ha vincolato la configurazione fisica della città e dell'edificato: le mutazioni morfo-tipologiche favorite dall'introduzione dell'ascensore e dei sistemi di condizionamento nell'edilizia o dalle nanotecnologie e dai sistemi idroponici per la produzione del cibo (solo per citare alcuni possibili esempi), così come la nascita di rotte commerciali intercontinentali favorita dallo sviluppo dei sistemi di trasporto, hanno stimolato e contemporaneamente alimentato la loro crescita.

Per quanto anche in questo caso ci si trovi di fronte ad un'interazione estremamente complessa, che chiama in causa altri aspetti (culturali, sociali, economici, politici) si vuole concentrare l'attenzione sulla configurazione fisica dei contesti urbani e sulla gamma di innovazioni che contribuiscono a determinarlo: energia, materiali, trasporti, comunicazioni, infrastrutture e reti, processo agricolo e produzione del cibo, etc.

Qual è il ruolo oggi riservato alla tecnologia? In un contesto in cui sembra avere peso determinante ancor più che la singola innovazione, la maniera con cui queste vengono correlate, con cui integrarle in un pensiero unitario per la formazione di *smart-grid*, *smart-cities*, *smart-Europe,* è necessario privilegiare lo studio di percorsi trasversali, che facciano leva su una componente ritenuta essenziale: la mutata sensibilità energetica ed ambientale.

Da anni si sente affermare che l'avanzamento tecnologico odierno e i suoi prossimi sviluppi possano ricondurre i "modelli operazionali" a logiche di utilizzo di energia, materia e informazione più prossime a quelle naturali tanto da parlare di *biotecnologie* (Scudo in Serra Florensa & Coch Roura, 2001, p. p. 9 p. 9). Una questione che assume rilevanza primaria se ci si riferisce agli insediamenti urbani: la garanzia della loro stabilità, in quanto sistemi complessi si fonda proprio sulla capacità di regolare gli scambi di materia ed energia.

Tale prospettiva, richiede un confronto con le dinamiche sopradescritte degli ambienti costruiti contemporanei, considerando che buona parte di questi sono stati concepiti "sul fraintendimento dei cicli delle risorse fisiche (radiazione, acqua, aria, etc.) e che questo contribuisce pesantemente agli squilibri ambientali che rendono sempre più fragili le interazioni con i sistemi naturali." (Scudo in Serra Florensa & Coch Roura, 2001). Un confronto di siffatta specie non può che affidarsi oggigiorno a strumenti di modellazione e simulazione che siano in grado di prefigurare i fenomeni ed interpretare e analizzare la realtà del costruito.



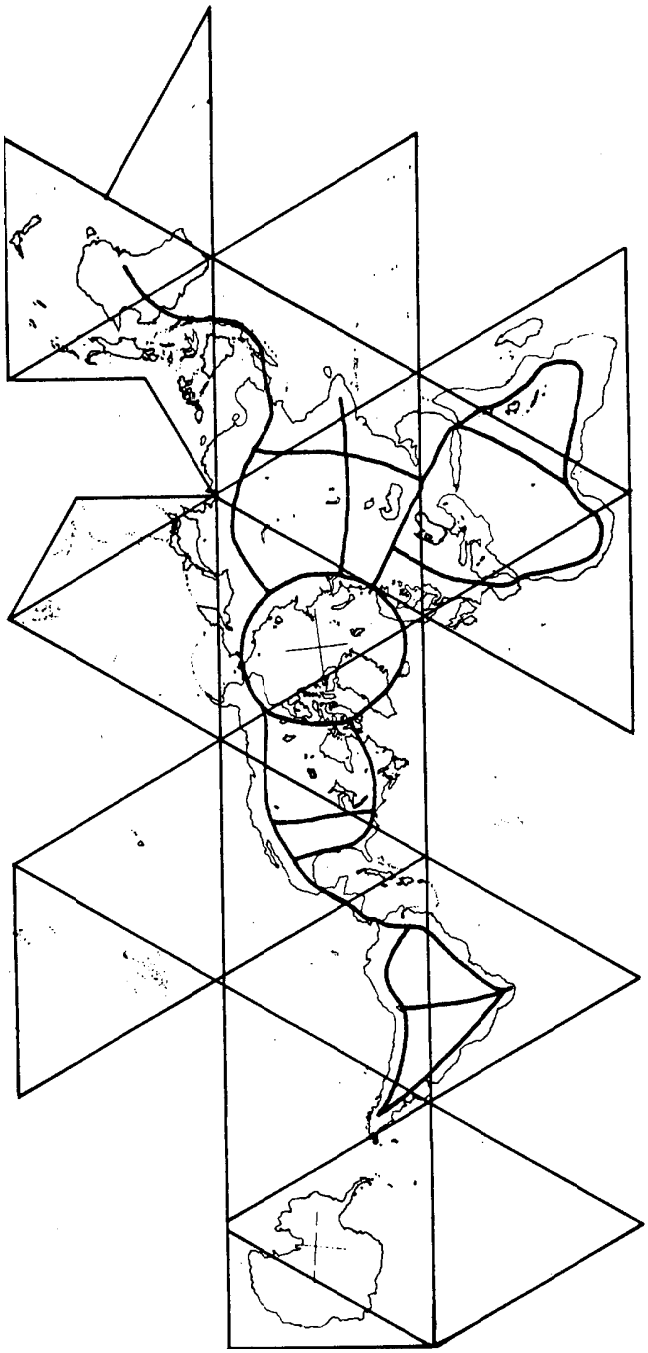
46. Esempi di modellazione energetica mediante software.

CONCLUSIONI

Dai discorsi condotti finora sull'energia e sulle sue interrelazioni con le dinamiche dell'ambiente costruito, è possibile tentare di fornire una interpretazione sintetica del quadro al cui interno è chiamata ad operare la pratica progettuale in architettura. Appare evidente che ci troviamo di fronte ad una condizione dominata dall'incertezza, un punto nella linea della storia in cui si accumulano sempre più "fenomeni di rottura" in una scala dimensionale nuova (Foucault & Bogliolo, 1996). Questi momenti sollecitano l'intesificazione dell'attività intellettuale umana volta alla costruzione razionale di previsioni (quelle che oggi prendono il nome di *vision*, *roadmap*, etc.). Come suggerito - e come spesso è già accaduto in passato - il confronto con la novità, l'inatteso, finisce per collocarli nel dominio degli "scenari degli sviluppi futuribili". Il lavoro di ricerca nel frattempo sembra indirizzato alla comprensione dei fenomeni a questa nuova scala di riferimento: le scienze hanno compiuto i primi passi verso la definizione di un sistema dinamico globale che spieghi il funzionamento dell'ecosistema per mezzo di studi fenomenologici. La speranza è di riuscire a ricondurre i processi umani all'interno della logica fisiocratica, senza annullare le innovazioni tecnologiche finora conseguite, ma sfruttandone le potenzialità per ridurre al minimo possibile l'uso delle risorse energetiche. Bisogna essere consapevoli, infatti, che viviamo immersi in una "dinamica del denaro energivora" e che difficilmente nei prossimi anni potrà essere invertita. Anche la tanto attesa transizione alle energie rinnovabili, oggi fermamente promossa dagli stessi organi di governo europeo come la strada da seguire, potrebbe finire per sottostare alle regole dello sviluppo e del consumismo e soprattutto celare sotto diverse spoglie le stesse problematiche (ad esempio la produzione di scorie infinite per lo sfruttamento della fonte solare per l'energia elettrica). In questo scenario anche il corpus teorico dell'architettura contemporanea ha subito riflessi condizionanti. Come detto in precedenza, le sollecitazioni dei fenomeni globali hanno prodotto un salto dimensionale pure rispetto alle scale di riferimento proprie di questa disciplina; l'interesse si è focalizzato allora in maniera preponderante sulle città contemporanee, sulla scala metropolitana, sulle sue dinamiche che la vedono assumere sempre maggiore rilevanza e pertanto sul suo funzionamento anche in termini energetici ed ambientali, per effetto della complicità tra crisi economica e crisi dell'ecosistema .

Quindi il miglior contributo che allora la nostra disciplina possa fornire, ora che assistiamo alla introduzione di nuove strategie e strumenti progettuali, ora che è stato messo a punto un bagaglio di conoscenze utile ad affrontare le problematiche odierne, è quello di puntare in primo luogo sull'utilizzo razionale e consapevole delle risorse energetiche naturali in modo passivo, ancor prima che attivo e sull'innovazione tecnologica per

la sperimentazione di metodologie applicabili in primo luogo sull'edilizia esistente e sicuramente anche sulle nuove costruzioni. Gli strumenti normativi europei e nazionali faticano ad incidere sulle dinamiche reali, specie quelle riscontrabili nei nostri contesti, manifestando la necessità di strategie innovative. Inoltre puntando prevalentemente sull'applicazione diffusa di meri sistemi tecnologici più efficienti, riescono nell'intento di ridurre solo consumi ed impatto, non risolvendo la radice del problema, rappresentata dalla domanda di risorse e di energia legata al funzionamento del costruito spesso inefficiente per ragioni strutturali d'impianto complessivo.
Di fronte alle forti incertezze del quadro energetico attuale, diviene cruciale ragionare attorno alle metodologie di riduzione della fabbisogno energetico in una prospettiva a scala più ampia e privilegiando, da subito, soluzioni per la trasformazione del costruito esistente. Inoltre, operare sul fabbisogno consente di riportare il piano delle scelte dei rapporti tra energia e costruito nel campo proprio dell'architettura, favorendo un'azione diretta e più incisiva da parte dei progettisti. Se applicate diffusamente e supportate da una logica inter-scalare, suddette metodologie consentono una riduzione in primo luogo del fabbisogno energetico, dei consumi conseguenti e quindi delle interazioni negative con l'ecosistema.



47. La rete elettrica globale pensata da Buckminster Fuller nel 1960.

Note bibliografiche

AA. VV. (2011). *Attuazione della certificazione energetica degli edifici in Italia.* Paper presented at the Mostra Convegno Expocomfort, Milano.

Agency, I. E., IEA., & OECD. (2008). *World Energy Outlook 2008* (pp. 578). Retrieved from http://www.worldenergyoutlook.org/2008.asp

Boiardi, L., Ferrante, A., & Gulli, R. (2012). La riqualificazione energetica del patrimonio edilizio recente. In F. Gottard (Ed.), *La Direttiva 31 2010 CE: norme e commenti*. Monfalcone: Edicom Edizioni.

Burdett, R., Sudjic, D., London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft für Internationalen Dialog. (2011). *Living in the endless city : the Urban Age project by the London School of Economics and Deutsche Bank's Alfred Herrhausen Society*. London: Phaidon Press Ltd.

Butera, F. M. (2007). *Dalla caverna alla casa ecologica storia del comfort e dell'energia* (Nuova ed ed.). Milano: Ambiente.

Cecere, C. (2012). È possibile che edifici a energia quasi zero salvino

l'Europa dal disastro ecologico? In F. Gottard (Ed.), *La Direttiva 31 2010 CE: norme e commenti* (pp. 10-15). Monfalcone: Edicom Edizioni.

Dempsey, N., & Jenks, M. (2010). The Future of the Compact City. *Built Environment, 36*(1), 116-121. doi: 10.2148/benv.36.1.116

Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010 , sulla prestazione energetica nell'edilizia (2010).

Regolamento Delegato (UE) n. 244/2012 della Commissione del 16 gennaio 2012 (2012).

Eurostat. (2012). Construction production index. Retrieved August 14th 2012 http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home

Foucault, M., & Bogliolo, G. (1996). *L'archeologia del sapere* (3. ed ed.). [Milano]: Biblioteca universale Rizzoli.

Fuller, R. B. (1981). *Critical path* (1st ed.). New York: St. Martin's Press.

Fuller, R. B., Carbondale, S. I. U. a., & Inventory, W. R. (1971). *The world game: integrative resource utilization planning tool*. Carbondale: World Resources Inventory.

IEA, Agency, I. E., & OECD. (2008). *World Energy Outlook 2008* (pp. 578). Retrieved from http://www.worldenergyoutlook.org/2008.asp

ISTAT. (2012). Indice della produzione nelle costruzioni. Retrieved August 14th 2012 http://dati.istat.it/?lang=it

Koolhaas, R. (2000). *Mutations*. Barcelona: Actar [etc.].

Koolhaas, R., Mau, B., Sigler, J., & Office for metropolitan architecture. (1997). *S,M,L,XL small, medium, large, extra-large*. Rotterdam: 010 publishers.

Lattanzi, V. (2012). La certificazione energetica degli edifici: stato dell'arte e problematiche di attuazione *La Direttiva 31 2010 CE: norme e commenti* (pp. 16-19). Monfalcone: Edicom Edizioni.

Marks, R. W. (1960). *The Dymaxion world of Buckminster Fuller*. New York,: Reinhold Pub. Corp.

Meadows, D. H., Meadows, D. L., Club of Rome. Project on the Predicament of Mankind., & Potomac Associates. (1972). *The limits to growth; a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York,: Universe Books.

Mostafavi, M., & Doherty, G. (2010). *Ecological urbanism*. Cambridge-Baden: Harvard University - Lars Mèuller.

MVRDV. (2005). *KM3 : excursion on capacities*. Barcelona: Actar.

OMA, & ECF. (2010). *Roadmap 2050: A practical guide to a prosperous, low carbon Europe* Vol. 3. E. C. Foundation (Ed.) (pp. 280). Retrieved from http://www.roadmap2050.eu/

Serra Florensa, R., & Coch Roura, H. (2001). *Arquitectura y energia natural*. Barcelona: Edicions UPC.

Sertorio, L. (2002). *Storia dell'abbondanza*. Torino: Bollati Boringhieri.

Sudjic, D., Burdett, R., London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft fèur Internationalen Dialog. (2007). *The Endless city : the urban age project by the London School of Economics and Deutsche Bankk's Alfred Herrhausen Sociey*. London: Phaidon.

Torricelli, M. C. (2012). Una vision mediterranea per gli edifici a energia (quasi) zero. *Costruire in laterizio*(147), 16-17.

UN. (1992). *United Nation Framework Convention on Climate Change*. New York:

Retrieved from http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf.

WWF, Ecofys, OMA, & Stephan, S. (2011). *The energy report:100% renewable energy by 2050* W. International (Ed.) (pp. 256). Retrieved from http://wwf.panda.org/what_we_do/footprint/climate_carbon_energy/energy_solutions/renewable_energy/sustainable_energy_report/

Note

1 Quest'ambito di studio è tutt'altro che inedito. I suoi esordi risalgono a un precedente periodo di crisi attraversato dal mondo dell'occidente sviluppato: quello che per la prima volta si è confrontato con la problematica e il rischio della scarsità energetica profilatasi intorno agli anni settanta. Seppure esistano differenze ben note tra i due momenti - ascrivibili primariamente ad una mutazione da sola questione energetica a più impellente e critica questione ambientale - questi sono accomunati dall'interesse attorno ai temi dei rapporti tra energia e forma del costruito. Così, dopo un percorso storico di fasi alterne, in cui la dominanza tecnologica ha prevalso, polarizzando anche il dibattito scientifico su altre questioni, si riscontra oggi un rinnovato e sempre maggiore interesse attorno a questi temi.

2 A tal proposito si veda al capitolo due il paragrafo *Declinazioni e interpretazioni della densità - Alta densità: una disputa in corso* ed i relativi riferimenti bibliografici.

3 A testimonianza di ognuno di questi si possono richiamare rispettivamente: la pratica progettuale dello studio olandese MVRDV, la rivista spagnola *a+t* e i workshop internazionali organizzati da molte università europee tra cui si ricordano *l'Atlas on Density* (IE School of Architecture - Illinois Institute of Technology, 2011) e il *Measuring Urbanity* (Faculdade de Arquitectura UT Lisboa 2012).

4 Le riflessioni contenute in questo paragrafo nascono dal confronto con il libro di Luigi Sertorio dal titolo *Storia dell'abbondanza* e rappresentano un tentativo di collocare la questione energetica nei contesti urbani nel quadro energetico generale. Per non appesantire la lettura sono state omesse le note bibliografiche che si riferiscono a suddetto testo.

5 Cfr. nota n.6.

6 L'era fisiocratica, "quella della storia monarchie" e del corrispondente pensiero - ci spiega Sertorio - era caratterizzata dal forte legame dell'uomo con i limiti naturali locali, governati dai cicli stagionali. La fisiocrazia è una dottrina economica che si affermò in Francia verso la metà del XVIII secolo il cui pensiero è fondato sulla concezione che l'agricoltura è la base di ogni altra attività economica, in quanto l'unica capace di produrre beni, contrapposta all'industria che li trasforma e al commercio che li distribuisce.

7 Il Club di Roma è un'associazione non governativa che riunisce eminenti scienziati, politici, economisti, politici e capi di stato di tutto il mondo con l'obiettivo di studiare e proporre soluzioni alle principali sfide che l'umanità è chiamata ad affrontare. Nel fare ciò si pone come scopo di suggerire alternative alle pratiche consolidate assumendo una visione globale, a scala più ampia.

8 La conferenza, a dispetto delle aspettative della vigilia, si è chiusa con un accordo interlocutorio messo a punto da Stati Uniti e Cina, con il contributo di India, Brasile e Sud Africa, sostanzialmente accettato dall'Unione Europea. L'accordo prevede di contenere di due gradi centigradi l'aumento della temperatura media del Pianeta e un impegno finanziario (30 miliardi di dollari l'anno tra il 2010 e il 2012 e 100 miliardi di dollari a partire dal 2020) da parte dei Paesi industrializzati nei confronti delle nazioni più povere al fine di incrementare l'adozione di tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili e per la riduzione dei gas serra. L'intesa non è però stata adottata dall'assemblea dell'UNFCC e, di conseguenza, non è né vincolante, né operativa.

9 Per ulteriori dettagli a proposito, si confrontino le previsioni di riduzione fatte dall'Unione Europea per raggiungere gli obiettivi prefissati dalla *Roadmap 2050* in termini di emissioni di gas serra riportati più avanti in questo paragrafo.

10 Eccezione fatta per l'art. 18 parr. 1 e 2 che per effetto della nella normativa nazionale italiana viene attuato con anticipo.

11 Cfr. in particolare i paragrafi (8), (9) e (25).

12 La norma definisce come "edificio di riferimento" l'edifico tipico in termini di geometria e sistemi, prestazione energetica dell'involucro e dei sistemi, funzionalità e struttura dei costi nello Stato membro e sia rappresentativo delle condizioni climatiche e dell'ubicazione geografica.

13 *Architecture Media Organization* affianca il lavoro progettuale dello studio di progettazione guidato da Rem Koolhaas occupandosi in parallelo di ricerca "in campi oltre i confini tradizionali dell'architettura tra i quali media, politica, sociologia, energie rinnovabili, tecnologie, moda, etc.", con l'obiettivo di "contaminare l'architettura con

le conoscenze provenienti da questo ventaglio di discipline" e viceversa sviluppare *concept* e ricerche sperimentando le potenzialità che il pensiero metodologico dell'architettura può possedere in altri campi. Le informazioni provengono dal profilo dello studio pubblicato sul sito www.oma.com.

14 Il progetto consiste nello studio di un masterplan per la realizzazione di una rete di produzione e distribuzione energetica da fonti rinnovabili nel Mare del Nord, capace di fornire annualmente poco più dell'energia prodotta nel Golfo dalle fonti fossili. Un'infrastruttura complessa composta da: centrali offshore che ricava energia dal vento, dalle maree e dal moto ondoso connesse da una rete di distribuzione efficiente (*Energy Super-Grid*); la cintura produttiva di industria, manifattura e istituzioni di ricerca (*Production Belt*); il paesaggio costiero, inteso come luogo dai caratteri insediativi fondati sull'integrazione tra ecologia e industria (*Reefs*); un centro di ricerca internazionale che promuove cooperazione e innovazione in ambito scientifico. Il masterplan è stato concepito utilizzando un approccio multi-dimensionale che consentisse l'ottimizzazione del potenziale energetico produttivo e di sviluppo dell'intera area che affaccia sul Mare del Nord, rifiutando il metodo convenzionale basato sullo zoning. Per ulteriori informazioni si confronti la pagina dedicata al progetto al sito www.oma.eu.

15 Il gruppo di lavoro era composto da diverse compagnie ed istituzioni. Analisi tecniche ed economiche: McKinsey & Company, KEMA, The Energy Futures Lab at Imperial College London, Oxford Economics; analisi politiche: E3G, Energy Research Centre of the Netherlands, Regulatory Assistance Project; redazione del documento di sintesi e comunicazione a OMA-AMO.

16 Come già avvenuto in passato, Koolhaas coniando nuove parole per definire nuove categorie di pensiero dimostra la sua potente carica comunicativa.

17 Si ricordi a riguardo il dato richiamato in precedenza riferito al mercato italiano decisamente a favore delle ristrutturazioni rispetto alle nuove costruzioni.

18 Ciò non per effetto di un decremento delle attività umane, ma grazie ad un uso dell'energia il più possibile efficiente.

19 Un'interrelazione definita aperta perché è l'esperimento stesso che, con il suo progredire, costituisce il limite in continua evoluzione - grazie all'uso dello strumento matematico - verso stati di avanzamento successivi. Da qui deriva la continua osmosi del linguaggio fisico-matematico con la tecnica, da sempre legata al susseguirsi delle conquiste scientifiche.

Densità e forma

Il progetto tra modernità e contemporaneità

Il rapporto tra energia e ambiente costruito ha innescato una mutazione del processo progettuale in termini di condizioni e strumenti non ancora pienamente compreso e risolto. In questo capitolo si risale alle origini e ai contenuti dei possibili *status* concettuali che la densità ha assunto nel tempo, alle molteplici interpretazioni cui si è prestata per effetto della sua natura multiforme, sia nella speculazione teorica, che nella pratica descrittiva, prescrittiva e progettuale. Ripercorrendo i passaggi evolutivi cruciali, s'indaga la sua natura bifronte di parametro di misura del costruito da un lato e fondamento del progetto moderno e contemporaneo dall'altro. Il nostro tempo diviene, in questa lettura, elemento inscritto in un contesto storico più ampio, in cui rileggere, sotto la lente del presente, progetti e città del passato che possano offrire ispirazioni per un confronto con la realtà delle metropoli odierne. A fronte di una sempre maggiore diffusione del concetto di densità nell'ambito del progetto, tale percorso ha l'obiettivo di presentarne e comprenderne la molteplicità di opinioni e di vedute esistenti e trovarne un fondamento il più possibile oggettivo in modo da favorirne un uso più consapevole ed adeguato. L'interesse è rivolto specialmente a comprenderne le interazioni con le tematiche inerenti i rapporti tra insediamento, energia e sostenibilità.

DECLINAZIONI E INTERPRETAZIONI DELLA DENSITÀ

48. A fronte: Broadacre City di F. L. Wright, esempio di città rarefatta e Kowloon Walled City (Hong Kong) emblematico modello di insediamento ad alta densità.

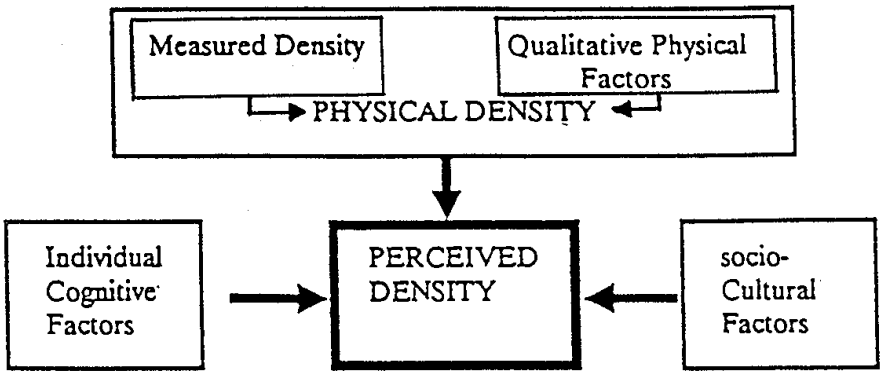
Da sempre, l'uomo ha agito sull'ambiente per abitarlo. Le modalità con cui, nel tempo, ha proceduto in questa attività trasformativa sono state strettamente caratterizzate da un'intensità d'uso dello spazio, frutto della complessa interazione tra cultura, tecnica, condizioni ambientali e climatiche, economia, tradizioni abitative, tecniche costruttive e norme.

La densità, ancorché non riconosciuta, se non di recente, in tutta la sua complessità concettuale, è sempre esistita in quanto condizione connaturata all'abitare. Si potrebbe

perfino affermare che la sua presenza, inizialmente latente, acquista evidenza man mano che entra in gioco nelle pratiche insediative.
Fino all'avvento della modernità, il concetto di densità non esisteva come oggi lo riconosciamo negli ambiti dei saperi connessi alle pratiche insediative. È a partire dall'era urbana[1] che diventa un tema centrale attorno a cui si condensa il dibattito all'interno delle discipline che la chiamano in causa a partire da quelle cui, anche nella pratica, è affidato il governo del territorio ovvero, più di recente, dell'ambiente nel suo complesso, qualunque sia il suo livello di antropizzazione di partenza. Così la densità entra a far parte del bagaglio di strumenti progettuali con la nascita delle città industriali: dapprima utilizzato come strumento descrittivo di uno "stato patologico", successivamente elevato ad elemento prescrittivo e progettuale vista la crescente consapevolezza delle sue potenzialità.
I contributi sull'argomento si possono raggruppare in due grandi famiglie: quelli riconducibili alle riflessioni teoriche e quelli più strettamente correlati al progetto. Tutti provengono da ambiti disciplinari molto diversi che partendo dalla pianificazione urbanistica e ambientale arrivano all'antropologia ed all'ecologia, passando attraverso urban design, architettura, trasporti, economia, sociologia e, infine, psicologia.
La ragione principale di questa diversità risiede non soltanto nel concetto stesso - o nelle sue definizioni - quanto nella natura e nell'elevata complessità dei fenomeni che interagiscono con esso, tali che nessuno studio mono-disciplinare possa essere in grado di affrontarli e comprenderli appieno. A titolo di esempio ci si riferisca solo per un attimo alla densità residenziale;[2] è stato osservato che i concetti ad essa accostati finora sono: forma urbana, dimensione urbana, tipologia di insediamento, *zoning* ed uso del suolo, aspetti e valori sociali, processo percettivo, stress, sviluppo sostenibile, città compatta, reti e sistemi di trasporto, *sprawl*, politiche ambientali urbane, pianificazioni e politiche di definizione della densità insediativa standard, etc. (Churchman, 1999 p. 390).
La provenienza tanto diversa di suddetti contributi, dunque, mette ancora una volta in luce la complessità del tema, testimoniata nel tempo da successivi tentativi di ri-concettualizzazione (Alexander, 1993; Boyko & Cooper, 2011; Rapaport, 1975), oggi sempre più discusso e posto, a ragion veduta, tra le cosiddette "variabili urbane" al pari dell'uso e della morfologia (Reale, 2008 p. 11).
Da cosa deriva, dunque, il crescente successo della densità? Potremmo sinteticamente raggruppare i principali motivi in cinque punti (Alexander, 1993; Boyko & Cooper, 2011):

- La densità è un concetto che fornisce possibili chiavi interpretative delle dinamiche urbane divenute oggi un tema estremamente rilevante.
- La densità è un fattore fortemente dipendente dall'epoca di formazione della

49. Fattori che contribuiscono alla definizione del concetto di densità percepita secondo Alexander, 1993.



città, dalla sua storia, dal contesto culturale, geografico, politico ed economico; ed aggiungeremo dal contesto tecnologico.

- La densità è un fattore d'impatto sociale nel momento in cui a ha che fare con tutto ciò che concerne l'azione di trasformazione dell'uomo per la creazione di spazio antropico.
- La densità è un elemento centrale delle politiche di riqualificazione urbana laddove la città ha esaurito i processi di espansione.
- La densità è una delle variabili il cui controllo potrebbe condurre a qualificare come sostenibili nuove forme di sviluppo ad essa associate.

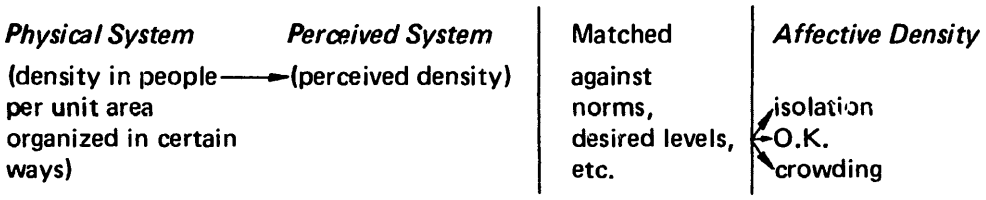
Questa centralità corrisponde da una parte a un'urgenza, dall'altra a un pericolo. L'urgenza si riferisce alla necessità di giungere a una consapevolezza più ampia, che consenta di superare le difficoltà interpretative della complessità urbana in atto mediante strumenti oggettivi e neutrali, tali da superare gli approcci puramente qualitativi e favorire un utilizzo pratico della densità (Pont & Haupt, 2010). Il secondo è legato alla vaghezza delle definizioni del concetto e dei conseguenti sistemi di misura, che generano usi impropri dovuti all'assenza di piena comprensione e delle sue implicazioni rispetto alle performance di una determinata morfologia urbana (Alexander, 1993).

"Ad un primo approccio il concetto di densità appare magnifico per i progettisti: è oggettivo, quantitativo e neutrale. Purtroppo, se analizzato più approfonditamente, si scopre essere un concetto molto complesso. Una parte di questa complessità è dovuta alla natura dei fenomeni associati alla densità, ma la restante deriva dai possibili modi in cui il concetto può essere approcciato a seconda dei paesi o delle discipline" (Churchman, 1999 p. 389).

Questa affermazione ci rende pienamente la cifra delle difficoltà interpretative riscontrabili in questo ambito: l'accezione a cui essa fa riferimento è, infatti, primariamente quella della densità intesa come rapporto tra due grandezze misurabili in vario modo all'interno degli insediamenti urbani e manifesta l'esistenza di un margine per molteplici interpretazioni.

Per chiarire quanto sia indeterminato il concetto di densità all'interno delle categorie operative proprie del progetto architettonico e urbano, iniziamo con l'analizzare alcune delle più significative definizioni ad esso associate. Prima di procedere in questa direzione è comunque necessario chiarire un malinteso molto diffuso nella sua interpretazione: al concetto di densità non necessariamente corrispondono quelli di concentrazione o sovraffollamento né, implicitamente, l'idea di "alta densità" (Jacobs & Olmo, 2000; Reale, 2008). Jane Jacobs ci spiega chiaramente che l'origine di questo fraintendimento risale alla condizione della città industriale in pieno sviluppo alla fine del XIX secolo e alla successiva reazione degli urbanisti, formalizzata, ad esempio, nel modello di città-

50. Mutazioni del concetto di densità in base al sistema di riferimento (fisico o percettivo) secondo Rapaport, 1975.



giardino.

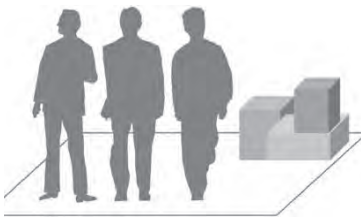
Nell'accezione comune - quella per intenderci riconducibile al significato generale del termine così come proposto nel vocabolario - densità vuol dire "essere denso". In senso relativo, invece, sta a significare la condizione di un complesso qualsivoglia costituito da elementi più o meno vicini tra loro. In quest'ultimo caso viene precisato che questa condizione può essere sia espressa numericamente secondo un rapporto, sia descritta genericamente mediante aggettivi: basso, alto, etc. (Treccani, 2003).

È importante tenere sempre ben presente questa natura polisemica del termine (oscillante tra aspetti puramente qualitativi e quantitativi) specie al momento del confronto con le definizioni date in ambiti disciplinari tra loro tanto diversi che, in un modo o in un altro, si occupano di ambiente antropizzato e che, necessariamente, associano alla densità l'aggettivo urbano, cui pare riconosciuto un elevato gradiente connotativo.

Proprio in quanto i significati primi della densità riportano alla polisemia sopra evidenziata e bene associare ad essa degli aggettivi che meglio ne qualificano la natura quantitativa e qualitativa. Si parlerà pertanto di:

- densità *fisica*, cioé *spaziale* e quindi oggettiva, più vicina alle prospettive disciplinari tecniche;
- densità *percepita,* cioè soggettiva propria della sociologia, della psicologia e dell'antropologia.

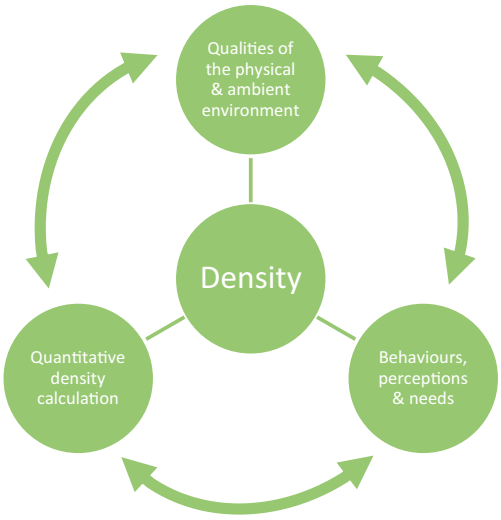
La ricerca, si concentra sulla densità fisica, pur non dimenticando quella percepita per quanto strettamente necessario ad una visione più ampia della prima; la densità percepita, infatti, si confronta col costruito e con le sue proprietà fisiche - sia di tipo quantitativo che qualitativo - a partire da interpretazioni del concetto di densità che mettono in gioco gli effetti combinati di fattori socio-culturali, percettivo-cognitivi e psicologico-individuali.[3] La percezione "densa" di una condizione è influenzata da numerosi aspetti imputabili a suddetti fattori che determinano la sensazione di benessere o malessere in base alle caratteristiche di un determinato spazio (Boyko & Cooper, 2011 p. 17). Questo insieme di fattori, ad esempio, vengono presi in esame negli studi delle discipline sociali e psicologiche sul sovraffollamento negli ambiti urbani e risultano ben distinti e più complessi delle ricerche che trattano esclusivamente della densità fisica e della sua misurabilità e parametrizzazione che hanno luogo in ambiti tecnico-scientifici.



51. "La densità percepita riguarda l'interazione tra l'individuo e lo spazio e tra individui nello spazio." Cheng, 2010.

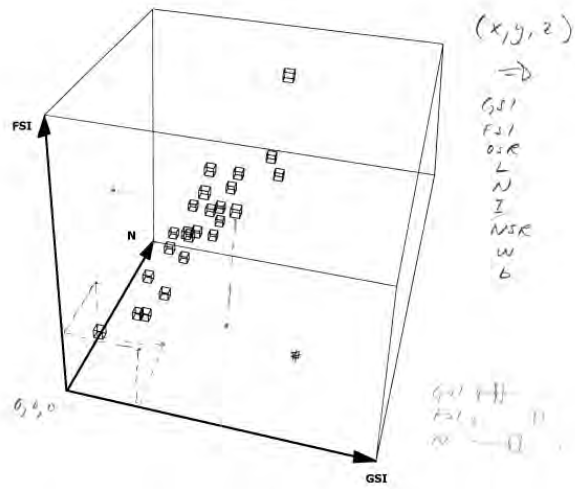
Dalla nutrita letteratura sulle relazioni tra densità e affollamento perviene un certo scetticismo nel considerare la densità fisica quale strumento oggettivo di misurazione efficace dei contesti urbani, fondato sulla consapevolezza dell'incapacità del numero a rappresentare le esperienze percettive dell'uomo nell'ambiente: "un concetto di densità basato su un semplice rapporto (numerico *Ndt*) non appare adeguato a prevedere conseguenze comportamentali e soggettive e l'esperienza della densità deve andare oltre tali rapporti"

52. Ri-concettualizzazione della densità proposta recentemente da Boyko e Cooper, 2011.



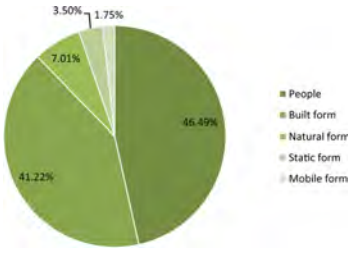
(Rapaport, 1975 p. 134).
Costoro mettono in gioco le esperienze percettive quali strumenti d'interpretazione della densità e ne introducono ulteriori definizioni, quali ad esempio, *densità sociale, d'incontro, di relazione,* etc. (Alexander, 1993; Sorkin, 2003). Ognuna di queste si riferisce ad una maniera di interagire, vivere e percepire l'ambiente urbano, basandosi sulla soggettività dell'interpretazione del medesimo contesto urbano.
Recentemente è stato sviluppato un approccio al tema della densità che tenta di superare il dualismo messo in evidenza che riconduce alla separazione tra semplice relazione numerica e relazione qualitativa/percettiva. A partire da un'approfondita indagine sulle ricerche esistenti, Christopher T. Boyko e Rachel Cooper hanno formalizzato il concetto di densità facendo ricorso ad una visione dello stesso che incorpora le due categorie a cui sono riconducibili le componenti in gioco: quelle "hard" (componenti quantitative) e quelle "soft" (qualitative/percettive). Secondo gli autori, tale ri-concettualizzazione della densità, invece di parcellizzare il punto di vista, consente di applicarla incisivamente "in una maniera olistica e dinamica" al progetto urbano (Boyko & Cooper, 2011 p. 52).

Nel campo specifico dei rapporti tra forma del costruito e sua parametrizzazione esistono ulteriori definizioni di densità urbana. Christopher Alexander ne propone un'utile distinzione concettuale, contrapponendo le densità di tipo "molecolare" a quelle di tipo "molare": le prime riferite a ciò che avviene all'interno del contesto costruito urbano (stanze pro capite, metri quadri pro capite, etc.) le seconde invece al rapporto tra spazi esterni e costruito (Alexander, 1993). Una di quelle appartenenti al secondo gruppo è proposta da Micheal Batty, che traduce il concetto di densità in "un fattore che rapporta la geografia di un'unità spaziale alla geometria dei luoghi tramite l'ambiente costruito" e che tende ad interpretare l'intensità spaziale con uno "spettro", avente per estremi geometria e geografia, le quali, interagendo, suggeriscono possibili significati e implicazioni della densità (Batty, 2009).
Per alcuni autori, è proprio nelle definizioni di densità basate su parametri che va ricercata la strada dell'integrazione tra fisicità e percezione in un'unica espressione. Queste, oltre a rappresentare mediante indici la morfologia del costruito, rendono possibile "l'esplorazione di soluzioni e prestazioni senza qualificazioni affrettate", operando un sorta di sospensione temporanea del giudizio (Pont & Haupt, 2010 p. 203). Poiché qualsiasi aspetto legato a vantaggi e svantaggi di una determinata condizione di densità dipende sempre dal contesto spaziale e temporale, i tentativi di stabilirne l'adeguatezza si sono sempre tradotti in indicazioni soggettive guidate dall'attitudine dei diversi autori. Associando però ai parametri le categorie di *prestazione* e di *valori contestuali* (*standard* e *valutazioni*) analiticamente definite, diviene possibile stimare in parallelo le relazioni tra



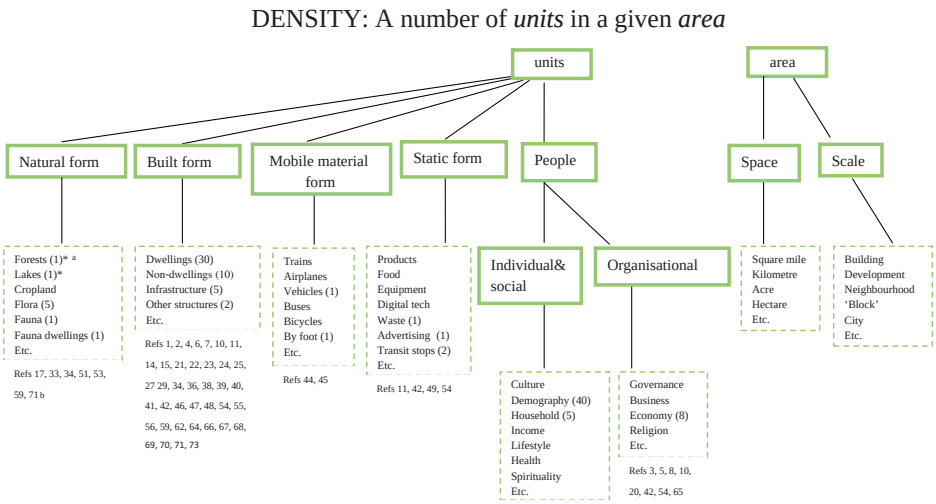
53. Un tentativo di superamento della contrapposizione tra percezione e fisicità della densità: Spacematrix, Pont e Hsupt, 2010.

queste e delineare un processo di valutazione razionale della densità urbana.
Nel passaggio tra densità fisica a densità percepita, si interpongono - nell'ordine suddetto - tali categorie di mediazione che riconducono la densità percepita a componenti il più possibile oggettivabili. Lo scopo principale di questa interpretazione del concetto di densità è fornire una struttura metodologica utile ad una sua applicazione nell'elaborazione delle fasi di analisi e progetto. Le proprietà parametriche possiedono un carattere oggettivo, le prestazioni ne registrano la variabilità, gli standard ne forniscono un valore stabilito (ad es. prescritto da una norma) e infine la valutazione ne giudica proprietà, prestazioni ed effetti in base a competenze e conoscenze professionali e personali (Pont & Haupt, 2010).
Di fronte a questo coacervo di posizioni, giungere ad una definizione univoca e semplice di densità appare dunque estremamente difficile a tal punto che attorno a questo concetto-strumento qualcuno ha riscontrato la presenza costante di una sorta di "folclore diffuso" (Alexander, 1993 p. 182). Sebbene la densità fisica appaia un indicatore spaziale oggettivo, quantitativo e neutrale, l'inevitabile interazione con gli innumerevoli fattori qualitativi in gioco in ambito urbano necessita una profonda comprensione e va affrontata con estrema cautela. Ad ulteriore chiarimento, si deve aggiungere che il suo vero significato e le sue potenzialità interpretative del contesto urbano si comprendono solo se strettamente connesso alla scala di riferimento e non se considerato in assoluto (Cheng, 2010). E' stato osservato che nonostante alcune definizioni del parametro densità possano essere matematicamente interpretabili come adimensionali, ha poco senso considerarle tali: i valori in gioco appartengono comunque ad una determinata area seppur normalizzata rispetto ad un valore unitario (è il caso dell'uso di una definizione che consideri rapporti tra superfici). Peraltro ciò è ancor più necessario di fronte al suo uso improprio che se ne compie in ambiti urbani non specifici, per i quali i tentativi di confronto tra variabili dimensionali e adimensionali contribuiscono a rendere incomprensibili le capacità interpretative del parametro.
A fronte di questo quadro interpretativo complesso è bene uscire dall'inevitabile impasse ricorrendo ad una definizione di densità che si riferisca non soltanto agli aspetti fisici che il termine contempla, ma anche spaziali: riferita cioè al contesto geografico. Riprendendo la definizione proposta da diversi autori, si potrebbe semplicemente definire la densità urbana come il numero di elementi, e.g. abitanti, alloggi, superfici, appartenenti ad un'area geografica (Boyko & Cooper, 2011; Cheng, 2010; Pont & Haupt, 2010; Reale, 2008).
È da questa, infatti, che scaturiscono le infinite *working definitions* conosciute e utilizzate nella pratica disciplinare da autorità locali, enti pianificatori e progettisti che tendono a specificare le componenti del rapporto a seconda dell'obiettivo specifico dei loro studi.

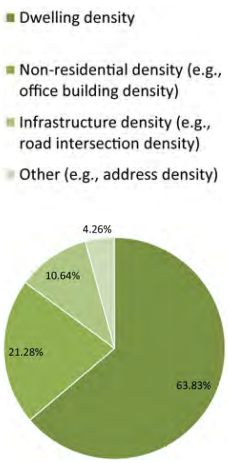


54. Ricerche suddivise per tipologia di densità, Boyko and Cooper, 2011.

55. Tassonomia della letteratura scientifica sulla densità ricostruita da Boyko e Cooper, 2011.



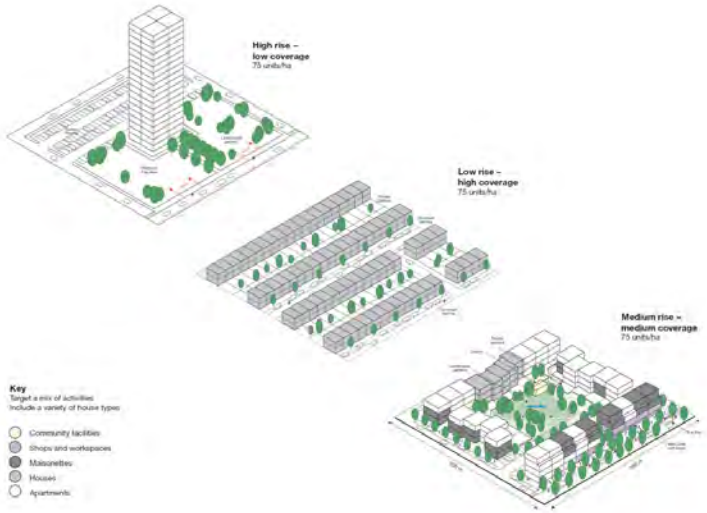
Se si considera l'insieme di quelle più diffuse ed utilizzate, è possibile osservare come siano fondamentalmente riconducibili a tre classi: la prima fa riferimento agli abitanti, la seconda agli alloggi e la terza alle superfici costruite ed ognuna viene rapportata a differenti scale - dal lotto, fino alla regione geografica, passando per il tessuto urbano - (Boyko & Cooper, 2011). E' possibile inoltre rilevare una predisposizione all'utilizzo dipendente dalla tipologia di operatori: le prime due classi vengono tendenzialmente preferite dai cosiddetti *developpers,* dei pianificatori e dei politici in genere, mentre i progettisti sono soliti optare per un controllo della densità tramite le superfici.
In sintesi, la natura polisemica del concetto e la multiformità derivante in ambito urbano di cui si è dato conto hanno generato confusione tra queste e i fenomeni ad esse associati. Il risultato è che molte delle asserzioni riscontrate sul tema finiscono per essere funzione delle interazioni tra detti fenomeni e una densità considerata troppo alta o troppo bassa. Inoltre, a complicare la questione sta il fatto che, sfortunatamente, ci si riferisce ad sua quantificazione quasi sempre in termini relativi, senza una vera analisi quantitativa. Appare evidente che, per giungere ad una visione chiara e generalmente accettata del problema, sono richiesti ulteriori approfondimenti che a partire dal notevole e decisamente utile insieme di contributi su ogni possibile sfaccettatura del concetto di densità, consentano di arrivare ad un quadro interpretativo generale il più possibile condiviso e pertanto strutturato su criteri prevalentemente oggettivi.



56. Tipi di ricerche su densità e morfologia del costruito, Boyko e Cooper, 2011.

Alta densità: una disputa in corso

L'analisi della letteratura sul tema della densità urbana ha mostrato, come indicato, un'intima connessione con molti concetti e fenomeni, spesso distanti tra loro. Buona parte del dibattito disciplinare (secondo una recente rassegna circa due contributi su cinque) è impegnato nell'analizzare le relazioni tra densità e morfologia del costruito con approcci che tendono sempre più alla valutazione oggettiva delle affermazioni spesso a carattere squisitamente qualitativo riscontrabili sull'argomento (Boyko & Cooper, 2011).[4] Tale filone di ricerca, dopo aver compreso la natura complessa di questa relazione, si è orientato allo studio delle definizioni e delle interazioni dei parametri di densità e forma urbana mostrandone i limiti e le opportunità.
Con ipotesi, obiettivi, criteri e metodi differenti, le indagini svolte fino ad oggi hanno mostrato come tra densità edilizia e caratteri morfo-tipologici possano sussistere relazioni molto intricate. L'interesse di queste è prevalentemente orientato ai presunti benefici degli insediamenti ad alta densità (diremo meglio, basati su tipologie edilizie multipiano) investigandone in forma matematico-analitica gli effetti su ulteriori indicatori descrittivi della "qualità urbana": parametri geometrici, ostruzioni, guadagno solare, illuminazione naturale etc . (Cheng, 2010; Gropius, 1936; Hilberseimer, 1978a; Martin &



57. Variazioni di morfologie urbane a densità edilzia costante, Urban Task Force, 1999.

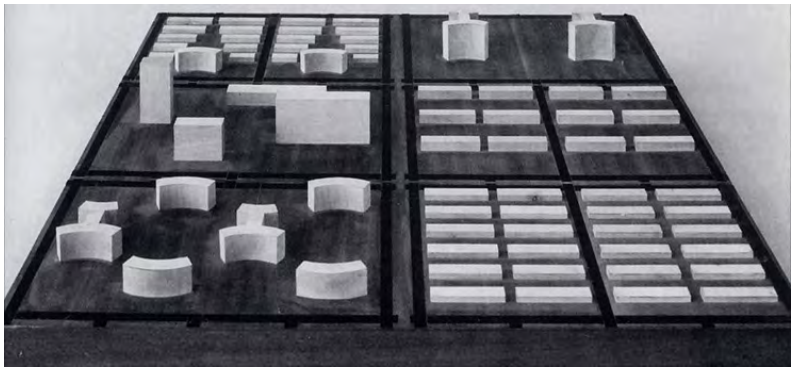
March, 1972; MVRDV, Koek, Rijs, Maas, & Vries, 1998; Reale, 2008). Di particolare rilievo sono stati gli studi condotti a partire dagli anni sessanta sulla morfologia urbana da ricercatori inglesi, italiani, francesi e olandesi. In particolare vale la pena di richiamare all'attenzione le ricerche di Leslie Martin e Lionel March: i loro contributi più influenti riguardano l'incidenza degli elementi costituenti i sistemi urbani sull'efficienza della forma. L'importanza e l'innovatività di queste, risiede anche nell'aver compreso l'importanza del superamento della scala edilizia (fino ad allora considerata consona per quelle tipologie di analisi) a favore di quella urbana.

In seguito agli studi sui tessuti storici delle città italiane guidati da Saverio Muratori, che avevano dimostrato la centralità della scala urbana e la valenza dell'approccio interscalare, alcuni ricercatori inglesi ne esaminano la bontà in rapporto alle prestazioni, affiancando alla morfologia urbana la tipologia edilizia, che pure "assume importanza rilevante in relazione ai parametri di misura della densità e ai loro effetti sulla forma urbana" (Alexander, 1993).[5] Negli anni successivi, ulteriori studi seguono il solco tracciato da queste ricerche; su di essi ci si soffermerà dettagliatamente più avanti.

Oggi il dibattito su queste temi s'intreccia con quello spesso più ambiguo intorno all'alta densità e all'analisi dei suoi vantaggi e svantaggi.[6] Come per i contributi sulle definizioni di densità, anche quelli sull'alta densità denotano le articolate relazioni che s'instaurano nei sistemi urbani e che sono rappresentate dai diversi concetti ad essa associati: forma urbana, tipologia edilizia, impiego di energia, temperatura e ventilazione, soleggiamento, inquinamento, biodiversità, domanda di trasporto, business, indicatori di disagio sociale, privacy, accessibilità economica, etc.[7] Nonostante questi ulteriori livelli di complessità e la prospettiva ormai all'ordine del giorno della sostenibilità dei sistemi urbani il tema della densificazione, è divenuto un punto chiave del programma di gestione territoriale di qualsivoglia amministrazione pubblica, anche nel "vecchio continente" ricco di realtà insediative consolidate attraverso secoli di storia.

Per queste ragioni, appare opportuno riportare qui un quadro molto sintetico dei contributi più significativi a tale dibattito con un duplice fine. Rendere conto degli orientamenti di pensiero attorno al concetto di alta densità e inquadrare all'interno di quest'ambito le analisi seguenti, che tendono a sviscerarne razionalmente significati ed interazioni nell'ambito della forma urbana, della tipologia edilizia e della loro sostenibilità. Il quadro sui vantaggi e svantaggi dell'alta densità che segue è la sintesi di un'attenta revisione della letteratura più rilevante in merito riportata dettagliatamente in due contributi (Boyko & Cooper, 2011; Churchman, 1999). Viene d'obbligo però segnalare che nonostante la loro forma tassonomica e le loro limitazioni di metodo, questi studi rendono molto chiaramente l'incertezza e il generale relativismo che aleggia sull'argomento.

58. Ludwig Hiberseimer: esplorazioni progettuali su variazioni morfologiche a densità abitativa.



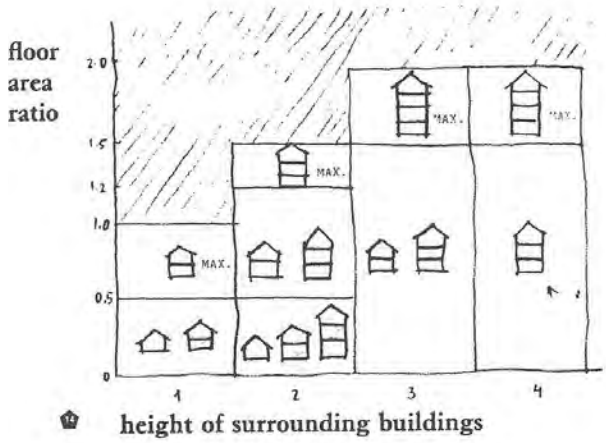
Si ritiene che ciò sia dovuto non tanto all'uso di un determinato parametro di densità e/o di un certo fattore, quanto principalmente all'inadeguatezza delle metodologie proposte ad analizzare e modellare la reale complessità dei sistemi urbani, dei fenomeni che vi hanno luogo e degli effetti conseguenti. Pertanto è importante considerare quanto segue come un quadro di riferimento in cui l'alta densità produce un'influenza notevole su quest'ultimi, ma cui si accompagnano ulteriori fattori in gioco capaci di attenuarne o accentuarne gli effetti (Boyko & Cooper, 2011). In aggiunta, il disaccordo rilevabile sulle questioni riportate deriva, ancora una volta, dalla molteplicità di prospettive disciplinari e dalla soggettività dei singoli ricercatori, che intendono la densità in maniere differenti. Ciò può addirittura causare che un medesimo aspetto possa essere citato sia sotto forma di vantaggio che di svantaggio. Le quattro categorie prescelte per presentarli (ambiente, mobilità, società, economia) sono state volutamente ridotte ai minimi termini per evitare di rendere troppo frammentario il quadro di riferimento. In questo modo si è voluto contrastare l'eccessiva separazione disciplinare riscontrata nella revisione critica della letteratura e favorire una messa a sistema delle conoscenze utili alla comprensione della tematica. Per tale ragione, alcuni degli aspetti possono appartenere a più categorie contemporaneamente: è il caso ad esempio dell'effetto positivo dell'alta densità sulla riduzione delle emissioni nocive dovute ai carburanti per auto. Infine - come si vedrà nel capitolo successivo - l'uso di tali categorie risulta utile a strutturare e condurre un'analisi parametrica delle relazioni che gli stessi fattori instaurano con la densità alla scala metropolitana.

VANTAGGI AMBIENTALI

- Protezione del verde pubblico, del suolo naturale ed agricolo della flora e della fauna all'interno dell'ambito urbano.
- Minore sfruttamento delle risorse naturali per l'edificazione.
- Impianti urbani e tipi edilizi che favoriscono la riduzione di consumi energetici e delle risorse naturali.
- Riduzione dell'inquinamento dovuto al trasporto privato.
- Aumento dell'uso di forme di mobilità sostenibili: pubblica, ciclabile, pedonale, etc.
- Uso efficiente delle risorse naturali, delle infrastrutture e delle urbanizzazioni esistenti.
- Intensificazione dell'ambiente urbano e riduzione dell'impatto ambientale del trasporto di cibo (*food miles*).

SVANTAGGI AMBIENTALI

- Riduzione dello spazio aperto pro capite, dell'irraggiamento solare medio e



59. Relazione tra altezza massima degli edifici (basata sull'altezza degli edifici circostanti) e FAR, Alexander, 1977.

della qualità dell'aria.

· Possibile aumento del consumo di energia.

· Minor capacità d'integrazione in ambito urbano di tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili (solare ed eolico).

· Aumento della congestione e dell'inquinamento.

· Riduzione della capacità di far fronte alla gestione dei rifiuti domestici e dell'opportunità di riciclare.

· Aumento dell'effetto dell'isola urbana di calore e delle superfici impermeabili.

· Uso di maggiori risorse energetiche per la costruzione di alloggi ad alta densità.

· Limitazioni del ricorso all'uso di sistemi energetici passivi.

VANTAGGI PER LA MOBILITÀ

· Riduzione del numero e della lunghezza dei viaggi effettuati con un mezzo privato.

· Riduzione delle emissioni dovute a combustibili fossili.

· Aumento della percentuale di viaggi effettuati con sistemi di trasporto pubblico.

· Maggiore efficienza e fattibilità del trasporto privato.

· Maggiore efficienza e possibilità di sviluppo della rete di trasporto pubblico.

SVANTAGGI PER LA MOBILITÀ

· Aumento del traffico e della congestione delle reti.

· Inadeguatezza delle attuali reti di trasporto pubblico e degli spazi ciclabili e pedonali.

· Sovraffollamento degli spazi aperti urbani esistenti.

VANTAGGI SOCIALI

· Maggiore accessibilità alla casa per fasce di reddito più basse.

· Migliore fruibilità dei servizi.

· Riduzione delle distanze di localizzazione dei servizi e stimolo della mobilità pedonale e ciclabile.

· Aumento di accessibilità, frequenza, comfort e economicità del trasporto pubblico.

· Preserva aree maggiori per attrezzature, servizi e spazi aperti grazie alla minor richiesta di suolo.

· Facilita le attività sociali nel centro urbano.

· Riduzione delle forme di disagio sociale, miglioramento di sicurezza, interazione e integrazione sociale.

· Rivitalizzazione e mix funzionale delle periferie.

SVANTAGGI SOCIALI

- Aumento dello stress e degli effetti negativi sulla salute.
- Possibile condizionamento del comportamento individuale e delle scelte personali.
- Sensazioni di minore sicurezza e privacy.
- Conduzione a competizione tra gruppi per uno spazio, a ineguaglianze, a conflitti e a segregazione sociale.
- Riduzione della quantità di spazio privato e pubblico pro-capite.
- Riduzione del senso di comunità e aumento della criminalità.

VANTAGGI ECONOMICI

- Riduzione dei costi di costruzione degli alloggi e delle relative infrastrutture necessarie.
- Favorisce economie di scala per la realizzazione di servizi pubblici o privati ed infrastrutture.
- Attrazione di capitali privati per attività imprenditoriali.
- Aumenta la fattibilità economica e tecnica dell'applicazione di tecnologie innovative.
- Uso efficiente del territorio basato su edificazione densa e costi maggiori dei terreni.
- Trasporto pubblico più economico e fattibile.
- Riduzione dei costi delle infrastrutture legati all'uso del trasporto privato.
- Incentiva l'applicazione di tecnologie per il risparmio energetico e di sistemi di trasporto più efficienti.

SVANTAGGI ECONOMICI

- Costi elevati per costruzioni a densità molto alta.
- Costi elevati per gestione e manutenzione di edifici ad alta densità.
- Salita vertiginosa dei prezzi dei terreni nel centro urbano.
- Effetti dannosi sull'economia del territorio rurale limitrofo.
- In caso di densificazione di aree urbane consolidate, genera costi indiretti molto elevati necessari alla realizzazione di opere per l'adeguamento delle infrastrutture esistenti.

Al di là della maggiore o minore completezza di questo quadro, quello che colpisce è la condizione di genericità, o quantomeno d'incertezza cui esso fa riferimento. L'ipotesi più verosimile è che ciò sia causato principalmente dal sussistere di due questioni. La prima riguarda - come già accennato - il generale disaccordo tra le diverse posizioni: dettato primariamente da una visione soggettiva sull'argomento. La seconda, forse più

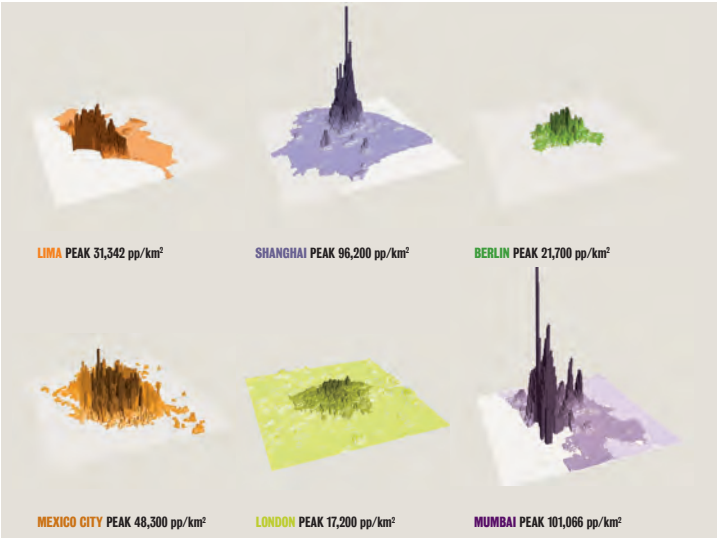
importante in quanto favorisce tale visione, è che molte delle affermazioni riscontrate - siano esse di ricercatori o progettisti - non sono verificabili analiticamente, tendono a fermarsi alla condizione d'ipotesi o tendenze prive di dimostrazione.
Il confronto con le sfide energetiche ed ambientali odierne, ci richiede lo sforzo di analizzare con maggiore profondità i rapporti tra forma urbana, densità e sostenibilità. Nella consapevolezza dell'impossibilità di stabilire in assoluto che alta, media o bassa densità possano essere sinonimo di benessere, qualità di vita e sostenibilità, si riscontra la necessità di individuare metodi di supporto all'analisi e alla progettazione che possano contribuire alla comprensione neutrale dell'incidenza della densità edilizia sulle relative prestazioni ambientali ed energetiche.

DENSITÀ COME PARAMETRO DI MISURA

Metodi di misura della densità

Sulla base delle considerazioni finora presentate, sono i fattori quantitativi, qualitativi, socio-culturali e cognitivo-individuali che entrano in gioco nella definizione di densità urbana. Senza voler minimamente trascurare l'importanza di ciascuno di questi fattori, e compresa la distinzione fondamentale tra densità fisica e densità percepita, ci si vuole soffermare primariamente sull'accezione parametrico-quantitativa e sui possibili metodi di misura utilizzabili.
Come detto, la densità fisica riferita ai contesti costruiti è esprimibile mediante un rapporto - utilizzato spesso in molteplici discipline che afferiscono alla sfera urbana - come strumento per misurare. La frazione presenta al numeratore alternativamente il numero di abitanti, di alloggi o di metri quadri compresi all'interno di una certa area, al denominatore la superficie stessa di suddetta area. Per quanto possa variare nella modalità di misura è di fatto un parametro quantitativo, oggettivo e neutrale. Quantitativo in quanto basato su una relazione puramente numerica, oggettivo perché (definite quelle che potremmo dire le condizioni al contorno) non condizionato dalla variabilità dei punti di vista, neutrale poiché privo di giudizio.
Nonostante ciò, l'uso odierno all'interno delle varie pratiche disciplinari dimostra che una definizione universalmente accettata per misurare la densità, come ad esempio accade in fisica, sembra non esistere. Tale misura è meno oggettiva di quanto si possa pensare. Tre ordini distinti di motivi ne sono la causa:

- L'uso di differenti numeratori e denominatori introdotti a comporre il rapporto: nella maggior parte dei casi al numeratore compare il numero di abitanti, di alloggi, o la superficie costruita; il denominatore può essere rappresentato dalla superficie territoriale o da quella residenziale.
- L'uso di differenti unità di misura per il calcolo della superficie di riferimento.



60. Modellazione tridimensionale della distribuzione di densità abitativa in alcune delle principali metropoli modiali, Sudjic, 2007.

Acri, ettari, miglia quadrate, metro quadrato, chilometro quadrato sono le più ricorrenti.

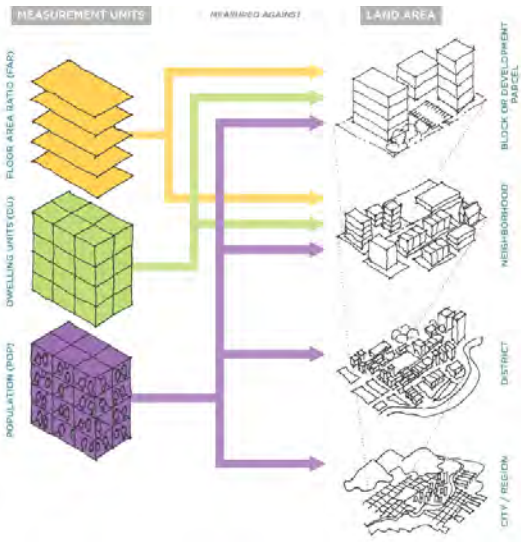
· L'assenza di una definizione condivisa per la densità netta e lorda che individui univocamente le quantità di spazi omogenei a quelli riportati al numeratore o al denominatore: vengono riversati indifferentemente nell'uno o nell'altro spazi pubblici di vicinato, accessi ai lotti e parcheggi locali, strade, spazi pubblici nel loro complesso, superfici non residenziali.

Un fattore significativo rispetto al primo punto è di certo l'individuazione dei limiti della superficie di riferimento, perché contiene, implicitamente, la scelta della scala adeguata in cui operare le analisi rispetto alla definizione parametrica utilizzata. Assume rilevanza, per la rappresentatività dell'analisi, l'omogeneità tipologica e d'uso del sistema urbano ricompreso all'interno di tale superficie: un aspetto che specie in passato si tendeva a trascurare al momento di strutturare la metodologia di studio, ma a cui recentemente si fa maggiore attenzione. L'importanza della scala è legata, inoltre, all'inevitabile condizione di valor medio della densità: per riflettere adeguatamente la realtà e consentirci di operare contemporaneamente a più scale di riferimento, tali misure devono essere calate su porzioni omogeneamente definite e individuate (Cheng, 2010). Ciononostante, specie per i casi in cui la scala è ampia, è necessario comprendere la rappresentatività di tale valore rispetto ai gradienti che questo assume nella distribuzione spaziale. In questo senso il ricorso ai gradienti non è altro che una modalità di analisi alternativa all'uso interscalare del parametro per comprendere natura ed intensità del costruito (Burdett, Sudjic, London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft für Internationalen Dialog., 2011; Cheng, 2010; Sudjic, Burdett, London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft fèur Internationalen Dialog., 2007).

Di seguito si descrivono e analizzano i tipi di densità ad oggi più utilizzati per descrivere i contesti urbani. Data la mancanza di una definizione univoca e condivisa, quelle riportate appartengono al gruppo delle cosiddette *working definitions* (cioè quelle utilizzate correntemente nella pratica operativa progettuale e della ricerca) che hanno mostrato un carattere di maggiore chiarezza ed univocità. Sono state escluse, invece, tutte quelle che celavano forme di ambiguità e indeterminatezza, al fine di disincentivarne l'applicazione specie nello studio delle relazioni tra densità e forma urbana. I diversi metodi di misura sono riconducibili a tre grandi categorie a seconda dell'elemento che costituisce il numeratore: popolazione, alloggi, superficie edificata.

DENSITÀ ABITATIVA - DENSITÀ DI POPOLAZIONE

Si definisce come il numero di abitanti appartenenti a una certa area di riferimento. In

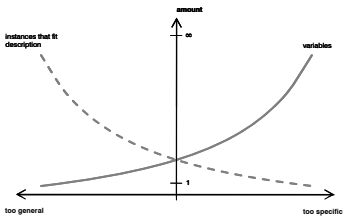


61. Possibili metodi di misura della densità al variare del numeratore e del denominatore in relazione alla adeguatezza a differenti scale di riferimento, Density Atlas 2012.

ambito statistico è un tipologia di densità piuttosto diffusa, che viene utilizzata più frequentemente a scale di riferimento ampie (interi quartieri, città, regioni metropolitane e persino nazioni) ma si presta ad un utilizzo a qualsiasi scala. Per quanto restituisca chiaramente l'idea del numero di persone che gravitano in un determinato contesto, più l'area di riferimento cresce di dimensioni, più si ha a che fare con un valore medio: incapace di descrivere i gradienti spesso esistenti in un contesto urbano (Hitchcock, 1994). Se però si trasforma il rapporto in una sommatoria di rapporti i-esimi che descrivono sottoinsiemi omogenei, si può tentare di eliminare tale problematica ed ottenere rappresentazioni sufficientemente approfondite.

Possono fare da denominatore la superficie territoriale (e in questo caso si parla di d. di popolazione), la superficie coperta - ovvero l'impronta a terra della sagoma costruita - (d. metropolitana), oppure la superficie residenziale (d. di lotto o *parcel density*). In quest'ultimo caso, l'indice può assumere anche il nome di densità residenziale, da non confondere con il parametro che seguirà, basato su numeratori appartenenti alla natura fisica del costruito.

È stato dimostrato che esiste una relazione molto debole tra questi tipi di densità e la forma urbana (Pont & Haupt, 2010 p. 81). Tali valori, infatti, sono facilmente influenzabili dalla condizione socio-economica di un contesto. Per questo possiedono maggiore variabilità nel tempo rispetto a quei parametri che fanno riferimento a proprietà del costruito e a suoi costituenti. L'affidabilità risulterebbe molto più elevata per scale di riferimento minori (isolato, tessuto, etc.) se ciò non si scontrasse con la frequente difficoltà ad ottenere dati sufficientemente dettagliati sulla distribuzione di popolazione. Nell'indagare le relazioni con indici urbani di sostenibilità, bisogna porre attenzione ad analizzare sotto quali condizioni dipendano più direttamente dal fattore demografico e sotto quali altre da quello edilizio.



62. Tensione tra genericità e specificità espressa come rapporto tra adeguatezza della modellazione e numero di viariabili, Pont e Haupt, 2010.

DENSITÀ DI OCCUPAZIONE

In generale si riferisce al rapporto tra il numero di utenti e una qualsiasi superficie costruita ad essi attribuibile. Di fatto, la declinazione più utile è quella riferita al rapporto *abitanti/superficie alloggio*, o ancor meglio la sua funzione inversa che è buon indicatore della disponibilità di spazio pro capite. Dal punto di vista dell'affidabilità, vale quanto precedentemente espresso per la densità abitativa.

DENSITÀ RESIDENZIALE

Sotto questa definizione ricade il rapporto composto dal numero di alloggi e la relativa superficie di riferimento. Appare evidente che pur effettivamente rappresentando un tipo di densità significativa ad esprimere l'intensità d'uso di un territorio, come osserva Churchman, è rilevante il peso della dimensione media dell'alloggio, che può variare

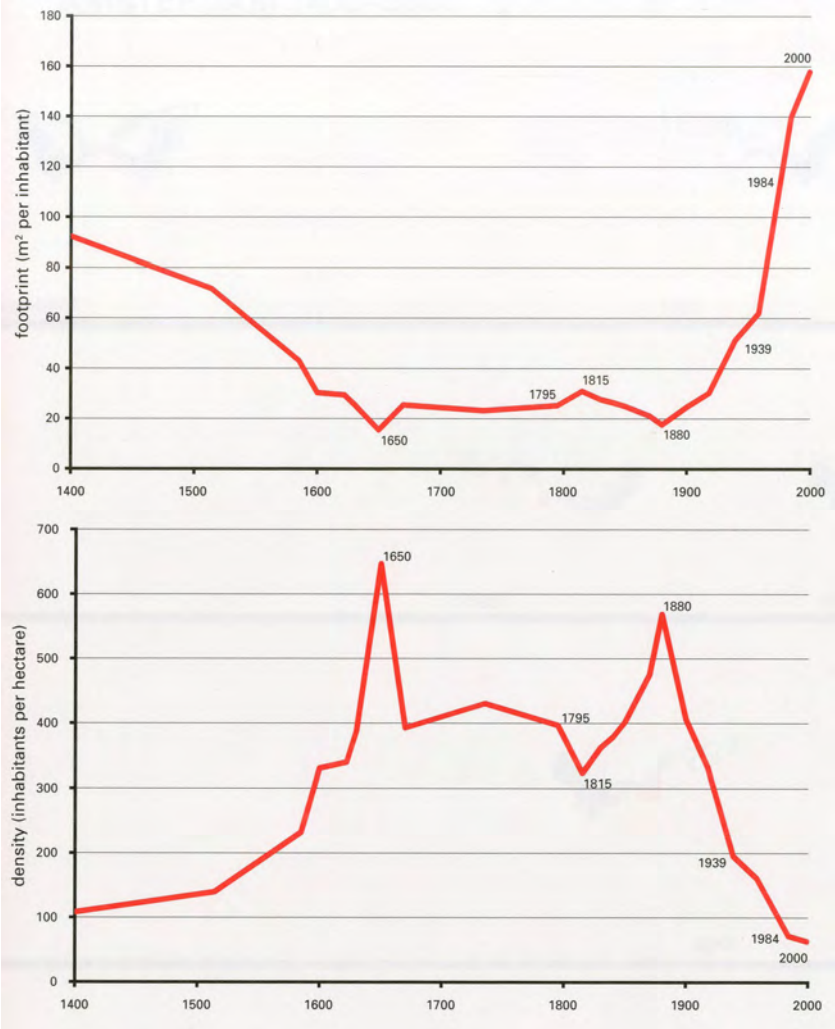
TABLE 1. Density Measures in Residential Areas

Parcel density (net-net density, net site density, net density, lot density)	Parcel density is measured in areas designated for residences. The two main ways to express this density are dwelling units per area and floor area per area. In some cases (Toronto, Israel, some regions of the United States), the measure consists only of the number of dwelling units built on parcels allocated for residence—it excludes roads, parks, and other public lands (Alterman and Churchman 1998; Berridge Lewinberg Greenberg, Ltd. 1991b; Wentling 1991). In the Netherlands, net density includes neighborhood-related spaces such as the land of the houses, schools, local streets, and local parks (van Andel 1998). The measure of floor area per area density is expressed in the ratio between the floor area and the lot area, both expressed in square meters. This measure is especially useful when the same parcel consists of land for residential and nonresidential purposes or in areas of high density and large buildings. Since the parcel density denominator is precisely defined, in contrast to other density measures, it is the most unambiguous measure.
Street density (net density)	This measure includes the area of the public street rights-of-way that provide access to the residential parcels. The prevalent numerator is the number of dwelling units, whereas the denominator is typically the parcel area plus half of the public rights-of way adjacent to the residential parcels.
Gross residential area density (gross site density, residential density, residential area density, gross density, gross living area density, neighborhood density)	This term expresses the living space of the population in the residential area, including both private and public space. This measure is useful because many residential areas include a limited variety of nonresidential uses meant to serve the local residents, such as parks, schools, community centers and so forth. It takes into account the space needed by a given residential population, when all the residentially related uses are taken into account, in addition to public streets and the residential parcels. Gross residential density is the most ambiguous measure, because some neighborhoods may include land for purposes that serve a wider population than that of the specific area, for example, zoos, theaters, and so forth. Wentling (1991), for example, defines gross density in parts of the United States as the number of units per acre of initial undeveloped site.
Density measures beyond residential areas (population density, community density)	Since the denominator in this measure includes the entire municipal area, it will reflect the lowest density mentioned so far, because the municipal region includes land that has other than residential uses, as well as undeveloped land. Hitchcock (1994) points out that as the amount of undeveloped land differs from city to city, it is difficult to compare the density of different cities whose density measure is based on dwelling units. On the other hand, Berridge Lewinberg Greenberg, Ltd. (1991a) claims that two measures—gross population density and gross urban density—do not include, in most cases, undeveloped areas and that these measures are therefore useful for a comparative study of cities.

Table 1
Working definitions of density.

	Density type	Metric
1	Habitable rooms per hectare	The number of rooms in a dwelling that are used for dwelling purposes (except for kitchens, bathrooms and WCs) divided by total land area
2	Habitable area	The net internal area excluding kitchen, utility, storage and notional circulation areas
3	Occupancy density	Total number of occupants in an individual dwelling divided by the total floor area
4	Parcel or site density (or plot ratio, when used with floor area)	DU, RP[a] or floor area divided by total site/ parcel area
5	Block density	DU or RP divided by block area measured to the kerb
6	Part block density	DU or RP divided by clear subset of block area
7	Net neighbourhood residential dwelling/population density	DU or RP divided by total land area devoted to residential facilities
8	Net neighbourhood residential building type density	Similar to net neighbourhood residential dwelling/population density but only counts dwellings of one type (e.g., terraced housing)
9	Net street density	Similar to net neighbourhood residential dwelling/population density but includes the public street rights-of-way that provide access to residential parcels
10	Net neighbourhood density	DU or RP divided by the neighbourhood area with the base land area calculated to exclude city-wide uses in the neighbourhood
11	Gross neighbourhood density	DU or RP divided by the total neighbourhood area
12	City density	DU or RP divided by the entire developed area of the city
13	Metropolitan density	DU or RP divided by total area
14	Net residential density at city or metropolitan level	DU or RP divided by residential land at a city or metropolitan level
15	Floor area ratio	Built floor area on all floors divided by the parcel area
16	Building site coverage or coverage ratio	Area of ground floor footprint of building divided by the parcel area
17	Building block coverage	Area of ground floor footprints of buildings divided by the block area measured to the kerb
18	Impervious surface parcel coverage	Area of ground floor building footprint plus paved car parks, drives, pavements, paths, decks and other buildings divided by site or parcel area
19	Impervious surface block coverage	Same as impervious surface parcel coverage but using the block as the base land area
20	Building height for parcel	Measured in feet for parcel area
21	Front parcel setback in feet for parcel	Distance from the front facade of the building to the front property line
22	Front kerb setback	Measured in feet, with the setback of each building from the kerb averaged by building over a block
23	Side-to-side distances between buildings	Measured in feet and averaged across a block

63. Tipi di densità utilizzati per descrivere aree residenziali dalle revisioni della letteratura effettuate da Churchman e Boyko & Cooper.



64. Variazione della densità di popolazione ad Amsterdam tra il 1400 e il 2000, Pont e Haupt 2010.

anche di molto a seconda dei contesti (Churchman, 1999). In base alla composizione delle superfici al denominatore può assumere valore *netto* o *lordo*: anche quest'aspetto è, di sicuro, un forte limite causato dell'assenza di consenso e univocità sulle due forme di rappresentazione. Al variare della scala di riferimento la sua nomenclatura può cambiare (*block d.*, *part block d.*, *net neighbourhood residential d.*, *metropolitan d.*, etc.).
Una certa problematicità, rispetto all'accuratezza di rappresentazione di questa variabile, risiede nel considerare tessuti urbani a differenti tipologie edilizie. Una maniera di ovviare all'imprecisione è quella di distinguere nel calcolo le densità residenziali per tipi edilizi come, ad esempio, si propone nell'indice chiamato *net neighbourhood residential building type d.* (Boyko & Cooper, 2011 p. 6). A differenza di quanto visto per la densità abitativa e di occupazione, in questo caso si avrà una maggiore persistenza alla variazione nel tempo.

FLOOR AREA RATIO (FAR) - FLOOR SPACE INDEX (FSI) - FLOOR SPACE RATIO (FSR) - LAND USE INTENSITY - PLOT RATIO - SITE RATIO - INDICE DI EDIFICABILITÀ FONDIARIA (O TERRITORIALE)

Sotto queste molteplici definizioni ricade il rapporto tra la superficie totale edificata o edificabile e la porzione di suolo a cui essa si riferisce. È un indicatore relativo esclusivamente all'intensità edilizia di un contesto urbano, che possiede notevoli potenzialità di relazione con ulteriori parametri descrittori ad esso riferiti. Viene utilizzato specialmente per la descrizione di aree a prevalente destinazione terziaria e commerciale, ma può essere applicato indipendentemente dalle funzioni insediate. Dal 1948 è stato istituito in Europa come misura standard; il suo analogo statunitense FAR, compare nella versione del 1961 della *Zoning Resolution* di New York.
Le difficoltà nell'uso si celano nella delimitazione delle aree componenti il denomina-

tore, specialmente se dalla scala del singolo lotto si cresce a contesti più ampi, nei quali entrano in gioco le superfici pubbliche. Queste, a seconda dei contesti geografici, sono considerate o meno parte del rapporto. Nelle diverse definizioni incontrate le superfici includono ovvero escludono l'involucro esterno, le parti interrate ed accessorie, i cavedi, i corpi scala e il connettivo. Con il nome di Indice di edificabilità fondiaria[8] (o territoriale a seconda della superficie a cui ci si riferisce) si definisce uno dei parametri adottati dal Nuovo Piano Regolatore Generale di Roma (Roma, 2008). Per ulteriori approfondimenti sulle molteplici declinazioni di quest'indice si veda (Boyko & Cooper, 2011).

RAPPORTO DI COPERTURA O COMPATTEZZA - GROSS SPACE INDEX (GSI) - INDICE DI COPERTURA

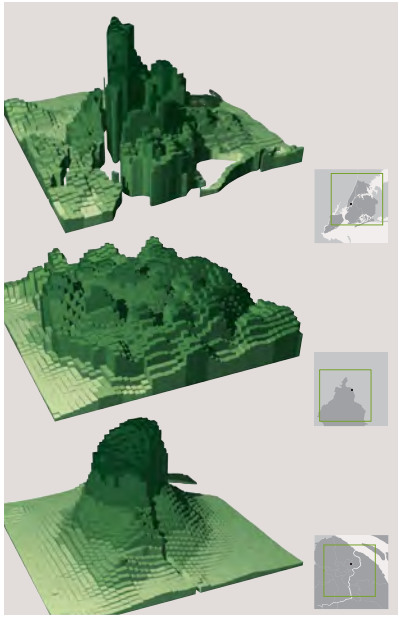
Esprime la relazione, mediante rapporto, tra l'impronta dell'edificato e l'area complessiva di riferimento. Descrive utilmente la distribuzione del costruito e del vuoto, ma non ha capacità di restituirne l'intensità. Nella storia della pianificazione urbana ha trovato applicazione normativa nel piano dell'*Eixample* di Barcellona, in quella di Berlino e nella *Zoning Law* di New York del 1961 (Busquets & GSD, 2005; City Planning, 1982). Tra i casi di utilizzo nella pianificazione recente si segnala il Nuovo Piano Regolatore Generale di Roma, in cui compare sotto il nome di Indice di copertura (Roma, 2008).[9]

OPEN SPACE RATIO (OSR) - AMPIEZZA

Esprime il rapporto tra la superficie libera da edificazione e la superficie totale costruita di un'area determinata. Generalmente ne viene fissato un valore nella pianificazione per garantire una certa quantità di spazio aperto. Può essere utile a rivelare il carattere di un'area in termini di "pressione" dello spazio costruito sullo spazio aperto .

RAPPORTO ALTEZZA DEGLI EDIFICI-LARGHEZZA DELLE STRADE (HEIGHT/WIDTH RATIO)

L'altezza massima ammissibile, spesso rapportata alla larghezza delle strade corrispondenti, può essere un fattore rappresentativo della densità edilizia. Tant'è che alla fine del XIX Secolo in molte delle principali città europee (Berlino, Copenaghen, Monaco, Parigi, Roma, Stoccolma) questi valori furono regolati reciprocamente dalle norme. L'indice è stato oggetto di studi passati e recenti, ma quello che appare evidente è che nonostante l'uso congiunto delle due grandezze non si sia in grado di rappresentare adeguatamente la morfologia del costruito se non supportato da altre variabili.[10] La ragione risiede nella definizione stessa del rapporto che è strutturato su due valori che descrivono bene la geometria del canyon urbano (ovvero lo spazio esterno delimitato dalle facciate degli edifici) ma non possono fornire informazioni sulla natura dei tipi edilizi nel loro complesso.



65. Gradienti di densità di popolazione per alcune aree metropolitane e tessuti urbani tipici, Urban Age Project , 2009.

DENSITÀ DI RETE (N)

Secondo Conzen le principali entità spaziali di un contesto urbano, sono riconducibili essenzialmente a tre: la rete stradale, il tessuto dei lotti e la morfologia edilizia.[11] Di recente, proprio per rendere completa la descrizione di tali entità, è stata definita ed introdotta la densità di rete che esprime i metri lineari di rete infrastrutturale stradale per unità di superficie considerata (Pont & Haupt, 2010).

ALTRI INDICI DI DENSITÀ

Oltre ai metodi di misura della densità finora descritti, sia la pratica progettuale che la speculazione teorica hanno stimolato la produzione di infinite loro variazioni. Diverse rassegne, più o meno recenti, ne danno conto in maniera esaustiva ed è a questi che si rimanda per ulteriori approfondimenti (Alexander, 1993; Boyko & Cooper, 2011; Churchman, 1999; Forsyth, 2003).

Tra questi, è utile soffermarsi sul *Land use Intensity Ratio* (LIR). Tale parametro combina il FAR con altri cinque indici: spazio abitabile, spazio per lo svago, parcheggi e *reflecting*

$$FSI_x = F_x / A_x \quad (2)$$

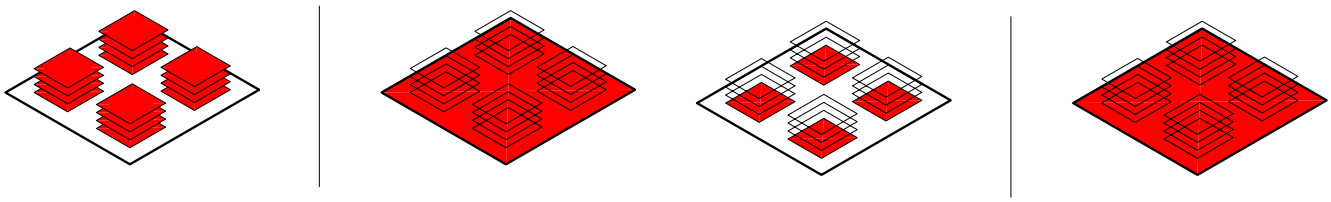
F_x = gross floor area (m^2)
A_x = area of aggregation x (m^2)
x = aggregation (lot (l), island (i), fabric (f), or district (d))

This index uses the unit square metres per square metres (m^2/m^2).

$$GSI_x = B_x / A_x \quad (3)$$

B_x = footprint of (m^2)
A_x = area of aggregation x (m^2)
x = aggregation (lot (l), island (i), fabric (f), or district (d))

This index uses the unit square metres per square metres (m^2/m^2).



66. Formule matematiche e graficizzazioni di alcuni indici di densità utilizzati nella definizione di Spacematrix, Pont e Haupt, 2010.

open space[12] (Alexander, 1993). La sua notorietà, frutto della sua definizione complessa e della conseguente eccessiva rigidezza, è allo stesso tempo la causa del limitato successo riscosso nella pratica.

EQUIVALENZE TRA DENSITÀ ABITATIVA, RESIDENZIALE E FAR

Se si è in possesso di dati affidabili sulla dimensione media degli alloggi e sulla superficie media pro-capite, si possono effettuare equivalenze tra i tre tipi di densità. Questa trasformazione, seppur contiene alcuni rischi di approssimazione di cui bisogna essere consapevoli - dovuti all'utilizzo di valori generalmente forniti come media -, permette un confronto agile tra differenti metodi di misura che spesso si possono incontrare nella pratica progettuale.

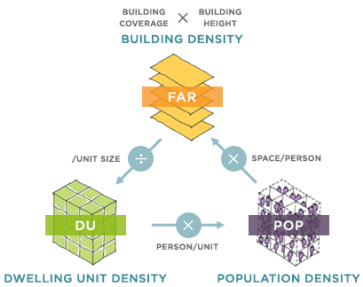
SPACEMATRIX. UNA DEFINIZIONE DI DENSITÀ MULTI-PARAMETRICA

Nella ricerca di un'espressione della densità che avesse potenzialità descrittive della forma urbana, uno studio dell'Università di Delft condotto da Meta Berghauser Pont e Per Haupt, è giunto ad utilizzare tre degli indicatori fondamentali (intensità del costruito - FSI, rapporto di copertura - GSI e densità di rete - N), per definire un metodo molto efficace: adeguato ad esprimere differenze formali, ma allo stesso tempo semplice al punto da evitare complicazioni nell'utilizzo (Pont & Haupt, 2010). Combinando i tipi di densità indicati, a loro volta derivanti da quattro parametri di base facilmente deducibili (superficie di riferimento, lunghezza della rete stradale, superficie costruita e superficie coperta), mediante l'utilizzo di grafici è possibile ottenere indicazioni sulle caratteristiche della morfologia urbana ad essi corrispondente.

Il legame di questa definizione con le proprietà geometriche di un contesto costruito fa sì che qualsiasi sua porzione possa ricadere all'interno di questo diagramma e - anche contemporaneamente - in forma di differenti aggregazioni a più scale di riferimento (edificio, lotto, isolato, tessuto, quartiere, etc.). Tali caratteristiche, che gli permettono di esprimere dati e proprietà complesse dello spazio, hanno condotto gli stessi autori a definirlo "DNA spaziale" (Pont & Haupt, 2010 p. 116).

I tre indicatori sono correlati su di un grafico tridimensionale - *Spacematrix* - che è possibile scomporre in diverse proiezioni bidimensionali. Quelle di cui è stata verificata la validità sono: *Spacemate* che relaziona GSI ed FSI, il grafico FSI-N e il grafico b-N (dove b rappresenta la sezione della rete stradale). Il più interessante rispetto alla descrizione morfologica del costruito è certamente il primo, che riporta in ascissa il rapporto di copertura, e in ordinata l'intensità del costruito.

Utilizzando questo particolare indice a più variabili si riescono a visualizzare ed, ancor più importante, a misurare alcune delle proprietà formali del costruito: l'omogeneità, l'incidenza dei vuoti e soprattutto il tipo di morfologia. Questa rappresentazione multi-

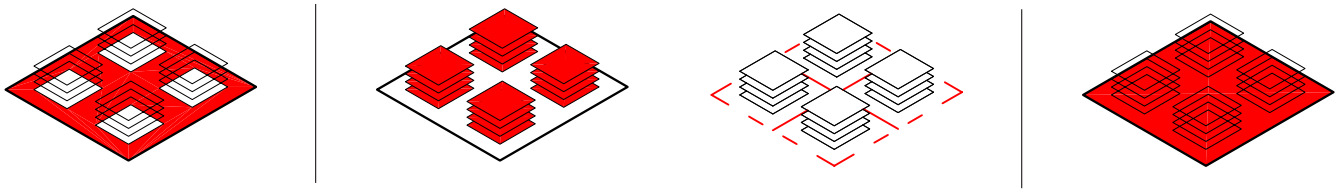


67. Equivalenze tra unià di misura, Density Atlas, 2012.

$$N_f = (\sum l_i + (\sum l_e)/2)/A_f \quad (1)$$

l_i = length of interior network (m)
l_e = length of edge network (m)
A_f = area of fabric (m^2)

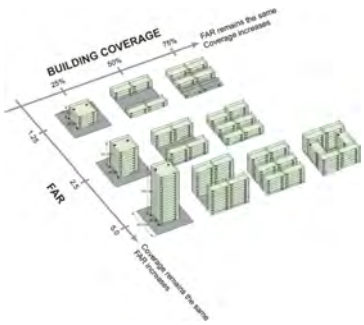
$$OSR = (1 - GSI_x)/FSI_x \quad (5)$$



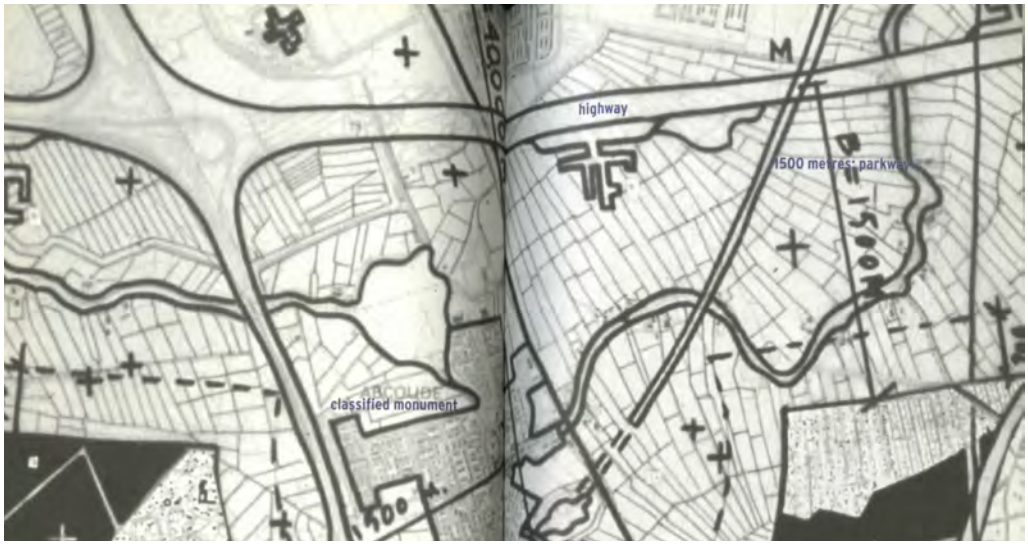
parametrica si viene a configurare come uno strumento utile per due ordini di motivi: ha dimostrato al contempo la flessibilità e l'accuratezza necessarie all'applicazione ad analisi a differenti scale di riferimento ed inoltre, aspetto ancor più importante, appare in grado di relazionarsi con altre performance dell'ambiente costruito ed in particolar modo con quelle energetiche (Pont & Haupt, 2010 p. 201). Sono gli stessi autori ad affermare, infatti, che "le relazioni tra densità, consumo di spazio urbano e conseguenze ambientali dell'urbanizzazione, dovranno essere centrali nella pianificazione e nella pratica progettuale" (Pont & Haupt, 2010 p. 264).

Considerazioni sui metodi di misura

Per quanto detto, qualsiasi metodo di misura della densità sia possibile considerare o immaginare esso presenta una serie di vantaggi, ma anche alcuni difetti nel rappresentare un determinato contesto. La ragione principale risiede nell'estrema complessità dei sistemi urbani odierni: ogni sua possibile traduzione in forma matematica, in quanto modello della realtà non può rispecchiarla appieno. Ciò da una parte può risultare riduttivo, ma dall'altra consente di isolare e studiare specifiche problematiche di un determinato ambito costruito senza rischiare di finire paralizzati dalla sua natura multiforme.
L'analisi esplorativa sui più comuni metodi di misura della densità qui presentata, oltre a rappresentare un valido riferimento per lo studio che sarà oggetto dei capitoli successivi, ha voluto evidenziare potenzialità e problematicità del loro utilizzo per correlare analiticamente la morfologia urbana alle istanze ecologiche, ambientali energetiche e di benessere.
Alcune considerazioni in linea del tutto generale possono essere stilate al fine di fornire strumenti per la strutturazione di criteri e metodi che prevedano l'utilizzo del parametro di densità in maniera consono ed efficace. La prima riguarda l'ambito di ricerca in cui si è chiamati a operare: se, ad esempio, oggetto d'interesse è la natura fisica di un contesto urbano o costruito che dir si voglia, diviene allora fondamentale rendere il più possibile aderente i metodi di misura alla morfologia urbana da studiare e pertanto alla sua natura tridimensionale; diverso sarà il caso di uno studio antropologico che indaghi il disagio o la segregazione urbana.
La seconda concerne gli obiettivi della ricerca, rispetto ai quali andranno individuati parametri, variabili, e scale di riferimento congrue. La questione della scala e dell'interscalarità deve essere compresa e assimilata con coerenza all'interno del processo metodologico: le limitazioni dovute all'uso di valori medi rappresentativi, costituiti di volta in volta dagli indici, possono essere superate dall'uso contemporaneo di più scale e allo stesso tempo dalla valutazione dei gradienti di variabilità che essi assumono all'interno dei confini fisici dell'analisi.



68. FSI (FAR) vs GSI (Building coverage).

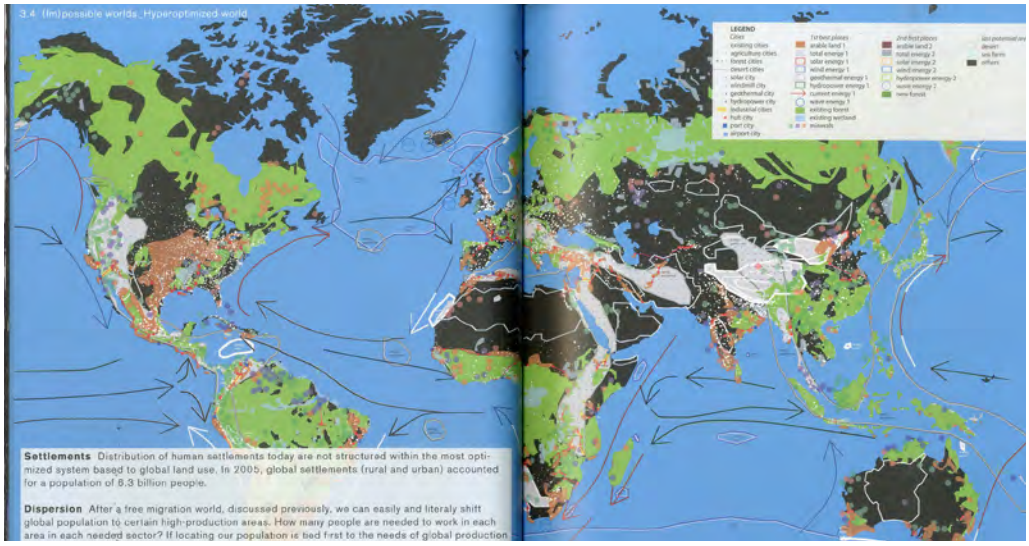


69. Datascapes: Il paesaggio del "pragmatismo sublimato. [...] Nel momento in cui l'architettura divene urbanistica entra nel realismo delle quantità." MVRDV, 1999.

L'ultima considerazione concerne la ricerca ovvero la stima degli elementi che costituiscono gli indici di misura: non in tutti i contesti si hanno a disposizione database e statistiche adeguati a costituire un quadro di riferimento completo. Molto spesso queste sono basate su livelli e unità spaziali di analisi o troppo ampie o differenti; inoltre, in certi casi, una rilevazione diretta del dato (popolazione, alloggi, superfici costruite) risulta difficoltosa per mancanza di informazioni dettagliate a riguardo. Appare chiaro, allora, che in queste circostanze la selezione coerente del metodo di misura risiede nel rendere confrontabili i diversi valori medi chiamati ad interagire tra loro, operando sulla scelta delle aree di riferimento e quindi delle scale.
È l'evoluzione stessa che il parametro e i suoi metodi di misura stanno vivendo in questi ultimi anni a suggerire queste considerazioni: si assiste a tentativi sempre più numerosi d'includere nelle definizioni molte più informazioni di quanto fatto in precedenza. Ne è un esempio emblematico la combinazione di più fattori tra loro che sta determinando l'affermazione di indici multi-variabile come *Spacemate* (Pont & Haupt, 2010).

DENSITÀ E PROGETTO: DA STRUMENTO A FONDAMENTO

Molte sono le testimonianze che dimostrano un ritrovato interesse nei confronti della densità in epoca odierna, quasi a voler insidiare il primato dell'ancor più *glamour* sorella maggiore sostenibilità. Pare proprio che quando si ragiona di architettura non si possa evitare di fare i conti con tale categoria di pensiero un po' vetusta, che dal contesto proprio degli studi di geografia urbana e dalle pratiche dell'urbanistica è stata fatta trasmigrare di recente nel nobile campo della teoria della progettazione architettonica (Cecere, 2013).
Le motivazioni di questa attenzione possono essere molteplici. Da un lato esiste un effettivo interesse disciplinare sulle potenzialità investigative e progettuali della densità, al punto da identificarla ora quale strumento proprio, ora quale fondamento di dottrine progettuali contemporanee. Dall'altro - seguendo quella che pare essere un'inveterata abitudine in architettura - altri la riducono, per effetto di opportune manipolazioni, a tributo esterno: niente più che un *OGM concettuale* utile a perorare una causa - ora dell'architettura, ora dell'urbanistica - e riaffermarne la supremazia disciplinare rispetto alla reciproca consorella (Cecere, 2013).
Non è un caso, infatti, che alcuni autori arrivino a legittimare i loro studi sul tema della densità affermando che con l'appropriazione e la diffusione di questo strumento di misura della realtà - "fattore necessario da cui partire oggi per fare un discorso sulla città basato sui parametri scientifici" - non solo sarà possibile riallacciare "un filo con il rigore della ricerca e della sperimentazione della tradizione moderna" ma addirittura "rilanciare la disciplina urbanistica, nel tentativo di superare una pianificazione di tipo puramente



70. (Im)possible Worlds, anno 2130: la disciplina architettonica progetta gli iinsediamenti umani alla scala globale tramite un attento controlli di quantità e dimensioni, MVRDV, 2005.

bidimensionale […] attraverso l'architettura dei singoli progetti urbani" (Reale, 2008 p. 11).

Uno strumento prodigioso dunque, in grado di riannodare idealmente architettura e urbanistica in modo da colmare quel vuoto disciplinare causato dalla incapacità di entrambe di incidere sul territorio e sulla sua trasformazione; uno strumento che permetterà all'architettura di "riconquistare il territorio" e "ritrovare un ruolo nella società del futuro" (Reale, 2008 p. 7), cercando di dare finalmente una risposta allo "spettacolare declino" ovunque sancito dalla "disperata produzione di fiacche villette di campagna" e di invertire l'amaro destino sancito dalla morte della pianificazione urbanistica per effetto della pervasività della Città Generica (Koolhaas & Biraghi, 2001; Koolhaas & Mastrigli, 2006).

Come affermato in precedenza, anche in questo caso, il processo abituale di pensiero interno alla disciplina sembra reiterarsi per qualsiasi possibile categoria concettuale (nuova o rinnovata). Ne è stato un esempio la conferenza-libro-manifesto *Ecological Urbanism*, in cui si è cercato di dare risposta alle incertezze della pratica urbanistica e architettonica, in un contesto che sta subendo mutazioni rapidissime di fronte alla questione energetica ed ambientale (Mostafavi & Doherty, 2010). Purtuttavia, sorvolando su questa annosa e complicata disputa ideologica, quello che qui preme rilevare e comprendere è l'effettivo interesse mostrato da parte degli architetti nei confronti della densità intesa nelle sue accezioni di strumento operativo e categoria teorica. A dimostrarlo sono gli attuali e numerosi studi sull'argomento, condotti nel contesto della città europea, tradizionalmente basata sul modello di città compatta e che oggi sperimenta una nuova forma evolutiva di questo modello.[13]

Una storia recente che fonda le sue radici di pensiero nelle sperimentazioni progettuali del passato e che, pur con esiti a volte contraddittori nella loro natura speculativa, tenta di rispondere alle mutate esigenze contemporanee. Qui si proverà a ripercorrerla brevemente, senza la pretesa di completezza, ma piuttosto con l'intenzione di comprendere il processo che ha condotto all'utilizzo odierno di questo concetto, ricostruendone i passaggi cruciali evolutivi, e le sue tendenze attuali nell'ambito della riflessione disciplinare.

Nell'intento di trasformare l'ambiente per abitarlo, l'uomo ha generato configurazioni urbane e tipologie insediative che variano per morfologia ed intensità in base ai modelli culturali di riferimento e che producono effetti sulle prestazioni del costruito, tanto più incisivi quanto più la struttura spaziale risulta complessa. Con la rivoluzione industriale, le grandi città sperimentano le conseguenze di una crescita dirompente verso lo *status* di metropoli che pone questioni e genera discussioni nuove sui temi che a poco a poco si coaguleranno attorno alla nascente urbanistica moderna. Subito dopo la metà del XIX secolo, le città europee crescono rapidamente in numero di abitanti sotto l'effetto di

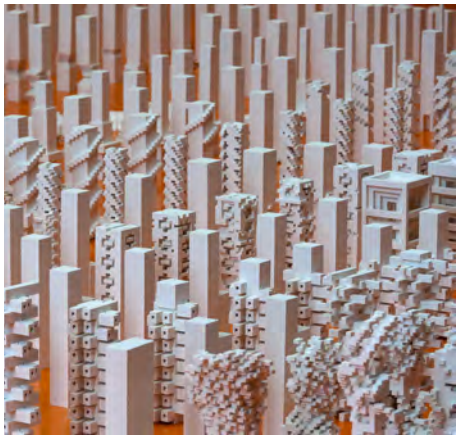
71. L'alta densità quale presupposto per la creazione dell'archetipo della città generica, OMA, 2011.

una "generazione di conquiste teoriche", di un "Big Bang architettonico", della notevole disponibilità di risorse (*in primis* energetiche) e innovazioni tecnologiche (Koolhaas & Mastrigli, 2006 p. 13). In una prima fase, le strutture urbane per effetto della loro "inerzia strutturale" non mutano la loro conformazione, e l'ambiente costruito vive un processo di intensificazione tale che la città assorba la nuova popolazione senza espandersi. Ciononostante l'aumento repentino di densità supera quel valore critico oltre il quale il sistema urbano diviene inefficiente, entra in crisi, genera problemi di vivibilità (insalubrità ed epidemie, carenze infrastrutturali, inquinamento ambientale, etc.). Di fronte alla problematicità di tale condizione, i progettisti hanno reagito seguendo i propri convincimenti mettendo in atto soluzioni progettuali diversamente dense. Se Parigi, Barcellona, Vienna, Amsterdam e anche Roma vivevano un processo di espansione nelle aree adiacenti il centro, nelle quali venivano riproposti modelli urbani consolidati, a Londra prevaleva il movimento della *Garden City* proposto e teorizzato da Ebenezer Howard e realizzato da Raymond Unwin (Howard, 1985; Unwin, 1912).
Al di là delle peculiarità dei singoli piani, è proprio in questa fase che diventa cruciale il controllo e la misura dello spazio urbano. Per effetto delle discussioni che si concentravano attorno alla densità e alla sua efficacia operativa, essa assume un ruolo - seppur non ancora normativo e solo *in nuce* teorico - all'interno degli strumenti operativi disciplinari di quella che a breve sarà l'urbanistica moderna. Nel corso del tempo sarà oggetto di differenti visioni e le saranno attribuiti molteplici ruoli: da mero risultato di circostanze complesse, a metodo di misura, a strumento di analisi e diagnosi, a elemento di controllo progettuale, fino a fondamento quantitativo di dottrine architettoniche.

Il ruolo di strumento operativo

La crescita esponenziale di popolazione urbana registrata nel XIX secolo nelle principali capitali europee produsse, come già accennato, un aumento della densità abitativa tale da generare sovraffollamento, disagio e insalubrità nelle già inquinate città della rivoluzione industriale. In risposta a tale criticità amministrazioni, architetti e pianificatori iniziarono a riconsiderare i nuclei storici per rispondere ai bisogni primari degli abitanti - specie di infrastrutture e servizi - trasformandoli radicalmente. Allo stesso tempo la necessità di accogliere nuova popolazione urbanizzata determinò progetti di espansione la cui concezione parte dal rifiuto dei modelli consolidati per dare concrete risposte alle esigenze di igienicità in termini di spazio, luce ed aria.

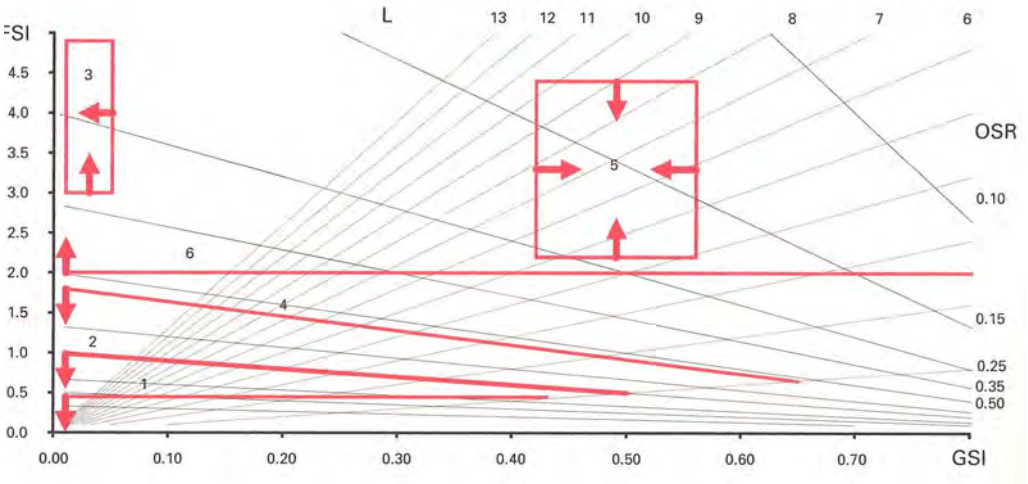
73. The Vertical Village e Porous City: due ricerche su densità e costruito condotte da MVRDV nell'ambito di The Why Factory.



Per effetto di tali dinamiche è proprio in questo periodo - segnato dall'affermazione del pensiero positivista - che assistiamo ad un rinnovamento del patrimonio di conoscenze associate al progetto urbano e alla nascita dell'urbanistica moderna. Quest'ultima comincia a dotarsi di strumenti operativi che fanno uso di diversi indici analitici a supporto del progetto; la densità è uno di questi e viene riguardata come parametro utile a controllare quantità insediate e forme urbane corrispondenti.
Esempio significativo dell'interconnessione in urbanistica tra teoria e pratica è il caso del celeberrimo progetto dell'*Eixample* di Barcellona redatto per mano di Ildefons Cerdà. È interessante notare come il piano, sviluppato in successive versioni intorno alla seconda metà del XIX secolo, viene preceduto da un attento lavoro statistico ed analitico del contesto antropizzato in cui operare (Cerdà, 1855). Nello studio di fattibilità egli affronta "un'analisi urbana complessiva che lo conduca a definire le scelte progettuali" comprensiva di una dettagliata analisi geografica del sito di progetto e dell'intorno urbanizzato, della localizzazione, delle condizioni climatiche e di soleggiamento (Busquets & GSD, 2005 p. 128). Questa indagine viene suffragata da una disamina delle proprietà morfologiche delle strutture urbane delle principali città europee - Parigi e San Pietroburgo - ed americane - Buenos Aires e New York.
Cerdà voleva realizzare una città efficiente, funzionale, salubre e socialmente equa per tutti gli abitanti. Senza scendere nei dettagli dell'impianto e delle sue caratteristiche (peraltro note ai più) è interessante notare che per garantire tali obiettivi, oltre a prefigurare la geometria dell'impianto urbano secondo una maglia uniforme, egli propone anche le regole formative del costruito che occupa l'isolato tipo - comunemente denominato *manzana* - elemento generatore del tessuto. Tali regole fanno riferimento a due parametri di controllo della densità edilizia: il rapporto altezza/profondità del corpo di fabbrica e il rapporto di copertura massimo.[14] In questo modo Cerdà vincola al contempo l'area della sezione e l'impronta a terra del costruito assicurando che gli edifici non si ostruiscano reciprocamente in termini di apporti di luce e di ventilazione naturale e determinino comunque un tessuto compatto ma adeguato a soddisfare la necessità di spazi aperti. Inoltre gli indici di densità prescelti rispecchiano la volontà evidente dell'ingegnere-urbanista di affidare a proprietà e forme del tessuto edilizio il ruolo di controllo della densità abitativa.

72. A fronte e sopra: la densificazioni dell'Eixample in Hanging Gardens of Barcelona, The Why Factory, 2010.

Un approccio concettuale esattamente inverso è quello proposto dal movimento della *Garden City,* nato intorno agli inizi del XX secolo nell'Inghilterra industrializzata, ad opera di Ebenezer Howard. Il teorico e architetto inglese proponeva come alternativa alla congestionata, inquinata ed insalubre città industriale, città satellite autonome, immerse nel verde e che - supportate dal rapido sviluppo del trasporto pubblico - decentralizzassero le metropoli. Il modello tipo, aveva dimensioni prefissate: non doveva superare

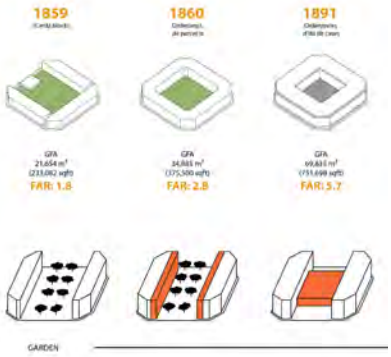


74. Alcune dottrine architettoniche della storia, trasformate in soglie di densità nel grafico FSI (intesità edificata) e GSI (compattezza): (1) Unwin 1912, (2) Hoenig 1920-1930, (3) Le Corbusier 1920-1930, (4) Gropius 1930, (5) Jacobs 1951, (6) Lozano 1990.

i 30.000 abitanti e una superficie di circa 400 ettari, il che voleva dire prescrivere una densità massima di circa 75 abitanti per ettaro (Howard, 1985).

La scelta del controllo mediante il parametro della densità abitativa può essere compresa con il fatto che proprio l'esponenziale aumento di popolazione aveva messo in crisi i sistemi urbani tradizionali. Sembra però che i seguaci di Howard, al momento di applicare i suoi insegnamenti, compresero di dover tradurre tale indicatore in una maniera che permettesse loro di confrontarsi con la morfologia urbana da realizzare.[15] Per questo i progetti delle prime città giardino realizzate - Letchworth, Hampstead e Welwyn – erano basati sui principi dettati dagli studi analitici sulla forma urbana di Raymond Unwin, che prevedeva insediamenti con densità massima netta di trenta alloggi per ettaro (Unwin, 1912). Nell'applicazione concreta delle teorie di Howen si assiste dunque al passaggio che dalla densità abitativa porta a determinare forme urbane e tipologie edilizie compatibili e quindi a prescrizioni basate sull'indice di densità residenziale.[16]

Contemporaneamente, oltreoceano, sull'isola di Manhattan a New York si stavano sperimentando gli effetti della densificazione deregolamentata della metropoli moderna. La costruzione dell'*Equitable Building* aveva prodotto effetti negativi sulla salubrità dell'edificato circostante, in quanto ostruiva il passaggio della luce e della ventilazione naturale. In tutta la sua concretezza fatta di quaranta piani - equivalenti ad un FAR pari a 30 - aveva messo in evidenza l'inderogabilità di una regolazione della crescita repentina delle città in modo da garantirne adeguati livelli di igienicità e benessere. L'intervento della municipalità di New York non si fece attendere: con l'approvazione della *Zoning Resolution* fissò nuove norme di edificazione basandole su una formula strutturata su tre indici: compattezza, altezza e *setbacks* (arretramenti del volume edificato col crescere dell'altezza) (New York, 1917). L'utilizzo prescrittivo di parametri di densità che questo strumento introduce, innesca un interessante processo esplorativo delle potenzialità progettuali in termini di definizione di una morfologia urbana nuova. A dimostrarlo sono Hugh Ferris e Harvey Wiley Corbett, che con le loro tele e i loro progetti visionari da un lato e concreti dall'altro (perché fondati sul dato normativo) avranno grande influenza sulla fantasia collettiva degli architetti che, di lì a poco, tracceranno il profilo di *Midtown Manhattan* con le loro icone urbane.

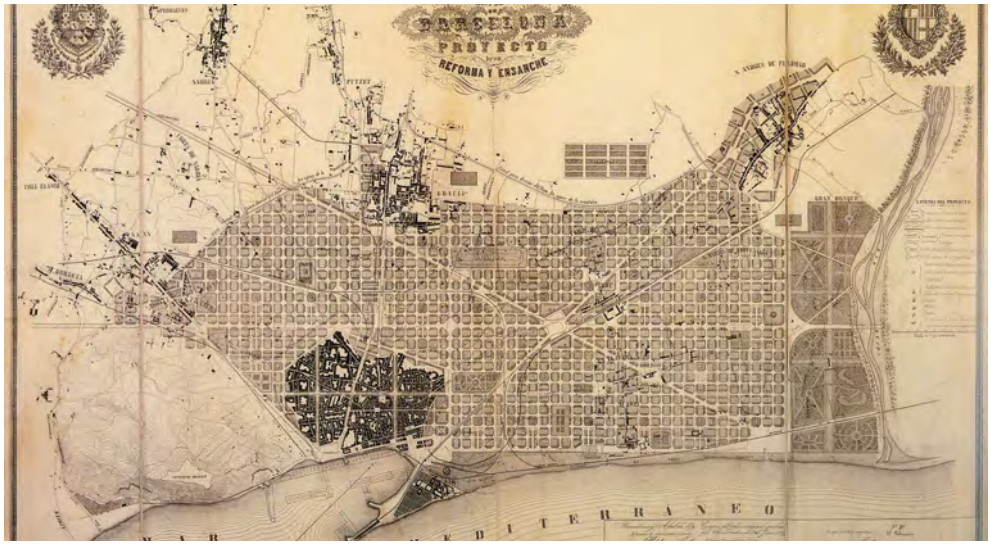


75. Evoluzione delle norme edificatorie per la manzana tipo dell'Eixample.

Col passare del tempo, questo tipo di processi scientifico-analitici presero sempre più piede nell'ambito dello studio della forma urbana e con essi la densità assunse il ruolo di parametro di riferimento. È il caso del Movimento Moderno, che segna l'inizio di un nuovo approccio al progetto della città, fondato sulla proposta di rapporti ed intensità di utilizzo dello spazio alternativi al modello della città storica compatta, a quello della giardino inglese ovvero, sul fronte opposto, al troppo congestionato centro di New York della *Zoning Resolution*. L'architettura, così come altre discipline, si comincia ad orienta-

76. Il celeberrimo Plan Cerdà del 1859.

77. Sotto: il modello di città giardino proposto da Howard nel 1902.

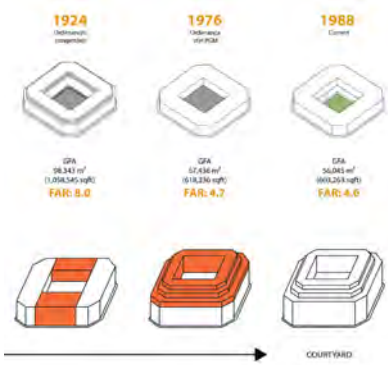


re verso strumenti razionali di controllo del processo progettuale e il modernismo ne è, in questa fase, il principale fautore. La ricerca di migliori condizioni abitative, connesse innanzitutto alla salubrità dello spazio confinato - in primis ventilazione e luce naturale -, alle dotazioni di spazi pubblici e servizi, spinge gli architetti aderenti al Movimento a dotarsi di nuove metodologie di tipo matematico-analitiche. I più eminenti esponenti di questa schiera d'innovatori, tra cui ritroviamo Anton Hoenig, Walter Gropius, Le Corbusier, Ludwig Hilberseimer, testimoniano con i loro studi sulla città queste mutazioni avvenute tra gli anni '20 e '30.

Anche questa fase registra un costante ricorso allo strumento della densità urbana tramite indici di misura. Ne resta una testimonianza, ad esempio, nel regolamento edilizio della città di Berlino del 1925. Dopo l'*Eixample* di Barcellona, si assiste nuovamente all'utilizzo contemporaneo di più metodi di misura; segno che la necessità di controllo della forma urbana produce un affinamento nelle conoscenze ad essi associate e induce un'evoluzione delle forme parametriche del concetto stesso. Nel documento prescrittivo le differenti categorie edilizie vengono normate tramite una combinazione di due parametri di densità: l'altezza degli edifici e il rapporto di copertura del lotto; in aggiunta, lo stesso regolamento prescrive i valori massimi dell'FSI (qui moltiplicato per cento). L'utilizzo a carattere normativo di tale indice viene criticato da Hoenig, che nel 1928 ne dimostra l'inefficacia a garantire un adeguato spazio aperto proporzionato. Per sopperire a tale mancanza, egli propone un nuovo indice da affiancare agli altri due - l'*ampiezza* (OSR) - cui attribuire prescrittivamente un valore minino pari ad uno (Pont & Haupt, 2010).

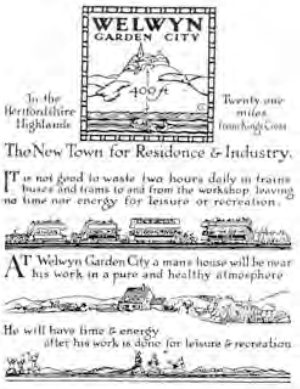
Nello stesso periodo Walter Gropius indaga i rapporti tra morfo-tipologia, altezza e densità edilizia tenendo conto della necessità di soleggiamento, mai prima considerata esplicitamente. Egli dimostra che a parità di angolo di incidenza solare - vale a dire, in un certo senso, a parità di radiazione e luce naturale ricevuta - gli edifici alti permettono di realizzare più alloggi, necessitano di meno territorio, garantiscono maggiori livelli di privacy e preservano gli spazi aperti (Gropius, 1955).

E' Le Corbusier a raccogliere e far proprie le conclusioni di Gropius applicandole, a partire dal 1925, ai celeberrimi piani della *Città per tre milioni di abitanti* (1925), del *Plan Voisin* di Parigi (1925) e della *Ville Radieuse* (1933), che si cimentano col problema della progetto della città moderna secondo caratteri di efficienza (Le Corbusier, 1967; Le Corbusier, Jeanneret, Boesiger, & Stonorov, 2006). Egli tenta di dare risposta alla richiesta di decongestionamento del centro urbano agendo sulla graduale interazione tra spazi aperti e costruito secondo tre densità urbane che decrescono man mano che ci si allontana dal centro. Operando in questa direzione, punta ad aumentare la densità di popolazione agendo proprio sull'intensità del costruito (FSI), ma riducendo, al tempo

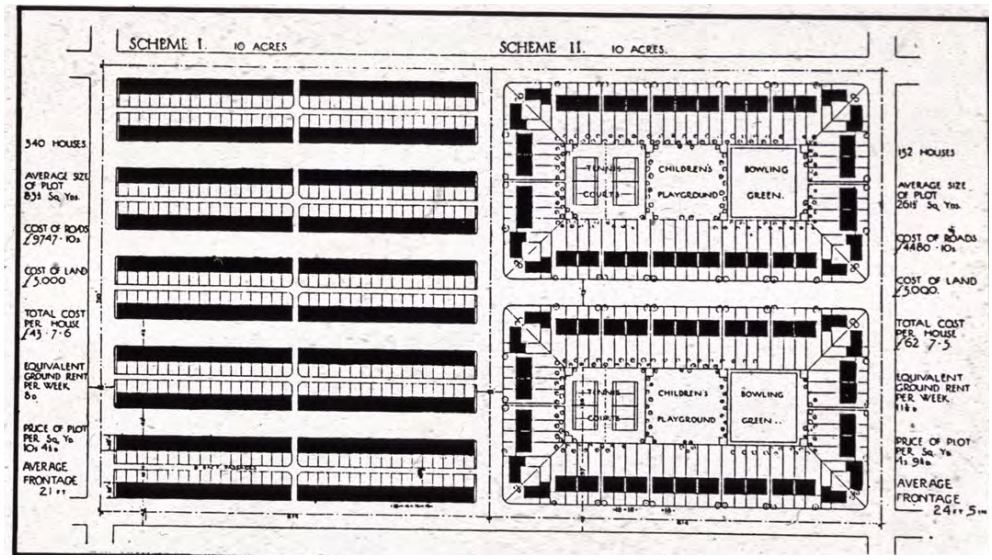


78. Foto d'epoca delle città giardino romane concepite secondo il modello di Unwin: Città giardino Aniene (Montesacro) e Garbatella.

79. Sotto: poster di propaganda per la città giardino di Welwyn e piani urbanistici di Letchworth, Hampstead e Welwyn.

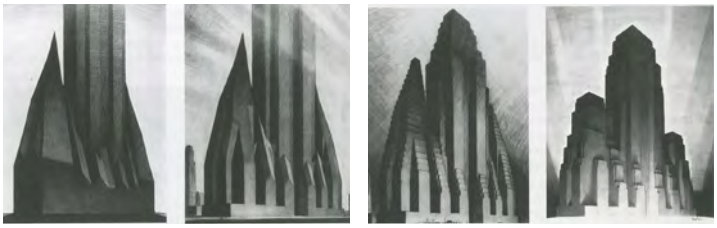


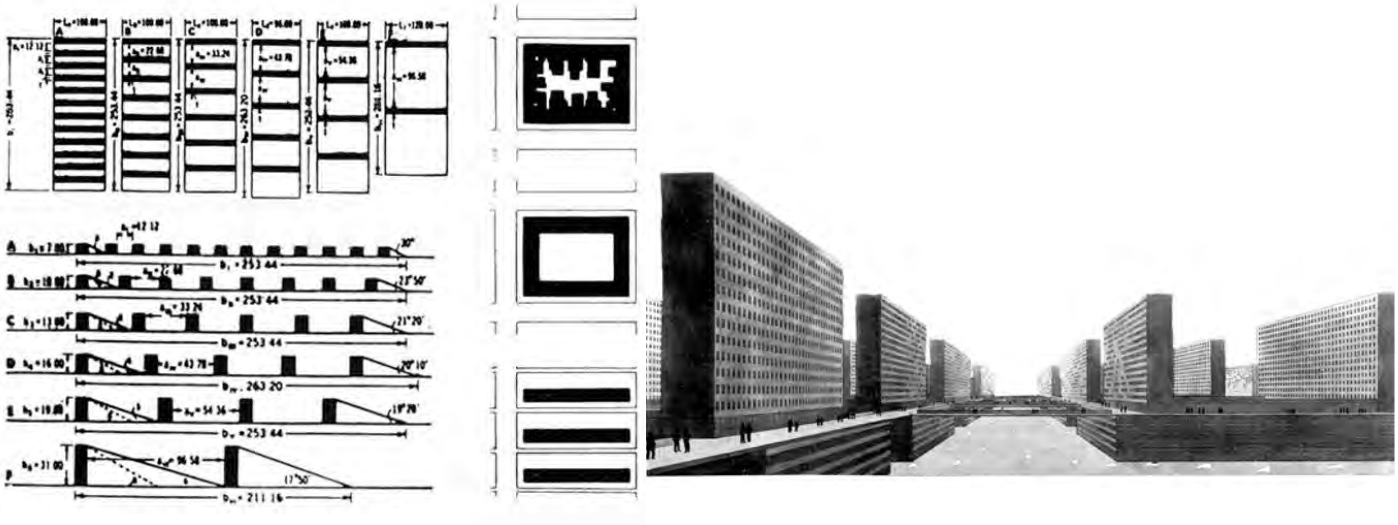
80. Studi comparativa sulla forma urbana a densità costante di 30 alloggi per ettaro, Unwin, 1912.



81. La pianificazione del "Manhattanismo" e il grattacielo come unica tipologia: studi sui massimi volumi edificabili, Regional Plan Commission.

82. A destra e in basso: il potenziale iconico della densità nell'operato di Hugh Ferris (in basso ritratto nel suo studio al lavoro) e Harvey Wiley Corbett

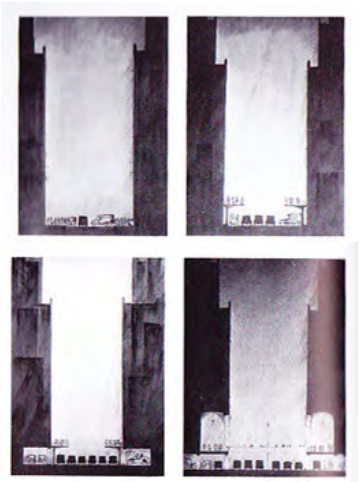




stesso, il rapporto di copertura dei fabbricati (GSI) in modo da lasciare superfici a disposizione per la circolazione e il verde. Così, nel centro delle sue città disegnate trovano posto le celebri torri cruciformi per uffici; intorno, un anello di isolati residenziali reticolari che ospitano i redents o tipologie a corte; più all'esterno, oltre una cintura verde, la città-giardino suburbana in cui alloggiano i due terzi della popolazione totale. Egli struttura la sua proposta sull'idea di dimostrare la possibilità di densificare le aree centrali e allo stesso tempo renderle più spaziose ed aperte, e giunge ad usare, per questo scopo, il parametro della densità abitativa quale strumento di controllo in tutti e tre i progetti. Qualche anno dopo Ludwig Hiberseimer concentra la sua attenzione sulla *Città per tre milioni di abitanti* (Hilberseimer, 1978b) con l'obiettivo di arrivare a definire nuove soluzioni per la sua *Città verticale*. Condividendo con Le Corbusier i principi ispiratori, egli ne studia attentamente elementi costitutivi dello spazio urbano misurandone isolati e tipologie in termini di superfici insediate, abitanti e indici di densità. Conclude esponendo pregi e difetti del progetto lecorbuseriano, sfruttando appieno le proprietà investigative del parametro di densità, di cui analizza i dati numerici dettagliatamente al tal punto da mettere in evidenza che l'architetto franco-svizzero aveva dichiarato - senza darne concreto riscontro - una densità di popolazione del centro urbano tre volte quella misurabile. Hilberseimer suppone che le motivazioni sottostanti tale discrasia quantitativa di Le Courbusier siano da ricercare nella volontà di giustificare l'idea di una forma urbana, sostanziandola proprio con il supporto del dato quantitativo. Ciò starebbe a significare che qui il ruolo di fondamento del progetto moderno della densità si declina nella duplice connotazione di strumento operativo e di categoria teorica.

83. Il team di architetti attorno ai modelli del Rockfeller Center (tra gli altri, seduti da sinistra Henry W. Corbett e Raymond Hood).

Questa connotazione si può riscontrare, peraltro, nella proposta della *Città verticale* dello stesso Hilberseimer. Dopo aver impiegato le capacità analitiche di suddetto parametro per indagare il progetto di Le Corbusier, l'autore lo sperimenta quale strumento di controllo progettuale con cui determinare e configurare le componenti morfologiche dell'impianto urbano ideale. In questo modo definisce l'isolato tipo e le reti connettive; dimostra la validità dell'idea adducendo quantità: superfici, ettari, densità; spiega l'efficienza della forma urbana prefigurata, in grado di accogliere il doppio della popolazione di Berlino su un'area minore ma garantendo una maggiore qualità urbana. Sono queste le basi che lo conducono a dare concretezza alla sua proposta "che sgombererà il campo dall'idea di una chiusura spaziale finora costantemente collegata alla città" moderna che fonda sui concetti di concentrazione e decentralizzazione, entrambi strettamente collegati con quello di densità. La prima consente una riduzione del rapporto di copertura, degli spostamenti e dell'impronta del costruito, la seconda - "possibile solo sulla base della più forte concentrazione" - diviene necessaria e richiede il supporto di un adeguato sistema di trasporto (Hilberseimer, 1978b p. 25). Tale riferimento ci conferma ulterior-



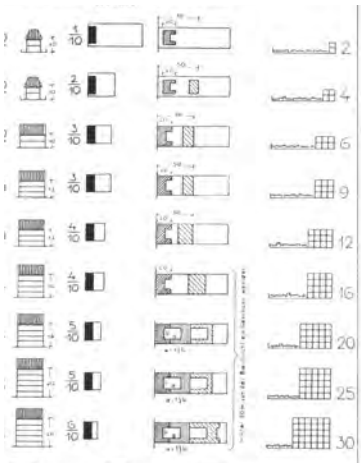
84. Studi per la trasformazione della sezione stradale di Manhattan, Henry Wiley Corbett.

86. A fronte: Walter Gropius, studi delle relazioni tra angolo solare, altezza degli edifici, insediamento e densità; Ludwig Hilberseimer, modello di città verticale, 1929.

87. A destra: Le Corbusier, le tre morfotipologie utilizzate nelle aree centrali del progetto per la Ville Radieuse, 1933.

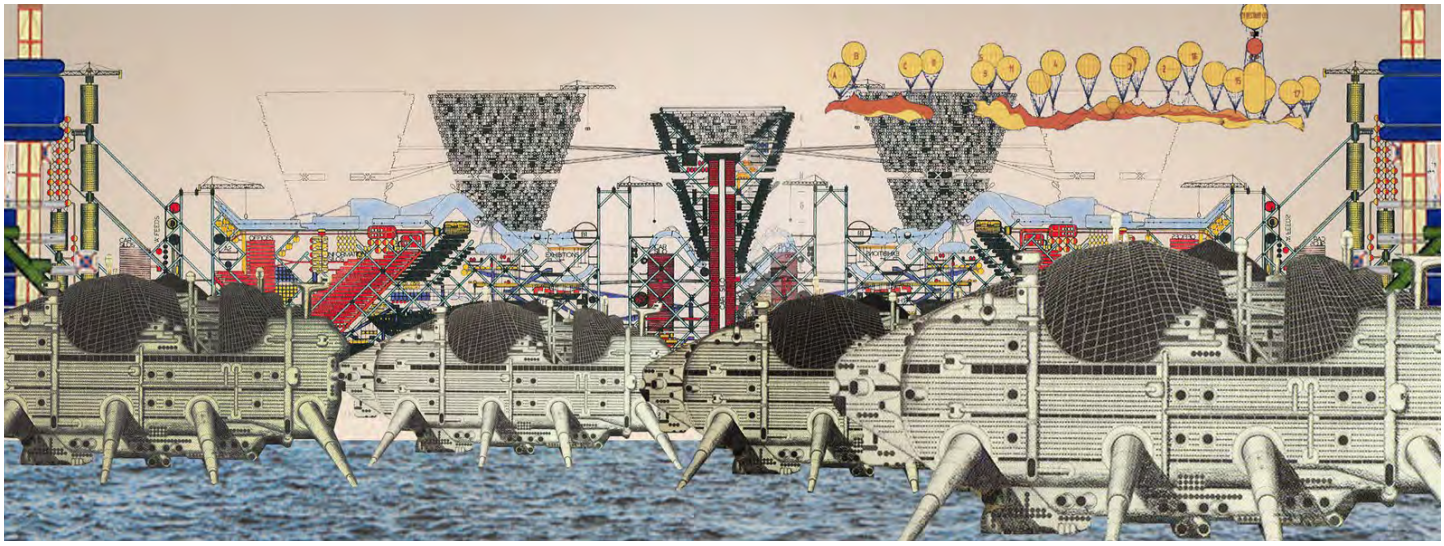
mente quanto sia per lui dirimente, nella sua duplice accezione, il concetto di densità.

Dopo le esperienze prebelliche, l'approccio scientifico al progetto è ormai maturo ed è definitivamente mutato in pratica consolidata.[17] L'*urban design*, grazie alla "possibilità di prevedere la crescita della popolazione, i bisogni abitativi, i modelli di traffico [diviene *NdT*] uno degli strumenti politici più importanti" (Pont & Haupt, 2010 p. 57). È in questo periodo che il concetto di densità compie l'ultimo passo verso le discipline dell'architettura, e ne entra a far parte legittimata da una completezza nell'uso: analitico, prescrittivo ed esplorativo, ovvero progettuale dalla scala architettonica a quella metropolitana.
Nei decenni successivi, tra il 1960 e 1980 circa, il rapido sviluppo economico e tecnologico trasforma notevolmente le modalità insediative: sono gli anni dell'espansione urbana in cui il ricorso alla densità come strumento operativo e di misura sembrano essere meno frequenti. In reazione al fallimento della città moderna e di fronte alle mutazioni in atto, gli architetti manifestano il desiderio di proporre soluzioni alternative, "fantasie oltraggiose" ricentrando la riflessione architettonica sul tema della grande scala (MVRDV et al., 1998 p. 476). I progetti diventano visionari, ironici, provocatori: mettono in discussione il modello di crescita indistinta e illimitata senza preoccuparsi troppo del loro meticoloso controllo numerico.
Sono in pochi in questo periodo a riferirsi al parametro di densità. Una di questi è Jane Jacobs, che nel suo saggio *Vita e morte delle grandi città* sostiene che la crisi del movimento moderno sia dovuta all'iper-semplificazione della realtà urbana messa in atto della pianificazione razionale e che una città efficiente debba possedere una soglia di densità minima di circa 180 alloggi per ettaro (Jacobs & Olmo, 2000).
Con la nuova versione del 1961 della *Zoning Resolution* di New York (stesso anno dell'uscita del libro della Jacobs) viene riaffermata - dopo le esperienze newyorkesi, berlinesi e barcellonesi - l'importanza della combinazione di indicatori di densità capaci di relazionarsi coerentemente con la morfologia urbana. L'aggiornamento della norma prevede il controllo della configurazione morfologica e dell'intensità edilizia dell'insediamento mediante l'uso di FAR, rapporto di copertura, altezza massima e di OSR (City Planning, 1982; Pont & Haupt, 2010).



85. Regolamento edilizio di Berlino: categorie di edifici e parametri di densità urbana associati, 1925.

L'insieme di queste esperienze ci pone in evidenza come il concetto di densità sia giunto ai nostri giorni dopo un processo di maturazione nel tempo, in cui è stato possibile metterne alla prova le potenzialità investigative e di controllo del progetto. Un concetto, dunque, sviluppato prevalentemente a livello tecnico piuttosto che teorico. Tale veste teorica viene trattata per la prima volta in forma esplicita da Rem Koolhaas nel libro-



88. Walking City e sullo sfondo Plug-in City di Archigram, 1964.

manifesto *Delirious New York* (Koolhaas & Biraghi, 2001).[18] Il testo incentrato sulla dottrina urbana che soggiace la costruzione di Manhattan, stimola la riflessione sul ruolo che la densità può assumere all'interno della cultura architettonica contemporanea. Di lì a qualche anno, tale riflessione, complici le pressanti problematiche legate al consumo di suolo e di risorse, ai fallimenti prodotti dallo sprawl, alla crescita d'importanza dei contesti metropolitani, si tradurrà in una nuova ondata di studi sulla natura strumentale della densità.

La direttrice sperimentale forse più rappresentativa di questi studi contemporanei è costituita dal lavoro di ricerca degli MVRDV i cui esiti sono stati resi celebri inizialmente dal libro *FARMAX*. Muovendosi dall'iperdenso al rarefatto, gli architetti olandesi esplorano contemporaneamente la dimensione operativa e quella teorica della densità nel tentativo di dimostrare limiti e potenzialità del loro principale obiettivo: "concentrare la popolazione in verticale e in orizzontale al fine di concederle più spazio" (MVRDV et al., 1998 p. 14). L'intero studio, dalla formulazione degli enunciati, fino alla dimostrazione è frutto dell'interpretazione del concetto di densità quale continua osmosi tra le sue due nature. Gli autori dapprima sviluppano ricerche basate su indagini numerico-razionali sfruttandone le capacità analitiche e in seguito, dai risultati di queste, deducono principi applicabili alle esplorazioni di natura progettuale.[19] Tale impostazione metodologica ricorrerà anche in seguenti studi che, d'ora in poi, impegneranno il loro lavoro attorno al tema della densità degli insediamenti umani.[20]

Datascapes, ad esempio, estremizza la condizione odierna dell'architettura che per effetto di esigenze, circostanze e regole normative, "si manifesta in forme inattese che vanno oltre l'intuizione creativa o forme note e viene sostituita dalla ricerca. La forma diviene il risultato di questa estrapolazione o di presupposti come un *datascape* dovuto alle richieste racchiuse in esso"(MVRDV et al., 1998 p. 103). Come accaduto per la *Zoning Resolution* di New York gli architetti evidenziano la capacità, da parte di suddette regole di determinare nuove espressioni formali di per sé, già solo per effetto delle prescrizioni contenute al suo interno.[21]

89. Il balletto "Lo skyline di New York" messo in scena dagli stessi architetti di Manhattan.

Successivamente, anche MVRDV, ripiegano sulla sola dimensione operativa della densità. In *Aztecs!*, a partire dalle prescrizioni normative olandesi contemporanee, esplorano l'interazione tra le proprietà morfologiche e il programma edilizio al fine di determinare l'insediamento a maggiore densità possibile. Il tutto si traduce nella messa a punto di una formula dipendente da molteplici parametri formali e giunge a definire i rapporti tra FAR, altezza massima ammissibile e morfologia (MVRDV et al., 1998p. 192). Anche *Castle maker*, presentato nello stesso *big book*, si muove nella stessa direzione e rende evidente un'ulteriore capacità analitico-strumentale della densità in rapporto alle performance del costruito: in questo caso ricercano una funzione che descriva l'incidenza

dei parametri formali di un isolato costruito rispetto all'illuminazione naturale diurna prefigurandone le quantità di superfici costruite che ricevono luce diretta o indiretta (MVRDV et al., 1998 p. 230).
La collana *Density series* edita da *a+t architecture publishers* a partire dal 2002 propone il tema della densità ispirandosi alle richerche che riguardano la relazione tra parametri di densità e morfologia del costruito, per i quali può essere preso a riferimento rappresentativo della tipologia di studio.[22] Operando con una metodologia analitica, tenta di operare un confronto tra alcune realizzazioni contemporanee - ritenute rappresentative nei loro aspetti formali, architettonici, spaziali - e la matrice parametrica d'indici, valori e indicatori urbani sottesa al loro interno, offrendosi quale strumento interpretativo della complessità del costruito. Un altro caso recente, intitolato *49 Cities* di Dan Wood and Amale Andraos, ha riletto con una metodologia del tutto simile, i progetti di città utopiche del passato con lo spirito di indagarne le relazioni tra natura insediativa, ideologica e formale in termini di densità (Andraos & Wood, 2009).
Infine, recentemente Meta Berghauser Pont e Per Haupt introducono in *Spacematrix* una definizione di densità multi-parametrica e facendone un uso esplorativo ce ne dimostrano le potenzialità.[23] L'intenzione dello studio è definire una metodologia analitica che consenta di relazionare la densità (rappresentativa della morfologia del costruito) con le sue prestazioni in termini spaziali, concependo quest'ultime "quale estensioni del carattere oggettivo della densità nella realtà fisica di un sistema urbano" (Pont & Haupt, 2010). In particolare sono posti a confronto gli andamenti degli indici di densità che compongono la definizione di *Spacematrix* e il comportamento verificabile nell'uso dello spazio urbano, espresso tramite funzioni matematiche. Ne sono esempi il *parking performance index* - che esprime il rapporto tra richiesta e capacità di parcheggi di una determinata area - e il *daylight performance index* - che restituisce la percentuale delle superfici costruite esposte al cielo e pertanto alla luce naturale. Le tendenze generali che tali indicatori prestazionali urbani hanno manifestato se relazionati con il parametro di densità, ci consentono di valutare le prestazioni delle differenti morfologie urbane semplicemente attraverso un'analisi di quest'ultima.

Tutte queste esperienze mettono in evidenza come la densità riguardata come strumento operativo si sia evoluto negli ultimi centosettant'anni. Agli inizi dell'epoca moderna, di fronte all'esigenza di misurare e controllare lo spazio urbano, all'interno della pratica urbanistica ha avuto il ruolo principale di descrittore dello "stato patologico" in cui versava la città industriale e di lì a poco quello di controllo progettuale e normativo nei piani di espansione (l'Eixample di Barcellona, Berlino, le Garden city, Manhattan). Per effetto del crescente interesse dei progettisti nei confronti della città moderna - che produsse un'appropriazione delle scale più ampie da parte dell'architettura - la densità inizia ad investire direttamente la dimensione architettonica del progetto all'interno della quale le venne riconosciuto il ruolo di strumento di supporto alle teorie disciplinari (Gropius, Le Corbusier, Hiberseimer, MVRDV). Ciò ha fatto sì che i singoli fautori se ne servissero per giungere a conclusioni tra le più disparate: affermare la convenienza d'interventi a bassa (o alta) densità, sostenere insediamenti ad alta intensità e bassa compattezza, fissare livelli minimi, massimi o ottimali di alloggi o popolazione oppure estremizzare i vincoli normativi per realizzare edifici dalla massima densità ammissibile.
Queste esperienze, oltre a costituirsi come puro e semplice bagaglio di conoscenze interno alle discipline progettuali, hanno aumentato la consapevolezza nell'uso della densità come strumento operativo e stimolato l'avanzamento della conoscenza sul tema. Negli ultimi tempi, tutto ciò si sta traducendo in un interesse nelle capacità interpretative degli indici analitici che consentono di mettere in relazione morfologia del costruito e

90. Una delle tante ricerche su densità e forma della Density series, a+t pubishers 2007.

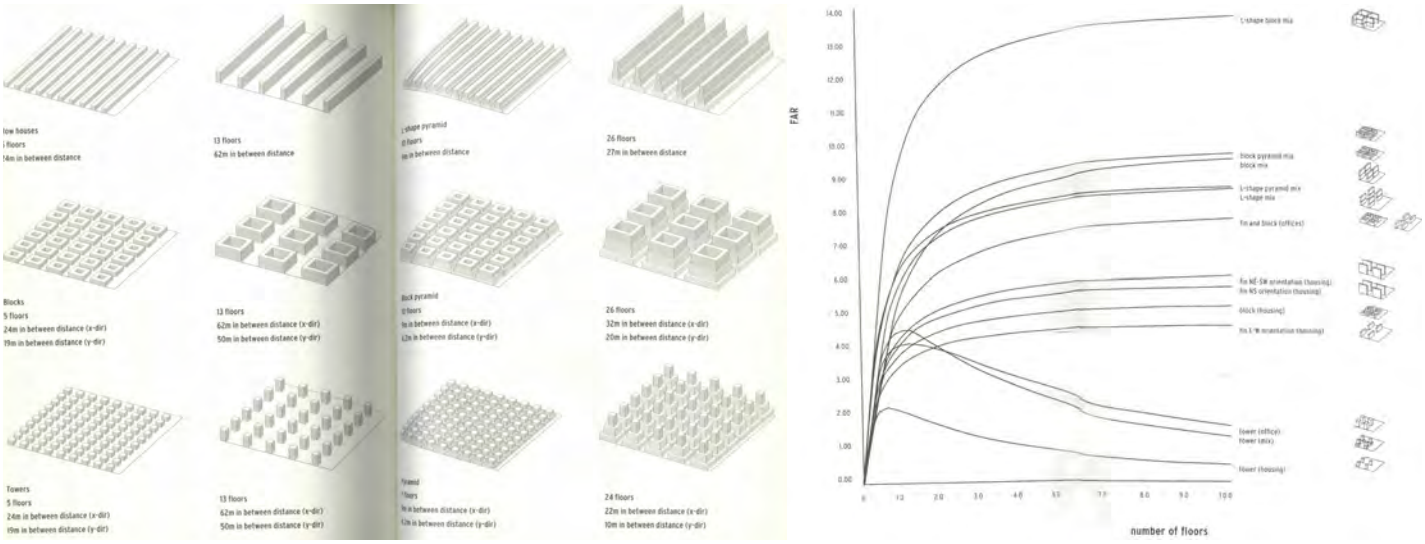
91. FAR Catalogue: la densità diviene principio tassonomico del progetto di architettura, MVRDV 1999.

sue prestazioni. Si è compreso che tale strumento assume maggior successo ed efficacia operativa all'interno del processo progettuale quanto più gli indici vengono combinati coerentemente tra loro.
Perciò diviene molto importante calare all'interno della struttura metodologica quegli indici che più si adattano agli obiettivi. Tali considerazioni sono d'importanza cruciale nel contesto odierno che ha ormai chiaramente riconosciuto come tematica cruciale per la sostenibilità degli insediamenti urbani il rapporto tra morfologia e performance energetiche (sia nei confronti dei contesti esistenti che di quelli di nuova realizzazione).

Il ruolo di categoria teorica

Esiste un'altra chiave di lettura possibile e complementare alla precedente: quella che espone il concetto di densità quale categoria teorica architettonica. Tale interpretazione compare con frequenza sempre maggiore in epoca moderna, di pari passo con la crescita d'importanza della condizione metropolitana; in alcuni casi mantiene una condizione sottesa, in altri viene apertamente dichiarato e in altri ancora diviene di per sé scheletro ideologico di dottrine progettuali. Se vista in termini generali, questa lettura può apparire una forzatura. Essa però è avvalorata dalla potente carica ispiratrice che l'esperienza di alcuni dei protagonisti di questo percorso tra teoria e progetto dell'architettura - specie quella dalla spiccata natura utopica - ha ricoperto, e tutt'oggi ricopre, nei confronti dei rapporti tra teoria e forme. Alla base delle loro proposte, era sotteso il germe ideologico della densità, fondato sull'interesse nell'affermare una città verticale, orizzontale, concentrata, estremamente diffusa, etc.
Tra le più emblematiche, a nostro avviso, poiché fortemente connesse alla condizione critica odierna, c'è il *Manhattanismo*: la cultura della congestione. "La sola ideologia urbanistica che, sin dal proprio concepimento, si sia alimentata degli splendori e delle miserie della condizione metropolitana - l'iperdensità - senza mai perdere la fiducia in essa quale fondamento per un'auspicabile cultura moderna" (Koolhaas & Biraghi, 2001 p. 8). Il momento attuale porta i segni del legame con quel periodo di cui il Manhattanismo è l'immagine teorica e figurativa. Ciò è sottolineato chiaramente dal fatto che il manifesto "retroattivo" corrispondente viene pubblicato nel 1978, ovvero quasi un secolo dopo la sua concretizzazione, per mano di Rem Koolhaas: uno dei principali protagonisti della condizione postmoderna (con la quale ancora oggi difficilmente facciamo i conti). Nella stesura del suo programma teorico, egli ci spiega sapientemente come l'interesse per l'isola di Manhattan, intesa come laboratorio di sperimentazione, prevarichi i suoi confini geografici: "un'isola mitica dove l'invenzione e il collaudo di uno stile di vita metropolitano e dell'architettura da esso prodotta potessero essere perseguiti come un esperimento collettivo, nel quale l'intera città diventava una fabbrica di esperienze

92. Il significato di FARMAX nell'incipit del testo di MVRDV, 1999.



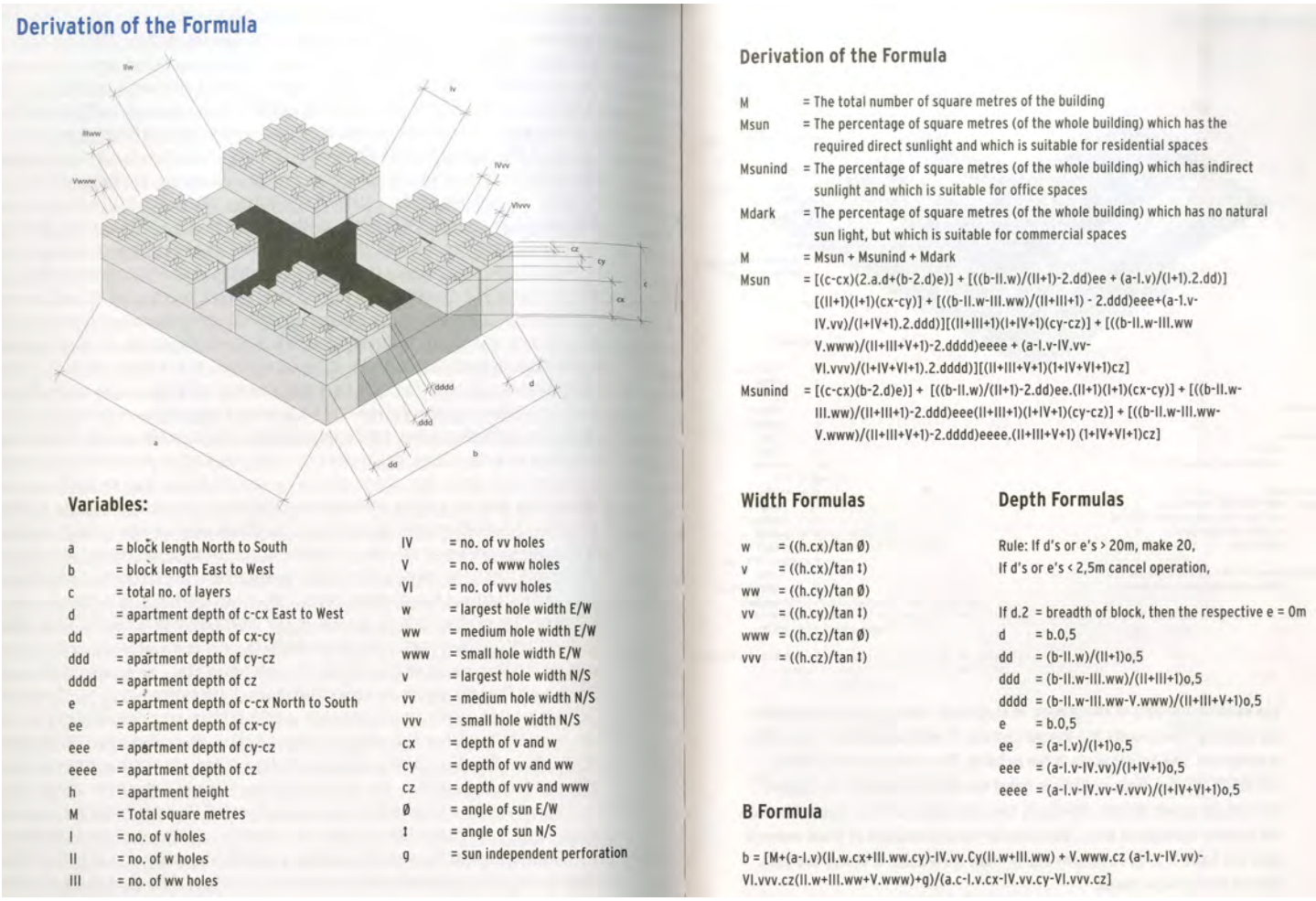
93. Aztecs!: La massima densità ammissibile dalla normativa edilizia olandese in rapporto alle proprietà morfologiche del tessuto urbano, MVRDV 1999.

artificiali e dove il reale e il naturale cessavano di esistere" (Koolhaas & Biraghi, 2001 p. 7). L'autore, a posteriori, intende rivendicare esplicitamente la validità contemporanea di questa "dottrina esplicita", delle categorie (ideali e concrete) e dei teoremi che hanno contribuito al suo successo, nonostante si sia configurata come una "rivoluzione senza programma". Tramite questo processo metodologico egli risale alle origini dell'idea del grattacielo di Manhattan, la *Globe Tower* di Coney Island, e recupera le tre conquiste (urbanistiche) che ne hanno permesso la definizione cioè la *riproduzione del Mondo*, *l'annessione della torre* e *il singolo isolato* (Koolhaas & Biraghi, 2001 p. 75).

Questa applicazione concreta del modello insediativo ad alta densità ha giocato un ruolo centrale nell'attraversare le diverse epoche della modernità. Gli architetti moderni, al momento di immaginare nuovi ambienti antropizzati, si trovarono di fronte alla sua ingombrante preesistenza. Alcuni furono affascinati dalla natura densa - fatta di concentrazione e grande dimensione - di Manhattan e vi fondarono le loro dottrine architettoniche (Corbett, Ferris, Sant'Elia e Marchi, Koolhaas); altri la giudicarono inefficiente, vetusta e posero le loro teorie in contrapposizione a questa, introducendo princìpi e forme alternative (Le Corbusier, Hilberseimer, Gropius, il gruppo degli utopisti); altri ancora la negarono proponendo teorie e modelli in completa antitesi (Wright).

Un architetto che, forse con più difficoltà di altri, si è scontrato con la montagna di concretezza di Manhattan fu Le Corbusier il quale "prima di poter partorire la città che ha concepito, deve provare che essa non esiste ancora" dimostrando l'alterità della sua proposta (Koolhaas & Biraghi, 2001 p. 233). Lo stesso Koolhaas ha rivendicato l'importanza delle odierne ricadute progettuali del Manhattanismo, affermando che la metropoli necessita un'architettura specifica e sostanziando il testo con un'appendice progettuale che interpreta in chiave contemporanea questa cultura architettonica del Novecento.

Critico convinto "dell'esasperato perpendicolarismo" di Manhattan e determinato promotore del *New Deal* rooseveltiano è Frank Lloyd Wright. Nel 1932 egli fonda la sua dottrina su un modello insediativo antitetico alla città: diffuso e con-fuso con il paesaggio agricolo e naturale. Ne propone una concretizzazione formale nel celeberrimo progetto-manifesto di *Broadacre City* (Wright, 1932). L'architetto, come altri colleghi dell'epoca, confonde l'alta densità con la congestione urbana; la etichetta quale "atto disumano" che necessita una soluzione che civilizzi la vita moderna e che egli intravede nella sua idea di matrice usoniana.[24] La città-territorio wrightiana vuole restituire il legame tra uomo e natura basandosi sul concetto della dispersione: nel modello realizzato dall'architetto in occasione dell'*Industrial Arts Exposition* al Rockfeller Center di New York nel 1935 egli garantisce per ogni abitante, in media, un acro di superficie attribuendone quota parte ai lotti edificabili. Tali lotti che vanno a comporre quattro quadranti "macro-funzionali" - in cui trovano spazio servizi, luoghi di lavoro e attrezzature - ospitano in prevalenza



Derivation of the Formula

Variables:

a	= block length North to South	IV	= no. of vv holes
b	= block length East to West	V	= no. of www holes
c	= total no. of layers	VI	= no. of vvv holes
d	= apartment depth of c-cx East to West	w	= largest hole width E/W
dd	= apartment depth of cx-cy	ww	= medium hole width E/W
ddd	= apartment depth of cy-cz	www	= small hole width E/W
dddd	= apartment depth of cz	v	= largest hole width N/S
e	= apartment depth of c-cx North to South	vv	= medium hole width N/S
ee	= apartment depth of cx-cy	vvv	= small hole width N/S
eee	= apartment depth of cy-cz	cx	= depth of v and w
eeee	= apartment depth of cz	cy	= depth of vv and ww
h	= apartment height	cz	= depth of vvv and www
M	= Total square metres	Ø	= angle of sun E/W
I	= no. of v holes	↕	= angle of sun N/S
II	= no. of w holes	g	= sun independent perforation
III	= no. of ww holes		

Derivation of the Formula

M = The total number of square metres of the building

Msun = The percentage of square metres (of the whole building) which has the required direct sunlight and which is suitable for residential spaces

Msunind = The percentage of square metres (of the whole building) which has indirect sunlight and which is suitable for office spaces

Mdark = The percentage of square metres (of the whole building) which has no natural sun light, but which is suitable for commercial spaces

M = Msun + Msunind + Mdark

Msun = [(c-cx)(2.a.d+(b-2.d)e)] + [((b-II.w)/(II+1)-2.dd)ee + (a-I.v)/(I+1).2.dd)] [(II+1)(I+1)(cx-cy)] + [((b-II.w-III.ww)/(II+III+1) - 2.ddd)eee+(a-1.v-IV.vv)/(I+IV+1).2.ddd)][(II+III+1)(I+IV+1)(cy-cz)] + [((b-II.w-III.ww V.www)/(II+III+V+1)-2.dddd)eeee + (a-I.v-IV.vv-VI.vvv)/(I+IV+VI+1).2.dddd)][(II+III+V+1)(I+IV+VI+1)cz]

Msunind = [(c-cx)(b-2.d)e)] + [((b-II.w)/(II+1)-2.dd)ee.(II+1)(I+1)(cx-cy)] + [((b-II.w-III.ww)/(II+III+1)-2.ddd)eee(II+III+1)(I+IV+1)(cy-cz)] + [((b-II.w-III.ww-V.www)/(II+III+V+1)-2.dddd)eeee.(II+III+V+1) (1+IV+VI+1)cz]

Width Formulas

w = ((h.cx)/tan Ø)
v = ((h.cx)/tan ↕)
ww = ((h.cy)/tan Ø)
vv = ((h.cy)/tan ↕)
www = ((h.cz)/tan Ø)
vvv = ((h.cz)/tan ↕)

Depth Formulas

Rule: If d's or e's > 20m, make 20,
If d's or e's < 2,5m cancel operation,

If d.2 = breadth of block, then the respective e = 0m
d = b.0,5
dd = (b-II.w)/(II+1)o,5
ddd = (b-II.w-III.ww)/(II+III+1)o,5
dddd = (b-II.w-III.ww-V.www)/(II+III+V+1)o,5
e = b.0,5
ee = (a-I.v)/(I+1)o,5
eee = (a-I.v-IV.vv)/(I+IV+1)o,5
eeee = (a-I.v-IV.vv-V.vvv)/(I+IV+VI+1)o,5

B Formula

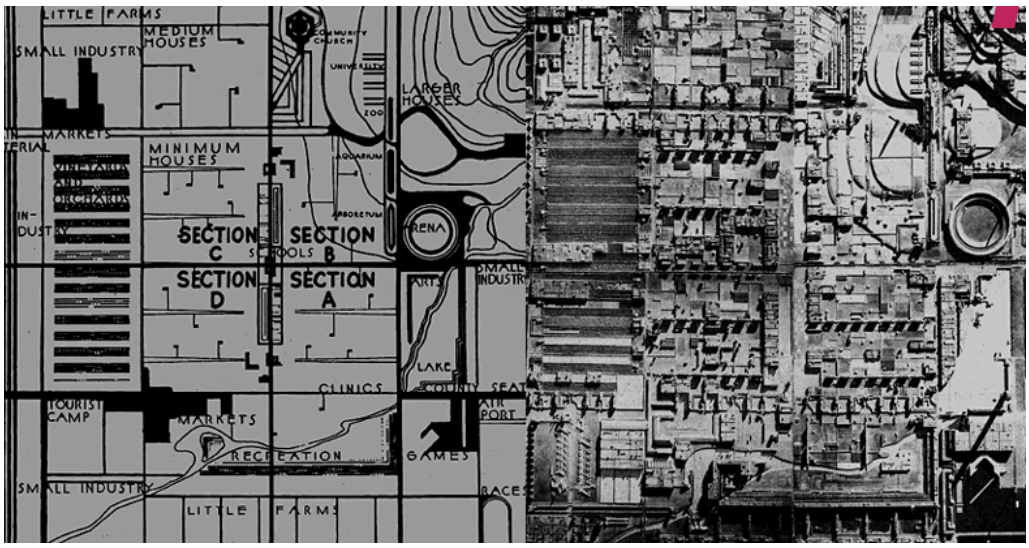
b = [M+(a-I.v)(II.w.cx+III.ww.cy)-IV.vv.Cy(II.w+III.ww) + V.www.cz (a-1.v-IV.vv)-VI.vvv.cz(II.w+III.ww+V.www)+g)/(a.c-I.v.cx-IV.vv.cy-VI.vvv.cz]

94. Castle Maker: densità, luce naturale e forma, MVRDV 1999.

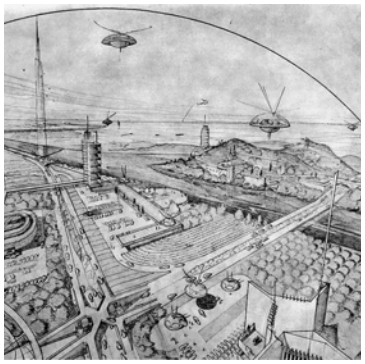
residenze unifamiliari e alcune torri disposte puntualmente sul territorio. L'acro diviene dunque il modulo base, l'unità di misura e controllo del progetto e dell'intero sistema insediativo. Le tipologie residenziali prescelte traducono in forma costruita la bassissima densità residenziale ricercata e un FAR altrettanto ridotto.[25] È innegabile che alla nascita di *Broadacre City* era sotteso un complesso intreccio di componenti politiche e culturali che animavano il dibattito nordamericano dell'epoca di cui Wright subì l'influenza: l'ideologia ottocentesca di Jefferson, le teorie economiche di Henry George, come pure il pensiero di John Dewey. Per alcuni critici, il progetto era viziato da una certa inattualità ma non vi è dubbio, però, che l'interesse suscitato dalle sue teorie risieda nell'aver proposto un modello totalmente altro rispetto alla maniera convenzionale di pensare la città in quel momento storico, negando, in un certo senso, la validità concettuale della densità in architettura.

Una fase particolarmente florida della teoria del progetto urbano è rappresentata dalla generazione di architetti degli anni sessanta e settanta in cui figurano, tra gli altri, Archigram, Archizoom, Buckminster Fuller, Constant, Yona Friedman, i Metabolisti, gli Smithson, Superstudio e Paolo Soleri. Come accennato nel precedente paragrafo, allora essi compresero la centralità del tema della grande scala; fecero proprio il terreno operativo della città esistente che richiedeva soluzioni alle mutate esigenze e alle sfide sopraggiunte, ponendosi in aperta contraddizione con i modelli urbani che la modernità aveva proposto. Fu così che i loro progetti divennero le immagini dalla forte carica utopica, capaci di rappresentare la nuova veste formale della densità urbana.[26] La produzione provocatoria degli anni sessanta e settanta, dopo aver riscosso successo immediato, ha subìto la sfortunata sorte della forse meno talentuosa generazione successiva (MVRDV, 2005). Così le proposte di quel periodo rimasero sul piano delle buone intenzioni e quest'ultima pensando alla *megastruttura* finì per realizzare il "vero coagulo costruito

95. La Globe Tower di Coney Island, 1906.



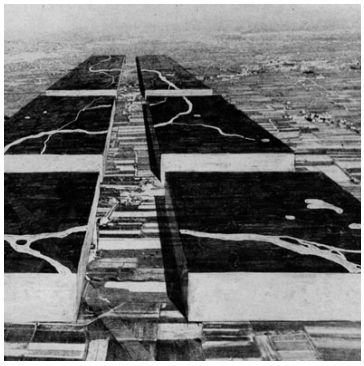
della modernizzazione": il *Junkspace* contemporaneo, un'ideologia ottimistica che alla fine ha prodotto città uniformi, mostruose e ripetitive (Koolhaas & Mastrigli, 2006). "La generazione del maggio '68, la mia generazione - straordinariamente intelligente, informata, opportunamente traumatizzata da selezionati cataclismi, esplicita nel suo ricorrere a prestiti da altre discipline - è stata così segnata dal fallimento di questi e altri simili modelli di densità e di integrazione…" (Koolhaas & Mastrigli, 2006 p. 17).
Ma dopo alcuni decenni in cui la città contemporanea è divenuta oggetto di critica feroce da parte di sociologi e ambientalisti, dopo che "il Movimento Moderno è stato trasformato in taboo" e che la concentrazione e la grande scala sono divenute delle categorie da sconfiggere a priori, sul finire del XX secolo (sotto l'effetto dell'espansione suburbana, della crescita di popolazione, della crisi ambientale ed energetica) si assiste ad una specie di *revival* ideologico-architettonico, ad una rigenerazione dei temi cari all'avanguardia utopica di quegli anni. Tali temi, proprio come in passato, saranno fonte d'ispirazione ed elemento teorico fondante di nuove dottrine architettoniche. Così queste proposte dell'epoca moderna, sottese alla definizione della sua forma, prendono vita e si condensano in programmi teorici sotto il nome di *Bigness*, *Città Generica*, *Junkspace* con tanto di programma, teoremi e statistiche. Tra i loro elementi categorici fondanti troviamo nuovamente il concetto di densità, in compagnia di identità, storia e passato (ovvero la loro assenza), *tabula rasa*, globalizzazione, grande dimensione, orizzontalità e verticalità, con l'obiettivo di colmare il vuoto teorico - che ancora una volta come per Manhattan e la sua dottrina si è venuto a generare - e "ricostruire il territorio teorico di questo fine secolo" (Koolhaas & Mastrigli, 2006 p. 20).
L'esplorazione però non si ferma al carattere di manifesto, quanto piuttosto prende vita nelle speculazioni progettuali che costituiscono, come nella struttura metodologica del teorema, la dimostrazione delle ipotesi su cui sono fondate queste teorie e il presupposto per la realizzazione delle opere dei diversi architetti. Ne sono esempio i progetti contenuti nei *big book* di MVRDV o di OMA. Intere sezioni di questi testi, partendo dagli esiti delle ricerche condotte su basi analitiche (di cui un quadro è stato presentato nel paragrafo precedente), indagano senza pregiudizi la possibilità di realizzare ambienti costruiti con diverse intensità, proprietà e funzioni per rispondere adeguatamente alle esigenze contemporanee.[27]



96. In alto e sopra: schema, modello e vista di Broadacre City di F. L. Wright, 1932.

Genealogia della densità sostenibile: dal rarefatto all'iperdenso

In ogni epoca della storia, architetti e urbanisti a seconda delle loro dottrine o ideologie sulla città hanno sempre tentato di immaginare una città differente, in un certo senso "migliore", diversa da quella con cui avevano a che fare e cui poter associare una "dimensione conforme" della densità, inseguendo un'idea di benessere e di qualità della



97. Alcuni dei progetti "utopici": Continuous Monument, New Babylon, No-stop City, Dome over Manhattan, Clusters in the air e Bridge City.

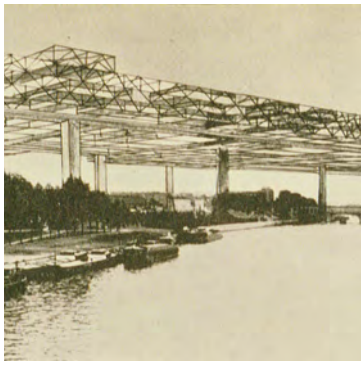
vita fondata sulla loro sensibilità, ovvero su parametri oggettivi. In aperta polemica con le forme della loro contemporaneità, per rispondere alle problematiche innescate dalla rapida concentrazione urbana, hanno proposto - e in alcuni casi realizzato - progetti di città che la cronaca odierna potrebbe aggettivare con il termine "sostenibile": più efficienti, meno inquinanti, iper-tecnologiche, dense, rarefatte, autosufficienti, organiche, più verdi, capaci di sfruttare al meglio le risorse naturali. Incorporando non solo i desideri, ma soprattutto la volontà di superare le incertezze e le paure che la loro epoca fronteggiava, hanno speculato mediante progetti radicali, spesso visionari, con l'intenzione di rivendicare alternative per il futuro delle città.

Di fronte al fallimento della crescita sub-urbana e con il profilarsi minaccioso dell'esaurimento delle risorse, delle conseguenze del *global warming* e della crisi economica post-petrolifera, la generazioni attuale di progettisti si trova di nuovo ad un crocevia fertile per le loro riflessioni visionarie. È come se esistesse una certa ricorrenza storica tra le preoccupazioni ambientali e la loro capacità di prefigurare utopie, a volte dall'inaspettato carattere di concretezza. Lo dimostrano, per citare solo alcuni dei molteplici esempi, le ricerche condotte sulle possibili visioni ed utopie per la città del futuro condotte dall'*IaaC* (*Institute for Advanced Architecture of Catalonia*) e da *The Why Factory*, centri di ricerca che hanno condotto e continuano a condurre indagini teoriche e progettuali dai nomi emblematici: *City-Sense*, *Self-Sufficient Territories*, *EcoMachines as Infrastructural Networks*, *Green Dream*, *Visionary Cities*, *Energetic City*, etc.

E' innegabile che esperienze quali la *Ville Radieuse*, le *Garden City*, la *Città verticale*, *Manhattan*, *The Walking City*, conservino tuttora la potenza evocativa capace di ispirare e stimolare creatività e ingegno dei progetti contemporanei. Cosa possiamo ancora imparare dal passato per affrontare le sfide odierne? I temi della grande scala, dei rapporti tra densità e sostenibilità, dell'adeguatezza dei contesti antropizzati ai modelli culturali, sociali ed economici sono stati associati con sempre maggior frequenza alle gravi questioni ambientali e energetiche attuali. Hanno riportato al centro della discussione, seppur confusamente ed impropriamente, il tema della sostenibilità, dimostrando ancora una volta l'incapacità a ricorrere a prestiti concettuali extra disciplinari senza manipolarli ed utilizzarli per i propri fini. Questi temi, come osservato dagli MVRDV, possono essere oggi combinati tra loro per unirne i vantaggi: mettendo a sistema dato qualitativo e dato quantitativo (MVRDV, 2005).[28]

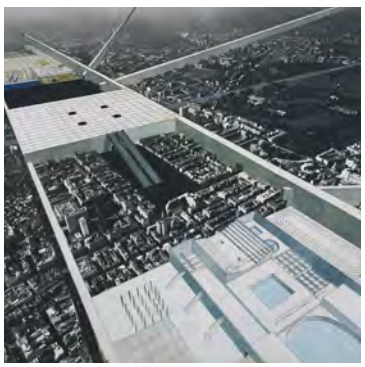
98. 3D City Cube, MVRDV, 2005.

Tale lettura ci appare possa colmare la distanza temporale tra tali esperienze, dimostrando un certo interesse nell'inscrivere il nostro tempo in un contesto storico ampio, in cui rileggere sotto la lente ecologica del presente, progetti e città del passato - anche prossimo - per ricostruire una genealogia della nostra epoca qui evocativamente identificata con il nome di *densità sostenibile*. La volontà è quella di restituire una lettura che



vada oltre l'ideologia che spesso connota simili speculazioni progettuali, soffermandosi ad evidenziare le similitudini e ad offrire ispirazioni utili al confronto con le metropoli odierne.

Questa genealogia contiene casi di studio selezionati sulla base delle loro capacità di catturare le ambizioni del tempo in cui sono nate, ovvero di precorrerlo radicalmente. Alcuni progetti sono rimasti sulla carta, altri sono stati costruiti, altri ancora realizzati in forma distinta, ma ognuno di essi ha avuto (e tuttora continua ad avere) un'influenza indelebile sul contesto urbano e sulla maniera di pensarlo: è avvincente confrontare, ad esempio, la prolifica tradizione del pensiero visionario sulla città - che sembra essersi persa col finire degli anni '70 - e i suoi precedenti storici, con le realizzazioni cui si assiste nelle attuali megalopoli orientali, teatro privilegiato della messa in scena dei modelli di città contemporanea (MVRDV, 2005 p. 476-483). Un carattere comune sembra tracciare un filo rosso tra gli elementi che costituiscono la Genealogia: seppur nella loro astrazione, ognuno apporta un proprio contributo alla riflessione sulle interazioni tra la proposta progettuale e le ripercussioni, l'impatto sul pianeta nel suo complesso. Una volontà di confrontarsi con più scale di riferimento per riconsiderare e tentare di ridefinire le possibili relazioni tra natura, ambiente e contesto costruito. Dal punto di vista metodologico questo studio è debitore principalmente nei confronti di due ricerche, che in un certo senso peraltro motivano e sostanziano la sua opportunità e validità all'interno di questa ricerca: *The Complex History of Sustainability* e *49 Cities* (Andraos & Wood, 2009; Djalali & Vollaard, 2008).



99. Exodus, OMA, 1998.

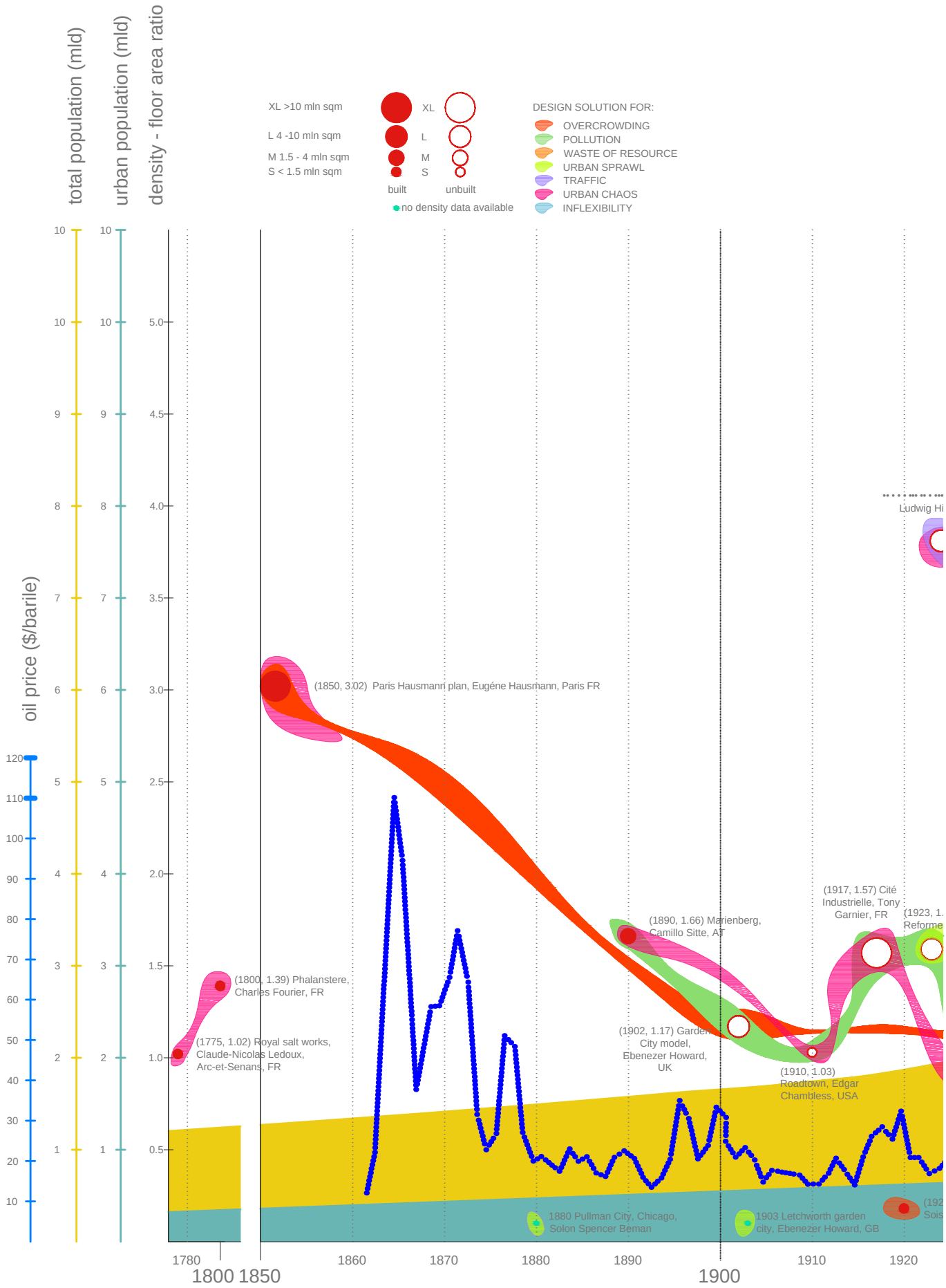
Si è voluto combinare le due diverse modalità operative per esplorarne le capacità deduttive; mettere a sistema le proprietà analitiche della densità rispetto alla sostenibilità, con una ricostruzione della storia dell'interazione dei due concetti sullo sfondo di una serie di parametri significativi di riferimento. La Genealogia è strutturata per descrivere lungo la linea del tempo, le differenti relazioni che il parametro di densità (inteso come valore neutrale e misurabile) ha instaurato con altrettanti indicatori che ne descrivono il rapporto con la società, l'ambiente e le risorse naturali. Queste variabili sono rese confrontabili con gli andamenti temporali di altri valori che in qualche maniera hanno influito e condizionato l'andamento del "processo riproduttivo". Le unità di misura principali del confronto sono il tempo, riportato in ascissa, e il FAR (*Floor Area Ratio*) - ovvero il rapporto tra la superficie totale costruita e quella del lotto di riferimento - in ordinata. I parametri fondamentali individuati, con cui rapportare l'andamento del grafico e che costituiscono ulteriori ordinate sono:

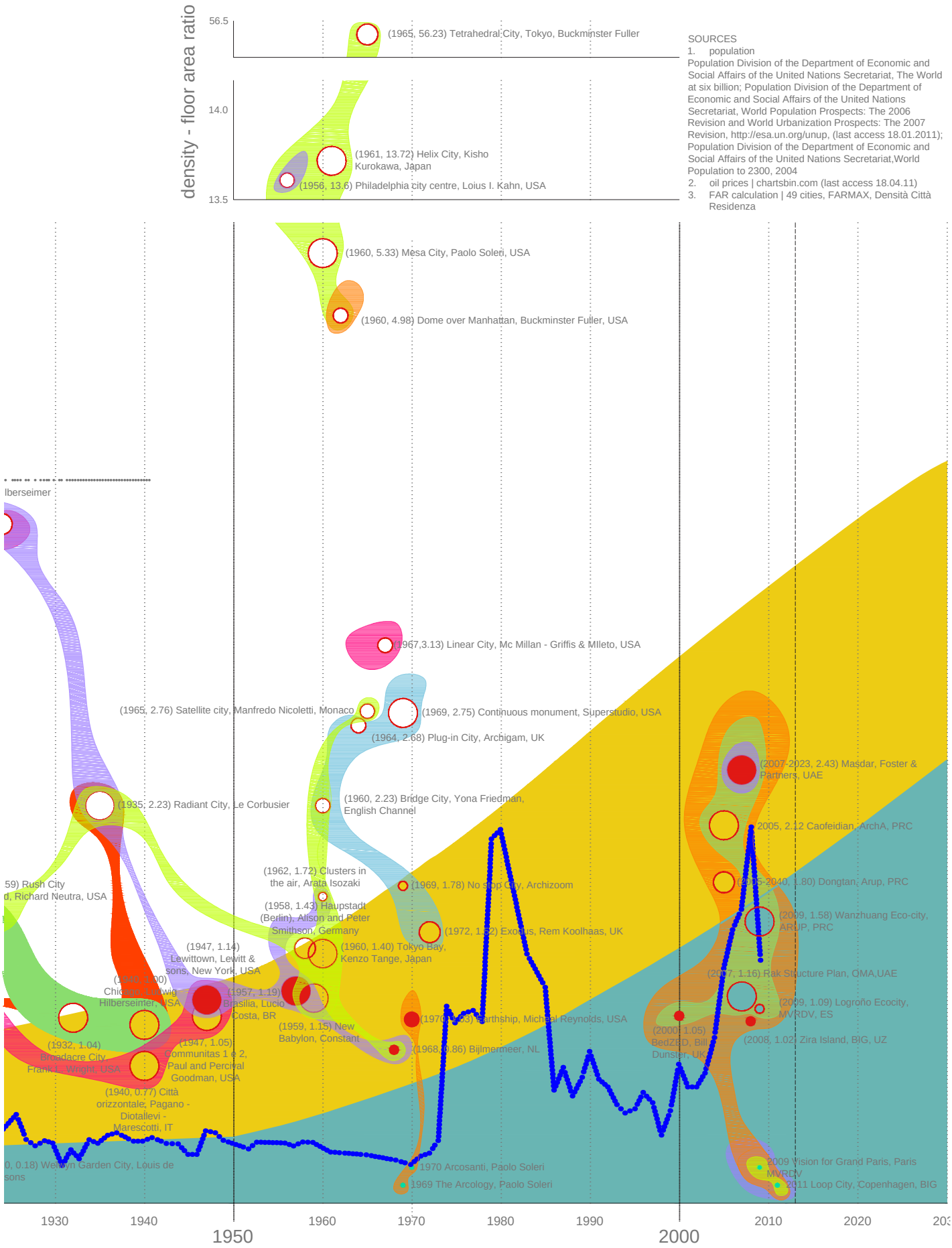
- la popolazione mondiale (totale ed urbanizzata);
- il prezzo del petrolio;
- i consumi energetici;

- le emissioni di anidride carbonica globali.

Ulteriori elementi costituiscono la genealogia. Il primo sono i profili di sostenibilità, ovvero linee di tendenza che collegano i singoli componenti in base alle problematiche che mirano a risolvere ed alla maniera di affrontarle: consumo di risorse ed energia, impatto ambientale e inquinamento, sovraffollamento, traffico. Il secondo è rappresentato dall'insieme di progetti ritenuti appartenenti alla storia della densità sostenibile il cui "grado di parentela" sia stato ritenuto in un certo qual senso di secondo livello: in cui la relazione tra i due concetti fosse meno evidente. Questi ultimi compaiono sul grafico in ordine cronologico senza essere associati ad un valore di densità o ad un profilo di sostenibilità.

Il campione utilizzato costituisce una selezione che non pretende di essere né esaustiva, né tantomeno definitiva; è da ritenersi personale, seppur costituita sulla base di una revisione dell'attività progettuale degli ultimi centosettant'anni. Inevitabilmente, considerazioni relative all'accesso ai dati hanno giocato un ruolo nella definizione finale del campione.


total population (mld)
urban population (mld)
density - floor area ratio
oil price ($/barile)
XL >10 mln sqm
L 4 -10 mln sqm
M 1.5 - 4 mln sqm
S < 1.5 mln sqm
XL
L
M
S
built
unbuilt
no density data available
DESIGN SOLUTION FOR:
OVERCROWDING
POLLUTION
WASTE OF RESOURCE
URBAN SPRAWL
TRAFFIC
URBAN CHAOS
INFLEXIBILITY
(1850, 3.02) Paris Hausmann plan, Eugéne Hausmann, Paris FR
(1800, 1.39) Phalanstere, Charles Fourier, FR
(1775, 1.02) Royal salt works, Claude-Nicolas Ledoux, Arc-et-Senans, FR
(1890, 1.66) Marienberg, Camillo Sitte, AT
(1902, 1.17) Garden City model, Ebenezer Howard, UK
(1910, 1.03) Roadtown, Edgar Chambless, USA
(1917, 1.57) Cité Industrielle, Tony Garnier, FR
1880 Pullman City, Chicago, Solon Spencer Beman
1903 Letchworth garden city, Ebenezer Howard, GB
1780
1800
1850
1860
1870
1880
1890
1900
1910
1920



SOURCES

1. population
Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, The World at six billion; Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects: The 2006 Revision and World Urbanization Prospects: The 2007 Revision, http://esa.un.org/unup, (last access 18.01.2011); Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat,World Population to 2300, 2004
2. oil prices | chartsbin.com (last access 18.04.11)
3. FAR calculation | 49 cities, FARMAX, Densità Città Residenza

CONCLUSIONI

L'inarrestabile crescita delle città e i mutamenti che oggi subiscono hanno sollecitato sensibilmente le discipline progettuali. Al loro interno, due appaiono essere i temi principali della riflessione: la crescita della scala dimensionale degli interventi associata alla complessità dei nuovi riferimenti disciplinari e le innovazioni tecnologiche e progettuali indotte dalla sostenibilità. In questo quadro il concetto di densità ha assunto rilevanza crescente. La sua natura intrinseca di parametro che, seppur in diverse modalità ed accezioni, è in grado di restituire l'intensità di utilizzo di un determinato spazio lo ha designato quale uno degli elementi strumentali del progetto in epoca moderna e contemporanea. D'altro lato però questi assunti dall'apparente semplicità sottendono alcune insidie, dovute dapprima alla natura stessa del concetto e in seguito all'uso nelle diverse pratiche disciplinari.

Nonostante ciò, definire univocamente il concetto di densità pare oggi impossibile. Le dinamiche evolutive cui sono sottoposti gli insediamenti umani fanno sì che le definizioni più diffuse e accettate in ambito scientifico debbano essere oggetto continuo di aggiornamento e revisione. Un quadro interpretativo generale del tema risulta ad oggi lacunoso, viziato ora da indeterminatezza ed ipersemplificazione, ora da estrema complessità che determinano spesse volte difficoltà di applicazione in ambito progettuale. Per queste ragioni, nel confrontarsi con il concetto e nell'utilizzarlo quale strumento di analisi, diviene fondamentale individuarlo e definirlo chiaramente nelle sue declinazioni parametriche in funzione degli obiettivi che ci si prefigge nell'indagine.

Suddetta condizione d'incertezza si riflette inevitabilmente anche sul dibattito che pone al centro il rapporto tra densità, forma e sostenibilità urbana, generando un'ambiguità che può essere superata soltanto attraverso uno sforzo d'indagine strutturato per via analitica e neutrale. Buona parte degli studi assumono quale scala di riferimento l'intero ambito urbano (spesso per l'opportunità di più facile accesso ai dati) ma per ottenere la possibilità di individuare una relazione più netta tra forma urbana e sostenibilità appare opportuno scendere di scala verso dimensioni intermedie, più consone a tali analisi.

Nonostante ciò le ricerche sviluppate nell'ambito dell'individuazione degli indici di densità adeguati alla descrizione della forma urbana ci fornisce, oggigiorno, diversi strumenti dalle elevate potenzialità interpretative, al punto da rivelarsi efficaci anche di fronte all'enorme complessità degli ambienti costruiti odierni e delle problematiche ad essi connesse. Di sicuro le componenti che hanno contribuito a ciò sono la sua interscalarità e la multi-parametricità dei suoi indici: aspetti che risultano estremamente utili in un ambiti di studio come il presente. L'interscalarità è utile alla comprensione delle modalità di correlazione tra le decisioni a grande scala - sia quantitative che qualitative

- e quelle a scale minori. La multi-parametricità consente di tradurre in maniera più affidabile mediante valori misurabili la morfologia urbana.
L'interesse disciplinare nei confronti del concetto di densità è testimoniato anche dai ruoli teorici assunti nel corso della storia dell'architettura e dalla crescente importanza odierna nell'ambito del rapporto tra architettura, forma e sostenibilità. In quanto categoria teorica sta beneficiando delle molteplici speculazioni di cui è oggetto. Come strumento operativo vive un momento di grande diffusione all'interno della pratica progettuale. In questo senso il confronto col passato, la ricostruzione del processo genealogico che ha condotto la densità al suo status attuale, dimostra le diverse modalità con cui si declina tale interesse nel tempo, le relazioni con i principali fattori che la influenzano, le sotto-tracce operative e di ricerca che si distinguono.

Note bibliografiche

Alexander, E. R. (1993). Density measures: A review and analysis. *Journal of Architectural and Planning Research, 10(3)*, 181-202.

Andraos, A., & Wood, D. (2009). *49 Cities: WORKac*: Storefront for Art and Architecture.

Baker, N., & Steemers, K. (2000). *Energy and environment in architecture : a technical design guide*. London ; New York: E & FN Spon.

Batty, M. (2009). Defining density. *Environment and Planning B, 36(4)*, 571-572. doi: doi:10.1068/b3604ed

Boyko, C. T., & Cooper, R. (2011). Clarifying and re-conceptualising density. *Progress in Planning, 76*(1), 1-61. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.progress.2011.07.001

Burdett, R., Sudjic, D., London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft für Internationalen Dialog. (2011). *Living in the endless city : the Urban Age project by the London School of Economics and Deutsche Bank's Alfred Herrhausen Society*. London: Phaidon Press Ltd.

Burrascano, M. (2008). *ˆI ‰frammenti della città europea : città architettura progetto*. Firenze: Alinea.

Busquets, J., & GSD, H. (2005). *Barcelona: the urban evolution of a compact city*. Rovereto: Nicolodi.

Cecere, C. (2013). *Morfologia, Densità, Sostenibilità: brevi considerazioni in forma di lezione*. Roma.

Cerdà, I. (1855). *Memoria y Atlas del Anteproyecto del Ensanche de Barcelona*. Barcelona.

Cheng, V. (2010). Understanding Density and High Density. In E. Ng (Ed.), *Designing High-Density Cities: For Social and Environmental Sustainability* (pp. 3-17). London: Earthscan.

Churchman, A. (1999). Disentangling the Concept of Density. *Journal of Plannig Literature*(13), 389.

City Planning. (1982). *Zoning Resolution: the City of New York*. New York: City Planning Comission.

Djalali, A., & Vollaard, P. (2008). The Complex History of Sustainability. *Volume*(18), 33-41.

Fernandez Per, A., & Arpa, J. (2007). *Density projects: 36 new concepts on collective housing*. Vitoria-Gasteiz: A+t ediciones.

Fernâandez Per, A., & Arpa, J. (2010). *Next: collective housing in progress : density, intensity, uses, location, types, details*. Vitoria-Gasteiz: A+t ediciones.

Fernâandez Per, A., Mozas, J., & Arpa, J. (2007). *Dbook : density, data, diagrams, dwellings : anâlisis visual de 64 proyectos de vivienda colectiva*. Vitoria-Gasteiz: A+t ediciones.

Fernâandez Per, A., Mozas, J., Arpa, J., & A+T Research Group. (2011). *Density is home*. Vitoria-Gasteiz: A+T Architecture Publishers.

Fernâandez Per, A., Mozas, J., Arpa, J., Trobaugh, W., Mortimer, K., & Sâanchez, M. (2009). *Hoco : density Housing Construction and Costs*. Vitoria-Gasteiz: A+t ediciones.

Forsyth, A. (2003). Measuring Density: Working Definitions for Residential Density and Building Intensity. *Design Brief, 8*, 1-8.

Gropius, W. (1936). *The new architecture and the Bauhaus*. New York, London,: Museum of Modern Art; Faber and Faber.

Gropius, W. (1955). *Scope of total architecture* ([1st ed.). New York,: Harper.

Hilberseimer, L. (1978a). *Groszstadt Architektur* (2. ed ed.). Stuttgart: J. Hoffman.

Hilberseimer, L. (1978b). *Groszstadt Architektur* (2. ed ed.). Stuttgart: J. Hoffman.

Hitchcock, J. R. (1994). *A primer on the use of density in land use planning*. Toronto: Program in Planning, University of Toronto.

Howard, E. (1985). *Garden cities of to-morrow* (New rev. ed.). Eastbourne: Attic Books.

Insolera, I. (2001). *Roma moderna: un secolo di storia urbanistica, 1870-1970*. Torino: G. Einaudi.

Jacobs, J., & Olmo, C. (2000). *Vita e morte delle grandi città saggio sulle metropoli americane*. Torino: Edizioni di Comunità.

Koolhaas, R., & Biraghi, M. (2001). *Delirious New York un manifesto retroattivo per Manhattan*. Milano: Electa.

Koolhaas, R., & Mastrigli, G. (2006). *Junkspace per un ripensamento radicale dello spazio urbano*. Macerata: Quodlibet.

Koolhaas, R., & Mau, B. (1998). *Small, medium, large, extra-large* (J. Sigler & H. Werlemann Eds. 2nd ed.). New York, NY: The Monacelli Press.

Le Corbusier, C.-E. (1967). *Urbanistica*.

Milano: Il saggiatore.

Le Corbusier, C.-E., Jeanneret, P., Boesiger, W., & Stonorov, O. (2006). *Le Corbusier: Oeuvre complète* (16. ed ed.): Basel etc.

Maas, W., MVRDV (Firma), Berlage Instituut., Institut franðcais d'architecture., & Fundaciâo Mies van der Rohe. (2003). *Five minutes city : architecture and [im]mobility : forum and workshop, Rotterdam 2002*. Rotterdam: Episode.

Maas, W., MVRDV (Firma), Delft School of Design., Berlage Instituut., Massachusetts Institute of Technology. Department of Architecture., & cThrough. (2007). *Space fighter : the evolutionary city (game:)*. Barcelona: Actar.

Maas, W., MVRDV (Firma), & University of Wisconsin-Milwaukee. School of Architecture & Urban Planning. (2007). *Skycar city : a pre-emptive history*. Barcelona ; New York: Actar.

Martin, L., & March, L. (1972). *Urban space and structures*. Cambridge: University Press.

Mostafavi, M., & Doherty, G. (2010). *Ecological urbanism*. Cambridge, Baden: Harvard University Lars Mèuller.

Mozas, J., & Fernâandez Per, A. (2006). *Densidad : nueva vivienda colectiva = Density : new collective housing* (Ed. condensada = Condensed ed.). Vitoria-Gasteiz: a+t Ediciones.

Mumford, L., Rosso, M., & Scrivano, P. (1999). *La cultura delle città* (Nuova ed. a cura di Michela Rosso e Paolo Scrivano ed.). Torino: Edizioni di Comunità.

MVRDV. (2005). *KM3 : excursion on capacities*. Barcelona: Actar.

MVRDV, Hardel, M., Meijer, N., Salmerâon Espinosa, M., & Escola Superior d'Arquitectura de Barcelona. (2000). *Costa ibâerica : [hacia la ciudad del ocio / basado en estudios realizados por estudiantes de la ESARQ de Barcelona*. Barcelona: ACTAR.

MVRDV, Koek, R., Rijs, J. v., Maas, W., & Vries, N. d. (1998). *Farmax : excursions on density*. Rotterdam: 010 Publishers.

MVRDV, & Maas, W. (1999). *Metacity, datatown*. Rotterdam: MVRDV,010.

New York, C. P. C. (1917). *Zoning handbook : a guide to the zoning resolution of the City of New York*. New York: The Commission.

Pont, M. B., & Haupt, P. (2010). *Spacematrix : space, density and urban form*. Rotterdam: NAI.

Rapaport, A. (1975). Toward a Redefinition of Density. *Environment and Behavior, 7*(2 June 1975), 133.

Ratti, C., Baker, N., & Steemers, K. (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings, 37*(7), 762-776.

Reale, L. (2008). *Densità città residenza tecniche di densificazione e strategie anti-sprawl*. Roma: Gangemi.

Roma, C. (2008). *Piano Regolatore Generale : Norme Tecniche di Attuazione*. Roma: s.n.

Sorkin, M. (2003). Pensieri sulla densità. *Lotus International, 117 2003*, 4-11.

Strømann-Andersen, J., & Sattrup, P. A. (2011). The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings, 43*(8), 2011-2020.

Sudjic, D., Burdett, R., London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft fèur Internationalen Dialog. (2007). *The Endless city: the urban age project by the London School of Economics and Deutsche Bankk's Alfred Herrhausen Society*. London: Phaidon.

Treccani, I. d. E. I. (2003). *Il vocabolario Treccani: Il Treccani*: Istituto della Enciclopedia Italiana.

Unwin, R. (1912). *Nothing gained by overcrowding! : how the garden city type of development may benefit both owner and occupier* ([3d ed.). London: Garden Cities and Town Planning Association.

Wright, F. L. (1932). *^The‰ disappearing city*. New York: William Farquhar Payson.

Note

1 Si definisce comunemente era urbana quella iniziata in Europa intorno alla metà del XIX secolo, innescata dal processo di industrializzazione e sviluppo e caratterizzata dalla rapida espansione della popolazione urbanizzata e, conseguentemente, dei sistemi urbani. Per uteriori approfondimenti a riguardo si veda (Mumford, Rosso, & Scrivano, 1999).

2 Si definisce densità residenziale il rapporto tra numero di alloggi e superficie di riferimento. Per ulteriori dettagli si veda la definizione riportata nel paragrafo *Densità come parametro di misura*.

3 Si tenga presente a tal proposito che la stessa densità fisica può essere percepita e giudicata molto diversamente a seconda della soggettività, della cultura, del contesto culturale e geografico, etc.

4 Più specificamente il confronto è giocato in prevalenza sull'analisi dei tessuti urbani residenziali e pertanto sulle relazioni tra densità residenziale e tipo edilizio.

5 A chiarimento di tale affermazione Alexander ribadisce che "Tutte le variabili che influiscono sulle densità residenziali sono mediate dalla tipologia, ma ciò non significa che esista una relazione biunivoca tra le due" (Alexander, 1993).

6 Occorre da subito chiarire che l'uso del termine alta densità, utilizzato in alcuni studi, appare improprio. Esso deve essere inteso qualitativamente in termini relativi di confronto rispetto ad altre tipologie d'insediamento a bassa densità, tipiche dei paesi occidentali (specie anglosassoni) cui oggi si associa frequentemente il termine *sprawl*.

7 Per un'accurata rassegna sull'uso della densità come strumento analitico di tali effetti si veda (Boyko & Cooper, 2011).

8 L'Indice di edificabilità rappresenta la Superficie utile lorda massima realizzabile per ogni metro quadro di Superficie fondiaria (o Superficie territoriale). La SUL misura in mq la somma delle superfici lorde dell'Unità edilizia, comprese entro il perimetro esterno delle murature, di tutti i livelli fuori ed entro terra degli edifici, qualunque sia la loro destinazione d'uso.

9 L'Indice di copertura esprime il rapporto percentuale tra la Superficie coperta e la Superficie fondiaria, di pertinenza o comunque impegnata ai fini della ammissibilità della Superficie utile lorda della costruzione stessa.

10 Walter Gropius, come pure gli MVRDV, hanno condotto studi sul tema della relazione tra altezza degli edifici ed intensità di edificazione con riferimento all'illuminazione naturale (Gropius, 1936; MVRDV et al., 1998). Altre ricerche odierne, specie quelle che si occupano di luce naturale, dei fenomeni termici e climatici (ad es. l'isola urbana di calore) utilizzano quest'indice per cercare correlazioni con la morfologia del costruito (Strømann-Andersen & Sattrup, 2011) (Baker & Steemers, 2000) (Ratti, Baker, & Steemers, 2005).

11 Heeling J., Meyer H., Westrik J., *Het ontwerp van de stadsplattegrond*, citato in (Pont & Haupt, 2010) p. 96.

12 Non essendo riusciti a trovare l'indice analogo in italiano, per evitare incomprensioni, si è preferito mantenere la versione originale di derivazione nordamericana.

13 Ne sono esempio il lavoro di ricerca e quello progettuale condotto in primis dagli olandesi MVRDV e OMA, le indagini a vario titolo sulla densità come indice e parametro di analisi della morfologia urbana, le ricerche sulla relazione tra tipologia edilizia, nuove forme di residenza e densità, rappresentate tra gli altri dalla cosiddetta Density series, e ancora gli esiti progettuali dello Urban Reinassance, del New Urbanism e del New Typologism, della densificazione della città dispersa, della "rivoluzione senza programma" della Bigness, della "densità nell'isolamento" della Città Generica - si veda a tal riguardo: (Burrascano, 2008; Koolhaas & Mastrigli, 2006 p. 14, 39; Reale, 2008 p. 65).

14 Nella prima stesura del piano di Cerdà del 1859 il valore massimo era fissato al 35% della superficie del lotto; nell'Ordenança del 1860 il limite fu innalzato al 50%.

15 Le teorie di Howen influenzarono piuttosto decisamente il pensiero di molti progettisti europei. Per comprendere la loro portata e risonanza, basti pensare che persino la città di Roma sperimentò a cavallo degli anni '20 il modello insediativo fondato su questa dottrina con due distinti progetti. Quello di Giovannoni, Calza Bini e Cremonesi per Montesacro e quello di Giovannoni e Picentini per Garbatella di cui se ne riporta una dettagliata analisi in: (Insolera, 2001).

16 È necessario aggiungere che oltre al riferimento numerico della densità abitativa Unwin arrivò a stabilire la densità edilizia ottimale per mezzo di studi comparativi sui modelli urbani tipo, in cui anche l'aspetto economico giocava un ruolo centrale.

17 Anche con l'avvento della Seconda Guerra Mondiale la densità permane all'interno del dibattito teorico e operativo: la sua natura d'indicatore numerico ha inciso al fianco degli altri strumenti razionali di controllo che costituiscono il bagaglio operativo dello zoning.

18 La trattazione di come il libro interpreti il ruolo della densità come categoria teorica è riportata più avanti nello stesso paragrafo, alla sezione dal titolo *Il ruolo di categoria teorica*. In questa sede lo si è voluto citare per l'importanza che riveste nei confronti delle esperienze che seguiranno legate alla natura di strumento della densità.

19 Per i dettagli sui rapporti tra i principi di natura teorica e il progetto si veda il paragrafo successivo.

20 In particolare ci si riferisce ai molteplici lavori di ricerca e progettuali condotti dallo studio olandese, di cui è disponibile una nutrita

bibliografia: (Maas, MVRDV (Firma), Berlage Instituut., Institut franðcais d'architecture., & Fundaciâo Mies van der Rohe., 2003; Maas, MVRDV (Firma), Delft School of Design., et al., 2007; Maas, MVRDV (Firma), & University of Wisconsin-Milwaukee. School of Architecture & Urban Planning., 2007; MVRDV, 2005; MVRDV, Hardel, Meijer, Salmerâon Espinosa, & Escola Superior d'Arquitectura de Barcelona., 2000; MVRDV & Maas, 1999).

21 A tal proposito si ricordi quanto detto in precedenza sull'operato di Ferris e Corbett.

22 L'attività pubblicistica dell'editore sul tema è piuttosto nutrita e consiste in riviste, collane e monografie tutte strutturate con la medesima metodologia d'indagine. A titolo di riferimento se ne riportano soltanto alcune, ritenute più significative: (Fernandez Per & Arpa, 2007; Fernâandez Per & Arpa, 2010; Fernâandez Per, Mozas, & Arpa, 2007; Fernâandez Per, Mozas, Arpa, & A+T Research Group., 2011; Fernâandez Per et al., 2009; Mozas & Fernâandez Per, 2006).

23 A riguardo si richiama quanto già espresso nel paragrafo *Densità come paragrafo di misura*.

24 Con il termine usoniano, originario del XIX secolo e sinonimo di americano, Wright intende il modello abitativo da egli proposto basato su insediamento diffuso a bassa densità e a contatto con l'ambiente.

25 È stato stimato che il valore del FAR corrispondente è di 0,5. Il calcolo viene riportato in "FAR Catalogue" (MVRDV et al., 1998)

26 Tra i progetti più significativi si ricordano: The Walking City, Plug-in-city, Instant city, No-stop city, Continuous Monument, New Babylon, Cosanti e Arcosanti, Spatial City, Space City, Marine City, Clusters in the air, Bridge City.

27 Tra quelli che maggiormente instaurano un dialogo con il concetto di densità e con la condizione urbana che ne è rappresentativa si segnalano: Gothics, Trojan extrusion, Condominium, Claustro City e 3D City Cube, Metacity Datatown, Mining City, A20 Highway City, Exodus, riportati nei testi citati in precedenza alla nota 20 e in (Koolhaas & Mau, 1998).

28 Qualsiasi progetto, infatti, anche solo per il fatto di costituire un insediamento, di trasformare il territorio, ha un impatto sull'ambiente e pertanto sottende ad una maniera specifica di confronto con esso, ad una sua presunta forma di sostenibilità.

Densità e ambiente costruito
la metropoli europea

La densità ha un ruolo privilegiato nel rapporto forma-sostenibilità per capacità interpretative e significati assunti quale categoria teorica e progettuale. In questo capitolo, consapevoli della specificità della condizione urbana europea - in primo luogo in termini di caratteristiche fisiche degli insediamenti - ci si avvale di tali capacità per comprovare le implicazioni ambientali e verificare l'esistenza di leggi di dipendenza tra indicatori di sostenibilità urbana e densità che possano manifestarsi più chiaramente di altre. Si traducono in relazioni grafiche e numeriche alcune regole di funzionamento della città europea contemporanea nel tentativo di analizzarne razionalmente la complessità.

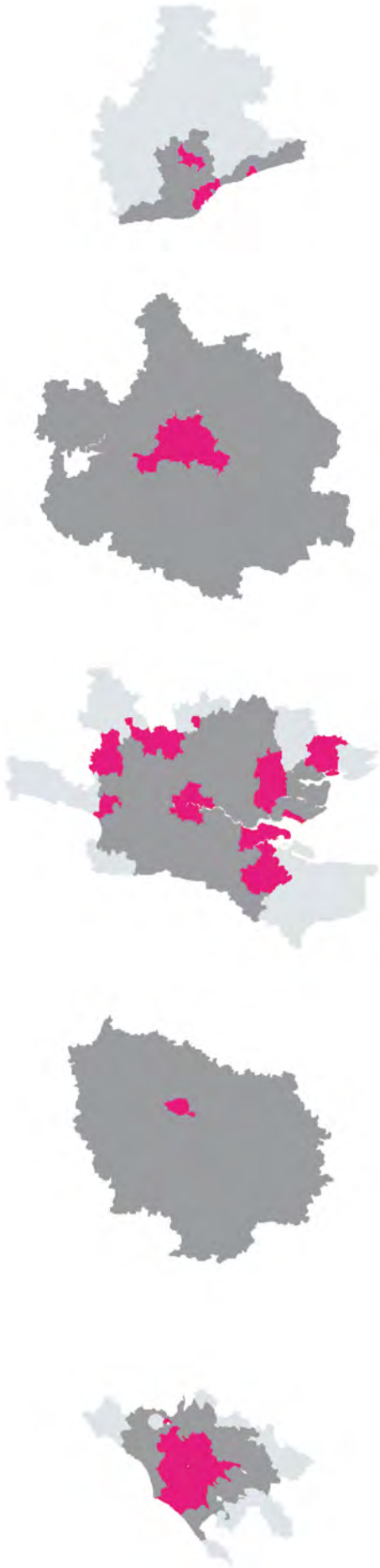
CARATTERI DELLA METROPOLI COMPATTA EUROPEA

Le recenti ricerche dell'*Urban Age Project* e di Arjen van Susteren sulle relazioni tra struttura urbana, sostenibilità e aspetti socio-economici delle metropoli contemporanee hanno utilizzato la densità nella sua accezione parametrica per interpretare e comparare i risultati nei diversi contesti.[1] Con l'ausilio di dati statistici hanno dimostrato quanto e come le dinamiche attuali che caratterizzano i processi di urbanizzazione della città compatta europea siano diversi da quelle delle città di altri continenti. Hanno in un certo senso suggerito quanto e come i caratteri insediativi tipici di queste (morfologia e struttura urbana, compattezza, caratteristiche formali del costruito, dinamiche sociali ed economiche) ne condizionino il funzionamento complessivo.

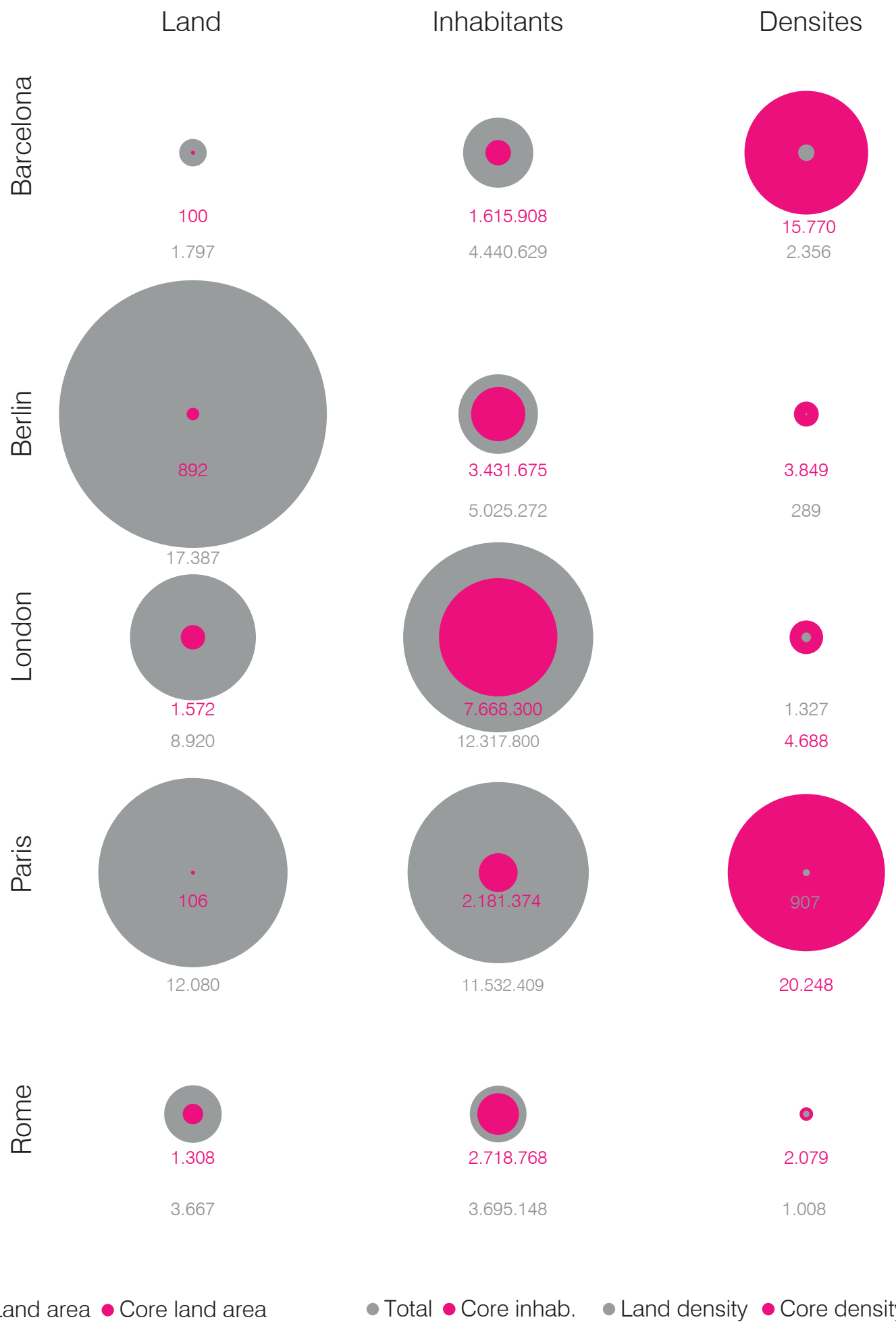
100. Paesaggio urbanizzato, Kevervoort 2011.

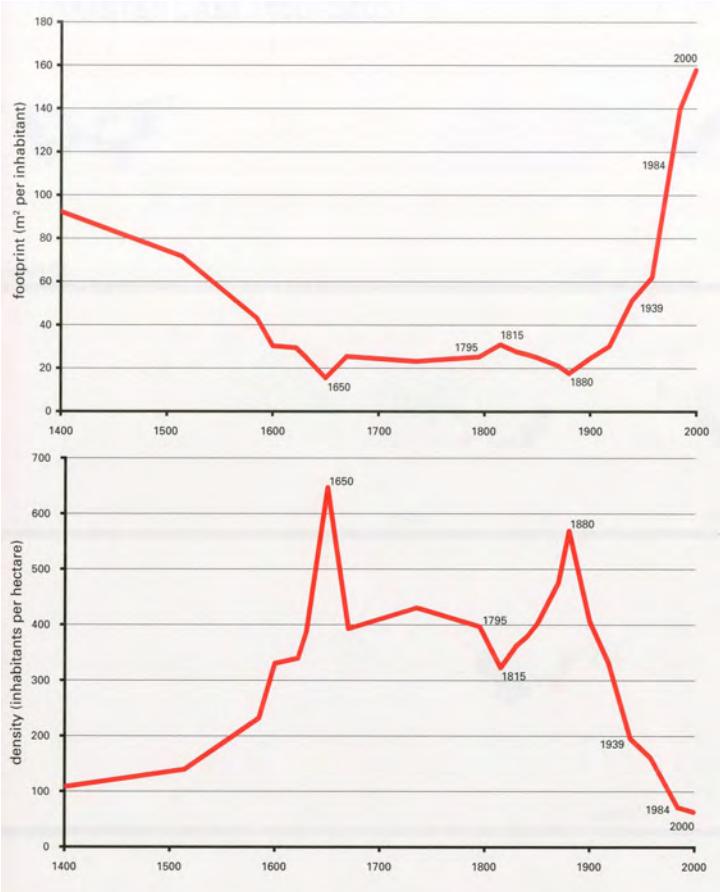
Restringendo il campo alla città compatta è possibile dunque dedurre tendenze chiare tra indicatori di sostenibilità urbana e parametri di densità a scala metropolitana? Tramite tali indicatori si può fornire una chiave interpretativa neutrale del panorama di affermazioni sui vantaggi e svantaggi dell'(alta) densità riscontrabili nella letteratura scientifica che possano essere validi per la città compatta?

La storia ci insegna che al processo di sviluppo di una città spesso consegue la sua crescita



101. Principali indicatori urbani per le cinque città di riferiemento dell'analisi.


Land
Inhabitants
Densites
Barcelona
100
1.797
1.615.908
4.440.629
15.770
2.356
Berlin
892
17.387
3.431.675
5.025.272
3.849
289
London
1.572
8.920
7.668.300
12.317.800
1.327
4.688
Paris
106
12.080
2.181.374
11.532.409
907
20.248
Rome
1.308
3.667
2.718.768
3.695.148
2.079
1.008
Land area
Core land area
Total
Core inhab.
Land density
Core density



102. Variazione nel tempo dell'impronta costruita e della densità abitativa della citta di Amsterdam, Pont e Haupt, 2010.

in termini economici e quindi anche dimensionali, che lascia tracce sul territorio per effetto dell'espansione urbana.[2] Il processo di densificazione associabile a questa crescita raggiunge naturalmente una soglia critica, oltre il quale il funzionamento di un sistema antropico diviene oltremodo inefficiente e produce disagio nella popolazione, ed a cui è possibile far corrispondere un valore di densità espresso in termini numerici. Questa soglia critica è mutata nelle varie epoche per effetto della concentrazione di popolazione e di attività economiche e per l'incremento della qualità di vita e delle condizioni abitative, che si traducono in richieste di maggiori quantità di spazio nonostante la popolazione risulti piuttosto stabile. Molto spesso questi due fattori - di concentrazione e incrementali - agiscono contemporaneamente su un sistema insediativo, determinandone la variazione di configurazione nel tempo che si può dire avvenga per successivi "stati di equilibrio". Tale variazione può essere letta efficacemente con l'ausilio del parametro di densità.

Esempio evidente di ciò in ambito europeo è il processo di sviluppo della città di Amsterdam dal XIV secolo al XX Secolo come riportato da Pont e Haupt. Gli autori analizzano gli andamenti reciproci di densità abitativa e impronta urbana nel corso del tempo spiegando le motivazioni - culturali, tecniche sociali ed economiche - che hanno generato il passaggio da una fase all'altra (Pont & Haupt, 2010).
Se si confronta il grafico che sintetizza suddetti andamenti con le dimensioni dell'impronta urbana, è possibile riconoscere i principali caratteri della città compatta europea e la loro evoluzione, fino a ricondursi alla condizione attuale [101]. Il primo è l'irreversibilità del processo di espansione: una volta superata la soglia critica che - in una qualsiasi epoca - produce un ampliamento dimensionale, molto raramente una città torna a contrarsi, anche di fronte ad un calo della densità abitativa (si osservi a riguardo il periodo 1795-

1815 in cui la stagnazione economica portò ad una riduzione degli abitanti). Altri due caratteri riconoscibili sono l'inerzia e l'espansione periferica che è possibile riscontrare nella maggior parte delle principali città europee rispettivamente prima e dopo la rivoluzione industriale ma che tuttora sono rappresentativi della condizione urbana.[3]
L'inerzia fa sì che la trasformazione della città esistente avvenga principalmente mediante un intervento di ripensamento del costruito a maggiore (o minore) densità edilizia all'interno del medesimo impianto urbano: questo fenomeno è tipico della seconda metà del XIX secolo ed è riscontrabile ancora nell'epoca attuale. Mentre però nel primo caso la densificazione edilizia fu l'effetto dell'aumento di popolazione urbanizzata e di lì a poco contribuì a generare disagi abitativi, nel secondo, tale carattere si manifesta, ad esempio, con in piani di recupero delle aree dismesse interne alla città consolidata e dei quartieri residenziali periferici. In questi casi la densificazione assume valore positivo, divenendo l'antidoto contro i mali ambientali, energetici e sociali dell'espansione incontrollata delle aree periferiche degli ultimi settant'anni.
Questo carattere, anche noto come sprawl, a partire dall'era industriale ha avuto una crescita esponenziale sotto la spinta delle innovazioni tecnologiche e della grande disponibilità di energia e risorse. Tale abbondanza contribuì a tracciare i nuovi modelli urbani che avrebbero dovuto scongiurare i malesseri della città industriale e favorire condizioni adeguate di benessere. Nonostante l'avvento in architettura dei nuovi materiali da costruzione e delle macchine, avrebbe permesso l'adozione di modelli urbani ad alta densità - come accadde negli Stati Uniti - le città Europee iniziarono ad espandersi secondo leggi di proporzionalità tra impronta e popolazione basate su spazi pro capite sempre maggiori e densità abitative sempre inferiori. Se da un lato ciò condusse a un miglioramento generale della qualità della vita, dall'altro il legame con le risorse naturale ed il clima sotto l'effetto "anestetizzante" dello sviluppo economico si andò affievolendo sempre più.
I tessuti urbani che costituiscono buona parte delle città odierne, strutturate sul modello della *Carbon City* - nella loro evidente inadeguatezza - continuano ad essere inefficienti, a utilizzare impropriamente risorse naturali, a produrre disagi sociali ed economici e, quindi, a condizionarne negativamente il comportamento. La densità in quanto parametro neutrale e misurabile, è uno dei possibili strumenti per comprendere la natura di tale comportamento e i legami che gli indicatori di sostenibilità urbana instaurano con essa, in modo da delineare un quadro interpretativo generale del costruito esistente che conduca ad un effettivo miglioramento delle sue prestazioni.

DENSITÀ E INDICATORI DI SOSTENIBILITÀ

Il dibattito sul concetto di densità, di cui si è riportato un quadro interpretativo nel precedente capitolo, in alcuni casi fondato su dati oggettivi, in altri carente di fondamento scientifico, si limita a definire pro e contro degli insediamenti densi e compatti sotto il profilo della sostenibilità urbana. I limiti di questo dibattito potrebbero essere superati attraverso un confronto tra indicatori di densità e di sostenibilità che verrà circoscritto all'ambito geografico della città compatta europea.

In particolare, il confronto è strutturato in due momenti distinti: il primo, ristretto a sole cinque città ne confronta superfici di territorio occupate, numero di abitanti e densità di popolazione; il secondo, allargato ad un campione di novantacinque, relaziona densità urbana e indicatori di sostenibilità. Il primo campione comprende Barcellona, Berlino, Londra, Parigi e Roma scelte in quanto rappresentative dei caratteri e dell'evoluzione urbana tipici del nostro continente; il secondo comprende tutte le capitali europee nonché quelle con il maggior numero di abitanti.[4]

Delle prime cinque il confronto proposto mette in evidenza le differenze tra le tre categorie di dati caratteristici, relative a due entità territoriali: il centro urbano e l'intera area metropolitana. Questa modalità consente di "disegnare" una prima "mappa neutrale" interpretativa delle diverse realtà costruite utile anche ad inquadrare il secondo livello di analisi.

Tale livello, nel relazionare densità urbana e indicatori di sostenibilità utilizza per la prima la densità abitativa o quella residenziale netta, per i secondi gli indicatori di funzionamento correntemente utilizzati nelle campagne statistiche periodiche sulle città europee di Eurostat denominanti *City* e *LUZ* (*Large Urban Zone*).[5] Il confronto tra densità urbana e indicatori di sostenibilità è condotto associandoli sulla base dell'adeguatezza della prima a rappresentare le diverse classi di indicatori di sostenibilità (demografia, economia, ambiente ed ecologia, mobilità).

I grafici utili al confronto riportano dunque indici che rappresentano in ascissa la densità e in ordinata la sostenibilità. Ad esempio, nell'analizzare la popolazione complessiva s'è utilizzato l'indicatore di densità di popolazione; invece, per il prezzo di un appartamento a metro quadro si è fatto ricorso alla densità residenziale netta, che meglio si correla a tale indicatore di qualità urbana (si vedano i grafici corrispondenti).

Ogni grafico è stato quindi relazionato ai vantaggi e svantaggi della densità - distinti anch'essi per classi - riscontrati nella letteratura scientifica sull'argomento.[6] Infine, sono state calcolate le linee di tendenza tra le due variabili al fine di evidenziare quelle che maggiormente stabiliscano una relazione solida tra loro e ne è stata riportata una valutazione in termini di verificabilità.

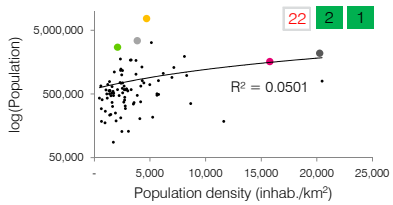
Un'annotazione preliminare concerne la metodologia di valutazione degli indicatori di sostenibilità. L'estrema complessità dei sistemi metropolitani fanno sì che per compren-

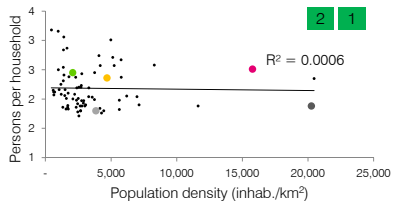
dere la veridicità o meno di una dichiarazione sia necessario leggere al contempo più di un grafico e viceversa che un singolo grafico possa descrivere le tendenze di più di una di queste. Sulla base di quest'ultime, si procede dunque alla valutazione della possibilità di verifica effettiva delle affermazioni sull'alta densità, attribuendo tre tipi di giudizio: verificato, non verificato, indeterminato.

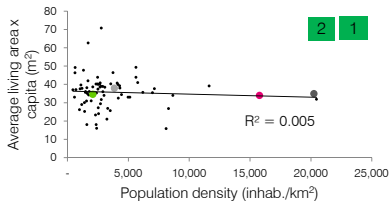
La metodologia sopra descritta ha condotto a due ordini di risultati, riconducibili alle corrispondenti fasi dell'analisi: le diverse declinazioni dei caratteri della città compatta a seconda dei contesti e le tendenze tra densità urbana e indici di sostenibilità.
I primi mostrano che per meglio interpretare il dato di densità sia necessario analizzare anche le due componenti che la determinano (territorio e popolazione) e che tale interpretazione assuma valore ancor più significativo se effettuata comparando al contempo più entità territoriali (centro urbano e area metropolitana). A partire da questa semplice analisi, diviene possibile infatti aggiungere alla densità urbana informazioni utili a comprendere meglio la natura degli insediamenti urbani considerati. Ad esempio, è possibile chiarire i gradienti con cui gli abitanti si insediano sul territorio tenendo in conto l'estensione di quest'ultimo, facendo emergere una prima distinzione tra le città che compongono il campione. Barcellona e Parigi si distinguono da Berlino, Londra e Roma in termini densità, per effetto di una dimensione piuttosto contenuta delle aree centrali in cui è insediata una parte significativa di popolazione. A fronte di questo però, va aggiunto che Parigi accoglie complessivamente due volte e mezzo gli abitanti di Barcellona su una superficie quasi sette volte maggiore. Nel secondo gruppo, invece, le maggiori estensioni delle aree centrali fanno sì che vi sia contenuta più della metà della popolazione e che le densità abitative riscontrabili siano in media cinque volte minori di quelle riferite all'altro gruppo.
A concorrere a ciò sta probabilmente il fatto che i limiti delle aree utilizzate nelle campagne statistiche, spesso vengono derivati a partire da quelli amministrativi delle singole città che sono dettati più da ragioni politiche che dalla natura e dalla conformazione fisica della città e del suo costruito.
Il secondo ordine di risultati possono essere riconducibili ad una serie di osservazioni di carattere generale dedotte dalla disamina dei grafici. Si ritiene, infatti, che potrebbe risultare inappropriato procedere ad una descrizione dettagliata dei risultati dell'analisi e si è preferito lasciare, dunque, alla curiosità e all'interesse del lettore per uno specifico problema, la libertà di interpretare il dominio di grafici prodotti e le relative linee di tendenza determinate tra i vari indicatori.
Analizzando i grafici per classi distinte si può affermare in linea generale che gli quelli demografici mostrano una certa solidità rispetto alla variabile densità di popolazione. Tra i parametri ambientali, i più direttamente dipendenti dalla densità sono quelli connessi all'uso del territorio in relazione a patrimonio costruito e mobilità. Buona parte degli indicatori relativi a quest'ultima, costituiscono il gruppo più numeroso che risente marcatamente dell'incidenza della densità urbana. Permane invece contraddittoria la questione della relazione tra indicatori sociali e densità spesso sollevata dal dibattito riscontrato in letteratura: l'indagine mostra una scarsa connessione tra le variabili. A livello economico, infine, non è possibile esprimere un giudizio generale: a seconda delle coppie di parametri confrontati si hanno riscontri positivi sull'incidenza della densità ovvero negativi o, in altri casi, incerti. Rientrano nel primo gruppo, ancora una volta, quegli indicatori direttamente connessi anche alla mobilità e all'uso del territorio, mentre il riferimento esclusivo a questioni squisitamente economiche pare non avere relazione diretta con la densità.

	Verificato	Non verificato	?	
				AMBIENTE
				Vantaggi ambientali
1	•			Protezione del suolo naturale ed agricolo
2			•	Minore sfruttamento delle risorse naturali per l'edificazione
3	•			Tipi edilizi che favoriscono la riduzione di consumi energetici
4	•			Riduzione dell'inquinamento e dei consumi dovuti al trasporto privato
5	•			Maggiore efficienza del trasporto pubblico e aumento dell'uso di forme di mobilità sostenibili
				Svantaggi ambientali
6	•			Riduzione dello spazio aperto
7			•	Aumento del consumo di energia
8			•	Aumento della congestione e dell'inquinamento
9		•		Gestione complicata dei rifiuti domestici e del riciclaggio

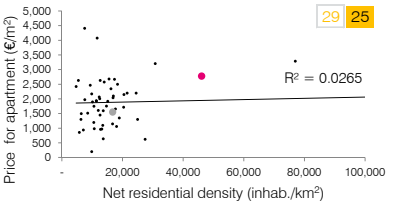
DEMOGRAPHY

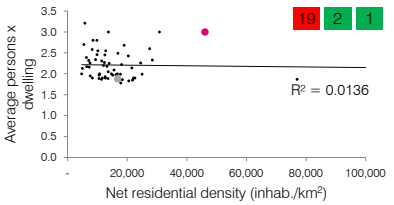


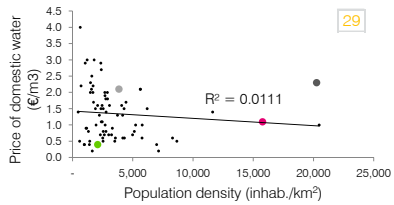




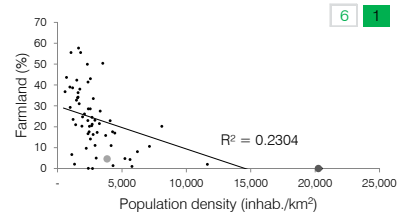
DEMOGRAPHY AND ECONOMY

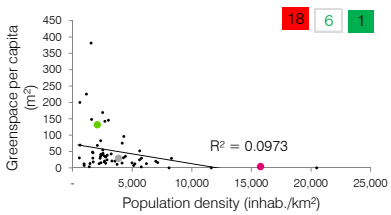


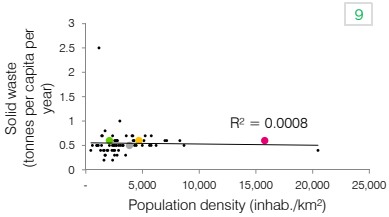




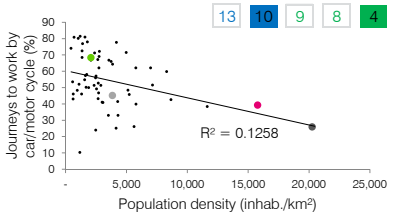
ECOLOGY AND ENVIRONMENT

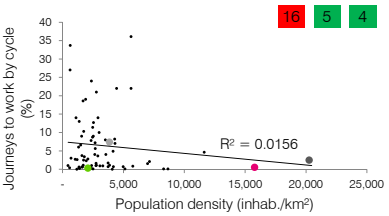


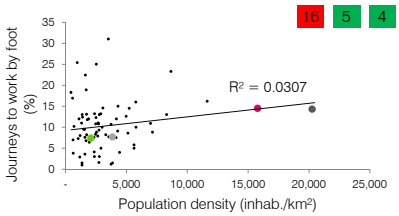




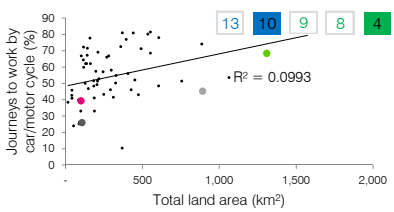
MOBILITY

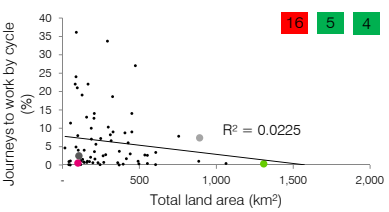


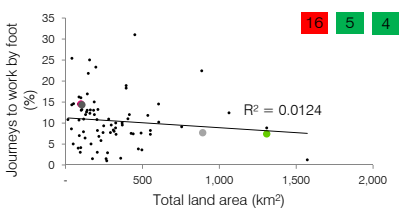




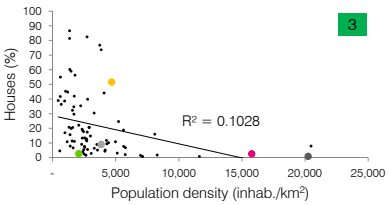
MOBILITY

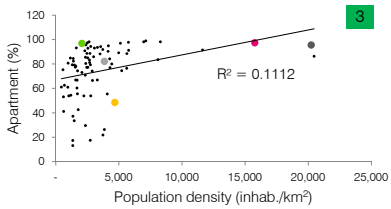


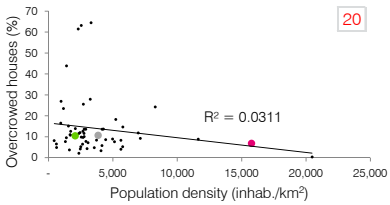




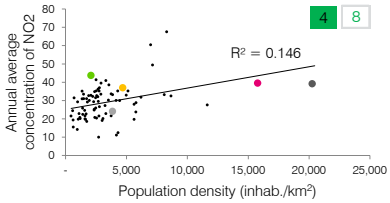
	Verificato	Non verificato	?	
				MOBILITÀ
				Svantaggi per la mobilità
10	•			Riduzione del numero e della lunghezza dei viaggi effettuati con un mezzo privato
11	•			Aumento della percentuale di viaggi con trasporto pubblico
12	•			Maggiore efficienza e sviluppo della rete di trasporto pubblico
				Svantaggi per la mobilità
13		•		Aumento del traffico e della congestione delle reti
14		•		Inadeguatezza delle attuali reti di trasporto pubblico, degli spazi ciclabili e pedonali

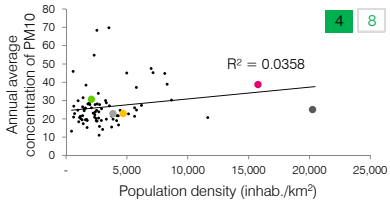


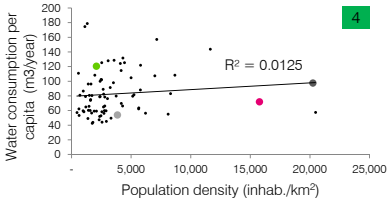




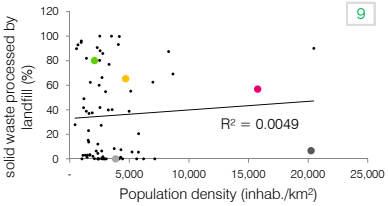
DEMOGRAPHY

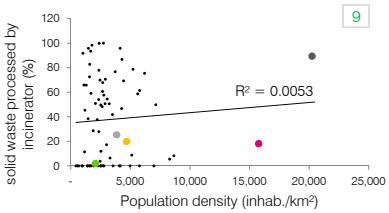


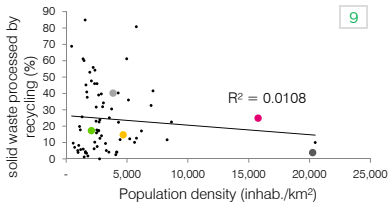




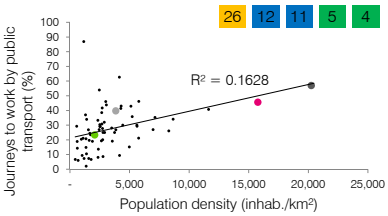
ECOLOGY AND ENVIRONMENT

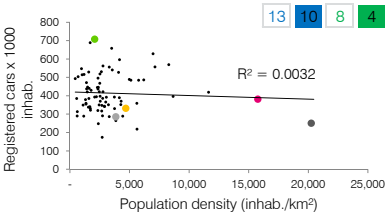




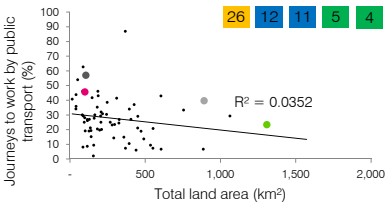


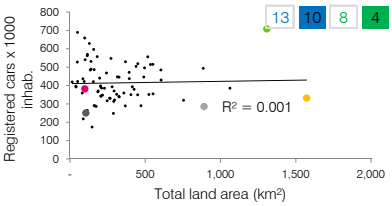
ECOLOGY AND ENVIRONMENT





MOBILITY

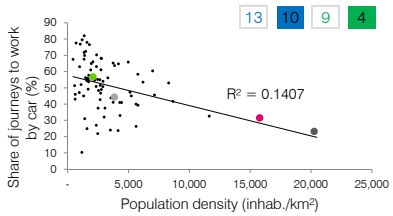


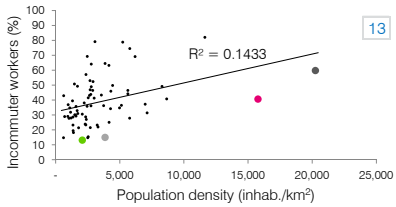


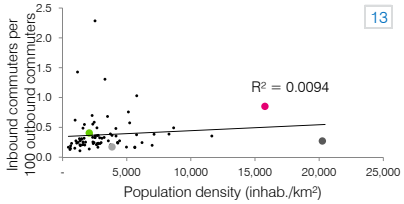
MOBILITY

	Verificato	Non verificato	?	
				SOCIETÀ
				Vantaggi sociali
15		•		Migliore fruibilità dei servizi
16	•			Stimolo della mobilità pedonale e ciclabile
17	•			Aumento di accessibilità, frequenza, comfort ed economicità del trasporto pubblico
18				Preserva di maggiori aree per attrezzature, servizi e spazi aperti
19				Aumento delle attività sociali nel centro urbano
				Svantaggi sociali
20		•		Sensazioni di minore sicurezza e privacy
21			•	Competizione tra gruppi per uno spazio, a conflitti sociali e alla segregazione sociale
22	•			Riduce la quantità di spazio pubblico pro-capite

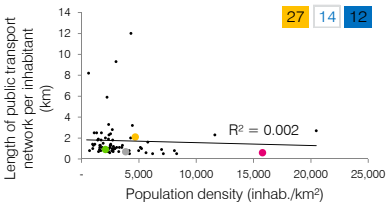
MOBILITY

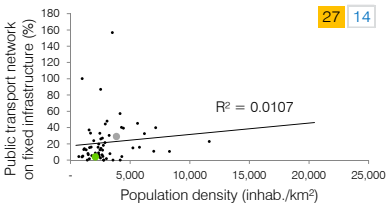


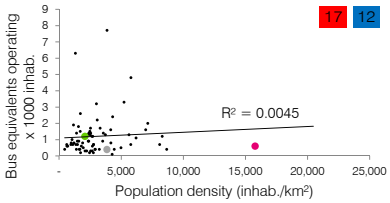




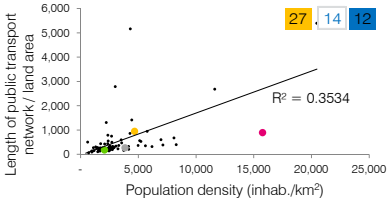
MOBILITY

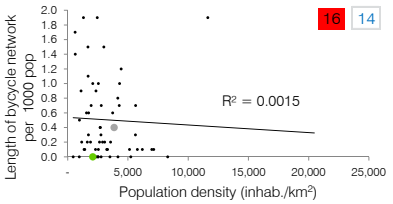


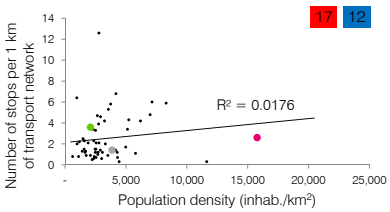




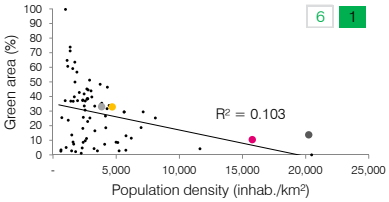
MOBILITY

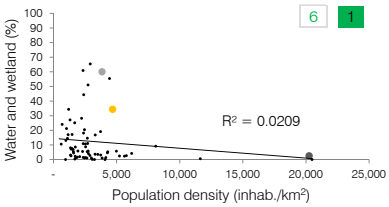


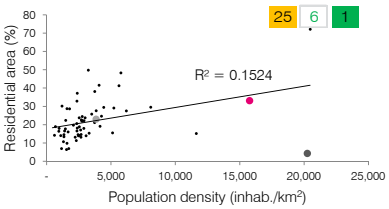




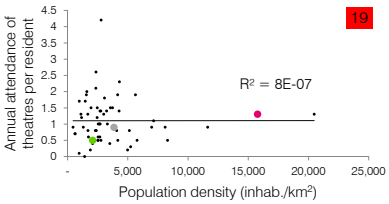
LANDUSE

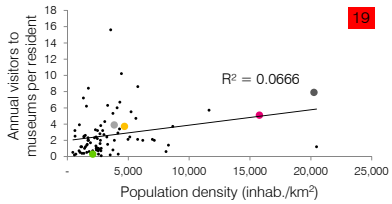


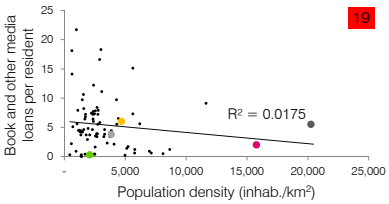




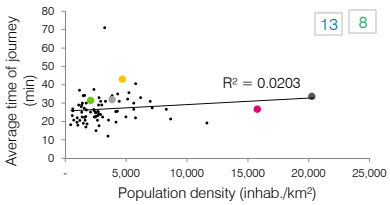
SOCIETY

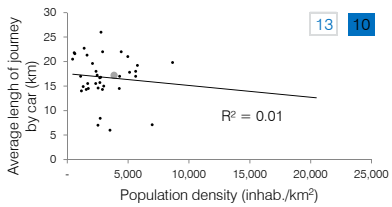




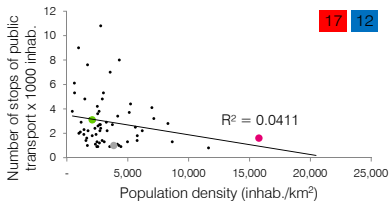


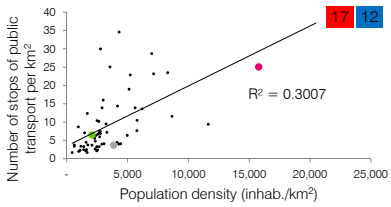
	Verificato	Non verificato	?	
				ECONOMIA
				Vantaggi economici
23			•	Riduzione dei costi di costruzione degli alloggi e delle relative infrastrutture necessarie
24		•		Economie di scala per la realizzazione di servizi pubblici o privati ed infrastrutture
25		•		Uso efficiente del territorio basato su edificazione densa e maggiori costi dei terreni
26	•			Trasporto pubblico più economico e fattibile
27			•	Riduzione dei costi delle infrastrutture legati all'uso del trasporto privato
28			•	Favorisce l'applicazione di tecnologie di risparmio energetico e sistemi di trasporto più efficienti
				Svantaggi economici
29			•	Costi elevati di terreni, adeguamento infrastrutture, costruzione, gestione e manutenzione
30			•	Effetti dannosi sull'economia del territorio rurale limitrofo



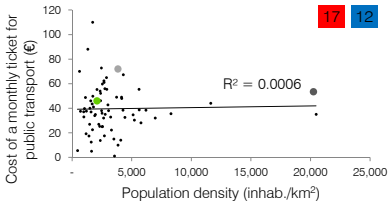


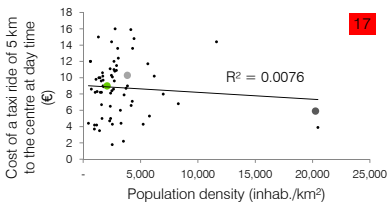
MOBILITY

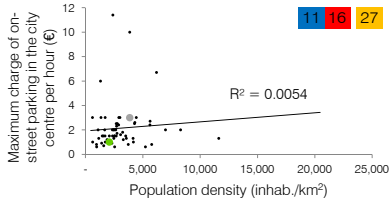




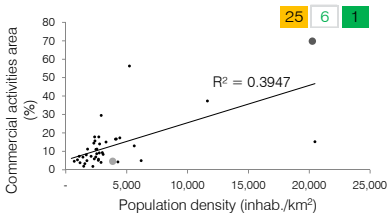
MOBILITY

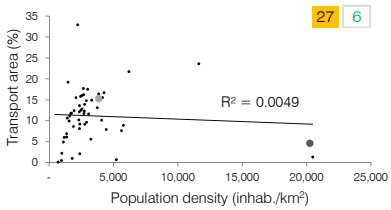


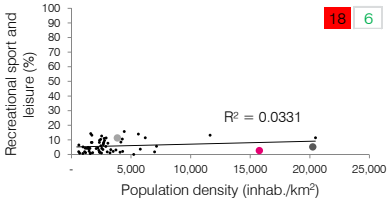




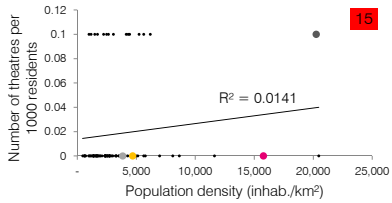
MOBILITY

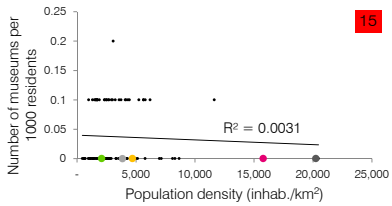


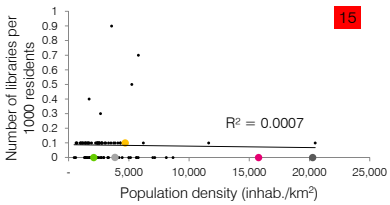




LANDUSE







SOCIETY

CONCLUSIONI

Lo studio della relazione tra indicatori urbani e densità nell'ambito della metropoli compatta europea suggerisce alcune regole di funzionamento e fornisce una rappresentazione in forma parametrica della complessità dei sistemi antropici contemporanei, che costituisce un tentativo di andare oltre la pura e semplice panoramica delle relazioni tra i principali dati con cui normalmente viene descritto il loro comportamento. Utilizzando un metodo comparativo, basato sulla letteratura corrente riguardante gli effetti dell'alta densità e su campagne statistiche, tale rappresentazione in forma grafica vuole costituire una sorta di "DNA" della città europea odierna, investigato tramite la densità urbana. Nel discernere la natura di questo "profilo genetico metropolitano" appare difficile poterlo descrivere sinteticamente e in forma univoca, poiché la numerosità delle variabili in gioco e la loro forte interazione - tipica delle grandi conurbazioni - indebolisce qualsiasi tipo di modellazione.

Ad ogni modo è possibile osservare che nella media europea le città più dense traggono da questa condizione numerosi benefici in termini di gestione del territorio, conservazione della naturalità e nell'ambito della mobilità, in quanto costitutivamente fondate su insediamenti compatti. Il loro comportamento aggressivo su ambiente e risorse pare dovuto all'elevata concentrazione di attività umane, produttive ed industriali. Meno evidenti sono invece i presunti vantaggi e svantaggi in ambito sociale, demografico ed economico. Tale difficoltà d'interpretazione pare sia da mettere in relazione anche con la natura eterogenea delle sue strutture, spesso composita in quanto risultato dell'aggregazione di parti disomogenee e discontinue ricadenti in tessuti urbani tra loro diversi. Per tale ragione, i valori medi rappresentati dai dati riportati nei database utilizzati, non riescono ad aderire alle singole conformazioni specifiche e a distinguere il peso degli apporti dei tessuti omogenei, finendo per non rappresentare i gradienti esistenti nelle relazioni tra i diversi indicatori, le forme urbane e le relative densità.

Ulteriore fattore da considerare al momento dell'interpretazione dei risultati è la provenienza geografica della maggior parte degli studi da cui si sono desunte le affermazioni sugli effetti dell'alta densità. Come spiegato nel capitolo precedente, questi studi sono nati in contesti occidentali, di cultura angloamericana, che più degli altri hanno fatto i conti con i modelli suburbani a bassa intensità insediativa e pertanto è ad essa che si relazionano nel momento in cui guardano alle logiche di funzionamento e agli effetti della densità urbana.

Un'ultima considerazione concerne i dati utilizzati per l'analisi. I database Eurostat non sempre contengono informazioni adeguate e calzanti per tutti i tipi di confronti effettuati: in alcuni casi si è dovuto rinunciare alla precisa corrispondenza tra densità e in-

dicatori di qualità urbana e si è preferito affidarsi ad un campione che fosse omogeneo, piuttosto che collazionare i dati da un gran numero di fonti. Si potrebbe giungere ad un'analisi più corretta se da un lato i dati necessari fossero resi più accessibili e dall'altro fossero più aderenti alla natura fisica dei singoli tessuti urbani in modo da favorire maggiore affidabilità interpretativa dei parametri di densità.
La messa a sistema dei risultati è utile alla costruzione di uno strumento che potrebbe dimostrarsi adeguato per tre diversi usi: descrittivo, prescrittivo ed esplorativo. Il primo finalizzato a una conoscenza del contesto urbano, il secondo a pianificare e prescrivere livelli di densità conformi ad adeguate prestazioni, il terzo alla produrre differenti scenari di progetto di cui sia possibile prevedere il comportamento complessivo.

Note bibliografiche

Latouche, S. (2005). *Come sopravvivere allo sviluppo dalla decolonizzazione dell'immaginario economico alla costruzione di una società alternativa*. Torino: Bollati Boringhieri.

Pont, M. B., & Haupt, P. (2010). *Spacematrix : space, density and urban form*. Rotterdam: NAI.

Sudjic, D., Burdett, R., London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft fèur Internationalen Dialog. (2007). *The Endless city: the urban age project* by the London School of Economics and Deutsche Bankk's Alfred Herrhausen Society. London: Phaidon.

Susteren, A. v. (2005). *Metropolitan world atlas*. Rotterdam: 010 Publishers.

Note

1 Ci si riferisce in particolare a (Sudjic, Burdett, London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft fèur Internationalen Dialog., 2007) ed a (Susteren, 2005).

2 Una chiara distinzione tra i concetti di crescita e sviluppo viene proposta in (Latouche, 2005).

3 Riferito ai contesti costruiti, il termine inerzia sta a significare la resistenza al cambiamento dell'impianto urbano nonostante le mutazioni che avvengono a livello di popolazione, di standard abitativi, d'uso dello spazio, etc.

4 Nel dettaglio le città sono: Bruxelles, Antwerpen Gent, (Belgio), Sofia, Plovdiv (Bulgaria), Praha ,Brno (Rep. Ceca),København, Aarhus, Odense (Danimanrca) Berlin, Hamburg, München, Köln, Frankfurt am Main, Essen, Stuttgart Leipzig, Dresden, Dortmund, Düsseldorf, Bremen, Hannover (Germania) Tallinn (Ucraina) Dublin (Irlanda) Athina (Grecia) Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Zaragoza, Málaga, Murcia, Valladolid, Bilbao (Spagna), Paris, Lyon, Toulouse, Strasbourg, Bordeaux, Nante, Lille, Montpellier (Francia),Roma, Milano, Napoli, Torino, Palermo, Genova, Firenze, Bari, Bologna (Italia) Lefkosia (Cipro), Riga (Lituania), Vilnius (Lettonia), Luxembourg (Lussemburgo), Budapest (Ungheria), La Valletta (Malta), Amsterdam, Rotterdam, Utrecht, Eindhoven (Paesi Bassi), Wien, Graz, Linz (Polonia), Warszawa, Lodz, Krakow (Polonia), Lisboa, Porto, Braga (Portogallo), Bucuresti (Romania), Ljubljana (Slovenia) Bratislava (Slovacchia), Helsinki (Finlandia), Stockholm, Göteborg (Svezia), London, Birmingham, Leeds, Glasgow, Bradford, Liverpool, Edinburgh, Manchester (Regno Unito), Zagreb (Croazia), Ankara, Istanbul (Turchia), Oslo (Norvegia), Zürich, Genève, Bern, Lausanne, Basel (Svizzera).

5 Le campagne statistiche sulle città europee sono raccolte nel cosidetto *Urban audit project*. In esso queste non sono considerate come punti discreti: le analisi sono strutturate per includerne dimensione e conformazione spaziale. Queste due qualità formali, col crescere delle aree urbanizzate sono divenute cruciali per la comprensione dei dati e degli indicatori urbani utilizzati in suddette campagne statistiche. In questo modo è possibile tenere in conto l'interazione tra sistema urbano e suo intorno utilizzando differenti scale di riferimento appositamente definite. La maggior parte dei dati sono collezionati al livello della area centrale della città (*City*) definita come l'area contenuta all'interno dei confini amministrativi. In aggiunta, si utilizza un livello di analisi (*Large Urban Zone*) corrispondente all'incirca a tutta l'area urbanizzata considerabile in continuità (fisica e funzionale) con il centro città, indipendentemente dai confini suddetti. È doveroso chiarire che in tali campagne statistiche non tutti i dati sono disponibili per ognuna delle città e per entrambi i livelli: in tal caso le singole città sono state escluse dal campione di analisi per l'indicatore specifico.

6 Le dichiarazioni verificate corrispondono alle più significative tra quelle riportate nel capitolo due al paragrafo *Alta densità: una disputa in corso.*

Densità ed energia

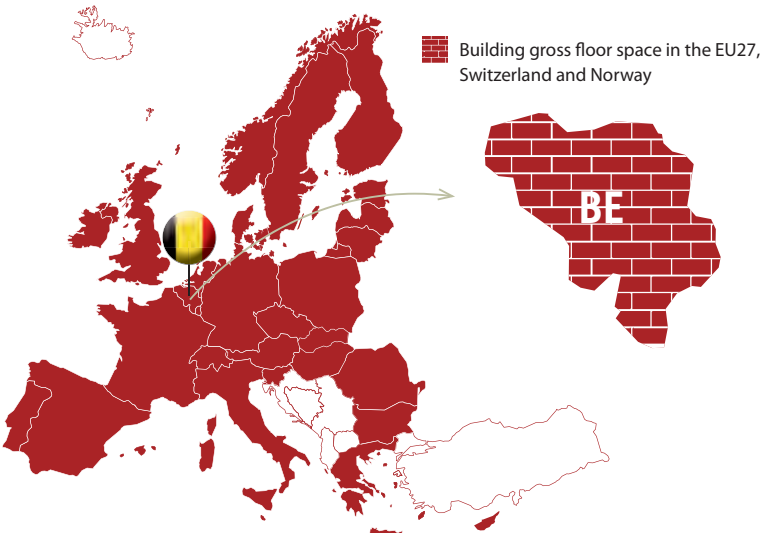
la scala urbana nel contesto mediterraneo

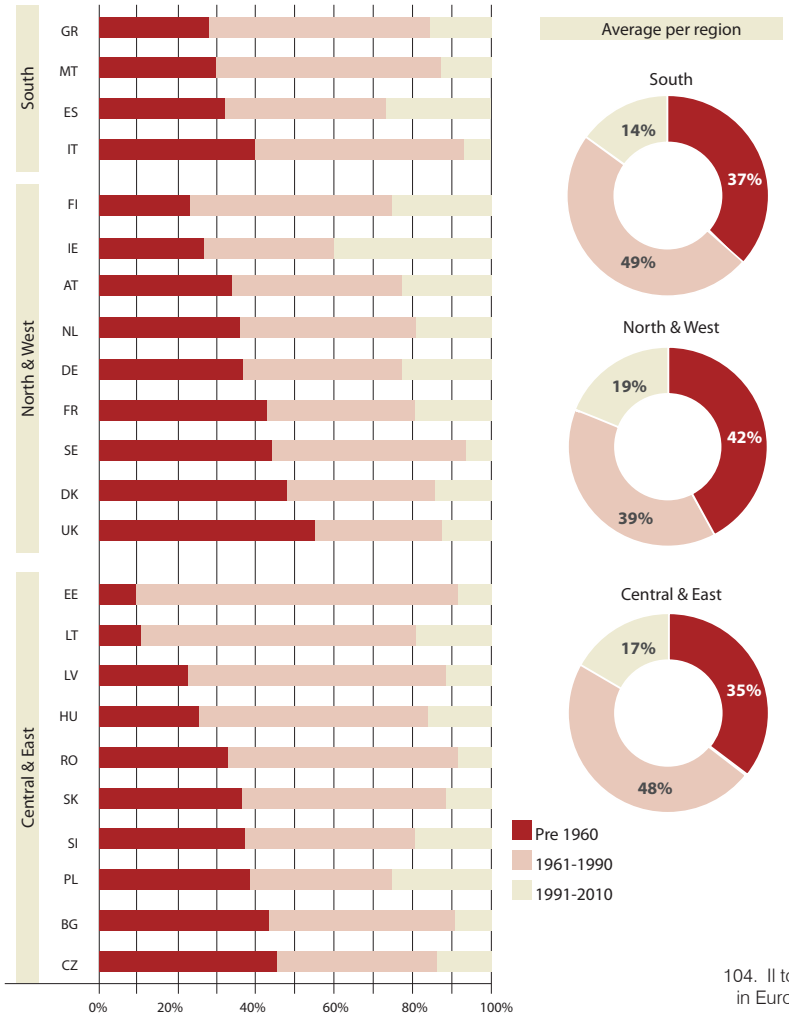
Di fronte alle dinamiche odierne, riconducibili a rapidità e multiformità, le condizioni e gli strumenti del progetto contemporaneo mostrano ancora incertezza nell'inseguire la loro possibile dimensione sostenibile, pur avendo intrapreso un cammino più concreto ed efficace che in passato.[1] Il parametro di densità è in questo senso uno strumento utile, specie se utilizzato alla scala urbana.
In questo capitolo si presentano alcuni degli elementi che costituiscono la base di partenza comune da cui intraprendere lo studio delle modalità d'interazione tra densità, forma ed energia a suddetta scala, determinando il comportamento energetico del costruito nel particolare contesto mediterraneo. La città è il luogo in cui l'energia assume una valenza fisico-spaziale finora poco indagata e compresa, ma da cui è possibile trarre importanti indicazioni per attivare processi di trasformazione consapevole. Non è un caso, infatti, che il dibattito attuale sulla città compatta stia conducendo a un riorientamento della ricerca su tale valenza. Nei climi mediterranei la connessione che instaurano energia e costruito - aggiunta all'origine prevalentemente datata del patrimonio edilizio - assume peculiarità tali da tradursi nella richiesta di metodi, strumenti e soluzioni specifici, non mutuabili da studi provenienti da altre aree climatiche, da più tempo sensibili alla comprensione del comportamento energetico del costruito.

103. A fronte: imbarcazioni attorno al pontile a Duxbury, MacLean 2005.

DENSITÀ, FORMA, COSTRUZIONE, ENERGIA: IL COMPORTAMENTO ENERGETICO DEL COSTRUITO

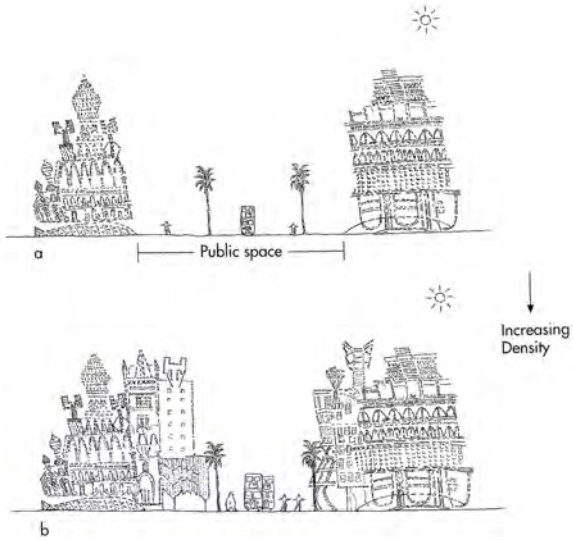
Il contesto europeo, dopo aver pienamente attraversato la sua epoca di massimo sviluppo nel corso del novecento, vive una fase in cui la maturità dei sistemi urbani e del patrimonio edilizio pone questioni complesse che necessitano soluzioni immediate e incisive, specie nell'ambito del funzionamento energetico dell'esistente prima ancora che in quello delle nuove costruzioni. In particolare l'area mediterranea, possiede pecu-

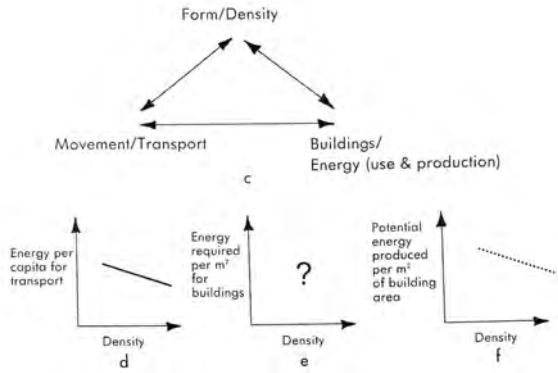




104. Il totale della superficie lorda edificata in Europa equivale all'intera superficie del Belgio, BPIE 2011.

105. Distribuzione temporale per anno di costruzione del patrimonio edilizio europeo. Si noti che nel caso dell'Italia le percentuali escludono tutto il patrimonio edilizio precedente al 1950 che costituisce il nucleo costitutivo dei centri urbani italiani, BPIE 2011.





106. La densificazione come pratica sostenibile, Randall 2003.

107. Interazioni tra densità ed energia in ambito urbano: incertezze nell'incidenza del tessuto edilizio, Randall 2003.

liarità che si dipanano su due dimensioni: quella temporale, legata all'età del patrimonio edilizio e quella fisica, legata all'interazione tra clima e costruito.

La maggior parte dei tessuti edificati delle città mediterranee è composta da edilizia storica e consolidata, in alcuni casi anche risalente a epoche lontane, e concepita con logiche di relazione con le risorse climatiche piuttosto complesse, necessarie a fronteggiare la variabilità di condizioni esterne tipiche di quest'area.[2] Inoltre, in base alla disponibilità energetica del momento storico a cui risalgono, questi tessuti posseggono caratteri morfo-tipologici, costruttivi e di densità diversi, che ne influenzano decisamente il funzionamento energetico. Per queste ragioni assume centralità la comprensione di tale funzionamento con l'ausilio di strumenti e metodi che tengano conto di suddetti caratteri.

Gli studi in quest'ambito hanno inizialmente proposto soluzioni che evidenziano un crescente interesse per le proprietà geometriche dei tessuti urbani e le loro performance, indagandone le relazioni alla scala architettonica. Tale scala si è rivelata inefficace a modellare la complessità della struttura urbana e pertanto a indagare correttamente le interrelazioni tra forma, costruzione ed energia. Successivamente si è compreso che le analisi interscalari permettono di conseguire risultati più affidabili ed efficaci e che in particolare le scale urbane (capaci di ber rappresentare gli elementi costituenti degli isolati e dei tessuti edilizi), più di quella architettonica sono le più consone per questo tipo di ricerche. Pertanto le scale di riferimento proposte sono quelle dell'isolato e del tessuto urbano che consentono di relazionare i fenomeni edilizi a quelli urbani e viceversa. Ciò comporta che i tessuti prescelti sia compatti e formalmente omogenei e perciò tipici della città europea mediterranea.

Strumento investigativo idoneo diviene dunque - anche per quanto esposto nei capitoli precedenti - il parametro di densità, il quale ancor più alle scale urbane proposte, piuttosto che a quella metropolitana, possiede ottime proprietà investigative sia rispetto alla forma che alla costruzione, tali da identificarla quale possibile elemento di congiunzione tra queste due variabili proprie degli ambienti antropizzati.[3]

La densità applicata ai tessuti urbani, ci consente - sotto alcune ipotesi - di parametrizzare, rendere fattore misurabile, numerico, oggettivo sia la componente morfologica che quella tipologico-costruttiva, in modo da poterla relazionare con il comportamento energetico. Ciò la connota come strumento idoneo a interpretare il funzionamento globale del costruito, capace di interfacciare gli esisti delle modellazioni formali con quelle energetiche e ambientali e di relazionare quindi suddette componenti con i caratteri specifici di sostenibilità.

Alla scala del tessuto e dell'isolato la forma, ossia l'insieme delle caratteristiche geometriche che contraddistinguono gli elementi costitutivi dei sistemi urbani (lotto, isolato, rete stradale), rappresenta uno dei principali fattori che influiscono sul comportamento

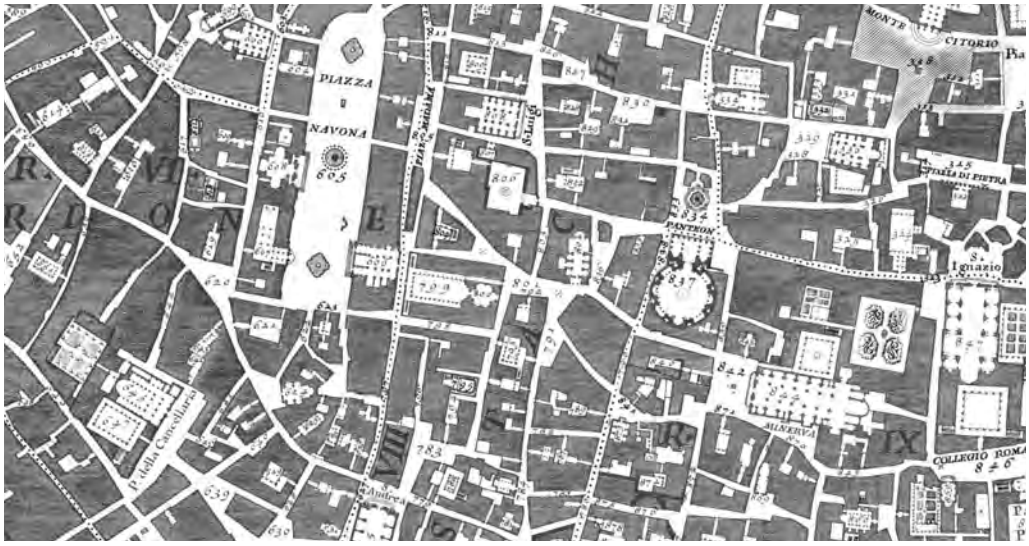
energetico dell'unità edilizia. In particolare, tale comportamento è il risultato di due componenti entrambe dipendenti dalla forma urbana: la radiazione solare ricevuta (di tipo passivo) e la domanda energetica richiesta (di tipo attivo). Nei climi mediterranei, queste componenti assumono una connotazione specifica che richiede una comprensione altrettanto specifica.[4] Inoltre in tali climi, la variabilità di condizioni determina che anche gli aspetti costruttivi assumano rilevanza maggiore rispetto ad altri contesti, dal clima magari più estremo ma più stabile; le proprietà fisiche e termiche dei componenti dell'involucro (e dell'intero edificio), la loro configurazione e la loro relazione salda con gli aspetti tipologici costituiscono un ulteriore fattore chiave da affiancare alla forma.
A riguardo ci viene in aiuto la densità che, così come può essere definita mediante parametri rappresentativi degli aspetti formali, è in grado di esserlo per mezzo di parametri connessi agli aspetti tipologico-costruttivi. Uno dei parametri utilizzabili è la *massa* del costruito, cioè quella di tutti gli elementi costruttivi che compongono un edificio. In questo modo è possibile proporre un nuovo metodo di misura della densità: la *densità di massa*, più adeguata a descrivere ed indagare le relazioni reciproche tra i suddetti aspetti e il comportamento energetico nei tessuti compatti mediterranei.[5] Anche questo tipo di definizione, infatti, si presta all'applicazione dello studio delle tendenze di comportamento e dei conseguenti metodi progettuali per la trasformazione di porzioni urbane omogenee sotto l'aspetto morfo-tipologico.
Non è da oggi che i requisiti energetico-ambientali sono stati assunti nell'ambito della progettazione urbana e della pianificazione urbanistica, così come le associate prestazioni sono state spesso correlate e analizzate tramite parametri di densità. In un quadro in cui riferirsi al parametro di densità rende possibile una duplice integrazione - con strumenti di analisi e progettazione urbana e con strumenti normativi correnti (Reale, 2008) - diviene importante comprendere le inferenze tra forma, costruzione ed energia in ambito urbano, traducendole in un rapporto tra due fattori misurabili (densità ed energia), riducendo dunque il campo alle supposizioni e alle analisi qualitative e lasciando spazio a un processo di conoscenza più consono.

108. Lo sprawl suburbano e le insostenibili dinamiche ad esso associate pervade persino le aree desertiche, MacLean 2009.

CLIMA, ENERGIA E STRUTTURA URBANA DELLA CITTÀ COMPATTA

Città ed energia

"La città è il luogo storico di concentrazione della domanda di energia […] è sempre stata quindi il luogo, fisicamente ristretto e per un lunghissimo periodo anche nettamente circoscritto, dell'intero ambiente terrestre percorso e utilizzato dall'uomo in cui si sono variamente dispiegati gli usi energetici ed i loro effetti sull'economia, sulla cultura, sulla società in generale, sull'ambiente. […] La valenza fisico-spaziale dell'energia ed i



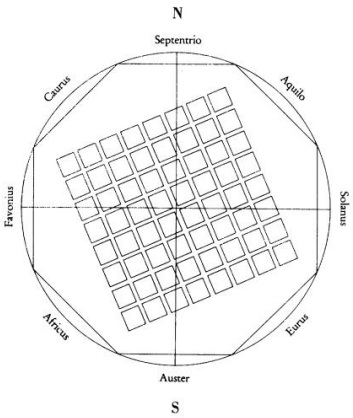
109. Il tessuto compatto del Campo Marzio a Roma, Nolli 1748.

suoi apporti alla tematica energetica generale sono terreni coltivati poco o niente e sul rapporto tra energia e città l'osservazione è scarsa" (De Pascali, 2008 p. 7).

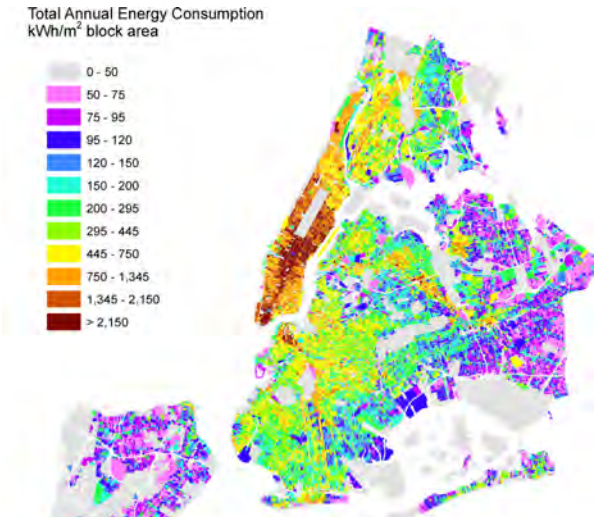
Da questa considerazione introdotta da Paolo De Pascali ci giunge una duplice conferma: che il rapporto odierno tra energia e città è cruciale e che esso è saldamente connesso alla conformazione dell'insediamento antropico, alla sua valenza fisico-spaziale. Per rendere conto dell'importanza di questa valenza, si può fare riferimento ad un ulteriore indicatore di densità spesso utilizzato: la densità energetica.[6] È stato stimato, ad esempio, che la città di Roma - caratterizzata da un clima piuttosto mite e da un minor tasso di industrializzazione rispetto ad alcune città del nord - consuma ogni anno circa 12.000 tep/km^2, contro una media di circa 600 tep/km^2 se si considera il territorio italiano (De Pascali, 2008). Il dato va letto a partire dalla consapevolezza che, come è noto, l'impronta ecologica ed energetica di un sistema metropolitano, spesso va ben oltre i limiti amministrativi e geografici considerati per elaborarlo e per questo, ancor di più, dovrebbe far riflettere: il rapporto di uno a venti tra i due valori ci permette di stimare la rilevanza delle città e la necessità e l'opportunità rappresentata dal tentativo di comprendere il comportamento energetico e di immaginare strategie di trasformazione dell'edilizia basate su tali conoscenze. Infatti, la domanda energetica - ed i consumi associati - del comparto edilizio, è una delle componenti fondamentali dei consumi complessivi considerati nel calcolo della densità energetica.[7] Una parte di questi consumi rilevante e strettamente connessa alla valenza fisico-spaziale dell'energia è certamente quella relativa al condizionamento sia invernale, sia estivo dell'edilizia residenziale, elemento strutturante dei tessuti urbani delle città europee.

Ma i rapporti tra città ed energia dipendono molto più da dinamiche legate a politica, economia e tecnologia che da quelle interne all'architettura e all'edilizia: vincoli e fattori esterni a quest'ultime, asserviti al raggiungimento dello sviluppo, generano pericoli e manifestano la necessità di essere qualitativamente ricalibrati (De Pascali, 2008). Nonostante la loro relazione sia salda e ampiamente riconosciuta, le ricerche che le riguardano, partendo dalla modellazione del comportamento della realtà, giungono a teorie regolarmente disattese dal riscontro con questa e a risultati scarsamente applicabili a causa della natura estremamente complessa dei contesti urbani.[8]

In aggiunta, il processo storico che ha ridefinito nelle epoche le interrelazioni tra energia e territorio antropizzato è stato interpretato in termini evoluzionistici come un connubio di spinte in cui hanno contribuito a determinare successivi stati di equilibrio, caratterizzati da un uso efficiente di entrambi, visti come risorse. In questo connubio in realtà, a determinare la configurazione e la forma dell'intero sistema urbano, spesso hanno contribuito molti altri fattori e non soltanto quello energetico. Dalle esperienze



110. Orientamento ideale dell'impianto urbano secondo Vitruvio.



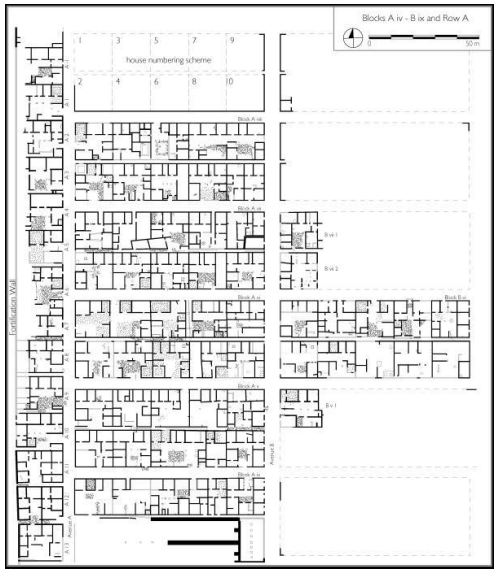
111. Un esempio di analisi energetica a scala metropolitana, Howard et al. 2012.

delle città del passato abbiamo testimonianza che ciò non sia valido soltanto per le città moderne, che con l'avvento dei combustibili fossili hanno abbandonato ogni ipotetica impostazione fondata sull'idea di uso efficiente delle risorse naturali (soleggiamento e ventilazione per prime). Nonostante l'attenzione teorica che i temi dello sfruttamento di tali risorse hanno avuto già in epoca antica (il *De architectura* di Vitruvio ne è esempio emblematico), studi sul tema hanno dimostrato che la forma di questi insediamenti fosse determinata da altri fattori, o che quantomeno la questione energetica non fosse considerata come principale (Wienke, 2013).

Se ci soffermiamo, invece, ad analizzare il rapporto tra forma ed energia alla scala tipica degli studi italiani di morfologia urbana è facile notare che alla composizione dell'isolato e delle sue componenti veniva riservata un'attenzione maggiore di quella riscontrabile alla scala della città: "Nell'antichità, più che a una ricerca di un'organizzazione urbana complessiva, di cui probabilmente si vedevano le grandi difficoltà attuative, l'attenzione appare indirizzata alla messa a punto e all'impiego, laddove possibile, di tipologie edilizie efficaci" (De Pascali, 2008 p. 48). Tale affermazione costituisce ulteriore conferma che se s'intendono ricercare strategie di trasformazione dei contesti urbani, piuttosto che "brancolare" nella complessità della scala metropolitana, si possono ottenere miglioramenti in efficienza operando sulle scale urbane intermedie. In questo senso, molte ricerche ci hanno dato conferma che vi è influenza reciproca tra configurazioni spaziali dei sistemi urbani ed energia e che, in particolare, forma urbana e tipologia edilizia, ovvero l'insieme delle principali caratteristiche che definiscono i tessuti edilizi, hanno una salda relazione con i consumi energetici legati al controllo e al comfort ambientale (De Pascali, 2008).

Una di queste ricerche è stata condotta da Ralph Knowles nel periodo della crisi energetica degli anni settanta e riguardava "comportamento adattivo delle strutture artificiali" del passato, ossia la capacità degli insediamenti umani di utilizzare al meglio le risorse naturali per abitare un determinato ambiente. In quel momento, lo studio voleva di stimolare la riflessione progettuale e determinare un approccio diverso ponendo "come obiettivo dominante la conservazione a lungo termine delle nostre risorse naturali" (Knowles, 1981 p. 12). Il tema centrale era la definizione di un nuovo modello insediativo che mediante l'uso di metodi, strumenti e tecniche analitiche fosse fondato su edifici dalla forma più consona alle condizioni ambientali, all'uso delle risorse naturali e quindi alla conservazione dell'energia. Knowles ci dimostra come già gli insediamenti primitivi americani fossero concepiti a partire dalla consapevolezza, seppur empirica, delle leggi naturali e del controllo di tali risorse, conducendone un'analisi per mezzo di strumenti geometrico-matematici, ovvero oggettivi, che ne spiegano il funzionamento e la validità in questo senso. Con riferimento ad un epoca, la sua, destinata a crescere rapidamente,

112. Impianti urbani di epoca classica in area mediterranea: morfologie ed orientamenti, Wienke, 2013.



Orientamento dell'asse degli isolati in alcune città greche.
Deviazione da Nord–Sud (Direzione Est-Ovest= 90°)

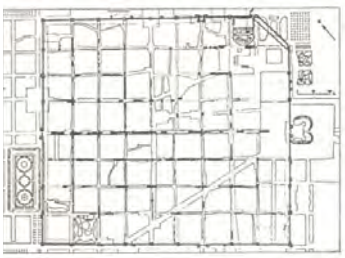
Città	**Deviazione da N-S**
Agrigento	8° verso Ovest
Aleppo	90°
Alessandria (Egitto)	64° verso Est
Antiochia	38° verso Ovest
Apamea (Siria)	**90°**
Dura-Europos	30° verso Ovest
Heraclea (Policoro)	**91°**
Laodicea (Siria)	0°
Megara Hyblea	0°
Megara Hyblea	26° verso Ovest
Mileto	70° verso Ovest
Olinto	**90°**
Paestum	8° verso Ovest
Priene	**90°**
Rodi	**93°**
Selinunte	80° verso Ovest

[4] Olinto, antica città collinare della Calcide fu ampliata, nel 432 a.C., con un quartiere a pianta ortogonale.

Alba Fucens	44°	verso O
Allifae	33°	verso E
Aosta	23°	verso O
Aquileia	19°	verso O
Augusta Bagiennorum	23°	verso E
Bologna	9°	verso E
Brescia	4°	verso E
Como	40°	verso O
Cosa	39°	verso E
Emona	19°	verso E
Firenze	0°	
Genova	30°	verso E
Imola	28°	verso E
Libarna	32°	verso O
Lucca	4°	verso E
Marzabotto	0°	
Minturnae	23°	verso E
Milano	38°	verso E
Novara	10°	verso E
Ostia (Castrum)	21°	verso O
Paestum	8°	verso O
Pompei	26°	verso O
Pompei	37°	verso O
Rimini	40°	verso O
Sorrento	12°	verso O
Torino	27°	verso E
Zara (Iader)	40°	verso O

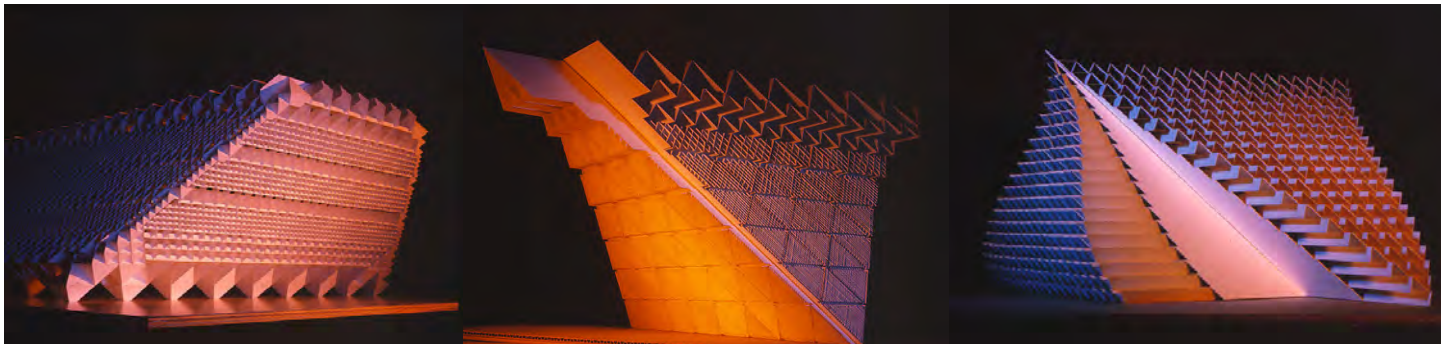
Cosa

Lucca



Augusta Taurinorum (Torino)

Timgad in Algeria



113. Domini edilizi, Ralph Knowles, 1962.

inoltre, egli sviluppa questi principi investigando le relazioni tra forma, radiazione solare e struttura degli edifici fino ad arrivare a determinare dei "domini edilizi" - complesse strutture urbane in cui "assemblare" in un'ampia varietà di modi le componenti edilizie assimilabili a veri edifici - per mezzo di una serie di parametri analitici utili a controllare la forma e governarne i rapporti con l'irraggiamento solare: rapporto di suscettività, rapporto di insolazione, etc. (Knowles, 1981).[9]
In sintesi, comprendendo l'inattualità dei principi energetici e di efficienza dello sviluppo urbano a cui Knowles assisteva e consapevole dell'esistenza reale - seppur affievolita dall'abbondanza energetica - di limiti e vincoli alla dimensione urbana derivanti dalla natura e dall'uso equilibrato delle risorse, ci dimostra che è possibile avvicinare la stabilità ecologica all'insediamento umano, fornendo metodi, strumenti, princìpi e schemi utili al raggiungimento di tali obiettivi. Tali analisi, lette all'interno di quel momento storico, sono utili alla comprensione della situazione odierna e alla ricerca di adeguate soluzioni: se durante la crisi energetica del secolo scorso l'attenzione andava posta nel regolare il rapidissimo sviluppo urbano secondo principi di conservazione dell'energia (e a questo puntava il lavoro di ricerca di Knowles), oggi si è chiamati a fare i conti con le conseguenze di uno sviluppo che invece non ha tenuto conto di tali principi e che di fronte ad una nuova crisi - non più solo energetica ma anche ambientale - richiede processi e strumenti analitici di comprensione della relazione tra energia ed insediamento utili alla trasformazione dell'esistente.

Un equivoco sulla città compatta: la condizione sostenibile

Sollecitata dai problemi ambientali ed energetici, la letteratura specialistica negli ultimi decenni ha preso a interessarsi del vasto tema della sostenibilità dei sistemi urbani. Pur con approcci che focalizzano su alcuni dei tanti aspetti che compongono il complesso quadro funzionale della città contemporanea, la questione è divenuta sempre più attuale e il dibattito scientifico si è costantemente arricchito di nuovi contributi. In particolare, un ambito che ha suscitato moltissimo interesse è quello dei rapporti tra struttura formale degli insediamenti umani e adeguatezza rispetto alla conservazione delle risorse ambientali che, come evidenziato, è uno degli ambiti più complessi e, allo stesso tempo, cruciali dell'epoca attuale: "c'è una solida connessione tra la forma urbana e lo sviluppo sostenibile, ma non è semplice e rettilinea" (Jenks, Burton, & Williams, 1996 p.5).
Tale mancanza di semplicità e di linearità è dovuta in misura considerevole alla natura multiforme dei contesti urbani e culturali cui si riferiscono gli studi finora condotti: la radice occidentale, europea o orientale indirizza le forme cognitive verso percorsi consolidati, finendo per sfociare, a volte, in enunciati basati su congetture (Welbank, 1996). A seconda del livello di maturità delle città tali risposte si strutturano diversa-

mente, in quanto fortemente connesse alla condizione e alla configurazione dei sistemi insediativi.[10] Un indicatore efficace di tale maturità è l'andamento temporale del tasso di crescita della popolazione urbana, che illustra molto chiaramente come il mondo occidentale, ormai sviluppato, attraversi oggi un momento di stabilità (se non di regressione) mentre i paesi in via di sviluppo fronteggiano i problemi di una crescita a ritmo travolgente. La città compatta diventa il nodo concettuale con cui si misurano i diversi studi così da uscire dalla catena di equivoci che tali congetture e la diversa maturità delle città hanno comportato.

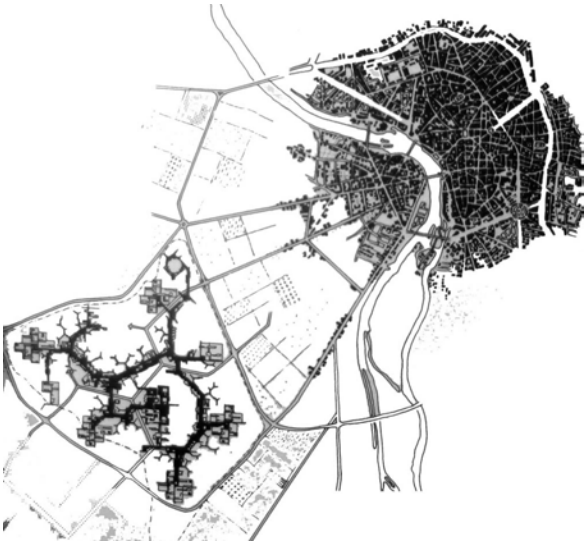
Cosa s'intende per città compatta? La parola *compatto* deriva dal participio passato del verbo latino *compingere* (collegare) e si dice di tutti i corpi di cui le molecole sono tenacemente unite insieme, tali da essere duri, densi (Pianigiani, 1907). Quindi, compatto significa, in un certo qual modo, denso. Associato al termine città la parola assume il significato di una particolare forma di densità, identificabile nei caratteri dei tessuti urbani storici della città europea e che non si ferma esclusivamente ad una sua quantificazione, ma associa ad essa proprietà ulteriori.

Le definizioni più ricorrenti fanno riferimento ai caratteri dei centri storici europei, che si distinguono per una chiara delimitazione ed un'intensità del costruito, delle attività e degli usi che vi hanno luogo (Jenks et al., 1996; Urban Task Force & Rogers, 1999). Tant'è che, nonostante una convergenza d'interesse generale, le innumerevoli proprietà derivabili da tali caratteri hanno fatto sì che il dibattito riscontrabile in letteratura sulla città compatta non sia riuscito a fornire un'espressione assumibile quale definizione, quanto piuttosto interpretazioni più o meno accreditate. Spesso alla città compatta, specie negli ultimi anni, vengono attribuite proprietà tali da identificarla quale insediamento ideale per il raggiungimento di obiettivi ecologici e, in generale, di sostenibilità.

È chiaro che il riferimento ad un modello stereotipato, suscita alcune difficoltà di interpretazione sia per la sua natura quasi "romantica" - in quanto richiama i caratteri della città europea del passato - sia per una scarsa adattabilità rispetto a contesti culturali lontani da quello europeo, in cui un modello di questo tipo difficilmente si riesce ad immaginare e reinterpretare criticamente alla luce delle mutate esigenze e delle condizioni specifiche.

Per rendere meglio l'idea di città compatta, si può far riferimento - fra tutte quelle finora proposte - alla definizione del *CPRE - Campaign to Protect Rural England*: "insediamento ben progettato ad alta densità, con abitazioni di media altezza e funzioni miste, concentrato su nuclei, centri urbani e altri nodi di trasporto pubblico, di dimensioni sufficienti ad offrire una serie di vantaggi sociali ed economici a distanza percorribile a piedi dalle abitazioni." Il CPRE fornisce le sue caratteristiche essenziali, che sono:

- offrire una gamma servizi quotidiani di carattere sociale, per il tempo libero e



114. Città compatta e progetto: Toulouse - Le Mirail (Candilis Josic e Woods, 1961), Seaside (Duany, 1982) e Greenwich Millennium Village (Erskine, 1998).

commerciale facilmente accessibili a piedi (ovvero essere *mixed use*);

- offire un potenziale residenziale ad una densità che si rapporti ad un numero di utenti tale da sostenere i servizi, incluso il trasporto pubblico ad alta frequenza;
- comprendere una serie di tipi residenziali e assicurare una varietà di gruppi di reddito, reperire localmente un lavoro ed evitare sacche di emarginazione;
- consentire, infine, tramite la rete dei trasporti pubblici l'accesso a servizi come grandi ospedali, altri posti di lavoro e istituzioni culturali che per propria natura non hanno carattere locale e devono essere centralizzati.[11]

L'estrema articolazione della definizione proposta dal CPRE, che ben chiarisce gli aspetti qualificanti la città compatta, pare non costituire il presupposto per le riflessioni sviluppate in termini qualitativi da Marco Burrascano e quantitativi da Micheal Neuman, che riportano rispettivamente, la prima ad una dimensione progettuale che implica anche la dimensione sostenibile, la seconda al rapporto in termini analitici tra sostenibilità densità.

Marco Burrascano definisce il modello di città compatta europea ed i suoi caratteri, e propone teorie e orientamenti per la sua trasformazione. Egli riconduce le sperimentazioni progettuali sulla città compatta a categorie tassonomiche quali, ad esempio, il *New Urbanism*, l'*Urban Reinassance*, il *New Typologism*, l'*Open block*, la *Neo Cluster-city.* Tali sperimentazioni rispondono con evidente incertezza alla questione della loro sostenibilità. Un'incertezza dovuta alla natura complessa delle dinamiche e dei fenomeni che avvengono nei sistemi urbani e alla loro interpretazione sulla base dei rapporti con la forma urbana.[12] Ciò ha prodotto, oltre ad una certa confusione, che il dibattito fosse veicolato dalla contrapposizione tra i fautori del modello compatto e quelli del modello disperso, spesso fondata su limitate basi scientifiche. È il caso degli studi che pongono al centro alternativamente la questione sociale, economica, ambientale (quest'ultima quasi solo limitatamente ai sistemi di trasporto e alle loro conseguenze).

In sintesi, gli studi teorici e le esperienze progettuali condotte attorno alle relazioni tra città compatta e sostenibilità, di cui quella di Burrascano è rappresentativa per la maniera di concepire solo marginalmente e incidentalmente il rapporto tra compattezza insediativa e caratteri sostenibili, lasciano intendere che allo stato attuale si riscontri un equivoco piuttosto diffuso sulle prove dell'esistenza della città compatta sostenibile e che per dirimerlo siano necessari ulteriori approfondimenti (Dempsey & Jenks, 2010). Se tutto ciò da un lato rappresenta tutt'oggi un forte limite, dall'altro ha avuto il pregio di sperimentare alcuni primi tentativi di parametrizzazione delle questioni qualitative connesse, mirando ad un ri-orientamento delle ricerche in termini sempre più razionali, che può essere ben rappresentato dalla posizione di Micheal Neuman. Ciò ha fatto sì che la densità divenisse uno dei fattori centrali di riferimento per ricercare le relazioni

tra forma urbana e sostenibilità. Di fronte alle incertezze interpretative degli studi e della conoscenza finora prodotta, alla densità è stato affidato il compito di condurre ad un livello di analisi più razionale dei fenomeni tipici della città compatta (Breheny, 1996). A riguardo, un aspetto importante è la maniera di considerare la scala dimensionale per confrontare le proprietà che descrivono la città compatta e l'individuazione della loro natura in termini di sostenibilità.
Micheal Neuman ha sottolineato che tali proprietà sono imprescindibili dalla dimensione propria della città compatta e pertanto, specie se l'intenzione è confrontare morfologia della struttura urbana ed energia, l'adeguatezza della scala di riferimento è un elemento fondamentale per identificarne i caratteri più sostenibili (Neuman, 2005). Affinché sia soddisfatta una corrispondenza biunivoca tra morfologia, indicatori di densità e città compatta, diviene necessaria un'individuazione delle aree di riferimento secondo caratteri di omogeneità formale. Nel contesto europeo delle città mediterranee questi aspetti assumono dunque piena centralità e le definizioni multi-parametriche di densità vengono a costituire l'anello di congiunzione tra le peculiari caratteristiche morfotipologiche e gli indicatori di sostenibilità.[13] In particolare, compresa questa connessione tramite la densità, diviene più ragionevole immaginare metodi e strumenti realmente affidabili ed efficaci per la trasformazione dei tessuti delle città compatte, di fronte alle mutate esigenze energetiche e di sostenibilità in genere.

Se di equivoco si può parlare, è perché ai termini città compatta e sostenibilità si continuano ad associare molteplici definizioni (spesso peraltro non chiaramente esplicitate ma sottintese) ed a conferirgli numerosi differenti caratteristiche, a volte generiche o in contrasto tra loro.
Ciononostante, tali contributi e le derivanti opinioni ora favorevoli, ora contrarie, hanno costituito un'importante parte del dibattito scientifico sulla ricerca di forme urbane sostenibili. In realtà, si può dire che queste conoscenze - in maniera più o meno sottesa - hanno sempre fatto parte del bagaglio posseduto dall'uomo in quanto abitante e costruttore, addirittura ancor prima di essere formalizzato e teorizzato nei trattati del mondo classico e di essere associate alla discussione attorno alla città compatta.[14] Per dirla con le parole di Hermann Scheer, è soltanto in epoca contemporanea che il dibattito occidentale, nel comune apparente tentativo di contrastare le notevoli spinte allo *sprawl* suburbano, godendo anche del sostegno politico di molti enti territoriali, si è strutturato in forma di "coalizione negativa" (Scheer, 2006). Un pensiero cioè che in reazione ai disagi ed alle criticità ambientali, sociali ed economiche prodotte dalla città industriale (prima) e da quella moderna (dopo) concentra gli sforzi di ricerca in forma antitetica sulla comprensione del funzionamento dei tessuti compatti esistenti, sia per

115. Mappa bioclimatica d'Europa.

comprenderne la natura, sia per trarne spunti per trasformarli adeguatamente, rispondendo alle problematiche attuali e alle mutate esigenze.

Clima mediterraneo, energia e ambiente costruito

Esiste da sempre un legame molto evidente tra edifici, climi ed energie. Siffatto legame è talmente stringente da far proporre a Rafael Serra la locuzione *climi dell'architettura*, che sta ad indicare l'insieme dei fenomeni ambientali che agiscono su un edificio, i suoi abitanti e il loro benessere (Serra, 2004). Tant'è vero che in quest'ottica gli edifici possono costituire una barriera o, per meglio dire, come filtro agli agenti esterni dettato dalla variabilità delle condizioni ambientali: "diventano rifugi a condizioni artificiali, come isole di tranquillità in un mondo scomodo" (Serra, 2004 p. 7). L'impronta di questo rapporto è ben presente nelle componenti edilizie dei tessuti urbani storici delle nostre città, frutto di un continuo rapporto osmotico tra risorse climatiche, energia e costruito. Per quanto nell'era energetica - quella dell'abbondanza - tale rapporto si sia affievolito è possibile ancora leggere quantomeno diversità e analogie di approccio nelle diverse epoche e nei diversi contesti geografici e comprendere possibilità ed effetti nel funzionamento degli ambienti costruiti odierni.

Elemento fondamentale in questo quadro è la componente climatica, che condiziona strutture e forme degli insediamenti. Il clima mediterraneo non fa eccezione, anzi è quello che tra i tipi climatici temperati presenta notevoli caratteri di complessità. La sua tipicità è dovuta non tanto da singole condizioni estreme che si possono riscontrare in altri climi (caldo, freddo, secco, umido), quanto dalla compresenza di questi diversi spettri non solo nei cicli stagionali, ma addirittura in quelli giornalieri; un clima, dunque, reso difficile dalla sua variabilità che chiama a dover fare i conti, seppur per brevi periodi, sia con il caldo che con il freddo e che vede specie nelle stagioni intermedie la possibilità del manifestarsi di condizioni opposte nel lasso di poche ore. Sebbene ognuna di queste non sia critica se considerata in assoluto, prese nel complesso fanno sì che l'architettura mediterranea sia la più difficile dal punto di vista del progetto e che inevitabilmente questa complessità si rifletta nelle sue forme (Serra, 2004). Ciò perché il carattere di adattabilità, di flessibilità, di creazione di elementi di filtro e di relazione controllata con le azioni ambientali e l'energia ha richiesto un approccio attento e molto più consapevole per la definizione di adeguati strumenti, elementi formali e sistemi di controllo del clima.

Lo spiccato carattere di diversità climatica del bacino mediterraneo, inoltre, ha generato altrettante peculiarità specifiche sia nell'ambito della cultura urbana che della sua morfologia, la cui componente base è il tessuto edilizio. Queste hanno finito per incuriosire e generare entusiasmo persino negli architetti moderni: non tanto nei confronti dei carat-

teri stilistici, quanto invece degli aspetti costruttivo-metodologici, campo ricchissimo di soluzioni spaziali basate sulla capacità di trovare risposte adeguate a "difficoltà ambientali" (Gamba, 2010). Infatti, nonostante le matrici ideologiche, politiche e culturali della modernità non provenissero dall'area mediterranea, diversi architetti razionalisti tedeschi si interessarono a queste antiche forme di insediamento, proprio per la loro concezione di "utensili adattati a specifiche condizioni di vita", ovvero di costruzioni che "hanno dovuto superare la prova della necessità soddisfacendo con le poche risorse a disposizione le prestazioni più varie", nella loro "legittimità" ed essenzialità, declinata nella complessa stratificazione delle forme della facciata (testimonianza della complessa mediazione edificio-ambiente), in antitesi alla "trasparenza letterale" delle membrane sottili della cultura tecnica moderna (Martí Arís & Pierini, 2007).

La diretta rispondenza tra costruzioni e condizioni (micro)climatiche e ambientali ha prodotto soluzioni esemplari desunte dalla pratica quotidiana e da sperimentazioni condotte mediante un progressivo affinamento sul campo, nel corso dei secoli, la cui validità e universalità sono testimoniate dall'enorme influenza che hanno esercitato nel tempo. L'architettura, infatti, contiene nella traccia del suo percorso diacronico i segni dell'interesse verso la costruzione tradizionale del mondo mediterraneo: "Non esiste antidoto migliore contro l'eclettismo e l'impettita solennità dello stile accademico delle vibranti e modeste architetture che animano le rive del Mediterraneo e che sono, innanzitutto, espressione di un modo di abitare basato su un desiderio istintivo di armonia con la natura" (Martí Arís & Pierini, 2007).

Inoltre, la complessità climatica e delle relative architetture mediterranee ha finito da un lato per diventare una domanda di ricerca cruciale di fronte alla necessità di garantire migliori performance energetiche del patrimonio edilizio europeo e, dall'altro, ha iniziato a porre seriamente una questione anche a livello dell'adeguatezza delle normative energetiche dell'edilizia dettate dalle direttive dell'Unione. I modelli finora messi a punto, infatti, poco si adattano ai caratteri dell'edilizia mediterranea. L'incidenza di alcuni fattori come l'inerzia termica, la ventilazione naturale e la radiazione su condizioni di temperatura, umidità e velocità dell'aria, ha sollevato - specie nelle condizioni estive - e individuato un tema di ricerca tra i più vivi, fecondi e necessari.

La modellazione adeguata di questi fenomeni per la comprensione del reale comportamento e del benessere abitativo nel nostro clima, viene indagato sempre con maggiore precisione e incisività e si rivela come la vera frontiera della conoscenza delle performance del costruito di questi anni. Ciò si è tradotto in studi che hanno indagato le possibilità di definire in un quadro comune europeo, metodologie specifiche di certificazione energetica per il mediterraneo, testando gli strumenti esistenti o proponendone di nuovi, ovvero in ricerche che si sono interessate dello studio dei parametri che maggiormente

influenzano il comportamento energetico nel bacino mediterraneo, sia dal punto di vista delle descrizione formale degli ambiti urbani che dei parametri fisici che ne descrivono le performance; senza tralasciare, infine, le ricerche dal carattere prevalentemente progettuale, che hanno prodotto sperimentazioni basate sui principi metodologico-costruttivi dell'edilizia tradizionale mediterranea. Tutto ciò si orienta oggi, in ricerche - di cui è sempre più facile trovare riscontro - che identificano nell'ambito propriamente urbano e nei suoi elementi costituenti la loro dimensione ed il contesto di riferimento.

L'approccio ambientale - o bioclimatico, ecologico, solare passivo che dir si voglia - alla progettazione architettonica beneficia oggi di numerosi contributi. Tali apporti, come osservato da Gianni Scudo, sono raggruppabili in due macroaree geo-culturali: la prima costituita dai contesti climatici estremi (climi continentali freddi, climi caldi), la seconda che raggruppa i climi temperati, tra cui quelli mediterranei.
Prima che "l'approccio energetico" all'architettura, tipico *dell'Era dell'abbondanza,* basato su "tecniche rigenerative" permettesse di considerare con indifferenza le risorse naturali e i caratteri ambientali, affidandosi alla disponibilità di energia a basso costo, qualsiasi insediamento antropico era concepito sull'avanzamento di "tecniche conservativo-selettive" su una cultura cioè attenta ai rapporti tra luogo, clima e forma del costruito (Serra Florensa & Coch Roura, 2001). Tale cultura ha prodotto una varietà di caratteri riscontrabili nell'architettura tradizionale che testimonia le diversità tra le due categorie tecniche sopradescritte. Mentre nel primo gruppo prevale la necessità di contrasto ed isolamento rispetto al clima esterno, tale che la progettazione sia orientata sull'edificato, nei climi mediterranei la variabilità della pressione ambientale (sia stagionale che giornaliera) ingenera un dialogo molto più aperto tra edificato e spazio esterno - tale da instaurare una spiccata cultura urbana - che assume innumerevoli declinazioni a seconda delle latitudini.
Nel corso degli ultimi centocinquant'anni le innovazioni tecnologiche hanno reso disponibile (e accessibile) una crescente quantità di energia, che ha avuto l'effetto di affievolire il legame tra insediamenti umani e ambiente naturale. Come risultato gli insediamenti urbani, in special modo quelli occidentali, sono andati verso un'omologazione morfo-tipologica e costruttiva - indifferente alle diversità climatiche ed ambientali e fondata sulla *fede sviluppista* della nostra epoca - tale che oggi intere loro parti sono il prodotto di una logica energivora.
Fortunatamente le gravose questioni di carattere ambientale, accompagnate dalla crisi economica e inevitabilmente energetica, ha risvegliato un certo interesse attorno a quei principi fondativi del regionalismo architettonico (Olgyay, Los, & Mancuso, 1990). Il bagaglio positivo di esperienze, condotte specie nei climi continentali, ha spinto allora la

116. Complessità climatica e architetture mediterranee, Serra, 1999.

stessa macchina burocratica dell'Unione Europea a sostenere - per mano di norme e iniziative - la ricerca e la diffusione delle strategie progettuali e delle soluzioni tecnologiche derivate da tali esperienze, con poca attenzione nei riguardi delle diversità climatiche e una conseguente scarsa adeguatezza ed efficacia. Il clima mediterraneo, di certo è quello che più di altri ha evidenziato la criticità di tale processo di diffusione indistinto. Pur riconoscendo a quest'ultimo il pregio di aver focalizzato l'attenzione su temi così prioritari, allo stesso tempo ha fatto maturare la consapevolezza della necessità di definire strategie specifiche di progettazione e trasformazione energeticamente consapevoli.
La *Direttiva 2010/31/UE* ed il correlato *Regolamento delegato 244/2012* sembrano compiere un passo in questo senso verso una visione più complessa. Il quadro metodologico a cui gli Stati membri devono adeguarsi pare proprio puntare in questa direzione;[15] prestazione energetica calcolata su base annuale, calcolo dei carichi termici per il condizionamento estivo ma soprattutto struttura delle simulazioni che tiene conto degli effetti dell'interazione dinamica tra ambiente ed edificio nei climi locali mediante l'inclusione di parametri finora non considerati sono gli ingredienti più rilevanti del nuovo corpo normativo. Tra questi parametri si possono trovare, ad esempio, sistemi passivi e schermature solari, inerzia termica, strategie progettuali che considerino attivamente le risorse climatiche: tutti aspetti fondamentali nella corretta valutazione tramite modelli del comportamento termodinamico del patrimonio edilizio mediterraneo e specie di quello storico.
Come osservato di recente, l'obiettivo europeo di giungere alla definizione di "edifici ad energia quasi zero" sia nel caso di nuove costruzioni che di edilizia esistente, oltre ad essere molto ambizioso, pone una questione sul rapporto tra la "qualità normata" e quella del progetto in contesti mediterranei (Torricelli, 2012). In altri termini ciò si potrebbe esprimere ancora una volta come la capacità rappresentativa delle prestazioni del reale da parte del modello. Già in passato, con riferimento ad altre normative, è stato evidenziato il problema che "la qualità del progetto attento al clima mediterraneo non è confinabile nei parametri che stabiliscono in sede normativa le prestazioni energetiche degli edifici" (Torricelli, 2012).[16] L'evoluzione normativa attuale in campo europeo propone un ulteriore avanzamento nei termini sopradescritti, ma solleva allo stesso tempo la questione di adeguatezza dei modelli di calcolo che inevitabilmente dovranno includere le specificità climatiche mediterranee: stratificazione e complessità dell'involucro, controllo della radiazione solare e della ventilazione naturale ed elevata inerzia termica in una logica di interazione dinamica con l'ambiente esterno. Definendo adeguatamente tali modelli, lo scenario che si viene a tratteggiare pare possa costituire un fertile *terreno di coltura* per un ritorno della tecnologia verso logiche naturali "esterne" - per dirla con le parole di Sertorio - che, senza voler anacronisticamente riaffermare la validità assoluta dei principi

fisiocratici, pongano la questione della limitatezza delle risorse energetiche al centro della progettazione edilizia (Sertorio, 2002).

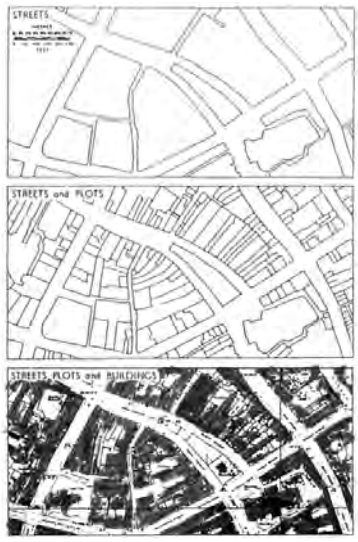
Struttura urbana, morfologia e tipologia

Lo studio dello spazio urbano, delle sue forme e delle componenti tipiche può contare oggi sulle ricerche di diverse scuole di morfologia urbana europee: quella britannica, guidata da Michael R. G. Conzen e poco dopo da Leslie Martin e Lionel March, quella italiana di Saverio Muratori e poi Paolo Maretto, Gianfranco Caniggia, Giancarlo Cataldi e quella francese, che ha avuto origine dall'intreccio dei percorsi di ricerca di Pierre Lavedan e Marcel Poëte.[17]

Per quanto possano differire tra loro in merito a metodologia di analisi, approccio ed esiti, ognuna di queste scuole ci ha fornito importanti conoscenze sulle entità spaziali costituenti il nucleo strutturale dello spazio urbano: la rete stradale, il tessuto dei lotti e la morfologia del costruito. Tra queste, quella britannica guidata da Conzen è particolarmente rilevante per il complesso metodologico di analisi della struttura urbana a differenti scale dimensionali. In base ai loro studi il lotto, o ancora meglio il loro insieme che compone l'isolato, il "*plot pattern*", appare essere l'entità più conservativa all'interno di una città, al punto da poter affermare che la sua interazione con la maglia stradale costituisca l'elemento portante dell'intero piano urbano.

La scuola italiana invece, notoriamente più legata alla lettura storica dei processi formativi urbani e architettonici, contribuisce fornendo un'ulteriore elemento utile, ovvero ci dimostra l'esistenza di un saldo legame tra forma urbana e tipo edilizio. Un legame talmente saldo da essere in grado di perdurare attraverso le epoche, nelle tracce direttrici e negli elementi del tessuto urbano dei centri storici italiani. In aperta contraddizione critica e operativa con la modernità e le sue istanze a-storiche e internazionalizzanti (diremo oggi, globalizzanti) l'insegnamento di Muratori, tanto contestato negli anni sessanta ed etichettato come "passatista", seppe trarre proprio da queste circostanze culturali, gli stimoli positivi per dare consistenza ad una sua propria *metodologia critica dell'urbanistica.* Tale metodologia è strutturata secondo un processo critico che supera l'approccio esclusivamente tecnico-scientifico (basato si dati statistici e analisi numeriche) che la disciplina urbanistica si era data alla sua nascita in piena epoca positivista e viene messa alla prova, in termini di validità, con gli studi sulla storia urbana di Venezia e Roma (S. Muratori et al., 1991).

Dalla lettura attenta dei rapporti tra paesaggio naturale e paesaggio costruito tramite l'esame oggettivo dei tracciati urbani, egli comprende il valore della "costruzione umana frutto di una sintesi collettiva e complessa" e individua "nel tipo edilizio una visione della realtà intesa nel suo senso unitario e nella sua continuità di sviluppo, individuale in



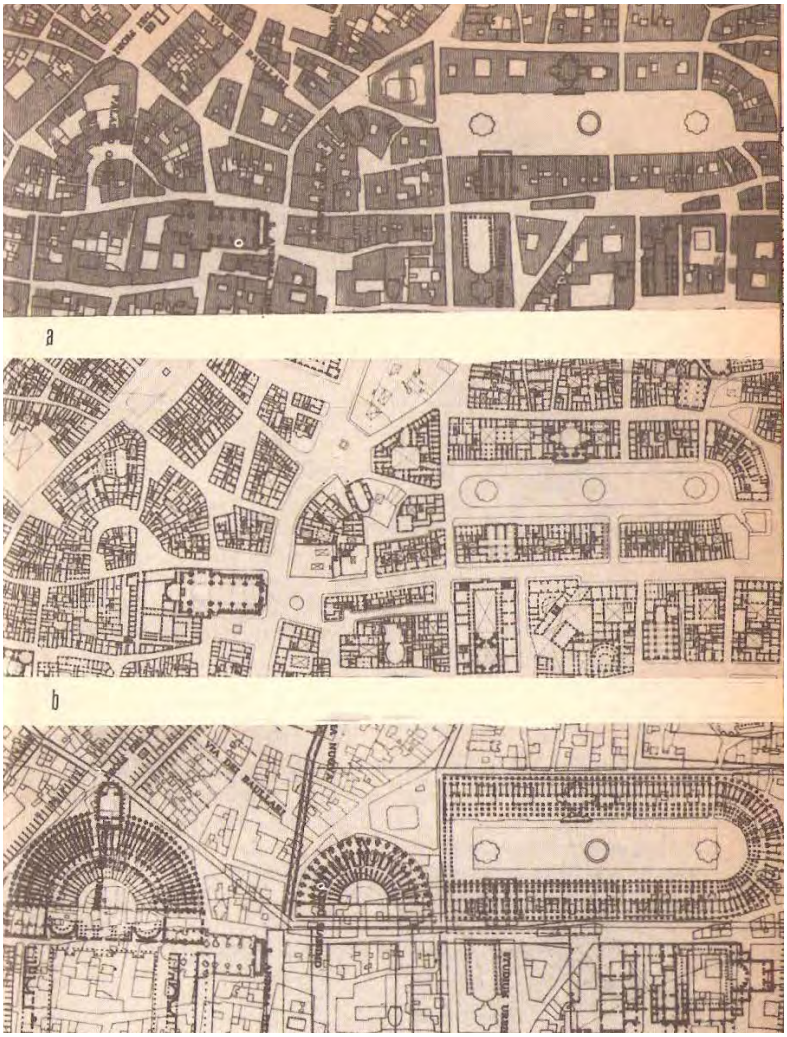
117. Entità tipo-morfologiche di base degli insediamenti urbani, Conzen, 1960.

ogni suo momento e caratterizzata da un orientamento selettivo e quindi storico, atto a un vitale e unificante scambio con l'ambiente" (Saverio Muratori, 1960 p. 101). Questa definizione in quanto contiene due aspetti estremamente interessanti. Il primo concerne l'affermazione della centralità del tipo rispetto ai caratteri formali dell'edilizia; il secondo perché sancisce il radicamento, a seconda dei periodi storici, della tipologia. Si aggiunga che tale condizione ha perdurato e perdura tuttora oltre il solo orizzonte storico della città antica, riconfermandosi inequivocabilmente nei tessuti urbani moderni e contemporanei.

Seppur con una struttura analitica differente, diremo quantitativa e attenta alla questione energetica, è proprio su questo radicamento che devono strutturarsi gli enunciati, i temi e la metodologia di ricerche vogliano indagare alla scala urbana i rapporti con la forma e la costruzione. Gli studi storici muratoriani non sembrano avere precedenti poiché impostati a differenza di quelli archeologici "come visione del tutto, cioè dell'organismo urbano, inteso nei suoi termini costitutivi essenziali: nei suoi elementi strutturali - i suoi tessuti edilizi tipici - e nella loro connessione, l'impianto urbano" (Saverio Muratori, 1963). Muratori affinerà durante la sua ricerca teorica la definizione di tipo edilizio tornando più volte nei suoi scritti sull'argomento e identificandolo alla fine come valore logico universale: matrice formale, "origine energetica di un processo agente […] costruttivamente e funzionalmente, forma formante" e ragione strutturale del tessuto urbano a cui conferisce una permanenza che nella città storica "nemmeno una totale sostituzione edilizia potrebbe sradicare"(Muratori et al., 1991 pp. 100 e 106).

Protagonista insieme con Saverio Muratori della ricerca sul tema dominante della tipologia è Gianfranco Caniggia, che trae insegnamento dalle esperienze su Venezia e Roma e ne prosegue il cammino con la medesima struttura metodologica. Egli arriva a spiegare il concetto di *processo tipologico*, cioè il processo di mutazione dei tipi nel corso del tempo (Caniggia, 1976). In un intorno civile, caratterizzato da medesimi caratteri di unità culturale, il tipo edilizio non solo tende ad essere identico ma subisce nel tempo trasformazioni unitarie. Queste trasformazioni dipendono proprio dalla natura di quel "sistema di nozioni correlate (dimensioni, materiale, forma, uso, etc.) che è il portato dell'esperienza antecedente all'operare di ciascun individuo […] come un progetto non disegnato" ovvero proprio da quel *tipo* muratorianamente inteso come *sintesi a priori*.

Un altro aspetto importante da segnalare nella trattazione dell'autore, oltre a questa visione temporale del tipo che permette un carattere di permanenza nella variazione evolutiva di un tessuto edilizio, è l'esistenza all'interno di un'area culturalmente unitaria di ramificazioni e diversificazioni nei vari contesti civili riconducibili a un processo tipologico unitario. Vale a dire che pur nelle diversità identitarie locali le modalità tipologiche che determinano forma e struttura di una città sono omogenee se la cultura li



118. Il processo tipologico: tessuti medievali sovrapposti ad edifici specializzati antichi, Caniggia, 1976.

unifica (Caniggia, 1976 p. 68).

In questo senso, di certo una delle culture più unificanti sia del passato che anche dei giorni nostri è la cultura mediterranea che, per via della radice culturale classica comune, attorno alle sue sponde ha generato città dall'innegabile similitudine. Tanto che ancora oggi quel processo tipologico unitario fatto di dimensioni, forme, materiali, è leggibile non solo nei centri urbani ma persino nelle più o meno recenti espansioni periferiche, in realtà apparentemente diverse anche per storia e modalità evolutive. Le ragioni e le opportunità di un confronto tra i tessuti urbani di queste città non si fermano dunque, come vedremo più avanti, a questioni climatiche e geografiche ma vedono nella questione tipologica un ulteriore aspetto a conferma. Ognuna può essere interpretata come la manifestazione della evoluzione urbana (del processo tipologico potremmo dire con le parole di Caniggia) del prototipo della città compatta, delle sue problematiche e delle sfide culturali, energetiche e ambientali che fronteggia.

Inoltre, per chiarire il legame con l'attualità, è proprio attorno a questo forte legame spaziale tra gli elementi strutturanti del costruito (che si chiamino *plot patterns* o *tipi edilizi*) che nel corso degli anni si sono sviluppati gli studi su densità, forma urbana e morfotipologia. Attraverso questa conoscenza materiale della realtà urbana, documentata dalle grandi tavole topografiche e costruita attraverso strumenti analitici, approcci deduttivi, teorie della storia urbana, è stato possibile - seppur dopo una fase piuttosto prolungata di stanca - proseguire il cammino lungo questo alveo di ricerca. Attorno a questa combinazione di temi hanno aderito col tempo anche le ricerche sulla densità e la sua parametrizzazione (con cui oggi siamo in grado di descrivere la morfologia del costruito), che hanno consentito l'individuazione di quei fattori correlati alla forma urbana che incidono sulle sue performance energetiche e ambientali, mirando principalmente a descrivere morfologia, tipologia e il loro funzionamento anche dal punto di vista ener-

getico (Pont & Haupt, 2010). Non è un caso, anzi è la dimostrazione della continuità tra il passato e l'attualità, che in uno dei centri di ricerca più prestigiosi del Dipartimento di Architettura dell'Università di Cambridge abbiano lavorato Leslie Martin e Lionel March e che oggi lavori un gruppo che si occupa proprio di questi argomenti, giudato da Koen Steemers (Cheng, Steemers, Montavon, & Compagnon, 2006; Ratti, Baker, & Steemers, 2005; Steemers, 2003).
È per suddette ragioni, dunque che è del tutto ragionevole porre l'entità urbana dell'isolato al centro delle analisi dei rapporti tra energia e costruito sia da un punto di vista morfologico che tipologico. Esso, sia preso singolarmente, sia in forma aggregata, racchiudendo in sé l'essenza morfo-tipologica permette di sviluppare tali analisi in forma multi-scalare e di governare le interazioni clima-energia-edificio, ad una scala che si è rivelata determinante per le definizione di strategie di sostenibilità e che ben si presta alla parametrizzazione tramite indici di densità.

Recenti sviluppi dei sistemi GIS e BIM e dei sistemi avanzati di simulazione climatica, termica e solare favoriscono un avanzamento nella conoscenza di queste complesse interazioni, costituendo ottima base per una progettazione più efficiente alla scala edilizia, che si è rivelato cruciale specialmente nelle prime fasi di sviluppo del processo progettuale. Rispetto alla spesso costosa applicazione di sistemi attivi e passivi a scala edilizia (dalla durata spesso relativa), delle scelte architettoniche e tecnico-costruttive, le decisioni progettuali a scala urbana compongono un nucleo più robusto, resiliente, che si è dimostrato effettivamente incisivo e che garantisce performance del costruito durature nel tempo.

La natura di elemento cardine della struttura urbana, ha determinato una concentrazione rilevante di attenzione anche nell'ambito della teoria e della cultura progettuale moderna e del suo studio in epoca contemporanea. Ciò è dimostrabile dal fatto che all'interno della sua definizione formale e tipologica venga distillata l'idea concettuale alla che genera le più diverse dottrine urbane. Un esempio emblematico ne è l'ideologia urbanistica del *Manhattanismo*. Il richiamo potrebbe apparire distante rispetto alla natura dei contesti europei di cui si tratta e poco correlato ai temi trattati, ma è lo stesso Koolhaas - autore del manifesto retroattivo di questa ideologia - a spiegare le connessioni sia con i primi che con i secondi. Nonostante egli dichiari apertamente la differenza tra la condizione statunitense e quella del vecchio continente, allo stesso tempo ne dimostra il radicamento culturale europeo: gli elementi costituenti della struttura urbana di Manhattan, "trapiantati su un isola mitica sono riassemblati in una irriconoscibile […] nuova interezza: un'Europa utopica prodotto della compressione e della densità" (Koolhaas & Biraghi, 2001 p.14). La potente natura dell'isolato è qui chiaramente manifesta: il semplice atto di dividere Manhattan in 2028 parcelle secondo la matrice della griglia - il "più coraggioso atto profetico della civiltà occidentale" - lo elegge vettore di sviluppo di "nuovi sistemi di valori formali", promotore di un nuovo equilibrio tra libertà e controllo, tra singolo ed Ego urbanistico (Koolhaas & Biraghi, 2001 p. 20). Tali valori formali fanno dell'iper-densità - insita nella condizione metropolitana - un "fondamento per un'auspicabile cultura moderna" di cui Manhattan è la prova vivente: "un paradigma per lo sfruttamento della congestione" (Koolhaas & Biraghi, 2001 p. 8). In questo modo l'isolato, il "singolo isolato" diviene una delle tre "conquiste urbanistiche" - assieme alla *riproduzione del Mondo* ed all'*annessione della Torre* - componente fondamentale della definizione del grattacielo: tipologia dell'iper-densità per antonomasia.

CONCLUSIONI

Operare sui rapporti tra densità ed energia nell'ambito della città odierna deve muovere dalla consapevolezza dell'importanza della sua valenza fisica, e quindi anche dall'importanza della struttura tipo-morfologica del costruito esistente, per consentirne processi di trasformazione consapevoli delle conseguenze in termini energetici.
Il riconoscimento della centralità di suddetta valenza ha promosso un riorientamento del dibattito scientifico incentrato attorno al tema della sostenibilità della città compatta dai toni molto vivaci. Ciò ha avuto il pregio di focalizzare l'interesse su una questione centrale nella condizione urbana odierna del contesto europeo; allo stesso tempo però ha generato un equivoco per effetto dei molteplici significati e definizioni (spesso peraltro non chiaramente esplicitati, bensì sottintesi) che, in tale dibattito, sono associati ai concetti di città compatta e di sostenibilità. Le innumerevoli caratteristiche che si associano a quest'ultimi sono dovute alle complesse interazioni tra i fenomeni riscontrabili nel funzionamento dei sistemi urbani odierni, che richiedono analisi quanto più possibile strutturate su criteri e metodi razionali, capaci - come dimostrato della trattazione che ha preceduto - di affrontare tali fenomeni con il dovuto rigore.
Pertanto, per indagare sia la valenza fisica del rapporto tra densità ed energia, sia la dimensione sostenibile della città compatta, diviene fondamentale operare alle scale urbane intermedie. Tali scale consentono, infatti, di confrontarsi con la struttura tipo-morfologica dei tessuti edilizi e di considerarne i diversi caratteri come elementi determinanti le prestazioni energetiche.
Suddetta indagine non può esimersi dal confronto con le specificità del clima mediterraneo. In esso, la connessione tra energia e costruito - aggiunta all'origine prevalentemente datata del patrimonio edilizio - assume peculiarità di tipo notevolmente complesso. La variabilità delle condizioni climatiche ha richiesto soluzioni tipo-morfologiche e costruttive orientate ai caratteri di flessibilità e controllo delle risorse energetiche naturali. Inoltre, la complessità di tali soluzioni, tipiche delle architetture mediterranee, da un lato è diventata una domanda di ricerca cruciale di fronte alla necessità di garantire migliori performance energetiche del patrimonio edilizio europeo e, dall'altro, ha iniziato a porre seriamente una questione anche a livello dell'adeguatezza delle normative energetiche sull'edilizia dettate dall'Unione. Nell'ambito mediterraneo le peculiarità dei rapporti tra clima, energia e struttura urbana si traduco, dunque, nella richiesta di metodi, strumenti e soluzioni specifici, non mutuabili da studi provenienti da altre aree climatiche.

Note bibliografiche

Breheny, M. (1996). Centrists, decentrists and compromisers: views on the future of urban form. In M. Jenks, E. Burton & K. Williams (Eds.), *The Compact City. A Sustainable Urban Form?* London: E & FN Spoon.

Caniggia, G. (1976). *Strutture dello spazio antropico: studi e note*: Uniedit.

Cheng, V., Steemers, K., Montavon, M., & Compagnon, R. (2006). *Urban Form, Density and Solar Potential.* Paper presented at the PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.

Conzen, M. R. G., & Conzen, M. P. (2004). *Thinking About Urban Form: Papers on Urban Morphology, 1932-1998*: Peter Lang Pub Incorporated.

Darin, M. (1998). The study of urban form in France. *Urban Morphology, 2*(2), 63-76.

De Pascali, P. (2008). *Città ed energia : la valenza energetica dell'organizzazione insediativa*. Milano: Franco Angeli.

Dempsey, N., & Jenks, M. (2010). The Future of the Compact City. *Built Environment, 36*(1), 116-121. doi: 10.2148/benv.36.1.116

Gamba, R. (2010). Intervista ad Antonello Monaco. *Costruire in laterizio*(133), 48-51.

Isalgue, A., Coch, H., & Serra, R. (2007). Scaling laws and the modern city. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 382*(2), 643-649.

Jenks, M., Burton, E., & Williams, K. (1996). *The Compact city : a sustainable urban form?* London ; New York: E & FN Spon.

Jevons, W. S. (1948). *Teoria della economia politica ed altri scritti economici*. Torino: Unione tipografico-editrice torinese.

Knowles, R. L. (1981). *Energia e forma un approccio ecologico allo sviluppo urbano*. Padova: Muzzio.

Koolhaas, R., & Biraghi, M. (2001). *Delirious New York un manifesto retroattivo per Manhattan*. Milano: Electa.

Maretto, P. (1984). *Realtà naturale e realtà costruita*: Alinea.

Martin, L., & March, L. (1972). *Urban space and structures*. Cambridge: University Press.

Martí Arís, C., & Pierini, O. S. (2007). *La centina e l'arco pensiero, teoria, progetto in architettura*. Milano: Marinotti.

Muratori, S. (1960). *Studi per una operante storia urbana di Venezia*. Roma: Istituto poligrafico dello Stato.

Muratori, S. (1963). *Architettura e civilta in crisi*. Roma: Centro studi di storia urbanistica.

Muratori, S. (1963). *Studi per un operante storia urbana di Roma*: Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Muratori, S., De Carli, E., & Scatà, E. (1991). *Antologia critica degli scritti di Saverio Muratori*: Alinea.

MVRDV. (2005). *KM3: excursion on capacities*. Barcelona: Actar.

MVRDV, Koek, R., Rijs, J. v., Maas, W., & Vries, N. d. (1998). *Farmax : excursions on density*. Rotterdam: 010 Publishers.

Neuman, M. (2005). The compact city fallacy. *Journal of Planning Education and Research, 25*(1), 11-26. doi: Cited By (since 1996) 59

Olgyay, V., Los, S., & Mancuso, G. (1990). *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*: Franco Muzzio Editore.

Pianigiani, O. (1907). *Vocabolario etimologico della lingua italiana*: Società editrice Dante Alighieri di Albrighi, Segati.

Pont, M. B., & Haupt, P. (2010). *Spacematrix : space, density and urban form*. Rotterdam: NAI.

Ratti, C., Baker, N., & Steemers, K. (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings, 37*(7), 762-776.

Reale, L. (2008). *Densità città residenza tecniche di densificazione e strategie anti-sprawl*. Roma: Gangemi.

Roma, C. (2008). *Piano Regolatore Generale : Norme Tecniche di Attuazione*. Roma: s.n.

Scheer, H. (2006). *Autonomia energetica ecologia, tecnologia e sociologia delle risorse rinnovabili*. Milano: Ambiente.

Serra Florensa, R., & Coch Roura, H. (2001). *Arquitectura y energia natural*. Barcelona: Edicions UPC.

Serra, R. (2004). *Arquitectura y climas* (1* ed.). Barcelona: Gustavo Gili.

Sertorio, L. (2002). *Storia dell'abbondanza*. Torino: Bollati Boringhieri.

Steemers, K. (2003). Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and Buildings, 35*(1), 3-14.

Torricelli, M. C. (2012). Una vision mediterranea per gli edifici a energia (quasi) zero. *Costruire in laterizio*(147), 16-17.

Urban Task Force, & Rogers, R. G. (1999). *Towards an urban renaissance*. London: Spon.

Vitruvius Pollio, & Bossalino, F. (1998). *De architectura*. Roma: Kappa.

Welbank, M. (1996). The Serach for a Sustainable Urban Form. In M. Jenks, E. Burton & K. Williams (Eds.), *The Compact City: A Sustainable Urban Form* (pp. 74-82). London: E & FN Spoon.

Wienke, U. (2013). *Storia dell'architettura climatica* Retrieved from http://www.miniwatt.it/mwdossier_Architettura-climatica.htm

Note

1 La riflessione comune attorno a questi temi ha condotto alla consapevolezza della necessità di operare secondo principi e logiche che superino la situazione attuale, che vede il *greenwashing* come lo strumento di marketing più usato e fruttuoso non solo al di fuori dell'architettura ma ormai anche al suo interno. Ha stimolato la volontà di fuoriuscire da questo "balbettio sostenibile" che pervade la progettualità, per mezzo di un approccio razionale e analitico - ben lontano da qualsiasi malinconico sguardo al passato modernista - che riattrezzi gli strumenti operativi allo scopo di incidere efficacemente sulla realtà costruita.

2 Con i termini "storico" e "consolidato" si fa specifico riferimento a quanto definito nel Nuovo PRG di Roma per i tessuti edilizi: "Per Città storica si intende l'insieme integrato costituito dall'area storica centrale interna alle mura, dalle parti urbane dell'espansione otto-novecentesca consolidata, interne ed esterne alle mura, e dai singoli siti e manufatti localizzati nell'intero territorio comunale, che presentano una identità storico-culturale definita da particolari qualità, riconoscibili e riconosciute dal punto di vista dei caratteri morfogenetici e strutturanti dell'impianto urbano e di quelli tipo-morfologici, architettonici e d'uso dei singoli tessuti, edifici e spazi aperti, anche in riferimento al senso e al significato da essi assunti nella memoria delle comunità insediate. […] Per Città consolidata si intende quella parte della città esistente stabilmente configurata e definita nelle sue caratteristiche morfologiche e, in alcune parti, tipologiche, in larga misura generata dall'attuazione degli strumenti urbanistici esecutivi dei Piani regolatori del 1931 e del 1962." (Roma, 2008).

In sintesi, i tessuti storici e consolidati sono quelli che hanno raggiunto una configurazione stabile e che posseggono caratteri formali tipici ed omogenei.

3 L'applicazione delle capacità analitiche della densità alla scala metropolitana, di cui si è fornito un possibile esempio nel precedente capitolo, è utile a descrivere le tendenze generali di un sistema urbano, il suo comportamento globale rispetto all'uso delle risorse. Ma appare chiaro che all'interno di questo valore medio complessivo le differenze tra le varie parti possano essere piuttosto importanti, siano esse per motivi funzionali, formali, d'uso, etc. Pertanto, vista l'intenzione di correlare forma e costruzione a densità, più l'ambito di applicazione risulta essere omogeneo secondo in termini delle prime due e maggiore sarà l'affidabilità degli studi e quindi la corrispondenza al comportamento reale.

4 Ci si riferisce oltre che alla consueta necessità di distinzione del comportamento termodinamico di un edificio a seconda dei climi, soprattutto - in questo caso - alla sempre crescente rilevanza del funzionamento estivo in termini di consumi energetici.

5 Tutti i dettagli riguardo la maniera di definire la densità di massa e quella di utilizzarla per le indagini energetiche sono riportati nel capitolo successivo al paragrafo *Densità di massa, tipologia, Energia*.

6 In generale si definisce densità energetica la quantità di energia immagazzinata in un dato sistema o regione dello spazio per unità di volume o per unità di massa. In questo caso l'unità di riferimento è la superficie di territorio occupata dal sistema urbano (km^2). L'energia viene calcolata in termini di consumi di fonti primarie, cioè in tonnellate equivalenti di petrolio (tep).

7 Essi comprendono tutti quelli di tipo diretto, necessari al "funzionamento" di una città, e quelli incorporati nella natura fisica dei manufatti di cui si compone, ossia la cosiddetta *energia incorporata*.

8 L'argomento è controverso, le prospettive con cui viene approcciato sono molteplici e pertanto le teorie a volte posso risultare in contraddizione tra loro. Ad esempio è possibile incontrare studi che grazie all'esistenza di questa relazione energia-città, ascrivono legittimamente gli ambiti urbani tra i sistemi adattivi complessi, in analogia ai sistemi biologici, dimostrando validità delle leggi di scala metaboliche dei sistemi viventi anche per le città e fissando un legame matematico certo sull'efficienza di tali sistemi regolato dal rapporto massa-energia. Allo stesso tempo è comprovato già dalla fine del XIX secolo il paradosso di Jevons che

spiega come l'aumento di efficienza tecnologica non riduca i consumi bensì li aumenti, per effetto della forte interazione tra tecnologia ed economia, decretando la totale indifferenza a leggi di efficienza. Per ulteriori informazioni a riguardo si veda: (Isalgue, Coch, & Serra, 2007) e (Jevons, 1948).

9 L'approccio e incredibilmente simile a quello utilizzato da MVRDV nella sezione *Light* di cui si è trattato nel secondo capitolo e contenuta in (MVRDV, Koek, Rijs, Maas, & Vries, 1998) e in *3D City Cube* di (MVRDV, 2005).

10 Un indicatore efficace di tale maturità è l'andamento temporale del tasso di crescita della popolazione urbana, che illustra molto chiaramente come il mondo occidentale, ormai sviluppato, attraversi oggi un momento di stabilità (se non di regressione) mentre i paesi in via di sviluppo fronteggiano i problemi di una crescita a ritmo travolgente.

11 Si richiama qui la definizione del CPRE in quanto meglio ne denota e ne esplicita i caratteri, evitando genericità rispetto a quelle che sono fondate sull'opposizione allo sprawl (Micheal Neuman, ad esempio) o a quelle riconducibili al *Transit-oriented development,* un movimento di origini nordamericane che propone modelli insediativi strutturati su densità crescenti dalla periferia al centro.

12 Ciò solleva una questione critica riguardo all'appropriatezza della valutazione in senso olistico della sostenibilità urbana. Essa, sempre più intesa e definita come un dominio complesso di classi di valori - che variano, ad esempio, dal benessere psicologico degli abitanti, alla sicurezza sociale, all'impronta ecologica, fino al consumo pro-capite di risorse - difficilmente potrà trovare un riscontro scientifico ed una soluzione univoci e per qualsiasi contesto antropizzato.

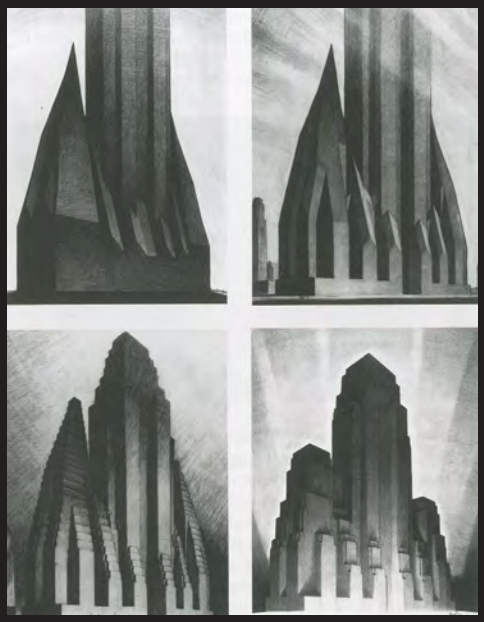
13 Tali forme razionali di modellazione, di cui si è trattato nel capitolo due, hanno dalla loro il vantaggio di essere descritte da fattori facilmente misurabili o stimabili e una comprovata fedeltà nella descrizione della forma urbana.

14 Le testimonianze di quest'attenzione al rapporto tra risorse naturali e insediamenti urbani, oltre a riscontrarsi nella concretezza dei resti delle città antiche, si riscontra nella trattatistica classica. Esempio emblematico è il già richiamato *De Architectura* di Vitruvio, in cui sono contenute le indicazioni per realizzare città che oltre alla funzionalità riservino dovuta attenzione all'uso efficiente delle risorse e del territorio. Si veda: (Vitruvius Pollio & Bossalino, 1998).

15 Si veda a proposito nel capitolo 1 il paragrafo "Oltre il quadro normativo".

16 In particolare ci si riferisce ai metodi di calcolo semplificati adottati in Italia di tipo semi-stazionario, basati sulle norme UniTs 11300.

17 Un quadro generale dell'operato di queste scuole si può ritrovare nei seguenti testi: (Caniggia, 1976; Conzen & Conzen, 2004; Darin, 1998; Maretto, 1984; Martin & March, 1972; Saverio Muratori, 1960; S. Muratori, 1963; S. Muratori, De Carli, & Scatà, 1991).



Densità sostenibili

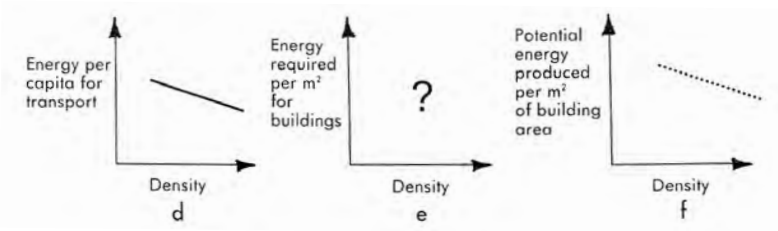
il caso dei tessuti edilizi di Roma e Barcellona

I concetti di densità e sostenibilità racchiudono il significato, al contempo, di articolata e complessa situazione attuale dell'ambiente costruito e, a livello del progetto, di condizioni ambite e sempre più spesso correlate. Parimenti, la densità intesa come strumento parametrico possiede notevoli potenzialità interpretative in termini di sostenibilità del costruito per i legami esistenti con caratteristiche morfologiche, tipologiche e costruttive di una struttura urbana. Il tessuto edilizio, dunque, molto più della città, rappresenta la dimensione ideale per identificare le condizioni secondo cui la densità diviene sostenibile, ossia comprendere in termini energetici (al variare di suddette caratteristiche) le diverse modalità di comportamento dei tessuti della città compatta europea mediterranea. Ciò ha la duplice potenzialità di studiare il funzionamento generale dei tessuti edilizi per fornirne, da un lato, un quadro interpretativo della città esistente in grado di rispondere efficacemente alle richieste ed alle prescrizioni dell'Unione Europea e, dall'altro, di poterli tramutare in rapporti misurabili tra variabili, al fine di definire relazioni o tendenze tra loro.

Le Direttive europee sulle prestazioni energetiche degli edifici hanno tentato di sostenere le azioni necessarie alla comprensione del comportamento energetico dell'edilizia, manifestando, di fatto, l'urgenza e la necessità di studiare il patrimonio esistente per potervi intervenire. Purtroppo, come già spiegato, ciò non ha prodotto strumenti operativi sufficientemente adeguati ed efficaci. Le analisi energetiche alla scala urbana, correlate alle proprietà morfo-tipologiche dei tessuti edilizi, costituiscono una strada che riporti il più possibile ad un piano di consapevolezza progettuale e di efficienza nell'uso dell'energia in edilizia.[1]

I casi di studio prescelti appartengono alle aree metropolitane di Roma e Barcellona e

119. A fronte: Sviluppo degli arretramenti degli edifici secondo la Zoning Law di Manhattan; Hugh Ferris, 1916.



120. Rapporti densità-energia per i sistemi urbani, Randall 2003.

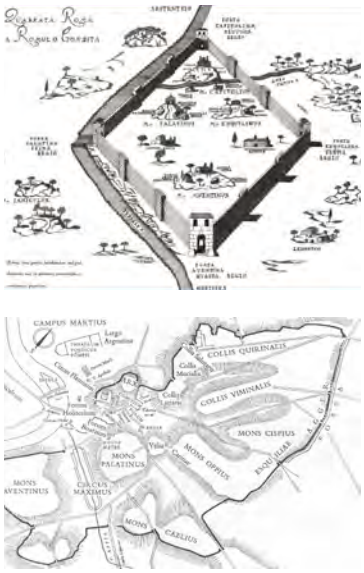
sono caratterizzate da omogeneità formale e tipologico-costruttiva al loro interno. Essi sono studiati per mezzo di due strutture metodologiche differenti, che condividono l'obiettivo di fornire elementi analitico-interpretativi del comportamento energetico dei tessuti urbani che siano correlati ad un sistema di parametri morfologico-costruttivi derivanti dalle caratteristiche di densità, morfologia, e tecnologia. La prima chiave di lettura focalizza l'attenzione principalmente sugli aspetti morfologici per studiarne l'influenza sul guadagno solare e sui conseguenti consumi energetici. La seconda parte considera al contempo le componenti costruttive e tipologiche costituenti i tessuti urbani definendone una possibile correlazione con la domanda energetica.
Allo stesso modo, la densità assumerà in queste due letture parametrizzazioni che hanno lo scopo di instaurare legami più solidi con le variabili in gioco: nella prima parte ci si è riferiti a forme parametriche della densità strettamente legate alla componente morfologica (densità urbana), mentre nella seconda quelle connesse agli aspetti costruttivi e in particolare alla massa degli elementi costituenti le componenti edilizie dei diversi tessuti urbani (densità di massa), puntando dunque sulla parametrizzazione delle variazioni delle tecnologie costruttive nel tempo.[2]
Ricostruire un profilo energetico del patrimonio edilizio esistente e relazionarlo alle sue caratteristiche morfo-tipologiche per mezzo di parametri numerici, rappresenta - già di per sé - un passo avanti considerevole nella comprensione delle sue performance in linea con gli obiettivi prefissati dalla comunità europea. Per questo motivo, il controllo delle relazioni forma-energia tramite la densità può legittimamente far parte dei criteri progettuali alla base dei processi di trasformazione dell'edilizia esistente.

Roma e Barcellona

Il presente studio ha eletto come campo d'azione le città di Barcellona e Roma. La scelta, pur orientata dalla necessità e dall'opportunità di lavorare in contesti conosciuti e con maggiore accessibilità alle informazioni necessarie per le analisi, è pienamente coerente rispetto agli obiettivi generali prefissati e ad uno sviluppo congruente del lavoro. Il criterio metodologico utilizzato ha l'intenzione di esplorare e interpretare forme urbane e tipologie edilizie nelle diverse epoche, prevalentemente nella loro dimensione fisica, ovvero nei loro principali caratteri morfo-tipologici.[3]
Sono in molti a sostenere che nella concretezza costruita delle nostre città sia contenuta la natura e l'evoluzione della nostra cultura in termini sociali, economici e tecnici e che le mutazioni formali - proprie del *processo tipologico* - degli elementi che la costituiscono sono il segno dei cambiamenti rispetto ai sistemi precedenti (Busquets & GSD, 2005). Città come Roma o Barcellona, che hanno alle spalle pressappoco duemila anni di storia, sono il frutto di un processo di evoluzione diacronico che ha portato alla loro con-

tinua revisione per affrontare e risolvere nuove problematiche. Rappresentano, inoltre, il prototipo della città storica compatta mediterranea, composto di parti più o meno omogenee tra loro che tutt'oggi portano i segni evidenti delle operazioni di trasformazione, sia pianificate, che spontanee.

Al netto della diversità geografica e delle contraddizioni che, come ci ricorda Joan Busquets, sempre marcano i processi di formazione urbana, è possibile leggere nella complessità i termini comuni, gli elementi significanti condivisi con molte delle capitali europee odierne (Busquets & GSD, 2005). In aggiunta, a rafforzare il legame tra Roma e Barcellona contribuisce la comune condizione climatica, e gli scambi culturali favoriti, sin dall'antichità, dal Mar Mediterraneo. È per queste ragioni che, nonostante modalità di crescita differenti, i due contesti hanno vissuto un processo che gli ha conferito nel tempo strutture urbane e tipi edilizi confrontabili e che pare necessario inquadrare gli studi analitici che seguiranno - nella realtà contestuale della Roma e della Barcellona contemporanee - tramite una lettura evolutiva, seppur molto sintetica, delle loro condizioni morfo-tipologiche.

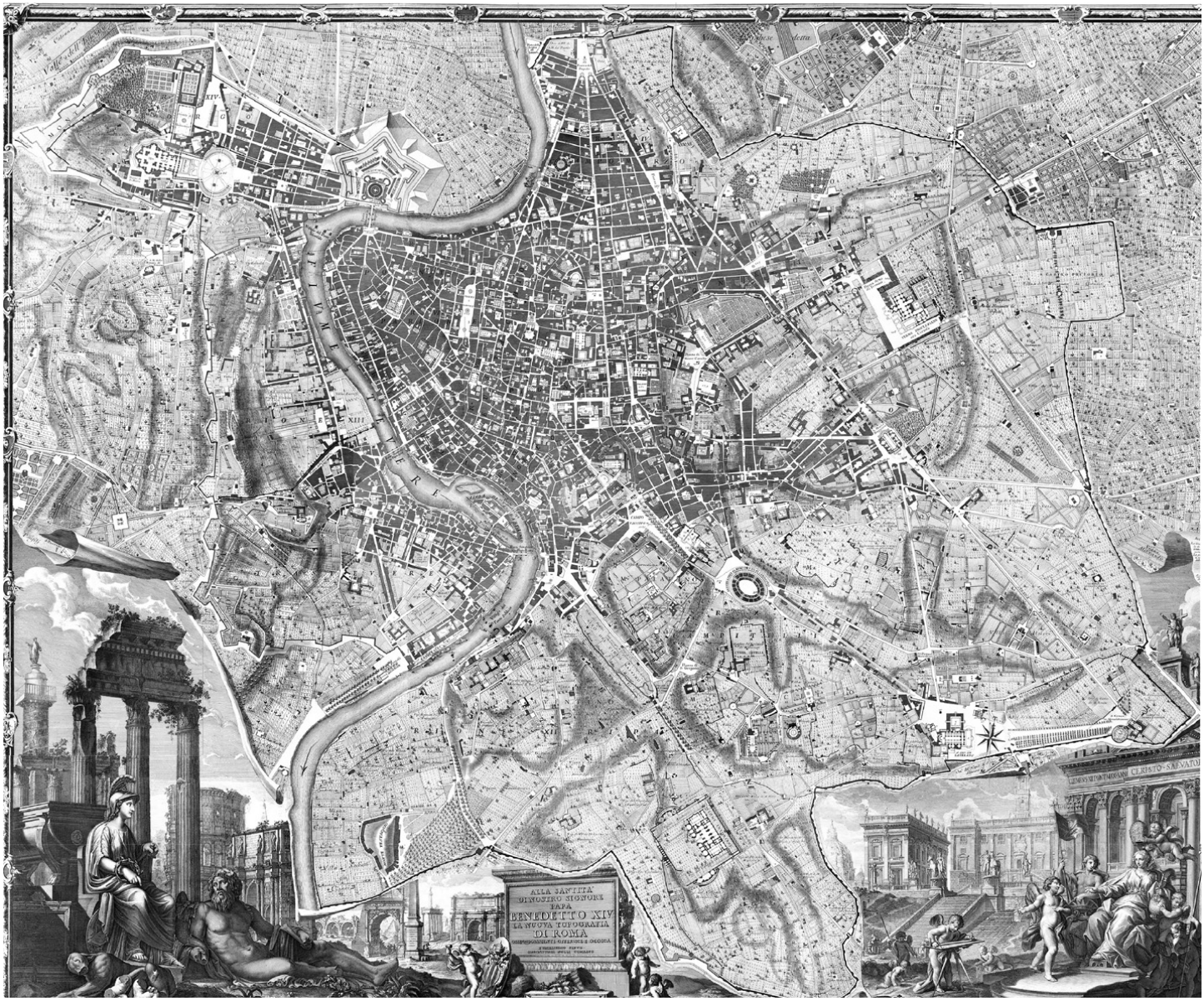


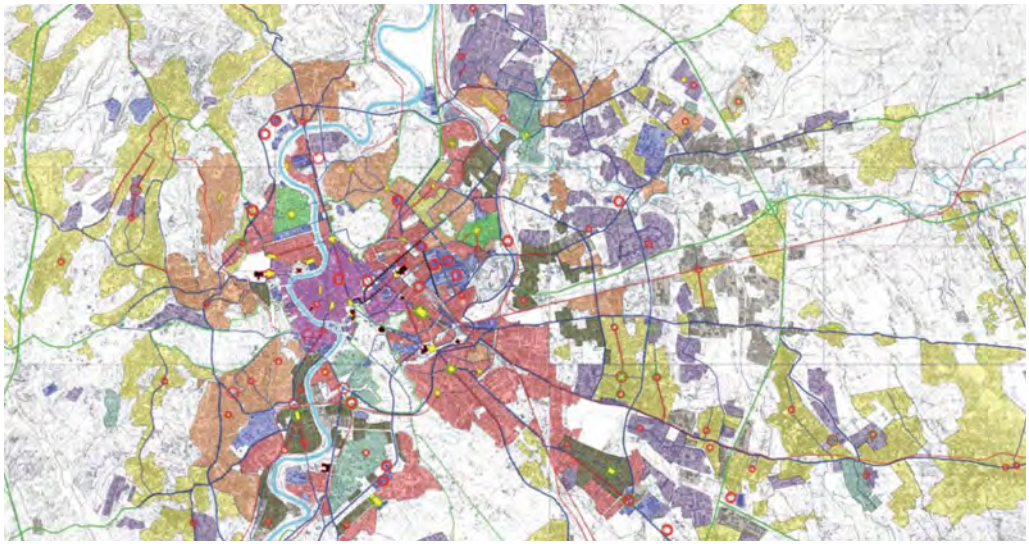
121. Roma Quadrata e Roma Serviana e - in alto - ai tempi di Lucio Domizio Aureliano.

Una disamina molto attenta del processo formativo della città di Roma è certamente quella condotta da Saverio Muratori in *Studi per una operante storia urbana di Roma* (Cappuccitti, 2006; Muratori, 1963). I primissimi insediamenti, di cui si ha traccia sul colle Palatino, devono la loro origine alla geografia del territorio: alla presenza del corso del Tevere e del sistema dei rilievi collinari. In quest'area sembra aver avuto luogo la *Roma Quadrata,* primo nucleo dell'abitato, che nel corso del tempo si espanderà abbracciando inizialmente i quattro colli attorno a cui furono costruite le mura serviane e successivamente gli ulteriori rilievi di Esquilino e Viminale e le aree pianeggianti dell'immediato intorno, giungendo a delineare compiutamente gli elementi strutturanti in epoca imperiale contenuti all'interno delle mura aureliane. Tale impianto mostrerà il suo carattere di forte permanenza attraverso tutta l'epoca medievale e persino in seguito alle importanti ristrutturazioni urbane attuate nel XVI secolo per mano di papa Sisto V, che interesseranno principalmente la rete dei grandi assi di collegamento tra i monumenti antichi preesistenti, operando invece sul tessuto edilizio secondo processi tipologici trasformativi che lasciano inalterato il sostrato strutturante. Quest'impianto urbano così come si viene a configurare in epoca barocca permarrà per molto tempo, fino all'epoca postunitaria, attraversando fasi di espansione e contrazione edilizia all'interno del perimetro delle mura aureliane.

In epoca moderna inizia la fase di espansione edilizia nelle aree limitrofe al centro storico che gradualmente proseguirà senza tregua fino ai giorni nostri. La forma dei diversi impianti trae origine dalla natura orografica del terreno, dai tracciati delle vie consolari romane e dalla conformazione dei lotti agricoli: adattandosi ai rilievi a nord e a

122. La Roma Sistina nella pianta del Nolli, 1748.

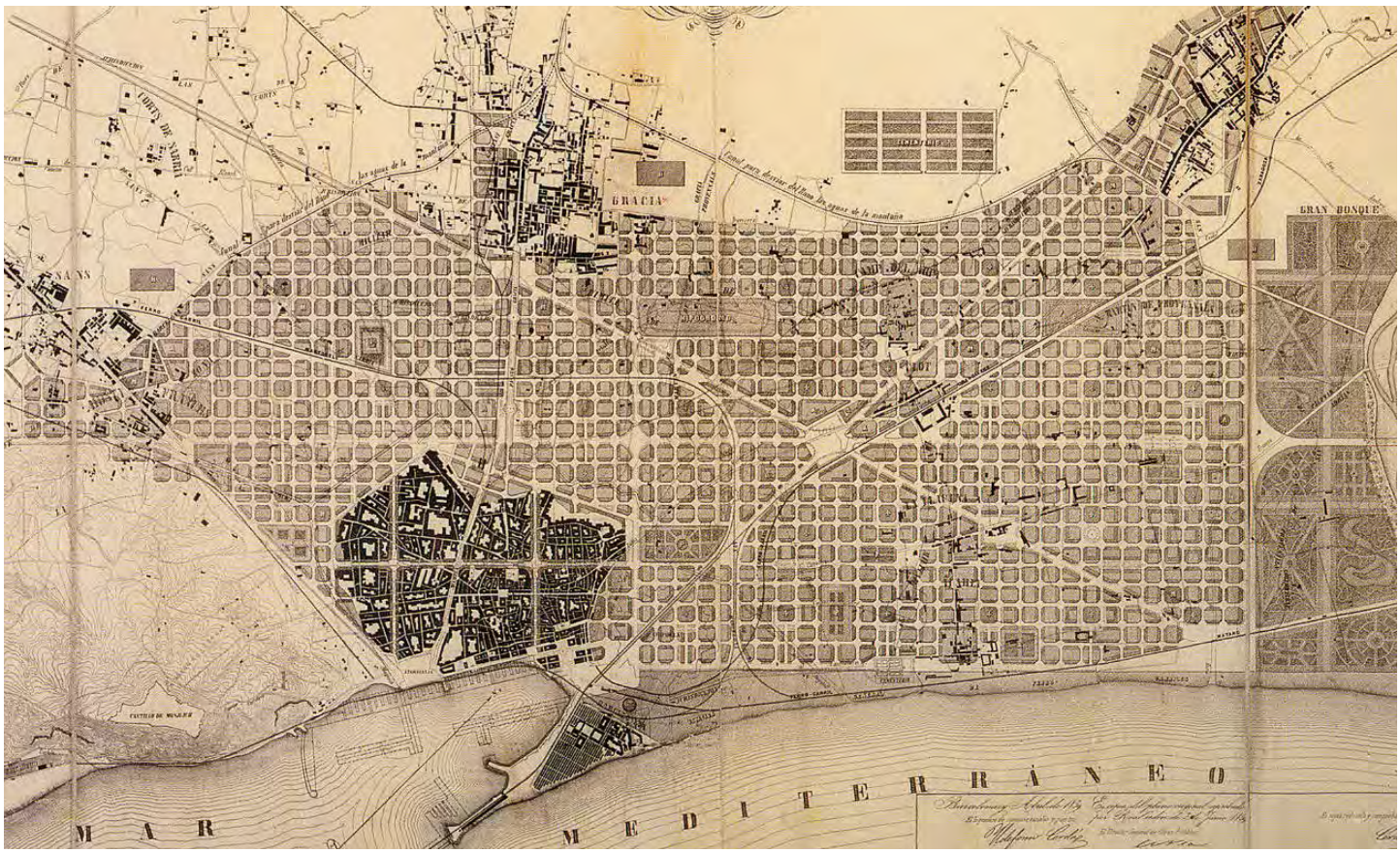




123. Analisi morfologica dei tessuti urbani di Roma, Cappuccitti, 2006.

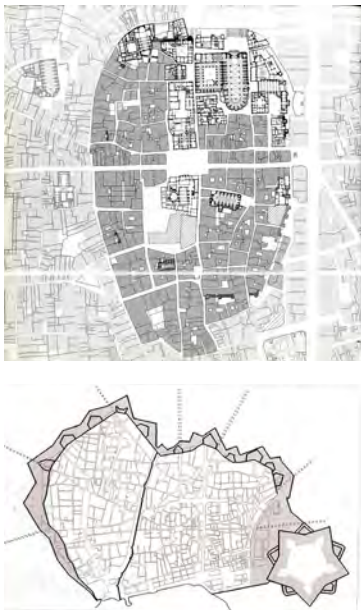
ovest, ovvero in tessuti urbani più regolari nelle aree pianeggianti a est e sud del centro. Se l'espansione fino a circa la metà del secolo scorso è avvenuta spesso per mano dell'iniziativa pubblica con la costruzione delle borgate, - in aree non adiacenti al centro urbano, ma distribuite lungo gli assi direttori delle consolari - negli anni seguenti si è assistito ad una crescita che occupava le aree limitrofe a tali insediamenti sia nella direzione d'impianto radiale che in quella anulare attorno alle linee infrastrutturali. La natura inevitabilmente complessa ed episodica degli interventi pianificati e ancor più di quelli spontanei, ha determinato che nella loro giustapposizione si venisse a determinare una grande variabilità formale. Specie a partire dal secondo dopoguerra, ciò ha aumentato la sua incidenza nell'area metropolitana romana e ha contribuito al proliferare di tessuti periferici che costituiscono oggi il carattere tipico di Roma contemporanea.
Un utile quadro interpretativo tassonomico di questo carattere tipico è presentato da Antonio Cappuccitti in *Tessuti e centralità nella morfologia urbana di Roma*. Operando un'analisi basata sull'osservazione delle caratteristiche morfologiche dei tessuti edilizi e su relativi dati analitici da esso desunti, egli giunge ad individuare una serie di caratteri base delle morfologie insediative di Roma contemporanea, concepiti sulla natura delle interazioni formali tra impianto stradale (intricato, reticolare o organico) ed edilizia (compatta, a grana fine, a grana media, a grana grossa, o di forma aperta).[4]

Alla definizione morfologica e tipologica e alla natura più o meno densa e compatta dell'insieme degli impianti romani e catalani, contribuiscono oltre al rapporto tra territorio e processo tipologico, le aspirazioni dei progettisti e le risposte alle esigenze mutate della società calate all'interno delle prescrizioni urbanistiche, nonché i vincoli tecnologici che determinano i caratteri costruttivi connessi ai tipi edilizi. La tipologia può essere perciò interpretata come l'elemento di connessione tra forma e costruzione e pertanto come l'aspetto da analizzare in termini di comportamento energetico.
Ai giorni nostri Barcellona ha una popolazione di poco più di 1,6 milioni di abitanti nella sua area centrale grande circa 100 km2 e di quasi 4,5 milioni, se consideriamo l'intero territorio metropolitano esteso su poco meno di 1.800 km2.5 Ciò significa che insieme a Parigi è la metropoli europea a maggior densità abitativa sia a scala centrale che territoriale, sette volte maggiore nel centro (passando da circa 16.000 a 2.400 ab/km2), attraendo l'80% della popolazione dell'intera regione catalana. In confronto la struttura territoriale insediativa dell'area metropolitana romana è piuttosto differente. I limiti geografici e amministrativi del centro città sono tra i più estesi insieme a quelli di Londra e si attestano intorno ai 1.300 km2, a fronte di una superficie territoriale metropolitana di 3.600 km2. Rispetto alla città spagnola, per Roma la dimensione ed i rapporto tra centro e area metropolitana è differente: se a Barcellona il centro arriva ad


GRACIA
GRAN BOSQUE
MAR MEDITERRANEO

125. A fronte: Piano Cerdà con analisi degli impianti urbani di origine storica, 1859.

avere un'influenza su un territorio limitrofo venti volte più grande, a Roma la dimensione già estesa della città (dimensionalmente paragonabile all'intera area metropolitana catalana) arriva a raddoppiare la sua influenza. Ciò si rispecchia sul profilo di popolazione in esse insediate. L'area centrale romana ospita 2,7 milioni di abitanti e, oltre che per l'estensione geografica, anche per effetto della sua conformazione territoriale, risulta essere molto più diradata e ricca di vuoti rispetto alla realtà geograficamente contenuta di Barcellona, adagiata su una fascia costiera e limitata dalle montagne circostanti. Ciò è ancor più evidente se si considera l'intero territorio metropolitano che pur triplicando quasi la sua dimensione, accoglie in totale circa 3,7 milioni di abitanti. Ne risulta che la densità si dimezza da un valore di poco più di 2.000 ab/km2 (valore molto simile alla densità territoriale della metropoli catalana) fino a 1.000 ab/km2.
Va precisato fin da subito, quindi, che i più bassi valori di densità abitativa sono attribuibili più a quanto detto che all'intensità e compattezza dei diversi tessuti urbani che la compongono: questi, come si potrà vedere più avanti, hanno ordini di grandezza assolutamente paragonabili per entrambe le città.



124. Barcellona: tessuto di origine romana (in alto) e impianto nel XVIII secolo.

Roma e Barcellona, oltre alle caratteristiche e all'evoluzione della forma urbana in cui è possibile rintracciare percorsi che le accomunano, alla loro condizione contemporanea di città in uno stadio evolutivo avanzato che richiede costantemente un adeguamento alle mutate condizioni, hanno in comune il clima tipico dell'area mediterranea. Com'è noto, le due caratteristiche fondamentali che hanno maggiore influenza sulle condizioni ambientali del costruito, determinando temperatura e umidità dell'aria in un determinato luogo, sono la latitudine e la continentalità (Serra Florensa & Coch Roura, 2001; Serra, 2004). La prima influisce sulla temperatura media, condizionata dalla quantità di radiazione solare ricevuta. La seconda interviene sulle oscillazioni di temperatura (fattore che influisce sull'umidità dell'aria) per effetto dell'influenza delle masse d'acqua presenti. Al variare delle combinazioni di questi parametri si determinano le tipologie climatiche principali. Al loro interno poi, due ulteriori elementi contribuiscono alla variabilità locale del clima: l'altezza relativa sul livello del mare, che all'aumentare determina abbassamenti di temperatura media dell'aria e incrementi di sue variazioni, e la presenza di rilievi che alterano velocità e provenienza prevalente dei venti.
Latitudine e altezza relativa sono decisamente molto simili nel caso delle città oggetto di studio; leggermente differenti ma assolutamente comparabili sono invece i valori relativi alla continentalità e alla distribuzione dei rilievi. L'area metropolitana di Barcellona è compresa tra 40°6' e 42°0' e possiede un'altezza (nominale) di 4 m s.l.m., mentre quella di Roma si estende da una latitudine di 41°1' e 42°6' con un'altezza di 20 m s.l.m. (Susteren, 2005). Il contesto geografico risulta invece leggermente differente special-

ROMA	Mesi												Stagioni				Anno
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Inv	Pri	Est	Aut	
T. max. media (°C)	11.00	13.00	15.00	18.00	23.00	27.00	29.00	30.00	27.00	22.00	16.00	13.00	12.30	18.70	28.70	21.70	20.30
T. min. media (°C)	2.00	4.00	5.00	8.00	11.00	15.00	17.00	18.00	15.00	11.00	7.00	4.00	3.30	8.00	16.70	11.00	9.80
Precipitazioni (mm)	103.00	99.00	68.00	65.00	48.00	34.00	23.00	33.00	68.00	94.00	130.00	111.00	313.00	181.00	90.00	292.00	876.00
Umidità relativa (%)	77.00	75.00	72.00	73.00	71.00	68.00	67.00	66.00	69.00	74.00	78.00	78.00	76.70	72.00	67.00	73.70	72.30

BARCELLONA	Mesi												Stagioni				Anno
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Inv	Pri	Est	Aut	
T. max. media (°C)	11.40	13.60	15.90	17.60	20.50	24.20	27.50	28.00	25.50	21.50	17.00	13.30	12.80	18.00	26.60	21.30	19.70
T. min. media (°C)	4.40	5.30	6.70	8.50	12.00	15.70	18.60	19.30	16.70	12.60	8.10	5.70	5.10	9.10	17.90	12.50	11.10
Precipitazioni (mm)	41.00	29.00	42.00	49.00	59.00	42.00	30.00	61.00	85.00	91.00	58.00	51.00	121.00	150.00	133.00	234.00	638.00
Umidità relativa (%)	65.35	60.70	69.22	67.15	67.61	62.84	63.13	59.88	62.80	73.78	71.83	68.21	64.75	67.99	61.95	69.47	66.04

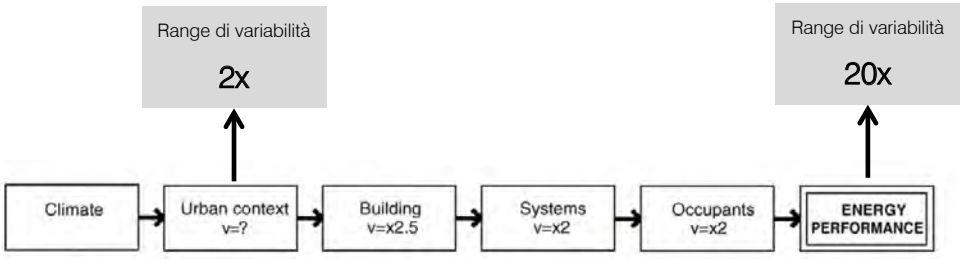
126. Confronto tra i principali dati climatici delle aree metropolitane di Roma e Barcellona.

mente in termini di estensione: l'area urbanizzata barcellonese è piuttosto concentrata e contenuta a sud est direttamente dalla costa e dai rilievi della *Serra del Collserola* che corrono parallelamente ad essa a pochi chilometri di distanza dal centro. Roma ha invece un'area urbanizzata più vasta che attorno al sistema di colli centrale si estende per zone più ampie, lasciando però maggiori spazi aperti al suo interno e non arrivando a lambire direttamente la costa e i rilievi che la cingono (ad un raggio tra i 20 e i 25 km circa): i Monti Sabatini a nord-ovest, i Monti Tiburtini e Prenestini ad est e i Colli Albani a sud-est. Tutto ciò fa sì che il clima sia leggermente più continentale che a Barcellona: come si può vedere confrontando i dati delle tabelle [126] le temperature medie sono pressoché identiche mentre variano leggermente le precipitazioni medie e le umidità relative medie che risultano minori per Barcellona.
Tali dati climatici pressoché simili consentono un legittimo confronto delle analisi dei rapporti tra densità e sostenibilità all'interno dei due contesti urbani e tra le diverse morfologie dei tessuti edilizi, le loro tecniche costruttive ed i loro profili energetici, sia in termini di radiazione solare che di domanda e consumi di energia. In sintesi, appare ragionevole condurre gli studi che seguono in quanto le due metropoli oltre ad avere storia urbana, struttura fisica, sistemi edilizi modelli abitativi e tecniche costruttive molto simili sono entrambe ascrivibili al dominio della città compatta europea dal clima mediterraneo, con cicli stagionali e condizioni climatiche dello stesso tipo.

DENSITÀ URBANA, MORFOLOGIA, ENERGIA

Intensità e compattezza dei tessuti mediterranei: radiazione solare e consumi energetici

Il legame saldo tra forma urbana ed energia assume caratteristiche proprie nella città mediterranea, dovute a ragioni climatiche, culturali, tecniche e tecnologiche che si tramutano nella natura fisica dei tessuti edilizi e che richiedono analisi e soluzioni specifiche. In particolare, su due *tipi* di energia, la morfologia gioca un ruolo importante ma ancora poco conosciuto: la radiazione solare e i consumi ascrivibili alla domanda di condizionamento (riscaldamento invernale e condizionamento estivo).
Uno studio coordinato da Carlo Ratti ha dimostrato che nell'edilizia attuale, a parità di condizioni climatiche, è possibile riscontrare una variabilità in termini di consumi energetici di un fattore di circa venti [127] (Ratti, Baker, & Steemers, 2005). All'interno di questo valore, diversi aspetti contribuiscono a tale variabilità in forma differente: il contesto urbano, le caratteristiche edilizie, l'efficienza dei sistemi impiantistici e il comportamento degli utenti. Gli ultimi due, influiscono ognuno di un fattore 2 mentre le seconde incidono di un fattore 2,5. Ciò significa che la struttura del contesto urbano



127. Fattori di variabilità dei consumi energetici negli edifici, Ratti et al., 2005.

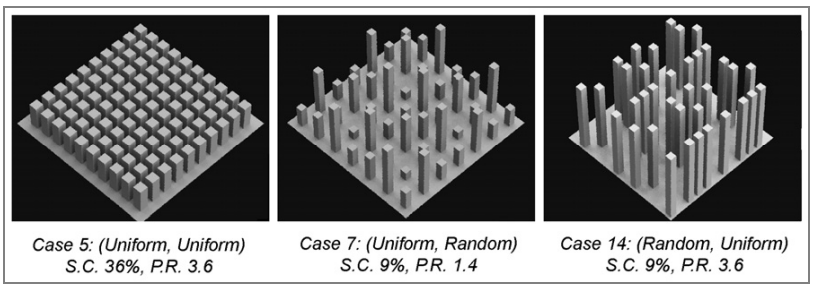
può incidere per un altro fattore 2. Peraltro, tale fattore, per quanto simile in termini di magnitudo rispetto a tutti gli altri, presenta per sua natura una persistenza nel tempo decisamente maggiore e, pertanto, un peso altrettanto maggiore. Se è possibile immaginare interventi di trasformazione sull'esistente (seppur onerosi) sulle componenti edilizie, su quelle impiantistiche e finanche sul comportamento degli utenti, appare molto più complesso e costoso pianificarne sull'intera struttura fisica di un tessuto edilizio. Perciò la morfologia urbana, intesa come l'insieme delle regole formative degli elementi costituenti gli insediamenti antropici, ha un ruolo fondamentale nella determinazione del comportamento energetico, sia in termini di capacità di utilizzo della risorsa solare, sia in termini di consumi conseguenti. Specie per i tessuti edilizi esistenti, dunque, analizzare questo ruolo è il primo passo per intraprendere processi progettuali trasformativi realmente efficaci.

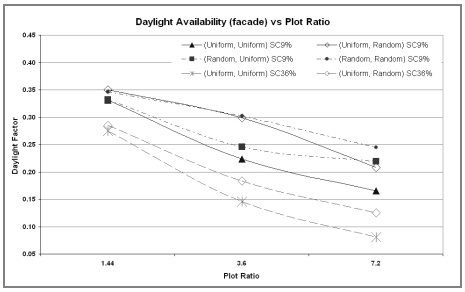
Il presente studio si concentra, quindi, sulla natura dell'incidenza della morfologia urbana su radiazione solare e consumi energetici, prendendo a riferimento alcuni degli isolati residenziali tipo dei tessuti edilizi appartenenti alle aree metropolitane di Barcellona e Roma, rappresentativi di differenti periodi storici e di modalità di espansione urbana piuttosto diffuse. Cardine di questa interazione, saranno allora le possibili declinazioni parametriche della densità, utili a tradurre in indicatori numerici gli aspetti morfologici e a correlarli con le performance energetiche associate.

In primo luogo si vuole contribuire alla comprensione del guadagno solare tramite uno studio comparativo. Nel fare questo ci si è concentrati sull'aspetto che nei climi mediterranei assume quotidianamente sempre maggiore importanza: la condizione nelle stagioni estive e il conseguente ruolo - più o meno benefico - della forma urbana sul comportamento ambientale dei tessuti edilizi. Infatti, anche per effetto di una recente mutazione nelle abitudini degli utenti rispetto al comfort ambientale, la domanda energetica per la climatizzazione estiva è giunta a mettere in crisi in più di una circostanza l'offerta e la distribuzione, manifestando in questo modo l'inefficienza dei modelli di comportamento attuali (EIA, 2012; Monastra, 2003).[6]

In secondo luogo, associando a tali morfologie urbane gli indici corrispondenti di densità della *compattezza* (GSI - Gross Space Index) e dell'*intensità* (FSI - Floor Space Index) si studiano le variazioni e le tendenze che tali indici hanno se relazionati a guadagno solare e consumi energetici nel clima mediterraneo, per tentare di identificare il più adeguato ad esprimere tali relazioni.

L'obiettivo generale è, dunque, fornire strumenti operativi e metodologici che tramite la comprensione del comportamento dei tessuti urbani esistenti favoriscano interventi di trasformazione che riducano la loro normale domanda di energia odierna. Posto in termini di rapporti tra densità, forma radiazione solare ed energia diviene un tema cardine



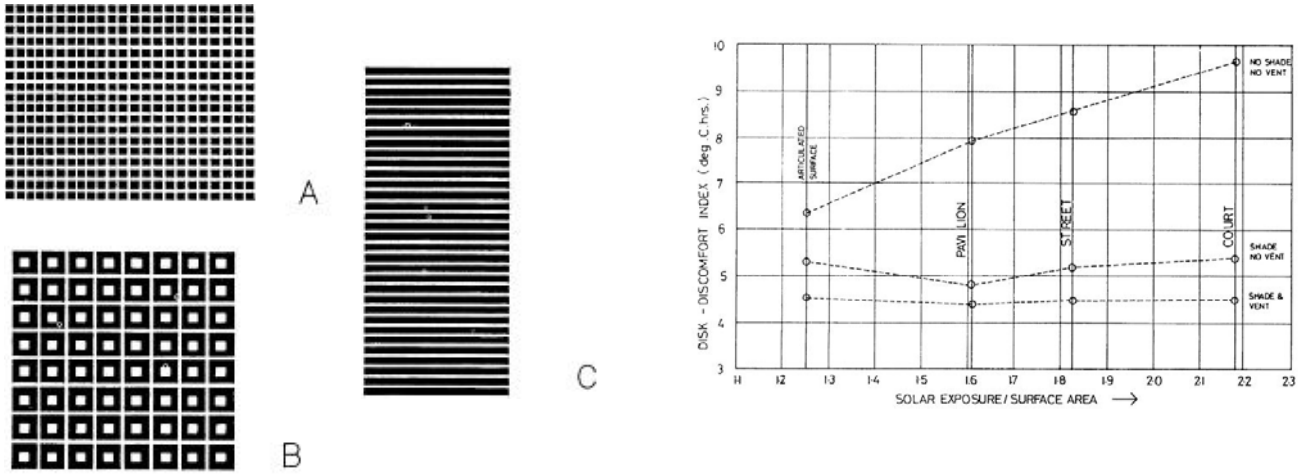


128. Potenziale solare, forma urbana e densità, Cheng et al., 2006.

per gran parte del patrimonio edilizio delle città storiche mediterranee: esso si compone di un insieme eterogeneo di parti, con caratteristiche e configurazioni differenti, che spesso - specie se risalenti al secolo scorso sono state concepite secondo un totale disinteressamento nei confronti dell'efficienza energetica, che ne ha generato una pessima interazione con le risorse naturali e che pertanto oggi pongono enormi questioni sulla necessità e sull'opportunità della loro trasformazione.
Le scale di riferimento utilizzate nello studio sono quelle più consone all'analisi morfologica urbana: quella dell'isolato e del tessuto. Pertanto sia in termini metodologici che strumentali esso vede un'applicazione adeguata al quadro di riferimento conoscitivo tipico delle prime fasi progettuali. Per tali ragioni e per renderlo adatto a tali scopi si è puntato a sviluppare un processo che riduca i dati di input necessari per la fase di calcolo e si focalizzi sulla definizione di caratteristiche qualitative e quantitative della forma urbana in funzione di guadagno solare e consumi energetici.

La densità come strumento parametrico di analisi del comportamento energetico

Dalla seconda metà del novecento, i sistemi insediativi hanno vissuto radicali trasformazioni sotto l'effetto della cultura tecno-economica occidentale e degli associati processi economici e produttivi.[7] La crescita del territorio urbanizzato, la forte incidenza delle dinamiche economiche sul processo edilizio, l'innalzamento dei livelli di comfort e degli standard, hanno fatto sì che nel corso degli anni e delle diverse ondate edilizie, si venisse a costituire un patrimonio costruito in larghissima parte inadeguato, inefficiente, energivoro. In aggiunta, si è di fronte ad uno scenario che vede in continua crescita l'attrattività e l'incidenza dei territori urbanizzati che, in Europa, si traduce in una condizione di apparente equilibrio numerico in termini di popolazione ma non d'impronta edilizia e che, inoltre, continua a generare conseguenze ambientali ed energetiche.
Questa situazione ha stimolato, in maniera sempre più rilevante, la ricerca nell'ambito dei rapporti tra sistemi urbani, densità ed energia. In particolare un filone di studi piuttosto nutrito è quello che si sta occupando specificatamente dei metodi di parametrizzazione della morfologia urbana - tra cui anche la densità - in relazione alla radiazione solare, ai sistemi passivi, al controllo ambientale prima ed ai consumi energetici poi. Di fronte all'estrema complessità delle interazioni ambientali ed energetiche dei contesti metropolitani, sono stati compiuti numerosi sforzi di comprensione neutrale supportata da parametri analitici. L'enorme, ma poco verificato scientificamente, fascino per la "densificazione" (specie nei contesti di origine anglosassone) ha stimolato l'interesse e l'attività di ricerca sul comportamento ambientale in ambito urbano nel tentativo di definire condizioni di maggiore sostenibilità dei contesti urbani, specie in quelli ad



129. Esposizione solare, forma urbana e prestazione termica indoor, Gupta, 1987.

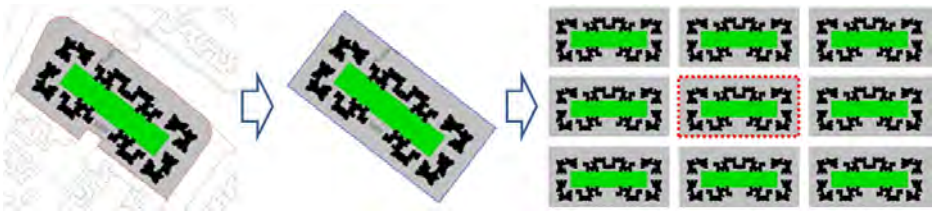
alta densità. Esso pone problemi maggiori ovviamente per la complessità del contesto in cui si opera e ha pertanto condotto i ricercatori ad indagarne gli aspetti principali, i fattori influenzanti, gli strumenti analitici di controllo e le possibili soluzioni. Superata l'incertezza dovuta alla natura multiforme del concetto di densità, essa è stata utilizzata in forma parametrica quale strumento razionale e misurabile di riferimento per questa tipologia di studi: pur sotto forma di indici differenti, è divenuta elemento di confronto tra geometria e performance ambientali ed energetiche dei sistemi urbani.

Chiaramente, anche in questi casi specifici, esiste una forte influenza del clima di riferimento sia sull'interesse e sull'orientamento teorico delle singole ricerche, sia sulla struttura metodologica del processo di analisi, sia, ovviamente, sui risultati. L'effetto positivo della variazione di un certo parametro (ad esempio la densità, la dimensione del canyon urbano, lo *sky view factor*[8]) può risultare negativo in altre condizioni climatiche. "Nelle città esistenti del nord Europa, la densità urbana rappresenta un problema particolare a causa delle elevate latitudini e le conseguenti basse inclinazioni solari che fanno sì che la geometria urbana influisce sul guadagno solare molto più qui che in altri centri urbani sparsi per il mondo" (Strømann-Andersen & Sattrup, 2011).

Parlando di città esistente, in larga parte non concepita secondo principi di progettazione passiva, quest'affermazione è certamente vera per i climi continentali tipici del nord Europa (Littlefair, 2001), ma difficilmente potrebbe essere riscontrata da evidenze scientifiche in una città mediterranea dove i tessuti urbani densi, riducendo i guadagni termici diretti per effetto delle reciproche ostruzioni, spesso risultano più efficienti di impianti aperti e pertanto più esposti alla radiazione solare nelle stagioni calde. In aggiunta, appare del tutto evidente che non possa esistere una relazione semplice e univoca tra densità (espressa con uno qualsiasi dei parametri che dir si voglia) e il comportamento ambientale.

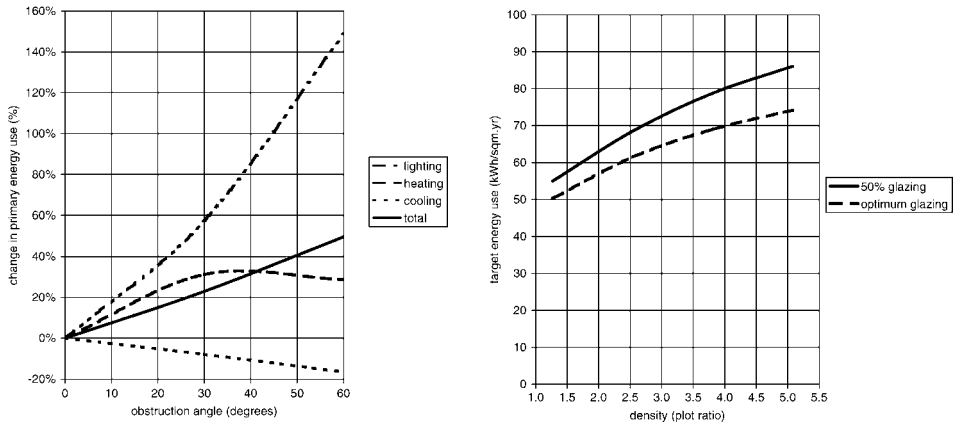
Ce lo dimostra molto chiaramente uno studio condotto da ricercatori di Cambridge, Losanna e Friburgo sul rapporto tra potenziale solare, forma urbana e densità (Cheng, Steemers, Montavon, & Compagnon, 2006).[9] Utilizzando un approccio parametrico, questo gruppo di ricerca ha analizzato variazioni formali di modelli urbani ipotetici, classificabili per *differenze di layout* (verticale e orizzontale), *compattezza (GSI)* e *intensità (FSI)* [128]. Su queste sono state condotte simulazioni sullo *sky view factor* degli spazi aperti, sul *daylight factor* delle superfici di facciata e sul *potenziale solare* dell'intero involucro. Già soltanto parametrizzando delle variazioni formali rispetto ai tre fattori suddetti e confrontandoli con questi tre indicatori delle performance ambientali, la soluzione al problema dell'equilibrare le diverse variabili in gioco non è univoca. Seppur appaia che in generale un layout casuale dei corpi edilizi possa rappresentare il giusto compromesso tra le diverse condizioni ottimali, a seconda dei singoli livelli di prestazione ricercata bi-

130. Modellazione dei tessuti edilizi secondo un processo di normalizzazione e replicazione, Zhang, 2011.



sognerà prediligere una configurazione formale piuttosto che un'altra: gli effetti di forma e densità sulle variabili sono differenti; ciononostante, dal punto di vista del progetto urbano è possibile trarre alcuni utili suggerimenti: prediligere una disposizione casuale sia in pianta che in alzato e ridurre al minimo la compattezza.
Sempre nell'ambito della progettazione passiva e dello studio della radiazione solare, un contributo interessante giunge da uno studio ambientato nei climi caldi, che rapporta l'esposizione solare e la prestazione termica indoor di alcuni tessuti urbani ai loro parametri formali (Gupta, 1987). Questa ricerca da una parte ci indica che a parità di condizioni ambientali e di volume costruito delle porzioni di tessuto urbano, il comportamento dei tre tipi analizzati (composti dal edifici isolati, corti o edifici in linea) si discostano tra loro di circa il 20% in termini di disagio termico dovuto all'esposizione solare; ciò è da attribuire, secondo l'autore, principalmente al rapporto tra superficie giornalmente esposta alla radiazione solare e superficie complessiva dell'involucro: maggiore sarà il valore più sarà facile superare la soglia di benessere indoor. In questo senso un ruolo centrale è giocato sicuramente da rapporto S/V che negli edifici a tipologia isolata è certamente maggiore. Dall'altra ci mette in guardia sull'effetto della reale discontinuità degli involucri degli edifici, che pure - al pari della configurazione formale generale del tessuto - hanno una certa incidenza sulle performance termiche e rendono pertanto il parametro dell'esposizione solare di difficile applicazione per determinare l'efficienza. Quest'aspetto è da tenere ben presente nel caso di studi che abbiano l'obiettivo di studiare contesti urbani reali e modellarne il comportamento e la geometria adeguatamente allo scopo di eliminare le incongruenze formali e comprendere l'effettiva incidenza di una determinata morfologia sul comportamento energetico. In aggiunta, il lavoro di Vinod Gupta richiama l'attenzione sul fatto che l'indice S/V ha significato in quei contesti dove gli elementi costruttivi non sono estremamente massivi; condizione che non sempre si verifica nei contesti mediterranei: se è vero per alcuni dei quartieri costruiti all'incirca dal dopoguerra in poi, non è certamente vero per tutti gli altri tessuti storici, spesso costituiti da involucri in muratura portante di rilevante spessore. In questo caso l'utilizzo dell'esposizione solare come parametro progettuale sembra inadeguato, in quanto entrano in gioco gli effetti smorzanti sui guadagni solari delle componenti d'involucro.
Il grande interesse odierno nei confronti della ricerca di relazioni tra morfologia urbana, densità e indicatori di sostenibilità è testimoniato dal tentativo di definizione di sempre nuove metodologie e strumenti parametrici di analisi, che con maggiore affidabilità descrivano oggettivamente tali relazioni. È il caso, ad esempio, dello studio comparativo condotto da un gruppo di studiosi di Singapore sugli isolati delle città storiche europee e di quelle asiatiche (Zhang et al., 2012).[10] Qui viene definita e proposta, in qualità di

131. Rapporto energia e ostruzioni urbane o densità, Steemers, 2003.



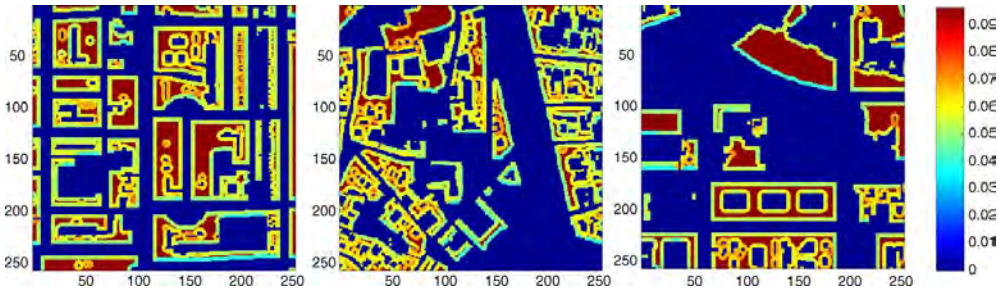
variabile di controllo delle performance ambientali, lo *Sky exposure factor* al posto del comunemente usato *Sky view factor.* Rispetto a quest'ultimo, tale parametro si differenzia per essere "più geometrico" ovvero "epurato dal peso del coseno": in esso non viene data maggiore importanza dal punto di vista dell'apporto luminoso alle parti celesti prossime allo zenit, ma ognuna ha lo stesso peso.

Oltre a questo strumento interpretativo, gli autori ci forniscono una struttura metodologica utile ad esaltare le sue proprietà analitiche e ad essere di supporto alla progettazione di impianti urbani con una relazione ottimale tra densità e prestazioni ambientali. La scelta di operare ad una scala urbana li fa giungere a definire - in piena coerenza gli obiettivi enunciati - un approccio basato sul processo di *normalizzazione* e *replicazione* dell'isolato tipico dei diversi tessuti urbani [130]. Invece di operare selezionando un tassello urbano di dimensioni predefinite, è stato preso a riferimento dello studio l'entità dell'isolato, su cui si è operata una "regolarizzazione". Tale processo ha lo scopo di epurare i tessuti edilizi di tutte le singolarità formali esistenti, rendendone chiaramente leggibili le caratteristiche morfologiche dei singoli casi. Questo approccio metodologico è molto valido per lo studio dei rapporti tra le caratteristiche formali del costruito, i parametri di densità e l'energia, tanto da essere utilizzato nella presente ricerca: eliminare tali singolarità consente da un lato di rendere saldo il legame tra forma urbana e indicatori di densità, dall'altro di riferirli coerentemente alle analisi energetiche. In altre parole, il comportamento del modello ideale, realizzato tramite il processo proposto - oltre a rappresentare mediamente quello degli isolati reali che compongono il tessuto - evidenzia più chiaramente l'impatto dei parametri formali e fisici del costruito su di esso.

Anche sul piano della stima e del controllo dei consumi energetici dei sistemi urbani in relazione alla densità, negli ultimi anni si sono avuti molti importanti contributi. Per avere un quadro interpretativo generale in cui inquadrare i singoli apporti specifici è utile comprendere come la forma urbana intervenga sia sugli usi energetici dell'edilizia, sia sui quelli relativi ai trasporti urbani, secondo tendenze di variazione che sono funzione della densità urbana (Steemers, 2003). Koen Steeemers, approcciando il tema con una visione complessiva, spiega che in un clima continentale come quello britannico, intensità e compattezza influenzano i consumi civili in varia forma. Nell'edilizia residenziale tipica di quei contesti, il crescere di tali fattori produce da un lato un aumento dei consumi per il riscaldamento e dall'altro una riduzione: il primo è dovuto alla riduzione di guadagno solare diretto conseguente all'aumento delle ostruzioni reciproche tra edifici contigui, la seconda dipende dalla diminuzione delle perdite di calore per effetto di tipi edilizi più densi e compatti.[11] Per il terziario, invece, ad un aumento della densità - per effetto della configurazione tipologica a maggiore profondità e scarsa ventilazione naturale - consegue un aumento dei consumi per illuminazione e climatizzazione.

	London	Toulouse	Berlin
Average energy consumption in passive & non-passive zones [KWhm^{-2}year^{-1}]	0.0683	0.0668	0.0731
Average energy consumption in passive zones zones [KWhm^{-2}year^{-1}]	0.0590	0.0599	0.0585
Average energy consumption in passive zones with the optimum glazing ratio [KWhm^{-2}year^{-1}]	0.0554	0.0568	0.0550

Fig. 21. Data for London, Toulouse and Berlin.



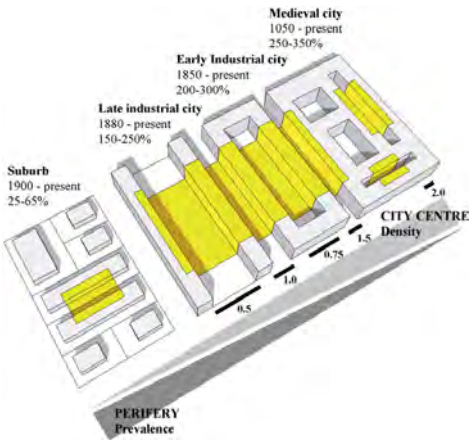


Fig. 4. Average daily solar radiation in street canyon. Calculated in ECOTECT (working hours 08–17, contour range 500–2500 Wh in steps of 200 Wh). Weather data, Copenhagen (*epw).

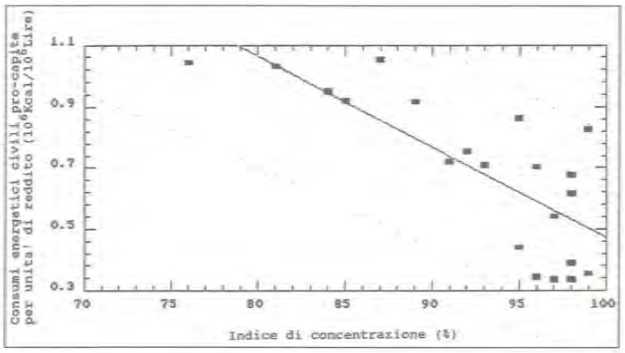
Fig. 5. Annual illuminance > 10,000 lx in street canyon. Calculated in RADIANCE/DAYSIM (working hours 08–17, contour range 0–50% in steps of 5%). Weather data, Copenhagen (*epw).

Fig. 6. Annual illuminance > 500 lx in street canyon. Performed in RADIANCE/DAYSIM (working hours 08–17, contour range 85–95% in steps of 1%). Weather data, Copenhagen (*epw)

132. A fronte: indagine sull'incidenza della forma dei tessuti urbani sul fabbisogno di energia, Ratti et al., 2005.

133. A fronte: geometria dell'urban canyon, densità e fabbisogno energetico, Strømann-Andersen e Sattrup, 2011.

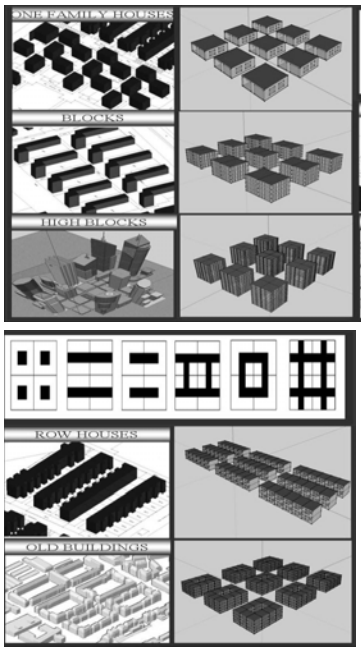
135. A lato: Relazione tra consumi energetici civili e indice di concentrazione insediativa nelle venti maggiori città italiane, De Pascali, 2008.



In questo quadro, lo studio pone l'attenzione sulle strategie da mettere in atto per trasformare una struttura urbana; intervenire sulla città compatta densificando - cioè per meglio dire modificando intensità e compattezza del costruito - può condurre benefici riducendo l'inefficienza in termini energetici ed ambientali, ma deve essere supportato da "un approccio analitico che fornisca informazioni su cosa debbano essere basate le decisioni" (Steemers, 2003 p. 13). Per chiarire ogni malinteso è bene precisare che, anche in questo caso, gli effetti ora negativi, ora positivi di un determinato indice o parametro descrittore della forma urbana e della densità sono strettamente legati al rapporto tra clima, forma urbana e tipologia edilizia, al punto da poterli persino invertire.

L'evoluzione di questo percorso di ricerca ha prodotto ulteriori avanzamenti specifici sull'analisi di modelli di comportamento energetico dei tessuti urbani esistenti (Ratti et al., 2005). In particolare, lo stesso Steemers, in collaborazione con Nick Baker e Carlo Ratti, ha illustrato il potenziale interpretativo del ricorso a metodologie basate su nuovi strumenti di supporto per la modellazione digitale. L'obiettivo è chiaramente quello di fornire uno strumento rapido ed efficace all'analisi a scala urbana d'intere porzioni di tessuto in alternativa alle consolidate tecniche di modellazione a scala edilizia, ormai diffuse nella pratica progettuale grazie all'utilizzo di software commerciali.[12]

Tramite la formalizzazione tridimensionale del costruito con la tecnica del *Digital Evaluation Modeling* (DEM), gli autori giungono a determinarne i consumi di energia. I DEM sono un ottimo strumento di analisi speditiva dei parametri morfologici urbani e mostrano in questo studio una capacità di interazione con gli strumenti di simulazione ed analisi energetica - in questo caso l'*LT Model* (Baker & Steemers, 1996, 2000).[13] Pur utilizzando un unico clima di riferimento per le diverse città, allo scopo di poter comparare le diverse morfologie, lo studio suggerisce che per tipologie ad ufficio e alla scala urbana il rapporto tra superficie dell'involucro e volume (S/V) - molto utile a descrivere il comportamento termico alle scale edilizie - perde di significato, a favore del più affidabile rapporto tra *zona passiva* e *zona non passiva*.[14] Nel caso di condizioni in cui prevale il clima temperato rispetto a quello continentale, bisogna però porre attenzione nell'utilizzo di questo rapporto, poiché - specie se le facciate sono sovraesposte alla radiazione solare durante i mesi estivi - può verificarsi un incremento dei consumi in queste porzioni dell'edificio.



134. Modellazione dei tessuti edilizi residenziali per analisi dell'energia spesa,Tereci, 2010.

Anche questo studio, dunque, testimonia la necessità di porre estrema attenzione nella ricerca dei parametri che possano esprimere relazioni dirette tra forma, densità e consumi energetici: le definizioni devono essere accuratamente calibrate a seconda dei contesti urbani da studiare. In questo modo è possibile interpretare consapevolmente anche i risultati specifici sull'incidenza della forma urbana sulla variazione dei consumi, che è stata stimata intorno al 10%. Per quanto possa sembrare un valore ridotto, bisogna

considerare che tale ordine di grandezza può avere un notevole impatto sulla gestione energetica di un'intera città. Un altro aspetto importante evidenziato dagli autori, concerne i rapporti tra i diversi fattori che incidono sui consumi: qui viene considerato esclusivamente quello della forma urbana, ma certamente "il problema è a più incognite, in quanto avvengono diversi tipi di interazione tra questi" (Ratti et al., 2005 p. 775).
Tra gli altri contributi significativi nell'ambito dell'analisi energetica del costruito tramite forma e densità si segnala quello di Gordon Mitchell (Mitchell, 2005). Egli sottolinea che nonostante la comprovata e rilevante incidenza della morfologia del patrimonio edilizio sull'uso dell'energia, non esistono modelli di simulazione energetica che risultino sensibili a tale incidenza e pertanto adeguati ad applicazioni alla scala urbana.[15] Ciò costringe spesso a ricorrere all'adattamento di modelli nati per altri scopi e, quindi, alla necessità di ricorrere contemporaneamente a più sistemi di simulazione, - spesso riferiti a scale, indicatori di forma e densità differenti - e a una difficoltà di interpretazione ed omogeneizzazione dei risultati.
La stessa difficoltà nell'utilizzare strumenti di simulazione energetica alla scala urbana è stata rilevata da una ricerca dell'Università di Scienze Applicate di Stoccarda (Tereci, Kesten, & Eicker, 2010). Per ovviare a tale difficoltà gli studiosi hanno fatto ricorso alla modellazione della forma urbana dei diversi tessuti edilizi tramite indicatori di densità. Ciò ha garantito un controllo parametrico (con l'indice di compattezza - GSI) della corrispondenza tra morfologia reale dei tessuti e modello per la valutazione dei consumi per il condizionamento invernale ed estivo e per l'illuminazione. In questo modo, per le medesime tipologie residenziali, ne è stata stimata una variazione di circa il 20% funzione del valore di GSI.
Paolo De Pascali, interpolando i dati di analisi statistiche su un campione delle venti maggiori città italiane in termini di popolazione ed energia, dimostra che l'indice di concentrazione insediativa possiede una significativa relazione inversa con i consumi energetici civili e con quelli per i trasporti pro-capite (De Pascali, 2008 p. 147).
Strømann-Andersen e Sattrup, invece, si pongono la questione dell'incidenza della densità urbana sulle proprietà energetiche passive degli edifici di fronte al crescere di interesse nei confronti della densificazione della città (Strømann-Andersen & Sattrup, 2011). In particolare illustrano in che maniera la geometria del canyon urbano incida sulla domanda energetica per il condizionamento invernale ed estivo e per l'illuminazione. Per fare ciò si affidano ad un parametro di densità molto usato in climatologia urbana definito come il rapporto tra altezza e larghezza della sezione stradale (H/W) e comparano i risultati di diversi casi studio con un caso ideale privo di ostruzioni urbane. Ne risulta che le diverse geometrie urbane, misurate tramite l'indice H/W, incidono sulla domanda energetica con una variabilità che - per i casi di studio e rispetto al caso

ideale - si attesta intorno al 30% per le tipologie ad ufficio e al 19% per le residenze. Ciò dimostra ancora una volta e sotto una differente prospettiva, che la densità è un fattore centrale nella determinazione del comportamento energetico dei tessuti urbani.[16]

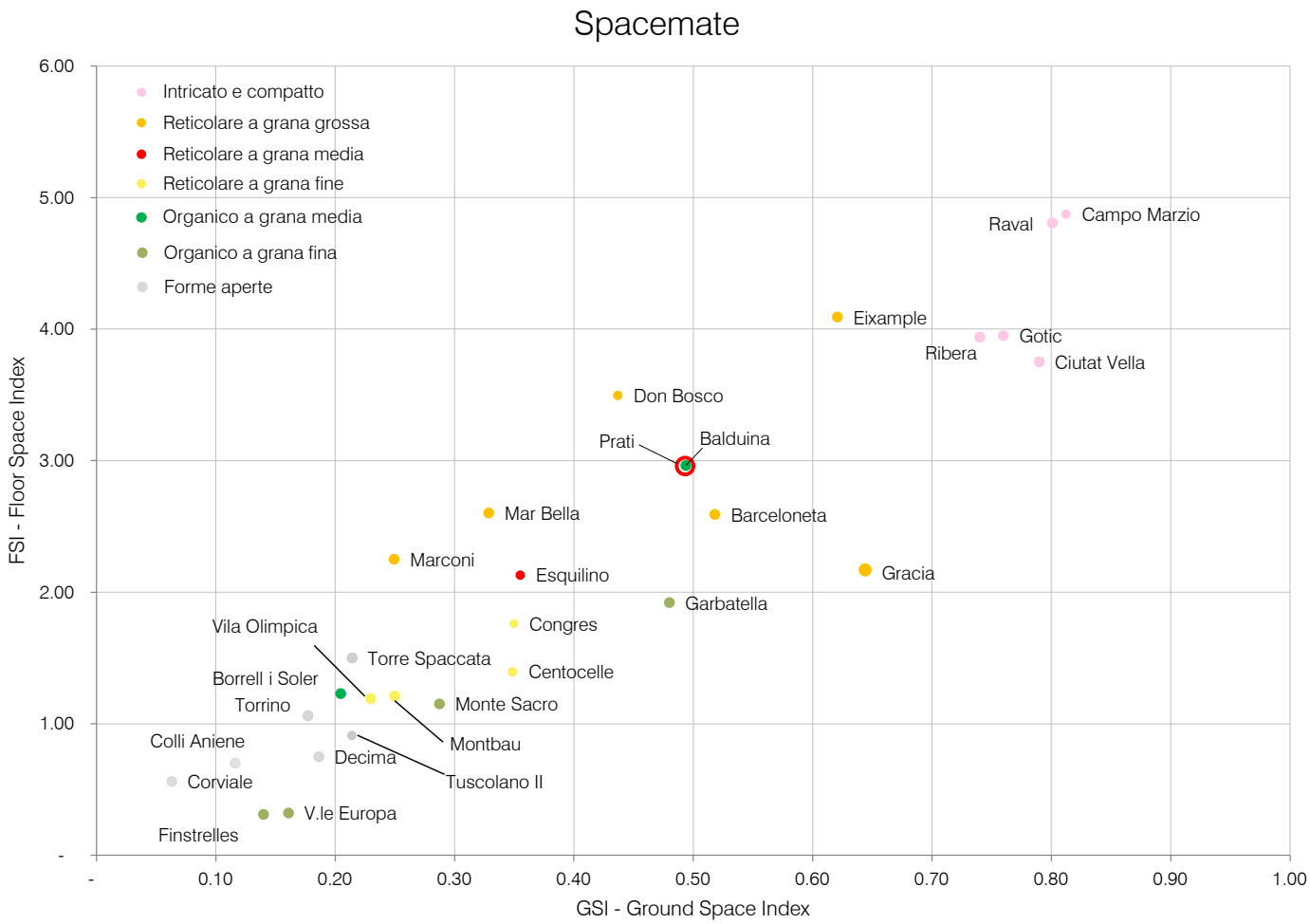
Energia e forma: la modellazione del tessuto edilizio

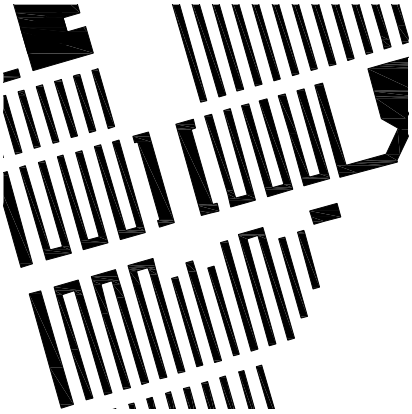
Questo studio comparativo è stato condotto a partire dalla descrizione della consistenza fisica e dalla valutazione dei comportamenti energetici mediante acquisizione di dati e di analisi e simulazioni con l'ausilio di strumenti informatici. La selezione dei casi di studio ha teso a individuare un dominio il più possibile variegato e completo che fosse adeguato a raggiungere gli obiettivi prefissati e verificare gli enunciati proposti. I tessuti prescelti sulla base della rispondenza ai seguenti criteri:

- Caratteri di "tipicità" rispetto alla città europea compatta mediterranea, con una buona diffusione in termini quantitativo-dimensionali;
- Omogeneità morfologica;
- Rappresentatività dello spettro dei possibili rapporti tra aspetti formali e parametri di densità;
- Chiarezza e riconoscibilità morfologica e tipologica.

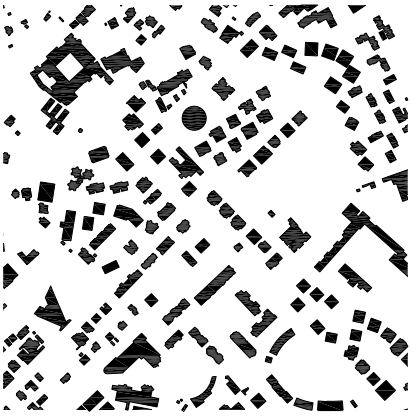
Il primo tende a rispondere alla volontà di comprendere dapprima il funzionamento di quelle porzioni di tessuto che oltre ad essere prototipi insediativi della città compatta, avessero una diffusione sul territorio e quindi una capacità di estendere i risultati delle analisi anche a casi non studiati ma analoghi. Il secondo conferisce attendibilità alle analisi rispetto al comportamento dei casi reali e, allo stesso tempo, garantisce un adeguato controllo delle variabili oggetto di studio, eliminando casi con discontinuità formali che renderebbero complessa l'interpretazione dei risultati. Il terzo ha lo scopo di costituire un quadro piuttosto ampio sia dal punto di vista formale che della sua traduzione in termini parametrici, consentendo di ragionare per differenze e per analogie. Il quarto mira a distinguere nettamente i casi tra loro e quindi le relazioni energia-densità-forma. Oltre alla volontà di comprendere il funzionamento dei tessuti edilizi reali e comprovare la validità del metodo proposto, la ricerca giunge a definire uno strumento di supporto al progetto, sia per la trasformazione dell'esistente che per la realizzazione del nuovo.

Consistenza fisica del costruito, parametri ad esso associato e densità, ottenuti mediante analisi grafiche e dati statistici, sono stati tradotti in diversi indicatori (di seguito elencati per esteso) tra cui quelli utilizzati nello ricerca di Meta Berghauser Pont e Per Haupt dal titolo *Spacematrix* (Pont & Haupt, 2010 p. 106-166). Una descrizione di questo tipo è piuttosto adeguata, in quanto capace di relazionare i parametri quantitativi di un contesto urbano con la morfo-tipologia a più scale di riferimento. La comparazione tra i tessuti urbani prescelti è stata condotta su più livelli: la rappresentazione mediante

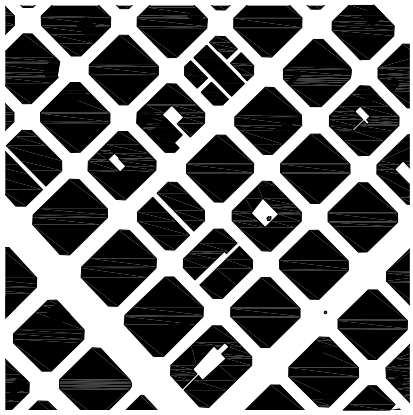

Spacemate
Intricato e compatto
Reticolare a grana grossa
Reticolare a grana media
Reticolare a grana fine
Organico a grana media
Organico a grana fina
Forme aperte
FSI - Floor Space Index
GSI - Ground Space Index
6.00
5.00
4.00
3.00
2.00
1.00
-
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80
0.90
1.00
Campo Marzio
Raval
Eixample
Gotic
Ribera
Ciutat Vella
Don Bosco
Prati
Balduina
Mar Bella
Barceloneta
Marconi
Esquilino
Gracia
Garbatella
Congres
Vila Olimpica
Torre Spaccata
Centocelle
Borrell i Soler
Torrino
Monte Sacro
Montbau
Colli Aniene
Decima
Tuscolano II
Corviale
V.le Europa
Finstrelles



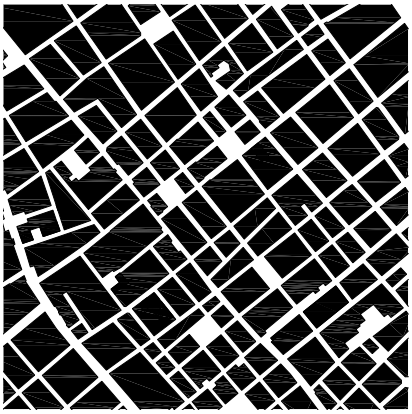
Barceloneta



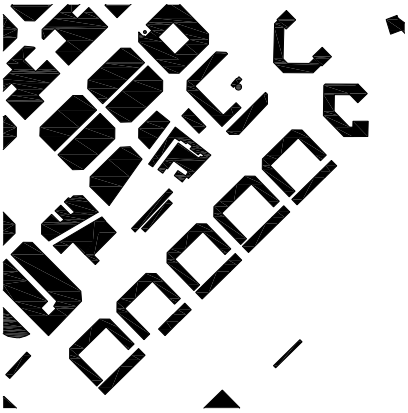
Borrel i Soler



Eixample



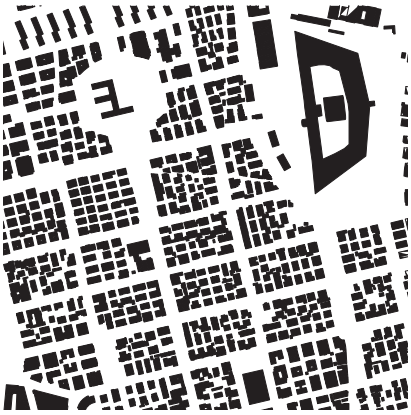
Gracia



Mar Bella

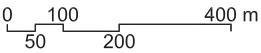
Raval

Balduina



Centocelle

Don Bosco



Prati

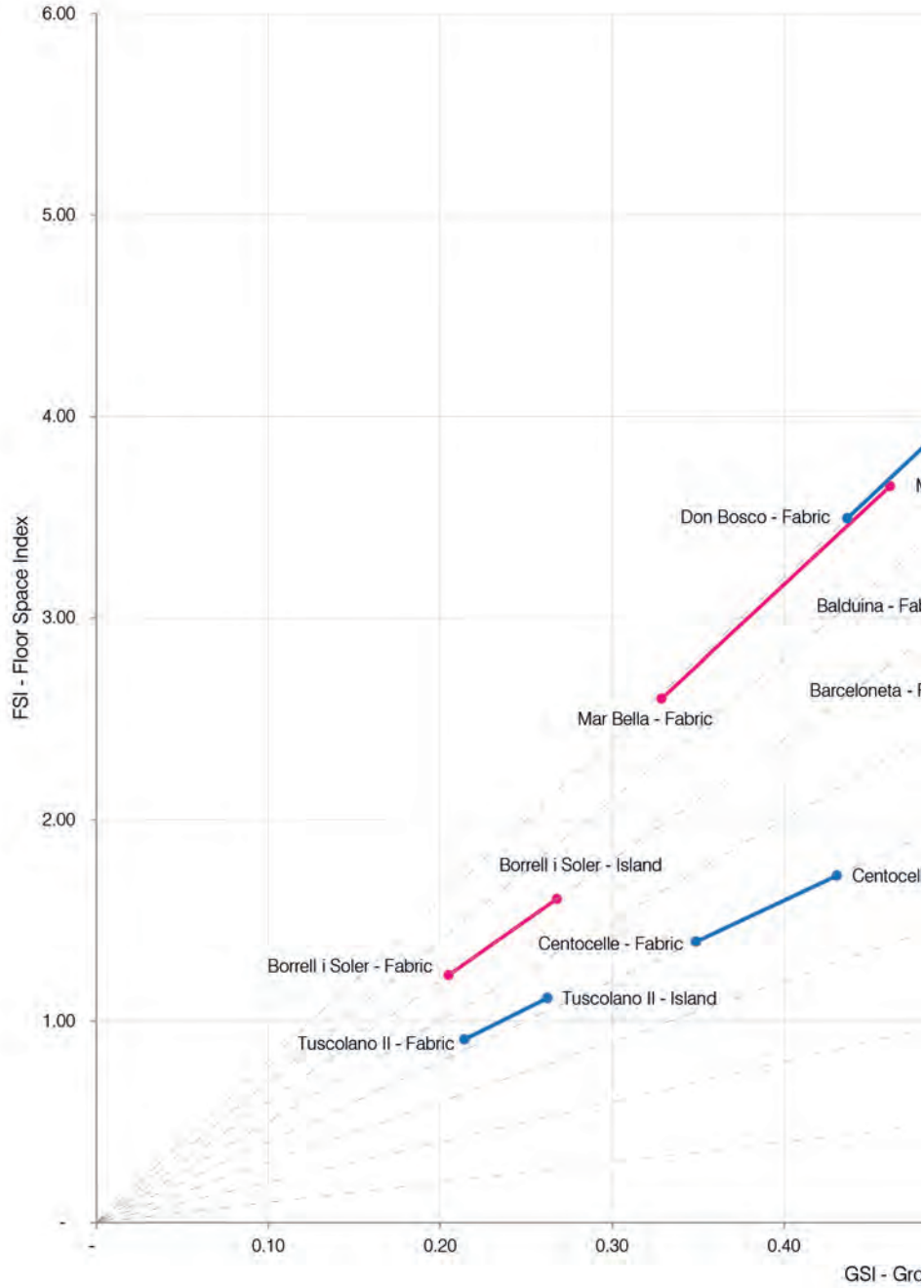
Tuscolano II

136. I tessuti urbani di Roma e Barcellona selezionati per lo studio e grafico di sintesi dell'analisi sul rapporto densità-morfologia urbana per il campione preliminare su cui si è effettuata la selezione (a fronte).

Gracia

Borrel i Soler

Eixample



Balduina

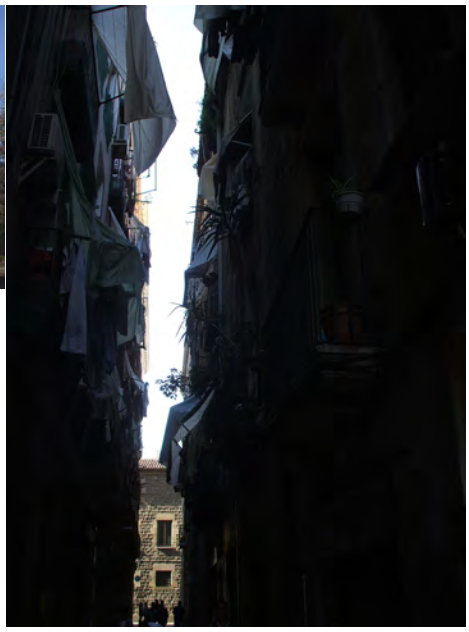
Centocelle

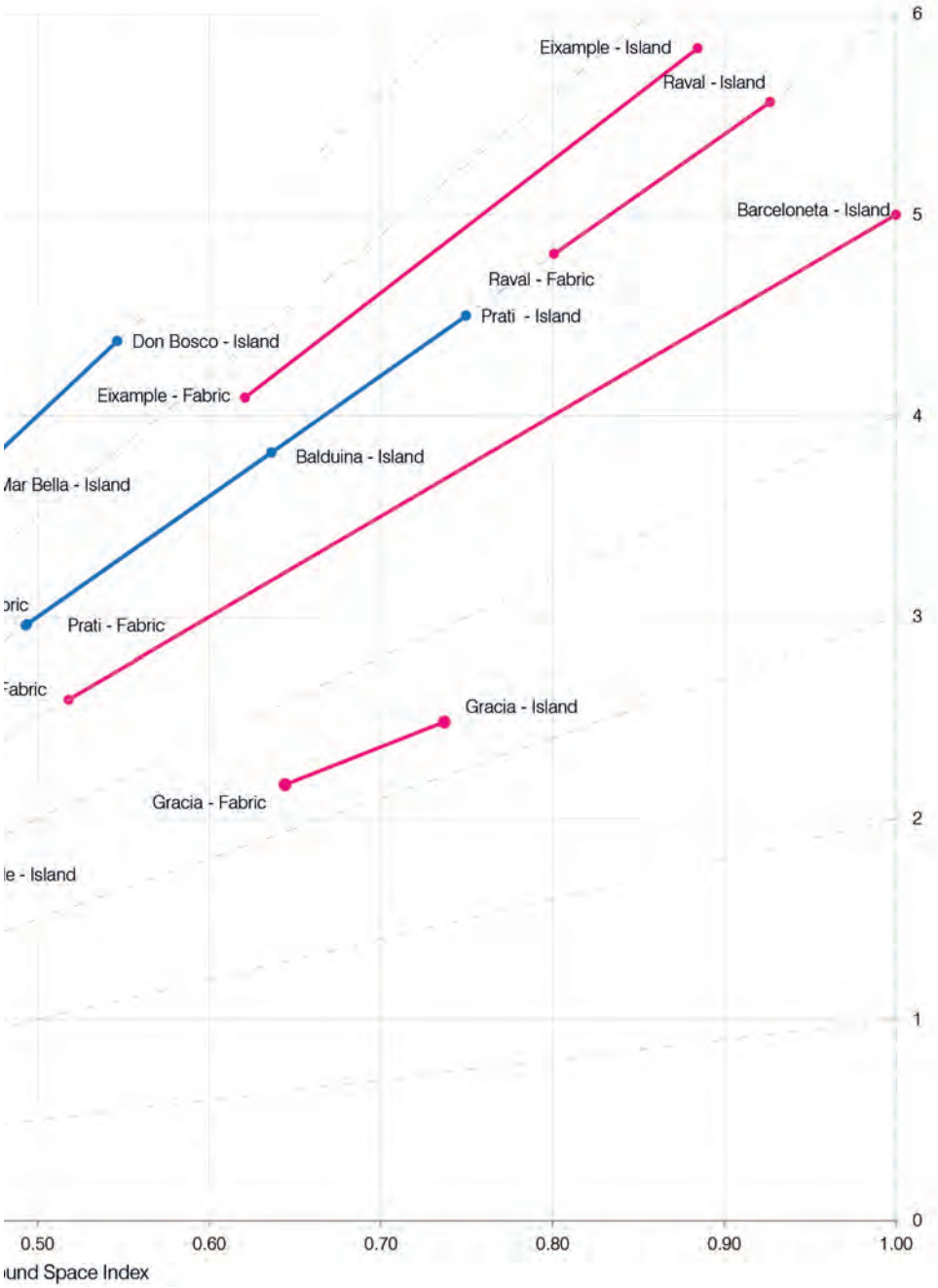
Don Bosco

Barceloneta

Mar Bella

Raval





Prati

Tuscolano II

137. Valori di densità per i casi di studio alla scala dell'isolato e del tessuto e foto dei fronti su strada.

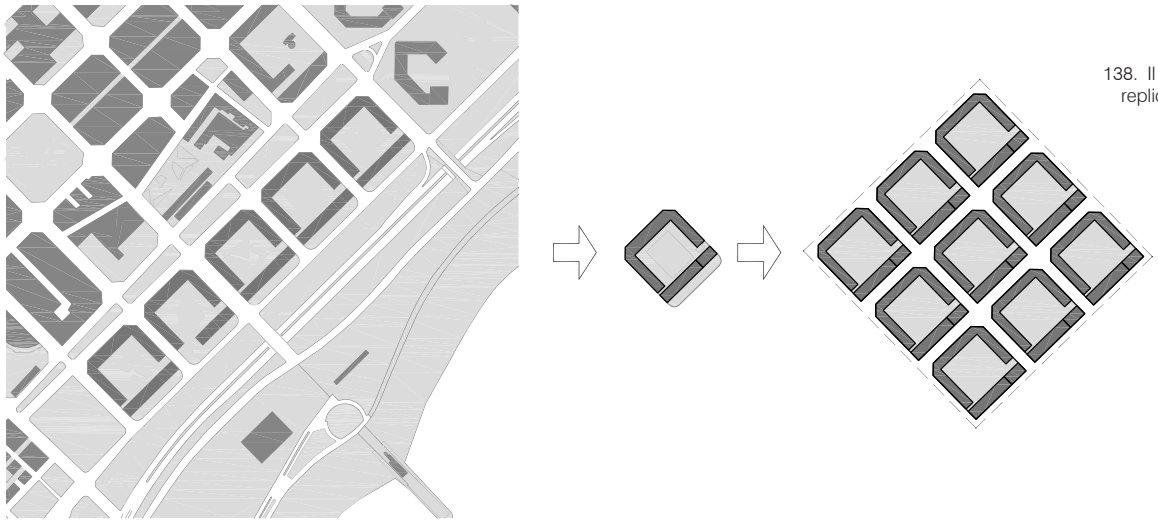
parametri di densità ha rappresentato l'elemento di congiunzione tra la morfologia del costruito e le valutazioni del guadagno solare e dei consumi energetici associati.
La prima fase di studio è consistita nell'analisi grafica e statistica dei tessuti reali sia alla scala dell'isolato che a quella del tessuto urbano. Come abbiamo visto nel capitolo due, uno degli elementi fondamentali per un calcolo della densità che non lasci spazio a interpretazioni incerte è la definizione chiara delle superfici di riferimento. Per essere in grado di confrontare aree differenti è importante stabilire i criteri d'individuazione dei confini di riferimento per entrambe le scale. In generale un confine demarca entità differenti, indicando che al momento del suo superamento avviene un cambiamento sostanziale. Riferendosi specificatamente al contesto urbano i limiti di un'area si possono distinguere secondo tre macro-tipologie (Pont & Haupt, 2010):

- limiti amministrativi: corrispondenti alle divisioni politico-amministrative del territorio o simili (e.g. municipali, postali, etc.);
- limiti "proiettati": che non tengono conto della conformazione politica, geografica o formale di un territorio ma si riferiscono a sistemi astratti di griglie, coordinate, elementi geometrici e/o dimensionali definiti a priori (e.g. un quadrato della superficie di un ettaro);
- limiti "morfologici": generati dalla stessa conformazione fisica dell'area di riferimento, ossia dalla struttura urbana stessa.

Soltanto a partire da queste definizioni, si comprende già che i questi ultimi sono la tipologia più adeguata al presente studio. I limiti amministrativi infatti sono da escludersi per due ragioni; primo perché per le scale di studio qui assunte come riferimento, hanno dimensioni non paragonabili alle entità amministrative, in quanto molto più ridotte; secondo perché spesso le divisioni politiche non seguono regole in accordo con l'omogeneità formale delle aree, ma piuttosto ragioni legate alla loro gestione. I limiti proiettati, invece, seppur più adatti dei primi, hanno il limite di essere totalmente indifferenti rispetto alla struttura morfologica urbana, elemento di primario interesse in questa sede. Ciò è vero sia per questioni legate direttamente alla forma del costruito, sia per quelle correlate alla stima del suo comportamento termodinamico ed energetico. Se immaginassimo di assumere come riferimento un'area quadrata di alcuni ettari di estensione (come proposto, ad esempio, da Luca Reale in *Densità, Città, Residenza*), sarebbe impossibile farvi ricadere esattamente tutte e soltanto le entità geometriche (rete stradale, aree ed edifici) del tessuto oggetto d'analisi, producendo distorsione nella parametrizzazione della densità e quindi della morfologia.
Lasciare che sia la natura stessa dei singoli tessuti, l'omogeneità nei confronti delle componenti e la conformazione di quest'ultime ad essere il discrimine nella definizione dei limiti è la maniera, a nostro avviso, più adatta a condurre ad interpretazioni corrette

della densità in rapporto alla morfologia e quindi altrettanto corrette in rapporto alle performance energetiche. Ciò permette, infatti, che anche le simulazioni termodinamiche rispecchino il più possibile il comportamento dei tessuti esistenti.[17]
Veniamo ora alle scale dimensionali dell'analisi. È fondamentale comprendere come la grandezza delle aree influisca sulle performance interpretative degli indici di densità. È stato osservato che, in generale, all'aumentare della scala di riferimento la descrizione parametrica assume sempre più un significato di valore medio (di natura statistica) e sempre meno un significato descrittivo di proprietà spaziali e formali. Per garantire la possibilità di lavorare a più scale contemporaneamente e fornire allo stesso tempo analisi coerenti del parametro densità, si è giunti ad individuare, per ogni livello dimensionale, dei gruppi di componenti del costruito (edificio, lotto, isolato, tessuto, quartiere, etc.) ed uno "spazio tara" che, uniti, costituiscono le aree di riferimento.
Per i motivi precedentemente enunciati, questo studio si concentra in particolare su due di questi livelli e sulle loro interazioni reciproche: l'*isolato* ed il *tessuto*. Per fugare ogni dubbio sul significato attribuito a tali termini si ripropongono e si adattano qui le definizioni utilizzate in *Spacematrix* (Pont & Haupt, 2010 p. 101). Per *isolato* s'intende l'entità urbana che comprende un insieme di lotti, in alcuni casi omogenei, costituiti da spazio costruito e da vuoto e delimitati da strade o percorsi pubblici. Nel caso in cui questi ultimi non fossero presenti, si assume come limite il perimetro dei lotti. Per *tessuto* s'intende un insieme composto d'isolati omogenei e della corrispondente rete di accesso ad essi; l'omogeneità morfo-tipologica e costruttiva ne viene a costituire il principale elemento d'individuazione, determinazione dimensionale e definizione dei limiti.[18]

Gli studi comparativi sono stati compiuti su un primo campione di tessuti urbani prevalentemente residenziali delle città di Barcellona e Roma, selezionati sulla base dei criteri esposti sopra e in grado di "incarnare" una varietà di epoche, vincoli, normative e culture progettuali.[19] Tale campione è stato raggruppato in sottoinsiemi secondo i principi del quadro tassonomico proposto da Antonio Cappuccitti e discusso in precedenza che riesce a descrivere ottimamente le peculiarità formali romane e ben si adatta alla realtà di Barcellona (Cappuccitti, 2006).[20]
Cronologicamente i tessuti edilizi selezionati abbracciano un periodo che a partire dai centri storici di epoca medievale, si sofferma su alcune tappe fondamentali tra XVI e XVIII secolo, attraversa le espansioni di otto e novecento e giunge fino ai giorni nostri e ai margini delle aree metropolitane. La distribuzione del numero di casi nelle diverse epoche all'interno di questo intervallo temporale ha tenuto conto della varietà morfologica che alcune di queste possono aver espresso rispetto ad altre. È il caso del periodo iniziato con la fase di ricostruzione seguita al secondo conflitto mondiale, che ha visto le



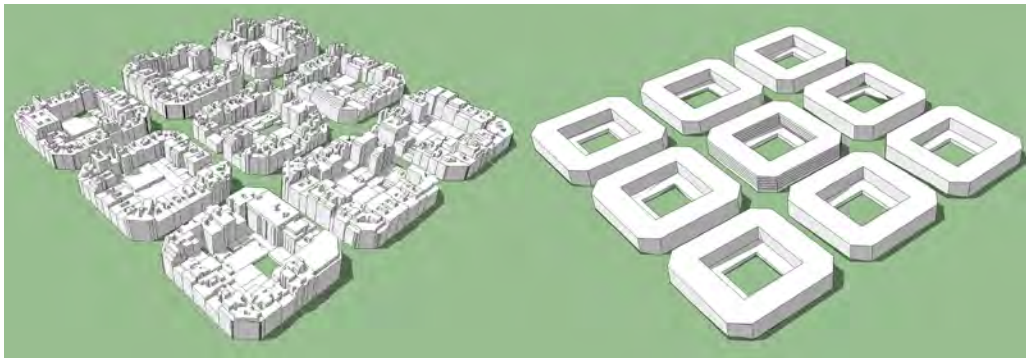
138. Il processo di normalizzazione e replicazione per il caso di Marbella.

due città espandersi a ritmi elevati.

In base a questa classificazione, si è giunti a costruire un grafico del tipo *Spacemate,* tramutando la morfo-tipologia per mezzo della consistenza fisica dei tessuti urbani in compattezza (GSI) ed intensità del costruito (FSI) [136].[21] In questa prima fase il processo è stato compiuto assumendo come scala di riferimento quella del tessuto, poiché più adatta a descrivere la forma complessiva di un impianto urbano, sia per elementi, che per dimensioni considerate. Osservando il grafico è possibile comprendere come le differenti morfologie si distribuiscano a seconda dei parametri di densità posseduti. Per quanto anche questa rappresentazione possa riservare dei limiti - specie nel descrivere i tessuti compositi e in generale quelli in cui prevalgono gli spazi aperti sul costruito -, più di altre forme di relazione tra densità e morfologia conserva una buona coerenza. Si noti, ad esempio, come (collegando idealmente i punti) le forme composite situate in prossimità dell'origine individuino delle rette a maggiore inclinazione rispetto a quelli a grana fina e media, e come quelli a grana grossa e media tendano a raggrupparsi nelle aree centrali del grafico. In sintesi, anche utilizzando una classificazione morfologica più complessa da quella proposta dagli autori, il diagramma ci permette - con le dovute approssimazioni - di individuare dei sottodomini in cui si concentrano le forme urbane simili.[22] Per quanto si ritenga, in accordo con gli autori, che l'interesse di questo strumento d'indagine sia proprio il superamento di questa tassonomia urbana qualitativa basata sulla forma, è doveroso rilevare tale capacità descrittiva. Allo stesso tempo, essa permette di tradurre la morfologia in parametri, evitando la costruzione, caso per caso, di regole tassonomiche morfo-tipologiche che sono un compromesso inevitabile tra affidabilità, coerenza e utilità.

Sulla base di tali risultati parziali e delle logiche che guidano il perseguimento degli obiettivi prefissati, si è proceduto alla scrematura dei tessuti urbani selezionando gli undici su cui sviluppare le analisi. A partire dalle cartografie urbane, si sono analizzati dapprima i tessuti nella loro conformazione reale, individuandone i dati sulla consistenza del costruito, sulla popolazione e sul numero di alloggi per derivarne alcuni parametri generali di densità (Ajuntament de Barcelona, 2012). I dati non deducibili direttamente dalle cartografie sono stati reperiti per Barcellona sul database dell' *Ajuntament de Barcelona* (l'ente territoriale municipale) mentre per la città di Roma, l'impossibilità di reperire dati accessibili, specifici per i singoli tessuti urbani, ha reso necessaria una stima sulla base delle volumetrie reali.[23]

In seguito per il calcolo delle variabili descrittive del costruito e necessarie al calcolo dei parametri di densità, si è preso a riferimento un isolato riconosciuto come mediamente rappresentativo del tessuto in esame, e gli isolati ad esso adiacenti. Tale operazione ha consentito, al contempo, di definire le superfici di riferimento ed i loro limiti e calcolare



139. Confronto tra isolati tipo dell'Eixample e isolati modellati sulla base dei loro parametri di densità medi.

le variabili di densità. Sono stati calcolati a scala di *isolato* e di *tessuto lordo* i valori di:

- *Population (inhab.)*
- *A - Base land area (m2)*
- *Land area density*
- *(inhab./km2)*
- *B - Built up area*
- *or Footprint (m2)*
- *F - Gross Floor Area (m2)*
- *FSI - Building Intensity or F.A.R. (m2/m2)*
- *GSI - Coverage (m2/m2)*
- *OSR - Spaciousness (m2/m2)*
- *L - Building Height (floor n.)*

A partire da questi valori calcolati e dalla struttura dei tessuti reali sono stati realizzati i modelli tridimensionali dei diversi isolati utili alle simulazioni sulla radiazione solare e sui consumi energetici, che sono stati sottoposti ad un processo di normalizzazione.[24] I contesti urbani, modellati ricalcando la struttura geometrica dei tessuti reali, vengono in questo modo a comporsi replicando gli isolati omogenei suddetti. Come spiegato nel paragrafo precedente, questo metodo è stato già utilizzato efficacemente nello studio delle relazioni tra tipologie, densità e comportamento energetico, rivelandosi utile a impedire che le singolarità formali e le incongruenze spaziali degli isolati reali, pregiudichino l'interpretazione dell'incidenza su questo delle distinte morfologie (Zhang J. et al. 2011). Accettando dunque di lavorare con "l'arroganza della media" si escludono gli effetti delle specificità del singolo elemento, che possono compromettere la comprensione del reale comportamento ambientale e produrre difficoltà nell'interpretazione dei risultati (Pont & Haupt, 2010 p.100). Si è osservato, infatti, che i risultati per i diversi casi reali possono essere comparati con difficoltà per la grossa condizione di variabilità dei sistemi urbani.

In questo modo, si è giunti a tradurre in valori parametrici di densità i modelli dei casi di studio, in modo da poter ricercare leggi numeriche di variazione tra questi e il guadagno solare. I parametri calcolati a scala di *isolato,* di *tessuto netto* e di *tessuto lordo* sono:

- *Population (inhab.)*
- *A - Base land area (m2)*
- *Land area density (inhab./km2)*
- *Built up volume (m3)*
- *Skin surface (m2)*
- *Urban density (m3/m2)*
- *B - Built up area*

  or Footprint (m2)
- *F - Gross Floor Area (m2)*
- *FSI - Building Intensity or FAR (m2/m2)*
- *GSI - Coverage (m2/m2)*
- *OSR - Spaciousness (m2/m2)*
- *L - Building Height (floor n.)*
- *Height/width ratio x (m/m)*
- *Height/width ratio y (m/m)*

Successivamente, tramite il simulatore *Heliodon 2* sono stati studiati i modelli digitali sotto il profilo del guadagno solare. Il software simula il tragitto solare in funzione della

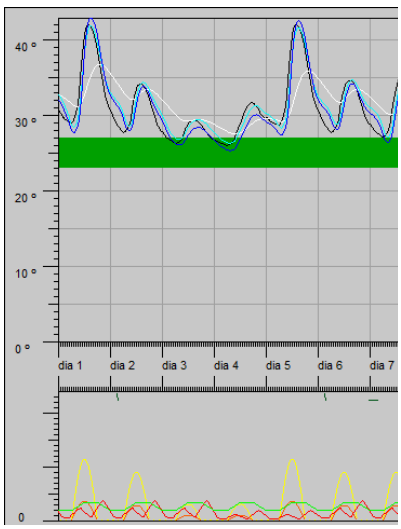
140. Schermata tipo del software Archisun utilizzato per le simulazioni sui consumi energetici.

località geografica e permette di dedurre informazioni e dati sulla quantità di radiazione solare ricevuta dalle superfici di un edificio, tenendo in conto le eventuali ostruzioni dell'intorno urbano (Beckers & Masset, 2011). Rispetto ad altri simulatori, *Heliodon 2* è strutturato in conformità ad alcune ipotesi e semplificazioni teoriche, tali da renderlo strumento adatto a studi comparativi alla scala urbana. Gli algoritmi di calcolo non restituiscono la reale radiazione ricevuta in un punto: tengono in conto la sola componente diretta - trascurando la diffusa e la riflessa - e considerano tutti i giorni dell'anno come se fossero assolati. Ulteriore vantaggio è che gli tali algoritmi finiscono per aver una stretta relazione con le proprietà geometriche degli oggetti (superfici, volumi, orientamento, forma, etc.), risultando quindi adatto allo studio delle relazioni tra luce solare, radiazione e densità.

Le performance dei singoli casi sono state valutate per il periodo estivo in due condizioni differenti: isolato con e senza ostruzioni all'intorno.[25] Per le superfici dell'involucro di ognuno, vengono determinati ed esaminati i seguenti valori:

- Radiazione solare istantanea (kW)
- Guadagni termici solari (kWh)
- Flusso solare (kWh/m2)
- Ore di luce solare (h)
- Sky view factor (%)

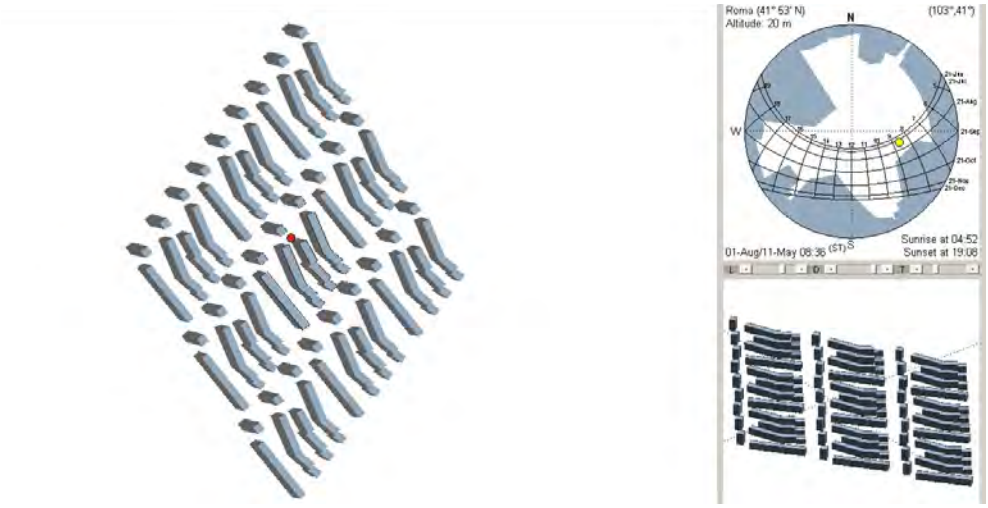
I modelli sono stati realizzati in maniera da poter distinguere suddetti parametri secondo orientamenti e livelli. In questo modo, oltre ai valori globali, è possibile ricavare valori complementari, utili a tratteggiare in maniera piuttosto completa il comportamento degli isolati rispetto alla radiazione solare. Poiché per tessuti omogenei, le superfici di copertura non vengono influenzate dalla proiezione delle ombre di costruzioni all'intorno, queste sono state escluse dal calcolo. I guadagni termici permettono di esaminare le performance dei casi con e senza ostruzioni, mentre il flusso solare è utile per confrontare tra loro i differenti tessuti, ad esempi, osservando l'andamento in funzione dei piani e degli orientamenti.



141. Comportamento termico dell'isolato tipo di Barceloneta in estate, fornito dal software Archisun.

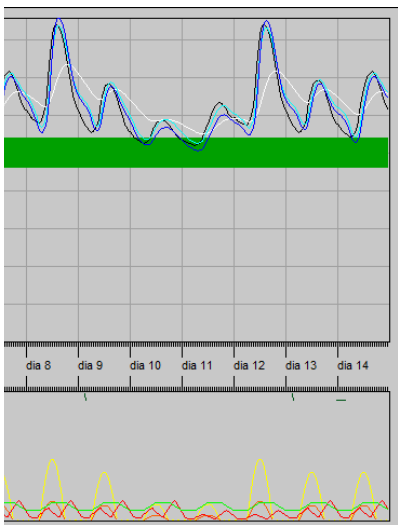
La simulazione energetica condotta mediante il software *Archisun 3.0*[26], è stata impostata in modo da controllare al meglio la variazione dei parametri geometrici e di densità che giocano un ruolo principale nello studio. Il programma sviluppato dal gruppo di ricerca *Arquitectura, Energia i Medi Ambient* della *Universitat Politècnica de Catalunya* (Serra & Rosset, 2000) è uno strumento molto utile ed efficace a modellare la scala urbana. Rispetto ad altri strumenti di simulazione energetica, non si basa su modelli agli elementi finiti: la descrizione dell'organismo architettonico è affidata a funzioni pensate per descrivere l'interazione geometria-ambiente esterno mediante le proprietà del volume e del suo involucro e delle condizioni climatiche urbane. Non pretende di

142. Schermata del software Heliodon 2, utilizzato per le simulazioni sulla radiazione solare.



calcolare valori esatti, ma consente di utilizzare criteri generali coerenti di valutazione. Il programma considera l'oggetto di studio secondo il modello teorico della *scatola grigia,* e associa ad esso la localizzazione geografica o climatica e alcuni parametri basici sulla tipologia d'uso e sui consumi.

Valori di default sono stati applicati a tutte le variabili eccetto quelle relazionate alla morfologia urbana ed al suo comportamento nei confronti della radiazione solare. La localizzazione geografica, le caratteristiche climatiche, e l'alternanza di giorni tipici sono i medesimi per ognuno degli undici casi di studio. La coincidenza climatica ci permette in questo caso che i modelli teorici utilizzati per la comparazione, pur avendo come clima di riferimento quello di Barcellona, consentono sia un corretto confronto delle differenze morfologiche (per l'uso di un solo clima di riferimento) sia una corrispondenza prossima al modello reale (per la similitudine tra climi delle due città). Il software considera, nell'alternanza delle quattro stagioni, valori medi per ogni mese. Definisce poi, su base statistica, per ogni stagione un'alternanza di tre giorni tipici, differenti dalla condizione media per condizioni climatiche. Sono stati invece inseriti i valori della densità urbana calcolati dai modelli, poiché incidono sull'equazione di bilancio termico per effetto dell'influenza che possiedono primariamente sulla temperatura, l'umidità e la velocità dell'aria.



I parametri termici delle superfici opache, trasparenti dell'involucro e delle superfici interne, così come le caratteristiche impiantistiche, sono stati mantenuti di *default*. Un valore fisso pari al 25% del totale è stato assegnato alle superfici trasparenti verticali. Si è intervenuto invece sul numero di persone occupanti gli isolati per mezzo di dati statistici (Open_Data_BCN, 2012).

La modellazione delle ostruzioni necessita qui di alcune considerazioni. *Archisun 3.0* permette di inserire mediante interfaccia grafica le caratteristiche dell'intorno urbano, ma nella pratica lo strumento non è in grado di modellare con la precisione necessaria le ostruzioni in forma distinta nei diversi tessuti. Per tale ragione, con lo scopo di esaminare le differenze tra il caso con e senza ostruzioni, si è intervenuto sul *fattore di ostruzione dell'involucro.* Con questo nome, il software indica un parametro con valori compresi tra zero e uno che interviene nell'ostruire le sole porzioni trasparenti dell'involucro rispetto alla radiazione solare diretta, permettendogli di considerare l'effetto termico di eventuali ostruzioni urbane.[27] Per determinarne il valore nei diversi casi, con *Heliodon 2* si sono calcolati gli *sky view factor* medi per ognuna delle facciate a diverso orientamento.

Nel confronto con i risultati di entrambe le analisi energetiche per la determinazione delle leggi di variazione tra questi e gli indici di densità sono state considerate le scale dell'isolato e del tessuto lordo. Nel presentare i risultati se ne riporteranno i valori e le analisi grafiche alla sola scala dell'isolato, in cui tali legami si sono mostrati più evidenti.

Casi di studio

BARCELONETA

Il quartiere di *Barceloneta*, a ridosso del porto, è stato una delle prime espansioni urbane al di fuori delle mura della città storica. Progettato nel 1753 con un piano unitario, è costituito da un tessuto di isolati stretti e lunghi totalmente edificati e da una maglia stradale fitta e dalle ridotte dimensioni. Il modulo base dell'isolato si compone di unità edilizie quadrate, di lato 8,40 m. Durante il XIX e XX secolo ha subito un processo di densificazione che ha portato progressivamente a un incremento dello sfruttamento dei lotti: l'altezza media degli edifici è passata dai due piani originari ai quattro-sei attuali. Rispetto al rapporto GSI-FSI si segnalano due aspetti: l'elevata densità alla scala dell'isolato - dovuto alla quasi totale coincidenza tra lotto e superficie coperta - e la marcata variabilità degli indicatori nel passaggio tra le due scale, dovuto all'incidenza degli spazi aperti, costituiti prevalentemente dalla fitta rete stradale.

EIXAMPLE

L'*Eixample* rappresenta il tipico tessuto della città ottocentesca europea a densità medio-alta, composto da isolati quadrati di lato 113,3 m con il tipico *chaflán* sugli angoli ed una rete stradale ampia. Nel corso del tempo le regole di edificazione del piano originario di Ildefons Cerdà sono state modificate dal susseguirsi di normative, che hanno consentito, in linea generale, un crescente sfruttamento intensivo dei lotti. L'aumento del numero massimo di piani edificabili e della profondità degli alloggi, l'occupazione delle corti interne ha gradualmente prodotto un aumento della densità del costruito. Gli isolati nella condizione odierna, si caratterizzano per edifici profondi all'incirca tra i 24 ed i 30 metri con patii di illuminazione e ventilazione all'interno (spesso di modeste dimensioni), altezza media e una consistente superficie coperta. Dal diagramma si evincono elevata compattezza e densità, che raggiungono valori simili ai tessuti compatti dei centri storici, nonostante il GSI sia minore rispetto a questi.

MAR BELLA

Mar Bella è un esempio di come l'impianto urbanistico di Ildefons Cerdà sia stato oggetto d'interpretazioni contemporanee. Con questo nome si identifica un complesso di cinque isolati che fronteggiano il lungomare antistante l'area di *Diagonal Mar* e del *Forum*: un tipo di impianto urbano piuttosto diffuso in questo brano di città che una volta ospitava le attività produttive della Barcellona industriale e che a partire dalle Olimpiadi del 1992 ed in seguito con il progetto *22@Barcelona* è stata oggetto di un recupero urbano progressivo, con l'obiettivo di recuperarne l'antica vocazione. Pertanto *Mar Bella* è significativa non solo per se stessa ma anche per la rappresentatività rispetto ad altre

porzioni di costruito presenti in quest'area, nelle sue vicinanze e, per estensione, rispetto agli interventi contemporanei negli impianti compatti della città europea in genere. L'isolato e la sua corte vengono definiti da un edificio a C di altezza simile ma minore profondità rispetto alle cellule dell'*Eixample*, e da un basso edificio in linea che accoglie una torre di tredici piani nell'angolo. Nonostante l'impianto urbano sia il medesimo dell'*Eixample*, i valori di intensità e compattezza si riducono in proporzione tra il 40% e il 50%, nonostante il maggiore numero di piani.

BORREL I SOLER (PEDRALBES)

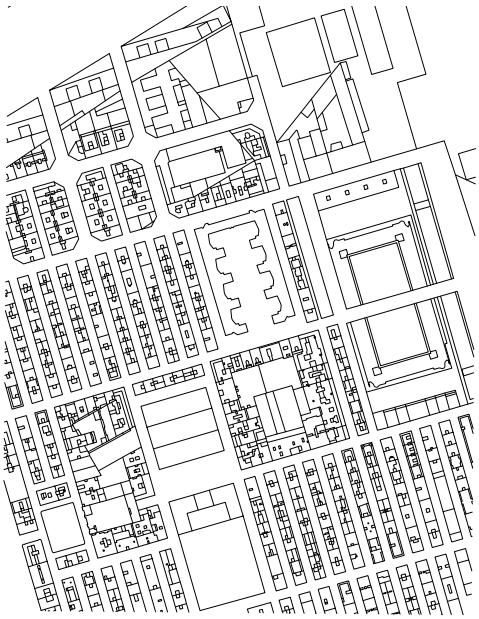
Nella seconda metà del XX secolo molte città europee, indipendentemente dalla loro dimensione, sperimentano una fase di espansione durata quasi fino alla fine del secolo scorso, in un primo periodo caratterizzata da interventi pubblici di edilizia popolare e successivamente basata sull'iniziativa privata. Questo tessuto edilizio riproduce una delle tipologie tipiche di questi ultimi: è costituito da palazzine residenziali dotate di verde e una rete stradale a maglie piuttosto ampie. L'edificio tipo è un quadrilatero di lato approssimativamente di venti metri e cinque piani fuori terra che si ripete con omogeneità in buona parte del tessuto edilizio. Nonostante l'altezza, presenta bassi valori di densità dovuti principalmente alla presenza delle ampie aree verdi negli isolati e, quindi, una scarsa incidenza sullo "spazio tara" da parte della rete di collegamento. Per questo motivo la distanza sul diagramma tra la scala dell'isolato e quella del tessuto è abbastanza ridotta rispetto ai casi più compatti.

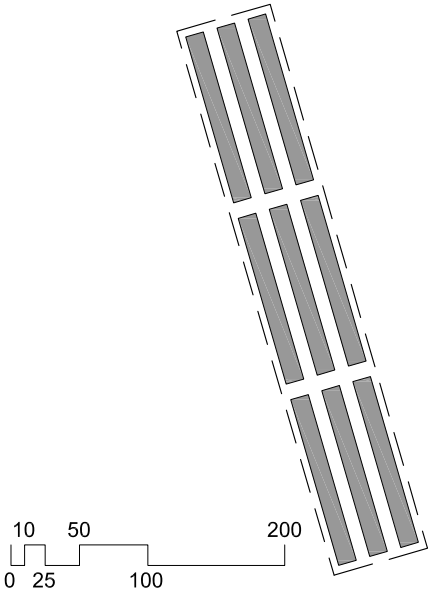
RAVAL

È uno dei quartieri del distretto della *Ciutat Vella* sorto intorno al XIV secolo come seconda corona di ampliamento al di fuori del nucleo storico, prima romano e poi medievale, per assecondare le aspettative di crescita di Barcellona e dislocarvi servizi e industrie, nonché i terreni produttivi all'interno del nuovo ordine di mura che lo delimitava. Le trasformazioni più incisive, che hanno tracciato la sua struttura attuale, sono avvenute tra il XVIII e il XIX secolo: iniziando a tramutarsi in vero e proprio quartiere produttivo, vide aumentare la domanda di abitazioni per i lavoratori delle nuove industrie, che produssero un'intensa densificazione tale da renderlo uno dei quartieri più densi d'Europa. Con l'espansione ottocentesca del *Plan Cerdà,* perse la vocazione produttiva e si convertì il quartiere residenziale per le classi povere. Una condizione che, nonostante gli sforzi di riqualificazione profusi dall'amministrazione, si percepisce ancora oggi. Si presenta come un tessuto compatto ed estremamente denso, composto da blocchi edificati a trama irregolare e una rete di percorsi di ridotte dimensioni. Gli isolati, per la maggior parte con impianto a corte sono costituiti da edifici dalla morfologia simile alle cellule edilizie che compongono l'Eixample, ma con superfici ridotte. FSI e GSI sono

01 Barceloneta

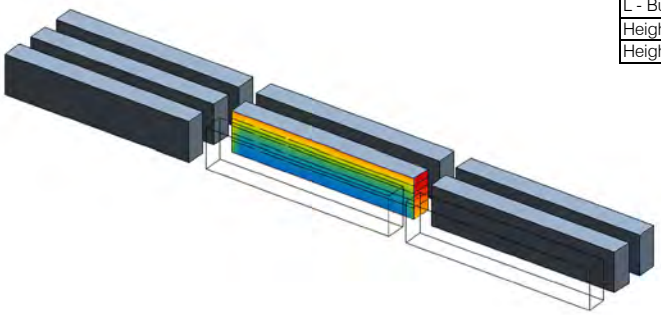
City: Barcelona
Construction period: 18th-19th century



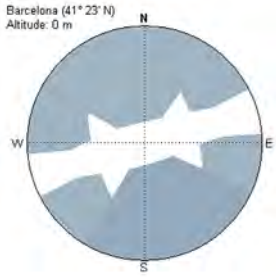


Level of aggregation	Island	Fabric
A - Base land area (m^2)	10000	20000
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	5.12	2.55
GSI - Coverage(m^2/m^2) [Bx/Ax]	0.97	0.48
OSR - Spaciousness	0.01	0.2
L - Building Height	5.27	5.27

Level of aggregation	Single island	Islands	Fabric
Population (inhab.)*	130	1,170	1,170
A - Base land area (m^2)	680	6,120	11,813
Land area density (inhab./km^2)	191,176.47	191,176.47	99,047.62
Built up volume (m^3)	11,220.00	100,980.00	100,980.00
Skin surface (m^2)	4,274.00	38,466.00	38,466.00
Urban density (m^3/m^2)	16.50	16.50	8.55
B - Built up area or Footprint (m^2)	680.00	6,120.00	6,120.00
F - Gross Floor Area (m^2)	3,400.00	30,600.00	30,600.00
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	**5.00**	**5.00**	**2.59**
GSI - Coverage (m^2/m^2) [Bx/Ax]	**1.00**	**1.00**	**0.52**
OSR - Spaciousness	0	0	0.19
L - Building Height	5.00		
Height/width ratio x	2.54		
Height/width ratio y	2.20		

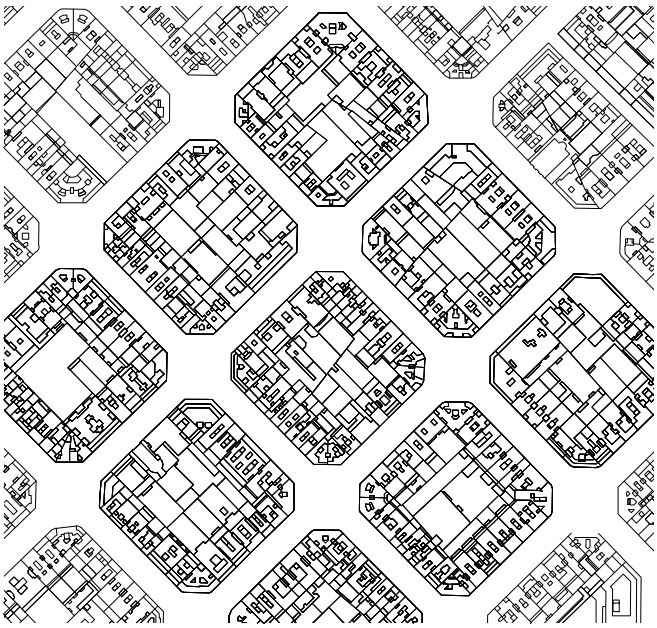


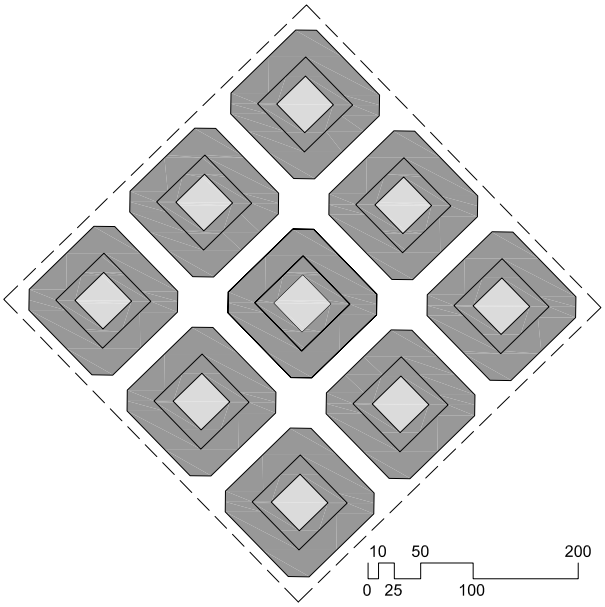
Barceloneta



02 Eixample

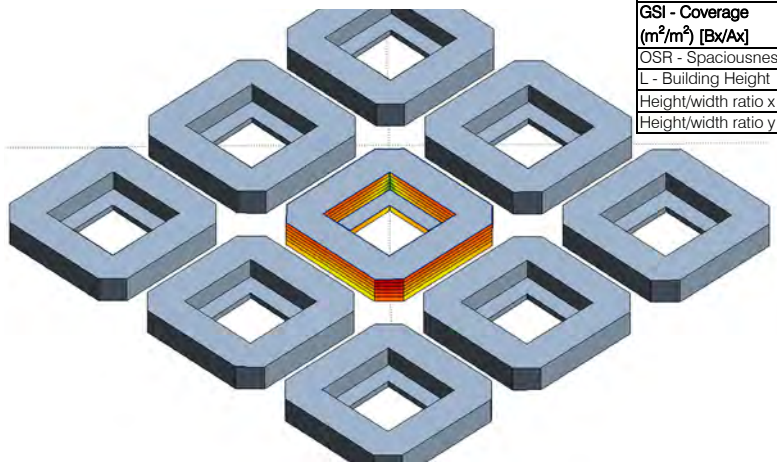
City: Barcelona
Construction period: 19th-20th century

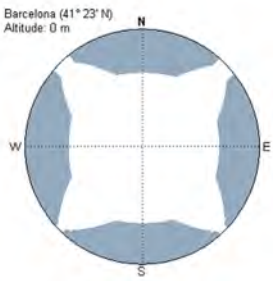




Level of aggregation	Islands	Fabric
A - Base land area (m^2)	121000	188000
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^3) [Fx/Ax]	4.5	2.89
GSI - Coverage(m^2/m^2) [Bx/Ax]	0.86	0.56
OSR - Spaciousness	0.03	0.015
L - Building Height	5.2	5.2

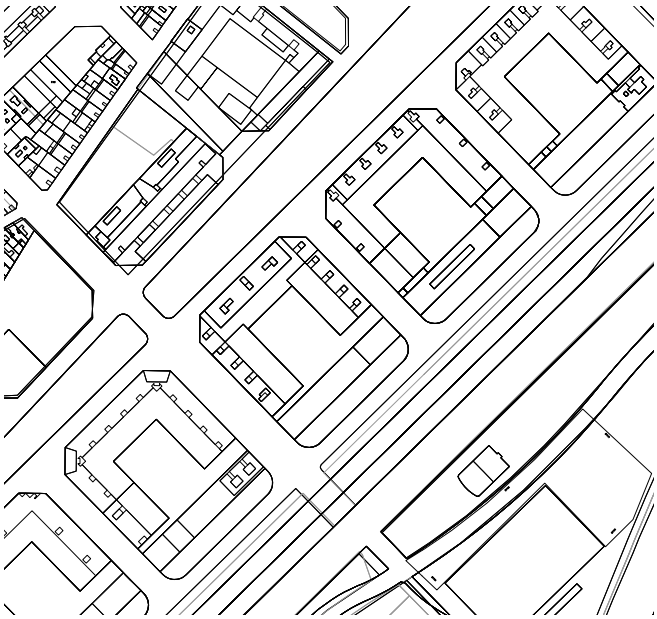
Level of aggregation	Single island	Islands	Fabric
Population (inhab.)*	302.00	2,718.00	2,718.00
A - Base land area (m^2)	12,604	113,436	161,604
Land area density (inhab./km^2)	23,960.65	23,960.65	16,818.89
Built up volume (m^3)	177,785.16	1,600,066.44	1,600,066.44
Skin surface (m^2)	35,038.80	35,038.80	315,349.20
Urban density (m^3/m^2)	14.11	14.11	9.90
B - Built up area or Footprint (m^2)	11,148.00	100,332.00	100,332.00
F - Gross Floor Area (m^2)	73,450.77	661,056.89	661,056.89
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	**5.83**	**5.83**	**4.09**
GSI - Coverage (m^2/m^2) [Bx/Ax]	**0.88**	**0.88**	**0.62**
OSR - Spaciousness	0.02	0.02	0.09
L - Building Height	6.59		
Height/width ratio x	0.975		
Height/width ratio y	0.975		

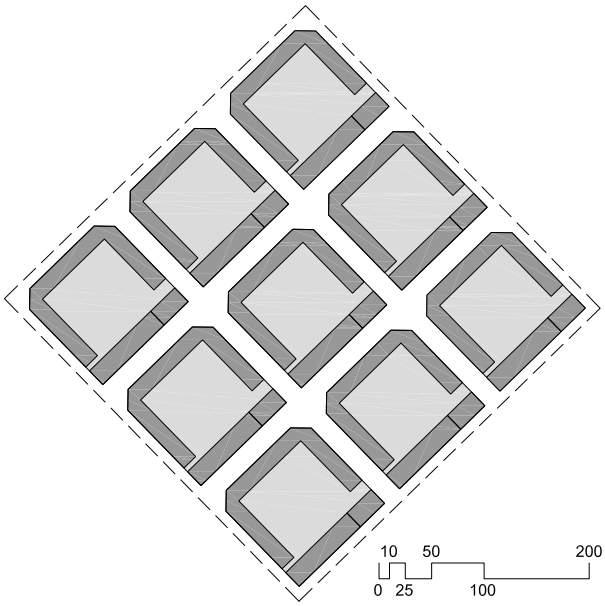




03 Mar Bella

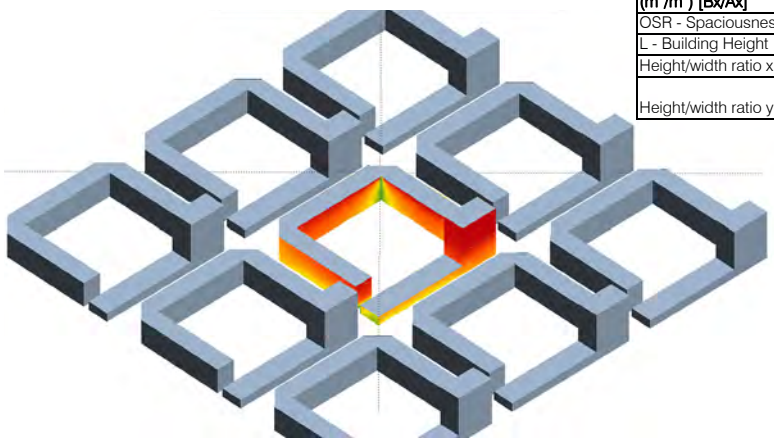
City: Barcelona
Construction period: 2000

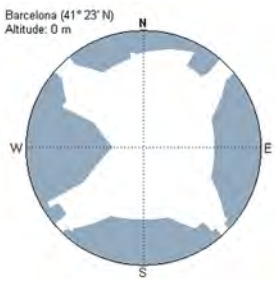




Level of aggregation	Islands	Fabric
A - Base land area (m^2)	12000	22000
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	3.11	1.73
GSI - Coverage(m^2/m^2) [Bx/Ax]	0.44	0.25
OSR - Spaciousness	0.18	0.44
L - Building Height	7.03	7.03

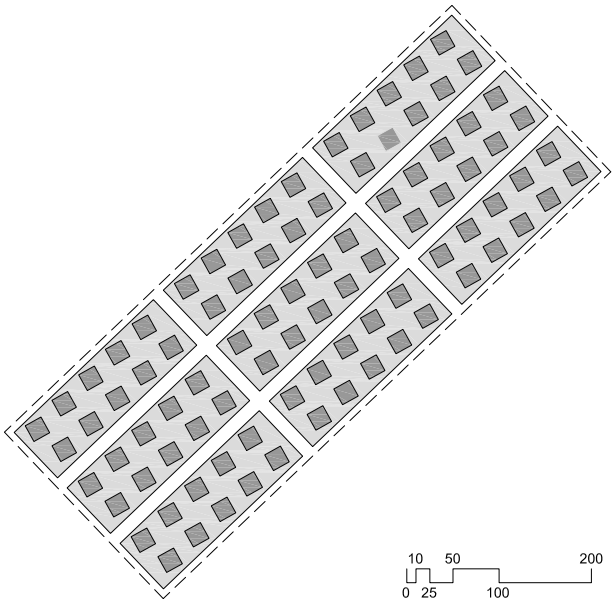
Level of aggregation	Single island	Islands	Fabric
Population (inhab.)	493.00	4,437.00	4,437.00
A - Base land area (m2)	12,724.00	114,516.00	160,800.00
Land area density (inhab./km2)	38,745.68	38,745.68	27,593.28
Built up volume (m3)	114,673.08	1,032,057.72	1,032,057.72
Skin surface (m^2)	29,183.00	262,647.00	262,647.00
Urban density (m3/m2)	9.01	9.01	6.42
B - Built up area or Footprint (m^2)	5,874.00	52,866.00	52,866.00
F - Gross Floor Area (m^2)	46,487.00	418,383.00	418,383.00
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	**3.65**	**3.65**	**2.60**
GSI - Coverage (m^2/m^2) [Bx/Ax]	**0.46**	**0.46**	**0.33**
OSR - Spaciousness	0.15	0.15	0.26
L - Building Height	7.91		
Height/width ratio x	1.05		
Height/width ratio y	1.19		





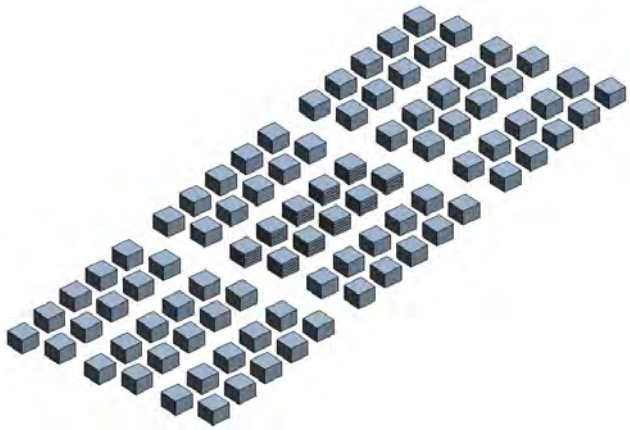
04 Borrel i Soler

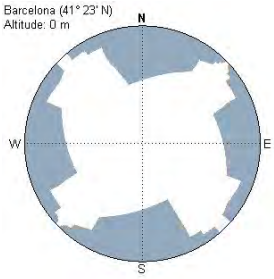
City: Barcelona
Construction period: 1970s



Level of aggregation	Islands	Fabric
A - Base land area (m^2)	14000	19000
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	1.21	0.9
GSI - Coverage(m^2/m^2) [Bx/Ax]	0.24	0.18
OSR - Spaciousness	0.63	0.91
L - Building Height	4.96	4.96

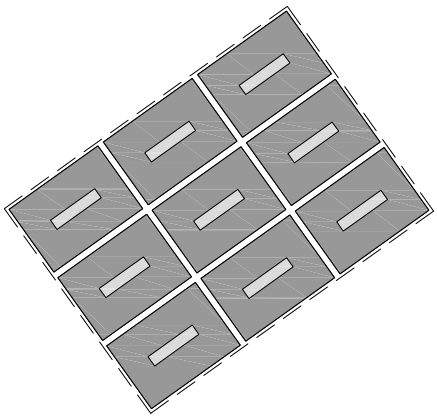
Level of aggregation	Single island	Islands	Fabric
Population (inhab.)	209	1881	1881
A - Base land area (m2)	14,195	127,755	167,108
Land area density (inhab./km2)	14,723.49	14,723.49	11,256.19
Built up volume (m3)	57,040.00	513,360.00	513,360.00
Skin surface (m^2)	19,314.00	173,826.00	173,826.00
Urban density (m3/m2)	4.02	4.02	3.07
B - Built up area or Footprint (m^2)	3,802.50	34,222.50	34,222.50
F - Gross Floor Area (m^2)	22,815.00	205,335.00	205,335.00
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	**1.61**	**1.61**	**1.23**
GSI - Coverage (m^2/m^2) [Bx/Ax]	**0.27**	**0.27**	**0.20**
OSR - Spaciousness	0.46	0.46	0.65
L - Building Height	6.00		
Height/width ratio x	0.78		
Height/width ratio y	1.10		

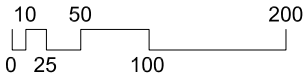




05 Raval

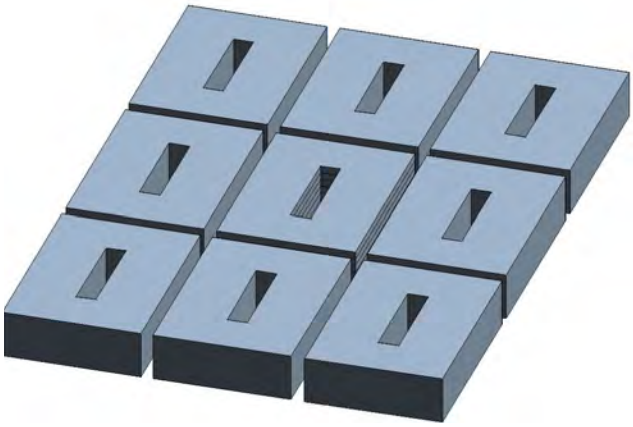
City: Barcelona
Construction period: 18th-19th century





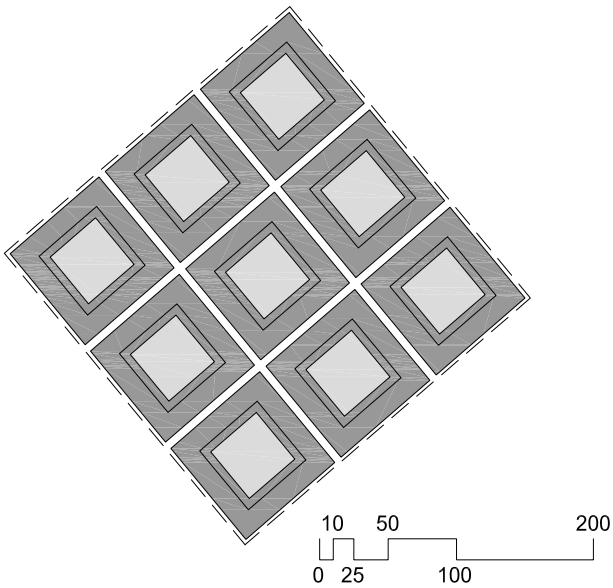
Level of aggregation	Islands	Fabric
A - Base land area (m^2)	14000	16000
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^3) [Fx/Ax]	4.47	3.83
GSI - Coverage(m^2/m^2) [Bx/Ax]	0.91	0.78
OSR - Spaciousness	0.02	0.06
L - Building Height	4.89	4.89

Level of aggregation	Single island	Islands	Fabric
Population (inhab.)	791	7119	7119
A - Base land area (m2)	4,487	40,383	46,729
Land area density (inhab./km2)	176,287.05	176,287.05	152,346.51
Built up volume (m3)	81,077.00	729,693.00	729,693.00
Skin surface (m^2)	15,488.00	139,392.00	139,392.00
Urban density (m3/m2)	18.07	18.07	15.62
B - Built up area or Footprint (m^2)	4,157.80	37,420.20	37,420.20
F - Gross Floor Area (m^2)	24,946.80	224,521.20	224,521.20
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	**5.56**	**5.56**	**4.80**
GSI - Coverage (m^2/m^2) [Bx/Ax]	**0.93**	**0.93**	**0.80**
OSR - Spaciousness	0.01	0.01	0.04
L - Building Height	6.00		
Height/width ratio x	3.90		
Height/width ratio y	3.90		



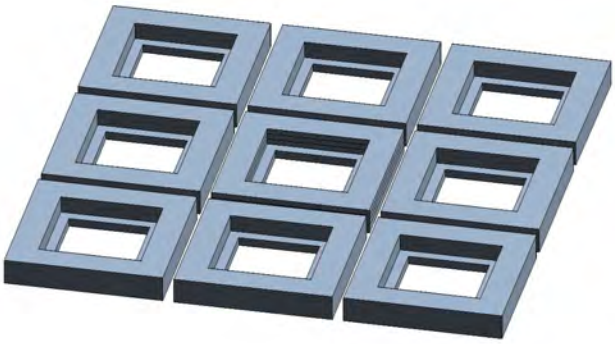
06 Gracia

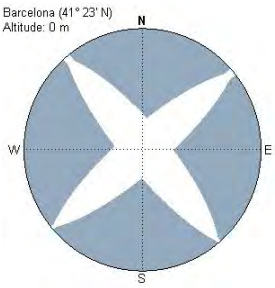
City: Barcelona
Construction period: 19th century



Level of aggregation	Islands	Fabric
A - Base land area (m^2)	30000	38000
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	2.47	1.92
GSI - Coverage(m^2/m^2) [Bx/Ax]	0.73	0.57
OSR - Spaciousness	0.11	0.22
L - Building Height	3.38	3.38

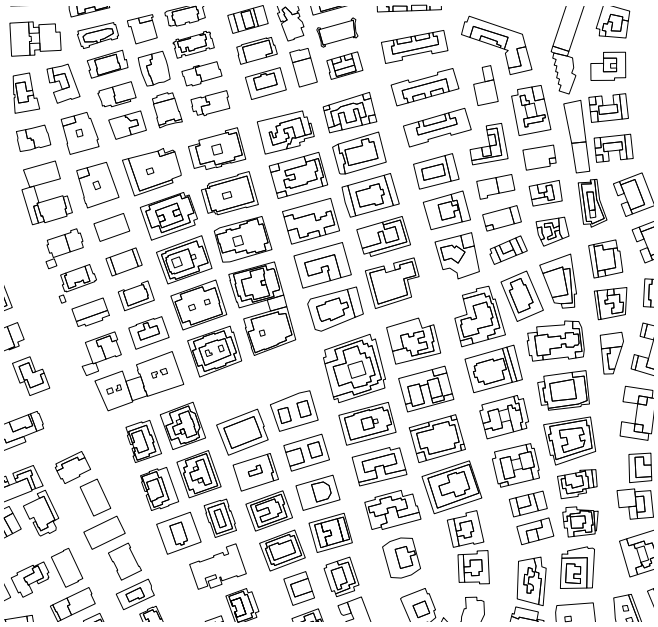
Level of aggregation	Single island	Islands	Fabric
Population (inhab.)	397	3573	3573
A - Base land area (m2)	7,225	65,025	74,393
Land area density (inhab./km2)	54,948.10	54,948.10	48,028.71
Built up volume (m3)	61,758.00	555,822.00	555,822.00
Skin surface (m^2)	18,004.00	162,036.00	162,036.00
Urban density (m3/m2)	8.55	8.55	7.47
B - Built up area or Footprint (m^2)	5,324.00	47,916.00	47,916.00
F - Gross Floor Area (m^2)	17,924.00	161,316.00	161,316.00
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	**2.48**	**2.48**	**2.17**
GSI - Coverage (m^2/m^2) [Bx/Ax]	**0.74**	**0.74**	**0.64**
OSR - Spaciousness	0.11	0.11	0.16
L - Building Height	3.37		
Height/width ratio x	2.25		
Height/width ratio y	2.25		

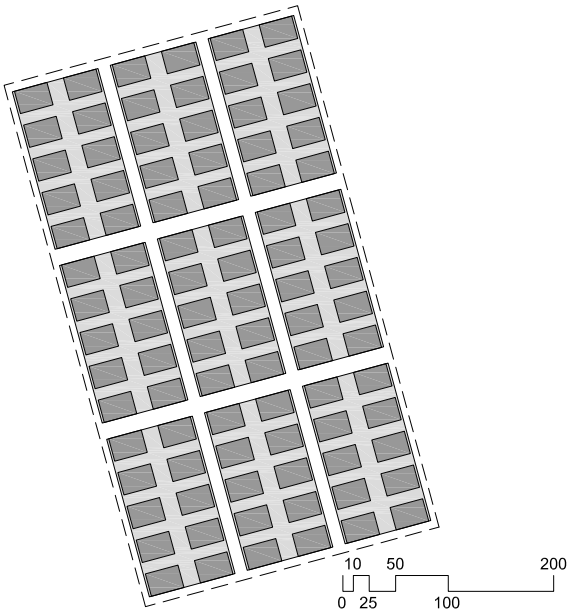




07 Balduina

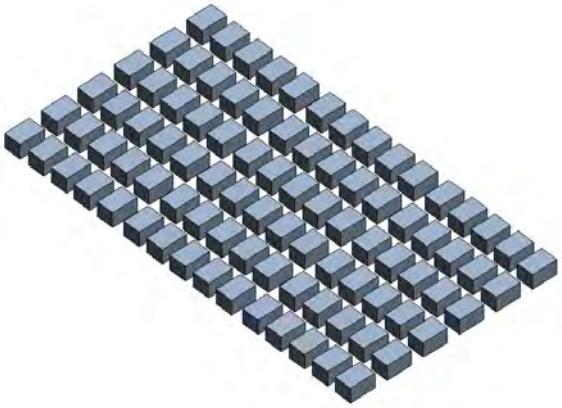
City: Rome
Construction period: 1950s - 1960s





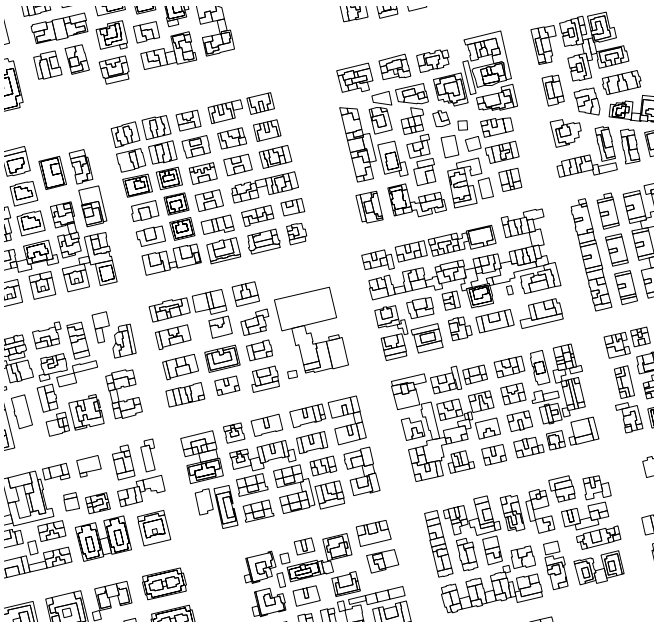
Level of aggregation	Islands	Fabric
A - Base land area (m^2)	13,325	142,479
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	3.82	2.96
GSI - Coverage(m^2/m^2) [Bx/Ax]	0.64	0.49
OSR - Spaciousness	0.10	0.17
L - Building Height	6.00	6.00

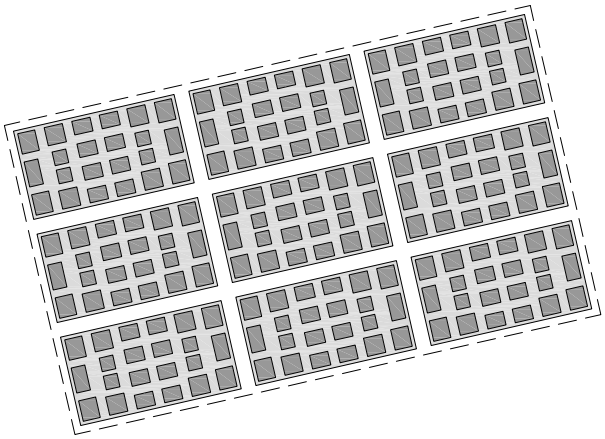
Level of aggregation	Single island	Islands	Fabric
Population (inhab.)	915.20	8,236.80	8,236.80
A - Base land area (m2)	13,045	117,405	147,990
Land area density (inhab./km2)	70,157.15	70,157.15	55,657.81
Built up volume (m3)	137,280.00	1,235,520.00	1,235,520.00
Skin surface (m^2)	28,064.00	252,576.00	252,576.00
Urban density (m3/m2)	10.52	10.52	8.35
B - Built up area or Footprint (m^2)	7,040.00	63,360.00	63,360.00
F - Gross Floor Area (m^2)	42,240.00	380,160.00	380,160.00
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	**3.24**	**3.24**	**2.57**
GSI - Coverage (m^2/m^2) [Bx/Ax]	**0.54**	**0.54**	**0.43**
OSR - Spaciousness	0.14	0.14	0.22
L - Building Height	6.00		
Height/width ratio x	1.22		
Height/width ratio y	1.22		



08 Centocelle

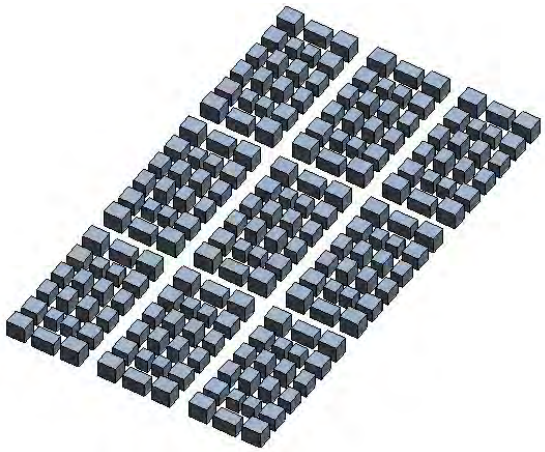
City: Rome
Construction period: 1950s-1970s

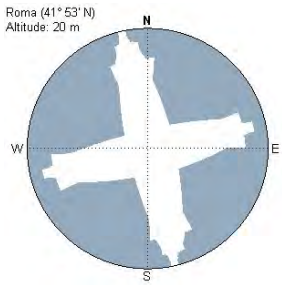




Level of aggregation	Islands	Fabric
A - Base land area (m^2)		
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	1.72	1.40
GSI - Coverage(m^2/m^2) [Bx/Ax]	0.43	0.35
OSR - Spaciousness	0.33	0.47
L - Building Height	4.00	4.00

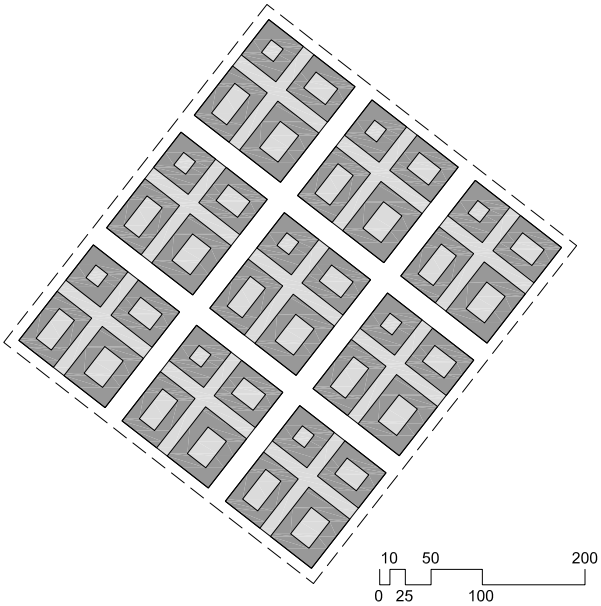
Level of aggregation	Single island	Islands	Fabric
Population (inhab.)	464	4,175	4,175
A - Base land area (m2)	9,742	87,678	126,398
Land area density (inhab./km2)	47,620.61	47,620.61	33,032.80
Built up volume (m3)	69,588.00	626,292.00	626,292.00
Skin surface (m^2)		-	-
Urban density (m3/m2)	7.14	7.14	4.95
B - Built up area or Footprint (m^2)	4,744.00	42,696.00	42,696.00
F - Gross Floor Area (m^2)	20,824.00	187,416.00	187,416.00
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	**2.14**	**2.14**	**1.48**
GSI - Coverage (m^2/m^2) [Bx/Ax]	**0.49**	**0.49**	**0.34**
OSR - Spaciousness	0.24	0.24	0.45
L - Building Height	4.39		
Height/width ratio x	1.15		
Height/width ratio y	1.15		





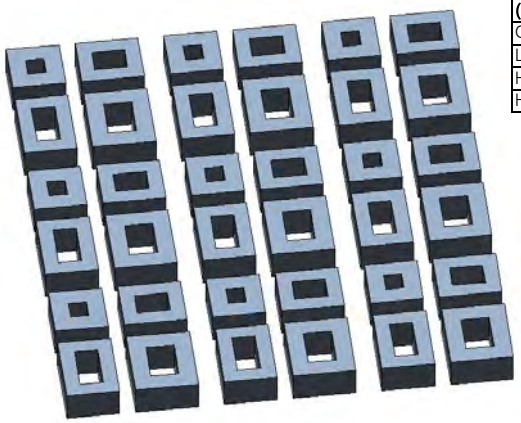
09 Don Bosco

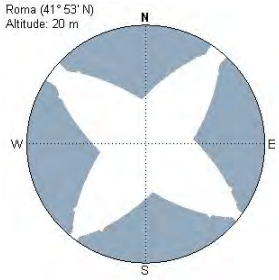
City: Rome
Construction period: 1950s - 1970s



Level of aggregation	Islands	Fabric
A - Base land area (m^2)		
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	4.37	3.49
GSI - Coverage(m^2/m^2) [Bx/Ax]	0.55	0.44
OSR - Spaciousness	0.10	0.16
L - Building Height	8.00	8.00

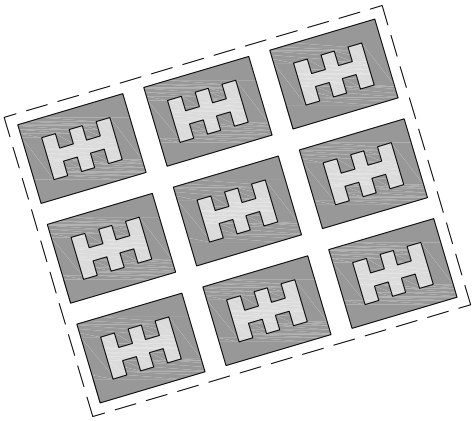
Level of aggregation	Single island	Islands	Fabric
Population (inhab.)	1,287	11,583	11,583
A - Base land area (m2)	12,579	113,211	159,628
Land area density (inhab./km2)	102,310.73	102,310.73	72,560.58
Built up volume (m3)	193,045.00	1,737,405.00	1,737,405.00
Skin surface (m^2)	29,758.20	267,823.80	267,823.80
Urban density (m3/m2)	15.35	15.35	10.88
B - Built up area or Footprint (m^2)	7,570.00	68,130.00	68,130.00
F - Gross Floor Area (m^2)	60,560.00	545,040.00	545,040.00
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	**4.81**	**4.81**	**3.41**
GSI - Coverage (m^2/m^2) [Bx/Ax]	**0.60**	**0.60**	**0.43**
OSR - Spaciousness	0.08	0.08	0.17
L - Building Height	8.00		
Height/width ratio x	1.14		
Height/width ratio y	1.14		

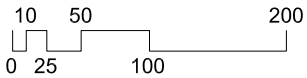




10 Prati

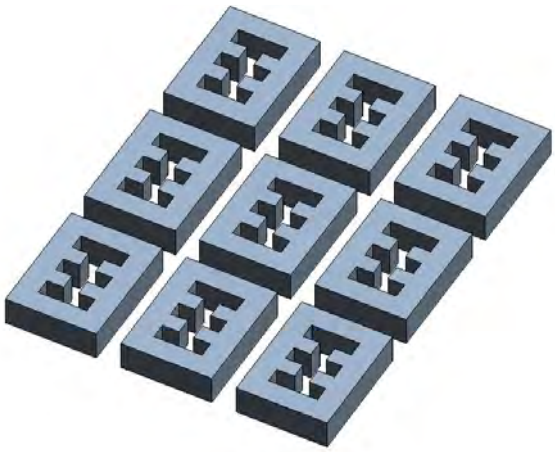
City: Rome
Construction period: 20th century

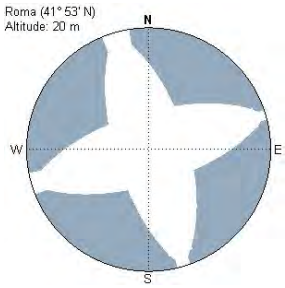




Level of aggregation	Islands	Fabric
A - Base land area (m^2)		
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	4.50	2.96
GSI - Coverage(m^2/m^2) [Bx/Ax]	0.75	0.49
OSR - Spaciousness	0.06	0.17
L - Building Height	6.00	6.00

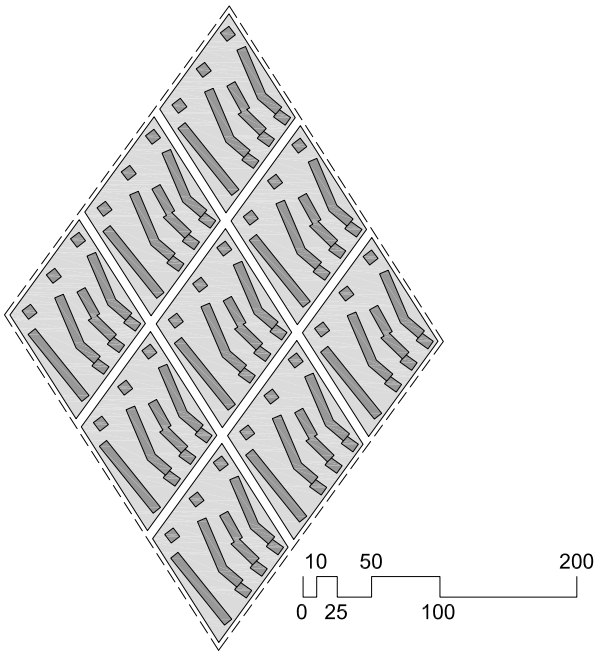
Level of aggregation	Single island	Islands	Fabric
Population (inhab.)	468	4,210	4,210
A - Base land area (m2)	4,800	43,200	65,664
Land area density (inhab./km2)	97,445.83	97,445.83	64,109.10
Built up volume (m3)	70,161.00	631,449.00	631,449.00
Skin surface (m^2)	10,444.50	94,000.50	94,000.50
Urban density (m3/m2)	14.62	14.62	9.62
B - Built up area or Footprint (m^2)	3,598.00	32,382.00	32,382.00
F - Gross Floor Area (m^2)	21,588.00	194,292.00	194,292.00
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	**4.50**	**4.50**	**2.96**
GSI - Coverage (m^2/m^2) [Bx/Ax]	**0.75**	**0.75**	**0.49**
OSR - Spaciousness	0.06	0.06	0.17
L - Building Height	6.00		
Height/width ratio x	2.67		
Height/width ratio y	2.67		





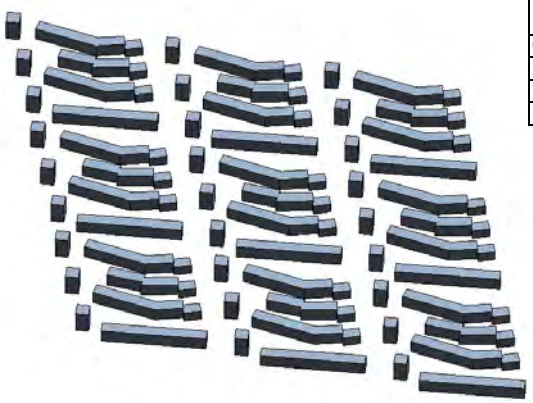
11 Tuscolano II

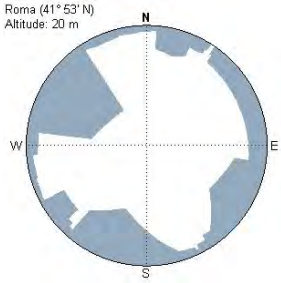
City: Rome
Construction period: 1950s



Level of aggregation	Islands	Fabric
A - Base land area (m^2)		
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	1.11	0.91
GSI - Coverage(m^2/m^2) [Bx/Ax]	0.26	0.21
OSR - Spaciousness	0.66	0.86
L - Building Height	4.25	4.25

Level of aggregation	Single island	Islands	Fabric
Population (inhab.)	1,287	11,583	11,583
A - Base land area (m2)	12,579	113,211	159,628
Land area density (inhab./km2)	102,310.73	102,310.73	72,560.58
Built up volume (m3)	193,045.00	1,737,405.00	1,737,405.00
Skin surface (m^2)	29,758.20	267,823.80	267,823.80
Urban density (m3/m2)	15.35	15.35	10.88
B - Built up area or Footprint (m^2)	7,570.00	68,130.00	68,130.00
F - Gross Floor Area (m^2)	60,560.00	545,040.00	545,040.00
FSI - Building Intensity or F.A.R. (m^2/m^2) [Fx/Ax]	**4.81**	**4.81**	**3.41**
GSI - Coverage (m^2/m^2) [Bx/Ax]	**0.60**	**0.60**	**0.43**
OSR - Spaciousness	0.08	0.08	0.17
L - Building Height	8.00		
Height/width ratio x	1.14		
Height/width ratio y	1.14		





entrambi molto elevati, sia per la scala del tessuto che quella dell'isolato.

GRÀCIA

Gràcia, è un nucleo storico con origini risalenti intorno al XIV secolo dovute all'insediamento nella zona di alcuni ordini monastici. A partire dal XIX secolo, abbandona la sua natura di borgo rurale e di villeggiatura del popolo borghese barcellonese, per assumere gradatamente la struttura urbana odierna, per effetto dell'insediamento delle attività produttive, sia industriali che artigianali e, quindi, di nuovi residenti. Possiede una maglia stradale piuttosto regolare e di sezioni ridotte, un'edificazione compatta, aggregata in corti, non troppo intensa, che gli conferisce una intensità medio-bassa, nonostante una buona compattezza; a differenza di *Borrel i Soler*, a far sì che i valori di GSI e FSI varino poco è la scarsa incidenza della rete stradale sulle superfici globali di riferimento.

BALDUINA

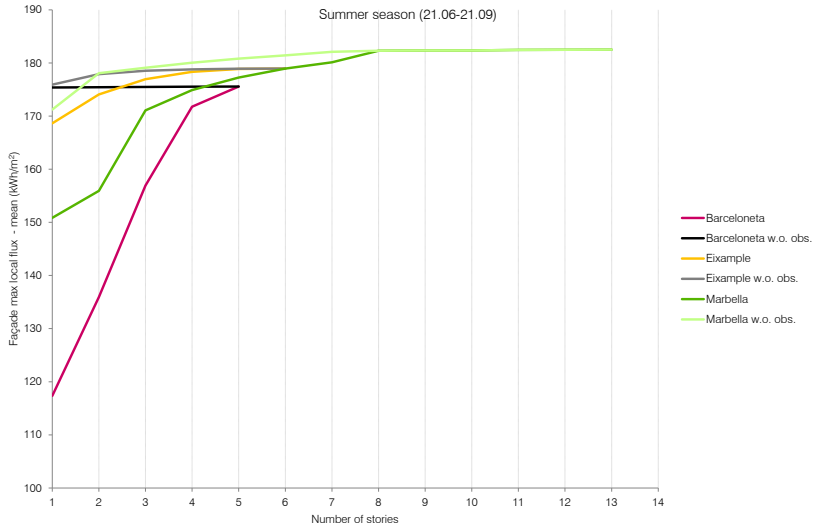
Il quartiere romano ha iniziato il suo sviluppo urbano con un primo intervento a villini intorno agli anni '20 e poi con un susseguirsi di lottizzazioni che, fino al secondo conflitto mondiale, hanno progressivamente intensificato l'edificazione. Ma è tra gli anni '50 e '60 che l'espansione - avvenuta in prevalenza mediante il tipo a "palazzina" - conforma il tessuto nella sua attuale configurazione.[28] Ha una struttura in cui il costruito, a grana media, si organizza secondo una maglia organica adattata all'orografia del terreno. Gli isolati si compongono di corpi edilizi alti in media sei piani e dimensioni in pianta variabili tra i 20 ed i 35 metri per il lato maggiore, a seconda dell'epoca di costruzione. Le performance spaziali descritte dal diagramma ci indicano valori alti di densità nonostante un'altezza dei corpi non eccessiva e una compattezza media.

CENTOCELLE

I primi nuclei veri e propri risalgono al periodo di maggiore operatività dell'adiacente aeroporto, ma le urbanizzazioni principali avvennero dagli anni quaranta in poi. L'impianto urbano odierno è dovuto principalmente alla seconda fase di espansione (quasi selvaggia) a seguito della Seconda guerra mondiale e fino agli anni settanta, di natura prevalentemente abusiva e con impianto stradale a maglie regolari. Ne è risultato un tessuto reticolare a grana fine di bassa densità. Gli isolati si compongono di palazzine alte mediamente quattro piani e valori medi di FSI e GSI.

DON BOSCO

Sorto nella seconda metà degli anni trenta, in seguito alla fondazione e allo sviluppo degli studi cinematografici di Cinecittà e alla costruzione del complesso salesiano e della chiesa di San Giovanni Bosco, ha vissuto la sua crescita più intensa a partire dal secondo



143. Esempio di andamento per il flusso solare massimo ricevuto dalle facciate distinto per piani per i casi di Barceloneta, Eixample e Marbella.

dopoguerra. Con questo nome si è soliti indicare il settore urbano a nord della via Tuscolana, compreso tra Viale Palmiro Togliatti e l'aeroporto di Centocelle. È un tessuto reticolare a grana grossa, composto d'isolati che, nonostante le morfologie piuttosto variabili, sono accomunati da corpo edilizi spesso in linea, mediamente di otto piani e variamente composti a formare corti chiuse o tessuti lineari.
Dopo il centro storico, ed assieme al quartiere di Prati, è una delle porzioni di tessuto più dense della città di Roma e sebbene l'altezza media dei fabbricati sia simile a Mar Bella, per effetto della maggiore compattezza raggiunge valori di FSI più elevati.

PRATI

A seguito dell'unità d'Italia, Roma fu oggetto di diverse espansioni urbane in risposta al repentino sviluppo, effetto delle attività del nuovo stato. Tra queste, è sicuramente rappresentativa quella del quartiere Prati, nato su iniziativa dall'amministrazione Nathan (1907-1914) in una logica di crescita della città per quartieri intesi come unità urbane autosufficienti separate da aree verdi. La costruzione si concluse nella prima metà del XX secolo ed ha prodotto un tessuto reticolare a grana media, caratterizzato da una rete stradale ampia e regolare, all'interno della quale si collocano grandi isolati a corte, dalla forma compatta. Rispetto al quasi contemporaneo alter ego barcellonese (l'*Eixample*), sembra avere il medesimo rapporto tra entità strutturanti lo spazio, con la sola differenza di una densità più ridotta per effetto della minore altezza media dell'edificato. È interessante notare come le distanze nel diagramma tra i punti che rappresentano le due scale di riferimento, siano per entrambi piuttosto simili, quasi a voler evidenziare l'uguaglianza delle regole geometriche di edificazione utilizzate nelle diverse norme dell'epoca.

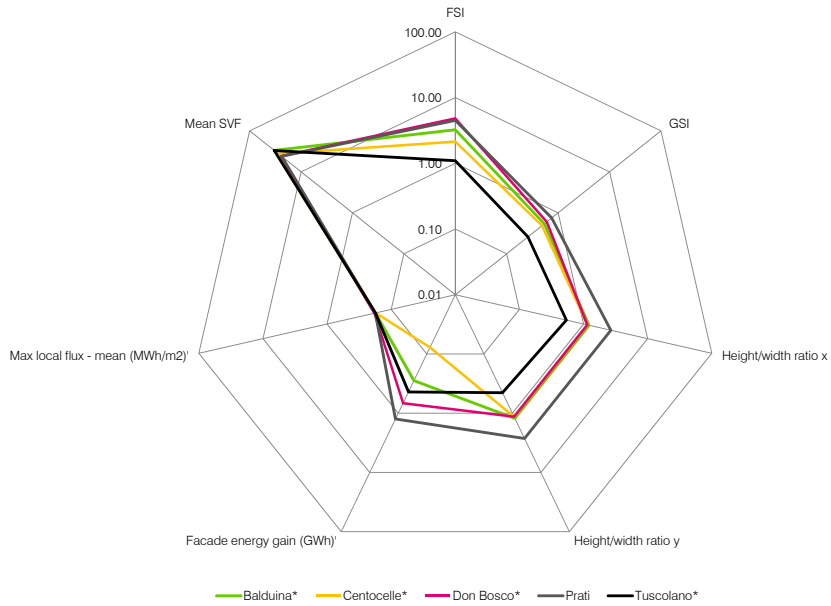
TUSCOLANO II

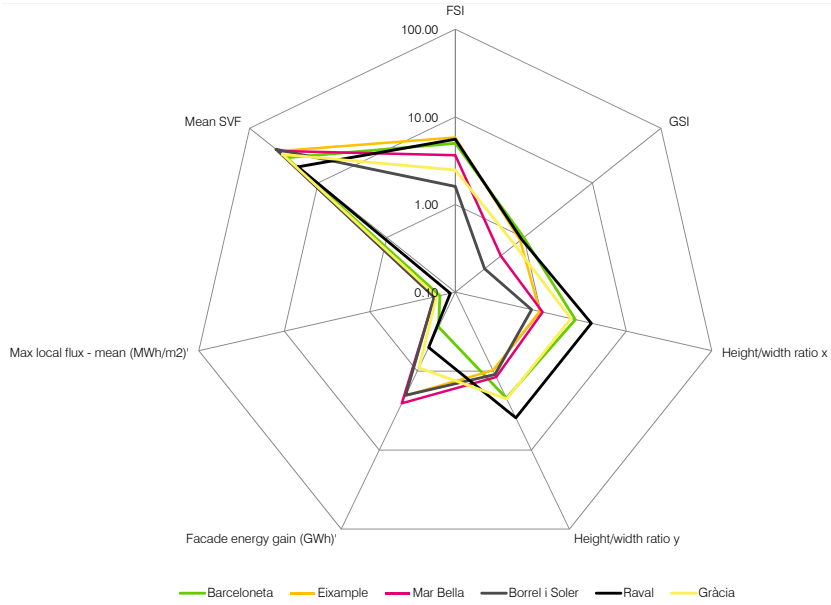
La ricostruzione delle città colpite dalla seconda guerra mondiale, prevede l'espansione del territorio costruito nelle sue aree di margine, mediante interventi che - pur nella loro diversità - possono essere riletti come momento unitario della storia del progetto urbano e dell'architettura. Tra questi, di certo rientra il quartiere INA Casa Tuscolano II, realizzato tra il 1950 ed il 1960 da un gruppo di progettisti guidato da Mario De Renzi e Saverio Muratori, all'epoca maestri indiscussi della ricerca tipologica. L'impianto urbano, seppur in una logica compositiva unitaria, si articola vivacemente in una varietà di morfo-tipologie disposte in isolati ricchi di verde e spazi comuni. Come tutti gli interventi di questo tipo, presenta densità piuttosto basse, dovuto soprattutto alla grande quantità di spazi aperti che ospitano i singoli isolati. La compattezza supera di poco il valore di 1/5, mentre l'FSI si attesta attorno ad 1.

REFERENCE SCALE: ISLAND REFERENCE PERIOD: SUMMER	Barceloneta	Eixample	Mar Bella	Borrel i Soler
FSI	5.00	5.83	3.65	1.61
GSI	1.00	0.88	0.46	0.27
Height/width ratio x	2.54	0.98	1.05	0.78
Height/width ratio y	2.20	0.98	1.19	1.10
Facade energy gain (GWh)'	**0.276**	**2.040**	**2.555**	**2.022**
Max local flux - mean (MWh/m^2)'	**0.152**	**0.176**	**0.176**	**0.177**
Mean SVF	28.92	38.17	38.44	41.11
Urban density (m^3/m^2)	16.50	14.11	9.01	4.02
Obstruction factor	0.42	0.24	0.23	0.18
Population (inhab.)	130	302	493	209
Built up volume (m^3)	11,220.00	177,785.16	114,673.08	57,040.00
Façade surface (m^2)	2,914.00	12,770.00	16,338.00	11,709.50
Façade energy gain (GWh)"	**0.614**	**2.208**	**2.782**	**2.039**
Max local flux - mean (MWh/m^2)"	**0.1755**	**0.1782**	**0.1806**	**0.1778**
Façade energy gain factor	45%	92%	92%	99%
Façade local flux factor	86%	99%	97%	100%
Façade/Energy gain_ratio (GWh/m^2)'	9.48E-05	1.60E-04	1.56E-04	1.73E-04
Façade/Energy gain_ratio (GWh/m^2)"	2.11E-04	1.73E-04	1.70E-04	1.74E-04

' *Summer season, obstructed cases*

" *Summer season, unobstructed cases*



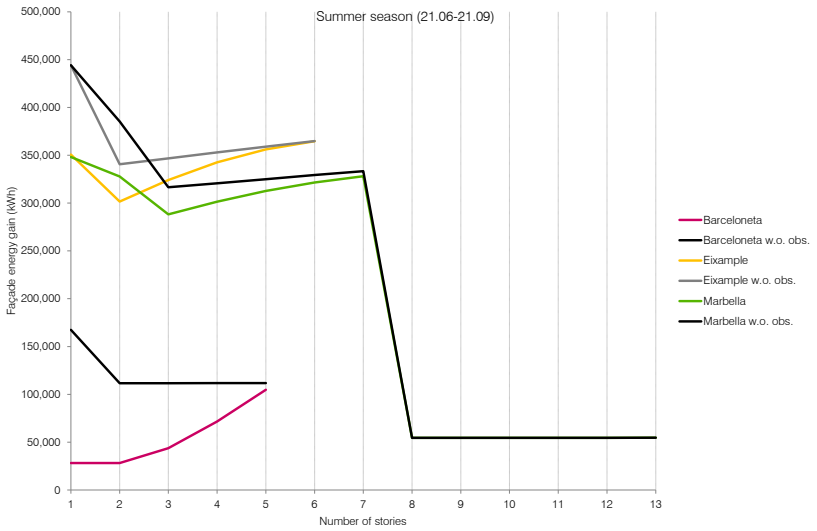


144. Confronto tra parametri spaziali, densità ed energia solare nei casi di studio.

Raval	Gràcia	Balduina	Centocelle	Don Bosco	Prati	Tuscolano
5.56	2.48	3.24	2.14	4.81	4.50	1.10
0.93	0.74	0.54	0.49	0.60	0.75	0.26
3.90	2.25	1.22	1.15	1.14	2.67	0.54
3.90	2.25	1.22	1.15	1.14	2.67	0.45
0.501	**0.908**	**0.281**	**0.077**	**0.678**	**1.251**	**0.437**
0.114	**0.165**	**0.176**	**0.174**	**0.183**	**0.177**	**0.176**
19.69	33.20	33.35	27.6	24.175	23.92	33.06
18.07	8.55	10.52	7.14	15.35	14.62	3.64
0.61	0.34	0.33	0.45	0.52	0.52	0.34
791	397	915	464	1,287	468	455
81,077.00	61,758.00	137,280.00	69,588.00	193,045.00	70,161.00	68,246.00
7,171.10	7,354.80	2102.4	649.9	5,948.20	10444.5	2714.2
1.105	**1.288**	**0.353**	**0.114**	**0.926**	**1.430**	**0.497**
0.1500	**0.1815**	**0.1764**	**0.1756**	**0.1827**	**0.1768**	**0.1780**
45%	71%	80%	68%	73%	87%	88%
76%	91%	100%	99%	100%	100%	99%
6.98E-05	1.24E-04	1.34E-04	1.19E-04	1.14E-04	1.20E-04	1.61E-04
1.54E-04	1.75E-04	1.68E-04	1.76E-04	1.56E-04	1.37E-04	1.83E-04

	Thermal and energetic analisys	Obstructed	Unobstructed	%	Energy savings	Variation factor (max/min)	
Barceloneta	Heating (kWh/m^3 year)	2.91	3.94	73.9%	**min**	**6.62 min***	**6.71**
	Cooling (kWh/m^3 year)	9.42	12.77	73.8%			
	Heating + Cooling (kWh/m^3 year)	**12.33**	**16.71**	**73.8%**	**26.2%**	1.86	~~1.84~~
Eixample	Heating (kWh/m^3 year)	1.68	1.52	110.5%			
	Cooling (kWh/m^3 year)	7.92	8.49	93.3%			
	Heating + Cooling (kWh/m^3 year)	**9.60**	**10.01**	**95.9%**	**4.1%**	1.45	1.43
Mar Bella	Heating (kWh/m^3 year)	1.97	1.65	119.4%			
	Cooling (kWh/m^3 year)	7.07	7.82	90.4%			
	Heating + Cooling (kWh/m^3 year)	**9.04**	**9.47**	**95.5%**	**4.5%**	1.37	1.35
Borrel i Soler	Heating (kWh/m^3 year)	3.36	2.98	112.8%			
	Cooling (kWh/m^3 year)	5.64	6.27	90.0%			
	Heating + Cooling (kWh/m^3 year)	**9.00**	**9.25**	**97.3%**	**2.7%**	1.36	1.34
Raval	Heating (kWh/m^3 year)	1.07	0.55	194.5%			
	Cooling (kWh/m^3 year)	9.39	10.78	87.1%			
	Heating + Cooling (kWh/m^3 year)	**10.46**	**11.33**	**92.3%**	**7.7%**	1.58	1.56
Gràcia	Heating (kWh/m^3 year)	2.55	1.77	144.1%			
	Cooling (kWh/m^3 year)	8.15	10.05	81.1%			
	Heating + Cooling (kWh/m^3 year)	**10.70**	**11.82**	**90.5%**	**9.5%**	1.62	1.59
Balduina	Heating (kWh/m^3 year)	2.14	1.67	128.1%			
	Cooling (kWh/m^3 year)	5.09	5.96	85.4%			
	Heating + Cooling (kWh/m^3 year)	**7.23**	**7.63**	**94.8%**	**5.2%**	1.09	1.08
Centocelle	Heating (kWh/m^3 year)	5.39	3.81	141.5%			
	Cooling (kWh/m^3 year)	5.18	6.17	84.0%			
	Heating + Cooling (kWh/m^3 year)	**10.57**	**9.98**	**105.9%**	**-5.9%**	1.60	1.58
Don Bosco	Heating (kWh/m^3 year)	1.26	0.48	262.5%			
	Cooling (kWh/m^3 year)	5.36	6.90	77.7%			
	Heating + Cooling (kWh/m^3 year)	**6.62**	**7.38**	**89.7%**	**10.3%**	1.00	~~0.99~~
Prati	Heating (kWh/m^3 year)	1.79	0.92	194.6%			
	Cooling (kWh/m^3 year)	4.92	6.38	77.1%			
	Heating + Cooling (kWh/m^3 year)	**6.71**	**7.30**	**91.9%**	**8.1%**	1.01	1.00
Tuscolano	Heating (kWh/m^3 year)	4.17	3.26	127.9%			
	Cooling (kWh/m^3 year)	3.94	4.53	87.0%			
	Heating + Cooling (kWh/m^3 year)	**8.11**	**7.79**	**104.1%**	**-4.1%**	1.23	1.21

145. Confronto tra consumi energetici e percentuali di risparmio energetico per effetto delle ostruzioni urbane rispetto al caso ideale dell'isolato privo di ostruzioni all'intorno.



148. A lato: andamento del Façade energy gain al crescere dei piani.

146. A fronte: radiazione solare ricevuta nella stagione estiva per unità di superficie e in termini globali nei casi di studio.

Relazioni morfologia-densità-energia

147. A fronte: confronto tra densità, espressa in FSI o GSI e parametri di radiazione solare.

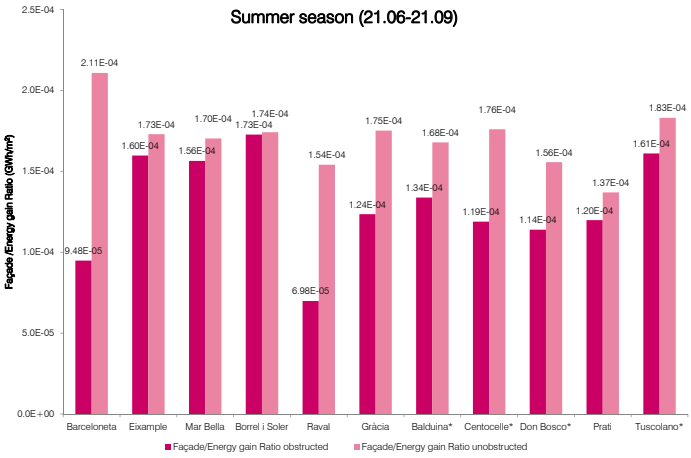
MORFOLOGIA E DENSITÀ

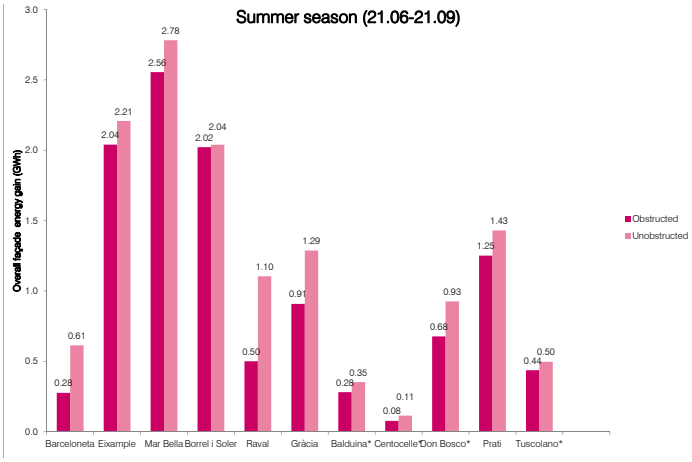
Per avere un riferimento propedeutico alla corretta interpretazione dei risultati è doveroso soffermarsi prima sulla rappresentazione parametrica della morfologia dei tessuti e fare alcune considerazioni. Il campione di casi analizzati rappresenta un dominio che, per quanto limitato, ha lo scopo di definire un quadro tassonomico di riferimento sulla base delle proprietà morfologiche del costruito.

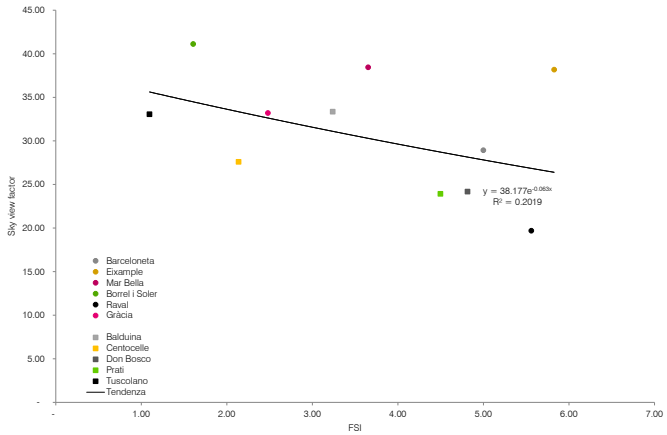
Se utilizziamo il grafico *Spacemate* per rappresentare sia la scala dell'isolato che del tessuto dei casi di studio, risultano espresse più chiaramente le diversità formali [137]. In questo tipo di rappresentazione, oltre a poter osservare contemporaneamente le due scale, tramite la lunghezza del segmento che le collega si comprende l'incidenza dimensionale della rete stradale e degli spazi aperti in genere. Le forme aperte, tipiche degli interventi pubblici a cavallo della seconda metà del novecento - rappresentate dal Tuscolano II - nonostante la grande variabilità compositiva posseggono impianti urbani dai valori di FSI e GSI bassi e molto simili.[29] Queste si collocano al di sotto dei tessuti composti da tipi puntuali che generalmente posseggono lotti in cui la porzione di spazio aperto è piuttosto importante a fronte di bassa intensità edilizia. Proseguendo diagonalmente nel grafico, s'incontrano tessuti più compatti e, a seconda delle altezze, più intensamente edificati (Mar Bella, Don Bosco, Balduina, Gracia). Al crescere ancora di FSI e GSI si trovano i tessuti in cui si riduce lo spazio aperto e aumenta pertanto l'incidenza della rete stradale (Prati, Eixample, Barceloneta e Raval).

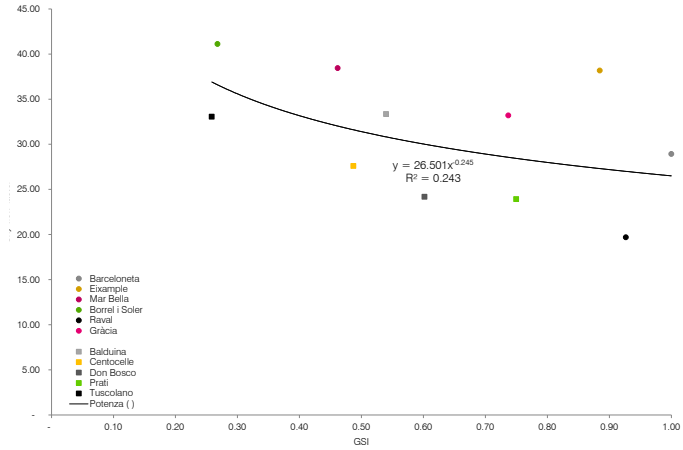
Significativo a riguardo è il confronto tra il caso dell'Eixample e quello di Mar Bella: i due sono basati sul tipico impianto urbanistico di Cerdà fondato sulla *manzana*, ma variano per la morfo-tipologia adottata, descritta chiaramente dalla diversa posizione sul grafico. La conferma della validità di questo tipo di rappresentazione parametrica alla comprensione del comportamento energetico ci viene dal confronto con uno degli indici geometrici correntemente utilizzati: il valore H/W del canyon urbano. Le proprietà geometriche della sezione stradale, seppur influenti nel determinare l'incidenza delle ostruzioni urbane, non sono correlate alla morfologia del blocco edilizio oltre il piano di facciata: ciò è chiaramente manifesto nell'assenza di proporzionalità, per i casi analizzati, tra tale valore e la coppia FSI-GSI.[30]

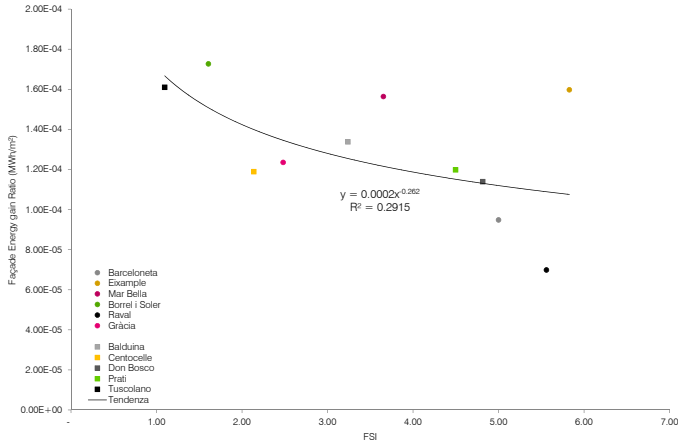
Differente invece risulta il confronto di questi con lo *Sky View Factor* (SVF), qui considerato come media del valore misurabile in ogni punto delle facciate che costituiscono gli isolati. Tale variabile si riferisce - come le altre finora citate - alle sole proprietà geometriche del costruito, ma ne evidenza una particolare proprietà legata al solo involucro esterno. Infatti mentre i primi ci forniscono una parametrizzazione complessiva della

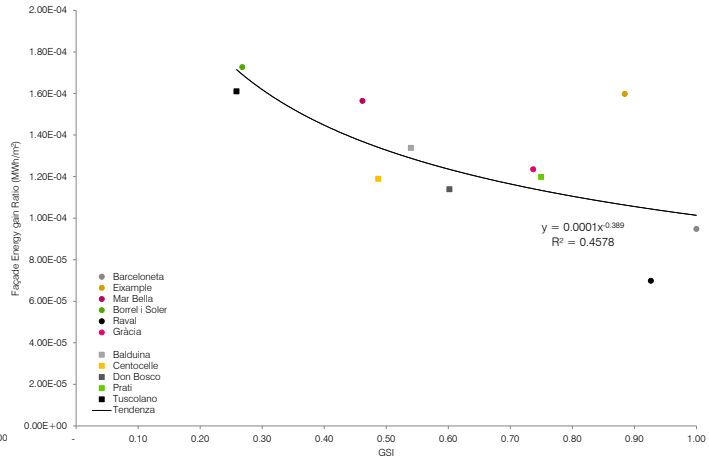

Summer season (21.06-21.09)
Façade/Energy gain Ratio (GWh/m²)
2.5E-04
2.0E-04
1.5E-04
1.0E-04
5.0E-05
0.0E+00
9.48E-05
2.11E-04
1.60E-04
1.73E-04
1.56E-04
1.70E-04
1.73E-04
1.74E-04
6.98E-05
1.54E-04
1.24E-04
1.75E-04
1.34E-04
1.68E-04
1.19E-04
1.76E-04
1.14E-04
1.56E-04
1.20E-04
1.37E-04
1.61E-04
1.83E-04
Barceloneta
Eixample
Mar Bella
Borrel i Soler
Raval
Gràcia
Balduina*
Centocelle*
Don Bosco*
Prati
Tuscolano*
Façade/Energy gain Ratio obstructed
Façade/Energy gain Ratio unobstructed

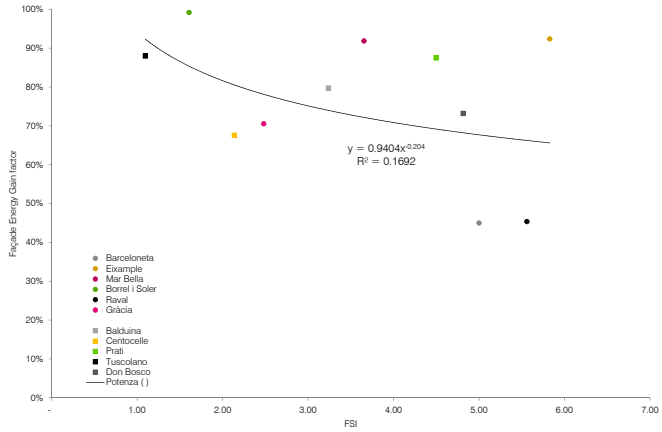

Summer season (21.06-21.09)
Overall façade energy gain (GWh)
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
0.28
0.61
2.04
2.21
2.56
2.78
2.02
2.04
0.50
1.10
0.91
1.29
0.28
0.35
0.08
0.11
0.68
0.93
1.25
1.43
0.44
0.50
Barceloneta
Eixample
Mar Bella
Borrel i Soler
Raval
Gràcia
Balduina*
Centocelle*
Don Bosco*
Prati
Tuscolano*
Obstructed
Unobstructed

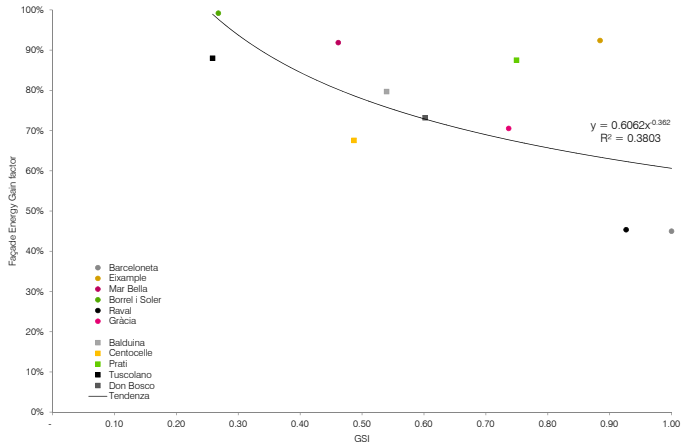

Sky view factor
FSI
y = 38.177e^-0.063x
R² = 0.2019
Barceloneta
Eixample
Mar Bella
Borrel i Soler
Raval
Gràcia
Balduina
Centocelle
Don Bosco
Prati
Tuscolano
Tendenza

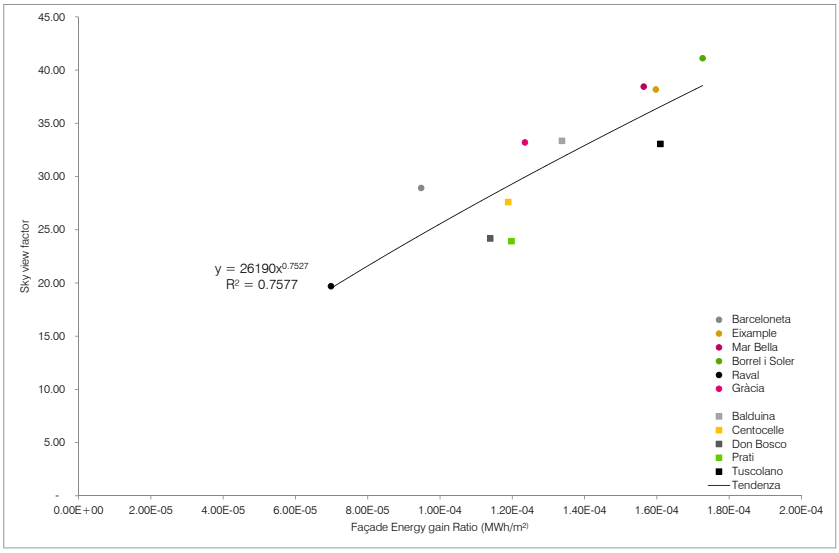

GSI
y = 26.501x^-0.245
R² = 0.243
Barceloneta
Eixample
Mar Bella
Borrel i Soler
Raval
Gràcia
Balduina
Centocelle
Don Bosco
Prati
Tuscolano
Potenza ( )


Façade Energy gain Ratio (MWh/m²)
FSI
y = 0.0002x^-0.262
R² = 0.2915
Barceloneta
Eixample
Mar Bella
Borrel i Soler
Raval
Gràcia
Balduina
Centocelle
Don Bosco
Prati
Tuscolano
Tendenza


Façade Energy gain Ratio (MWh/m²)
GSI
y = 0.0001x^-0.389
R² = 0.4578
Barceloneta
Eixample
Mar Bella
Borrel i Soler
Raval
Gràcia
Balduina
Centocelle
Don Bosco
Prati
Tuscolano
Tendenza


Façade Energy Gain factor
FSI
y = 0.9404x^-0.204
R² = 0.1692
Barceloneta
Eixample
Mar Bella
Borrel i Soler
Raval
Gràcia
Balduina
Centocelle
Prati
Tuscolano
Don Bosco
Potenza ( )


Façade Energy Gain factor
GSI
y = 0.6062x^-0.362
R² = 0.3803
Barceloneta
Eixample
Mar Bella
Borrel i Soler
Raval
Gràcia
Balduina
Centocelle
Prati
Tuscolano
Don Bosco
Tendenza



149. Façade energy gain ratio in relazione allo sky view factor per i casi di studio.

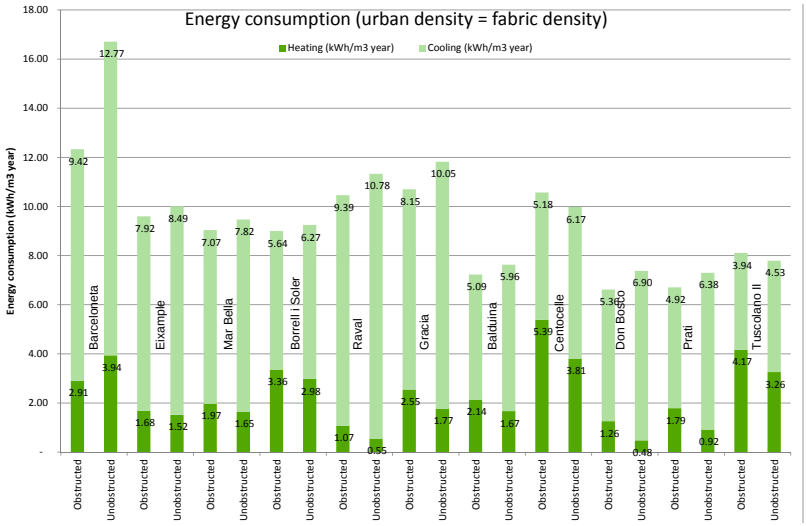
forma considerata, l'SVF focalizza l'attenzione sull'incidenza delle ostruzioni, risultando inaffidabile, da solo, a descrivere la morfologia del blocco urbano oltre il piano di facciata. D'altra parte, tale parametro, se preso insieme ad altri è un buon indicatore del comportamento passivo del tessuto edilizio. I valori di SVF oscillano tra 0.19 e 0.41 circa che se relazionati ai corrispondenti valori di FSI e GSI mostrano quali sono le morfologie più efficienti, ovvero che ottimizzano la distribuzione volumetrica, favorendo illuminazione naturale e il guadagno solare: l'Eixample per primo, ma anche Mar Bella e Borrel i Soler [144, 147].[31]

RADIAZIONE SOLARE

Si osservi ora la distribuzione del flusso solare complessivo e massimo per i casi di Barceloneta, Eixample e Mar Bella che ben descrivono differenze e analogie tra impianto e morfo-tipologie [143]. Benché i valori massimi registrati sull'ultimo piano per le facciate sud-est e sud-ovest non risentono molto dei differenti orientamenti e si aggirino intorno ai 250 kWh/m^2, l'effetto dell'intorno urbano si risente maggiormente per il caso di Barceloneta, influenzato dai valori elevati di densità. L'Eixample e inevitabilmente anche Mar Bella - che seppur in una differente volumetria ricalca la morfologia della struttura urbana progettata da Cerdà - sono gli impianti che maggiormente ricevono radiazione solare nel caso estivo. Se si confronta il valore medio generale del flusso solare nel caso normale e in quello privo di ostruzioni si notano bene gli effetti dei diversi tessuti sull'guadagno solare diretto: il gradiente di differenza risulta essere elevato per Barceloneta e piuttosto ridotto per l'Eixample [148].

La medesima osservazione ci viene suggerita dal confronto tra l'energia complessiva accumulata in funzione dei piani di riferimento per gli stessi casi; ancora una volta, ciò su cui puntare l'attenzione è la differenza tra il caso ostruito e quello non: si tenga presente che il diverso andamento delle rette nel grafico è dovuto alla differenza di superficie complessiva di facciata a seconda dei piani. Le riduzioni più consistenti si registrano per le facciate esposte a N (45÷71%), NE (12÷68%) e NO (8÷33%); altre riduzioni importanti si verificano per Barceloneta nella facciata SO (per effetto combinato della ridotta dimensione dei vuoti e del basso angolo di incidenza dei raggi solari) e per Mar Bella in quella O (per l'ombra della torre).

Dal valore del guadagno solare complessivo dedotto dalle simulazioni, si può determinare il valore medio di radiazione solare ricevuta per unità di superficie di facciata nei diversi casi (di seguito denominato *Façade energy gain ratio* - FER). A differenza dello *Sky view factor* che si riferisce alle sole proprietà geometriche, tale variabile tiene in conto l'esposizione e allo stesso tempo instaura rapporti di proporzionalità pressoché diretta con il primo - come mostrato in figura [149] - e perciò si candida ad essere un indice di



150. Consumi energetici distinti per tipologia stimati sui modelli di studio nella duplice condizione: in presenza o in assenza di ostruzioni urbane.

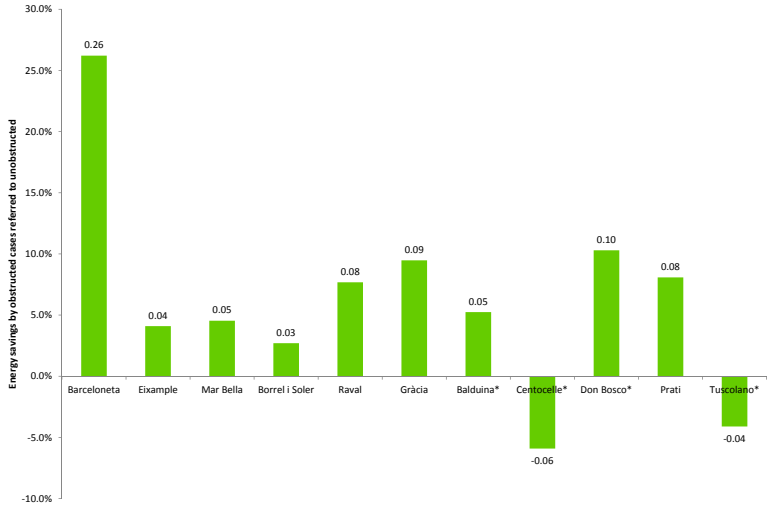
riferimento più adatto alle analisi.

Per i casi studiati, considerando le ostruzioni urbane, il FER varia da 70 kWh/m^2 (per il Raval) a 172 kWh/m^2 (per Borrel i Soler) [144]. Confrontando tali valori tra casi ostruiti e non ostruiti, si può affermare che quelli a densità maggiore (Raval e Barceloneta) risentono di più dell'effetto delle ostruzioni urbane, a meno dell'Eixample. Quest'ultimo ottimizza al meglio il rapporto tra esposizione solare e densità urbana al punto da avere prestazioni pressoché simili al Tuscolano II che possiede densità decisamente più basse.

Insieme al FER, per spiegare l'incidenza delle ostruzioni sul guadagno solare può essere utile introdurre un ulteriore fattore: il *Façade energy gain factor* - FEF. Esso indica la variazione in termini percentuali della radiazione ricevuta dai tessuti considerando le ostruzioni urbane rispetto alla condizione ideale priva di queste. Anche in questo caso si riscontrano valori minimi pari al 45% per Raval e Barceloneta e massimi (pari al 99%) per Borrel i Soler e analogamente si riscontrano per questo dato le stesse tendenze trovate per il FER. In sintesi, tali valori ben descrivono il guadagno solare dei casi studiati.

Mettendo in relazione il FER con GSI e FSI si possono spiegare ottimizzazioni e inefficienze dei casi di studio e comprendere le linee di tendenza che relazionano le variabili in gioco. Tra FSI e FER si riscontra una generale tendenza di riduzione del secondo al crescere del primo, anche se non è tanto evidente quanto si sarebbe potuto immaginare [147]. Ciò potrebbe significare che, nel caso della radiazione solare, l'effetto dell'orientamento e la relativa distribuzione delle superfici di facciata attenuano o esaltano l'incidenza della densità urbana. Il fatto è testimoniato ad esempio dalla posizione sul grafico di Prati, Mar Bella ed Eixample che ricevono quantità di radiazione maggiori rispetto alla media, discostandosi molto dalla tendenza; l'inverso accade, invece, in maniera evidente per il Raval. Tutti i tessuti di Roma rispecchiano piuttosto fedelmente la relazione generale trovata.

Analizzando la tendenza tra GSI e FER, inoltre, si nota come il primo sia in grado di rappresentare meglio il rapporto tra densità morfologia e radiazione rispetto al precedente indicatore (coefficiente di determinazione R^2 = 0,45)[32]: in questo caso soltanto i casi del Raval e dell'Eixample si discostano molto dalla linea di tendenza computata [147]. Procedendo con lo stesso criterio per studiare le interazioni del FEF con i parametri di densità, si nota come l'insieme di queste variabili descriva suddette relazioni con minore precisione (per FSI R^2 = 0,17, per GSI R^2 = 0,38). In sintesi questo studio suggerisce che il rapporto parametrico più adeguato è quello tra *Façade Energy gain Ratio* e *Compattezza*. In alternativa al FER-GSI - specie in vista di un necessario futuro ampliamento dei casi di studio considerati nel campione di analisi - si può prendere in considerazione l'utilizzo del FEF-GSI.



151. Incidenza delle ostruzioni sui consumi energetici per riscaldamento invernale e climatizzazione estiva.

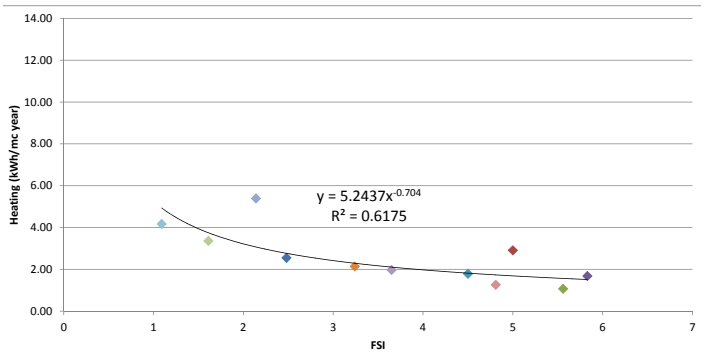
CONSUMI ENERGETICI

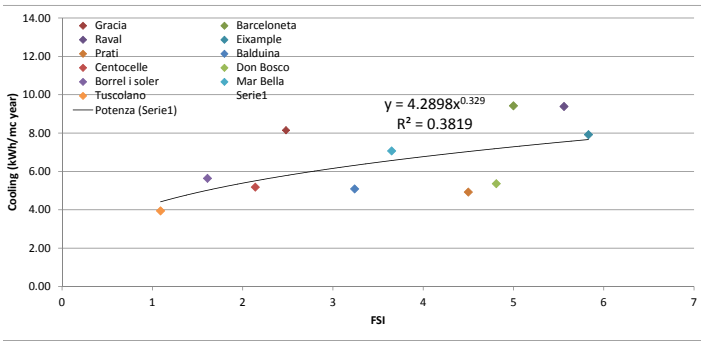
Se confrontiamo i casi ostruiti con quelli non ostruiti dal punto di vista dei consumi energetici e del comportamento termico con l'aiuto di *Archisun 3.0*, rileviamo una variazione su quattro parametri: consumi per riscaldamento e condizionamento, fattore di captazione solare e massa termica interna. In generale la variabilità di comportamento in funzione della morfologia sembra ridursi rispetto a quanto accada per la radiazione solare. Nonostante l'aumento dei consumi invernali sia in percentuale maggiore della riduzione di quelli estivi, il bilancio energetico complessivo pende a favore degli impianti urbani reali (cioè per i modelli che considerano le ostruzioni urbane) con guadagni che oscillano tra il 3% e il 10% circa. Si discostano dalla tendenza generale i risultati per i tessuti di Barceloneta - che riduce i consumi del 26% grazie all'effetto benefico delle ostruzioni in estate - e di Tuscolano II e Centocelle che, invece, si trova nella condizione opposta di consumare più energia (4% il primo, 6% il secondo) rispetto al modello ideale. Ciò è dovuto al fatto che la maggiore distanza tra i corpi edilizi produce un'incidenza maggiore delle ostruzioni nella stagione invernale rispetto all'estiva, determinando un peggioramento nel funzionamento passivo dell'intero isolato.
Nel clima mediterraneo, dunque, l'effetto delle ostruzioni urbane e pertanto della morfologia dei tessuti edilizi, gioca dunque un ruolo importante all'interno delle variabili che condizionano le prestazioni energetiche del costruito. La variazione dei consumi rispetto ai corrispondenti casi ideali - privi di ostruzioni - può essere dell'ordine di quasi un terzo (32% circa). In particolare, per i tessuti compatti tipici delle città mediterranee, le ostruzioni reciproche contribuiscono a ridurre i consumi globali (e non soltanto estivi) mediamente intorno al 7%. In assoluto, inoltre, la morfologia ha determinato una variazione relativa dei consumi, per i casi studio, di un fattore quasi due: si confrontino a riguardo i valori dei due estremi del dominio ottenuti per Barceloneta e per Don Bosco; anche volendo essere cauti ed eliminando tali estremi, il fattore si ridurrebbe da 1,86 a 1,59.

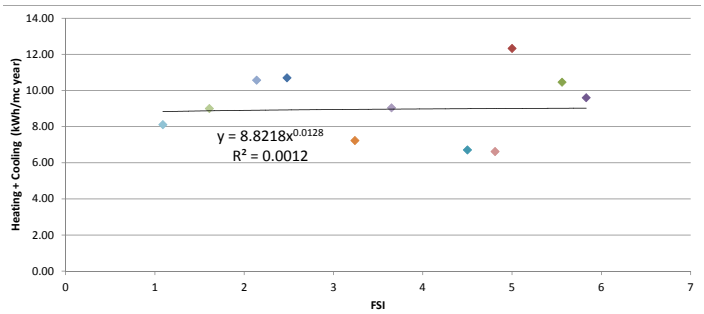
Utilizzando i risultati delle analisi morfologiche e di quelle energetiche sono state determinate le linee di tendenza esistenti tra densità e consumi che si ritengono valide per una prima analisi del comportamento dei tessuti edilizi e mostrate dai grafici [145, 152]. Se si esegue la correlazione tra i parametri di FSI e GSI con i consumi per il condizionamento globale, non è possibile individuare legami chiari. Invece, separando il contributo estivo da quello invernale, tale legame sembra essere più affidabile se ci si riferisce all'FSI. In particolare il più saldo tra i due è quello tra FSI (**x**) e consumi per il riscaldamento invernale (**y**), esprimibile dalla formula:

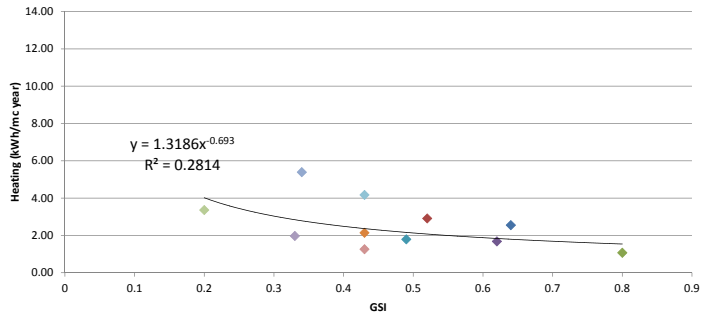
$$\mathbf{y} = 5.24\mathbf{x}^{-0.7}$$

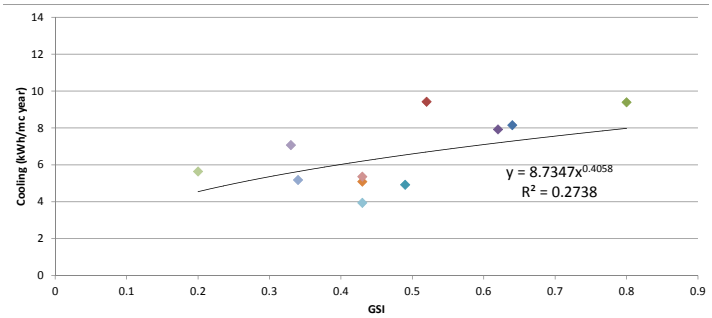
152. Variazioni e tendenze tra tipologia di consumi e densità urbana espressa in GSI o FSI.

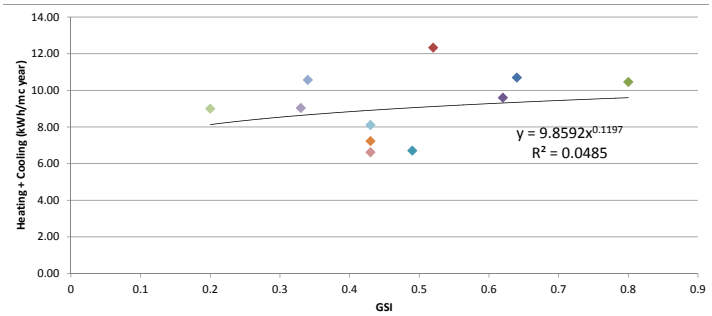












che ne rappresenta la tendenza generata tramite i casi studiati (coefficiente di determinazione R^2 = 0,62). Considerato il numero contenuto dei casi di studio, i risultati suggeriscono che anche la relazione tra FSI e climatizzazione estiva potrebbe risultare affidabile (R^2 = 0,38).
Se ulteriori futuri approfondimenti conducessero ad un aumento di tali coefficienti (mediante l'ampliamento dei casi di studio, la comprovazione della formula e l'utilizzo di ulteriori sistemi di modellazione), significherebbe che una stima condotta mediante la metodologia proposta, permetterebbe la costruzione di un quadro di riferimento (seppur preliminare) in tempi decisamente più brevi rispetto alle attuali metodologie di certificazione energetica, favorendo un controllo ed il miglioramento del comportamento energetico dei tessuti urbani compatibile con gli obiettivi prefissati dalla comunità europea. Indicherebbe che il parametro FSI è uno strumento utile all'analisi energetica dei tessuti urbani compatti mediterranei e che la relazione trovata individua una frontiera di riferimento per i valori medi di consumo (analogamente potrebbe dirsi per la domanda energetica), rispetto ai quali poter stimare efficienze o inefficienze di un determinato tessuto urbano. In altri termini, una volta stabilita l'affidabilità della linea di tendenza, la distanza da questa dei valori rappresentativi di un determinato tessuto oggetto di studio è una misura dell'efficienza o dell'inefficienza rispetto al valore medio.

DENSITÀ DI MASSA, TIPOLOGIA, ENERGIA

Massa e costruzione nei tessuti mediterranei: domanda energetica

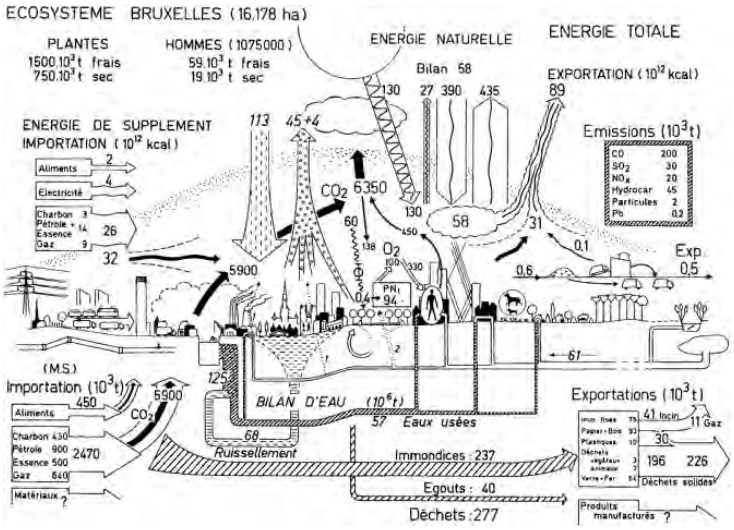
Gli aspetti costruttivi, per il loro legame con gli aspetti formali, tipologici, climatici e funzionali sono una componente che contribuisce al complesso bilancio energetico degli edifici. Richiamando quanto espresso da Carlo Ratti, essi afferiscono alla quota di variabilità dei consumi energetici relativa alle caratteristiche edilizie e a cui viene attribuito un fattore di 2,5 (Ratti et al., 2005). Tali aspetti, all'interno dell'analisi dei tessuti urbani mediterranei, sono fortemente connessi alla struttura del tipo edilizio e posseggono, di certo, un'incidenza rilevante sul comportamento energetico. In particolare, un parametro centrale per l'influenza su quest'ultimo è la massa degli elementi costruttivi (specie dell'involucro) che interviene nel determinare i fenomeni di sfasamento temporale degli scambi termici e quindi sul comportamento passivo e sul benessere interno del costruito: elementi caratteristici dei contesti storici europei mediterranei, che sono determinanti nella stagione estiva e che hanno influenza anche nella stagione invernale e in quelle intermedie.
L'importanza di questi aspetti è talmente influente da condurre l'Unione Europea ad

introdurre, nelle Direttive e nei Regolamenti, indicazioni per i metodi di calcolo che pongano particolare attenzione alla condizione di variabilità climatica di alcune regioni ed ai fenomeni termodinamici, con l'obiettivo di comprendere il reale comportamento del costruito, modellarlo senza trascurarne gli aspetti principali e, quindi, giungere a definire strategie d'intervento mirate e realmente efficaci a seconda dei climi.[33] Pertanto, nel valutare la domanda energetica di un tessuto edilizio, l'analisi degli aspetti costruttivi può essere una chiave di lettura molto efficace e il parametro della massa divenire l'indice per parametrizzare tali aspetti.

Mentre il precedente studio si concentrava sulla natura dell'incidenza della morfologia urbana sul comportamento energetico dei tessuti edilizi mediterranei, l'analisi qui presentata introduce un nuovo livello d'indagine, esplorando possibili correlazioni e leggi di variazione tra componenti tipologico-costruttive ed energia. A mutare sono dunque la chiave interpretativa e gli strumenti utilizzati per modellare la realtà fisica del costruito, ma non l'obiettivo ed i principi metodologici. Come la densità urbana - e la sua parametrizzazione - può essere uno strumento analitico del comportamento energetico di un tessuto edilizio, così la massa può costituire il suo alter ego a livello tipologico costruttivo altrettanto efficace in chiave energetica.

Per questa ragione s'introduce e si mettono alla prova le capacità interpretative di un nuovo metodo di misura della densità: la *densità di massa*.[34] In questo modo è possibile evidenziare il ruolo e l'incidenza del tipo edilizio e delle relative tecniche costruttive sull'energia utilizzata per il suo funzionamento. In generale, si definisce densità di massa il rapporto tra la massa degli elementi costruttivi di un organismo edilizio e la corrispondente superficie di riferimento. Nel caso specifico, poiché oggetto principale dell'analisi è la struttura morfo-tipologica delle unità edilizie di base degli isolati romani e barcellonesi, nel calcolo della massa si considerano tutte le parti che le compongono. A tali valori di calcolo, analogamente al precedente studio, saranno associati i corrispondenti valori rappresentativi dell'energia necessaria al condizionamento (estivo e invernale) espresso in termini di domanda energetica.

La comprensione del rapporto massa-energia a livello di tessuto edilizio viene anche a costituire un contributo agli studi dei sistemi urbani mediante l'applicazione delle leggi dei sistemi complessi, alla stregua dei sistemi viventi. In particolare fornisce alcuni elementi chiave per le analisi sulla conformità alle leggi di scala del "tasso metabolico" alla scala urbana (Isalgue, Coch, & Serra, 2007; West & Brown, 2004).



153. Il metabolismo urbano di Bruxelles, Duvigneaud e Denayeyer-De Smet 1977.

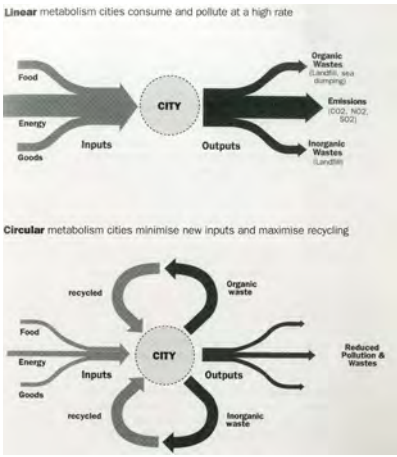
Il metabolismo urbano: tipologia, sistemi costruttivi ed energia

Negli ultimi decenni, maldestramente pilotati da un'etica legata alla ricerca del predominio e dell'egemonia, "i poteri enormemente evoluti della tecnologia e dell'economia sono riusciti a creare un'architettura interna alla specie umana con i caratteri del gigantismo. […] L'impulso tecnologico ha prodotto strumenti tanto potenti da modificare l'ecosistema, e proprio nella direzione dannosa per l'uomo. L'ecosistema da scenario sconfinato talora amico, spesso onnipotente nemico, sta diventando vittima dell'uomo tecnologico" (Sertorio, 2002 p. 21).

Questo brano ci consente di inquadrare meglio alcune riflessioni riguardo la dinamica di un sistema complesso come quello urbano contemporaneo: a quanto pare il suo metabolismo - inteso come il ciclo delle risorse entranti ed uscenti nel sistema per garantirne formazione, funzionamento e demolizione - per effetto della grande disponibilità di risorse energetiche e della logica economica della struttura consumistica della società occidentale, ha subito alterazioni notevoli e dannose, rispetto alle epoche precedenti, in cui l'ambiente costruito era fermamente connesso alle risorse ed ai limiti naturali locali.

A conferma di tale interpretazione sono anche le affermazioni di Lewis Mumford e di Paolo De Pascali. Il primo, nell'affrontare il tema dell'evoluzione storica, culturale e formale della città, parla di *gigantismo metabolico* a cui di fatto corrisponde anche quello fisico, "informe" delle megalopoli di formazione moderna (Mumford, Rosso, & Scrivano, 1999 p. 229). Il secondo, nello studiare le interazioni tra energia e città di epoca contemporanea, paragona metaforicamente le città a "*bocche immense*, un enorme dissipatore dal rendimento basso" (De Pascali, 2008 p. 19). Inoltre, sempre Luigi Sertorio mette in luce lo spreco quotidianamente prodotto dalle nazioni che vivono nel benessere, in opposizione all'efficienza dei sistemi naturali che egli dice essere anche la sua vera bellezza (Sertorio, 2002).

Le letture in chiave fisico-biologica degli ambienti antropici da parte di questi tre autori si richiamano ad una maniera di interpretare l'habitat umano secondo le stesse leggi che governano i sistemi adattivi biologici complessi. La fisica ci insegna che gli stati di equilibrio sono quelli in cui l'energia è minima; nel caso dei sistemi aperti, una struttura complessa raggiunge uno stato finale dinamico che produce la minima entropia. In maniera analoga, la biologia e la zoologia ci insegnano l'efficienza degli organismi viventi su varie scale, microscopiche e macroscopiche.



154. Metabolismi urbani "convenzionali" e "virtuosi" a confronto, Rogers 2008.

Negli ultimi tempi, compresa l'incidenza delle complesse interazioni ambientali che avvengono nei contesti urbani consolidati, gli sforzi di ricerca sui modelli e sulle tecniche di simulazione energetica si sono concentrati sulle correlazioni tra la scala dell'oggetto edilizio e quella urbana. Si è osservato che uno strumento utile a descrivere la struttura

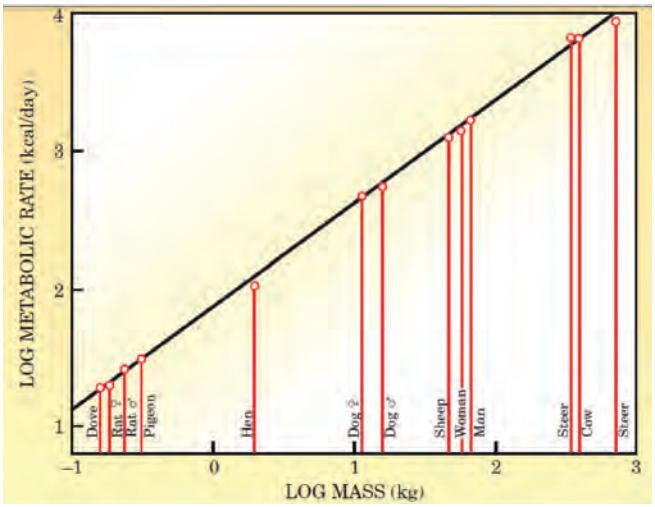
dei sistemi urbani è quello delle leggi di scala, ad esempio, per le reti di distribuzione e soprattutto per l'energia utilizzata (Kühnert, Helbing, & West, 2006; Lämmer, Gehlsen, & Helbing, 2006). Tuttavia resta da indagare se tale relazione permane analizzando il fenomeno alla scala edilizia e che legame intercorre al variare delle tipologie costruttive tra massa ed energia.

Alcuni autorevoli studi hanno già mostrato la possibilità di analizzare mediante suddette leggi i sistemi complessi come quelli biologici e trasposto tale metodologia di analisi anche alla città, in quanto organizzazione sociale che possiede gli stessi caratteri di adattività e complessità. Le leggi di scala si sono mostrate utili e hanno evidenziato la sorprendente esistenza di una legge di invarianza molto chiara che regola, ad esempio, il "metabolismo urbano" e lo assimila a quello dei sistemi biologici (Isalgue et al., 2007; West & Brown, 2004).

Così come energia e forma mostrano una chiara relazione sia che ci si riferisca ai sistemi viventi, a quelli naturali o a quelli costruiti (Knowles, 1981), si vuole qui comprendere se la relazione esistente tra energia e massa nei sistemi naturali (il metabolismo) possa avere un suo analogo - esattamente come per la forma - nell'ambito dei sistemi urbani. Cosa accade allora se consideriamo i tessuti urbani come componenti di questi sistemi complessi adattivi? È possibile riscontrare anche a questo livello dimensionale la medesima legge di relazione? O le diversità morfologiche e costruttive dei tessuti urbani producono dispersione?

Focalizzando l'interesse sulla città compatta europea dal clima mediterraneo, l'indagine viene condotta mediante simulazioni su casi di studio e prende spunto dal proposito di esaminare se anche per i sistemi urbani omogenei considerati alla scala del tessuto e dell'isolato, sia riscontrabile la medesima legge allometrica biologica stabilita da Geoffrey West e James Brown: un legame tra massa corporea e potenza utilizzata, valido per gli organismi viventi (West & Brown, 2004). I ricercatori sono giunti a stabilire che tale legame numerico è costante, nonostante attraversi dai ventuno ai ventisette ordini di grandezza (rispettivamente in termini di massa e di potenza), ne esprime proprietà, struttura, organizzazione e dinamiche. Partendo dagli studi di Max Kleiber della prima metà del secolo scorso sul tasso metabolico di mammiferi e uccelli, determinano che la legge di scala è esprimibile mediante la formula $Y = Y_0M^b$ - in cui Y è la potenza, Y_0 una costante e M la massa - e che il valore dell'esponente b è pari a ¾ per tutti gli esseri viventi, con una deviazione molto limitata.

Un tentativo di verifica del comportamento dei sistemi metropolitani rispetto a questa legge, è stato condotto stimando la massa complessiva degli elementi che compongono alcune città e la corrispondente potenza impiegata (Isalgue et al., 2007). Per quanto le città non abbiano confini chiaramente definiti e oltretutto la massa che posseggono



155. Tasso metabolico: Rappresentazione in scala logaritmica dell'energia metabolica dei mammiferi in relazione alla loro massa, West e Brown, 2004.

sia difficilmente determinabile con precisione - quanto invece non lo sia per un essere vivente - la ricerca coordinata da Antonio Isalgue verifica che, pur con una certa approssimazione, le città prese in esame assumono un comportamento che si scosta di poco rispetto a quello degli esseri animali e soprattutto che il legame massa-potenza resta costante anche per questi sistemi artificiali e per i loro ordini di grandezza.

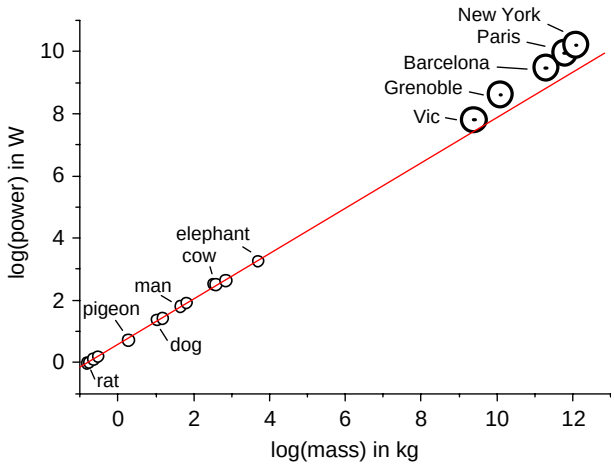
Su tali basi, appare interessante studiare il comportamento di tessuti e di isolati ed osservarne come si rapportano al funzionamento metropolitano e quale sia il discostamento valutabile rispetto alla legge di scala determinata. La scala più piccola, anche in questo caso, dovrebbe favorire la comprensione del fenomeno, riducendo le incertezze relative ai confini materiali del sistema, come pure il grado di approssimazione dovuto all'enorme complessità delle variabili in gioco per un'intera città. Nonostante i numerosi studi elaborati negli ultimi anni sull'influenza delle complesse interazioni ambientali che avvengono nei contesti urbani che hanno permesso di sviluppare metodi e tecniche per la simulazione energetica a tale scala, paiono necessari maggiori sforzi di ricerca per comprendere l'interazione tra morfo-tipologia e prestazioni energetiche dei tessuti urbani.

Alla scala edilizia, studi recenti hanno accertato l'esistenza di un legame tra l'aspetto tipologico degli edifici e la loro domanda energetica, proponendone una sistematizzazione basata su aspetti cronologici, dimensionali e formali. Un esempio molto rappresentativo è il progetto di ricerca TABULA (*Typology Approach for Building Stock Energy Assessment*) condotto nel quadro delle iniziative scientifiche promosse dall'Unione e sviluppato da diverse università ed enti europei, che propone uno strumento/database di valutazione del comportamento energetico del patrimonio edilizio esistente e dell'incidenza dei possibili interventi di efficientamento energetico, basato proprio sui differenti caratteri tipologici e costruttivi degli edifici (Dascalaki, Droutsa, Balaras, & Kontoyiannidis, 2011; TABULA, 2012).

Alle scale urbane, invece, uno strumento di questo tipo non è ancora stato messo a punto, anche se da più parti e con sempre maggiore frequenza se ne rileva l'esigenza. Tant'è che il medesimo gruppo di ricerca, nel definire e presentare gli sviluppi futuri di TABULA, ha introdotto la questione delle analisi energetiche impostate su suddetti caratteri ed a più scale di riferimento.[35]

Uno degli aspetti dunque più interessanti tutt'oggi inesplorato è la natura del legame tra la massa delle diverse tipologie edilizie e l'energia spesa per il loro funzionamento a livello urbano. Il parametro della massa, infatti, può costituire l'elemento di congiunzione tra tipologia edilizia ed energia. Esso da un lato possiede dipendenza diretta dagli aspetti costruttivi (indubbiamente connessi ai caratteri tipologici di un tessuto edilizio, specie se storico), dall'altro è saldamento legato al comportamento "metabolico" dei sistemi complessi. Ciò assume rilevanza ancor maggiore nel contesto della città compatta eu-

156. Tasso metabolico di esseri viventi e di alcune città contemporanee a confronto in relazione alla loro massa, Isalgue et al., 2007.



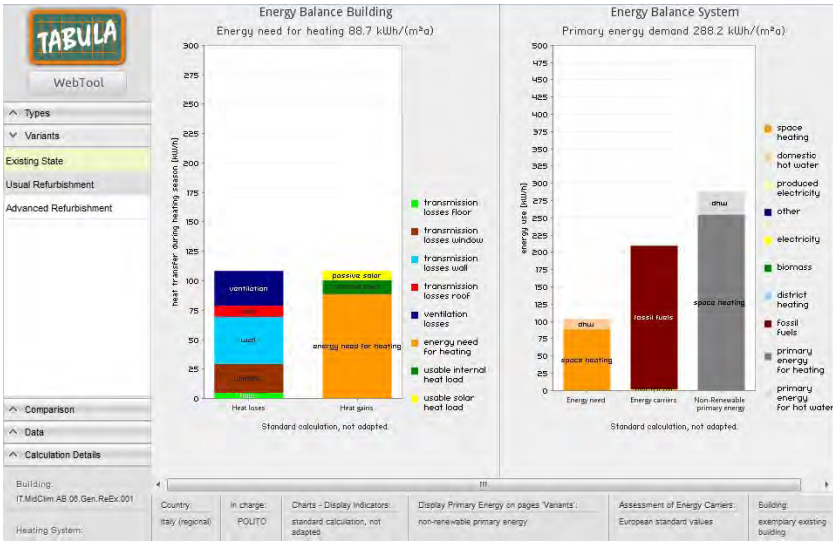
ropea dal clima mediterraneo, in cui la variabilità di condizioni termo-igrometriche nell'arco diurno, nel breve periodo e nell'arco stagionale, determina una maggiore incidenza delle questioni inerziali in termini di performance energetiche del costruito e di benessere termico indoor. Inoltre, in tale contesto è semplice riscontrare la presenza di tessuti edilizi composti da unità edilizie di base omogenee sotto l'aspetto tipologico-costruttivo, sia per quanto concerne il nuovo, che soprattutto per l'esistente. Questi, al pari delle altre due componenti dello spazio urbano, ossia la rete stradale e i lotti, costituiscono uno dei fattori di maggiore influenza delle performance energetiche di un sistema antropizzato.

Massa e tipologia: la modellazione del tessuto edilizio

Per la determinazione a scala di tessuto del comportamento energetico in funzione della tipologia e, quindi, dell'esistenza di una legge di variazione tra le due, esprimibile in termini parametrici mediante la massa, si è fatto ricorso ad una metodologia appositamente studiata. Essa è strutturata su fattori numerici di riferimento e modellazioni, entrambi rappresentativi del tessuto edilizio e, quindi, delle principali grandezze in gioco nello studio. Al contempo, la formalizzazione di tale metodologia può costituire una base di conoscenza per studi futuri sulla conformità a scala urbana alla legge del "tasso metabolico".

In prima istanza si selezionano i casi di studio che rappresentino tipologie insediative convenzionali e diffuse. Successivamente, tramite due distinte modellazioni - una tipologico costruttiva, l'altra termodinamica - se ne valuta la massa costruita e la domanda energetica e si tenta di individuare i parametri che più chiaramente esprimono la loro interdipendenza. Pertanto, tali modellazioni tengono conto principalmente dei parametri più strettamente correlati agli aspetti tipologico-costruttivi, tentando di ridurre l'incidenza di quelli maggiormente ininfluenti. Più specificamente - come per lo studio su densità e morfologia urbana - ciò ha riguardato sia la gestione delle variabili interne alla modellazione, sia i valori ricercati per massa ed energia; per quest'ultima ci si è riferiti alla domanda per il condizionamento estivo ed invernale, che rappresenta di certo la componente più direttamente connessa agli aspetti tipologico costruttivi. Piuttosto che stabilire un metodo che con maggiore esattezza di altri ci restituisca con precisione tali valori, si vuole verificare e studiare la natura del legame esistente tra le due grandezze.

Gli edifici analizzati sono stati prescelti in quanto componenti principali di diversi tessuti edilizi presenti nella città compatta (storica e non) europea; il clima di riferimento è quello tipicamente mediterraneo della città di Barcellona.[36] Oggetto dell'analisi è *l'aggregato edilizio,* cioè un organismo di scala superiore all'abitazione elementare che può essere riguardata come semplice elemento, i cui limiti sono identificabili nell'involucro



157. Schermata tipo dello strumento informatico realizzato con il progetto TABULA.

continuo a contatto con l'esterno. Per alcuni casi esso coincide con l'unità edilizia di base, per altri corrisponde all'insieme di più unità edilizie che, ripetute, compongono l'isolato ovvero parte di esso.[37]

I casi di studio sono stati modellati escludendo e filtrando le eventuali specificità esistenti, nell'ottica di non compromettere la comprensione del reale comportamento e prevenire difficoltà nell'interpretazione dei risultati. In questo senso, ove necessario, in sostituzione di quelle originarie sono state applicate soluzioni più convenzionali, ma comunque coerenti con il sistema formale e costruttivo del componente e dell'unità edilizia nel suo complesso.

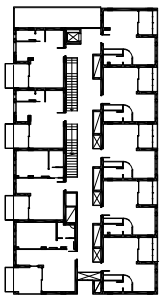
La stima della massa complessiva si è basata sul calcolo della *densità di massa*, un indice di densità definito appositamente per la presente analisi. Per densità di massa s'intende il rapporto tra la sommatoria delle masse di tutti gli elementi costruttivi che compongono un organismo (sia esso edilizio, aggregativo, urbano o territoriale) e la relativa superficie di riferimento. Essa è misurabile in tonnelata metrica per metro quadrato di superficie (Tm/m^2).[38] Nel calcolo vengono considerati esclusivamente gli elementi che sono parte integrante della costruzione, escludendo qualsiasi bene mobile e qualsiasi massa associata al processo di costruzione.

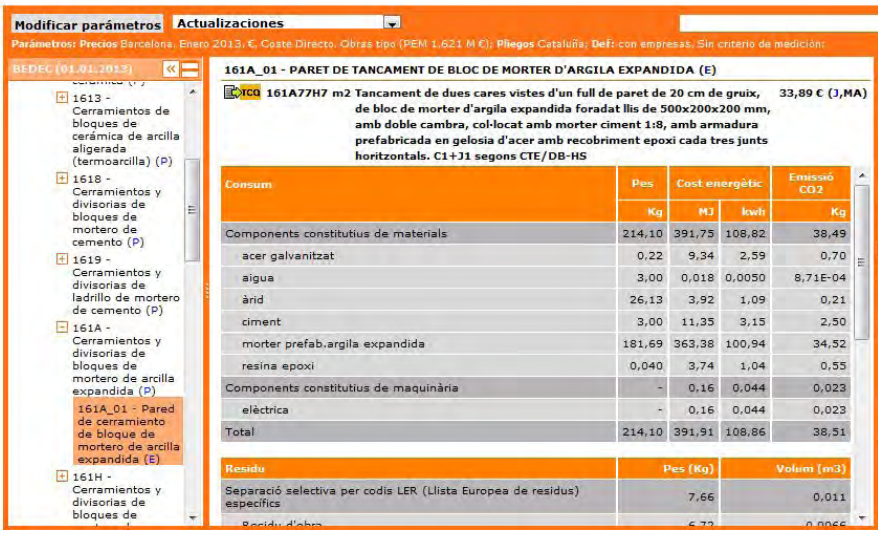
A partire da questa definizione, nello studio non sono stati considerati, inoltre, reti infrastrutturali, urbanizzazioni, spazi esterni e componenti non dipendenti dalla specifica morfologia. Un valore medio di default è stato applicato a tutti i sistemi impiantistici tipici di un edificio residenziale.

Per stimare la massa è stato necessario in primis ricostruire l'entità dimensionale e costruttiva degli elementi di fabbrica e dei sistemi complessi dei singoli casi, ricorrendo all'ausilio di materiale d'archivio per i progetti del passato e di documenti progettuali per i tessuti recenti. Su tali basi, quindi è stata effettuata una valutazione dei singoli pesi, facendo riferimento al database *BEDEC* dell'*IteC* (ITeC, 2013). Il database fornisce valori caratteristici e proprietà principali di materiali di base, elementi costruttivi funzionali ed elementi di fabbrica sulla base di una campagna statistica sul settore edilizio catalano effettuata negli anni dal 1998 al 2000 compreso. Ove necessario, specie per i tessuti edilizi meno recenti, tali dati sono stati integrati con il supporto della manualistica sull'edilizia storica. Tutti i componenti sono stati raggruppati in unità tecnologiche (fondazioni, strutture, involucro, etc.) in maniera da stimare al contempo l'impatto dei singoli elementi di fabbrica sul valore globale.

La domanda energetica è stata determinata mediante modellazione con il software Lider (v. 1.0), uno strumento di simulazione di tipo dinamico. Si sono ottenuti i valori della domanda globali e separati per riscaldamento/condizionamento dai quali sono stati

158. Pianta piano tipo dell'edificio plurifamiliare contemporaneo (I).



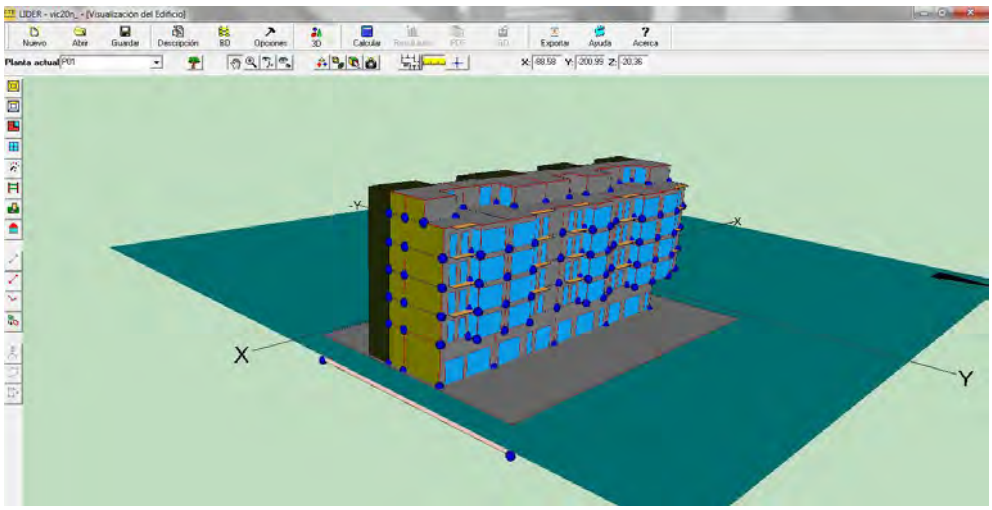


159. Analisi della massa del costruito delledificio plurifamiliare contemporaneo (I) - stralcio.

ACILIA (2013)

Sub-sistema	Descrizione	Quantità	Unità	kg/unità	kg
FONDAZIONI					
	Pavimento industriale 8 cm	293.70	m^2	160.0	46,992.0
	Platea in cls sp 30 cm	102.18	m^3	2,682.0	274,046.8
	Muro di contenimento				
	Magrone 15 cm	51.09	m^3	1,500.0	76,635.0
	Intonaco intradosso	284.74	m^2	12.0	3,416.9
STRUTTURA VERTICALE					
	pilastri p. interrato e muro di sostegno	41.41	m^3	2,704.0	111,967.2
	pilastri elevato	25.73	m^3	2,704.0	69,560.4
SOLAI INTERMEDI					
P0	Pavimento e allettamento interno	125.01	m2	50.0	6,250.5
	Pavimento e allettamento esterno + impermeabile	9.64	m2	70.0	674.8
	Massetto interno e esterno 4 cm	134.65	m2	80.0	10,772.0
	Solaio latero-cementizio 18+4	168.87	m2	276.8	46,743.2
	Intonaco intradosso	134.65	m2	12.0	1,615.8
P1-P3	Pavimento e allettamento interno	351.81	m2	50.0	17,590.5
	Pavimento e allettamento esterno + impermeabile	5.67	m2	70.0	396.9
	Massetto interno e esterno 4 cm	357.48	m2	80.0	28,598.4
	Solaio latero-cementizio 18+4	450.45	m2	276.8	124,684.6
	Intonaco intradosso	357.48	m2	12.0	4,289.8
P4	Pavimento e allettamento interno	73.80	m2	80.0	5,904.0
	Pavimento e allettamento esterno + impermeabile	14.70	m2	70.0	1,029.0
	Massetto interno e esterno 4 cm	88.50	m2	80.0	7,080.0
	Solaio latero-cementizio 18+4	136.44	m2	276.8	37,766.6
	Intonaco intradosso	88.50	m2	12.0	1,062.0
COPERTURA	Pavimento e allettamento esterno + impermeabile + pendenze	105.84	m2	206.4	21,847.5
	Solaio latero-cementizio 18+4	105.84	m2	276.8	29,296.5
	Intonaco intradosso	105.84	m2	12.0	1,270.1
	Isolamento termico 4 cm	105.84	m2	1.2	127.0
FACCIATA					
P -01	Muratura in blocchi alveolari in laterizio 28 cm	156.73	mq	227.0	35,578.2
	Intonaco doppia faccia	156.73	mq	24.0	3,761.6
	Infissi in alluminio con vetro 6-8-4 (sottr. A muro)	3.00	mq	48.5	145.5

160. Schermata tipo del software LIDER utilizzato per la simulazione ed il calcolo della domanda energetica (modello del caso E).



dedotti - tenendo in conto otto possibili esposizioni dell'edificio - i valori medi, minimi e massimi. Tutte le parti dell'involucro, le ombre fisse, così come le partizioni interne sono state modellate sulla base dei dati acquisiti per ogni edificio. Le ostruzioni urbane sono state considerate simulando le effettive proprietà geometriche dei tessuti dei casi di studio.
Le variabili dipendenti dall'utente, ossia, condizione igrometrica e numero di ricambi orari, sono state tenute di default per tutti i casi, così come le protezioni solari mobili, considerate dal simulatore mediante due coefficienti medi di riduzione (estivo ed invernale). Il software restituisce la domanda energetica espressa in kWh/m^2 anno riferiti ai metri quadri soggetti a condizionamento termico. I valori medi, calcolati per le otto esposizioni, sono stati successivamente trasformati in dividendoli per la densità di massa e pertanto espressi in kWh/Tm anno.
La metodologia è stata prima messa alla prova nella sua validità con un campione ristretto di casi e successivamente - verificata la sua coerenza - applicata all'intero campione di tessuti edilizi.[39]

Casi di studio

La ricerca ha confrontato nove tipologie edilizie residenziali, differenti per periodo di costruzione, morfologia e sistemi costruttivi. La scelta è ricaduta su casi localizzati nelle aree metropolitana di Barcellona e Roma che rappresentassero modelli abitativi convenzionali, costituenti tessuti urbani ad ampia diffusione nei loro periodi storici di riferimento. A seguire se ne riporta una breve descrizione dei caratteri salienti tipologici e costruttivi, la cui lettura deve essere integrata con i dati presentati in tabella [162] e con le schede dedicate ai singoli tessuti.

A - CASA DE COS (BARCELLONA, 1900)

L'unità edilizia di base si compone di un alloggio a schiera su due livelli, tipico degli insediamenti storici a bassa densità che trae l'impianto d'origine dalla casa medievale e che si ritrova fino agli inizi del novecento. Si caratterizza per una facciata molto stretta, di circa 5 m (rapporto lunghezza/profondità L/W ≈ 0.4) e uno sviluppo prevalente nella direzione trasversale, lungo i muri di spina. La scala è posizionata nella parte centrale, mentre gli spazi di servizio affacciano sul patio interno. È costituita da:

- fondazioni continue in pietra
- muratura portante in laterizio pieno di spessore 40 cm (per le chiusure verticali) e di 15 cm per le partizioni interne
- vespaio di base in pietrame a secco
- solaio intermedio in travi di legno e voltine di mattoni

- copertura alla catalana ventilata
- priva di isolamento termico.

B - CASTELLDEFELS (BARCELLONA, 2000)

L'aggregato si compone di case a schiera su tre livelli e un interrato che costituisce un tessuto residenziale contemporaneo periferico a bassa densità, con rapporto L/W ≈ 2. Si caratterizza per:

- piastra armata di fondazione
- struttura in muratura di mattoni forati
- involucro esterno in muratura a cassetta con intercapedine e isolamento
- solai in calcestruzzo armato monodirezionale
- copertura piana in calcestruzzo armato isolata termicamente.

C - EIXAMPLE (BARCELLONA, 1900)

Si è fatto riferimento all'unità edilizia di base che compone gli isolati della prima fase di espansione dell'*Eixample* di Barcellona, regolata dalla normativa dell'epoca. L'edificio tipo è formato da sei livelli (altezza circa 24 m), dimensioni in pianta di circa 12 x 28 m (L/W ≈ 0.4) con patii nel mezzo e si costituisce di:

- fondazioni continue ad archi dritti in muratura sbozzata e laterizio
- vespaio di base in pietrame a secco
- muratura portante in laterizio pieno di spessore 40 cm e 15 cm per le partizioni interne
- solaio intermedio in travi di legno e voltine di mattoni
- copertura alla catalana ventilata
- privo di isolamento termico.

Un elemento tipico dell'impianto dell'Eixample e rilevante rispetto a quest'analisi è la "galleria": una loggia posizionata su fronte interno, che a seconda dell'esposizione - e delle stagioni - viene utilizzata come sistema di captazione solare indiretto, come schermatura solare della facciata o come semplice spazio aperto.

D - LA GUINAUETA (BARCELLONA, 1960)

Questo tessuto edificato possiede un impianto tipico di molti insediamenti periferici realizzati nel dopoguerra in molti paesi europei. L'unità edilizia di base prescelta è un blocco in linea su nove livelli, con rapporto L/W ≈ 0.3. Possiede:

- struttura portante in muratura di laterizi forati GERO di spessore 14 cm
- fondazioni continue in cemento armato
- vespaio di base in cemento
- solai intermedi in cls armato unidirezionale

- copertura piana cls armato unidirezionale priva di isolamento
- involucro esterno in muratura a cassetta (parete portante sull'esterno e muratura di forati all'interno) priva di isolamento termico.

E - SANT CUGAT (BARCELLONA, 2000)

L'aggregato edilizio di quest'impianto si può riscontrare in molti insediamenti periferici europei a media densità. Si compone di blocchi in linea a corpo doppio di sei livelli con patii interni per la ventilazione e l'illuminazione dei servizi e rapporto L/W ≈ 2. Gli elementi di fabbrica sono:

- struttura portante a telaio in cls armato
- plinti di fondazione, soletta di base in cls
- solai intermedi e copertura piana in cls armato reticolare
- chiusure verticali in muratura di due strati
- involucro esterno isolato termicamente.

F – SAN SABA (ROMA, 1920)

Il tessuto è rappresentativo di quegli interventi residenziali di case popolari che hanno avuto luogo nella prima corona periferica romana, come in altre città italiane in seguito all'unità d'Italia e alla richiesta di alloggi dovuta all'aumento di popolazione urbanizzata. L'unità edilizia di base si compone di 4 alloggi su tre livelli (più un seminterrato) ed è contraddistinta da:

- muratura portante in mattoni pieni a quattro teste
- fondazioni in muratura di mattoni ad archi dritti e rovesci
- vespaio in pietrame a secco
- piano terra in volte di mattoni pieni
- solai intermedi in putrelle d'acciaio e tavelle in laterizio
- tetto ventilato a padiglione
- assenza di isolamento termico.

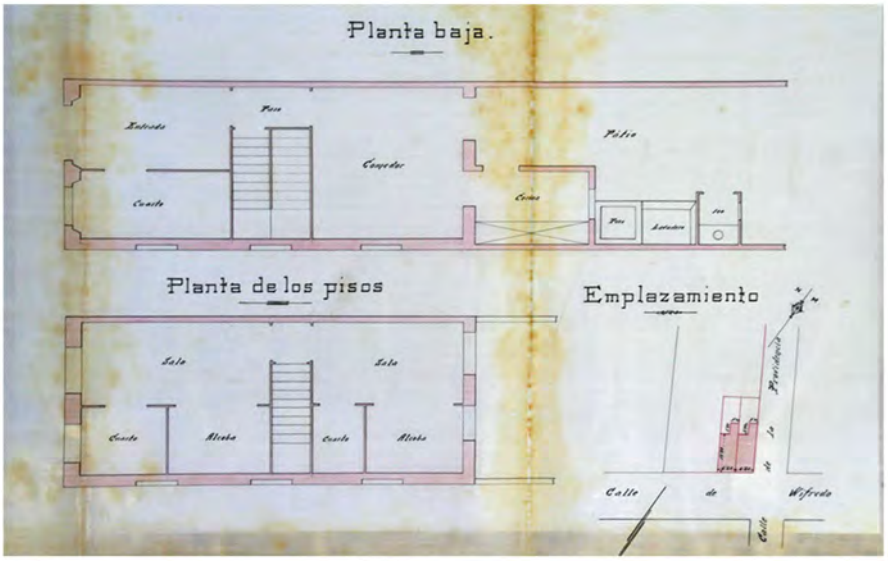
G – ETIOPIA - INA (ROMA, 1950)

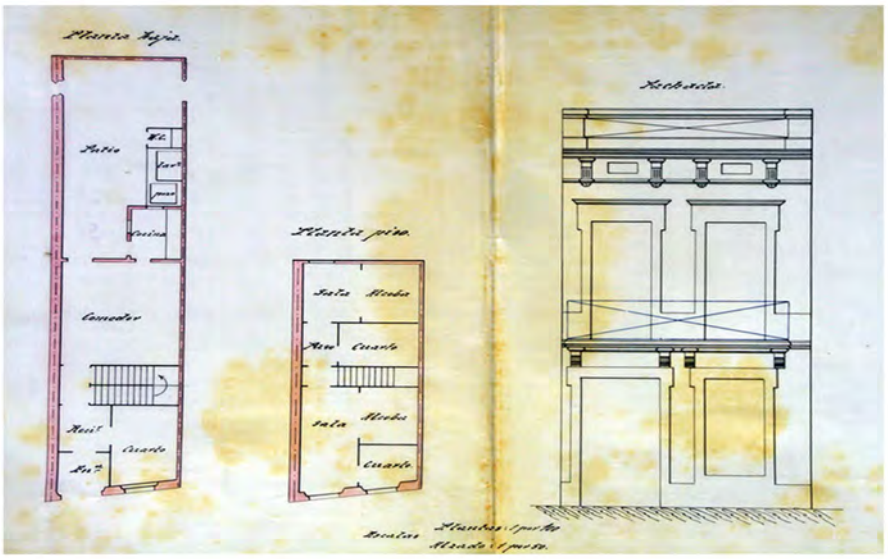
La ricostruzione avvenuta nel secondo dopoguerra ha innescato il processo di formazione delle periferie oggi visibili nelle città italiane ed europee. Questo caso rappresenta una tipologia esemplare degli impianti realizzati inizialmente su iniziativa pubblica e poi da privati. Il blocco in linea è composto da nove livelli (di cui il piano terra occupato da servizi) e un piano interrato. In termini costruttivi si caratterizza per:

- fondazione su plinti in calcestruzzo armato
- struttura portante intelaiata in calcestruzzo armato
- vespaio di base in calcestruzzo su pietrame a secco

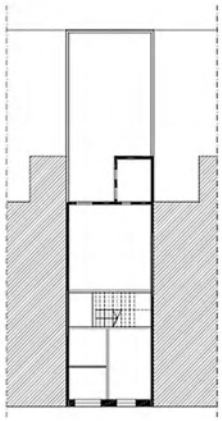
A Casa de Cos

City: Barcelona
Construction period: 1900





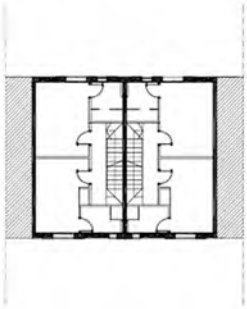
10 m

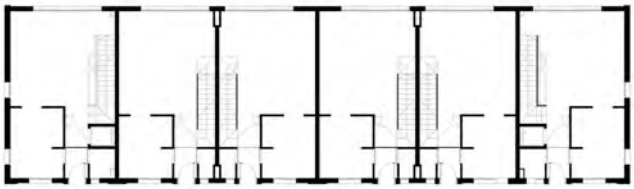


B Castelldefels

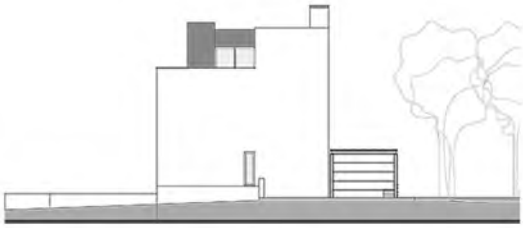
City: Barcelona
Construction period: 2000

10 m



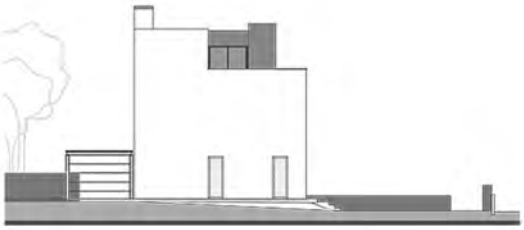


ALÇAT OEST



ALÇAT NORD

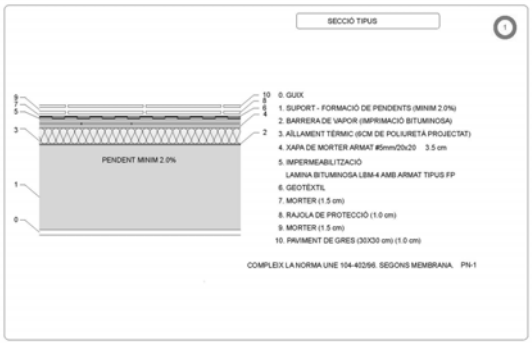
ALÇAT EST

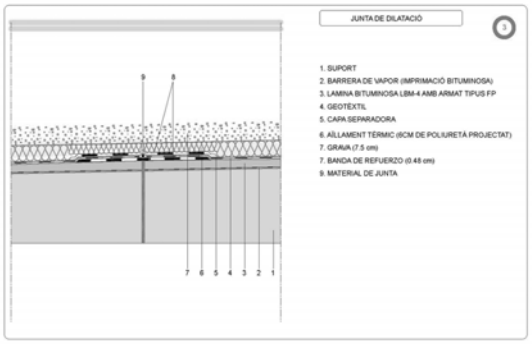


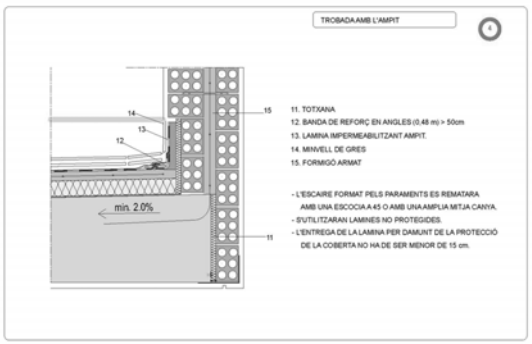
ALÇAT SUD

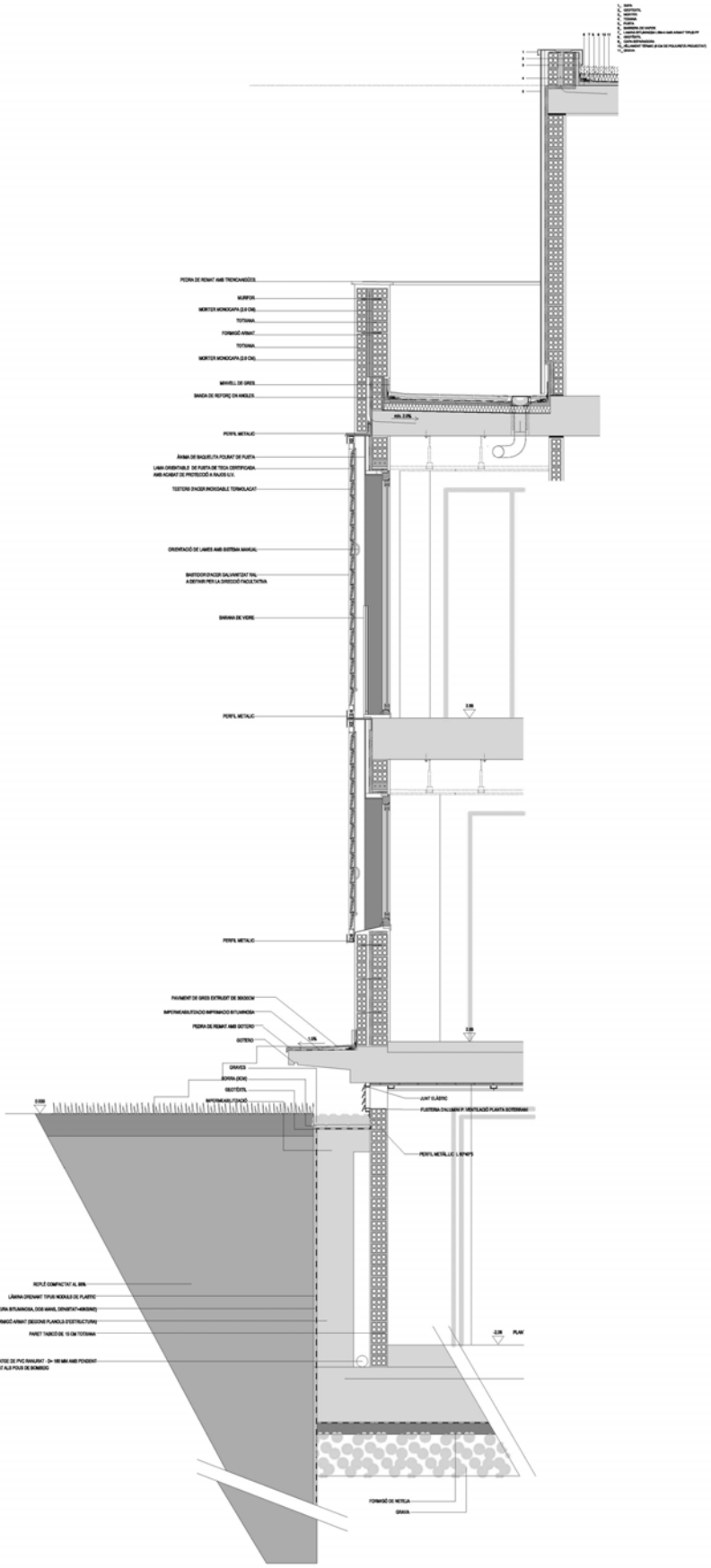
B Castelldefels

City: Barcelona
Construction period: 2000





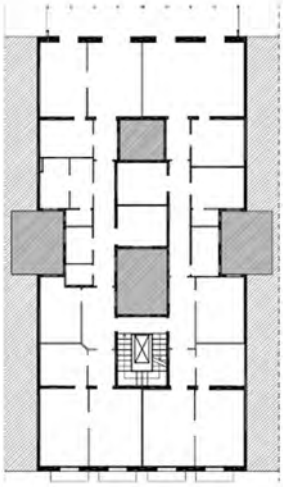


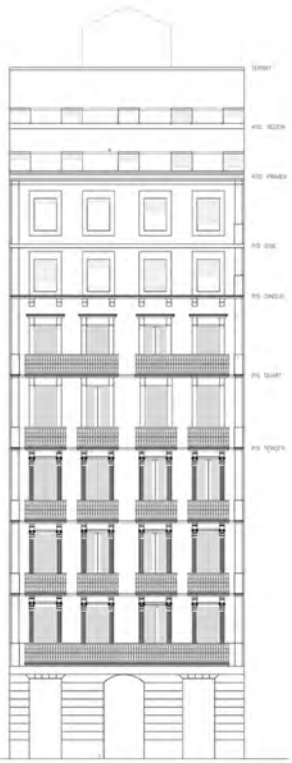


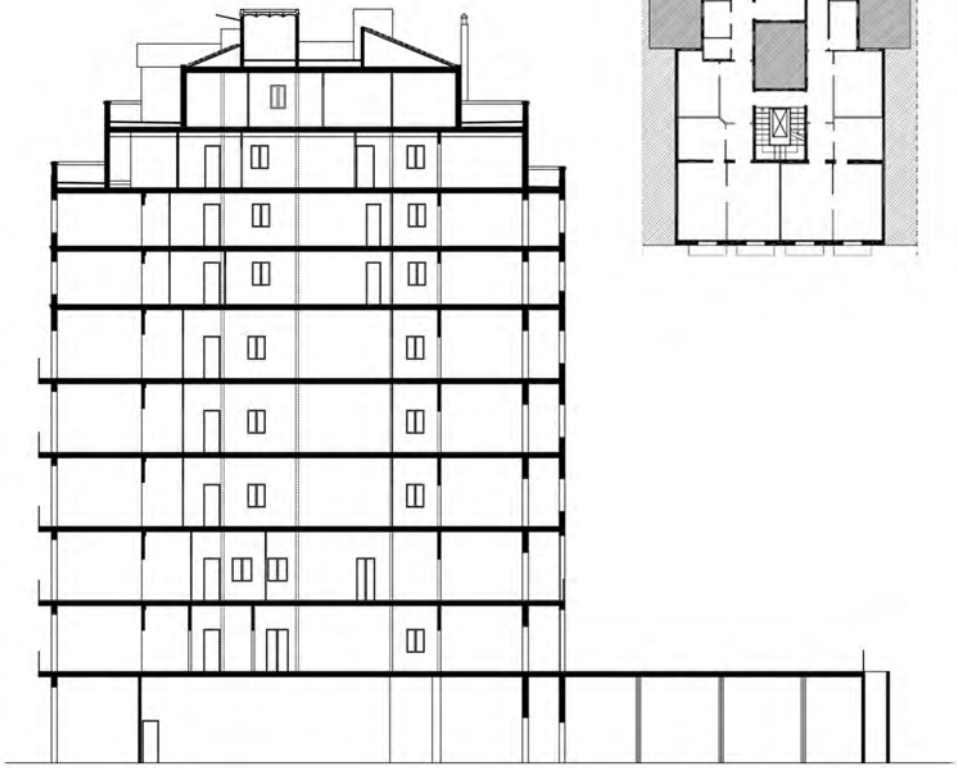
C Eixample

City: Barcelona
Construction period: 1900

10 m

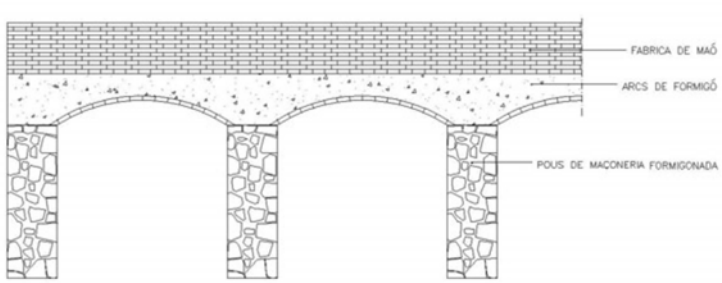


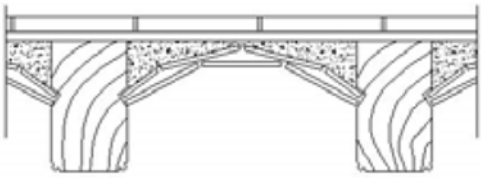


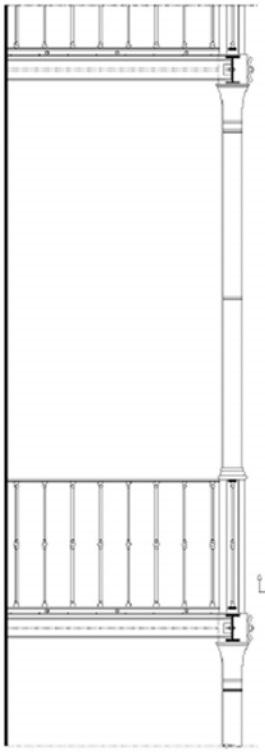


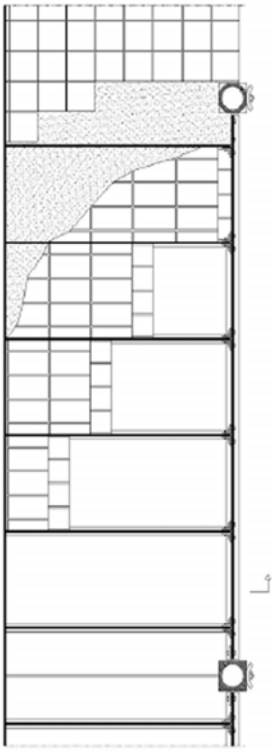
C Eixample

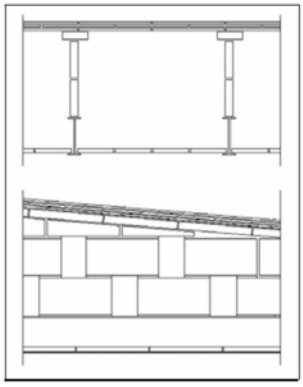
City: Barcelona
Construction period: 1900

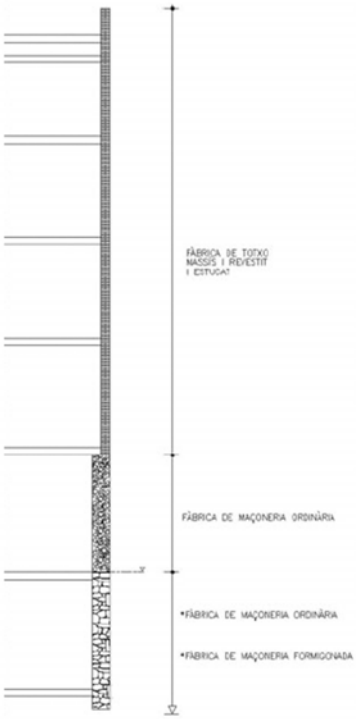








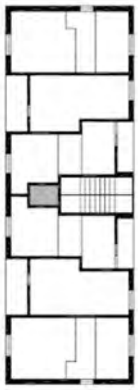


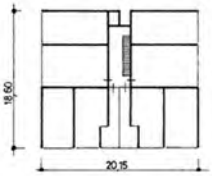


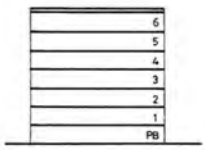
D La Guinaueta

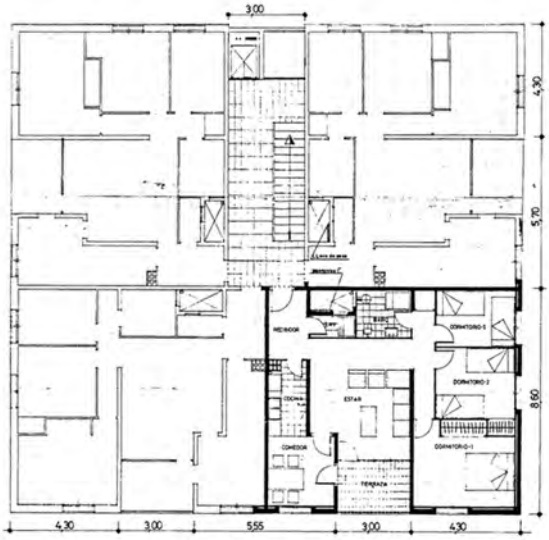
City: Barcelona
Construction period: 1962-1964

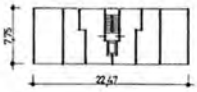
10 m

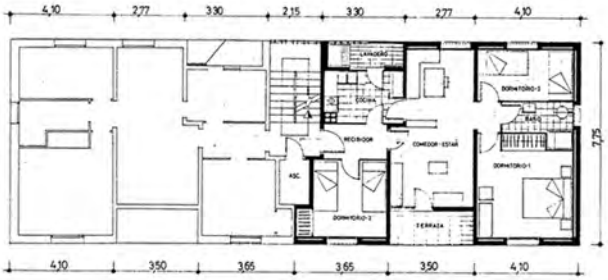








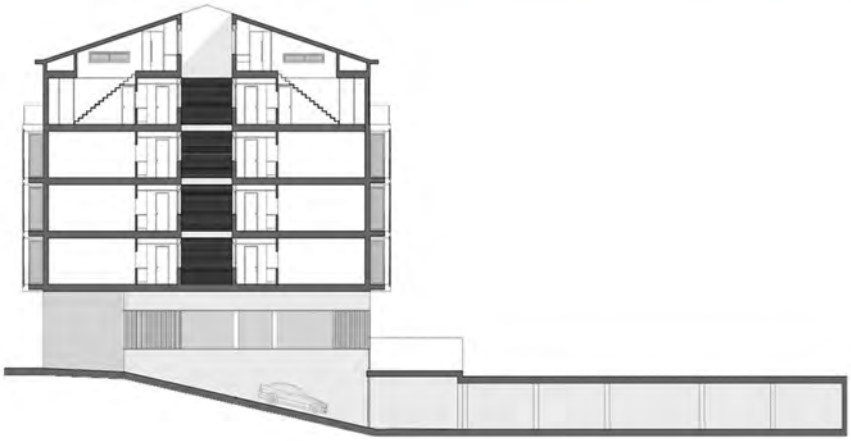


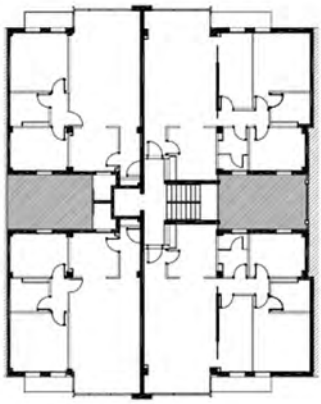


E Sant Cugat

City: Barcelona
Construction period: 2000

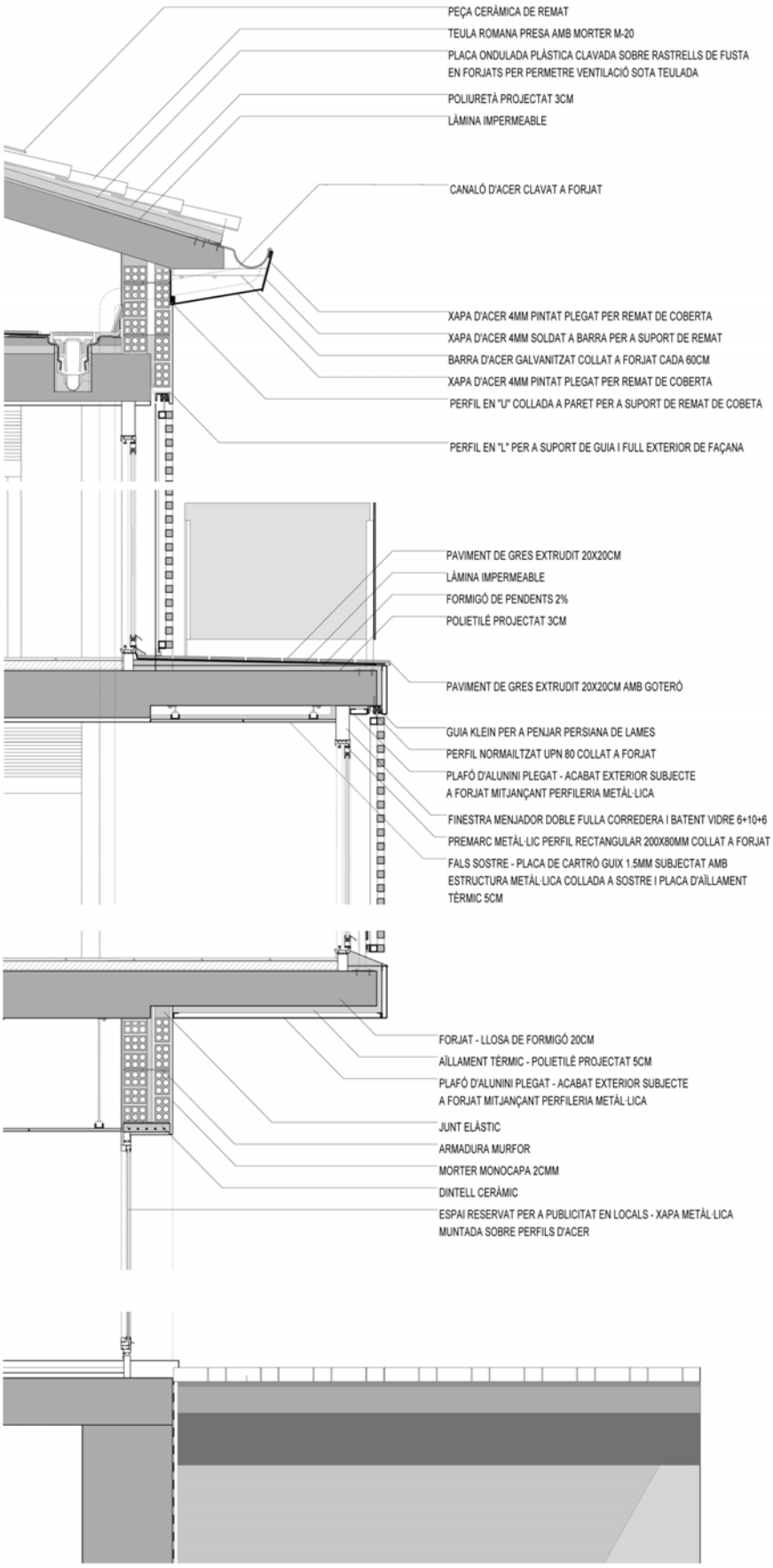
10 m





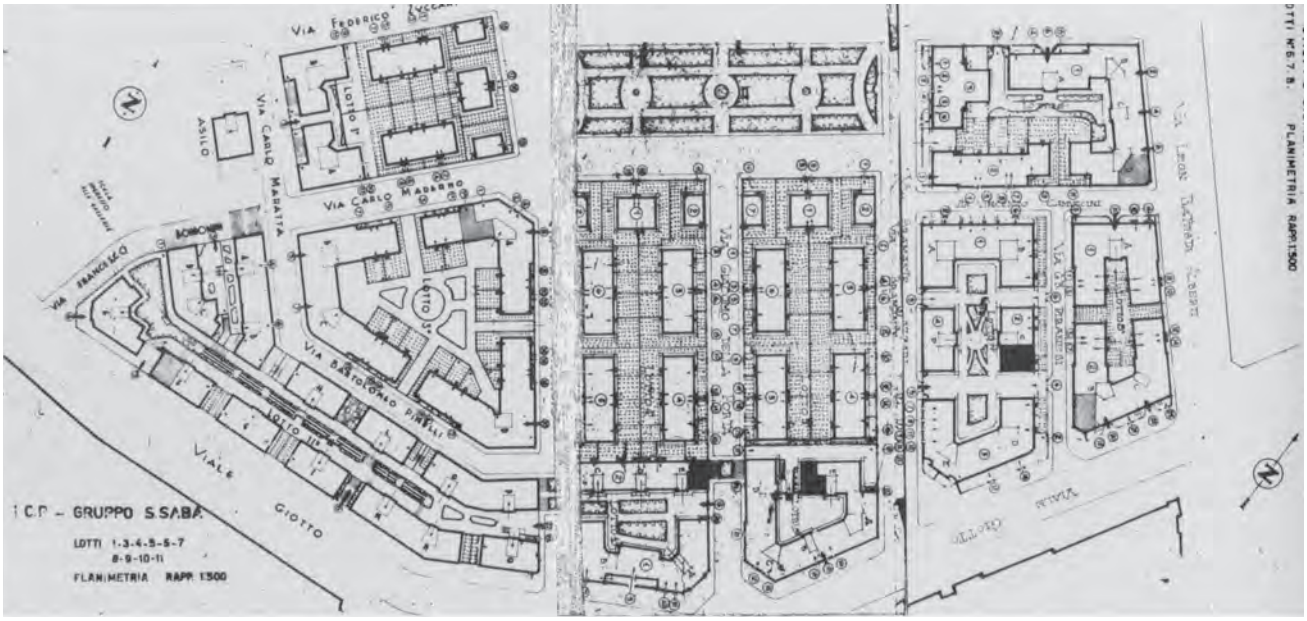
E Sant Cugat

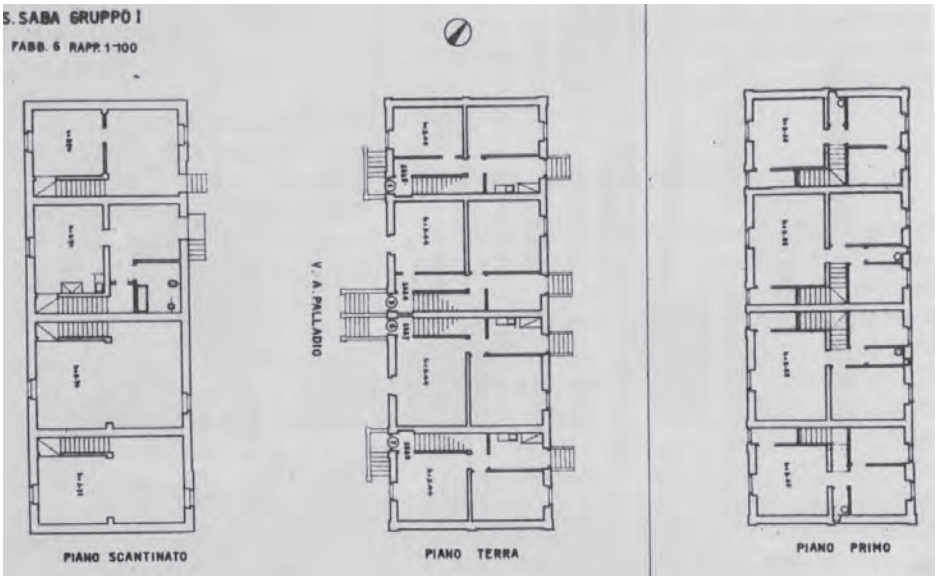
City: Barcelona
Construction period: 2000



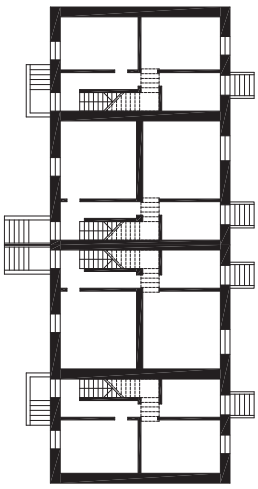
F San Saba

City: Rome
Construction period: 1907-1923



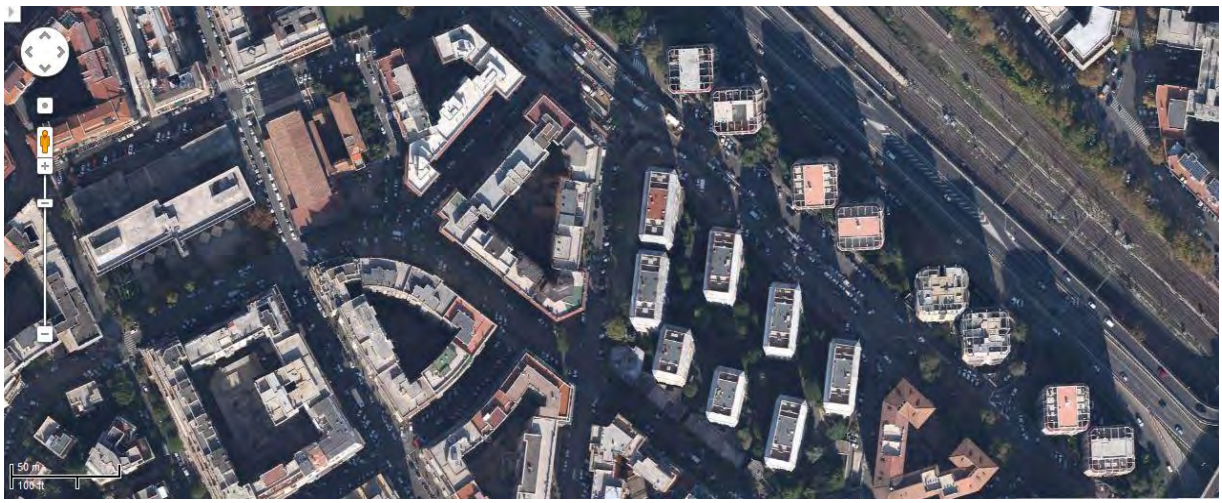


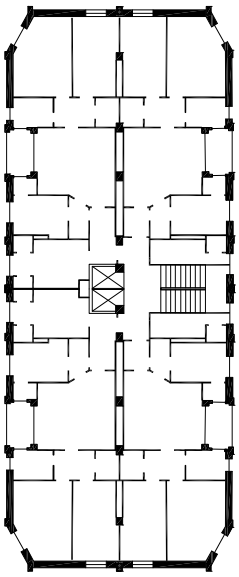
0 10 m

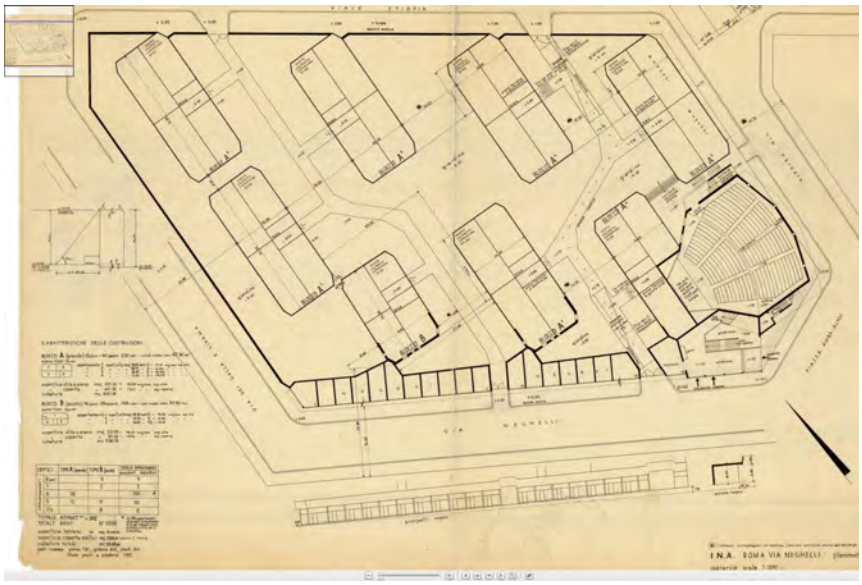


G Etiopia - INA

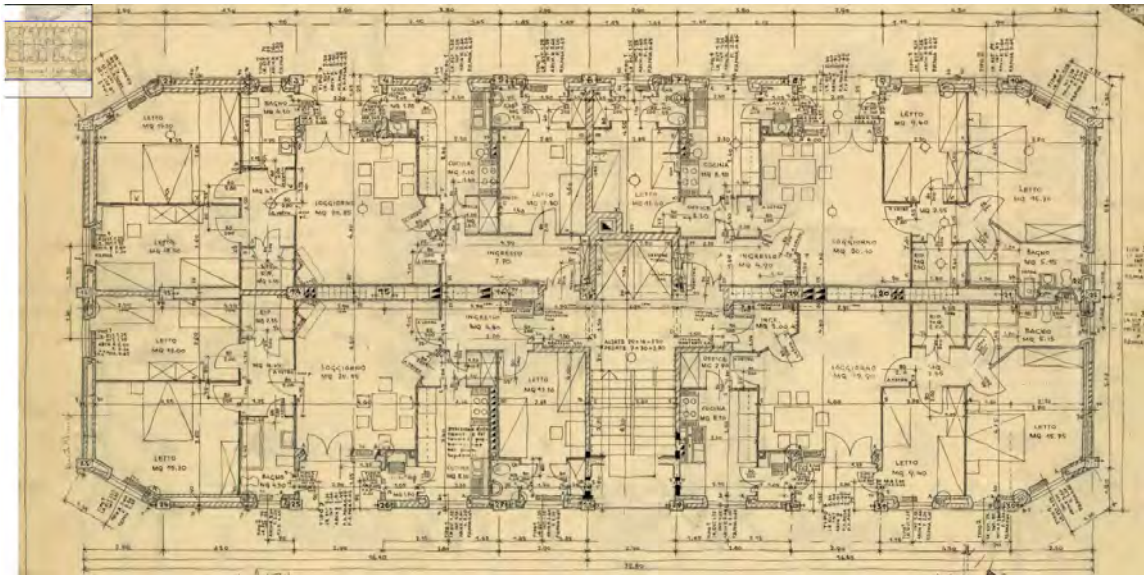
City: Rome
Construction period: 1951-1953





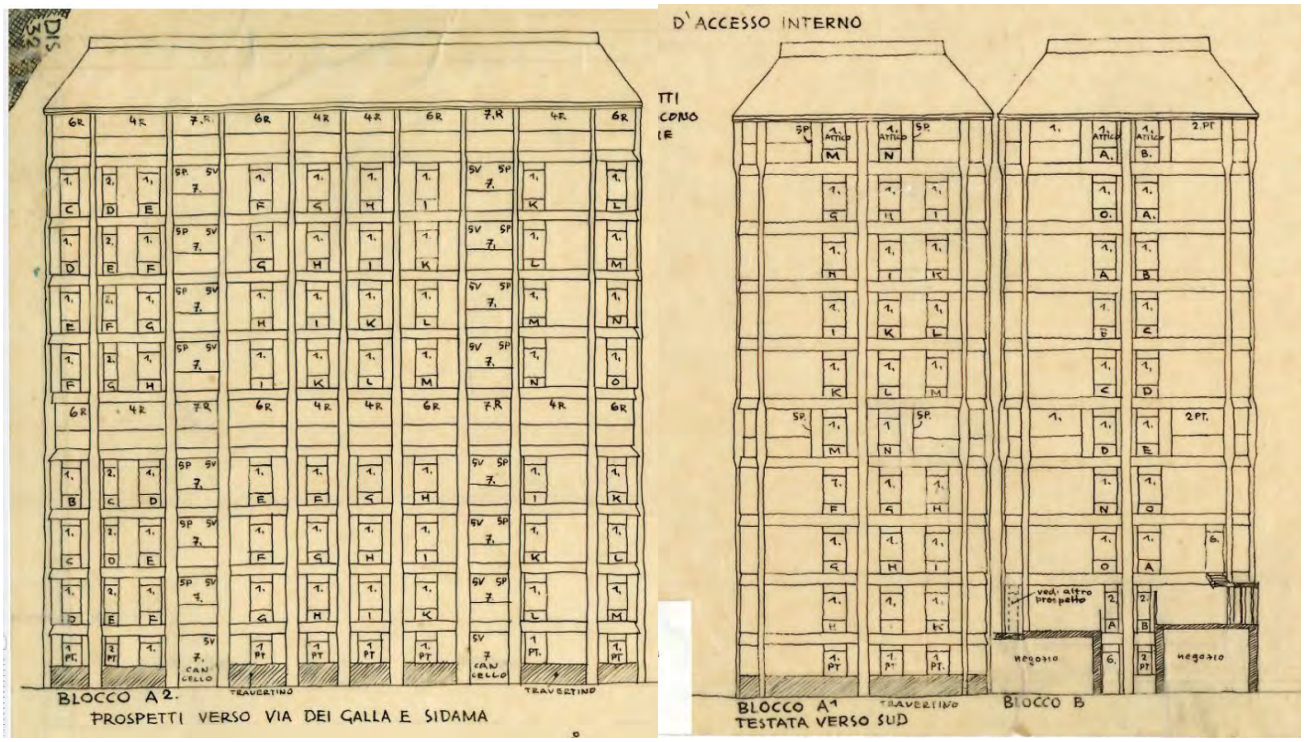


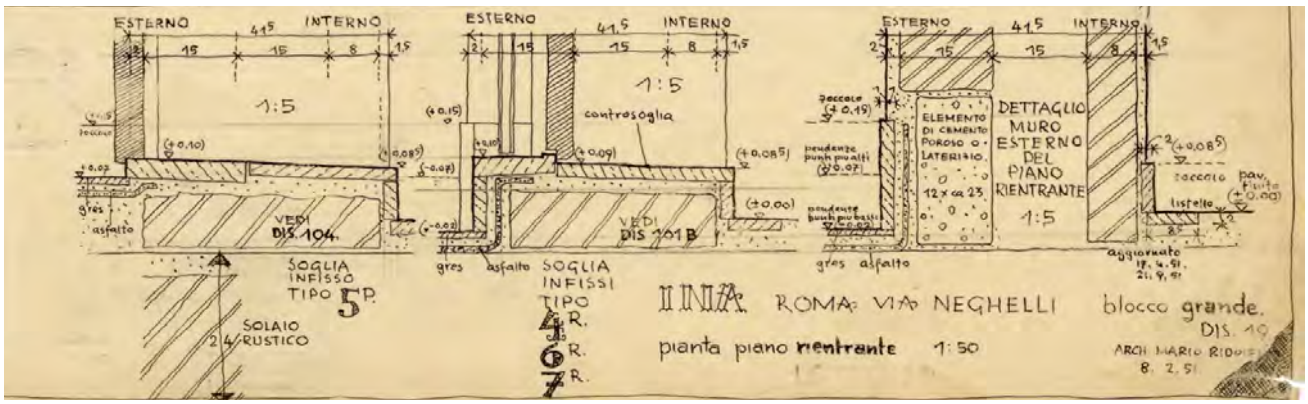
0 10 m



G Etiopia - INA

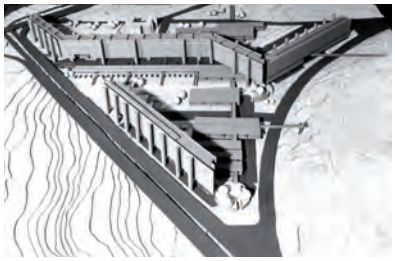
City: Rome
Construction period: 1951-1953



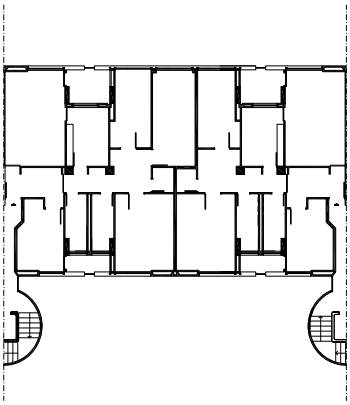


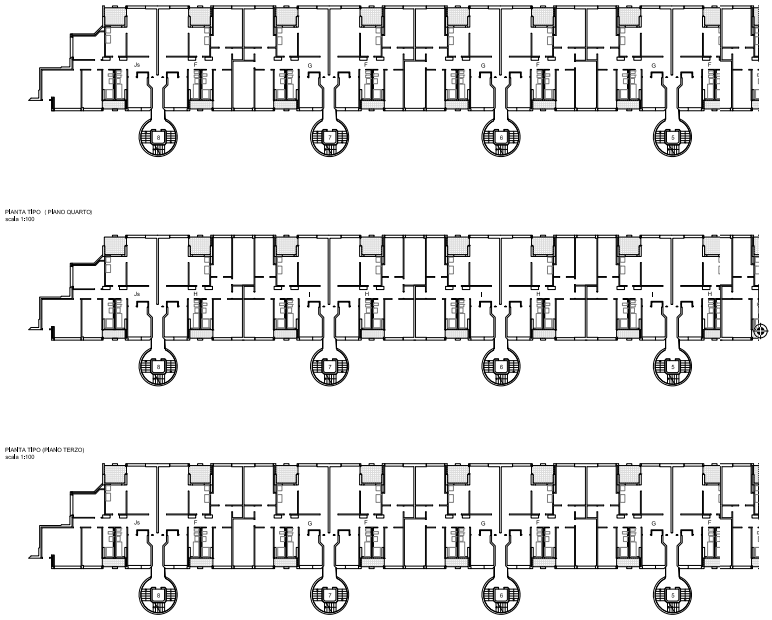
H Vigne Nuove

City: Rome
Construction period: 1972-1980



FABBRICATO C - PROSPETTI



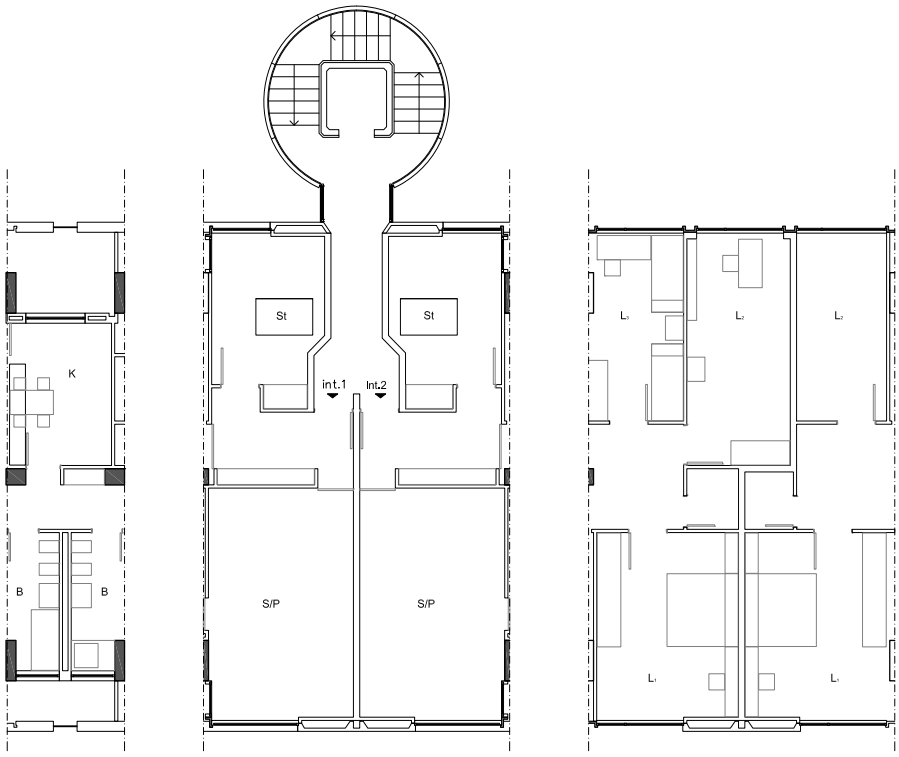


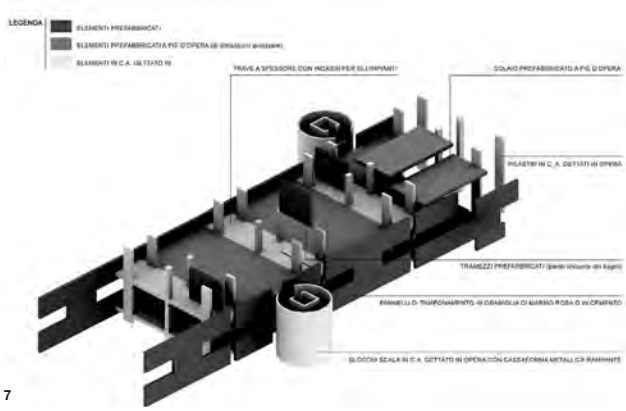
0 10 m

FABBRICATO C - PIANTE

H Vigne Nuove

City: Rome
Construction period: 1972-1980





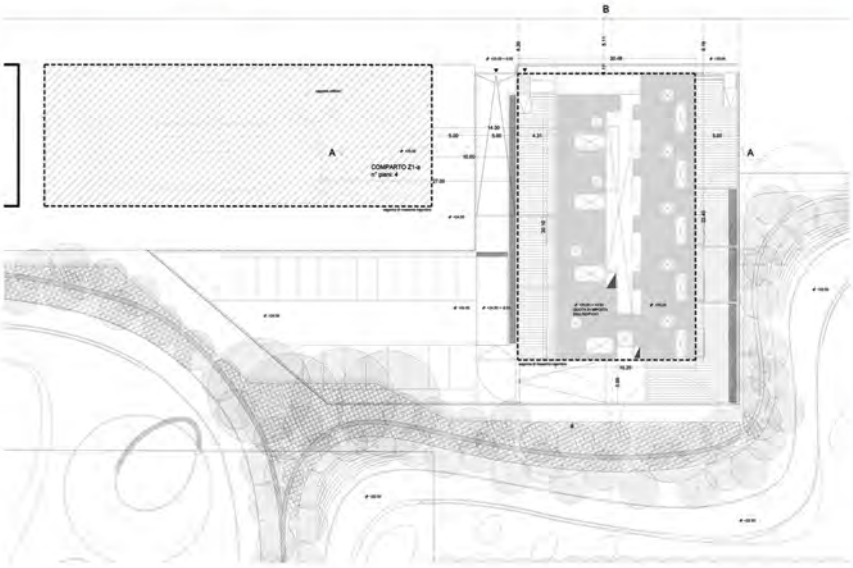
6 Immagine pubblicitaria della Società Imprese Industriali

7 Vigne Nuove, spaccato assonometrico che evidenzia gli elementi costruttivi utilizzati

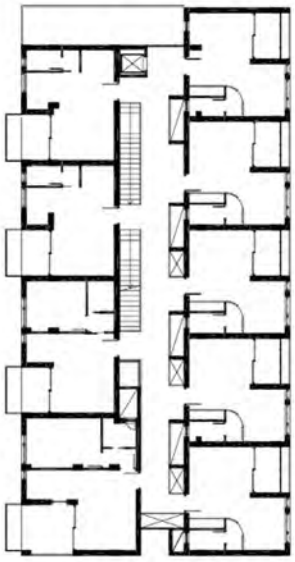
8-10 Foto di cantiere

I Acilia

City: Roma
Construction period:2010

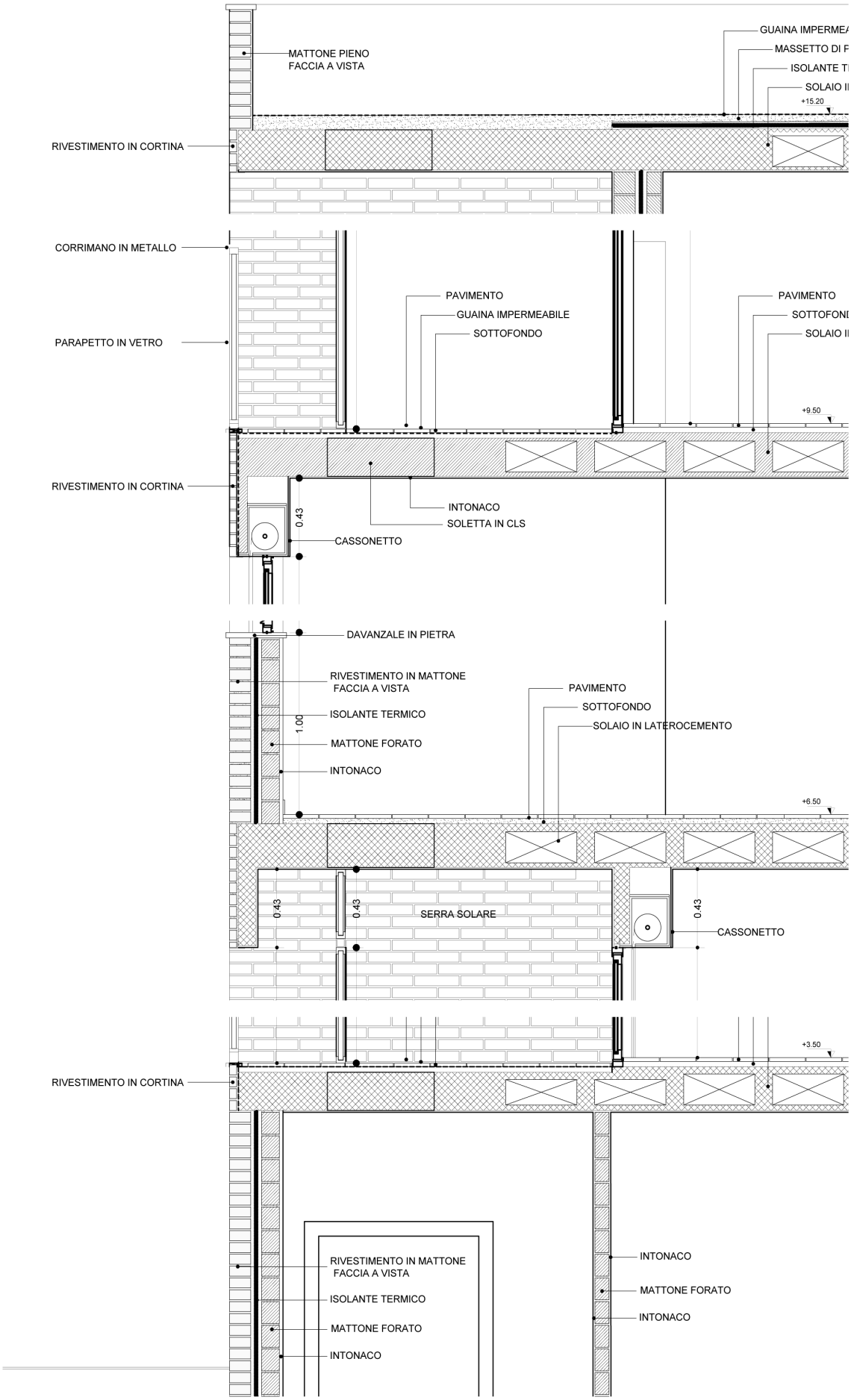


10 m



I Acilia

City: Roma
Construction period:2010



161. I tessuti urbani studiati e il modello della cellula “tipo” di cui sono composti a confronto.

	Year	Location	Housing type	$H/W_{x,y}$ ratio	GSI*(m2/m2)	FSI**(m2/m2)
A	1900	Barcelona	RH	0.77-1.47	0.45	0.87
B	2000	Barcelona	RH	0.30-1.22	0.16	0.62
C	1900	Barcelona	AB	1.21-2.83	0.49	2.92
D	1960	Barcelona	AB	0.41-1.27	0.13	0.77
E	2000	Barcelona	AB	0.45-0.83	0.37	2.43
F	1920	Rome	RH	0.39-1.02	0.35	1.07
G	1950	Rome	AB	1.08-2.56	0.21	2.35
H	1975	Rome	AB	1.14-1.90	0.13	0.89
I	2010	Rome	AB	0.56-1.11	0.24	1.48

162. Dati principali dei casi di studio a confronto;* Compattezza, ** Intensità; RH: casa a schiera, AB: casa plurifamiliare.

- solai intermedi e tetto piatto in cls armato unidirezionale
- tamponatura perimetrale in mattoni forati
- senza isolamento termico.

H - VIGNE NUOVE (ROMA, 1975)

Vigne Nuove è un caso emblematico di un'epoca in cui gli insediamenti residenziali delle aree periferiche si caratterizzavano per impianti a forme aperte e tecnologie costruttive basate sulla prefabbricazione sia di singoli elementi che di interi sistemi. L'unità edilizia di base dell'aggregato è un blocco in linea di sette livelli con piano terra e ultimo piano occupato da servizi. La costruzione è realizzata in:

- fondazione su plinti in calcestruzzo armato e platee per i corpi scala
- vespaio di base in calcestruzzo
- struttura portante intelaiata in cemento armato parzialmente prefabbricata
- solai intermedi e coperture in lastre di cemento armato a predalles
- pannelli di tamponatura esterni in cemento alveolare
- assenza di isolamento termico.

I - ACILIA (ROMA, 2010)

L'espansione residenziale contemporanea ha assunto caratteri tipologico-costruttivi basati su strutture formali e tecniche consolidate che hanno visto una rivisitazione esclusivamente in termini di modelli esigenziali e soluzioni tecnologiche aggiornate disponibili sul mercato. Esempio di questo tipo di tessuti edilizi, come Castelldefels e Sant Cugat, è il caso di Acilia, un blocco in linea di sette livelli e piano interrato i cui caratteri costruttivi salienti sono:

- fondazioni a platea
- struttura portante intelaiata in cemento armato
- solai intermedi e copertura piana in cls armato unidirezionale
- chiusure verticali in mattoni facciavista, intercapedine con isolante e laterizi forati intonacati (12-6-10+2 cm) e partizioni interne in laterizi forati 8 cm
- isolamento termico dell'involucro.

Relazioni tipologia-densità-energia

I risultati ottenuti dalle suddette simulazioni sono principalmente di tre tipi. S'inizierà col presentare gli esiti del processo di valutazione della densità di massa, seguendo con l'analizzare la domanda energetica per il condizionamento estivo ed invernale ed infine mostrando la relazione tra i due.

La tabella [163] pone in evidenza la densità di massa del costruito in riferimento alle superfici soggette a condizionamento. La scelta di normalizzare le masse rispetto a tali su-

163. Confronto tra massa costruita e domanda energetica; RH: casa a schiera, AB: casa plurifamiliare.

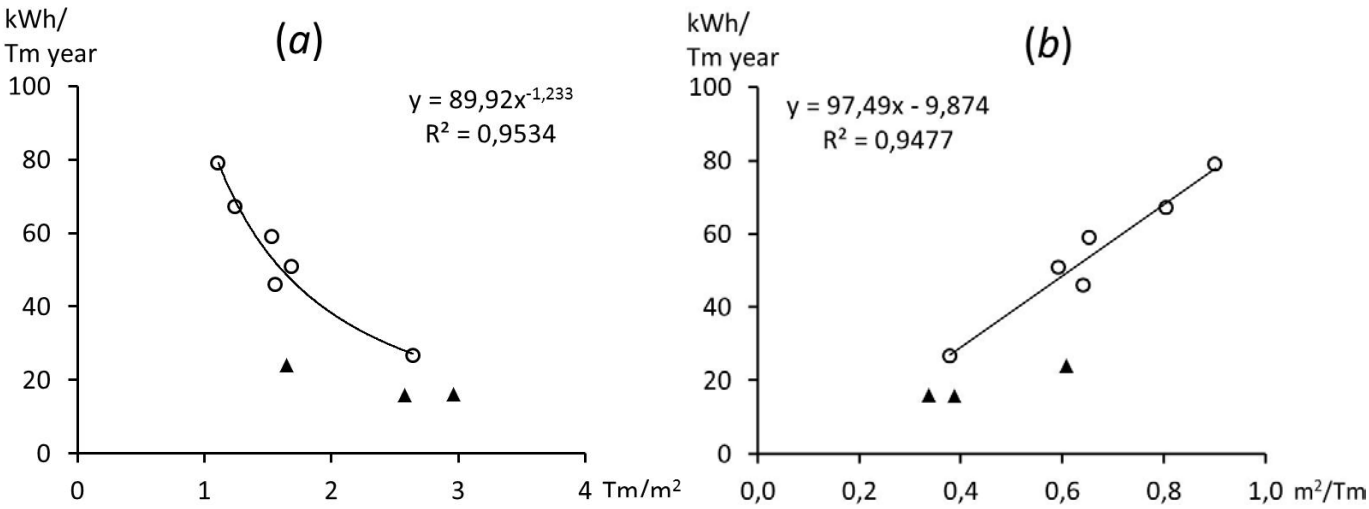
	Housing type	Thermal insulation	Mass density (Tm/m^2)	Heating (kWh/m^2y)	Cooling (kWh/m^2y)	Heating and cooling (kWh/m^2year)		
						Average	Min.	Max.
A	RH	No	1.53	86.88	3.22	90.10	86.57	92.12
B	RH	Yes	2.58	21.85	13.32	41.04	33.17	47.01
C	AB	No	1.11	79.33	8.17	87.50	85.48	89.28
D	AB	No	1.24	77.52	5.74	83.26	78.29	89.28
E	AB	Yes	1.65	22.34	11.75	39.64	25.74	47.23
F	RH	No	2.64	67.19	2.95	70.14	66.17	73.50
G	AB	No	1.56	66.19	5.19	71.38	67.36	75.58
H	AB	No	1.69	79.30	6.68	85.98	81.25	90.31
I	AB	Yes	2.96	36.52	10.96	47.48	28.88	56.92

perfici e non alle superfici totali è dettata dalla volontà di rapportare meglio l'indicatore di densità, rappresentativo delle diverse tipologie, al comportamento energetico.
Dall'analisi dei risultati su tale indicatore se ne comprende la capacità interpretativa in termini tipologici e costruttivi. Rispetto soltanto al primo fattore, mediamente gli alloggi plurifamiliari (C - D - E - G - H - I) sono di poco più leggeri delle case a schiera (A - B - F), ma aggiungendo il secondo la questione diviene più interessante. In questo modo è possibile distinguere tre gruppi. Il primo costituito dai casi C e D - e in cui è possibile includere anche A - raccoglie i casi con bassi valori di densità di massa, dovuti principalmente all'impiego di sistemi costruttivi relativamente leggeri e comunque a bassa incidenza rispetto alle superfici in gioco. Il secondo costituito da B, F ed I, ad alti valori di densità di massa in cui a prevalere sono le masse delle strutture interrate (sia storiche che contemporanee) e la loro incidenza in termini di superfici complessive. Il terzo, infine costituito dai casi E, G, e H, per i quali ad una prima analisi non è possibile rilevare un fattore tipologico o costruttivo prevalente.
Con l'ausilio della medesima tabella è possibile analizzare gli esiti delle modellazioni energetiche dei diversi casi di studio in termini di domanda energetica distinta per riscaldamento e climatizzazione, e riferita alle superfici condizionate. La prima distinzione, evidente e prevedibile riguarda l'epoca di costruzione. Gli edifici tradizionali (A, C, D, F, G e H) non possiedono isolamento termico nell'involucro, mentre quelli recenti (B, E e I) sono stati costruiti in conformità alle normative termiche per il contenimento dei consumi, che pongono restrizioni sulla trasmittanza termica. Questi ultimi mostrano una domanda energetica media per il condizionamento che oscilla tra 40 e 50 kWh/m^2y, mentre per i casi studio più datati valori compresi tra 70 e 90 kWh/m^2y.
La tabella [164] e la figura [165] mostrano la legge di variazione tra le proprietà di densità di massa e la domanda energetica dedotta dallo studio dei casi. Per meglio rapportare le due grandezze in termini assoluti i valori della seconda sono stati normalizzati rispetto alla prima. In riferimento alla superficie complessiva condizionata, i risultati rivelano che la densità di massa ha un'incidenza notevole sulla variazione dei consumi energetici, in particolare per gli edifici tradizionali (rappresentati sul grafico dai cerchi) che possono essere approssimati dalla tendenza espressa dalla formula:

$$\mathbf{y} = 89.92\ \mathbf{x}^{-1.233}$$

in cui **y** rappresenta la domanda energetica (kWh/Tm anno) e **x** la densità di massa (Tm/m^2 di superficie condizionata) [165 (a)]. La prossimità dell'esponente al valore di -1, suggerisce che esiste una tendenza lineare se ci si riferisce all'inverso della densità di massa, come mostrato in Figura [165 (b)]. Inoltre, il valore di R^2 pari a circa 0,95 di-

	Housing type	Thermal insulation	Mass density (Tm/m^2)	Inverse Mass density (m^2/Tm)	Heating and cooling (kWh/Tm year)
A	RH	No	1.53	0.65	58.9
B	RH	Yes	2.58	0.39	15.9
C	AB	No	1.11	0.90	78.9
D	AB	No	1.24	0.81	67.0
E	AB	Yes	1.65	0.61	24.1
F	RH	No	2.64	0.38	26.5
G	AB	No	1.56	0.64	45.8
H	AB	No	1.69	0.59	50.9
I	AB	Yes	2.96	0.34	16.0



164. In alto: valori di densità di massa e domanda energetica per i casi di studio.

165. In basso: (a) densità di massa e domanda energetica; (b) Tendenza lineare della domanda energetica in funzione dell'inverso della densità di massa. Cerchi: valori sperimentali degli edifici tradizionali; triangoli: valori sperimentali degli edifici recenti; linee continue: tendenze computate per gli edifici tradizionali.

mostra l'elevata affidabilità nel determinare il rapporto tra le due variabili.
Maggiore risulta la densità di massa per metro quadro condizionato di un tessuto urbano, minore sarà la sua domanda energetica per unità di massa per coprire il fabbisogno di riscaldamento e climatizzazione. I tessuti urbani di formazione recente possiedono sistemi costruttivi mediamente più pesanti per unità di superficie ed allo stesso tempo, per effetto delle normative termiche una minore domanda energetica. Pertanto i punti corrispondenti ai casi recenti sui grafici (triangoli in figura [165]) - per quanto allo stato attuale non possano fornire certezze - suggeriscono l'esistenza di una tendenza differente, in cui l'incidenza della densità di massa è minore. Tale legge di variazione dipende anche dal grande quantitativo di superfici accessorie non condizionate, Infine, i medesimi grafici mostrano che al crescere della densità il comportamento energetico dei casi recenti rispetto a quelli storici tende ad assimilarsi, indicando che per i climi mediterranei al crescere della massa specifica ad incidere sulla domanda energetica di un tessuto edilizio, più che la trasmittanza complessiva, è l'inerzia termica.

CONCLUSIONI

Nel clima mediterraneo, alla scala del tessuto edilizio e dei suoi elementi costituenti, esiste una relazione tra densità urbana ed energia che ben rappresenta quella tra morfologia del costruito ed energia. In questo passaggio dalla prima alla seconda coppia di fattori, gli indici di densità rappresentano uno strumento affidabile di supporto all'analisi energetica e intensità del costruito e compattezza, in particolare, si sono rivelati i più adatti all'applicazione in questo ambito di studio.
In termini di valutazione dell'influenza che la forma del contesto urbano produce sulla riduzione della radiazione solare nel caso estivo nei climi mediterranei, in generale si può affermare che gli effetti benefici sono apprezzabili specialmente sulle parti dell'involucro che ricevono una minore quantità di radiazione; inoltre, superata una certa soglia, funzione di orientamento e densità, l'effetto positivo di riduzione della radiazione coinvolge in maniera consistente anche le altre parti dell'involucro maggiormente esposte al sole (caso evidente è il tessuto di *Barceloneta*). A queste latitudini, la morfologia incide sia sul guadagno solare con una variabilità riscontrata nel dominio dei casi studiati con un fattore di quasi 2,5, sia sui consumi energetici annui con un fattore di quasi 1,9. Tali valori, confermano l'ordine di grandezza già individuato da studi operati in climi continentali e su tipologie non residenziali (Ratti et al., 2005).
Parametri utili a descrivere il rapporto morfologia-guadagno solare dei tessuti urbani della città compatta mediterranea sono gli indici di densità. In particolare, per le facciate, che sono le componenti dell'involucro maggiormente interessate dai fenomeni di ombreggiamento reciproco dovuto alle ostruzioni urbane, le relazione *Façade Energy*

gain Ratio-Compattezza (FER-GSI) e *Façade Energy gain Factor-Compattezza* (FEF-GSI) individuano leggi di variazione più evidenti e, quindi, tra quelli considerati sono i più adeguati.
Analogamente, nel caso dei consumi si può affermare che sia GSI che FSI risultano possedere buona capacità rappresentativa dei consumi per riscaldamento, mentre non è possibile, fin d'ora, affermarlo con altrettanta certezza per la climatizzazione estiva.
In aggiunta, sono necessarie alcune precisazioni che permettano da una parte di non travisare i risultati conseguiti e dall'altra valutarne al meglio la fattibilità ed i futuri sviluppi. Il primo aspetto da considerare è l'analisi del comportamento dei medesimi casi durante la stagione invernale. La riduzione dell'angolo d'incidenza solare e delle ore di luce nel ciclo giorno-notte, limita le capacità di guadagno solare nei contesti urbani, che per quanto incida minimamente sulle variazioni dei consumi, condiziona il benessere fisico e psicologico degli utenti.[40]
Il secondo aspetto rilevante riguarda la valutazione di consumi e caratteristiche termiche dell'involucro: in *Archisun* si sono considerati gli effetti delle ostruzioni modificando il fattore di ostruzione solare sulle sole parti trasparenti. Il software, basandosi sul fatto che l'effetto termico della radiazione solare sulle superfici opache risulta trascurabile sul bilancio termico globale, tralascia gli eventuali effetti delle ostruzioni su di esse.
Per una corretta valutazione dei rapporti tra densità urbana, morfologia ed energia due aspetti, correlati tra loro, sono determinanti: l'ampliamento del campione di casi di studio e lo sviluppo ulteriore di strumenti di simulazione orientati alla comprensione dei comportamenti energetici alla scala urbana. Il primo consente di verificare e, allo stesso tempo, precisare la validità delle relazioni parametriche individuate. Il secondo, evita la necessità di adattare parametri e variabili - necessarie alla modellazione della morfologia urbana - ai corrispondenti valori considerati nei processi di calcolo alla scala architettonica e di intervenire direttamente sulla traduzione in altrettante variabili, appositamente definite, per rappresentare la struttura formale dei tessuti edilizi. Permette, inoltre, di sottrarsi all'utilizzo contemporaneo di più strumenti di simulazione e quindi di evitare il rischio di dover rendere equivalenti variabili e parametri a seconda di questi, conferendo maggiore affidabilità allo studio.
Appare fin d'ora manifesto che, in termini di consumi, la città compatta europea possiede un margine all'interno del quale è possibile operare per ridurre l'inefficienza. L'effetto positivo delle ostruzioni sul bilancio energetico apre il campo a possibili interventi di trasformazione strutturati in funzione delle omogeneità morfologiche dei tessuti urbani che, se supportati anche dalla presente metodologia, favoriscono il controllo ed il miglioramento delle performance ambientali ed energetiche. Il processo ha mostrato che, nonostante sia necessario un ampliamento della casistica di riferimento, lo sviluppo di

tale metodologia operativa permetterebbe una sua applicazione nelle fasi progettuali preliminari, quale strumento di controllo delle modificazioni sui sistemi metropolitani e quale elemento che indirizzi strategicamente le tipologie d'intervento a seconda delle morfologie urbane. Va precisato, però, che un avanzamento di conoscenza in questo settore rappresenta una delle componenti costituenti il raggiungimento nei contesti urbani del complesso stato di equilibrio spesso denominato "sostenibilità"; quella medesima condizione a cui oggi tendiamo, riscontrabile nei sistemi naturali, tale che - per dirla con le parole di Sertorio - sia possibile ridurre al minimo l'entropia prodotta (Sertorio 2000).

Oltre ai fattori morfologici, nella città compatta mediterranea sono di primaria importanza quelli tipologico costruttivi. Lo ricerca finora condotta rappresenta una prima sperimentazione della possibilità di utilizzo di aspetti parametrici, descrittivi delle tipologie edilizie, quali strumenti di valutazione delle performance energetiche dei tessuti urbani omogenei.
Le analisi su densità di massa, tipologia ed energia confermano che la densità di massa da un lato può costituire un indicatore parametrico di rappresentazione degli aspetti tipologici e dall'altro esprime una relazione evidente con la domanda energetica dei suddetti tessuti tipici della città compatta mediterranea.
In particolare, tale indicatore di densità è influenzato principalmente dai fattori tipologici di seguito espressi in ordine d'importanza:

- la presenza di superfici interrate destinate a servizi quali, ad esempio, locali tecnici, cantine e autorimesse;
- la tipologia e la dimensione dell'unità edilizia di base, che determinano la maggiore o minore incidenza di elementi quali involucro, partizioni e servizi;
- la presenza di strutture in calcestruzzo armato, specie se interrate (piastre di fondazione, paratie e setti portanti).

Se correlato alla domanda energetica (per riscaldamento e climatizzazione) è possibile riscontrare una tendenza evidente tra le due variabili, in particolare per gli edifici costruiti prima dell'introduzione delle normative energetiche in edilizia. Invece, per quanto concerne gli edifici successivi a tali introduzioni sono necessari ulteriori approfondimenti per chiarire la natura del rapporto. La prestazione minima imposta agli edifici - e pertanto ai tessuti - dalle normative sul contenimento dei consumi, influenza molto la domanda energetica e, inoltre, la presenza di maggiori spazi di servizio non condizionati negli edifici contemporanei concorre a modificare ulteriormente tale relazione. Tant'è che mentre per i tessuti edilizi del passato la densità di massa si rivela un fattore determinante, altrettanto non sembra potersi dire per quelli recenti.
Inoltre, con riferimento ai soli tessuti privi di isolamento termico, l'aver determinato un

rapporto matematico tra densità di massa ed energia - a meno di un suo affinamento in termini numerici con l'ausilio di indagini più approfondite - lo rende uno strumento previsionale da offrire al processo analitico, di conoscenza e progettuale necessario per la trasformazione della città esistente. Al pari dei parametri di intensità e compattezza utilizzati per indagare il rapporto tra densità e forma urbana, ne permette un'applicazione prevalente alle prime fasi progettuali in cui convergono la maggior parte delle scelte sui metodi e sulle strategie d'intervento, apportandovi consapevolezza delle inferenze in termini energetici.
L'analisi densità di massa-energia fornisce una base di conoscenza preliminare sul "metabolismo" dei tessuti urbani della città compatta. Per una sua comprensione completa si rende necessario espandere il campo d'azione: ampliando i casi di studio, i comportamenti degli utenti e i climi di riferimento. Altri aspetti devono inoltre essere tenuti in considerazione: i sistemi di trasporto, le altre tipologie energetiche (elettricità, illuminazione artificiale, acqua calda sanitaria, etc.), le componenti da valutare nel calcolo della massa (comprendendo anche quelle tipiche dello spazio aperto e le infrastrutture che vi sono contenute). In questo modo si potrebbe giungere a verificare la corrispondenza con la legge metabolica dei sistemi viventi alla scala urbana che costituirebbe uno strumento utile a trasformazioni consapevoli dei sistemi urbani verso condizioni a maggiore efficienza, consentendo, ad esempio, di stabilire il grado di efficienza/inefficienza in termini di confronto con la tendenza generale riscontrata e di suggerire, quindi, ove intervenire e con quali strategie: in quali tessuti è più conveniente operare mediante sistemi passivi ovvero attivi, in quali occorre agire sugli aspetti morfologici, tipologici, funzionali, costruttivi, tecnologici o d'uso che riporti la densità del costruito ad una sua condizione sostenibile.

Note bibliografiche

Ajuntament de Barcelona. (2012). GeoPortal. Retrieved 03.06.2012 http://www.bcn.cat/geoportal/en/presentacio.html

Baker, N., & Steemers, K. (1996). LT Method 3.0 — a strategic energy-design tool for Southern Europe. *Energy and Buildings, 23*(3), 251-256. doi: http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788(95)00950-7

Baker, N., & Steemers, K. (2000). *Energy and environment in architecture : a technical design guide*. London ; New York: E & FN Spon.

Beckers, B., & Masset, L. (2011). Heliodon 2 Documentation. from http://www.heliodon.net/heliodon/

Busquets, J., & GSD, H. (2005). *Barcelona: the urban evolution of a compact city*. Rovereto: Nicolodi.

Cappuccitti, A. (2006). *Tessuti e centralità nella morfologia urbana di Roma*. Roma: Aracne.

Cheng, V., Steemers, K., Montavon, M., & Compagnon, R. (2006). *Urban Form, Density and Solar Potential.* Paper presented at the PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.

Compagnon, R. (2004). Solar and daylight availability in the urban fabric. *Energy and Buildings, 36*(4), 321-328.

Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., & Griffith, B. T. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment, 43*(4), 661-673. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.027

Dascalaki, E. G., Droutsa, K. G., Balaras, C. A., & Kontoyiannidis, S. (2011). Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock. *Energy and Buildings, 43*(12), 3400-3409.

De Pascali, P. (2008). *Città ed energia : la valenza energetica dell'organizzazione insediativa*. Milano: Franco Angeli.

EIA. (2012). EIA - Annual Energy Outlook 2011. Retrieved 09.06.2012 http://www.eia.gov/oiaf/aeo/demand.html

Gupta, V. (1987). Thermal efficiency of building clusters: an index for non air-conditioned buildings in hot climates. In D. Hawkes (Ed.), *Energy and Urban Built Form* (pp. 133-145). Amsterdam: Elsevier Science.

Isalgue, A., Coch, H., & Serra, R. (2007). Scaling laws and the modern city. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 382*(2), 643-649.

ITeC. (2013). Bedec PR/PCT. Retrieved April 3rd 2013 http://www.itec.cat/nouBedec.c/bedec.aspx

Knowles, R. L. (1981). *Energia e forma un approccio ecologico allo sviluppo urbano*. Padova: Muzzio.

Kühnert, C., Helbing, D., & West, G. B. (2006). Scaling laws in urban supply networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 363*(1), 96-103.

Littlefair, P. (2001). Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment. *Solar Energy, 70*(3), 177-185. doi: Cited By (since 1996) 22; Export Date 28 May 2012, Source Scopus.

Lämmer, S., Gehlsen, B., & Helbing, D. (2006). Scaling laws in the spatial structure of urban road networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 363*(1), 89-95.

Mitchell, G. (2005). Urban development, form and energy use in building: a review for the Solutions Project 1 (pp. 1-28): EPSRC SUE SOLUTIONS consortium.

Monastra, G. (2003). Nove ore a rischio blackout, *La Repubblica, July 23th 2003*. Retrieved from http://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/2003/07/23/nove-ore-rischio-blackout.html

Montavon, M., Steemers, K., Cheng, V., & Compagnon, R. (2006). *La Ville Radieuse by Le Corbusier, once again a case study.* Paper presented at the PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.

Morganti, M., Pages-Ramon, A., Isalgue, A., Coch, H., & Cecere, C. (2012). *Built-Form, Mass and Energy: Urban fabric performance*. Paper presented at the 28th International PLEA Conference, Opprtunities, Limits & Needs: Towards an environmentally responsible architecture, Lima, Peru.

Mumford, L., Rosso, M., & Scrivano, P. (1999). *La cultura delle città* (Nuova ed. a cura di Michela Rosso e Paolo Scrivano ed.). Torino: Edizioni di Comunità.

Muratori, S. (1963). *Studi per un operante storia urbana di Roma*: Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Open_Data_BCN. (2012). OpenData BCN: Servei de dades obertes de l'Ajuntament de Barcelona. Retrieved 03.06.2012 http://w20.bcn.cat/opendata/Default.aspx?lang=CAT

Piroddi, E. (2000). *'Le ‰oregole della ricomposizione urbana*. Milano: F. Angeli.

Pont, M. B., & Haupt, P. (2010). *Spacematrix : space, density and urban form*. Rotterdam: NAI.

Ratti, C., Baker, N., & Steemers, K. (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings, 37*(7), 762-776.

Serra Florensa, R., & Coch Roura, H. (2001). *Arquitectura y energia natural*. Barcelona: Edicions UPC.

Serra, R. (2004). *Arquitectura y climas* (1* ed.). Barcelona: Gustavo Gili.

Serra, R., & Rosset, J. (2000). Chapter 93 - Energy Conscious Design Programme. In A. A. M. Sayigh (Ed.), *World Renewable Energy Congress VI* (pp. 494-499). Oxford: Pergamon.

Sertorio, L. (2002). *Storia dell'abbondanza*. Torino: Bollati Boringhieri.

Steemers, K. (2003). Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and Buildings, 35*(1), 3-14.

Strappa, G. (1995). *Unità dell'organismo architettonico*. Bari: Dedalo.

Strømann-Andersen, J., & Sattrup, P. A. (2011). The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings, 43*(8), 2011-2020.

Susteren, A. v. (2005). *Metropolitan world atlas*. Rotterdam: 010 Publishers.

TABULA. (2012). *Typology Approach for Building Stock Energy Assessment: main Results of the TABULA project*. Darmstadt: IWU.

Tereci, A., Kesten, D., & Eicker, U. (2010). *The Impact of the Urban Form on Heating, Cooling and Lighting Demand of Cities*. Paper presented at the ICSU 2010 1st International Conference on Substainable Urbanisation, Hong Kong China, 15-17 September 2010.

van Esch, M. M. E., Looman, R. H. J., & de Bruin-Hordijk, G. J. (2012). The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies. *Energy and Buildings, 47*(0), 189-200. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.042

West, G. B., & Brown, J. H. (2004). Life's Universal Scaling Laws. *Physics Today, 57*(9), 36-42. doi: http://dx.doi.org/10.1063/1.1809090

Zhang, J., Heng, C. K., Malone-Lee, L. C., Hii, D. J. C., Janssen, P., Leung, K. S., & Tan, B. K. (2012). Evaluating environmental implications of density: A comparative case study on the relationship between density, urban block typology and sky exposure. *Automation in Construction, 22*(0), 90-101.

Note

1 Intendendo qui per edilizia il processo operativo che traduce in realtà costruita l'assetto del territorio, bisogna avere chiaro che le relazioni con l'energia sono dovute principalmente all'utilizzo che se ne fa per il soddisfacimento di determinate esigenze. In altri termini, espressamente energetici, tali esigenze - trasposte in requisiti e ricercate tramite le prestazioni degli elementi di un sistema edilizio - si traducono in una domanda declinabile in varie forme (lux, temperatura, etc.) che possono essere coperte mediante diverse fonti energetiche (rinnovabili o fossili).

2 In questo senso diviene a nostro avviso del tutto ragionevole proporre la struttura metodologica che segue, declinandola secondo le due differenti prospettive qui introdotte e diviene legittimamente immaginabile che questa possa costituire una base di conoscenza utile a trasformazioni dei tessuti urbani che "riequilibrino" i rapporti densità - morfologia - energia verso condizioni a maggiore efficienza, sia tramite riconfigurazioni morfologiche che nell'uso e nella funzionalità.

3 Nella piena consapevolezza che la comprensione di una realtà urbana metropolitana contemporanea e dei relativi fenomeni umani è una questione complicata, si preferisce in questa sede affrontare esclusivamente alcuni degli aspetti che contribuiscono a comporre il quadro generale interpretativo, con l'intenzione di affrontare compiutamente il tema e contribuire con risultati il più possibile esaustivi.

4 A tal proposito è importante segnalare che poco più del 35% della superficie edificata complessiva all'interno dei limiti amministrativi è occupata da tessuti ad edilizia a grana fina, ovvero di dimensione e volumetrie piuttosto contenute caratteristiche, ad esempio, dei tipi

edilizi della palazzina e del villino. Per ulteriori approfondimenti in termini metodologici e più in generale sul processo di analisi condotto si veda: (Piroddi, 2000).

5 Per un'analisi più dettagliata e per la precisa metodologia degli studi a cui si riferiscono questi dati si veda il capitolo *Densità ed energia: la scala urbana nel contesto mediterraneo*.

6 Appartengono alla cronaca nazionale recente i diversi episodi di black-out durante le ondate di caldo estivo provocati dall'enorme domanda energetica per la climatizzazione.

7 Il mutamento della tecnologia da attività ancillare a partner dinamico che modifica le motivazioni dell'uomo ha fatto perdere il senso del limite organico e la maniera di abitare il territorio, al punto che anche nei tessuti urbani odierni sia possibile leggerne i segni nelle inefficienze e nel disinteresse nei confronti dell'utilizzo efficiente delle risorse energetiche.

8 Con il termine *sky view factor* (anche noto come *fattore di vista del cielo*) si definisce il rapporto tra l'angolo solido della vista del cielo da uno spazio urbano in un determinato punto, rispetto all'intera volta celeste. Si esprime in una scala di valori da 0 a 1 e determina lo scambio di calore radiante tra città e cielo: così se l'SVF è 1 la vista è totale, se è pari a 0 la visione del cielo è totalmente ostruita dall'intorno.

9 Su questi aspetti, ulteriori contributi interessanti sono: (Compagnon, 2004; Montavon, Steemers, Cheng, & Compagnon, 2006).

10 È difficile credere che la natura di questo interesse nella città storica europea non sia in un certo senso connessa a quella di Rem Koolhaas esattamente inverso nei confronti della città asiatica testimoniato dal suo saggio *Singapore Songlines*. Viene da pensare che la radice concettuale comune - seppur con obiettivi specifici afferenti a campi disgiunti della conoscenza - sia da ricercare nella fascinazione per la città ad alta densità e per le sue declinazioni nelle sue configurazioni formali possibili.

11 È necessario precisare che tali risultati sono strettamente legati al rapporto clima-struttura urbana-tipologia edilizia dell'area nordeuropea e britannica in particolare. In altri contesti urbani ad esempio a clima tempeato, specie in quelli dove i consumi estivi sono rilevanti, essi richiedono un processo di verifica e validazione.

12 Un report su alcuni dei più diffusi software di simulazione termodinamica ed energetica si può ritrovare in (Crawley, Hand, Kummert, & Griffith, 2008)

13 Lo strumento è stato concepito per prevedere le relazioni tra comportamento energetico e parametri architettonici alle fasi progettuali di sviluppo inziale per edifici del terziario.

14 Per zona passiva (*passive zone*) s'intende la parte di edificio capace di utilizzare le fonti energetiche passive (luce e ventilazione naturale) definita su base empirica come la superficie contenuta in un perimetro di 6 metri dalle facciate, ovvero se superiore, in una distanza pari a due volte l'altezza interna.

15 La ricerca condotta da Ratti, Steemers e Baker citata in precedenza rappresenta proprio uno di quei tentativi di investigazione e sviluppo di tali modelli.

16 Per chi volesse approfondire il tema dei rapporti tra i parametri che descrivono la geometria urbana, quelli edilizi e il guadagno solare passivo, si segnala un ulteriore contributo della Facoltà di Architettura di Delft: (van Esch, Looman, & de Bruin-Hordijk, 2012).

17 Ad esempio, si pensi al caso in cui un edificio o un lotto si trovassero a cavallo di un limite e pertanto parzialmente contenuti nell'area di riferimento; di certo ciò comporterebbe alcune difficoltà di modellazione del suo comportamento termico ed energetico e di conseguenza nell'interpretazione dei risultati delle simulazioni.

18 Per entrambi, il limite può essere tracciato nella mezzeria della rete stradale di accesso (o qualora questa non fosse presente dal limite dei lotti considerati omogenei) ovvero in coincidenza con il limite dell'edificato. Nel primo caso si parlerà di indici di densità in termini lordi, nel secondo in termini netti.

19 In tal senso si sono intesi come residenziali anche quei tessuti che adesso ospitano in parte destinazioni terziarie, ma che in origine furono concepiti per essere destinati prevalentemente ad alloggi.

20 Per maggiori dettagli si veda il paragrafo *Roma e Barcellona*.

21 Per maggiori dettagli si veda il capitolo due.

22 La classificazione morfologica proposta in Spacemate, riprendendo quella proposta a loro tempo da Martin e March, prevedeva semplicemente una distinzione tra forma puntuale, lineare e a corte ed una ulteriore tripartizione per ognuna di queste in bassa, media e alta.

23 A partire dal volume edificato, si è ipotizzata una volumetria pro-capite da cui si è ricavato il dato di popolazione insediata. Per tener conto degli spazi che normalmente fanno parte dei tessuti residenziali, ma sono adibiti

ad altre funzioni (come servizi e commercio), è stato attribuito un valore di 150 m^3, al posto del valore prescritto dalle norme urbanistiche di 100 m^3.

24 A tal proposito per approfondimenti si richiama a quanto esposto nel paragrafo precedente.

25 Più dettagliatamente il periodo di riferimento dello studio va dal 21 giugno al 22 settembre.

26 Disponibile on line: http://www.upc.edu/aie/.

27 Il programma trascura invece l'effetto che le ostruzioni hanno sulle parti opache d'involucro, nella consapevolezza che per effetto di inerzia e resistenza termica tali apporti radiativi non alterano significativamente il comportamento termico ed energetico dell'insieme.

28 La palazzina è un tipo edilizio caratteristico dell'area metropolitana romana e che ha avuto ed ha tuttora enorme successo in termini numerici anche al di fuori di questa. Essa trae alcuni elementi formali (e da qui il nome) dal palazzo nobiliare romano, quali ad esempio la relazione tra la corte interna e la scala principale, mutandone però notevolmente il carattere per fini funzionali ed economici. Col passare del tempo, la corte è divenuta chiostrina, fino a scomparire in molti casi dei decenni più recenti.

29 Per riscontrarlo più chiaramente si veda anche il grafico relativo al campione dei 30 casi di studio rappresentati alla scala del tessuto edilizio, in cui oltre a Tuscolano II è possibile trovare Colli Aniene, Corviale, Decima e Torrino [136].

30 Per comprendere ciò si confrontino i valori riportati nelle tabelle delle schede dei casi di studio.

31 Si noti che ciò è riferito alle sole superfici di facciata e non considera altri fattori, come ad esempio la profondità del corpo di fabbrica o il rapporto tra metri quadri d'involucro e metri quadri (o volumi) edificati.

32 Si presume che il valore non molto alto di tale coefficiente sia dovuto anche alla necessità operativa di contenere il numero dei casi di studio del campione, che fa aumentare l'incidenza dei valori estremi del dominio di riferimento. Lo sviluppo futuro della ricerca dovrà provvedere a verificare la validità di questa (come delle altre) corrispondenze tra variabilità di dati e modello statistico.

33 Per ulteriori approfondimenti a riguardo si veda al capitolo uno il paragrafo *La Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e il Regolamento delegato 244/2012 UE*.

34 Per l'esatta definizione della densità di massa si veda il paragrafo *Massa e tipologia: la modellazione del tessuto edilizio*.

35 Il progetto "EPISCOPE" Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks appena iniziato e di cui sono state rese note finora solo poche informazioni, tra i diversi obiettivi che si prefissa include anche il tema della riqualificazione energetica a scala urbana su base tipologico-costruttiva (si veda http://www.episcope.eu).

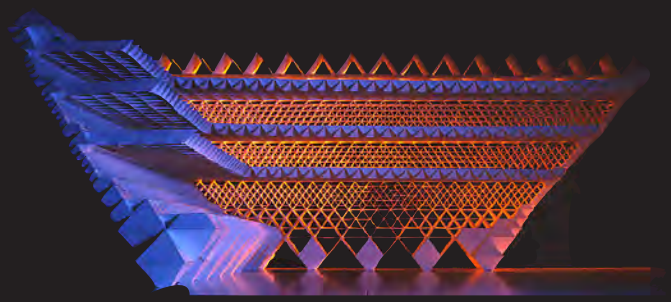
36 Si è proceduto in analogia a quanto fatto per lo studio su densità urbana, morfologie ed energia a cui si rimanda per i dettagli e le motivazioni di tale scelta.

37 Con il termine "aggregato edilizio" si fa riferimento a quanto inteso dalla scuola romana di morfologia urbana ed in particolare alla definizione proposta da Giuseppe Strappa in (Strappa, 1995).

38 La tonnellata metrica [Tm] è un'unità di misura che equivale a 1.000 kg, così denominata in ambito anglosassone per distinguerla dalla Tonnellata breve e dalla Tonnellata imperiale (rispettivamente 907 e 1.016 kg circa).

39 Il processo e gli esiti della verifica di coerenza del metodo sono riportati in (Morganti, Pages-Ramon, Isalgue, Coch, & Cecere, 2012).

40 È importante ricordare che la simulazione condotta con *Heliodon* fornisce valori di radiazione non reali, seppur attendibili perché ad essi proporzionali in larga misura, pertanto adeguati in particolar modo a studi comparativi come il presente.



Un obiettivo da perseguire

I significati, le proprietà e le capacità analitiche del concetto di densità e delle sue possibili interpretazioni nell'ambito dell'architettura e della sostenibilità, così come indagati nel presente lavoro ci hanno consentito di identificare un primo quadro di riferimento utile a quanti volessero operare in architettura perseguendo l'obiettivo della densità sostenibile. Partendo dal concetto di densità, così come sviluppato in diversi ambiti disciplinari, si sono esplorate più dimensioni interpretative del concetto, con l'obiettivo di offrirne un panorama strutturato secondo altrettante profondità critiche, suscitare per esso un maggiore interesse, farvi convergere ulteriori sforzi e renderlo oggetto di approfondimento, critica e superamento.

La relazione tra densità e sostenibilità è direttamente connessa a condizioni e strumenti del progetto contemporaneo. Di fronte alle dinamiche di urbanizzazione in atto, l'ambiente costruito e la città, in quanto modalità insediativa preminente, è divenuta una condizione imprescindibile con cui è necessario confrontarsi - nonostante la sua natura complessa - se si vogliono ricercare soluzioni dall'incidenza effettiva alla questione ambientale ed energetica. Quest'ultima, richiede un'attenzione particolare in edilizia alla luce delle dinamiche innescate dall'interazione tra economia e tecnologia, riconducibili ad una condizione di illusorietà: le soluzioni promosse ed indicate da organizzazioni ed enti sovranazionali nascondono il rischio da un lato di essere estremamente ambiziose e dall'altro di non trattare con il rigore e la prudenza necessarie la transizione alle fonti rinnovabili. Tali soluzioni peraltro, nella strenua difesa dello sviluppo, non intervengono minimamente sulla domanda di energia nei singoli settori produttivi, che costituisce il vero fulcro del problema.

Anche lo strumento normativo, utilizzato come supporto per gestire i temi dell'impiego delle risorse energetiche in edilizia, appare inadeguato, causa la limitatezza e l'intempestività delle azioni che indica per far fronte alla complessità del costruito e alle sue

A goal to be pursued

The investigation into meaning, quality and analytical capacity of the density concept and its possible interpretations in the architecture and sustainability fields permits us to offer for now a framework that cannot be regarded as a real conclusion, but the potential first step towards the comprehension of the sustainable density condition. Following interests and fields that focus on the concept of density, even if originated evidently from different points of view, this study offered an organized scenery of it according to relating critical perspectives in order to embrace various interpretations, arise interest in the treated topic, focus on it further efforts and make it object of investigation, criticism and crossing.

The connection between density and sustainability is directly related to conditions and instruments of contemporary project. In front of actual urbanization dynamics, built environment and city as prominent settlement model, became an avoidable condition that we have to face, admitting its complex nature, if we want to find effective solutions to environmental and energy topic. This latter requires a particular attention in the building industry in the light of dynamics triggered by the interaction between economics and technology, referable to a feature of illusoriness: solutions proposed and indicated by supranational bodies and institutions conceal the risk to be extremely ambitious from one hand and from the other not so prudent towards the transition to renewable energy.

Nevertheless, such solutions aiming at the tireless defence of development do not have effect on energy demand in single productive systems that is the real matter of the problem. Even the building regulations adopted to support the management of such energy topic in building industry seem to be inadequate because of their narrowness and untimeliness of indicated actions in front of the built reality and its dynamics. In the face of this, building industry owns potentially a prominent role and can provide for a considerable contribution to the improvement of energy performances in anthropic systems.

In European compact city, such contribution can be very impressive on general balance, especially if it takes part in existing urban fabrics by instruments and analytical methods of transformation. Today, among design and operative instruments usable legitimately by designers, of course modelling is asserting itself as one of the most effective instruments, especially in prediction and analytical energy performance fields. Methods and simulation software, worked out in last years, are able to relate properties and features of building to spent energy, permitting to reduce its inefficiency. In this way, designers can operate on such relation by instruments internal to their own disciplinary field, without being obliged to rely exclusively on the reduction of energy consumption and environmental impact, these latters usually external to their competence.

In this field, also density asserts itself as privileged instrument in the connection among architecture, form and sustainability because of the meanings taken in contemporary era and for those taken since modern era. As theoretical category, it takes part more and more in the organization of architectural thought and its consequent disciplinary research. As design instrument, it becomes relevant for the control of settlement intensity and the various sustainability

dinamiche.
A fronte di ciò, il settore dell'edilizia possiede potenzialmente un ruolo primario e può fornire un contributo notevole al miglioramento delle prestazioni energetiche dei sistemi antropici. Nella città compatta europea, tale contributo può incidere notevolmente sul bilancio generale soprattutto se interviene sui tessuti edilizi esistenti con strumenti e metodologie analitiche di trasformazione. Tra gli strumenti progettuali oggi in uso, la modellazione si sta affermando certamente come uno dei più efficaci, specie nel campo della previsione e delle analisi prestazionali energetiche. Le metodologie e i software di simulazione messi a punto in questi anni, sono capaci di relazionare proprietà e caratteristiche del costruito all'energia spesa, permettendo di ridurne le inefficienze. In questo modo il progettista è in grado di operare direttamente su tale relazione, con strumenti interni al proprio ambito disciplinare, senza essere costretto ad affidarsi esclusivamente alla riduzione di consumo energetico e impatto ambientale, generalmente non ricompresi nelle sue competenze. In questo ambito, anche la densità s'impone come uno strumento privilegiato nel rapporto architettura, forma e sostenibilità, per i significati che assume in epoca contemporanea e che ha assunto a partire dalla modernità; in qualità di categoria teorica prende parte con sempre maggior forza alla strutturazione del pensiero architettonico e della conseguente ricerca disciplinare. Quale strumento progettuale assume rilevanza per il controllo dell'intensità dell'insediamento e dei molteplici indicatori di sostenibilità a cui è connesso. In termini di strumento interpretativo, i continui avanzamenti della ricerca consentono un affinamento dei diversi indici parametrici di densità che rappresentano le proprietà formali del costruito.
Nonostante ciò le relazioni tra i principali indicatori di sostenibilità che descrivono il funzionamento della città europea e i parametri di densità mostrano, a scala metropolitana, che alcuni tra i più diffusi convincimenti e asserzioni sui vantaggi e svantaggi della città compatta non sono chiaramente riscontrabili in termini di tendenze generali, specie se riferiti alle sue caratteristiche formali e tipologiche. Ciò è ascrivibile non soltanto alla genericità o alla settorialità di suddette affermazioni, ma anche alla natura degli insediamenti urbani europei, caratterizzata da tessuti edilizi in cui suddette caratteristiche possono differire notevolmente. Tale differenza è traducibile in valori di densità che all'interno di un sistema metropolitano rivelano la presenza di gradienti, tali da essere difficilmente rappresentabili da un valore medio.
Per questa ragione le applicazioni più adeguate all'analisi morfologica del costruito, condotte mediante indicatori di densità, sono quelle alla scala urbana, vale a dire a una "dimensione" che implichi un'omogeneità morfo-tipologica tale da non travisarne i risultati. A questa scala, nel contesto della città compatta mediterranea, è possibile relazionare al meglio energia e densità, sfruttando le proprietà analitiche di quest'ultima,

indicators to whom is connected. In terms of interpretative instrument, continuous progresses of research permit a refinement of different parametrical density indicators that represent formal properties of building.

Nonetheless, the relations among main sustainability indicators that describe the functioning of European cities and the density parameters show how some of the most spread convictions and assumptions about pros and cons of compact city, at a metropolitan scale, cannot clearly be found in terms of general trends, especially if they are referred to its formal and typological features.

This is because of the indefiniteness and specificity of such assumptions, but also because of European urban settlements nature characterized for building fabrics where such features can be very different. These difference can be expressed in density indicators that, within a metropolitan system, reveal the presence of gradients such that they are not easily expressible by an average.

For this reason, the more adequate applications to the formal analysis of urban systems by density indicators are those at urban scale, that is at those dimensional levels that provide for such a morphological and typological homogeneity that does not distort results.

In Mediterranean compact city context, at this scale, it is possible to relate better energy and density, making the most of analytical properties of density, working with the formal, typological and building features of urban fabrics, analyzing the main factors that interact with the variation of energy performances (both in solar radiation terms than in energy demand ones).

Parametrically, analyses carried out in this research determine trends that relate such features to energy behavior of different urban fabrics. In such way, by an analysis of the main features that constitute the building and a translation into density indicators (for example, urban density and mass density) it can be easily found a representative average value of the energy spent by a urban fabric while its “functioning”.

All this leads to a double consequence, respectively in analytical-cognitive terms and in building terms. In such a way, in fact, it can be offered a contribution to methodological instruments of energy survey at urban scale that could, for example, pass the condition of extreme delay accumulated in these years because of the scarce application of energy performance certificates and really get a comprehension of existing building heritage performances within more reasonable timescales, too.

From a building point of view, instead, this research is a knowledge basis useful to create operative instruments for energetically aware transformations in Mediterranean compact city.

In addition, it has to be noted that, once verified the soundness of method, nothing clashes with its application also to other urban fabrics types such as the most recent low density urban expansions, typical of extreme suburbs in big cities, that is the design process for the building of new settlements. In fact, for the latters, the existing methodologies often end up with overlooking the importance of urban scale and relations among density, form, building and energy, especially

operando con le caratteristiche morfologiche, tipologiche e costruttive dei tessuti edilizi, e analizzandone i principali fattori che intervengono sulla variazione delle prestazioni energetiche (sia in termini di radiazione solare, che di domanda).
Le analisi parametriche condotte in questa ricerca, individuano leggi di variazione che legano tali caratteristiche al comportamento energetico dei diversi tessuti urbani. In tal modo, con l'ausilio di un'analisi degli elementi costitutivi del costruito e la loro traduzione in indici di densità (ad esempio, densità urbana e densità di massa) è possibile risalire a un valore medio rappresentativo dell'energia utilizzata da un tessuto edilizio durante il suo "funzionamento".
Ciò ha una duplice ricaduta: la prima in termini analitico-conoscitivi, la seconda in termini progettuali. Sul primo fronte, le analisi condotte costituiscono un contributo agli strumenti metodologici d'indagine energetica alla scala urbana che potrebbero, ad esempio, superare la condizione di estremo ritardo che abbiamo accumulato nel corso degli anni per effetto della scarsa applicazione delle certificazioni energetiche, e giungere davvero ad una comprensione delle performance del patrimonio edilizio esistente in tempi più ragionevoli. Sul secondo, invece, quello strettamente progettuale la presente ricerca si offre come base di conoscenza utile alla costruzione di strumenti operativi per trasformazioni energeticamente consapevoli della città compatta mediterranea.
In aggiunta va sottolineato che, verificata la validità del metodo, nulla osta ad una sua applicazione anche ad altri tipi di tessuto urbano quali, ad esempio, le più recenti espansioni urbane a bassa densità ritrovabili nell'ultima corona periferica delle grandi città, come pure al processo progettuale per la realizzazione di nuovi insediamenti. Per questi ultimi, infatti, le metodologie esistenti spesso finiscono per trascurare l'importanza della scala urbana e delle relazioni tra densità, forma, costruzione ed energia, specie nelle prime fasi, determinando inefficienze ed errori progettuali di difficile risoluzione nelle fasi successive del processo.
Infine, bisogna precisare che la densità racchiude grandi potenzialità di applicazione nella pratica professionale. A differenza di altri parametri, variabili e indici di uso corrente negli studi energetici applicati all'edilizia - che spesso richiedono una competenza e una conoscenza specifica - l'indice di densità si relaziona a grandezze e variabili più consuete per l'architetto e quindi di più facile controllo. A ciò si aggiunga che, il ricorso agli indici di densità possiede un vantaggio ulteriore che riguarda l'ambito prescrittivo: le metodologie e gli strumenti che ne contemplano l'utilizzo (e gli esiti conseguenti) consentono un'integrazione con la pianificazione urbanistica, in cui spesso ricorrono tali indici.

Lo sviluppo futuro della ricerca dovrà tenere conto delle attuali limitazioni sia del contesto del progetto che delle metodologie proposte. Per quanto concerne il contesto,

at first stages, determining so inefficiency and design mistakes, not so easily solvable in next stages of the process.

Finally, it has to be clarified that density gathers a great potentiality of applications into professional practice. Differently from others parameters, variables and indicators currently used in energy studies applied to building sector (that often need a specific competence and knowledge), density parameter relates itself to quantities and variables more appropriate to architect and in this way more easily controllable on project stage. Moreover, the use of density parameters owns a further advantage about the prescriptive field since methodologies and instruments that provide for this use (and the consequent results) permit the integration with urban planning where frequently these parameters are.

Future research development will have to take into consideration current limitations of both project and proposed methodologies. In regard of context, the main features are the development of energy building regulations, the simulation tools and the urban density parameters. It has already been talked about the simulation tools. Instead, talking about urban density parameters, they show a scarce suit for goals and specific application context, ending up with using of a software suite adapted to circumstances. All this has determined also the need of controlling the variables crucial for research by parameters not always coincident, but anyway coherent, and it has made the process of calculation models elaboration more demanding. Instead, the definition of new density parameters (as for the mass density here proposed) could lead to clarify the relations among form, building and energy or to define others.

In regard of specific methodologies, it will be important to keep developing processes of formal building modeling and energy simulation that, not only permit a constant verification of that till now emerged, but also could lead to a simplification of such processes and therefore to their easier application to current building practice.

Talking about the relations among density and built environment at metropolitan scale, it is appropriate to better specify density parameters according to single indicators, in order to explain deeply the relation between these two and confirm the trends currently found out.

Regarding the research of relations among urban density, morphology and energy and their relating indicators, as well as a rightful extension of case studies, it will be important to analyze urban obstructions' effect also in winter and verify their transformations in terms of trends. Moreover, it will be equally important, as previously mentioned, to use only one software able to work at urban scale, to replace the two previously used for the analyses.

Also in regard of the survey about the relations among density mass, typology and energy, it will be important to extend the number of case studies. This will permit to verify the trend encountered for building fabrics not thermally insulated from on hand and from the other to enlighten a similar one for those fabrics built after the introduction of building energy regulations. Furthermore, the inclusion of other energy demand typologies analyses that, even without the same importance of the energy demand for conditioning, are influenced by urban form and

elementi di primaria importanza sono l'evoluzione della normativa, degli strumenti di simulazione e degli indicatori di densità urbana. In particolare, i secondi hanno mostrato nel corso dello studio una scarsa adeguatezza agli obiettivi ed al contesto specifico di applicazione, obbligando a ricorrere ad una *suite* di software adattata alle circostanze. Ciò ha determinato anche la necessità di controllare le variabili cruciali per la ricerca mediante parametri non sempre perfettamente coincidenti, ma pur sempre coerenti e ha reso più gravoso il processo di elaborazione dei modelli di calcolo. La definizione di nuovi indicatori di densità (come per la densità di massa qui proposta), invece, porterebbe a precisare i rapporti tra forma, costruzione ed energia o a definirne ulteriori.
Per quanto concerne le specifiche metodologie, sarà necessario continuare a sviluppare i processi di modellazione formale del costruito e di simulazione energetica che, oltre a consentire una verifica puntuale di quanto finora emerso, potrebbero condurre ad una semplificazione di tali processi e quindi ad una loro più facile applicazione alla pratica progettuale.
Nell'analisi dei rapporti tra densità e ambiente costruito alla scala metropolitana, si ritiene opportuno dettagliare meglio i parametri di densità in funzione dei singoli indicatori, in modo da esprimere più saldamente il legame tra i due e confermare le tendenze attualmente riscontrate. Riguardo la ricerca di relazioni tra densità urbana, morfologia ed energia e dei corrispondenti indicatori, oltre ad un doveroso ampliamento dei casi di studio, sarà importante analizzare l'effetto delle ostruzioni urbane anche nella stagione invernale e verificarne le mutazioni in termini di leggi di variazione. Inoltre, sarà auspicabile - come accennato in precedenza - poter ricorrere ad un unico software, in sostituzione dei due prescelti per le analisi, che sia in grado di operare alla scala urbana.
Anche nell'indagine sui rapporti tra densità di massa, tipologia ed energia bisognerà procedere ampliando il numero di casi di studio. Ciò consentirà, da un lato di verificare la tendenza riscontrata per i tessuti edilizi concepiti prima dell'introduzione delle normative sul contenimento dei consumi energetici e dall'altro di evidenziarne una analoga per i tessuti più recenti. L'ampliamento dei casi di studio potrà inoltre contemplare l'inclusione delle analisi di altre tipologie di domanda energetica che - seppur non con la stessa importanza della domanda di condizionamento - sono influenzate dalla morfologia urbana e dai caratteri tipologico costruttivi e compongono il bilancio energetico complessivo di un tessuto residenziale (illuminazione artificiale, trasporti, consumi elettrici, etc.). Un avanzamento in questo ambito consentirebbe anche di verificare la conformità alle leggi di scala del "tasso metabolico" alla dimensione del tessuto edilizio.

Di fronte all'insostenibilità della città *convenzionale* e alla sua contemporanea consacrazione ad habitat per eccellenza, il ricorso a strategie d'intervento che migliorino il

typological building features and constitute the global energy balance of a residential fabric (lightning, transports, electrical consumptions, etcetera). A development in this field could permit to verify the compliance of the "metabolic rate" scaling laws with urban fabric dimension, too.

In front of the unsustainability of conventional city and contemporary consecration as habitat par excellence, the application of intervention strategies that could improve the energy functioning of existing building is a topic of crucial importance. If compared to formal, typological and constructive features of building fabrics, such strategies take a more effective potentiality.

The interrelation between density and energy, here proposed referring to Mediterranean compact city, is one of the components fundamental to the transition towards closer conditions of the complex condition of balance in today's urban contexts namable as *sustainability density*, that nowadays has become more and more urgent and unavoidable.

As it was tried to prove, this condition is not univocal but it takes several forms according to the specificity of physical structure of building. It is necessary, therefore, that the research keeps aiming to the definition of fundamentals, methods and rational instruments useful to the identification of these forms.

funzionamento energetico del costruito esistente è un tema di cruciale importanza. Se correlate alle caratteristiche formali, tipologiche e costruttive dei tessuti edilizi, queste assumono potenzialità di efficacia maggiore. L'interazione tra densità ed energia, qui esposta nel caso della città compatta mediterranea, costituisce una delle componenti essenziali alla transizione verso condizioni più prossime a quel complesso stato di equilibrio dei contesti urbani odierni che si potrebbe ricondurre alla condizione della *densità sostenibile,* divenuta attualmente sempre più urgente e ineludibile. Come si è cercato di dimostrare, tale condizione non è univoca ma assume molteplici forme secondo le tipicità della struttura fisica del costruito. È necessario, dunque, che la ricerca continui ad orientarsi verso la definizione di principi, metodi e strumenti oggettivi utili all'identificazione di queste forme.

Bibliografia

Ajuntament de Barcelona. (2012). GeoPortal. Retrieved 03.06.2012 http://www.bcn.cat/geoportal/en/presentacio.html

Alexander, E. R. (1993). Density measures: A review and analysis. *Journal of Architectural and Planning Research, 10(3)*, 181-202.

Andraos, A., & Wood, D. (2009). *49 Cities: WORKac*. New York: Storefront for Art and Architecture.

Baker, N., & Steemers, K. (1996). LT Method 3.0 — a strategic energy-design tool for Southern Europe. *Energy and Buildings, 23*(3), 251-256. doi: http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788(95)00950-7

Baker, N., & Steemers, K. (2000). *Energy and environment in architecture : a technical design guide*. London ; New York: E & FN Spon.

Ballesteros, M. (2008). *Verb crisis*. Barcelona: Actar.

Batty, M. (2009). Defining density. *Environment and Planning B, 36(4)*, 571-572. doi: doi:10.1068/b3604ed

Beckers, B., & Masset, L. (2011). Heliodon 2 Documentation. from http://www.heliodon.net/heliodon/

Boiardi, L., Ferrante, A., & Gulli, R. (2012). La riqualificazione energetica del patrimonio edilizio recente. In F. Gottard (Ed.), *La Direttiva 31 2010 CE: norme e commenti*. Monfalcone: Edicom Edizioni.

Boyko, C. T., & Cooper, R. (2011). Clarifying and re-conceptualising density. *Progress in Planning, 76*(1), 1-61. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.progress.2011.07.001

Breheny, M. (1996). Centrists, decentrists and compromisers: views on the future of urban form. In M. Jenks, E. Burton & K. Williams (Eds.), *The Compact City. A Sustainable Urban Form?* London: E & FN Spoon.

Burdett, R., Sudjic, D., London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft für Internationalen Dialog. (2011). *Living in the endless city : the Urban Age project by the London School of Economics and Deutsche Bank's Alfred Herrhausen Society*. London: Phaidon Press Ltd.

Burrascano, M. (2008). *I frammenti della città europea : città architettura progetto*. Firenze: Alinea.

Busquets, J., & GSD, H. (2005). *Barcelona: the urban evolution of a compact city*. Rovereto: Nicolodi.

Butera, F. M. (2007). *Dalla caverna alla casa ecologica storia del comfort e dell'energia* (Nuova ed ed.). Milano: Ambiente.

Campoli, J., & MacLean, A. S. (2007). *Visualizing density* Retrieved from http://www.columbia.edu/cgi-bin/cul/resolve?clio9369895

Caniggia, G. (1976). *Strutture dello spazio antropico: studi e note*: Uniedit.

Cappelletti, V. (1979). *Enciclopedia italiana di scienze, lettere ed arti: GE-PI : 1961-1978. Appendice 4*: Istituto della Enciclopedia Italiana.

Cappuccitti, A. (2006). *Tessuti e centralità nella morfologia urbana di Roma*. Roma: Aracne.

Cecere, C. (2012). È possibile che edifici a energia quasi zero salvino l'Europa dal disastro ecologico? In F. Gottard (Ed.), *La Direttiva 31 2010 CE: norme e commenti* (pp. 10-15). Monfalcone: Edicom Edizioni.

Cecere, C. (2013). *Morfologia, Densità, Sostenibilità: brevi considerazioni in forma di lezione*. Roma.

Cecere, C., Coch Roura, H., Morganti, M., & Clementella, G. (2012). Dalla Riqualificazione Energetica al Recupero Sostenibile: un metodo di analisi energetica dei tessuti della città compatta. *In_Bo Ricerche e progetti per il territorio, la città e l'architettura, 3*(5), 7-28. doi: 10.6092/issn.2036-1602/3477

Cerdà, I. (1855). *Memoria y Atlas del Anteproyecto del Ensanche de Barcelona*. Barcelona.

Cheng, V. (2010). Understanding Density and High Density. In E. Ng (Ed.), *Designing High-Density Cities: For Social and Environmental Sustainability* (pp. 3-17). London: Earthscan.

Cheng, V., Steemers, K., Montavon, M., & Compagnon, R. (2006). *Urban Form, Density and Solar Potential.* Paper presented at the PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.

Churchman, A. (1999). Disentangling the Concept of Density. *Journal of Plannig Literature*(13), 389.

City Planning. (1982). *Zoning Resolution: the City of New York*. New York: City Planning Comission.

Cocchioni, C., De Grassi, M., Vittori, A. M., & Istituto autonomo per le case popolari della provincia di, R. (1984). *La casa popolare a Roma: trent'anni di attivitā del I. C. P*: Kappa.

Compagnon, R. (2004). Solar and daylight availability in the urban fabric. *Energy and Buildings, 36*(4), 321-328.

Conzen, M. R. G., & Conzen, M. P. (2004). *Thinking About Urban Form: Papers on Urban Morphology, 1932-1998*: Peter Lang Pub Incorporated.

Corbusier, L., & Scattone, G. (2009). *Maniera di pensare l'urbanistica*: Laterza.

Costa Duran, S. (2009). *High density housing architecture*. [Barcelona]: Loft.

Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., & Griffith, B. T. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment, 43*(4), 661-673. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.027

Curreli, A., & Coch Roura, H. (2011). *Solar access in densely built urban environment.* Paper presented at the Plea 2011: Architecture & Sustainable Development, Louvain-la-Neuve.

Dall'O', G., Galante, A., & Pasetti, G. (2012). A methodology for evaluating the potential energy savings of retrofitting residential building stocks. *Sustainable Cities and Society, 4*(0), 12-21.

Dall'O', G., Galante, A., & Torri, M. (2012). A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale. *Energy and Buildings, 48*(0), 211-219.

Daniels, K., & Hammann, R. E. (2009). *Energy design for tomorrow = Energy Design für morgen*. Stuttgart: Edition Axel Menges.

Darin, M. (1998). The study of urban form in France. *Urban Morphology, 2*(2), 63-76.

Dascalaki, E. G., Droutsa, K. G., Balaras, C. A., & Kontoyiannidis, S. (2011a). Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock. *Energy and Buildings, 43*(12), 3400-3409.

Dascalaki, E. G., Droutsa, K. G., Balaras, C. A., & Kontoyiannidis, S. (2011b). Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock. *Energy and Buildings, 43*(12), 3400-3409.

De Pascali, P. (2008). *Città ed energia : la valenza energetica dell'organizzazione insediativa.*

Milano: Franco Angeli.

Dempsey, N. (2010). Revisiting the compact city? *Built Environment, 36*(1), 5-8. doi: Cited By (since 1996) 4

Dempsey, N., & Jenks, M. (2010). The future of the compact city. *Built Environment, 36*(1), 116-121. doi: Cited By (since 1996) 3

Dempsey, N., & Jenks, M. (2010). The Future of the Compact City. *Built Environment, 36*(1), 116-121. doi: 10.2148/benv.36.1.116

Djalali, A., & Vollaard, P. (2008). The Complex History of Sustainability. *Volume*(18), 33-41.

Díaz Gómez, C. (1991). *Aproximació a l'evolució i al comportament derivat de les tècniques constructives utilitzades en els tipus edificatoris exempts destinats a habitatge econòmic a Catalunya (periode 1954/1976).* (Tesis), Universitat Politècnica de Catalunya

Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. Retrieved from http://hdl.handle.net/10803/6127

EIA. (2012). EIA - Annual Energy Outlook 2011. Retrieved 09.06.2012 http://www.eia.gov/oiaf/aeo/demand.html

Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings (2002).

Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (2010).

Regolamento Delegato (UE) n. 244/2012 della Commissione del 16 gennaio 2012 (2012).

Eurostat. (2012). Construction production index. Retrieved August 14th 2012 http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home

Fernandez Per, A., & Arpa, J. (2007). *Density projects: 36 new concepts on collective housing*. Vitoria-Gasteiz: A+t ediciones.

Fernâandez Per, A., & Arpa, J. (2008). *The Public chance : nuevos paisajes urbanos = New urban landscapes*. Vitoria-Gasteiz: a+t ediciones.

Fernâandez Per, A., & Arpa, J. (2010). *Next: collective housing in progress : density, intensity, uses, location, types, details*. Vitoria-Gasteiz: A+t ediciones.

Fernâandez Per, A., Mozas, J., & Arpa, J. (2007). *Dbook : density, data, diagrams, dwellings : anâlisis visual de 64 proyectos de vivienda colectiva*. Vitoria-Gasteiz: A+t ediciones.

Fernâandez Per, A., Mozas, J., Arpa, J., & A+T Research Group. (2011). *Density is home*. Vitoria-Gasteiz: A+T Architecture Publishers.

Fernâandez Per, A., Mozas, J., Arpa, J., Trobaugh, W., Mortimer, K., & Sâanchez, M. (2009). *Hoco : density Housing Construction and Costs*. Vitoria-Gasteiz: A+t ediciones.

Forsyth, A. (2003). Measuring Density: Working Definitions for Residential Density and Building Intensity. *Design Brief, 8*, 1-8.

Foucault, M., & Bogliolo, G. (1996). *L'archeologia del sapere* (3. ed ed.). [Milano]: Biblioteca universale Rizzoli.

Fracastoro, G. V., & Serraino, M. (2011). A methodology for assessing the energy performance of large scale building stocks and possible applications. *Energy and Buildings, 43*(4), 844-852.

Fuller, R. B. (1981). *Critical path* (1st ed.). New York: St. Martin's Press.

Fuller, R. B., Carbondale, S. I. U. a., & Inventory, W. R. (1971). *The world game: integrative resource utilization planning tool*. Carbondale: World Resources Inventory.

Gamba, R. (2010). Intervista ad Antonello Monaco. *Costruire in laterizio*(133), 48-51.

Gropius, W. (1936). *The new architecture and the Bauhaus*. New York, London,: Museum of Modern Art; Faber and Faber.

Gropius, W. (1955). *Scope of total architecture* ([1st ed.). New York,: Harper.

Gupta, V. (1987). Thermal efficiency of building clusters: an index for non air-conditioned buildings in hot climates. In D. Hawkes (Ed.), *Energy and Urban Built Form* (pp. 133-145). Amsterdam: Elsevier Science.

Herzog, T., Kaiser, N., & Volz, M. (1996). *Solar energy in architecture and urban planning = Solarenergie in Architektur und Stadtplanung*. Munich ; New York: Prestel.

Hilberseimer, L. (1978). *Groszstadt Architektur* (2. ed ed.). Stuttgart: J. Hoffman.

Hitchcock, J. R. (1994). *A primer on the use of density in land use planning*. Toronto: Program in Planning, University of Toronto.

Howard, E. (1985). *Garden cities of to-morrow* (New rev. ed.). Eastbourne: Attic Books.

Hwang, I. (2006). *Verb natures*. Barcelona: Actar.

IEA, Agency, I. E., & OECD. (2008). *World Energy Outlook 2008* (pp. 578). Retrieved from http://www.worldenergyoutlook.org/2008.asp

Insolera, I. (2001). *Roma moderna: un secolo di storia urbanistica, 1870-1970*. Torino: G. Einaudi.

Isalgue, A., Coch, H., & Serra, R. (2007). Scaling laws and the modern city. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 382*(2), 643-649.

ISTAT. (2012). Istat data warehouse. Retrieved August 14th 2012 http://dati.istat.it/?lang=it

ITeC. (2013). Bedec PR/PCT, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Retrieved April 3rd 2013 http://www.itec.cat/nouBedec.c/bedec.aspx

Jacobs, J., & Olmo, C. (2000). *Vita e morte delle grandi città saggio sulle metropoli americane*. Torino: Edizioni di Comunità.

Jenks, M., Burton, E., & Williams, K. (1996). *The Compact city : a sustainable urban form?* London ; New York: E & FN Spon.

Jevons, W. S. (1948). *Teoria della economia politica ed altri scritti economici*. Torino: Unione tipografico-editrice torinese.

Knowles, R. L. (1981). *Energia e forma un approccio ecologico allo sviluppo urbano*. Padova: Muzzio.

Koolhaas, R. (2000). *Mutations*. Barcelona: Actar [etc.].

Koolhaas, R., & Biraghi, M. (2001). *Delirious New York un manifesto retroattivo per Manhattan*. Milano: Electa.

Koolhaas, R., & Mastrigli, G. (2006). *Junkspace per un ripensamento radicale dello spazio urbano*. Macerata: Quodlibet.

Koolhaas, R., & Mau, B. (1998). *Small, medium, large, extra-large* (J. Sigler & H. Werlemann Eds. 2nd ed.). New York, NY: The Monacelli Press.

Koolhaas, R., Mau, B., Sigler, J., & Office for metropolitan architecture. (1997). *S,M,L,XL small, medium, large, extra-large*. Rotterdam: 010 publishers.

Koolhaas, R., & Office for Metropolitan Architecture. (2004). *Content*. Köln: Taschen.

Koolhaas, R., & Robilant, M. d. (2010). *Singapore songlines ritratto di una metropoli Potemkin ... o trent'anni di tabula rasa*. Macerata: Quodlibet.

Kühnert, C., Helbing, D., & West, G. B. (2006). Scaling laws in urban supply networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 363*(1), 96-103.

Latouche, S. (2005). *Come sopravvivere allo sviluppo dalla decolonizzazione dell'immaginario economico alla costruzione di una società alternativa*. Torino: Bollati Boringhieri.

Lattanzi, V. (2012). La certificazione energetica degli edifici: stato dell'arte e problematiche di attuazione. In F. Gottard (Ed.), *La Direttiva 31 2010 CE: norme e commenti* (pp. 16-19). Monfalcone: Edicom Edizioni.

Le Corbusier, C.-E. (1967). *Urbanistica*. Milano: Il saggiatore.

Le Corbusier, C.-E. (1973). *Verso un'architettura*. Milano: Longanesi.

Le Corbusier, C.-E., Jeanneret, P., Boesiger, W., & Stonorov, O. (2006). *Le Corbusier: Oeuvre complète* (16. ed ed.): Basel etc.

Lerup, L. (2000). *After the city*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Littlefair, P. (2001). Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment. *Solar Energy, 70*(3), 177-185. doi: Cited By (since 1996) 22; Export Date 28 May 2012, Source Scopus.

Lämmer, S., Gehlsen, B., & Helbing, D. (2006). Scaling laws in the spatial structure of urban road networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 363*(1), 89-95.

Maas, W., Hackauf, U., Haikola, P., & Why Factory. (2010). *Green dream : how future cities can outsmart nature*. Rotterdam: Nai Publishers.

Maas, W., MVRDV (Firma), Berlage Instituut., Institut franðcais d'architecture., & Fundaciâo Mies van der Rohe. (2003). *Five minutes city : architecture and [im]mobility : forum and workshop, Rotterdam 2002*. Rotterdam: Episode.

Maas, W., MVRDV (Firma), Delft School of Design., Berlage Instituut., Massachusetts Institute of Technology. Department of Architecture., & cThrough. (2007). *Space fighter : the evolutionary city (game:)*. Barcelona: Actar.

Maas, W., MVRDV (Firma), & University of Wisconsin-Milwaukee. School of Architecture & Urban Planning. (2007). *Skycar city : a pre-emptive history*.

Barcelona ; New York: Actar.

Maretto, P. (1984). *Realtà naturale e realtà costruita*: Alinea.

Market Observatory for Energy, & European Commission. (2010). *Europe's energy position : markets & supply*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Marks, R. W. (1960). *The Dymaxion world of Buckminster Fuller*. New York,: Reinhold Pub. Corp.

Martin, L., & March, L. (1972). *Urban space and structures*. Cambridge: University Press.

Martí Arís, C. (1994). *Le variazioni dell'identità il tipo in architettura*. Torino: CittaStudiEdizioni.

Martí Arís, C., & Pierini, O. S. (2007). *La centina e l'arco pensiero, teoria, progetto in architettura*. Milano: Marinotti.

Masters, J. Weather Underground. http://www.wunderground.com/

McHarg, I. L. (2007). *Progettare con la natura*. Padova: Muzzio.

Meadows, D. H., Meadows, D. L., Club of Rome. Project on the Predicament of Mankind., & Potomac Associates. (1972). *The limits to growth; a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York,: Universe Books.

Mitchell, G. (2005). Urban development, form and energy use in building: a review for the Solutions Project 1 (pp. 1-28): EPSRC SUE SOLUTIONS consortium.

Monastra, G. (2003). Nove ore a rischio blackout, *La Repubblica, July 23th 2003*. Retrieved from http://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/2003/07/23/nove-ore-rischio-blackout.html

Montavon, M., Steemers, K., Cheng, V., & Compagnon, R. (2006). *La Ville Radieuse by Le Corbusier, once again a case study.* Paper presented at the PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.

Morganti, M., Pagès-Ramon, A., Isalgue, A., Cecere, C., & Coch, H. (2013). *Urban Fabric Performance in the Mediterranean City: A Typology Based Mass-Energy Analysis*. Paper presented at the CISBAT 2013 Clean Technology for Smart Cities and Buildings, From Nano to Urban Scale, Lausanne, Switzerland.

Mostafavi, M., & Doherty, G. (2010). *Ecological urbanism*. Cambridge, Baden: Harvard University, Lars Mèuller.

Moudon, A. (1994). Getting to know the built landscape: typomorphology. In K. A. Franck & L. H. Schneekloth (Eds.), *Ordering space: types in architecture and design* (pp. 289-311). New York: Van Nostrand Reinhold.

Mozas, J., & Fernâandez Per, A. (2006). *Densidad : nueva vivienda colectiva = Density : new collective housing* (Ed. condensada = Condensed ed.). Vitoria-Gasteiz: a+t Ediciones.

Mumford, L., Rosso, M., & Scrivano, P. (1999). *La cultura delle città* (Nuova ed. a cura di Michela Rosso e Paolo Scrivano ed.). Torino: Edizioni di Comunità.

Muratori, S. (1960). *Studi per una operante storia urbana di Venezia*. Roma: Istituto poligrafico dello Stato.

Muratori, S. (1963). *Architettura e civilta in crisi*. Roma: Centro studi di storia urbanistica.

Muratori, S. (1963). *Studi per un operante storia urbana di Roma*: Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Muratori, S., De Carli, E., & Scatà, E. (1991). *Antologia critica degli scritti di Saverio Muratori*: Alinea.

MVRDV. (2005). *KM3: excursion on capacities*. Barcelona: Actar.

MVRDV, Hardel, M., Meijer, N., Salmerâon Espinosa, M., & Escola Superior d'Arquitectura de Barcelona. (2000). *Costa ibâerica : [hacia la ciudad del ocio / basado en estudios realizados por estudiantes de la ESARQ de Barcelona*. Barcelona: ACTAR.

MVRDV, Koek, R., Rijs, J. v., Maas, W., & Vries, N. d. (1998). *Farmax : excursions on density*. Rotterdam: 010 Publishers.

MVRDV, & Maas, W. (1999). *Metacity, datatown*. Rotterdam: MVRDV,010.

Neuman, M. (2005). The compact city fallacy. *Journal of Planning Education and Research, 25*(1), 11-26. doi: Cited By (since 1996) 59;Export Date 28 May 2012 Source Scopus.

New York, C. P. C. (1917). *Zoning handbook : a guide to the zoning resolution of the City of New York*. New York: The Commission.

Nieva, A. B., Pozo, A. V. E., & Instituto Sindical de Trabajo, A. y. S. (2005). *Guía de construcción sostenible*: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS).

Olgyay, V., Los, S., & Mancuso, G. (1990). *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*: Franco Muzzio Editore.

OMA, & ECF. (2010). *Roadmap 2050: A practical guide to a prosperous, low carbon Europe* Vol. 3. E. C. Foundation (Ed.) (pp. 280). Retrieved from http://www.roadmap2050.eu/

Open_Data_BCN. (2012). OpenData BCN: Servei de dades obertes de l'Ajuntament de Barcelona. Retrieved 03.06.2012 http://w20.bcn.cat/opendata/Default.aspx?lang=CAT

Paricio Casademunt, A. (2008). *Secrets d'un sistema constructiu : l'Eixample* (2a ed.). Barcelona: Edicions UPC.

Pianigiani, O. (1907). *Vocabolario etimologico della lingua italiana*: Società editrice Dante Alighieri di Albrighi, Segati.

Pierini, O. S., & Martí Arís, C. (2008). *Passaggio in Iberia percorsi del moderno nell'architettura spagnola contemporanea*. Milano: Marinotti.

Piroddi, E. (2000). *Le regole della ricomposizione urbana*. Milano: F. Angeli.

Pont, M. B., & Haupt, P. (2010). *Spacematrix : space, density and urban form*. Rotterdam: NAI.

Rapaport, A. (1975). Toward a Redefinition of Density. *Environment and Behavior, 7*(2 June 1975), 133.

Rapoport, A. (1975). Toward a Redefinition of Density. *Environment and Behavior, 7*(2), 133-158. doi: 10.1177/001391657500700202

Ratti, C., Baker, N., & Steemers, K. (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and Buildings, 37*(7), 762-776.

Ratti, C., & Richens, P. (2004). Raster analysis of urban form. *Environment and Planning B: Planning and Design, 31*(2), 297-309. doi: Cited By (since 1996) 34

Export Date 28 May 2012

Source Scopus

Reale, L. (2008). *Densità città residenza tecniche di densificazione e strategie anti-sprawl*. Roma: Gangemi.

Rogers, R. G., & Gumuchdjian, P. (1998). *Cities for a small planet*. London: Faber and Faber.

Roma, C. (2008). *Piano Regolatore Generale : Norme Tecniche di Attuazione*. Roma: s.n.

Sabatini, F., & Coletti, V. (2007). *Il Sabatini Coletti dizionario della lingua italiana 2008. Con CD-ROM*: Rizzoli Larousse.

San Luca, A. N. d. Fondo Ridolfi-Frankl-Malagricci.

Scheer, H. (2006). *Autonomia energetica ecologia, tecnologia e sociologia delle risorse rinnovabili*. Milano: Ambiente.

Sebald, W. G., & Vigliani, A. (2004). *Storia naturale della distruzione*: Adelphi ed.

Serra Florensa, R., & Coch Roura, H. (2001). *Arquitectura y energia natural*. Barcelona: Edicions UPC.

Serra, R. (2004). *Arquitectura y climas* (1* ed.). Barcelona: Gustavo Gili.

Serra, R., & Rosset, J. (2000). Chapter 93 - Energy Conscious Design Programme. In A. A. M. Sayigh (Ed.), *World Renewable Energy Congress VI* (pp. 494-499). Oxford: Pergamon.

Sertorio, L. (2002). *Storia dell'abbondanza*. Torino: Bollati Boringhieri.

Sorkin, M. (2003). Pensieri sulla densità. *Lotus International, 117 2003*, 4-11.

Steemers, K. (2003). Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and Buildings, 35*(1), 3-14.

Strappa, G. (1995). *Unità dell'organismo architettonico*. Bari: Dedalo.

Strømann-Andersen, J., & Sattrup, P. A. (2011). The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings, 43*(8), 2011-2020.

Sudjic, D., Burdett, R., London School of Economics and Political Science., & Alfred Herrhausen Gesellschaft fèur Internationalen Dialog. (2007). *The Endless city: the urban age project by the London School of Economics and Deutsche Bankk's Alfred Herrhausen Society*. London: Phaidon.

Susteren, A. v. (2005). *Metropolitan world atlas*. Rotterdam: 010 Publishers.

TABULA. (2012). *Typology Approach for Building Stock Energy Assessment: main Results of the TABULA project*. Darmstadt: IWU.

Tereci, A., Kesten, D., & Eicker, U. (2010). *The Impact of the Urban Form on Heating, Cooling and Lighting Demand of Cities*. Paper presented at the ICSU 2010 1st International Conference on Substainable

Urbanisation, Hong Kong China, 15-17 September 2010.

Todaro, B., Giancotti, A., & De Matteis, F. (2013). *Il secondo progetto. Interventi sull'abitare pubblico*: Prospettive Edizioni.

Torricelli, M. C. (2012). Una vision mediterranea per gli edifici a energia (quasi) zero. *Costruire in laterizio*(147), 16-17.

Treccani, I. d. E. I. (2003). *Il vocabolario Treccani: Il Treccani*: Istituto della Enciclopedia Italiana.

UN. (1992). *United Nation Framework Convention on Climate Change*. New York: Retrieved from http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf.

Unwin, R. (1912). *Nothing gained by overcrowding! : how the garden city type of development may benefit both owner and occupier* ([3d ed.). London: Garden Cities and Town Planning Association.

Urban Task Force, & Rogers, R. G. (1999). *Towards an urban renaissance*. London: Spon.

van Esch, M. M. E., Looman, R. H. J., & de Bruin-Hordijk, G. J. (2012). The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies. *Energy and Buildings, 47*(0), 189-200. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.042

Vitruvius Pollio, & Bossalino, F. (1998). *De architectura*. Roma: Kappa.

VV., A. (2011). *Attuazione della certificazione energetica degli edifici in Italia.* Paper presented at the Mostra Convegno Expocomfort, Milano.

Welbank, M. (1996). The Serach for a Sustainable Urban Form. In M. Jenks, E. Burton & K. Williams (Eds.), *The Compact City: A Sustainable Urban Form* (pp. 74-82). London: E & FN Spoon.

West, G. B., & Brown, J. H. (2004). Life's Universal Scaling Laws. *Physics Today, 57*(9), 36-42. doi: http://dx.doi.org/10.1063/1.1809090

Wienke, U. (2013). *Storia dell'architettura climatica* Retrieved from http://www.miniwatt.it/mwdossier_Architettura-climatica.htm

Wright, F. L. (1932). *The disappearing city*. New York: William Farquhar Payson.

WWF, Ecofys, OMA, & Stephan, S. (2011). *The energy report:100% renewable energy by 2050* W. International (Ed.) (pp. 256). Retrieved from http://wwf.panda.org/what_we_do/footprint/climate_carbon_energy/energy_solutions/renewable_energy/sustainable_energy_report/

Xaveer de Geyter Architecten. (2002). *After-sprawl : research for the contemporary city*. Rotterdam Antwerp: NAi ; deSingel.

Zhang, J., Heng, C. K., Malone-Lee, L. C., Hii, D. J. C., Janssen, P., Leung, K. S., & Tan, B. K. (2012). Evaluating environmental implications of density: A comparative case study on the relationship between density, urban block typology and sky exposure. *Automation in Construction, 22*(0), 90-101.