



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

CITERA
Centro Interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro
Architettura

DOTTORATO DI RICERCA IN
"RISPARMIO ENERGETICO E MICROGENERAZIONE DISTRIBUITA"

Coordinatore: Prof. Livio De Santoli

XXIII CICLO

Tesi di dottorato

RETROFIT ENERGETICO.
LINEE GUIDA PER LA RIDUZIONE DEI CONSUMI
E MIGLIORAMENTO DELLE CONDIZIONI
AMBIENTALI NELL'EDILIZIA SCOLASTICA

Dottoranda: Chiara Leone

Tutor: Prof. Carola Clemente



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Ringraziamenti

Desidero ringraziare innanzitutto il mio tutor, la Prof.ssa Carola Clemente, e il Coordinatore del dottorato, Prof. Livio De Santoli, per avermi seguito con pazienza ed assiduità nel lavoro di tesi.

Ringrazio i dottorandi l'Ing. Marco Cecconi e l'Arch. Claudia Calice, per l'interesse mostrato verso il mio lavoro e per il loro prezioso contributo scientifico. Ringrazio anche tutti i tesisti che si sono occupati delle scuole in esame per il materiale fornitomi, indispensabile per l'analisi svolta.

Un infinito ringraziamento a mio padre, a mia madre e ai miei fratelli per la pazienza, l'amore e la dedizione.

Ringrazio le persone care da una vita e ora più che mai, in particolare Federico De Matteis, e tutti coloro che, in questi tre anni, hanno creduto in me.

C.L.

PARTE PRIMA: Introduzione e struttura della ricerca	5
1.1. Inquadramento del problema scientifico	6
1.2. Obiettivi della ricerca	7
1.3. Metodologia della ricerca	8
1.4. Risultati attesi della ricerca	9
PARTE SECONDA: Il sistema scolastico italiano	11
2.1. Evoluzione del sistema scolastico italiano	12
2.2. Il sistema scolastico italiano vigente	15
2.2.1. Organizzazione e gestione del sistema scolastico italiano	16
2.2.2. Le istituzioni scolastiche	18
2.3. Quadro normativo vigente	24
2.4. Finanziamenti e fondi per sistema scolastico italiano	26
PARTE TERZA: Il panorama nazionale dell'edilizia scolastica	33
3.1. Evoluzione dell'edilizia scolastica italiana tra il XIX e XX secolo	34
3.2. Quadro legislativo e recenti indirizzi normativi per l'edilizia scolastica	53
3.3. Risorse e finanziamenti per il sistema edilizio scolastico italiano	58
3.4. Stato e consistenza dell'edilizia scolastica in Italia	62
3.4.1. Caratteristiche degli edifici scolastici: tipologie e modelli distributivi	63
3.4.2. Condizione strutturale e di sicurezza degli edifici scolastici	67

3.4.3. Condizione energetica degli edifici scolastici e relativi consumi	70
3.4.4. Gestione da parte degli Enti preposti	72
3.5. Conclusioni	74
PARTE QUARTO: Politiche e azioni per la riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico	76
4.1. Verso un uso razionale dell'energia nelle scuole	77
4.1.1. Principali normative sull'efficienza energetica	79
4.1.2. Politiche e programmi esteri sull'efficienza energetica nelle scuole	82
4.1.3. Politiche e programmi sull'efficienza energetica nelle scuole italiane	86
4.2. La riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico	92
4.2.1. Protocolli per interventi di riqualificazione delle strutture scolastiche	95
4.2.2. Repertorio dei Best Practices internazionali e nazionali	99
4.2.3. Riflessioni conclusive	113
PARTE QUINTA: Linee guida per riduzione dei consumi e miglioramento delle condizioni ambientali nell'edilizia scolastica	117
5.1. Guida per la progettazione e programmazione di interventi di retrofit	118
5.2. Comfort ambientale nelle scuole	121
5.2.1. La qualità dell'aria interna (Indoor Air Quality, IAQ)	123
5.2.2. La temperatura e il comfort termico	128
5.2.3. L'umidità relativa e il comfort igrometrico	138
5.2.4. L'illuminamento e il comfort illuminotecnico	146
5.2.5. Il rumore e il comfort acustico	162
5.3. Il comportamento energetico e consumi degli edifici scolastici	176
5.3.1. L'audit energetico	177
5.3.2. La prestazione energetica di un edificio	181

5.3.3. La classe di prestazione energetica	183
5.4. Linee guida per la progettazione e programmazione di interventi di retrofit	184
5.4.1. Possibili strategie progettuali e soluzioni tecnologiche per il retrofit	185
5.4.2. Problematiche legate all'uso dell'energia solare e altre fonti rinnovabili	194
5.4.3. Un aspetto importante: la manutenzione e gestione post-retrofit	195
5.4.4. Analisi costi-benefici (ACB) dei progetti di riqualificazione energetica	197
5.5. Risultati ottenuti grazie alla riqualificazione degli edifici esistenti in Italia	200
5.6. Conclusioni: edifici scolastici come "vetrine educative".....	206
PARTE SESTA: Caso studio: edifici scolastici a Roma	219
6.1. Individuazione del campione di studio: le scuole del comune di Roma	220
6.1.1. Consistenza e distribuzione territoriale	221
6.1.2. Età e caratteristiche tecnico-costruttive e strutturali	223
6.1.3. Situazione energetica attuale del patrimonio scolastico	225
6.2. Ipotesi e strategie di riqualificazione edilizia ed energetica	229
6.2.1. Problematiche al patrimonio edilizio storico	230
6.3. Progetti pilota	234
6.3.1. Gli interventi migliorativi di riqualificazione energetica ed edilizia	235
6.3.2. Motivazione della scelta delle porzioni di territorio oggetto di analisi	237
6.3.3. Edilizia storica e premoderna: il caso del primo municipio	240
6.3.4. Edilizia Moderna e contemporanea: il caso dell'ottavo municipio	250
6.4. Risultati ed analisi conclusive	261
BIBLIOGRAFIA	265
SITOGRAFIA	297

PARTE PRIMA: Introduzione e struttura della ricerca

INDICE CAPITOLO

1.1. Inquadramento del problema scientifico	5
1.2. Obiettivi della ricerca	6
1.3. Metodologia della ricerca	7
1.4. Risultati attesi della ricerca	8

1.1. Inquadramento del problema scientifico

Negli ultimi tempi si è andata delineando una chiara riflessione sul tema dell'uso efficiente dell'energia nelle nostre città, soprattutto nella corretta gestione dei processi di antropizzazione e degli effetti ad essi correlati, che poi si è tradotta in studi e proposte, anche operativi, come è successo nel caso di Roma.

La città si propone di realizzare un suo piano energetico e di attuare numerose politiche ambientali per rendere la Capitale una delle prime città europea ad attuare i pilastri della terza rivoluzione industriale: diffusione e stoccaggio di energia rinnovabile, edilizia produttrice di energia, reti intelligenti e tecnologia dell'idrogeno.

Nella realizzazione di questo piano, programmazione temporale di lungo termine, vengono inclusi progetti pilota nei settori strategici della città, tutto in un quadro di interventi economicamente sostenibile. In questo programma strategico-politico finalizzato all'ottimizzazione delle prestazioni energetiche e alla riqualificazione morfologica, funzionale e gestionale del patrimonio immobiliare dell'ente pubblico, gli edifici scolastici, oltre a essere una cospicua parte dell'intero patrimonio pubblico, rappresentano un settore di rilievo in cui l'azione di sensibilizzazione nei confronti delle problematiche energetiche può essere particolarmente efficace, come evidenziato anche dalle direttive comunitarie 92/2001/CE, 32/2006/CE e la recente 31/2010/CE, che sottolineano come gli edifici pubblici svolgono un ruolo di esempio nella società civile e vengono dunque individuati come elemento fondamentale per la diffusione della cultura dell'efficienza energetica.

Le scuole rappresentano così un ambito strategico, per sviluppare la consapevolezza, nei giovani, dell'importanza di preservare le risorse energetiche per il futuro.

Inoltre la situazione di emergenza dello stato del patrimonio scolastico nazionale è punteggiata da numerosi incidenti, anche mortali, che negli ultimi anni si sono verificati nelle strutture scolastiche di ogni ordine e grado; incidenti verificati per incuria, per mancanza di manutenzione o di mantenimento di strutture ed impianti a bassa complessità, per assenza di pianificazione e di documentazione sullo stato degli edifici che ospitano le istituzioni scolastiche, per scelte di indirizzo nella gestione e nella destinazione di fondi specifici fatte in assenza di una adeguata programmazione tecnica. In molti casi a questo quadro di assenza di una vera e propria programmazione tecnica di settore si sono aggiunte anche non adeguate capacità tecniche dei progettisti e dei

realizzatori delle opere, e il generale ricorso alla pratica della deroga alle norme di riferimento in materia di sicurezza degli utenti e delle strutture in uso.

L'idea della ricerca nasce quindi dall'esigenza di offrire delle linee guida valide in materia di riqualificazione energetica per gli edifici scolastici della città di Roma, città complessa, in cui convivono due anime contrastanti, la città storica e la città consolidata, ciascuna con i suoi vincoli e le sue problematiche diffuse, nel tentativo di focalizzare i punti critici ricorrenti e le soluzioni più efficaci.

La possibilità di intervenire in modo programmato e sostanziale su questi edifici, adeguando l'ambiente fisico e ottimizzando l'impiego di risorse, porterebbe, da un lato all'innalzamento della qualità edilizia e delle condizioni d'uso per l'utente e, dall'altro, al miglioramento della gestione delle risorse economiche a disposizione dell'Ente Gestore.

Si sono supposti interventi e operazioni di retrofit con l'intento di dare risposte alle problematiche relative all'approccio progettuale volto al recupero del patrimonio edilizio esistente ed alla sua fattibilità finanziaria, alle questioni che derivano dall'intervenire in contesti 'sensibili' dal punto di vista ambientale e storico, alle nuove esigenze prestazionali ed operative del costruito che emergono dalla recente legislazione in materia di certificazione e risparmio energetico degli edifici e dalle nuove possibilità di impiego delle innovazioni tecnologiche nel settore delle energie rinnovabili.

1.2. Obiettivi della ricerca

La ricerca di indagare a fondo sullo stato della scuola in Italia, in particolare sulle sue strutture edilizie per proporre di individuare le azioni e le strategie interdisciplinari di riqualificazione finalizzate all'ottimizzazione delle prestazioni energetiche e ambientali e al miglioramento qualitativo in termini morfologici, funzionali e gestionali del patrimonio edilizio scolastico presente sull'area metropolitana romana.

Lo studio svolge un'indagine sull'intero parco edilizio scolastico, sia storico che consolidato (scuola per l'infanzia, scuola primaria, scuola secondaria di primo e secondo grado) ad esclusione delle Università e degli Istituti di Studi Superiori che, per funzione, esigenze e tipologia di utenza, possiedono caratteristiche fortemente diversificate, mirando ad individuare i parametri conoscitivi e valutativi necessari per determinare una relazione che ottimizzi l'integrazione dei diversi ambiti d'intervento, garantendo, tramite l'appropriatezza tecnica delle scelte, efficienza energetica, funzionalità spaziale, ottimizzazione gestionale e miglioramento formale del manufatto "scuola".

Ottimizzazione dell'efficienza tecnologica degli edifici scolastici ottenuta anche grazie al confronto con i requisiti di sostenibilità recentemente codificati dalla UNI 11277:2008 - Sostenibilità ambientale in edilizia, e di sicurezza e fruibilità relativi ai modelli d'uso delle varie strutture scolastiche. Una volta individuati sarà possibile definire strategie di intervento sia su complessi edilizi di recente realizzazione che sul patrimonio "storico".

Nello specifico:

1. Costruire un quadro conoscitivo attraverso la messa a punto di un modello diagnostico d'analisi e valutazione volta alla conoscenza delle questioni energetico/ambientali individuando strategie d'intervento applicabili ad edifici ad uso scolastico, tramite l'elaborazione di schede tematiche strategiche rispondenti alle caratteristiche (criticità e potenzialità) di edifici classificati secondo le diverse tipologie edilizie, anno di realizzazione, sistemi e processi costruttivi;
2. Elaborare criteri per la programmazione delle attività di recupero che coniughino la conservazione dell'identità con l'efficienza energetica, ambientale e funzionale.

1.3. Metodologia in breve della ricerca

Tale risultato sarà perseguibile attraverso l'analisi di alcuni casi studio, che mettono in luce dati importanti per la comprensione e la risoluzione del problema: i caratteri distintivi del patrimonio edilizio scolastico esistente; i fattori responsabili delle sostanziali variazioni di consumo energetico e di comfort ambientale; gli strumenti e metodi per la valutazione dell'esistente.

Tutto questo senza tralasciare le esperienze progettuali più significative e innovative presenti sullo scenario nazionale e internazionale. Questa fase di analisi, svolta a partire dall'interpretazione delle fonti storiche ha consentito di determinare i valori architettonici degli edifici da rispettare e da valorizzare.

Il metodo di analisi proposto per individuare i consumi energetici delle scuole in esame richiede pochi dati di base e tutti facilmente reperibili: volumetria lorda riscaldata, superficie lorda calpestabile, superficie disperdente dell'edificio, consumi annui di combustibile e di energia elettrica degli ultimi anni. La valutazione di merito della qualità energetica della scuola in esame avviene attraverso il confronto dei consumi energetici specifici di questa, opportunamente "normalizzati", con quelli medi ottenuti da scuole simili. Da questi confronti emerge la "qualità energetica" delle scuole, e ove questa risultasse scarsa, si propongono prime misure per il contenimento energetico. Il metodo di diagnosi energetico - ambientale del sistema edilizio, permette, in un secondo tempo, di giungere alla ri-progettazione in chiave energetica dell'intero sistema o di parti di esso, con l'obiettivo primario di potenziare le propensioni all'integrazione con i principali sistemi attivi e passivi di controllo ambientale. Questa metodologia permette di esaminare il comportamento del sistema edificio-impianto nella sua complessità. La metodologia è supportata da simulazioni del comportamento energetico dell'edificio, effettuate con metodi di valutazione e programmi di calcolo, allo scopo di valutarne l'efficacia.

Questa metodologia, che finora è stata testata nel settore edilizio residenziale, consente, rielaborandola opportunamente, di creare delle linee guida per l'applicazione al settore edilizio e al terziario di base, come l'edilizia scolastica, garantendo un buon compromesso tra le prestazioni energetiche, illuminotecniche ed acustiche.

1.4. Risultati attesi

La ricerca intende individuare uno strumento utile per gli architetti ed i professionisti impegnati in questo settore, di supporto al processo progettuale ormai innovato da pratiche di integrazione delle prestazioni energetiche ed ambientali con un repertorio di azioni operative e di strategie di intervento su un più razionale uso dell'energia, indirizzate al recupero energetico e ambientale del patrimonio edilizio scolastico esistente, in funzione delle problematiche emerse durante la fase di indagine sul costruito, fornendo così un quadro complessivo dello stato dell'arte. Questo anche per fornire alla Pubblica Amministrazione una metodologia di conoscenza e di programmazione tecnico-strategica degli interventi, utili alla realizzazione di reali economie di scala, sia nella gestione delle competenze tecniche sul campo, sia nella gestione delle risorse disponibili.

PARTE SECONDA: Il sistema scolastico italiano

INDICE CAPITOLO

2.1. Evoluzione del sistema scolastico italiano	12
2.2. Il sistema scolastico italiano vigente	15
2.2.1. Organizzazione e gestione del sistema scolastico italiano	16
2.2.2. Le istituzioni scolastiche	18
2.3. Quadro normativo	24
2.4. Finanziamenti e fondi per sistema scolastico italiano	26

2.1. Evoluzione del sistema scolastico italiano

La scuola, intesa nell'accezione moderna di prima base di cultura per i bambini di ogni classe sociale, organizzata e controllata dallo Stato, ebbe le sue origini e il suo sviluppo a partire dall'Ottocento.

Dopo il 1814, con la Restaurazione, la politica scolastica in Italia subì un regresso. La Restaurazione, infatti, incrinò le basi che l'impero napoleonico aveva dato all'istruzione e il giovane istituto della scuola cominciò a vacillare. Le innovazioni avviate nei decenni precedenti, tuttavia, non furono del tutto accantonate. Dopo un primo periodo di "crollo" limitato agli anni tra il 1814 e il 1830, ci fu, infatti, un progressivo risveglio alimentato dalla generale ripresa economica di alcuni stati italiani. Ciò accadde soprattutto in Piemonte, destinato, di lì a poco, al ruolo di stato-guida nel difficile compito dell'unificazione nazionale.

I problemi dell'educazione e dell'istruzione divennero oggetto di dibattito. Dal 1839 al 1847, in varie città italiane, si tennero congressi scientifici in cui la discussione dei problemi scolastici ebbe parte preminente, e portarono alla formazione di una commissione permanente a cui fu affidato l'incarico di studiare le condizioni dell'istruzione in Italia. A tale commissione si deve la prima, accurata indagine sulle condizioni della scuola in ogni parte della penisola [1].

L'istruzione pubblica ha avuto in Italia il suo primo ordinamento organico con la Legge Casati del 1859 [2], prima quindi del raggiungimento dell'unità dello Stato italiano. Tale legge aveva come principi informatori l'obbligo scolastico e la libertà dell'insegnamento, si articolava in cinque titoli che disciplinavano l'istruzione superiore, l'istruzione secondaria classica, l'istruzione tecnica, l'istruzione elementare e normale. Le caratteristiche principali del sistema così delineato erano l'accentramento amministrativo e la netta separazione nel campo dell'istruzione secondaria tra scuole "umanistiche", caratterizzate dallo studio del latino e dall'apertura verso gli studi universitari e le scuole "utilitarie", senza latino e con sbocchi limitati alle mansioni esecutive.

L'ordinamento realizzato con tale legge fu integrato successivamente nel 1877 con l'affermazione della obbligatorietà del corso elementare inferiore sancita dalla Legge Coppino [3], che rimase però largamente inapplicata poiché incontrò enormi difficoltà per la sua attuazione, soprattutto per le "eredità di trascuratezza" che trovò nella

maggior parte delle province italiane e perché dovette adeguarsi alle particolari condizioni economico-sociali dei diversi stati unificati [4].

Nonostante ciò, queste leggi riuscirono a ridurre sensibilmente l'analfabetismo, anche se in moltissimi luoghi la scuola esisteva solo sulla carta ed era affidata alla responsabilità di amministrazioni comunali dissestate e retrograde. La percentuale degli analfabeti in Italia, cominciò, infatti, a diminuire, e dal 75% del 1861 scese al 62% del 1881, fino ad arrivare al 40% del 1911.

Le linee fondamentali dell'organizzazione scolastica furono integralmente sostituite solo nel 1923 con la riforma Gentile [5], in cui vennero istituite: la scuola materna, la scuola elementare, la scuola secondaria e l'istruzione superiore (universitaria). Si realizza con tale legge un'impostazione dualistica nel sistema scolastico italiano che ha il suo riflesso nei programmi dei singoli livelli scolastici: gli studi umanistici e filosofici, presenti nei licei, caratterizzano la cultura della classe dirigente del Paese, nelle scuole "utilitarie" invece, il lavoro manuale e pratico è la finalità prevalente dello studio.

La legge n.899/1940 [6] unificò i corsi inferiori del ginnasio, degli istituti tecnici e dell'istituto magistrale nella scuola media (triennale). Accanto ad essa, continuò a funzionare la scuola di avviamento professionale.

Con il passaggio dal regime fascista alla Repubblica, è la Costituzione del 1948 che ispira tutte le successive trasformazioni del sistema educativo. Il dettato costituzionale è stato gradualmente applicato attraverso riforme di ordinamento e programmi della scuola preprimaria, della scuola obbligatoria e post-obbligatoria.

2. Il sistema scolastico italiano

Legge Casati	1859	Gratuità e obbligatorietà della scuole pubbliche elementari del grado inferiore. La legge è estesa gradualmente alle nuove annessioni dello Stato unitario	Il tasso di analfabetismo scende dal 78% del 1861 al 74% nel 1866
Legge Coppino	1877	Obbligo scolastico fino a 9 anni di età	Nel 1881 il tasso scende al 62%
Legge Orlando	1904	Obbligo scolastico fino a 12 anni d'età	Il tasso scende al 56%
Legge Credaro	1911	La legge dà un forte impulso al processo di scolarizzazione e stabilisce il passaggio allo Stato di gran parte delle scuole elementari	Il tasso di analfabetismo scende dal 37% del 1911 al 27,3% del 1921
Riforma Gentile	1923		Il tasso di analfabetismo scende nel 1931 al 21%
Legge n. 1859	1962	La legge istituisce la scuola media unica, che diventa gratuita e obbligatoria per tutti i ragazzi dagli 11 ai 14 anni	Nel 1961 il tasso scende all'8,3%
Legge n. 9	1999	Obbligo scolastico innalzato a 15 anni	
Legge n. 53	2003	La legge istituisce il principio del diritto-dovere all'istruzione e alla formazione fino ai 18 anni d'età	Nel 2001 il tasso di analfabetismo scende dal 2,1 del 1991 all'1,2%
D. Lgs. attuativo della legge 53	2004	Avvio progressivo dell'innalzamento dell'obbligo scolastico a 18 anni	

FIG.1 - Evoluzione del sistema scolastico italiano dalla Legge Casati (1859) al D.Lgs. attuativo della legge 53/2004, e tasso di analfabetismo;

2.2. Il sistema scolastico italiano vigente

Il sistema scolastico italiano è stato caratterizzato negli ultimi anni da grandi cambiamenti e da un continuo processo di ristrutturazione, non ancora giunto a termine, che prevede diverse novità come: l'innalzamento dell'obbligo di istruzione, la riorganizzazione degli istituti tecnici e professionali, la riforma dell'esame di Stato, l'istituzione del diritto-dovere all'istruzione e alla formazione, l'introduzione di percorsi integrati tra istruzione e formazione professionale, il rafforzamento dell'autonomia delle istituzioni scolastiche nella definizione dell'offerta formativa.

Attualmente l'ordinamento scolastico in vigore in Italia è strutturato in tre cicli di istruzione:

- I. istruzione primaria, che comprende la scuola primaria, di durata quinquennale;
- II. istruzione secondaria, che comprende la scuola secondaria di primo grado (ex scuola media inferiore) di durata triennale, e la scuola secondaria di secondo grado (ex scuola media superiore) di durata quinquennale;
- III. istruzione superiore, che comprende l'Università, l'Alta Formazione Artistica, Musicale e Coreutica e la formazione professionale.

Il sistema scolastico e formativo italiano è stato complessivamente riformato con la legge n.53/2003 (Riforma Moratti) [7]. Le innovazioni previste dalla legge sono state introdotte fra il 2004 e il 2005 con l'emanazione di alcuni decreti legislativi di attuazione della riforma, e hanno riguardato in particolare il primo ciclo.

Con la legge n.133/2008, nell'ambito del piano di contenimento della spesa pubblica previsto nella legge e, successivamente con la legge n.169/2008, si concretizza una prima fase di attuazione della riforma dell'intero sistema di istruzione, nell'ottica di una migliore qualificazione dei servizi scolastici e di una piena valorizzazione professionale dei docenti, ha previsto la riorganizzazione complessiva delle scuole di ogni ordine e grado.

Per quanto attiene agli aspetti strutturali del sistema di istruzione, le riforme che hanno interessato la scuola dell'infanzia e del primo ciclo di istruzione, hanno determinato, a seguito dell'approvazione dei regolamenti di attuazione, una serie di modifiche che hanno inciso soprattutto sulla consistenza degli organici del personale e sulla formazione delle classi. Per il secondo ciclo di istruzione, si sta completando l'iter di

definizione della riforma, secondo la nuova strutturazione prevista dai regolamenti del 15 marzo 2010, che, comunque, non hanno prodotto effetti, se non limitatamente alla consistenza degli organici, nell'anno scolastico 2009/2010.

2.2.1. Organizzazione e gestione del sistema scolastico italiano

L'introduzione di alcune leggi a partire dal 1997, in particolare la legge n.59/1997 e il successivo regolamento di esecuzione [8], ha profondamente modificato la ripartizione delle competenze tra lo Stato e le Regioni, dando alle scuole un'autonomia didattica, organizzativa e di ricerca, sperimentazione e sviluppo. Inoltre è prevista l'esistenza di scuole non statali che possono essere di due tipologie: paritarie o non-paritarie (legge n.27/2006).

La responsabilità generale in ambito educativo spetta allo Stato [9], e in particolare al Ministero dell'istruzione dell'Università e della Ricerca, MIUR, che opera a livello centrale, con funzioni concernenti i criteri e i parametri per l'organizzazione della rete scolastica, le funzioni di valutazione del sistema scolastico, le funzioni relative alla determinazione e all'assegnazione delle risorse finanziarie a carico del bilancio dello Stato e all'assegnazione del personale alle istituzioni scolastiche, nonché le funzioni relative agli istituti afferenti all'AFAM [10], alle scuole e alle istituzioni culturali straniere in Italia.

A livello locale operano gli Uffici scolastici regionali cui sono delegate la programmazione dell'offerta formativa integrata tra istruzione e formazione professionale, la programmazione della rete scolastica sulla base dei piani provinciali, la determinazione del calendario scolastico, i contributi alle scuole non statali, la programmazione, la gestione e l'erogazione dei percorsi di formazione professionale attraverso strutture accreditate. Esse devono in realtà lavorare in continua collaborazione con lo stato anche attraverso la Conferenza Unificata Stato/Regioni.

Sono, infine, attribuite alle Province, in relazione all'istruzione secondaria superiore, e ai Comuni, in relazione agli altri gradi inferiori di scuola; le funzioni concernenti l'istituzione, aggregazione, fusione e soppressione di scuole, sospensioni delle lezioni in casi gravi e urgenti, costituzione, controlli e vigilanza, ivi compreso lo scioglimento, sugli organi collegiali scolastici.

Inoltre il regolamento sull'autonomia delle istituzioni scolastiche, approvato con Decreto del Presidente della Repubblica n.275/1999, ha trasferito alle scuole importanti funzioni amministrative e di gestione del servizio di istruzione, ma soprattutto ha assegnato a esse compiti di elevata responsabilità in ordine alla definizione dei curricula, all'ampliamento dell'offerta formativa, all'articolazione dei tempi e dei gruppi di alunni, pur nell'ambito di indirizzi generali validi sul piano nazionale, e alla prospettiva dell'integrazione tra i diversi sistemi (istruzione, formazione, lavoro, vita sociale).

L'amministrazione generale, per quanto riguarda il settore dell'istruzione, è organizzata principalmente su due livelli:

- I. Livello nazionale: MIUR, Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca[11];
- II. Livello regionale: Uffici Scolastici Regionali.

A livello nazionale il MIUR è organizzato in 3 Dipartimenti, i cui capi svolgono compiti di coordinamento, direzione e controllo degli uffici di livello dirigenziale generali compresi in ciascun dipartimento e sono responsabili dei risultati raggiunti in attuazione degli indirizzi del Ministro.

A livello periferico, dal 2001, a seguito della soppressione delle Sovrintendenze e dei Provveditorati agli Studi, sono stati istituiti gli Uffici Scolastici Regionali. Tali Uffici, di livello dirigenziale generale, si configurano come autonomi centri di responsabilità amministrativa ed esercitano le funzioni statali residuali, non trasferite alle Regioni e alle scuole, nonché le funzioni relative ai rapporti con le Regioni e gli enti locali, le Università e le agenzie formative.

Gli Uffici Scolastici Regionali si articolano per funzioni e sul territorio a livello provinciale in centri di erogazione di servizi amministrativi, di monitoraggio e di supporto alle scuole, denominati Uffici Scolastici Provinciali. In alcune Regioni a statuto speciale le norme relative all'organizzazione degli Uffici Scolastici Regionali sono diverse, in quanto nei loro Statuti sono previste varie forme di autonomia, che limitano la sfera di competenza dell'Amministrazione statale. L'amministrazione locale, per quanto riguarda il settore dell'istruzione, suddivisa in due livelli:

- I. Uffici Scolastici Provinciali a livello provinciale;

II. Amministrazione comunale.

L'Ufficio Scolastico Provinciale si configura come un'articolazione interna degli Uffici Scolastici Regionali, priva quindi di una propria autonomia operativa, sicché, come organo di amministrazione a livello provinciale, resta soltanto l'Assessorato alla Pubblica Istruzione della Provincia. Gli Uffici Scolastici Provinciali svolgono le funzioni relative all'assistenza, alla consulenza e al supporto, agli istituti scolastici autonomi per le procedure amministrative e amministrativo-contabili; alla gestione delle graduatorie e alla formulazione di proposte al direttore regionale ai fini dell'assegnazione delle risorse umane ai singoli istituti scolastici autonomi; al supporto e alla consulenza agli istituti scolastici per la progettazione e innovazione della offerta formativa e alla integrazione con gli altri attori locali; al supporto e allo sviluppo delle reti di scuole; al monitoraggio dell'edilizia scolastica e della sicurezza degli edifici; allo stato di integrazione degli alunni immigrati; all'utilizzo da parte delle scuole dei fondi europei; al raccordo ed interazione con le autonomie locali per la migliore realizzazione dell'integrazione scolastica dei diversamente abili, alla promozione ed incentivazione della partecipazione studentesca; al raccordo con i comuni per la verifica dell'osservanza dell'obbligo scolastico; alla cura delle relazioni con le RSU.

L'Amministrazione comunale, rappresentativa spesso di piccole comunità abitative e di limitati territori, è capillarmente diffusa e gestisce per competenza propria e per delega delle Regioni o delle Province funzioni e servizi necessari per il funzionamento delle scuole e per assicurare ai giovani residenti nel territorio la frequenza scolastica.

2.2.2. Le istituzioni scolastiche

Le istituzioni scolastiche sono le strutture amministrative e organizzative di base del sistema di istruzione dopo l'avvento dell'autonomia.

Infatti con l'introduzione dell'autonomia scolastica [12], le istituzioni funzionanti sono state ridimensionate e riaccorpate secondo parametri comuni basati sulla numerosità della popolazione scolastica. Le istituzioni scolastiche sono definite sul territorio in base a specifici piani regionali e all'organizzazione degli Enti locali e sono suscettibili a modificazioni in relazione all'andamento demografico scolastico, ma anche in relazione a processi di sviluppo economico, sociale e culturale. Le

istituzioni scolastiche sono suddivise per tipologia in: circoli didattici, istituti comprensivi, gli istituti principali di I e di II grado e gli istituti d'istruzione secondaria superiore. Tra queste, i circoli didattici, gli istituti comprensivi e gli istituti d'istruzione secondaria superiore sono entità puramente amministrative, mentre gli istituti principali di I e II grado sono anche punti di erogazione del servizio in quanto in essi viene effettivamente erogato il servizio scolastico; analogamente si considerano punti di erogazione del servizio le scuole dell'infanzia, le scuole primarie, le scuole secondarie di I grado, siano esse associate ad istituti principali di I grado che ad istituti comprensivi [13].

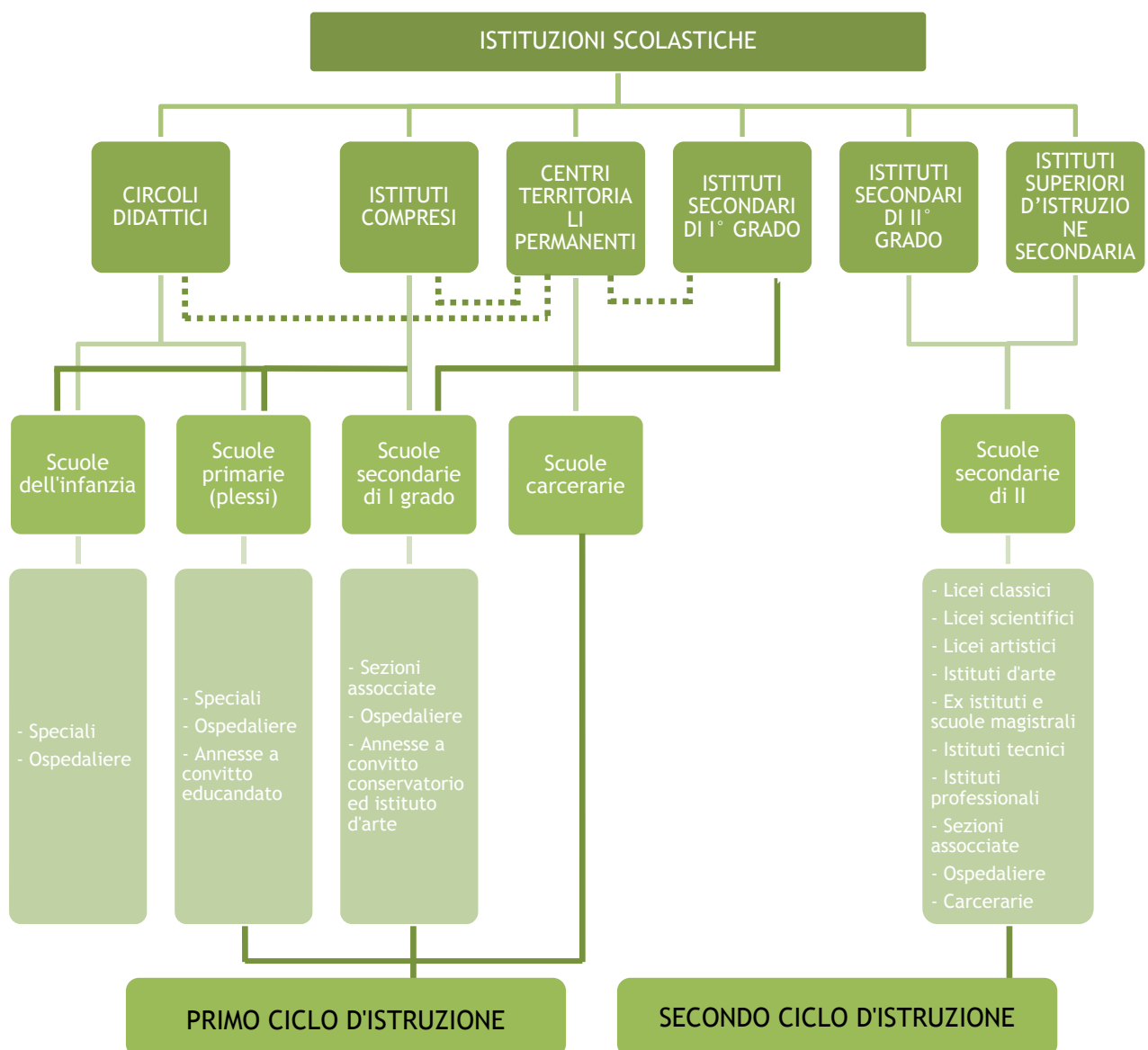


FIG.2 - Schema del sistema scolastico statale vigente nell'a.s. 2009/2010 [fonte: MIUR];

Le istituzioni scolastiche, che nel 2000 erano complessivamente 10.825, nell'a.s. 2009/2010 sono risultate 10.452, di cui il 70% nel I ciclo di istruzione e il 30% nel II ciclo di istruzione[14].

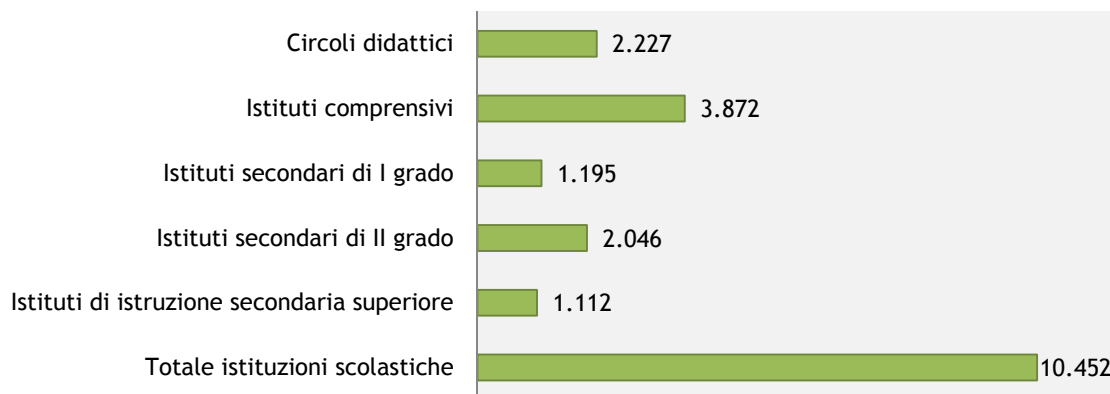


FIG. 3 - Istituzioni scolastiche nell'a.s. 2009/2010 [fonte: MIUR];

La suddivisione delle istituzioni scolastiche all'interno del territorio nazionale dimostra una maggiore presenza nelle regioni del Sud, seguito dal Nord - Ovest.

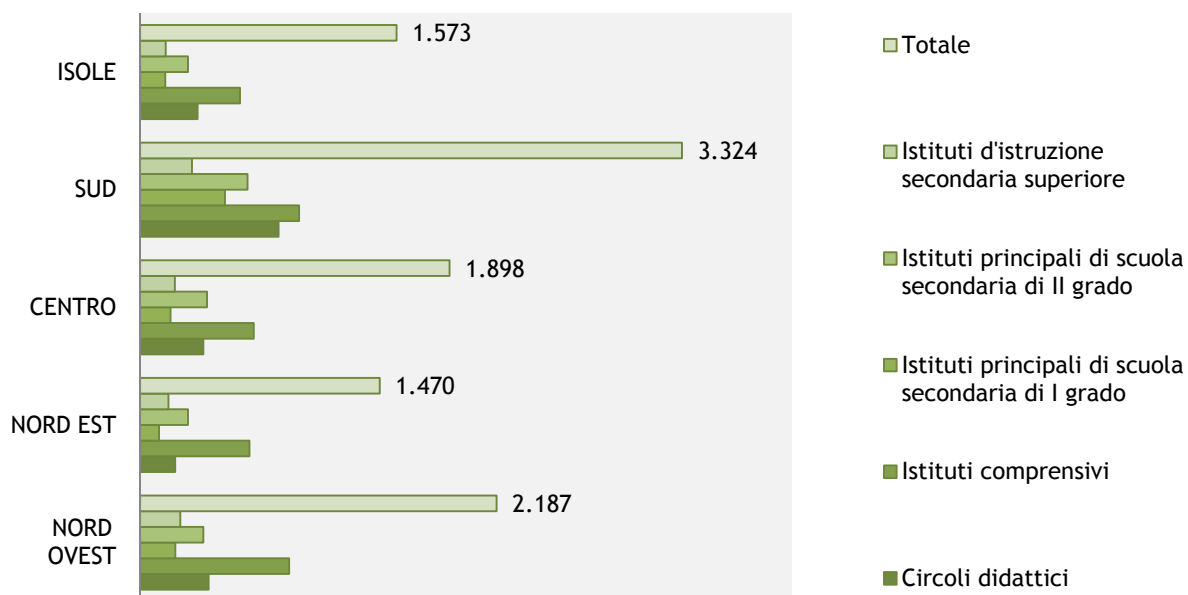


FIG.4 - Istituzioni scolastiche per area geografica nell'a.s. 2009/2010 [fonte: MIUR];

Le sedi di erogazione del servizio (plessi, scuole, istituti principali, sedi e sezioni associate), aggregate in istituzioni scolastiche[15], sono dimensionate secondo l'entità della popolazione scolastica accolta (normalmente tra i 500 e i 900 alunni). La quantità di punti di erogazione e la loro distribuzione sul territorio nazionale dipendono da diversi fattori, non correlati esclusivamente alle dinamiche e ai livelli demografici della popolazione scolastica.

Concorrono infatti alla loro costituzione anche le caratteristiche territoriali, le tipologie di insediamenti urbani e le dinamiche migratorie della popolazione, nonché gli interventi di politica scolastica dei soggetti istituzionali preposti.

L'attuale situazione dei punti di erogazione del servizio funzionanti, 41.902 unità, rileva un decremento di scuole di circa l'1,6% rispetto al 2000, con un leggero incremento delle scuole dell'infanzia ed uno più marcato degli istituti del secondo ciclo, anche per effetto dell'innalzamento dell'obbligo scolastico, mentre le scuole primarie e le scuole secondarie di primo grado hanno fatto registrare un calo costante di unità però con una inversione di tendenza nel corrente anno scolastico [16].

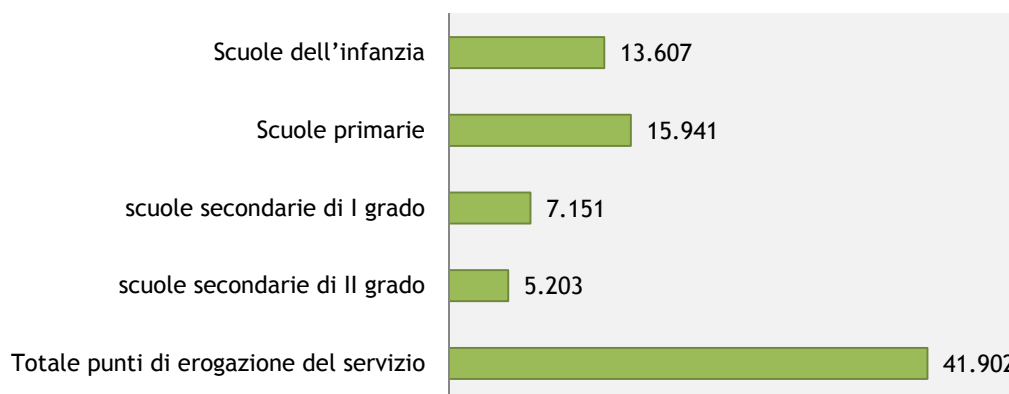


FIG.5 - Punti di erogazione del servizio nell'a.s. 2009/2010 [fonte: MIUR];

La distribuzione dei punti di erogazione del servizio sul territorio italiano dimostra una maggiore presenza nelle regioni del Sud, seguito dal Nord - Ovest.

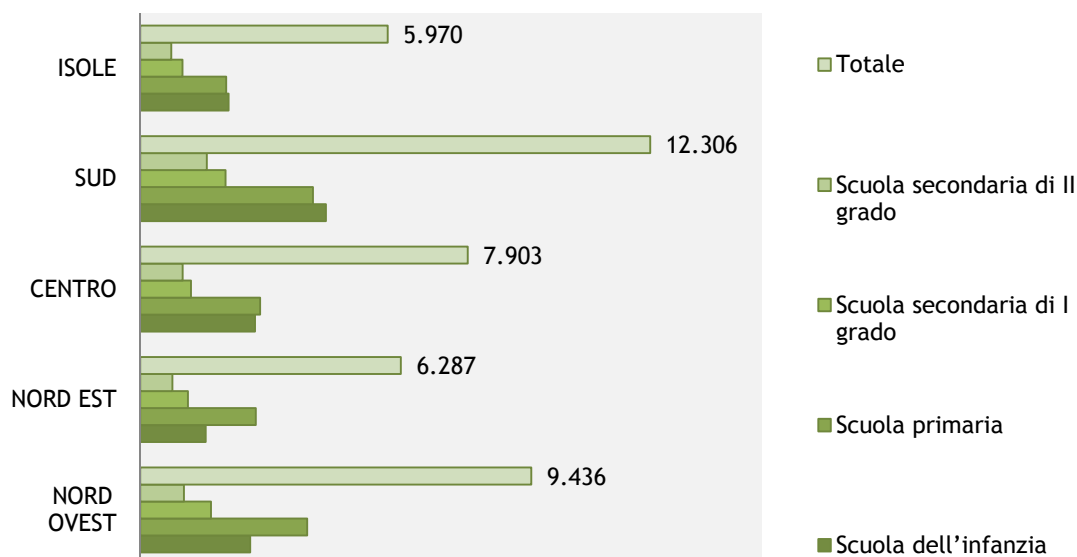


FIG.6 - Punti di erogazione del servizio per area geografica nell'a.s. 2009/2010 [fonte: MIUR];

Le scuole di qualsiasi livello sono suddivise in classi che rappresentano le unità organizzativo - amministrative di base del sistema dell'istruzione. Le classi delle scuole statali vengono costituite sulla base di limiti quantitativi fissati dalle leggi, così come il numero di alunni per classe o sezione [17].

L'azione di razionalizzazione avviata dal Ministero dell'Istruzione fin dai primi anni '90, mediante la chiusura dei piccoli plessi scolastici e il consolidamento in sedi più ampie predisposte all'occorrenza dalle Amministrazioni locali, e l'innalzamento del numero medio di alunni per classe, ha determinato una situazione di maggiore omogeneità tra le diverse scuole distribuite sul territorio e una forte riduzione del numero delle classi o sezioni funzionanti.

A livello nazionale, il numero delle classi è 370.711 classi e sono ospitate in edifici scolastici di proprietà degli enti locali territoriali (comuni e province), a cui è demandato l'onere di garantire la manutenzione ordinaria e straordinaria degli edifici al pagamento delle utenze ed altri servizi.

Gli studenti delle scuole statali sono oltre i 7,8 milioni, a cui vanno aggiunti gli alunni delle istituzioni scolastiche non statali, paritarie e non paritarie, che superano il

milione, portando il numero complessivo dei bambini e ragazzi accolti nel sistema di istruzione a circa 9 milioni.

2.3. Quadro normativo

La normativa di base, che regola attualmente il sistema educativo italiano appena illustrato, viene elencata qui di seguito:

- D.P.R. 15 marzo 2010, n.89 - Regolamento recante revisione dell'assetto ordinamentale, organizzativo e didattico dei licei a norma dell'articolo 64, comma 4, del decreto-legge 25 giugno 2008, n. 112, convertito, con modificazioni, dalla legge 6 agosto 2008, n. 133;
- D.P.R. 15 marzo 2010, n.88 - Regolamento recante norme per il riordino degli istituti tecnici a norma dell'articolo 64, comma 4, del decreto-legge 25 giugno 2008, n. 112, convertito, con modificazioni, dalla legge 6 agosto 2008, n. 133;
- D.P.R. 15 marzo 2010, n.87 - Regolamento recante norme per il riordino degli istituti professionali, a norma dell'articolo 64, comma 4, del decreto-legge 25 giugno 2008, n. 112, convertito, con modificazioni, dalla legge 6 agosto 2008, n. 133;
- D.P.R. 22 giugno 2009, n.122 - Regolamento recante coordinamento delle norme vigenti per la valutazione degli alunni e ulteriori modalità applicative in materia, ai sensi degli articoli 2 e 3 del decreto-legge 1 settembre 2008, n. 137, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 ottobre 2008, n. 169;
- D.P.R. 20 gennaio 2009, n.17 - Regolamento recante disposizioni di riorganizzazione del Ministero dell'istruzione, dell'università e della ricerca;
- Legge 30 ottobre 2008, n.169 - Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 1° settembre 2008, n. 137, recante disposizioni urgenti in materia di istruzione e università;
- Legge 6 agosto 2008, n.133 - Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 25 giugno 2008, n. 112, recante disposizioni urgenti per lo sviluppo economico, la semplificazione, la competitività, la stabilizzazione della finanza pubblica e la perequazione tributaria. Dispone a partire dall'a.s. 2009/2010 una serie di interventi tra i quali la revisione dell'assetto ordinamentale, organizzativo e didattico del sistema scolastico; e la messa a regime dei percorsi triennali di le FP per l'assolvimento dell'obbligo di istruzione;
- Legge 2 aprile 2007, n.40 - Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 31 gennaio 2007, n. 7, recante misure urgenti per la tutela dei consumatori, la promozione della concorrenza, lo sviluppo di attività economiche e la nascita di nuove imprese. Prevede il rinvio dell'applicazione della riforma del secondo ciclo di istruzione all'anno scolastico 2009/2010;
- Legge 11 gennaio 2007, n.1 - Disposizioni in materia di esami di Stato conclusivi dei corsi di studio di istruzione secondaria superiore e delega al Governo in materia di raccordo tra la scuola e le università. Introduce il nuovo esame di Stato conclusivo dei corsi di studio di istruzione secondaria superiore;

- Legge 27 dicembre 2006, n.296 - Legge finanziaria 2007. Prevede, tra le altre disposizioni, l'elevamento a dieci anni della durata dell'obbligo di istruzione a decorrere dall'anno scolastico 2007/2008, da svolgersi a scuola o nei percorsi triennali di istruzione e formazione professionali di competenza regionale, e a 16 anni dell'età per l'accesso al mondo del lavoro;
- Legge 28 marzo 2003, n.53 - Delega al Governo per la definizione delle norme generali sull'istruzione e dei livelli essenziali delle prestazioni in materia di istruzione e formazione professionale. Riforma del sistema di istruzione e formazione: ha ridefinito ed ampliato il concetto di obbligo scolastico e di obbligo formativo introducendo il diritto/dovere di istruzione e formazione per almeno 12 anni, a partire dai 6 anni di età. Il diritto/dovere si realizza all'interno del sistema di istruzione o, comunque, sino al conseguimento di una qualifica all'interno del sistema di istruzione e formazione professionale entro il 18° anno di età;
- D.P.R. 8 marzo 1999, n. 275 - Regolamento recante norme in materia di autonomia delle istituzioni scolastiche, ai sensi dell'art. 21 della legge 15 marzo 1997, n. 59;
- D.P.R. 18 giugno 1998, n.233 - Regolamento recante norme per il dimensionamento ottimale delle istituzioni scolastiche e per la determinazione degli organici funzionali dei singoli istituti, a norma dell'art. 21 Legge n. 59 del 16 luglio 1997;
- D.Lgs. 31 marzo 1998, n.112 - Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del Capo I della legge 15 marzo 1997, n.59;
- D.P.R. 2 marzo 1998, n.157 - Regolamento di attuazione dell'art. 1, comma 20, della Legge 28 dicembre 1995, n.549 concernente aggregazione di istituti scolastici di istruzione secondaria superiore;
- Legge 15 marzo 1997, n.59 - Delega al Governo per il conferimento di funzioni e compiti alle regioni ed enti locali, per la riforma della Pubblica Amministrazione e per la semplificazione amministrativa.
- D.M. 15 marzo 1997 - Criteri e parametri per la formazione delle classi;
- D.Lgs. 16 aprile 1994, n.297 - Testo Unico delle disposizioni legislative in materia di istruzione. Raggruppa tutte le principali norme di legge in materia di pubblica istruzione (ad esclusione dell'istruzione universitaria). Ne è previsto un aggiornamento per adeguare il testo alla normativa emanata negli ultimi anni;

2.4. Finanziamenti e fondi per sistema scolastico italiano

Negli ultimi anni l'economia dell'educazione ha progressivamente modificato l'approccio al problema della spesa nel settore dell'istruzione: si è passati da una considerazione di puro costo ad una visione di investimento, riconoscendo uno stretto collegamento fra la formazione e l'apparato produttivo di un paese.

Infatti, come riporta la legge n.59/1997, che attribuisce alle scuole l'autonomia didattica, organizzativa, di ricerca, sperimentazione e sviluppo, non concede però l'autonomia finanziaria.

Le risorse pubbliche di cui dispone il sistema di istruzione provengono da diversi soggetti pubblici che intervengono in misura differenziata sulla base delle proprie competenze specifiche. I soggetti pubblici che intervengono finanziariamente a sostegno del sistema di istruzione e cultura sono distinti tra amministrazione centrali e periferiche.

La dotazione finanziaria essenziale è costituita dall'assegnazione da parte dello Stato di fondi per il funzionamento amministrativo e didattico, che si suddivide in assegnazione ordinaria e assegnazione perequativa.

Tale dotazione è attribuita senza altro vincolo di destinazione che quello dell'utilizzazione prioritaria per lo svolgimento dell'attività di istruzione, di formazione e di orientamento proprie di ciascuna tipologia e indirizzo di scuola.

Quindi lo Stato provvede direttamente al finanziamento amministrativo e didattico della scuola, mentre le Regioni provvedono alla fornitura di servizi e assistenza in favore degli alunni (mense, trasporti, libri di testo nella scuola primaria, sussidi ai meno abbienti, assistenza sociosanitaria), con il caso particolare delle Regioni Autonome che si fanno maggiormente carico delle scuole del loro territorio.

Gli Enti locali, come Province e Comuni che possono fornire assistenza e servizi su delega delle Regioni e per competenza propria, erogano alle scuole servizi, come il riscaldamento, l'illuminazione e il telefono, e si occupano di edilizia scolastica, ovvero la costruzione e la manutenzione degli edifici scolastici.

Inoltre i fondi possono essere forniti da altri enti pubblici (altri ministeri) e privati per l'attuazione di progetti promossi e finanziati con risorse a destinazione specifica.



FIG.7 - Elenco dei soggetti pubblici che intervengono finanziariamente a sostegno del sistema di istruzione e cultura, distinti tra amministrazione centrali e periferiche;

Nel complesso al funzionamento del sistema istruzione concorre lo Stato per il circa i tre quarti delle spese effettive e Regioni ed Enti Locali per il restante quarto. Va anche ricordato l'intervento dell'Unione Europea, che contribuisce ai bilanci delle scuole italiane secondo due modalità.

In primo luogo, le scuole di ogni ordine e grado su tutto il territorio nazionale possono prendere parte ai programmi europei (Comenius, Grundtvig, ecc) gestiti dall'agenzie LLP e ANSAS [18].

Il finanziamento è generalmente costituito da una somma forfettaria volta a coprire sia le spese per la realizzazione del progetto (es. acquisto software, formazione linguistica, entrate a musei, traduzioni, ecc.), sia le spese di mobilità all'estero.

Solamente le scuole situate nelle aree obiettivo Convergenza [19], coincidenti con le regioni del mezzogiorno, possono prendere parte anche ai PON [20]. I finanziamenti che riguardano il PON sono costituiti da fondi strutturali, FSE (Fondo Sociale Europeo) e il FESR (Fondo Europeo di Sviluppo Regionale), i quali mirano alla coesione economica e

sociale di tutte le regioni dell'Unione e alla riduzione dei divari tra quelle più avanzate e quelle in ritardo di sviluppo.

Secondo gli ultimi dati diffusi da Istat e Eurostat, riferiti all'anno 2009, la spesa pubblica dell'Italia per l'istruzione è pari al 5,2% del Pil [21]. I dati rilevati ai costi per l'istruzione considerano tutti i livelli di spesa pubblica, locali, regionali e nazionali, e comprende non soltanto le istituzioni scolastiche e universitarie ma anche le altre istituzioni che garantiscono il funzionamento del sistema educativo nazionale: ministeri e dipartimenti della pubblica istruzione, servizi, ricerca.

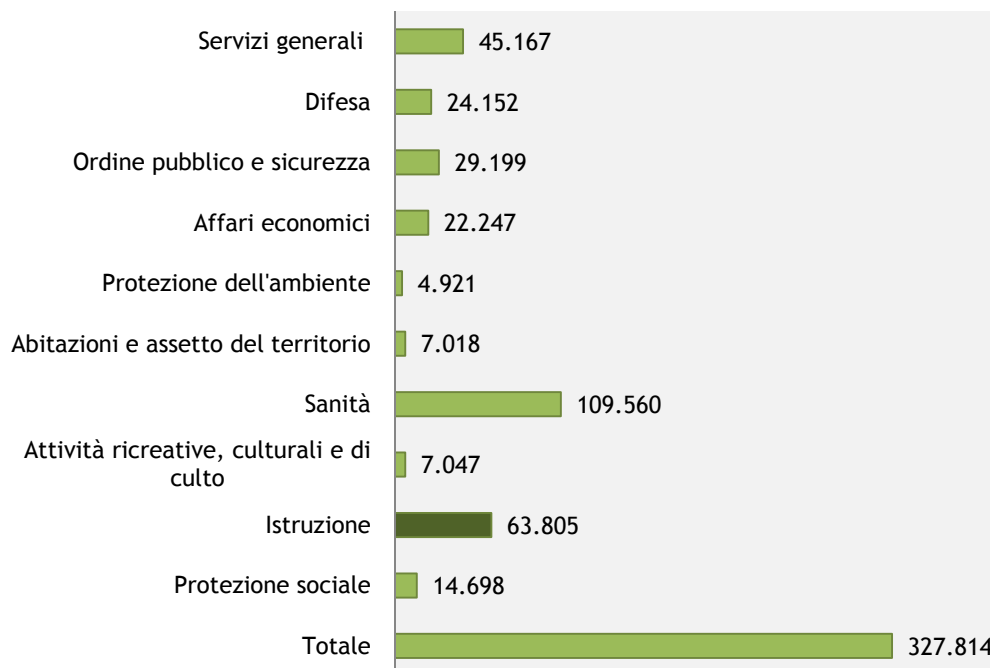


FIG.8 - Spesa complessiva delle Amministrazioni Pubbliche per funzione in milioni di euro, anno 2009 [fonte: ISTAT];

La recente pubblicazione della pubblicazione intitolata "Education at a Glance 2010: OECD Indicators" realizzata dall' OCSE [22] offre ai vari Paesi l'occasione di riflettere sulla loro performance in un'ottica comparativa sull'attuale realtà del panorama dell'istruzione su scala internazionale.

La spesa delle istituzioni educative per studente tra il 1995 e il 2007 è aumentata in tutti i paesi, in media, del 43%, nonostante il numero degli studenti sia rimasto relativamente stabile. I livelli di spesa variano considerevolmente da paese a paese.

In media, i 27 paesi dell'Ue spendono il 5,2% del loro PIL complessivo per le istituzioni educative. La spesa più alta è in Danimarca (7,1%), Svezia (6,2%) e Belgio (6,1%).

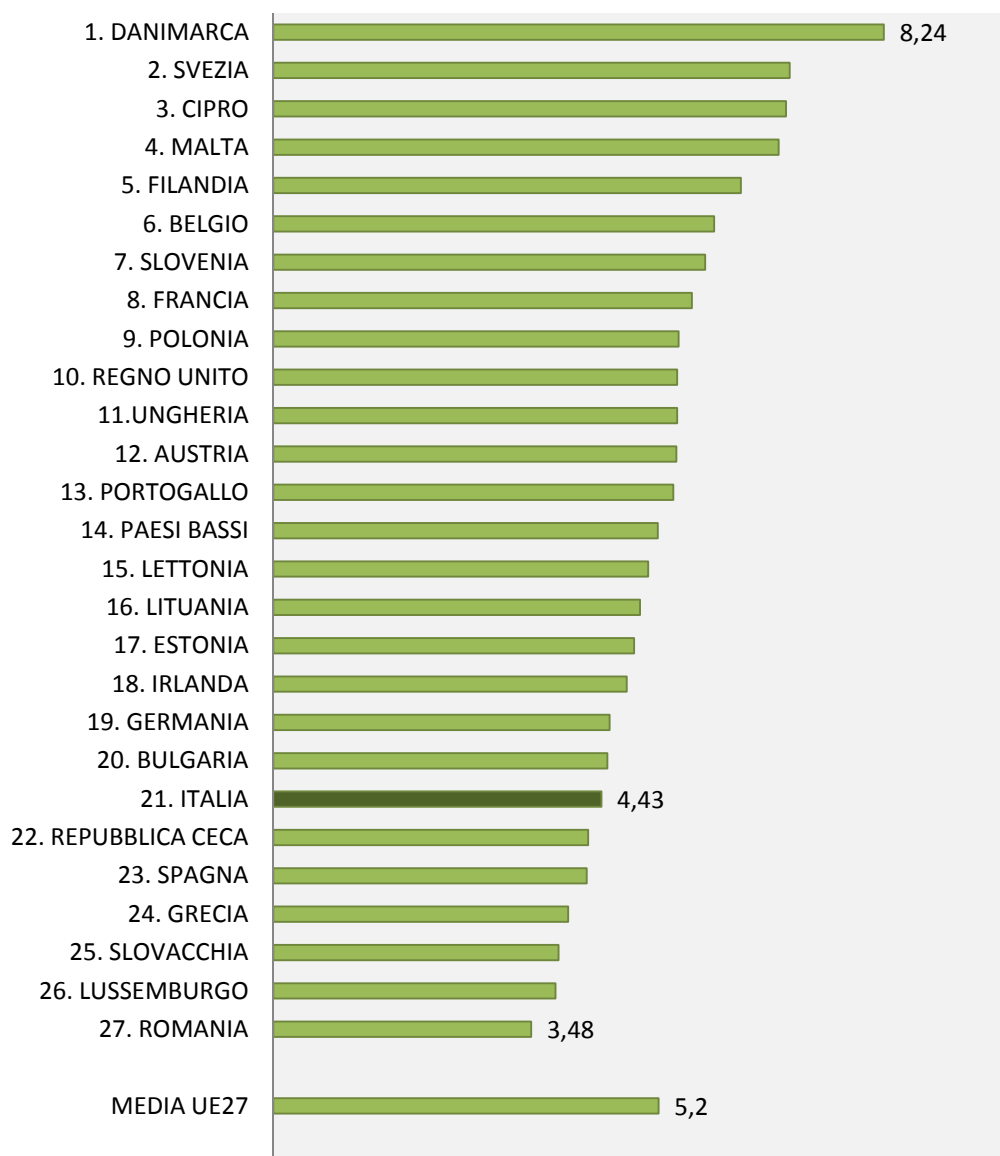


FIG.9 - Spesa dei paesi UE per l'istruzione in % rispetto al PIL, anno 2007 [fonte: EUROSTAT];

L'Italia (4,4%) è al 21° posto, era al 18° un anno fa. Scarsi anche i fondi privati a disposizione della scuola italiana. Nella media dei 27 paesi Ue i finanziamenti privati agli istituti di istruzione rappresentano il 13,5% della spesa totale, ossia 0,7% del Pil. In Italia i privati concorrono soltanto per il 9% della spesa totale (0,4% del Pil).

Le spese per il personale rappresentano in tutta l'Ue il 77% del totale (Italia 78,6%). Le spese correnti il 91% (Italia 94%), le spese in conto capitale 8,5% (Italia 5,7%).

In media, il 6% della spesa totale finisce direttamente nelle tasche degli studenti e delle famiglie sotto forma di aiuti (borse di studio, buoni libro ecc.). In Danimarca gli aiuti coprono oltre il 16% della spesa pubblica totale, in Italia il 5%.

Note

- [1] F.DE VIVO, Linee di storia della scuola italiana, La Scuola, Brescia, 1983;
- [2] D.L. n. 3725 del 13 novembre 1859;
- [3] Legge del 15 luglio 1877;
- [4] D.BERTONI-GIOVINE, Storia della didattica, Editori Riuniti, Roma, 1976;
- [5] Serie di atti normativi: regi decreti legislativi 31 dicembre 1922, n.1679, 16 luglio 1923, n.1753, 6 maggio 1923, n.1054, 30 settembre 1923, n.2102 e 1 ottobre 1923, n.2185;
- [6] Legge Bottai;
- [7] Legge n.53 del 28 marzo 2003;
- [8] D.P.R. n.275 del 8 marzo 1999;
- [9] Ai sensi del Decreto Legislativo n.112del 31 marzo 1998;
- [10] AFAM è l'acronimo di Alta Formazione Artistica e Musicale, è il sistema che ricomprende le istituzioni artistiche e musicali riconosciute dal Ministero dell'Università e della Ricerca ai sensi della legge 21 dicembre 1999, n. 508. La normativa prevede l'equipollenza dei diplomi ordinari o dei diplomi sperimentali di I livello rilasciati dalle istituzioni di Alta Formazione Artistica, Musicale e Coreutica alle lauree della classe delle lauree in Scienze e tecnologie delle arti figurative, della musica, dello spettacolo e della moda (all. 23 decreto MURST 04/08/2000). Nell'articolo 33 della Costituzione viene altresì riconosciuto a tutti il diritto di darsi ordinamenti autonomi nell'ambito delle istituzioni di alta cultura. Fa parte del sistema italiano di istruzione superiore (Università).
- [11] In particolare il MIUR si avvale del supporto, a livello territoriale, dagli Uffici Scolastici Regionali (USR); questi ultimi hanno il compito di vigilare sull'attuazione degli ordinamenti scolastici, sui livelli di efficacia dell'attività formativa, sull'osservanza degli standard programmati e sul reclutamento e la mobilità del personale scolastico. A livello provinciale, inoltre, sono attivi i centri di supporto amministrativo alle scuole, denominati Centri Servizi Amministrativi (CSA);
- [12] Quando si parla di autonomia delle istituzioni scolastiche si fa riferimento alla possibilità per gli Istituti, nel rispetto degli obiettivi generali ed educativi stabiliti a livello nazionale, di modificare la programmazione dell'offerta formativa a partire dal contesto culturale, sociale ed economico della realtà locale. Il D.P.R n.275/1999 attribuisce agli istituti scolastici autonomia didattica e organizzativa. L'autonomia didattica viene realizzata attraverso la predisposizione del P.O.F. (Piano dell'Offerta Formativa) che permette di modificare la programmazione formativa adeguandola al contesto territoriale, alla domanda delle famiglie e alle caratteristiche specifiche degli studenti così da garantirne il successo formativo. L'autonomia organizzativa prevede che i singoli istituti possano adottare modalità organizzative nuove, come ad esempio introdurre modifiche al calendario scolastico e rendere flessibile l'orario delle singole discipline e delle attività;

- [13] MIUR, La scuola statale: sintesi dei dati - a.s. 2009/2010;
- [14] dati MIUR, a.s. 2009/2010;
- [15] Dal 1 settembre 2000 per effetto del D.P.R. n.233 DEL 18 giugno 1998;
- [16] MIUR, La scuola statale: sintesi dei dati - a.s. 2009/2010;
- [17] D.P.R. n.81 del 20 marzo 2009;
- [18] L'Agencia LLP (Lifelong Learning Programme) e ANSAS (Agenzia Nazionale per lo Sviluppo dell'Autonomia Scolastica);
- [19] Le aree o regioni dell' Obiettivo Convergenza in Italia sono la Campania, la Calabria, la Sicilia e la Puglia. Tali regioni rientrano nell'Obiettivo Convergenza dell'Unione Europea perché hanno un PIL pro capite inferiore al 75% della media comunitaria. L'obiettivo Convergenza è finalizzato ad accelerare lo sviluppo socio economico delle Regioni interessate, migliorando le condizioni per la crescita e l'occupazione attraverso l'aumento e il miglioramento della qualità degli investimenti in capitale fisico e umano, lo sviluppo dell'innovazione e della società della conoscenza, dell'adattabilità ai cambiamenti economici e sociali, la tutela e il miglioramento della qualità dell'ambiente e l'efficienza amministrativa;
- [20] Un Programma Operativo è un documento proposto dallo Stato nazionale o da una sua regione e approvato dalla Commissione Europea al fine della attuazione in quel Paese ed di conseguenza in quella Regione della programmazione comunitaria. I Programmi Operativi (PO), la cui articolazione territoriale tiene conto del principio di sussidiarietà, si differenziano a seconda del periodo di programmazione come di seguito indicato. Un programma operativo PO per l'attuazione di un QSN Quadro strategico nazionale, si divide in Programmi Operativi Nazionali (PON) e Programmi Operativi Regionali (POR) e in Programmi Operativi Interregionali (POIN) delineanti gli obiettivi specifici all'interno di assi prioritari. Si compone da un insieme coerente di assi prioritari su base pluriennale, per realizzare i quali è consentito far ricorso ad uno o più fondi strutturali come ad altri strumenti finanziari. I Programmi Operativi Regionali sono monofondo e riguardano uno il FESR (fondo europeo sviluppo regionale) e uno il FES (fondo europeo sviluppo sociale).
- [21] EURYDICE, Strutture dei sistemi di istruzione e formazione in Europa: Italia, Edizione 2009/10;
- [22] OCSE è un grande centro di studi e ricerche per la politica economica condiviso da 30 paesi industrializzati, con l'obiettivo di promuovere lo sviluppo economico e la miglior qualità della vita nei paesi membri e nel resto del mondo, mantenendo stabilità finanziaria e favorendo il libero commercio internazionale in un quadro di regole condivise;

PARTE TERZA: Il panorama nazionale dell'edilizia scolastica

INDICE CAPITOLO

3.1. Evoluzione dell'edilizia scolastica italiana tra il XIX e XX secolo	34
3.2. Quadro legislativo e recenti indirizzi normativi per l'edilizia scolastica	53
3.3. Risorse e finanziamenti per il sistema edilizio scolastico italiano	58
3.4. Stato e consistenza dell'edilizia scolastica in Italia	62
3.4.1. Caratteristiche degli edifici scolastici: tipologie e modelli distributivi	63
3.4.2. Condizione strutturale e di sicurezza degli edifici scolastici	67
3.4.3. Condizione energetica degli edifici scolastici e relativi consumi	70
3.4.4. Gestione da parte degli Enti preposti	72
3.5. Conclusioni	74

3.1. Evoluzione dell'edilizia scolastica italiana tra il XIX e XX secolo

La scuola, intesa nell'accezione moderna come prima base di cultura per i bambini di ogni classe sociale, organizzata e controllata dallo Stato, ebbe le sue origini e il suo sviluppo a partire dall'Ottocento.

Il tema dell'architettura scolastica nello scenario culturale italiano ha rivestito un ruolo molto importante, soprattutto il suo approccio formale alla progettazione architettonica, esemplificativo di come la scuola stessa è stata da sempre testimone del mutamento delle condizioni sociali e dell'evoluzione dei principi educativi. Infatti queste strutture edilizie non rispondono esclusivamente a requisiti tecnico-funzionali ma assumono anche un "ruolo" etico e sociale in quanto intervengono sulla crescita dei futuri cittadini.

Inoltre bisogna ricordare che l'Italia è un Paese a scolarizzazione recente: solo alla fine dell'Ottocento e nei primi anni del Novecento, l'istruzione pubblica assume un ruolo nuovo e importante nel quadro dello sviluppo delle città.

Già intorno al 1875 si era diffuso in Italia il dibattito sui temi della scuola, e agli inizi del Novecento, contemporaneamente alla conversione di edifici dismessi, quali caserme ed ospedali, a nuove funzioni come quella scolastica, vengono inaugurate le prime grandi costruzioni destinati a ospitare unicamente le scuole.

Cominciò a delinearsi, a poco a poco, una tipologia architettonica specifica e indipendente. Questi primi edifici scolastici servirono da modello sia dal punto di vista architettonico che da quello della concezione degli spazi interni: aule ampie e luminose, aule speciali per il disegno, laboratori di fisica e chimica, ampie terrazze, docce e bagni all'avanguardia, palestre e sale per la musica.



FIG.1 - Scuola elementare alla fine degli anni '20;

L'architettura mostra un gusto eclettico che unisce dettagli neoliberty a nuove tecniche costruttive, in un insieme in cui l'attenzione funzionale si coniuga a un'estetica volta a sottolineare l'importanza civile dell'istituzione scolastica.



FIG.2 - Scuola elementare degli anni '30;

Tale sviluppo tipologico subì un arresto con l'avvento della guerre mondiali. Nonostante questo, la ricerca architettonica per gli edifici scolastici degli anni venti apporta nuovi approcci e soluzioni. In concomitanza con l'affermarsi del fascismo, in Italia si diffondono nuovi ideali: l'ubbidienza e la devozione allo Stato che influenza i caratteri culturali, l'allenamento ginnico e nuovi ideali educativi. Questi imprimono un segno forte sia dal punto di vista sociale che simbolico al sistema culturale.



FIG.3 - G.Brunetta, Nuova scuola elementare a Roma, 1929;

Le architetture sono caratterizzate e stilisticamente definite; in particolare negli edifici urbani hanno una forte identità formale e monumentale che non si discosta però dalle forme rigorose e dalle distribuzioni interne degli edifici scolastici ottocenteschi e neoclassici.



FIG.4 - G.Brunetta, Nuova scuola elementare a Roma, 1929;

Parallelamente al fascismo si sviluppa il Razionalismo, che finisce per identificarsi totalmente nel regime, diventandone così la diretta espressione artistica. Il Razionalismo è inizialmente comparabile, anche ideologicamente, al fascismo in quanto propone un distacco netto dal passato, recuperandone solo alcuni elementi classici, che vengono resi in chiave nazionalistica. Inoltre il Razionalismo è identificabile anche con la volontà di emancipare l'Italia in senso moderno, rendendola così in linea con gli altri paesi europei, maggiormente sviluppate dal punto di vista economico: non bisogna dimenticare che l'architettura fascista ha uno scopo propagandistico.

Vengono promosse numerose iniziative architettoniche e urbanistiche, come il ridisegno di intere aree urbane, la costruzione di edifici pubblici, tra cui le scuole, coerenti con la riforma scolastica del filosofo Giovanni Gentile [1].

Si chiudono così le scuole della prima riforma, mentre sorgono nuove scuole con rigorosi corpi di fabbrica ricche di forme classiche, interpretate in chiave ideologica nazionalistica, e monumentali, testimonianza dell'idea di grandezza che il regime aveva di sé: volumi geometrici elementari, coperture piane, elementi cilindrici e aperture di

luce circolare generano architetture e metafisiche. Lo sforzo del regime di lasciare impronte tangibili e celebrative si estende da nord e sud. Cosa che si traduce in una realizzazione capillare di edifici scolastici rurali. Lo stile architettonico, semplice e privo di decorazioni, si ripete sul territorio nazionale con poche varianti estetiche e distribuite.

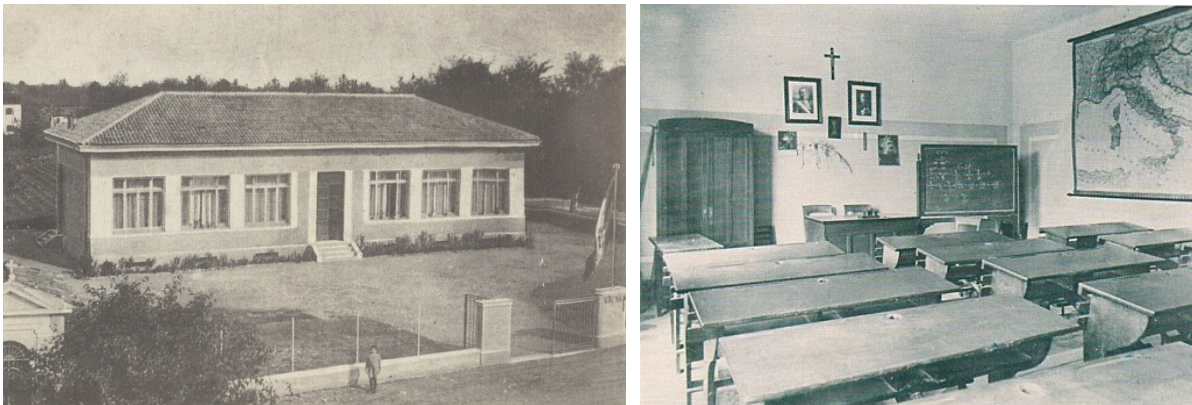


FIG.6 - Scuola elementare rurale tipica degli anni '30;

Esperienze significative e fuori dal coro sono comunque numerose. Uno dei principale interpreti del razionalismo italiano è Giuseppe Terragni (1904-1943), che con la realizzazione dell'asilo Sant'Elia a Como fornisce un notevole esempio di edilizia scolastica, tanto che come sottolineato in uno articolo comparso sulla rivista Costruzioni-Casabella, l'asilo comasco doveva essere l'esempio per tutti gli edifici scolastici fascisti [2].

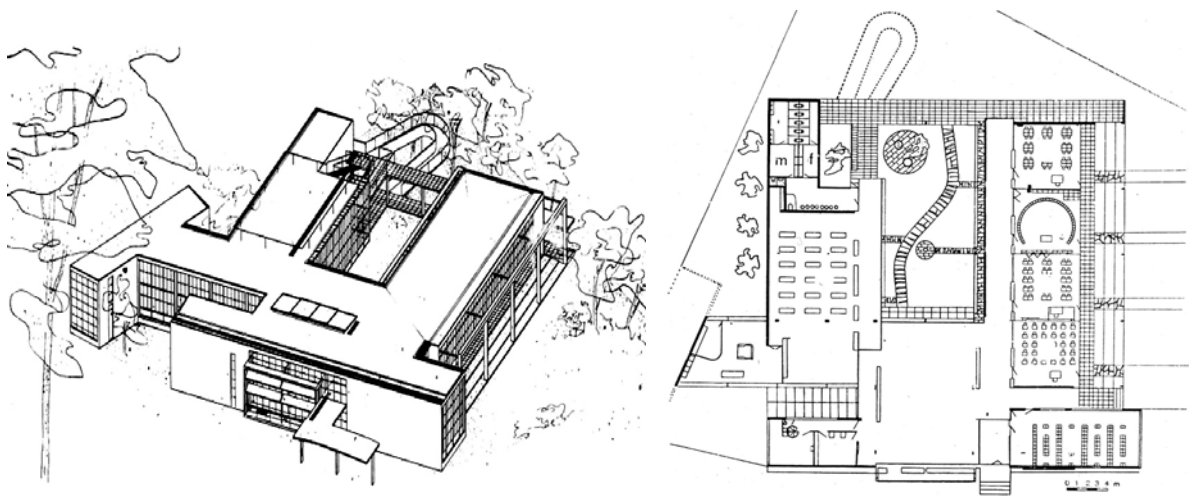


FIG.7 - Giuseppe Terragni , Asilo infantile Sant'Elia a Como, 1934-1936;



FIG.8 - Giuseppe Terragni, Asilo infantile Sant'Elia a Como, 1934-1936;

Durante il secondo conflitto mondiale gli effetti della guerra non tardano a farsi sentire anche nell'edilizia scolastica: gli edifici scolastici diventano i contenitori privilegiati dove svolgere e far affluire uomini, mezzi e attrezzature di carattere bellico e militare. Ma fu dopo l'8 settembre 1943 che le conseguenze della guerra investe pienamente la scuola: il conflitto, fino allora combattuto fuori dei confini italiani, entra nel perimetro nazionale. La frequenza cala e alcune scuole vengono requisite; oltre a moltiplicarsi le requisizioni di carattere militare, gli edifici scolastici cominciano anche a registrare la sempre più massiccia presenza di coloro che hanno subito la furia distruttiva della guerra: profughi, sinistrati e sfollati.

Nell'immediato dopoguerra, le città italiane sono caratterizzate dalla necessità di fare i conti con i danni subiti dagli edifici scolastici a causa dei bombardamenti e quindi lo sforzo è tutti teso alla ricostruzione e al risanamento.

Durante questo periodo numerosi sono gli studi condotti in ambito legislativo e architettonico - compositivo, con l'obiettivo di ridisegnare i caratteri della architettura scolastica, influenzata fino ad allora dagli ideali del razionalismo e del governo fascista. Infatti nei progetti degli edifici per l'infanzia e per la scuola dell'obbligo entrano in gioco parte questioni nevralgiche legate all'architettura civile moderna: il rapporto con il luogo, i caratteri distributivi, l'indagine tipologica, le relazioni fra spazi collettivi e unità minime di associazione, le modalità di aggregazione fra le parti, la questione della flessibilità, dell'ergonomia, la definizione di un sistema costruttivo, il controllo bioclimatico, la ricerca iconografica, il conseguimento di un'economia finale.

La prima fase si estende dal secondo dopoguerra fino agli anni Sessanta ed ha come obiettivo la definizione di nuovi caratteri dell'edificio scolastico nell'Italia Repubblicana e antifascista riconfigurandone nuove scelte progettuali, con un'attenzione particolare all'intenso dibattito pedagogico di quegli anni [3].

Al centro del dibattito ci sono da una parte la visione dello spazio scolastico come luogo privilegiato della vita sociale e centro del quartiere, dall'altra il passaggio dal funzionalismo fisico al quello psicologico. Tutti questi punti del dibattito si traducono in uno spazio non più autoritario, come nella tipologia corrente della "scuola caserma", organizzata secondo lo schema convenzionale "a corridoio", ma in una nuova immagine rappresentata dall'"unità funzionale" [4].

Alimentato dall'entusiasmo per la ricostruzione e da un clima permeato di idealismo, tale fermento è testimoniato da numerosi congressi inerenti l'edilizia scolastica in tutta Europa: torna l'idea dell'aula all'aperto, metafora della liberazione dalle regole autoritarie. Si costruiscono ampie tipologie a padiglione con aule caratterizzate da illuminazione bilaterale e flessibilità nella disposizione degli arredi come si nota nei risultati del "Concorso per scuole all'aperto" promosso dal Ministero della Pubblica Istruzione nel 1949 e dalla esposizione "La casa e la scuola" nella XII Triennale di Milano nel 1960.

Tra le varie iniziative esposte, durante quest'ultima, è stato presentato un prototipo di scuola inglese elementare, ben accolto in quanto rappresentava un modello innovativo, sia sotto il profilo pedagogico che per le soluzioni costruttive-tecniche adottate. In sintesi, gli aspetti innovativi di questa nuova direzione per la progettazione di spazi educativi.

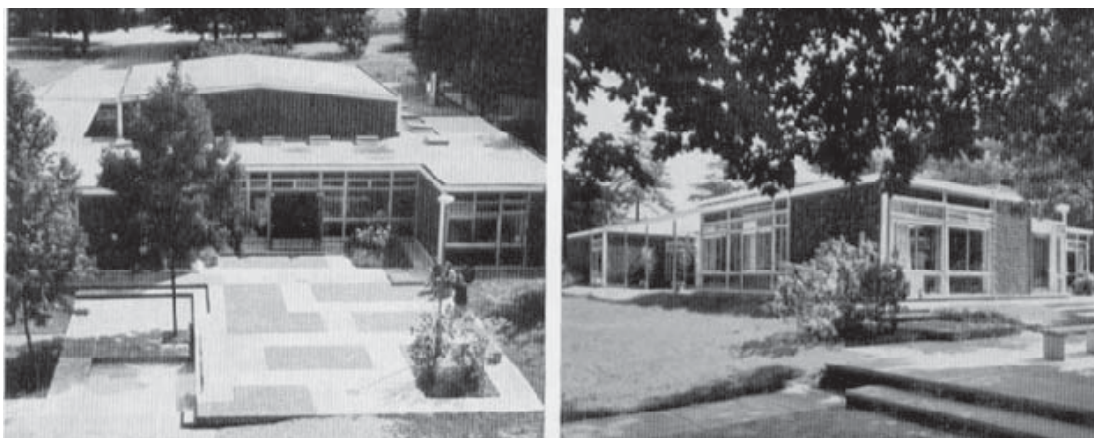


FIG.9 - The C.L.A.S.P: prototipo esposto durante la 12° Triennale di Milano, 1960;

Da queste circostanze si manifesta una particolare attenzione agli esempi di eccellenza internazionali e nazionali, presi a modello per le rielaborazioni e come punti di riferimento per una nuova edilizia scolastica: sono le prime occasione importanti in cui i principi e metodi per la costruzione dell'edificio scolastico sono state affrontate in modo critico.

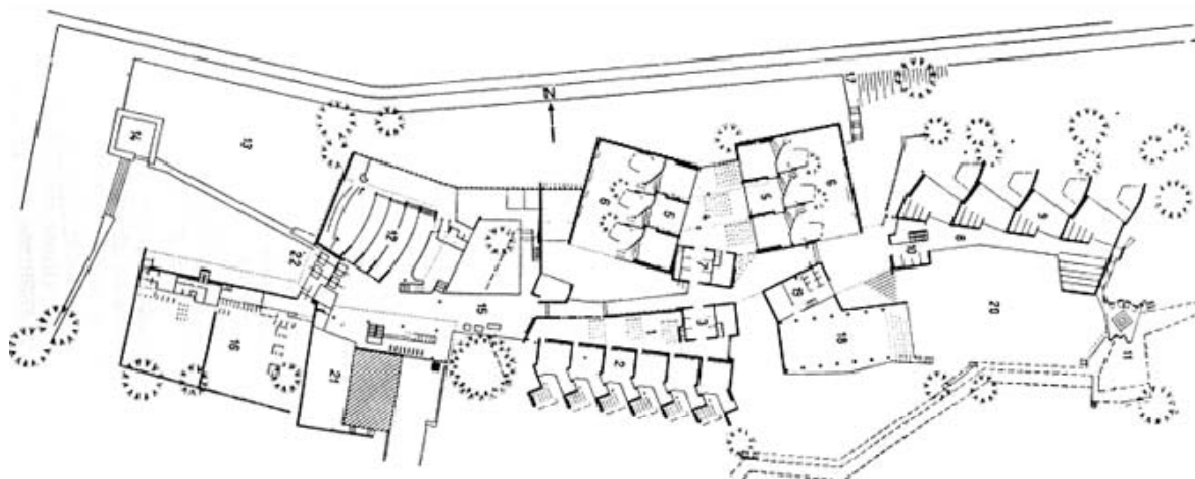


FIG.10 - Hans Scharoun, Scuola di Darmstadt ,1951;

Negli anni Cinquanta, nell'Italia Repubblicana e antifascista, l'attività legislativa e politiche di riforma, si pone l'obiettivo di definire nuovi caratteri dello spazio scolastico, riconfigurandone lo statuto progettuale. Particolare attenzione viene posta sulla questione della forma: la tipologia a padiglione è meglio di quella a corridoio, ovvero il tipo lineiforme rappresenta una sequenza di gerarchie che nelle nuove scuole deve essere evitata. Oltre agli aspetti puramente metrici ed igienici si aggiungono quelli spaziali, della luce e del colore; la nuova scuola così si arricchisce di ambienti di vita collettiva e si apre verso la comunità e la città.

Tra le esperienze italiane bisogna ricordare il notevole contributo delle opere di Ciro Cicconcelli, Mario Ridolfi e Ludovico Quaroni.

Ciro Cicconcelli, vincitore del concorso del 1949 e direttore del Centro Studi per l'Edilizia Scolastica (1952), si impegna nei molteplici aspetti dell'edilizia scolastica: l'individuazione del tipo edilizio più pertinente allo svolgimento delle attività didattiche, la redazione delle Norme Tecniche e la sperimentazione di nuove proposte per la realizzazione di strutture scolastiche basate sui criteri di prefabbricazione e industrializzazione.

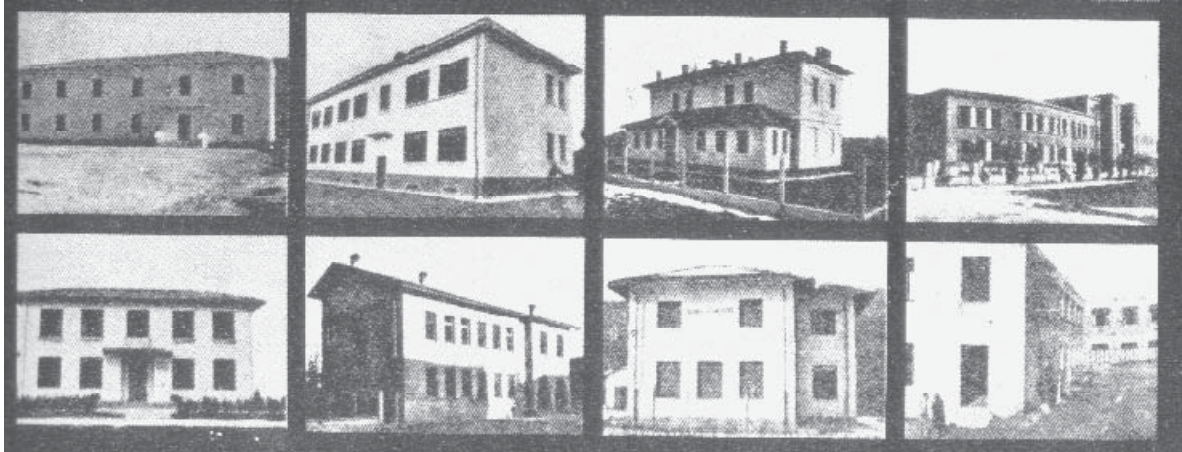


FIG.11 - Immagine estratta dal l'articolo di Ciro Cicconcelli su Casabella n. 245, 1960;

Mario Ridolfi (1904-1984) insieme a Wolfgang Frankl, applicano con eccellenti risultati i principi elaborati dai progetti internazionali: gli asili del quartiere di Canton Vesco a Ivrea e di Poggibonsi tra il 1955 e il 1963. Tali realizzazioni, che riassumono la ricerca architettonica ridolfiana, come il recupero della tradizione artigiana e l'esaltazione dell'architettura povera, si coniugano con i temi al centro del dibattito: l'utilizzo del padiglione a pianta quadrata, la dimensione domestica e il concetto di "scuola all'aperto".



FIG.12 - Mario Ridolfi e Wolfgang Frankl, Asilo Olivetti a Canton Vesco (Ivrea), 1960;

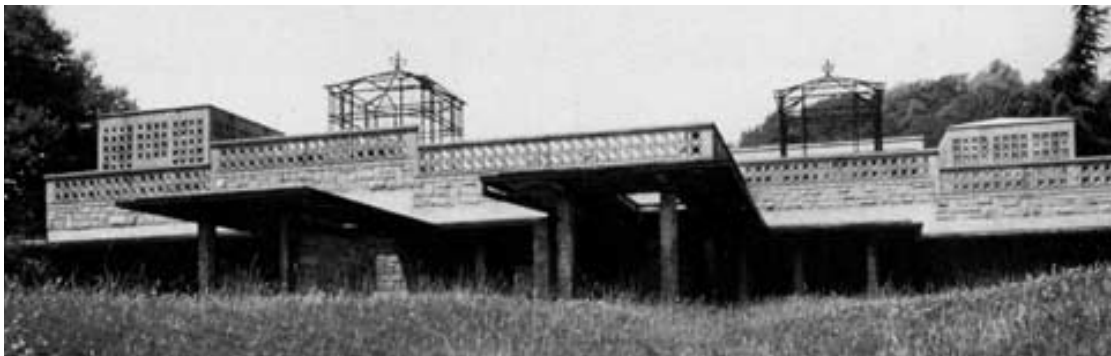


FIG.13 - Mario Ridolfi e Wolfgang Frankl, Asilo Olivetti a Canton Vesco (Ivrea), 1960;

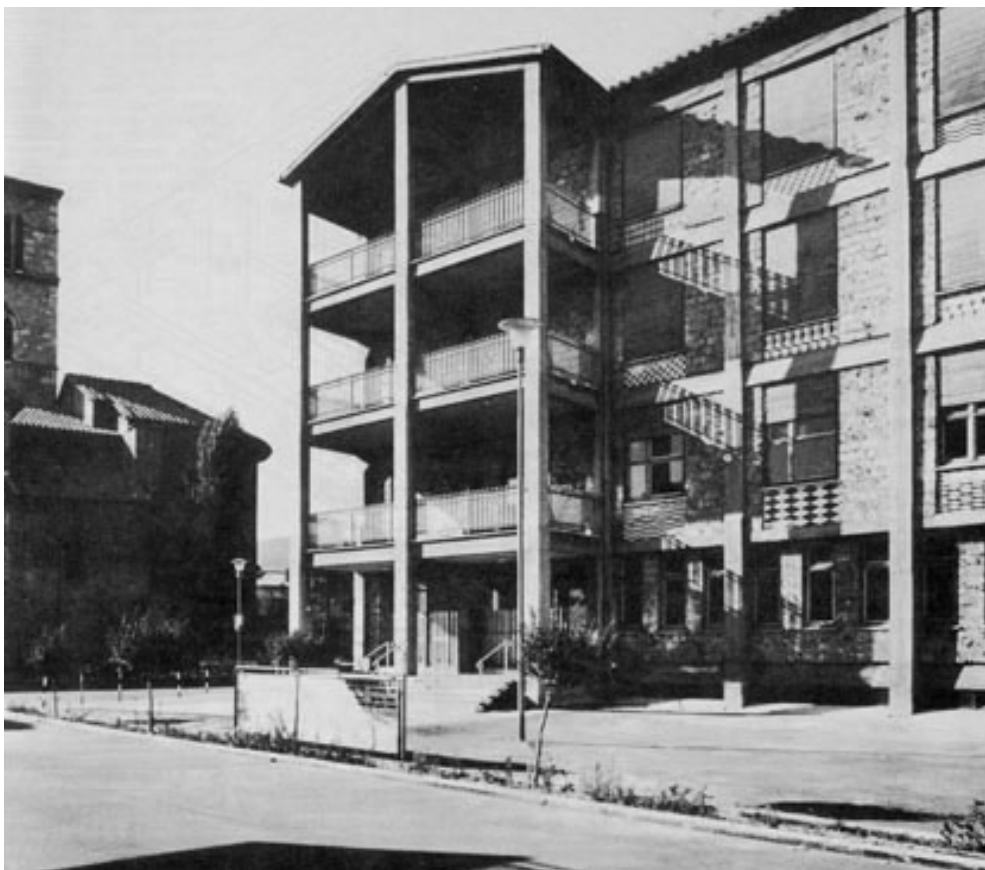


FIG.14 - Mario Ridolfi e Wolfgang Frankl, Scuola Media Leonardo Da Vinci a Terni, 1952-1961;

Ma è con l'opera realizzata sempre ad Ivrea da Ludovico Quaroni (1911-1987), che troviamo esemplificati tutti caratteri della ricerca teorica sull'edilizia scolastica: l'integrazione socio-funzionale (nel complesso scolastico era prevista anche una parte a

negozi) e l'equilibrio fra gli elementi e la chiarezza figurativa, che chiudono questa prima fase di rinnovamento.

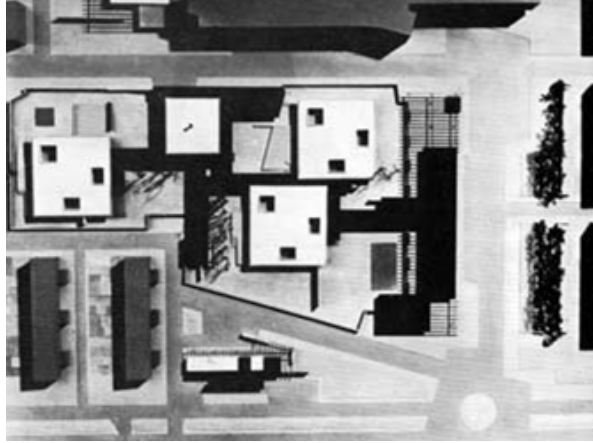


FIG.15 - Ludovico Quaroni, Scuola elementare Olivetti a Canton Vesco (Ivrea), 1959;

La seconda fase si svolge tra gli inizi degli anni Sessanta e la metà degli anni Settanta, durante la quale l'organizzazione gerarchica del sistema scolastico viene messa definitivamente in dubbio: si propone un nuovo tipo di edificio scolastico, dovuto alla riforma della scuola media unica del 1962, che prevede uno studio nazionale sullo stato dell'arte dell'edilizia scolastica [5], oltre che l'investimento di numerose risorse finanziarie destinate alle nuove scuole medie delle città.

Proprio di quegli anni è la prima legge che affronta direttamente il problema dell'edilizia scolastica, ma purtroppo priva di esiti felici, anche per la mancanza di una vera e propria Normativa Tecnica e di standard funzionali adeguati, per i quali bisognerà aspettare il decennio successivo.

Nel frattempo il dibattito architettonico sul tema della scuola entra nelle facoltà di architettura, che incominciano a farne oggetto di studi e ricerche.

Già dai primi anni Sessanta, e poi negli anni Settanta a causa delle misure economiche restrittive, si va approfondendo la ricerca sulla prefabbricazione come sistema indispensabile per razionalizzare il processo edilizio. Infatti la prefabbricazione è considerata uno strumento basilare per conseguire gli obiettivi della qualità diffusa e della flessibilità: la scuola è pensata non più solo come una struttura spaziale ma anche come un luogo di variazioni a componente temporale, e inoltre i nuovi metodi

pedagogici e la naturale tendenza degli scolari al lavoro in piccoli gruppi necessitavano della creazione di aree centrali collettive.

Lo studio di nuovi sistemi costruttivi libera e approfondisce i temi dell'aula modificabile, delle unità didattiche accorpabili, dell'intercambiabilità, concetti già indagati alla fine degli anni Quaranta sebbene in un regime costruttivo tradizionale.

In questi anni si assiste così al passaggio dal cantiere tradizionale a procedure di costruzione industrializzate, ma anche alla crescente standardizzazione. Seppure in ritardo rispetto agli altri paesi europei, l'entrata della scuola-fabbrica nel panorama edilizio italiano si combina con la produzione di alcuni progetti di alta qualità nei quali il rischio dell'indifferenza planimetrica è costantemente annullato da una complessità spaziale e da uno standard elevato, non paragonabile con l'edilizia comune. Gli architetti più coinvolti in questa sperimentazione sono Luigi Pellegrin, Gino Valle e Aldo Rossi.

In questa sperimentazione spicca il lavoro di Luigi Pellegrin (1925-2001) progetta e realizza numerose scuole in tutto il territorio nazionale, costituendo nel panorama del dibattito nazionale sull'edilizia scolastica prefabbricata un caso a sé.

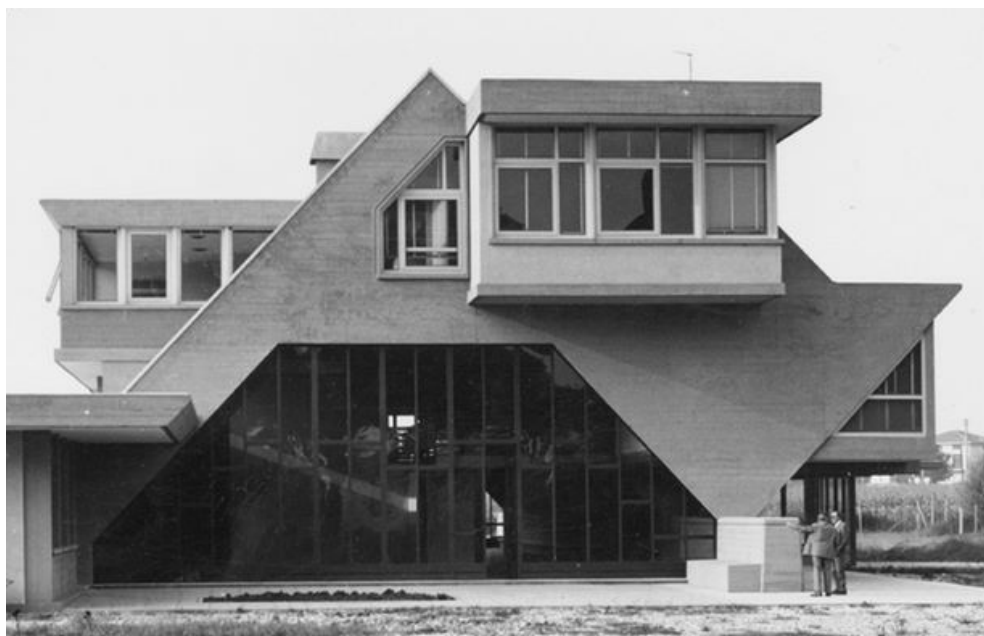


FIG.16 - Luigi Pellegrin, Scuola media a Montichiari (Brescia), 1960;

Pellegrin è estremamente convinto che la compattezza sia un requisito fondamentale per ridurre i costi e che lo spazio interno debba essere fatto di pause ed eventi di vario genere, rilevando esternamente un edificio con una valenza paesistica sia alla piccola che alla grande scala.



FIG.17 - Luigi Pellegrin, Aule Mobili, S.A.I.E. di Bologna, 1975;

Nel 1975 vengono approvate le Norme per l'edilizia scolastica [6], con l'obiettivo di omogeneizzare la situazione su tutto il territorio nazionale e adeguare i cantieri ad un processo tecnologico più avanzato.

L'opera Gino Valle (1923-2003) nell'ambito della edilizia scolastica prefabbricata si inserisce durante la ricostruzione post-terremoto in Friuli Venezia Giulia: si tratta di un edificio progettato in funzione della prefabbricazione e della ripetitività, data l'esigenza di una realizzazione rapida e con costi contenuti.

La nuova struttura scolastica si basa su una struttura modulare a maglia rettangolare che si sviluppa longitudinalmente in una sequenza flessibile di contenitori per attività omogenee (corpo didattico, corpo palestra, corpo mensa e centrale termica).

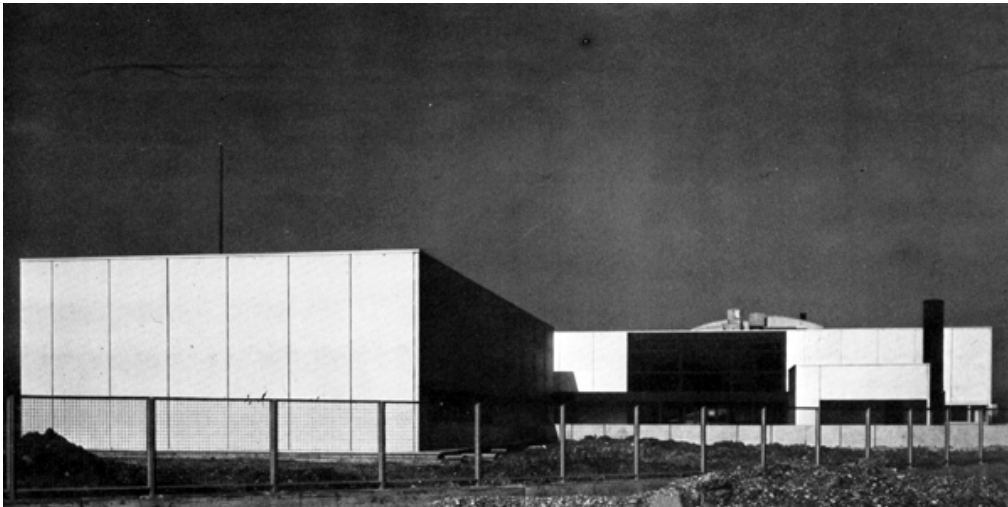


FIG.18 - Gino Valle, prototipo di scuola elementare Bissuola (Venezia) , 1977;



FIG.19 - Gino Valle, prototipo di scuola elementare Bissuola (Venezia) , 1977;

Aldo Rossi (1931-1997) a partire dagli anni Settanta, presenta diversi progetti di scuole in cui è evidente una rilettura del "monumentalismo", con disegni che ne riprendono il rigore tipologico e ne rievocano la forza.

L'indagine sul rinnovamento funzionale e sullo spazio organico, quasi esasperato in alcuni lavori da Pellegrin, cedono il passo alla gerarchia fra le parti e all'ordinarietà dei sistemi paratattici.

Rossi critica le scuole che propongono modelli d'uso che condizionano l'autonomia dell'esperienza scolastica del bambino: le tre scuole realizzate da Aldo Rossi di questo periodo diventeranno vere e proprie icone dell'architettura italiana.

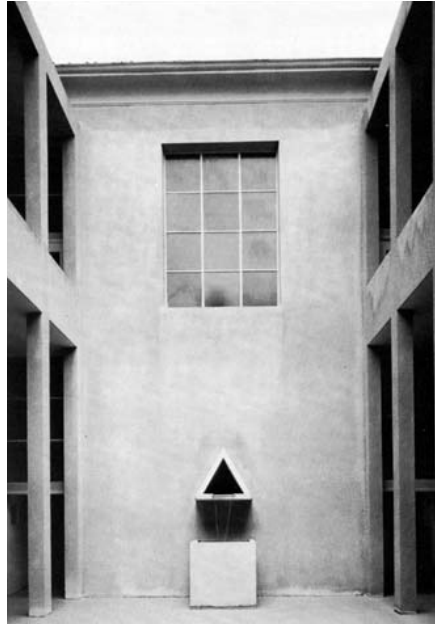


FIG.20 - Aldo Rossi, Scuola media De Amicis a Broni (Pavia), 1969-1970;

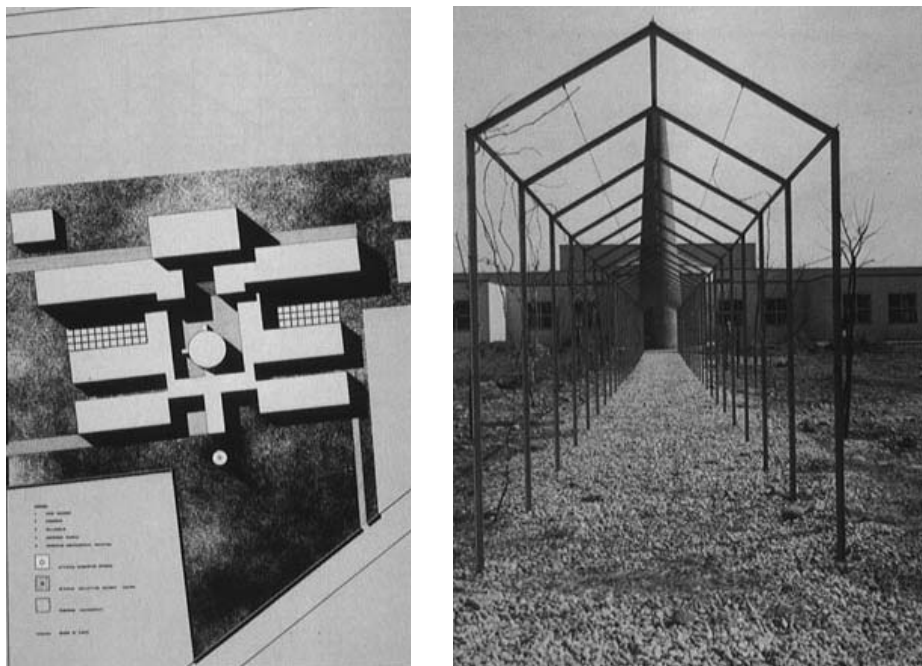


FIG.21 - Aldo Rossi, Scuola elementare a Fagnano Olona (Varese), 1972-1976;

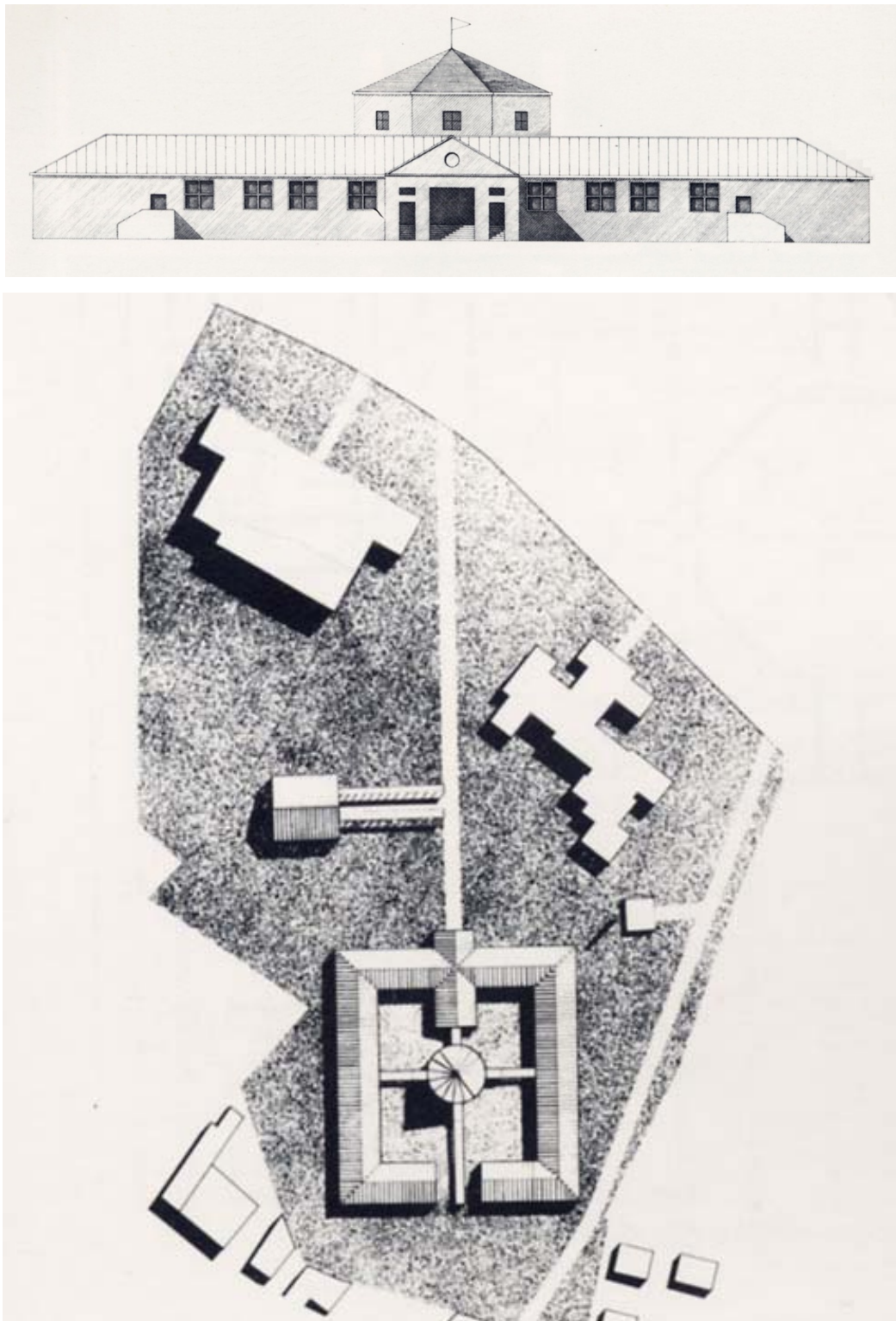


FIG.22 - Aldo Rossi, Scuola media a Broni (Pavia), 1979-1981;

Fino a questo momento i dibattiti intorno alla edilizia scolastica si erano sviluppati in modo del tutto lineare, mentre ora si frammentano: nonostante la produzione edilizia del settore è fatta da numerosi esempi di qualità, essi risultano essere assolutamente dissimili tra loro. A partire dagli anni sessanta fino ai giorni nostri, la figura dell'architetto Günter Behnisch (1922-2010) è stata estremamente significativa per lo sviluppo dell'architettura scolastica tedesca e di riflesso internazionale. Il suo linguaggio, inizialmente centrata sulla prefabbricazione, trova applicazione in numerose scuole.



FIG.23 - Behnisch & Partner, School of Engineering, Ulm, 1963;



FIG.24 - Behnisch & Partner, High School Auf dem Schaeferfeld Lorch, 1973;



FIG.25 - Behnisch & Partner, Stuttgart Uni Vaihingen campus, 1987-1988;



FIG.26 - Kindergarten Schiff im Weinberg in Stuttgart-Luginsland, 1990;

In Italia purtroppo a parte casi isolati, negli anni '50, '60 e '70, accanto a un a frenetica ricerca pedagogica e culturale e ad un fermento di rinnovamento architettonico, non si sviluppano fatti costruttivi coerenti. Sul finire degli anni Settanta il tema dell'edilizia scolastica è orientato per lo più verso la semplice manutenzione e accompagnato da una seconda ondata di prefabbricazione che risulta molto diversa dalla precedente: si pone l'accento sui virtuosismi morfologici raggiungibili attraverso l'innovazione della tecnica. Contemporaneamente, con la crisi petrolifera degli anni Settanta (1973) prendono il via

diverse esperienze nel campo della ricerca delle fonti energetiche alternative, e in particolar modo alcuni interessanti studi sulla sperimentazione dell'energia solare promossi dal Centro Studi per l'Edilizia Scolastica.

I vantaggi del processo di prefabbricazione e le tecnologie costruttive economiche e rapide furono presto dimenticate per una fase di sperimentazione, per lo più incentrata sulla memoria storica come elemento conduttore del progetto, che apre una terza fase a partire dai primi anni Ottanta. Negli anni Novanta subentra un progressivo disinteresse sul tema dell'edilizia scolastica, e come conseguenza non sono state prodotte particolari innovazioni rispetto a quanto già sperimentato negli anni passati.

Malgrado questa tendenza negativa, negli ultimi anni l'attenzione ha iniziato a concentrarsi sull'adozione di tecniche e tecnologie di progettazione finalizzate al controllo bioclimatico degli ambienti scolastici: la letteratura specializzata e gli esiti dei concorsi dimostrano una sempre più crescente abitudine alla progettazione orientata verso l'inserimento di soluzioni di risparmio energetico e di risorse.

Da tutto questo si sono delineate due diverse tendenze: la prima, che riprende e continua la tradizione degli anni Ottanta e Novanta, che riguarda la progettazione di edifici in cui si sperimentano le nuove tecnologie, cubi compatti che, a prescindere dalla loro rigida soluzione di pianta, offrono un'ampia molteplicità di relazioni spaziali, con pochi spazi qualificanti ma perlopiù "neutrali", e un uso più razionale delle risorse energetiche; la seconda, l'urgente riorganizzazione e recupero degli edifici scolastici esistenti, gran parte dei quali edificati nel secondo dopoguerra (1965), riprogettando gli spazi per ottenere ambienti adeguati per l'esplicazione delle attività formative, e di riqualificarli attraverso interventi che tengano conto contemporaneamente di aspetti funzionali-distributivi, strutturali, ambientali, architettonici e tecnologici.

Tra gli esempi italiani più recenti possiamo ricordare le importanti lezioni dell'architetto Massimo Carmassi, che in Italia ha fatto una vera e propria teoria dell'edificio scolastico, sia insegnando a tener conto delle sue caratteristiche peculiari, legate allo speciale profilo di utenza cui è destinato, sia spingendo a valorizzarne la valenza simbolica, la vocazione di edificio pubblico destinato a durare nel tempo e ad assumere un ruolo nei confronti del contesto urbano.

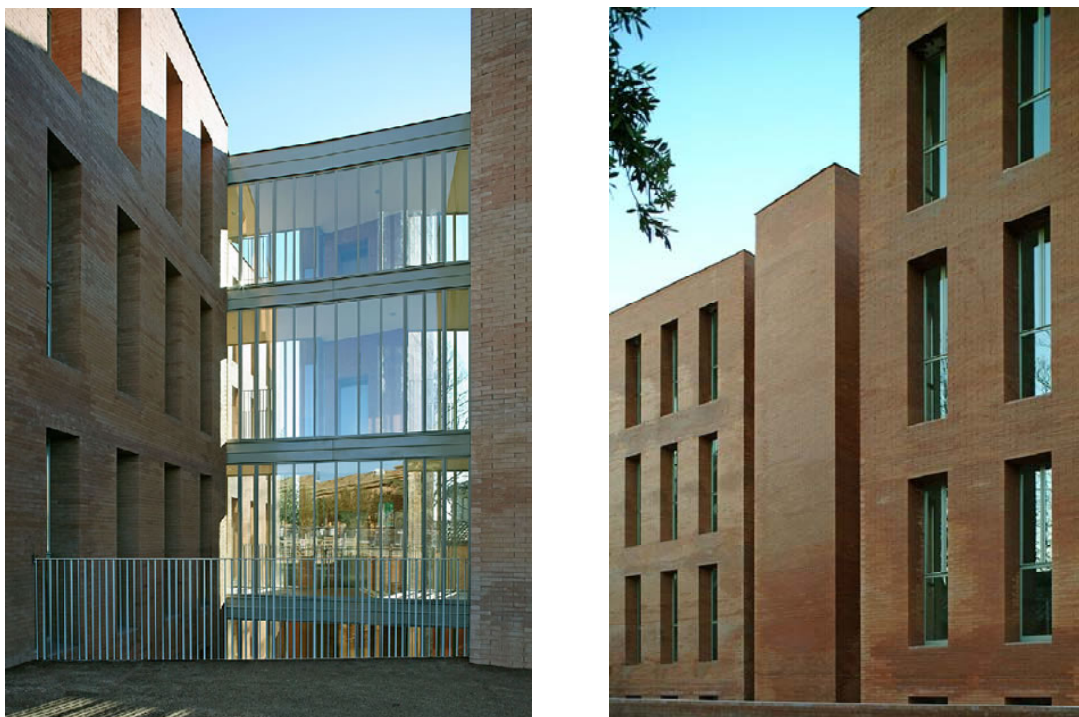


FIG.27 - Massimo Carmassi, Complesso scolastico in piazza Garibaldi Trevi (Perugia), 2008;

In conclusione queste tre fasi dal secondo dopoguerra mostrano un notevole sviluppo sul tema dell'edilizia scolastica investito dalle nevralgiche questioni sull'architettura civile, quali il rapporto con il luogo, i caratteri distributivi e l'indagine tipologica. Accanto al dibattito puramente architettonico si affianca la discussione sui programmi istituzionali d'intervento e le modalità operative, sollevando questioni più ricche e complesse, integrate con le tematiche didattiche e pedagogiche.

Da tutto questo ne derivano progetti di nuovi edifici scolastici esclusivamente dettati dagli standard istituzionali, che risultano spesso essere inadeguati ai cambiamenti della società, come il numero e caratteristiche dimensionali, e dalle scarse risorse finanziarie. Ma nonostante ciò emergono realizzazioni singolari, che a fronte dei vincoli normativi ed economici, apportano nuove riflessioni sul linguaggio formale e distributivo della scuola.

3.2. Quadro legislativo e recenti indirizzi normativi per l'edilizia scolastica

Le prime leggi sull'edilizia scolastica risalgono al secondo dopoguerra (1967-1975), che come primo obiettivo hanno la risoluzione della grave situazione di degrado e inadeguatezza in cui versavano le scuole italiane, abbandonate dall'unità d'Italia.

Il merito più rilevante della normativa tecnica, ancora oggi vigente, è aver introdotto lo standard delle scuole italiane a livelli paragonabili a quelli europei, ma ancora con molte lacune.

Altra importante novità è l'assunzione dell'onere di costruzione da parte dello Stato, sebbene con lentezza ed in misura disomogenea, ha contribuito a risolvere le situazioni più critiche, specie per quanto riguarda il sovraffollamento, e a risanare gli squilibri tra aree ricche e povere del Paese ed ad allineare gli standard italiani a quelli europei, nel rispetto degli scenari che si andavano delineando nel dibattito sulle riforme del sistema scolastico. Fino ad oggi il quadro normativo di riferimento si è notevolmente modificato ed arricchito parallelamente alle riforme del sistema scolastico e all'evoluzione della legislazione sull'edilizia in genere.

Per quanto riguarda i recenti indirizzi normativi, la legge n.23 del 11 gennaio 1996, "Norme per l'edilizia scolastica", seguita dalla Circolare Ministero della Pubblica Istruzione n. 139 del 4 aprile 1996, "Direttiva - edilizia scolastica: revisione norme tecniche" ha dato vita, in collaborazione con l'Osservatorio sull'edilizia scolastica, ad un gruppo di ricerca incaricato di redigere la "Proposta per l'elaborazione delle linee guida per la redazione della normativa tecnica per l'edilizia scolastica".

Tale ricerca, punto di partenza per la redazione della nuova normativa tecnica, sistematizza il problema italiano del rapporto tra le attività didattiche ed educative e gli spazi che le ospitano, ovvero la definizione delle aree tematiche, l'individuazione dei nuovi requisiti funzionali per gli spazi dedicati alle attività ed il superamento delle prescrizioni descrittive con l'introduzione di ulteriori indicazioni dimensionali per ottenere adeguate caratteristiche qualitative dell'ambiente scolastico, anche sulla base delle nuove UNI.

I nuovi parametri funzionali e dimensionali contenuti nel progetto di norma allo stato di fatto sono inesistenti: l'unico riferimento tecnico cogente riguarda i requisiti acustici passivi degli edifici scolastici, il D.P.C.M. del 5 dicembre 1997. Altre indicazioni sulle prestazioni ambientali sono disponibili nel sistema normativo volontario ed europeo e attengono all'illuminazione e al benessere termoigrometrico.

Di seguito vengono riportate i principali provvedimenti normativi in vigore:

- D.L. 28 maggio 2009, n. 39 - Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile;
- D.Lgs. 9 aprile 2008, n.81 - Testo Unico in materia di sicurezza sul lavoro;
- D.M. 14 gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni (contro gli effetti sismici, del vento, della neve, delle temperature, degli incendi, delle esplosioni, degli urti);
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3 maggio 2005, n.3431 - Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del 20 marzo 2003, n.3274;
- Legge 1 marzo 2005, n.26, in applicazione del D.L. 626/199494 - Conversione in legge con modificazioni del D.L. n.314/2004, recante proroga di termini, art. 4-bis, adeguamento degli edifici scolastici;
- D.L. 30 dicembre 2004, n.314 - art. 4-bis. Adeguamento degli edifici scolastici. Stralcio;
- Ordinanza 20 marzo 2003, n.3274 e Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 2 ottobre 2003 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica e successive modifiche ed integrazioni;
- Legge 27 dicembre 2002, n.289 - Piano straordinario di messa in sicurezza degli edifici scolastici, con particolare riguardo a quelli insistenti nelle zone soggette a rischio sismico;
- D.P.R. 6 giugno 2001, n.380 - Testo Unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di edilizia (agibilità degli edifici);
- Circolare del Ministero della Pubblica Istruzione, dell'Università e 9 maggio 2001, n.118 - Standard minimi dimensionali e qualitativi e linee guida relative ai parametrici tecnici ed economico concernenti la realizzazione e di alloggi e residenze per studenti universitari di cui alla legge n. 338 /2000 e n.388/2000;
- Circolare del Ministero della Pubblica Istruzione, dell'Università e Ricerca 8 maggio 2001, n.85 - Igiene e sicurezza nelle scuole: monitoraggio;
- Legge 10 febbraio 2000, n.30 - Legge Quadro in materia di riordino dei Cicli d'istruzione;
- Legge 3 agosto 1999, n.265 (art. 15), in applicazione del D.L. 626/94 - Termini per gli interventi di carattere strutturale finalizzati all'adeguamento e messa a norma degli

edifici scolastici all'interno delle "Disposizioni in materia di autonomia e ordinamento degli enti locali, nonché modifiche alla legge 8/6790 n. 142;

- D.M. 29 settembre 1998, n.382 - Regolamento recante norme per l'individuazione delle particolari esigenze negli istituti di istruzione ed educazione di ogni ordine e grado, ai fini delle norme contenute nel decreto legislativo n.626/1994, e successive modifiche ed integrazioni;
- Circolare 6 agosto 1998, n.23 - Chiarimenti in ordine all'applicazione della disciplina dettata dall'art. 5 della Legge n.191/1998;
- D.M. 5 agosto 1998, n.363 - Regolamento recante norme per l'individuazione delle particolari esigenze delle università e degli istituti di istruzione universitaria;
- Legge 16 giugno 1998, n.191 - Disposizioni in materia di edilizia scolastica;
- D.M. 10 marzo 1998 - Impianti e prevenzione incendi. Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro;
- D.P.C.M. 5 dicembre 1997 - Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici;
- Legge 2 settembre 1997, n.340 - Norme in materia di organizzazione scolastica e di edilizia scolastica;
- D.M. 17 dicembre 1996 - Competenze degli enti locali in materia di edilizia scolastica;
- D.P.R. 24 luglio 1996, n.503 - Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici;
- D.M. 18 aprile 1996 - Istituzione dell'Osservatorio per l'edilizia scolastica;
- Circolare Ministero della Pubblica Istruzione 4 aprile 1996, n.139 - Direttiva - edilizia scolastica: revisione norme tecniche;
- Legge 11 gennaio 1996, n.23 - Norme per l'edilizia scolastica;
- D.Lgs. 19 settembre 1994, n.626 e successive modifiche e integrazioni - Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE, 90/679/CEE, 93/88/CEE, 95/63/CE, 97/42, 98/24 e 99/38 riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro;
- D.M. 26 agosto 1992 - Norme di prevenzione incendi per l'edilizia scolastica;

- Legge 5 febbraio 1992, n.104 - Abbattimento delle barriere architettoniche. Legge quadro per l'assistenza, l'integrazione sociale e diritti delle persone handicappate;
- Legge 23 dicembre 1991, n.430 - Interventi per l'edilizia scolastica e universitaria e per l'arredamento scolastico;
- Legge 5 marzo 1990, n.46 - Norme per la sicurezza degli impianti;
- D.M. 14 giugno 1989, n.236 - Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visibilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche;
- Legge 9 gennaio 1989, n.13 - Disposizioni per favorire il superamento e l'eliminazione della barriere architettoniche negli edifici privati;
- D.L. 5 settembre 1988, n. 390 - Disposizioni urgenti in materia di edilizia scolastica;
- D.M. 18 Dicembre 1975 - Norme tecniche relative all'edilizia scolastica ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia e urbanistica da osservarsi nella esecuzione di opere edilizie scolastiche;
- Legge 5 agosto 1975, n.412 - Norme sull'edilizia scolastica e piano finanziario d'intervento;
- D.M. 21 marzo 1970 - Norme tecniche relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica da osservarsi nella esecuzione di edilizia scolastica;
- D.L. 2 aprile 1968, n.1444 - Limiti inderogabili di densità edilizia, di altezza, di distanza fra i fabbricati e rapporti massimi tra gli spazi destinati agli insediamenti residenziali e produttivi e spazi pubblici o riservati alle attività collettive, al verde pubblico o a parcheggi, da osservare ai fini della formazione dei nuovi strumenti urbanistici o della revisione di quelli esistenti, ai sensi dell'art. 17 della legge 6 agosto 1967, n.765;
- Circolare 22 maggio 1967, n.3150 - Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti tecnici negli edifici scolastici;
- Legge 24 luglio 1962, n.1073 - Programma di finanziamento a favore dell'edilizia scolastica;

In particolare, di seguito viene riportato uno schema riassuntivo dei principali elementi caratterizzanti la vigente normativa tecnica in materia di edilizia scolastica:

		ELEMENTARI	MEDIE	MATERNE/SEZIONI	SUPERIORI
Mq lordi per classi		Da 153 a 167	Da 201,50 a 275,50	Da 198 a 210	Da 166 a 307
Mq lordi totali per alunno		Da 6,11 a 6,68	Da 8,06 a 11,02	Da 6,06 a 7	Da 6,65 a 12,28
Altezza in mt. di aule, biblioteche, uffici, infermeria e mensa.		3	3	3	3
Altezza palestra in mt.	Non regolamentari	5,40	5,40	/	/
	Regolamentari	/	7,50	/	7,50
Area minima per la costruzione di edifici scolastici in mq		Da 2.295 a 12.550	Da 4.050 a 12.600	Da 1.500 a 6.750	Da 6.620 a 33.900
Mq netti per alunno in classe		1,80	1,80	1,80	1,96
Nr. alunni per classe D.M. Edilizia Scolastica		25	25	30	25
Nr. persone per classe D.M. antincendio, affollamento massimo, norme di esercizio		26	26	26	26
Area verde alberata ed attrezzata rispetto all'area totale		66,6%	66,6%	66,6%	66,6%
Mq totali per alunno		Da 10,33 a 22,71	Da 20,20 a 27,00	25	Da 22,60 a 26,50
Temperatura ed umidità		20° C + 2° C, umidità 45 - 55%	20° C + 2° C, umidità 45 - 55%	20° C + 2° C, umidità 45 - 55%	20° C + 2° C, umidità 45 - 55%

FIG.28 - Schema riassuntivo dei principali indici di edilizia scolastica e di didattica (D.M. 18 dicembre 1975 edilizia scolastica, Legge n.23/1996 Delega edilizia scolastica art. 5 comma 3 e D.M. Interno 26 agosto 1992);

3.3. Risorse e finanziamenti per il sistema edilizio scolastico italiano

Risulta chiaro come occorrono investimenti per il miglioramento del patrimonio scolastico ben sapendo che si deve intervenire quasi esclusivamente sull'esistente: infatti è molto importante capire come intervenire sull'esistente per migliorare la qualità della vita e la sostenibilità.

Quello delle risorse finanziarie rimane uno dei nodi nevralgici da affrontare. Con la legge n.488/1986, e la successiva n.430/1991, per il finanziamento dell'edilizia scolastica, si aprono nuovi scenari; anche se hanno inciso in maniera disomogenea e insignificante sulla qualità architettonica, individuano i criteri operativi di come approcciarsi al problema: accanto alla costruzione di nuovi edifici, e cosa più importante che per la prima volta in Italia si parla della riqualificazione degli spazi scolastici esistenti: il problema vero e proprio investe tutte le scuole costruite ante 1975 ma anche quelle di recente costruzione.

Un nuovo piano nazionale di investimenti per la riforma della scuola deve dunque realizzarsi nell'ambito dei principi di autonomia della scuola e di sussidiarietà degli Enti Locali.

Nell'ambito del riassetto degli organi istituzionali competenti in materia scolastica, come abbiamo visto nel precedente capitolo, il ruolo degli Enti Locali è divenuto strategico e rilevante nel promuovere e stimolare le iniziative locali e le buone pratiche nell'ambito delle politiche sulla scuola e sui sistemi di istruzione di propria competenza. Inoltre con la legge-quadro sull'edilizia scolastica, legge n.23/1996, viene attribuita a Province e Comuni la competenza in materia di fornitura, costruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria (compresi l'adeguamento e la messa a norma) degli edifici adibiti ad uso scolastico, nonché le forniture (acqua, luce, gas, telefono, riscaldamento) con i relativi impianti e le spese dell'arredamento. La suddetta legge prevede anche, al fine di migliorare l'edilizia scolastica sul piano nazionale, una partecipazione ad adiuvandum dello Stato attraverso l'assegnazione alle Regioni di appositi finanziamenti. Tali finanziamenti sono erogati sotto forma di mutui accendibili presso la Cassa DD.PP. con totale ammortamento a carico dello Stato e vengono attribuiti attraverso piani triennali di programmazione.

Ciò premesso, si segnalano di seguito le più recenti iniziative in materia:

▪ I finanziamenti della legge n.23/1996

Tali finanziamenti (art.4) sono assegnati alle Regioni e, da esse, ai competenti Enti locali sulla base di Piani triennali di edilizia scolastica, articolati in singoli piani annuali, finalizzati prioritariamente alla messa in sicurezza ed a norma delle scuole.

- Piano triennale: 1996/1998 £ 1.569 miliardi;
- Piano triennale: 1999/2001 £ 1.395 miliardi;
- Piano triennale: 2003/2005 euro 461.916.248;
- Piano triennale: 2007/2009 euro 250 milioni;
- Piano triennale: 2010/2012 euro 300 milioni;

Per il 2002 [7], 2005 e 2006 non è stato possibile reperire nelle rispettive leggi finanziarie alcuna risorsa. Mentre per quanto attiene al il finanziamento dei piani relativi al triennio 2007/2009 si concretizza con la sottoscrizione dell'Intesa istituzionale finalizzata all'attivazione del "Patto per la sicurezza" tra il Ministero, Regioni ed Enti locali. Tale piano prevede che l'intero finanziamento triennale (la legge n.296/2006), pari ad euro 250 milioni di euro, sia dedicato alla messa in sicurezza ed all'adeguamento a norma delle strutture scolastiche.

Nel piano triennale 2010/2012 vengono destinate alle scuole il 5% delle risorse alle infrastrutture strategiche.

TOTALE NAZIONALE	PRIMA ANNUALITÀ ANNO 2007	SECONDA ANNUALITÀ ANNO 2008	TERZA ANNUALITÀ ANNO 2009	TOTALE TRIENNIO 2007/2009
	€ 50.000.000	€ 100.000.000	€ 100.000.000	€ 250.000.000

FIG.29 - Stanziamento e ripartizione nazionale dei fondi sulla Sicurezza nelle scuole definita con il D.M. del 16 luglio 2007;

REGIONI	PRIMA ANNUALITÀ ANNO 2007	SECONDA ANNUALITÀ ANNO 2008	TERZA ANNUALITÀ ANNO 2009	TOTALE TRIENNIO 2007/2009
ABRUZZO	1.475.297	2.855.631	€ 2.855.631	7.186.559
BASILICATA	733.527	1.426.558	1.426.558	3.586.643
CALABRIA	3.469.043	7.068.572	7.068.572	17.606.187
CAMPANIA	5.796.358	12.216.573	12.216.573	30.229.504
MOLISE	468.651	850.803	850.803	2.170.257
PUGLIA	3.669.547	7.452.986	7.452.986	18.575.519
SARDEGNA	1.931.061	3.847.478	3.847.478	9.626.017
SICILIA	5.474.932	10.965.410	10.965.410	27.405.752
TOTALI 8 Regioni	€ 23.018.416	€ 46.684.011	€ 46.684.011	€ 116.386.438

FIG.30 - Stanziamento e ripartizione per le 8 Regioni dei fondi sulla Sicurezza nelle scuole definita con il D.M. del 16 luglio 2007;

▪ Il piano straordinario di messa in sicurezza degli edifici scolastici

Si ricorda che gli stanziamenti per la messa in sicurezza degli edifici scolastici seguono, sostanzialmente, due linee di intervento: da una parte, le risorse individuate nell'ambito del Programma delle infrastrutture strategiche della legge obiettivo (legge 443/2001), dall'altra la programmazione dell'edilizia scolastica prevista dalla legge 11 gennaio 1996, n. 23.

▪ Piano straordinario per le zone a rischio sismico

La legge n.289/2002 ha previsto l'inserimento, nel Programma delle infrastrutture strategiche, di un "Piano straordinario di messa in sicurezza delle scuole, con particolare riguardo a quelle insistenti nelle zone a rischio sismico". La legge n.350/2003 ha riservato al predetto Piano almeno il 10% delle risorse destinate fosse destinato all'edilizia scolastica nelle zone colpite da calamità naturali.

▪ I finanziamenti dell'INAIL

Sulla base della Legge 296/2006, è stato sottoscritto un Protocollo d'Intesa 31 ottobre 2007 con l'INAIL per l'avvio, a titolo sperimentale, nel triennio 2007/2009, di un Piano di finanziamento di 100 milioni di euro per la messa in sicurezza e

l'eliminazione delle barriere architettoniche delle scuole secondarie di primo e secondo grado.

▪ Gli interventi previsti per il futuro

L'art.7 bis della legge n.169/2008 (Decreto Gelmini) prevede un finanziamento strutturale con una somma non inferiore al 5% delle risorse complessivamente stanziata per le opere di infrastrutture per le zone sismiche da assegnare alle scuole collocate in quei territori.

In linea con gli interventi sopra citati, in particolare, è da ricordare anche l'assegnazione al Ministero delle Infrastrutture di fondi pari a 1.000 milioni di euro per l'attivazione di opere di edilizia scolastica, tramite la delibera CIPE del 6 marzo 2009. Da tali fondi, con successiva delibera CIPE sono stati detratti circa 256 milioni per destinarli all'Abruzzo per la ricostruzione delle scuole interessate dal recente sisma, attualmente sono stati assegnati 358 milioni di euro da destinare ad interventi urgenti riservati a quelle situazioni di maggior rischio e vulnerabilità, circa 1.700 istituti scolastici, anche degli elementi non strutturali, rilevate durante i monitoraggi, i rimanenti circa 400 milioni di euro. Positiva la decisione di affidare la gestione dei fondi CIPE direttamente ai Comuni e alle Province, procedura che si spera possa consentire una maggiore rapidità ed efficacia degli interventi.

Inoltre, nel 2010 non sono stati previsti nuovi finanziamenti, così come nel 2011, in cui permane ancora il patto di stabilità all'interno del quale non sono previste risorse dedicate all'edilizia scolastica.

Le uniche risorse aggiuntive ai fondi CIPE dovrebbero essere i 115 milioni destinati all'edilizia scolastica e relativi al 5% del fondo infrastrutture del 2010, anche se la Conferenza delle Regioni lamenta che non sono noti i criteri di riparto, né quelli di scelta delle scuole destinatarie di questi finanziamenti.

3.4. Stato e consistenza dell'edilizia scolastica in Italia

Il patrimonio scolastico italiano, come descritto nei paragrafi precedenti, mostra una storia lunga e complessa, fatta di continue trasformazioni dovute ai diversi momenti politici, culturali e sociali che hanno caratterizzato lo sviluppo del nostro Paese. Nelle strutture scolastiche dislocate su tutto il territorio nazionale, studiano e lavorano a vario titolo, il 15% della popolazione italiana per un totale di circa 9 milioni di persone (tra docenti, personale amministrativo e alunni).

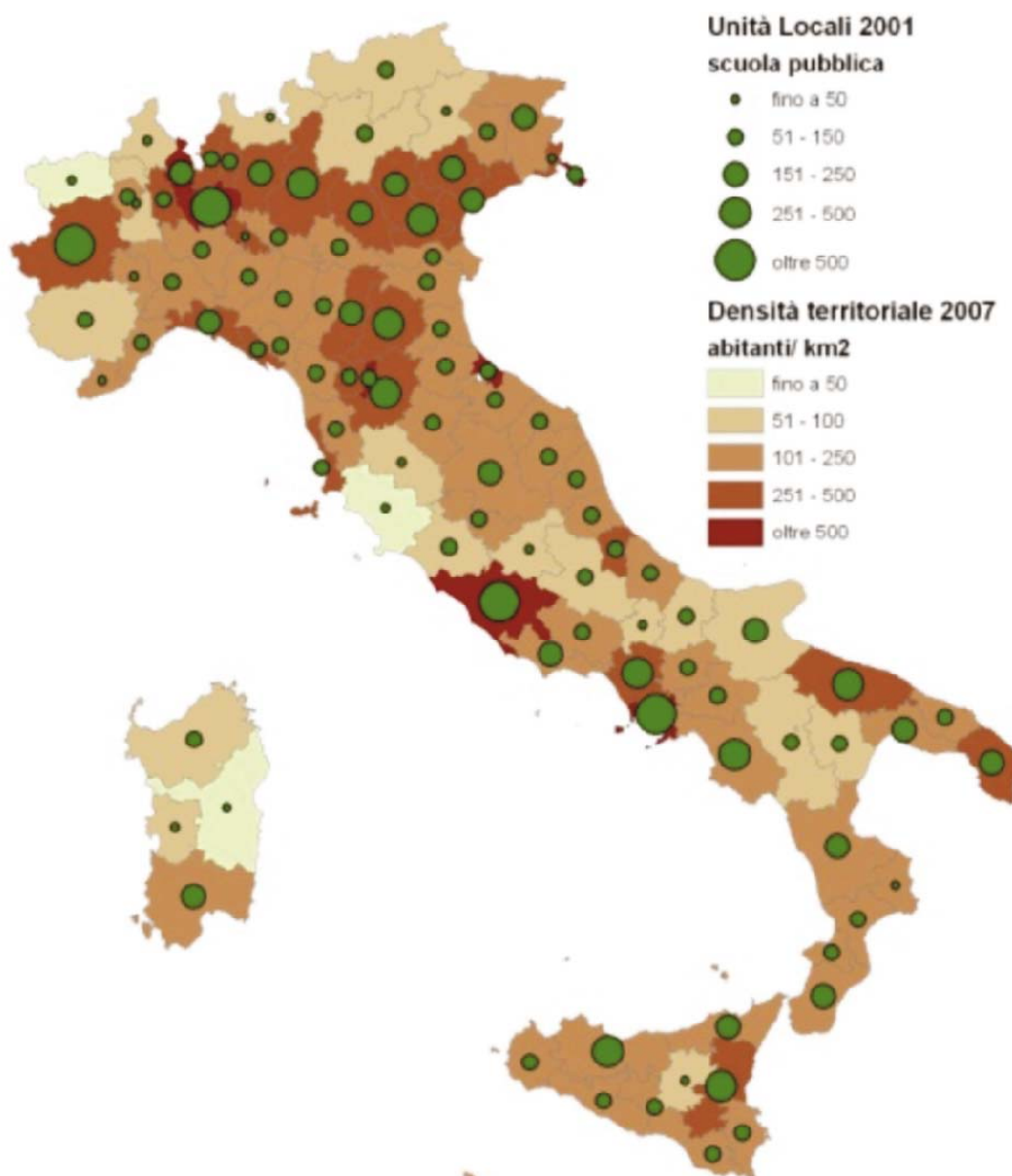


FIG.31 - Distribuzione sul territorio nazionale delle scuole pubbliche [fonte: CRESME con la collaborazione dell'ENEA];

Il quadro che emerge dai rapporti annuali sulla scuola, come quello di Legambiente e di Cittadinanzattiva, "Ecosistema scuola"[8] e il VIII Rapporto "Sicurezza, qualità e comfort a scuola"[9], e dai dati derivanti dall'Anagrafe Nazionale dell'Edilizia Scolastica (legge n.23/1996) ad opera del Ministero della Pubblica Istruzione, relativi alle condizioni degli edifici scolastici, delinea una situazione, sotto il profilo dell'igiene e della sicurezza, che è ancora distante dai parametri normativi in materia di sicurezza e salubrità nei luoghi di lavoro.

Il parco edilizio scolastico è composto da circa 45.000 scuole, caratterizzato da edifici con una età media molto alta in molte regioni italiane; inoltre, buona parte degli edifici è stata realizzata precedentemente all'emanazione della prima normativa tecnica sull'edilizia scolastica (D.M. 18/2/1975) e dei provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche (legge n.64/1974). A questa condizione strutturale del patrimonio si aggiunge anche il ritardo nel recepimento delle prescrizioni di legge in materia di prevenzione incendi e di sicurezza degli operatori e degli utenti e le molteplici problematiche legate al consumo di risorse, al benessere dell'ambiente interno e, non ultimo, di gestione da parte degli Enti preposti.

Quest'indagini, realizzate tramite questionari e la elaborazione dei dati forniti dalle amministrazioni comunali (che hanno competenze sulle scuole dell'obbligo) e provinciali (che hanno competenze sugli istituti superiori), mettono in luce tre principali parametri: la qualità della struttura degli edifici in termini di età e idoneità all'attività scolastica, i servizi e le buone pratiche ambientali e infine i rischi ambientali ai quali sono esposti gli edifici.

Quello che appare oggi è un quadro generale fatto di aspetti positivi e negativi. Stabile è la situazione riguardante gli edifici scolastici con qualche accenno di miglioramento per quanto riguarda gli interventi di manutenzione e di riqualificazione energetica, mentre permane lo stato di rischio in cui si trovano le scuole, sia per pericoli interni che per la vicinanza a fonti di inquinamento esterne.

3.4.1. Caratteristiche degli edifici scolastici: tipologie e modelli distributivi

Inizialmente è importante esaminare in cosa attualmente consistono gli spazi e quali siano le destinazioni degli edifici destinati alla didattica. Una prima distinzione, cui è collegata la tipologia dell'edificio e degli impianti a servizio dello stesso, dipende dal grado dell'edificio scolastico:

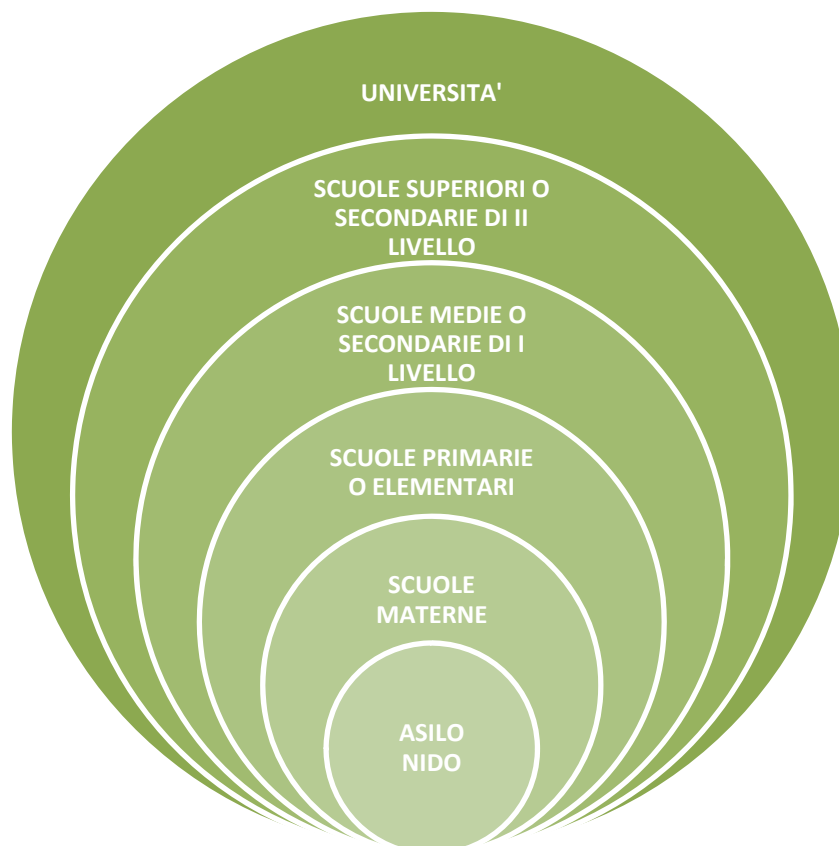


FIG.32 - Suddivisione degli edifici scolastici in base al grado scolastico;

In funzione di tali tipologie scolastiche si hanno di solito differenti tipologie edilizie, sia per modalità di costruzione sia per dimensioni e inserimento nei contesti urbani, differenti modalità di uso degli edifici, diversi gradi di affollamento degli ambienti e diverse tipologie impiantistiche. Inoltre, è evidente come all'aumentare del grado scolastico aumentano generalmente anche le dimensioni degli edifici, il numero di utenti, il grado di affollamento delle aule, la quantità di spazio dedicata a utilizzi accessori (uffici, attività sportive, servizi mensa ecc.).

Pertanto è opportuno ai fini della ricerca indagare direttamente sul parco edilizio esistente, individuando ed illustrando le varie tipologie edilizie e le loro successive evoluzioni per fornire un quadro di insieme delle maggiori problematiche ricorrenti nell'edilizia scolastica esistente che possa essere utile per l'individuazione delle criticità nell'ambito energetico in cui si intende operare con le successive linee guida.

I diversi tipi edilizi sono generati dalle differenti e possibili configurazioni architettoniche in base al rapporto tra l'aula e gli spazi accessori della struttura scolastica, ovvero dai principali modelli distributivi: quello "a corridoio" e quello a "unità funzionale".

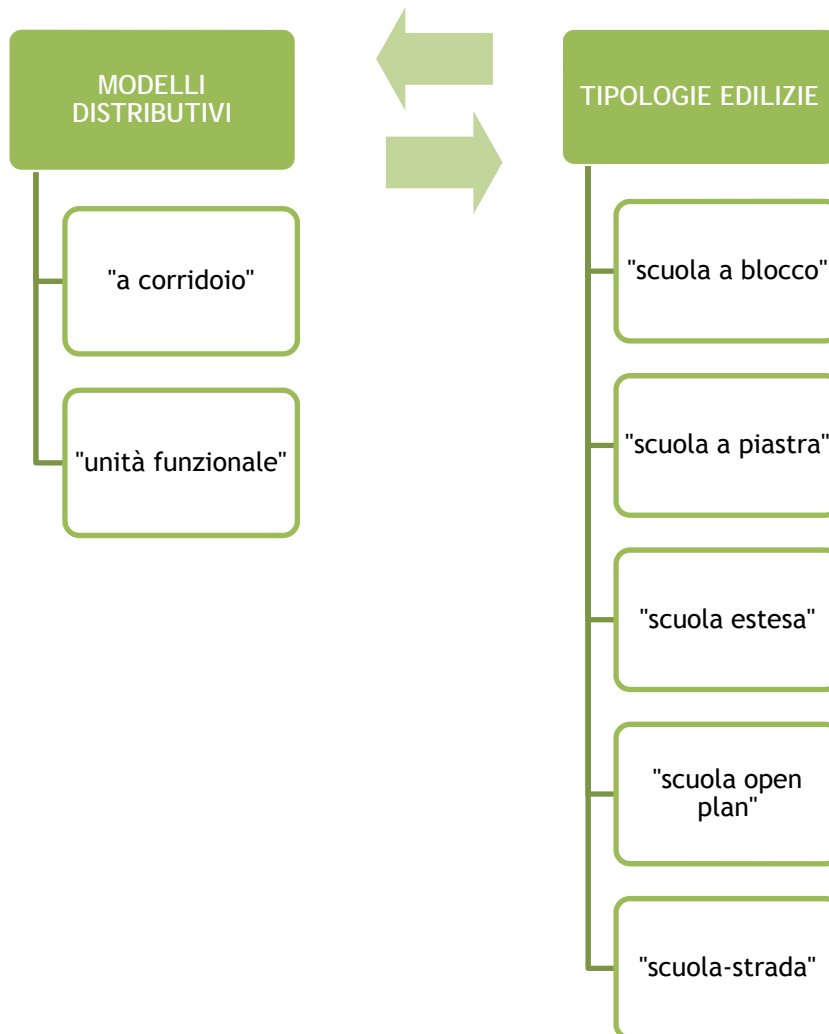


FIG.32 - Modelli distributivi e tipologie edilizie ricorrenti nelle strutture scolastiche;

Di seguito sono illustrate le principali tipologie edilizie che si possono riscontrare all'interno del parco edilizio scolastico italiano:

- Scuola a blocco

Questa tipologia ha rappresentato un modello per molto tempo nell'edilizia scolastica: nasce dallo sviluppo dello schema "a corridoio", attraverso il quale si

mettono a sistema più aule contigue mediante collegamenti lineari. In questa conformazione l'edificio è direttamente a contatto con l'ambiente urbano e le sue dimensioni non si discostano dal tessuto urbano circostante, mentre si distingue per aspetto austero e formale. Generalmente le aule per la didattica sono distribuite e posizionate verso la strada principale di accesso, mentre il corridoio di collegamento è posto sul retro. Le delle aule loro dimensioni variano tra i 55÷80 mq con un'altezza compresa tra i 4÷4,50 m.

Da questa tipologia derivano successive configurazioni: "blocco accorpato", aggregazione di più blocchi, generalmente con uno schema planimetrico a "C", che generano una più complessa articolazione di volumi mantenendo sempre una rigida e leggibile caratterizzazione; "blocco con vuoto interno", configurazione di blocco chiuso con una corte interna.

▪ Scuola a piastra

Tipologia caratterizzata da un corpo principale da cui si diramano collegamenti che lo connettono ai vari spazi dedicati alle attività didattiche della scuola, con distribuzione sia del tipo a corridoio che del tipo a unità funzionali. La scuola a piastra ha un impianto volumetrico simile alla scuola a blocco, anche se con altezze inferiori, ma con un'estensione planimetrica della struttura simile alla scuola estesa. Generalmente presentano uno o due piani, pertanto lo sviluppo planimetrico conferisce all'edificio notevoli dimensioni. L'illuminazione degli ambienti più interni avviene attraverso finestre poste sulla copertura. Proprio a causa dei problemi di illuminazione degli ambienti il tipo edilizio si è evoluto nel più articolato tipo "a piastra con vuoto interno".

▪ Scuola estesa

La scuola estesa si sviluppa attraverso una dilatazione degli spazi verso l'esterno, contrapponendosi alla tipologia a blocco, con una distribuzione legata al modello "a unità funzionale". Tale tipologia si differenzia notevolmente con l'impianto razionalista della scuola a blocco, introducendo concetti quali la ripetibilità di nuclei base e individuando nuovi spazi funzionali nell'ottica di una progressiva crescita dell'edificio nel tempo, in relazione alle sempre nuove esigenze pedagogiche o demografiche.

▪ Open plan

Questa configurazione mostra un'estrema flessibilità tipologica che si sviluppa durante gli anni Sessanta e Settanta. Si colloca in una posizione intermedia tra lo schema a blocco con distribuzione a corridoio e lo schema ad unità funzionale: presenta un impianto planimetrico aperto, ovvero non vi è una sequenza gerarchica di aule, ma lo spazio è organizzato secondo spazi di diversa grandezza e destinabili a diverse attività attraverso l'uso di partizioni interne mobili, che consentano di ottenere ambienti articolabili o grandi spazi.

▪ Scuola-strada

Negli stessi anni si sviluppa anche l'idea della scuola intesa come "strada", ovvero un organismo aperto verso l'ambiente circostante, nel quale siano favorite le relazioni sociali; scompaiono gli accessi principali e le gerarchie fra spazi, di modo che la scuola, ormai proiettata al di fuori del suo tradizionale isolamento, riproduca le caratteristiche proprie della città e divenga essa stessa un fatto urbanistico.

▪ Edifici Impropri

Inoltre va ricordato per un quadro esaustivo che accanto a edifici realizzati per ospitare le istituzioni scolastiche, si affiancano numerosi casi in cui le strutture scolastiche sono collocate all'interno di edifici che hanno ospitato funzioni diverse, ma che per la loro posizione all'interno del sistema urbano, sono stati scelti per contenere attività legate all'istruzione. La maggior parte di questi edifici sono ospitati in edifici storici, quasi sempre di grande valore monumentale.

3.4.2. Condizione strutturale e di sicurezza degli edifici scolastici

Uno dei dati più rilevanti è l'età del patrimonio edilizio scolastico: dall'analisi effettuata su un campione di 5.897 scuole, con una popolazione scolastica di 1.124.485, risultano edifici scolastici italiani piuttosto vecchi, circa il 65% sono stati costruiti prima del 1974:

▪ L'età degli edifici scolastici

- Il 6,50% è stato costruito prima del 1900;
- Il 14,79% è stato costruito tra il 1900 e il 1940;

- Il 43,74% è stato costruito tra il 1940 e il 1974;
- Il 27,85% è stato costruito tra il 1974 e il 1990;
- Il 7,12% è stato costruito tra il 1990 e il 2009.

Oltre a conoscere l'anno di costruzione dell'edificio, bisogna anche indagare se esso è stato oggetto di recenti interventi manutentivi: eventuali normative possono aver determinato adattamenti degli edifici, per esempio resi necessari dal fatto che l'edificio è nato con altre funzioni e poi è stato utilizzato come scuola.

- Gli edifici che attualmente ospitano le scuole originariamente erano:
 - Il 4,78% abitazioni;
 - Il 0,11% caserme;
 - L' 87,44% scuole;
 - Il 6,60% edifici storici;
 - L' 1,08% altra destinazione d'uso.

Inoltre, all'anno di costruzione degli edifici è associato il deficit strutturale degli stessi: infatti gran parte delle scuole esistenti risulta costruita priva dell'idoneità statica e con un livello di sicurezza sismica non allineato agli standard attuali, oggi stabiliti dalle norme tecniche per le costruzioni emanate dal Ministero delle Infrastrutture con D.M. 14 gennaio 2008.

Valutando infatti le epoche di costruzione è possibile ritrovare quasi tutte le tecniche costruttive: costruzione tradizionale, strutture miste con muratura portante e solai in cemento armato, strutture in cemento armato in opera o prefabbricato, strutture in acciaio.

La messa in sicurezza delle strutture, la buona vivibilità dell'ambiente scolastico, l'idoneità delle dotazioni e degli arredi sono essenziali per garantire il regolare svolgimento delle attività didattiche e amministrative. Da qui la necessità di opportuni interventi urgenti di ristrutturazione mirati sia a migliorare la messa in sicurezza che all'adeguamento antisismico.

- Lo stato delle strutture
 - Il 10,14% è costruito secondo criteri antisismici;
 - Il 48,56 % possiede il certificato di collaudo statico;
 - Il 56,05 % possiede il certificato di idoneità statica;

- Il 57,74 % possiede il certificato di agibilità;
- Il 69,79% possiede il certificato igienico-sanitario;
- Il 35,41 % possiede il certificato prevenzione incendi;
- Il 51,82 % possiede scale di sicurezza;
- Il 90,07 % possiede porte antipanico;
- Il 95,07 % ha effettuato prove di evacuazione;
- Il 79,59% ha gli impianti elettrici a norma;
- Il 79,35% possiede requisiti accessibilità;
- Il 14,37% ha affrontato interventi per eliminazione barriere architettoniche.

Un'indagine, compiuta dal Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca sull'applicazione della D.Lgs. 626/1994, su un campione di 9.590 istituzioni scolastiche su 10.824, risulta chiaro come la situazione delle scuole è ancora distante dai parametri normativi in materia di sicurezza e salubrità nei luoghi di lavoro.

Ma grazie ad un'attenta verifica dello stato di fatto si riscontra un incremento delle certificazioni di agibilità statica degli edifici e nelle certificazioni di agibilità igienico-sanitaria, così come aumenta la cultura delle esercitazioni per la sicurezza, con le prove di evacuazioni. Ma sono ancora tante le scuole che hanno ancora bisogno di manutenzione urgente, considerando anche il fatto che il patrimonio edilizio è costituito da più della metà degli edifici costruito ante legge n. 64/1974.

La situazione riguardante gli edifici scolastici risulta essere stabile, con un lieve margine di miglioramento per ciò che riguarda gli interventi di manutenzione, mentre permane lo stato di rischio in cui si trovano le scuole, sia per pericoli interni che per la vicinanza a fonti di inquinamento esterne.

- Altre condizioni degli edifici scolastici
 - L'12,57% degli istituti è collocato in strutture nate con altre destinazioni d'uso;
 - L'6,24% degli edifici scolastici sono in affitto;
 - L'8,89% degli istituti è stata certificata la presenza di amianto;
 - Il 3,83% degli istituti vi è il sospetto della presenza di amianto;
 - L'8,93% ha subito bonifiche da amianto negli ultimi due anni;
 - Il 50,13% degli edifici si trova in zone con rischio sismico;
 - Il 8,41% degli istituti è soggetto a rischio vulcanico;
 - Il 8,89% degli edifici si trova in zone con rischio idrogeologico.

Tiene unita tutta la Penisola, invece, il problema di carenza di strutture dedicate allo sport, di cui ancora oggi sono sprovviste il 45% delle scuole.

▪ Servizi messi a disposizione delle istituzioni scolastiche

- Il 74,27% possiede aree verdi e giardino;
- Il 55,11% possiede palestre;
- Il 23,07% possiede una cucina interna .

3.4.3. Condizione energetica degli edifici scolastici e relativi consumi

L'edilizia scolastica esistente risulta una quota molto maggiore rispetto agli edifici scolastici di nuova costruzione e, come noto, è responsabile della maggior parte dei consumi energetici. Se, infatti, ormai è possibile affermare che le scuole di nuova costruzione rispettino, in buona parte, i requisiti di sostenibilità e di risparmio di risorse, non può essere affermato altrettanto in merito agli edifici esistenti.

Il campione di edifici analizzato dai rapporti sopracitati, è realmente significativo della situazione del patrimonio scolastico sia per la numerosità del campione che per la collocazione geografica delle scuole. Inoltre nella maggior parte dei casi si sono evidenziati non solo problemi comuni (scarsità di isolamento, vetri da sostituire, impianti da riadattare, ecc.), ma si sono pure rese evidenti le differenze tra i singoli casi. Gli edifici scolastici italiani risalenti al trentennio 1950-1980, sono stati realizzati privi di alcuna norma sul risparmio; quelli costruiti nel periodo che va dagli anni Ottanta ai giorni nostri sono stati realizzati secondo i criteri definiti dalla legge n.373/1976, che risultano attualmente del tutto insoddisfacenti. Con l'emanazione della legge n. 10/1991, le scuole, come tutti gli edifici pubblici nuovi o in ristrutturazioni edilizie, avrebbero dovuto integrare il risparmio energetico e le fonti rinnovabili negli edifici dichiarati interventi di pubblica utilità e di pubblico interesse, ma la mancata applicazione della norma in tutto il territorio nazionale ha portato ad un parco edilizio scolastico con un basso standard qualitativo rispetto alla media europea.

La caratteristica energetica fondamentale di un edificio scolastico è l'utilizzo spesso parziale della struttura, in termini di orario e spesso di volumi. Gli edifici scolastici hanno quasi sempre una morfologia poco compatta e di conseguenza gli impianti di riscaldamento spesso non sono ben dimensionati, senza trascurare anche la presenza

di grosse lacune dal punto di vista dell'isolamento termico delle murature e delle pareti vetrate.

Il consumo complessivo di energia attribuibile al settore scolastico ammonta a circa un milione di Tep/anno, a cui corrisponde una spesa di circa 750 milioni di euro all'anno [10]. Si stima che il potenziale di risparmio energetico facilmente conseguibile si aggiri attorno al 20% del totale, ovvero 200.000 Tep/anno.

Le utenze principali responsabili dei consumi maggiori di energia negli edifici scolastici sono coinvolte tutte:

- Illuminazione
- Ventilazione
- Riscaldamento
- Raffreddamento e condizionamento

Gli studi condotti sugli edifici presi a campione, affermano anche che dei consumi energetici complessivi delle scuole italiane sono ripartiti per il 77% circa per il riscaldamento e il 23% per i consumi di energia elettrica. Le scuole secondarie superiori rappresentano il 27% circa dei consumi complessivi.

Il consumo medio di energia primaria relativa alla climatizzazione invernale di un edificio scolastico è di circa 290 kWh/mq anno, mentre il fabbisogno medio di energia elettrica per illuminazione è di circa 70 kWh/mq anno. La conferma di questi valori viene esaminando la struttura edilizia: la scarsa trasmittanza media della struttura edilizia è circa 1,25 W/(mq K), e le tipologie di impianto installati, mostra un prestazione scadente. Infatti sono stati riscontrati casi in cui gli impianti per la produzione e la distribuzione hanno bassi rendimenti, come ad esempio quando si è in presenza di sovrariscaldamento degli ambienti o di elevate dispersioni di calore.

Quindi, vi sono edifici nei quali è evidente la necessità di un'azione sull'involucro (vetri con trasmittanze più basse rispetto alla media, nei quali è stato possibile effettuare un'opera di riqualificazione edilizia) o sull'impianto (sostituzione dei generatori o migliorie impiantistiche che in più di qualche caso hanno consentito di ottenere rendimenti medi stagionali superiori al valore limite di legge).

In tutti questi casi si ha un impiego di risorse energetiche maggiore di quello necessario, con effetti negativi sul comfort degli utenti e uno spreco di denaro.

All'elevato livello dei consumi è in via di sviluppo una politica che mostra la tendenza a lavorare in chiave sostenibile sull'edilizia ed i suoi servizi scolastici, ma purtroppo rimane ancora troppo debole. Si rende così necessario la condivisione di protocolli per ottenere un elevato grado di qualità ambientale e di sicurezza degli edifici scolastici su tutto il territorio italiano.

Dai dati del 2010 risulta positivo il trend che riscontriamo nel corso degli anni rispetto all'adozione di pratiche relative al risparmio energetico: in quattro anni, infatti, il dato delle scuole che utilizzano fonti di illuminazione a basso consumo è passato dal 46,50% a più del 63% e quelle che utilizzano energia da fonti rinnovabili è raddoppiato fino a più dell'8%.

- Politiche energetiche innovative in atto
 - Il 63,92% degli edifici utilizzano fonti di illuminazione a basso consumo;
 - Il 24,44% utilizza altre forme di risparmio energetico, quali l'uso di valvole termostatiche, strumenti per la regolazione climatica, cellule fotoelettriche ecc;
 - Il 8,24 utilizza fonti di energia rinnovabili.

3.4.3. Gestione da parte degli Enti preposti

Dal punto di vista gestionale, come abbiamo visto nel capitolo precedente, gli edifici scolastici afferiscono al patrimonio di competenza delle Amministrazioni Locali (Comuni o Province in relazione al grado di istruzione) a cui è richiesto di provvedere al mantenimento di requisiti qualitativi e prestazionali tali da garantirne sicurezza ed efficienza. Con la legge n.23/1996, "Norme per l'edilizia scolastica", sono state introdotte una serie di misure finalizzate sia alla realizzazione di nuove strutture scolastiche che alla riqualificazione e/o all'adeguamento del patrimonio esistente ad uso dei Comuni e delle Province, a cui, come già detto, spetta la gestione ed il rinnovamento del patrimonio edilizio scolastico e pertanto, dal punto di vista della programmazione e progettazione degli interventi con riferimento principale alla Normativa sui Lavori Pubblici [11].

Purtroppo, nella prassi quotidiana, gli Enti Gestori non sono sempre in grado di governare il patrimonio edilizio scolastico attraverso opportune logiche di programmazione a medio-lungo termine e si riscontra, pertanto, una diffusa cultura

della "somma urgenza", tale per cui vengono eseguiti esclusivamente interventi d'emergenza: più del 30% necessita di interventi di manutenzione urgenti, spesso non solo per la vetustà del manufatto, ma anche per la scarsa qualità e funzionalità con le quali sono costruite le scuole più recenti. Anche per questa undicesima edizione del rapporto, i comuni capoluogo di provincia che hanno restituito i dati relativi al 2009, ci raccontano che ancora circa un 36% degli edifici necessita di interventi di manutenzione urgenti.

Negli ultimi cinque anni c'è stato, infatti, un incremento del 62,82% sugli interventi di manutenzione e le amministrazioni hanno cercato di mettere in regola più scuole possibili sul piano delle certificazioni; anche se il 38,14% delle strutture ha, ancora, bisogno di manutenzione.

- La manutenzione degli edifici scolastici
 - Il 36,10% degli edifici necessitano di interventi di manutenzione urgente;
 - Il 56,00% degli edifici ha goduto nell'ultimo quinquennio di manutenzione straordinaria.

- Investimento medio per interventi di manutenzione
 - 40.961,54 € per manutenzione straordinaria (media per singolo edificio);
 - 10.449,20 € per manutenzione ordinaria (media per singolo edificio).

3.5. Conclusioni

In Italia la situazione delle strutture scolastiche mostra tutte le difficoltà e le carenze della mancanza di progettualità e pianificazione nel settore, anche se esistono alcuni eccellenti esempi di architettura scolastica. Inoltre quello delle risorse, rimane uno dei nodi caldi da affrontare.

Le regioni che storicamente hanno capoluoghi di provincia fra le prime posizioni delle graduatorie per la qualità dei servizi e dell'edilizia scolastica, come il Piemonte, la Toscana e l'Emilia Romagna, sono anche quelle che hanno fondi raddoppiati e triplicati rispetto alla media nazionale di investimenti riguardanti la manutenzione degli edifici scolastici. Infatti, la differenza tra Nord e Sud è sostanziale nell'investimento medio di manutenzione straordinaria che denota un diverso approccio politico-amministrativo nella gestione complessiva dell'edilizia scolastica: si passa infatti dai 53.472 euro al Nord, ai 27.193 euro al Centro per arrivare ai 22.482 investiti al Sud.

Nel settentrione inoltre, c'è una maggiore attenzione per la manutenzione ordinaria, con una media di investimento dei comuni doppia rispetto a quella del meridione, ovvero 12.003 euro ad edificio contro i 4.902 del Sud.

Interessante rimane invece, il trend positivo che riscontriamo nel corso degli anni rispetto all'adozione di pratiche relative al risparmio energetico, anche se ancora piuttosto timido rispetto alle opportunità in campo: in quattro anni, infatti, il dato delle scuole che utilizzano fonti di illuminazione a basso consumo è passato dal 46,50% a più del 63% e quelle che utilizzano energia da fonti rinnovabili è raddoppiato fino a più dell'8%.

Note

- [1] Per riforma Gentile s'intende la riforma scolastica varata in Italia nel 1923 con una serie di atti normativi (i regi decreti legislativi 31 dicembre 1922, n. 1679, 16 luglio 1923, n. 1753, 6 maggio 1923, n. 1054, 30 settembre 1923, n. 2102 e 1 ottobre 1923, n. 2185), ad opera del ministro dell'Istruzione del governo Mussolini, il filosofo neoidealista Giovanni Gentile. La riforma Gentile è stata alla base del sistema scolastico italiano, mantenuta dopo la caduta del fascismo stesso, fino al 2010 (Riforma Gelmini);
- [2] "una scuola bella, sana, chiare e luminosa, pulitissima creerà nel bambino un senso naturale dell'igiene, una spontanea predilezione per l'ordine e la pulizia, una decisiva impronta di civiltà...", frammento dell'articolo di G.Pagano, L'asilo Infantile di Como, su Costruzioni-Casabella n.150 giugno 1940;
- [3] Le teorie elaborate nella prima metà del Novecento da autorevoli pedagogisti come F.Froebel, M.Montessori e R.Steiner, in cui si suggerisce la sostituzione della scuola per ascoltare con la scuola per scoprire, sperimentare, come via per sviluppare la personalità dell'individuo, assumono grande importanza e trovano applicazione in numerose scuole in cui l'architettura ne viene fortemente influenzata;
- [4] Per "unità funzionale" si intende un aggregato di aule distribuito senza corridoi né portici;
- [5] Nel 1968 è realizzato il Primo Censimento Nazionale dell'edilizia scolastica;
- [6] D.M. 18 dicembre 1975, norme per l'edilizia scolastica;
- [7] La legge finanziaria n.448/2001 ha azzerato i finanziamenti per i piani di edilizia scolastica;
- [8] Rapporto di Legambiente "Ecosistema Scuola 2011" sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi. La ricerca è stata condotta mediante l'invio di un questionario alle amministrazioni comunali dei capuoghi di provincia, responsabili per la qualità della scuola dell'obbligo;
- [9] Dal 2002 ad oggi Cittadinanzattiva ha monitorato 1.529 edifici scolastici e raggiunto ogni anno, con la Giornata nazionale della sicurezza scolastica (25 novembre), circa 10mila scuole. L'VIII Rapporto nasce dall'Indagine condotta su un campione di 82 edifici scolastici di ogni ordine e grado (dall'infanzia alla secondaria di II grado) appartenenti ad 11 Province di 8 Regioni: Piemonte, Lombardia, Marche, Umbria, Lazio, Campania, Calabria e Sicilia;
- [10] ENEA - Fire, Guida per il contenimento della spesa energetica nelle scuole;
- [11] Legge 11 febbraio 1994 n. 109 e successive modifiche ed integrazioni.

**PARTE QUARTO: Politiche e azioni per la riqualificazione
del patrimonio edilizio scolastico**

INDICE CAPITOLO

4.1. Verso un uso razionale dell'energia nelle scuole	77
4.1.1. Principali normative sull'efficienza energetica	79
4.1.2. Politiche e programmi esteri sull'efficienza energetica nelle scuole	82
4.1.3. Politiche e programmi sull'efficienza energetica nelle scuole italiane	86
4.2. La riqualificazione del patrimonio edilizio scolastico	92
4.2.1. Protocolli per interventi di riqualificazione delle strutture scolastiche	95
4.2.2. Repertorio dei Best Practices internazionali e nazionali	99
4.2.3. Riflessioni conclusive	113

4.1. Verso un uso razionale dell'energia nelle scuole

"Siamo arrivati ad un punto della storia in cui dobbiamo regolare le nostre azioni verso il mondo intero, tenendo conto innanzitutto delle loro ripercussioni sull'ambiente" UNCHE, United Nations Conference on Human Environment), Stoccolma 1972

Negli ultimi trent'anni, a fronte del degrado dello stato di salute del pianeta e del crescente inquinamento nelle città, la questione "ambiente" è divenuta il punto centrale dei dibattiti della comunità internazionale, la quale ha progressivamente riconosciuto il valore dell'ambiente naturale, preoccupandosi di stabilire linee programmatiche da seguire per garantirne la salvaguardia ed arginarne il suo deterioramento.

Inizialmente l'approccio all'ambiente ha avuto una connotazione prevalentemente settoriale e riparatoria, volta perlopiù al rimedio del danno prodotto. Solo a partire dai primi anni '90, durante la Conferenza delle Nazioni Unite su Ambiente e Sviluppo (UNCED, United Nations Conference on Environment and Development), tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992 [1], si è fatta strada una nuova prospettiva improntata su soluzioni in grado di rispondere all'esigenza di un nuovo approccio, più sensibile alla dimensione sociale, e su nuovi strumenti, attraverso i quali avviare un processo di sviluppo sostenibile, nella consapevolezza della stretta interconnessione esistente tra ambiente e sviluppo.

Anche il Governo italiano, a partire dagli stessi anni, ha cominciato a prendere coscienza della necessità di promuovere nuove politiche ambientali rivolte soprattutto al miglioramento delle condizioni di vita dei cittadini e alla mitigazione dell'impatto delle attività edilizie e produttive sull'ecosistema urbano. Questo ha portato a nuove politiche ambientali, supportate dal recepimento di alcune normative di indirizzo europeo e nazionale che hanno contribuito alla formazione di strumenti e progetti per il controllo dell'attività edilizia in chiave energetica e ambientale. Questi strumenti normativi, raccogliendo le indicazioni nazionali soprattutto in termini di rendimento energetico degli edifici e di conseguenza sulla gestione energetica dell'attività edilizie, stanno superando il tradizionale approccio all'attività edilizia basato sul controllo della sicurezza statica, della salubrità e della verifica analitica degli standard dimensionali.

La riduzione degli impatti ambientali e in particolare la riduzione delle emissioni di gas, è fortemente legata alla costruzione di edifici a basso consumo energetico e soprattutto alla riqualificazione degli edifici esistenti che attualmente risultano essere troppo energivori, a causa sia delle tecnologie utilizzate ormai superate, sia alla inadeguata gestione da parte di utenti e Pubbliche Amministrazioni.

In Italia solo una limitatissima quota dell'enorme patrimonio edilizio, e in particolare quello pubblico, è stato realizzato dopo il 1991, subendo qualche forma di verifica degli aspetti connessi alle prestazioni energetiche in fase di utilizzo, mentre oltre un terzo dello stock immobiliare è stato realizzato prima del 1961.

Il recupero bioclimatico del ricco patrimonio edilizio del nostro territorio vuole garantire edifici energeticamente efficienti con conseguente riduzione dei costi di esercizio, di gestione e di manutenzione del manufatto, quindi un conseguente contenimento delle emissioni di sostanze nocive, in conformità alle prescrizioni indicate nel Protocollo di Kyoto e proposte nell'Agenda 21 [2] e in conformità alle Direttive europee.

Infatti, il settore dell'edilizia rappresenta il 40% del fabbisogno energetico dell'Unione Europea, ma allo stesso tempo l'edilizia può rappresentare un enorme potenziale di risparmio energetico applicando standard di efficienza energetica agli edifici pubblici e privati, sia in edifici di nuova costruzione che in quelli ristrutturati.

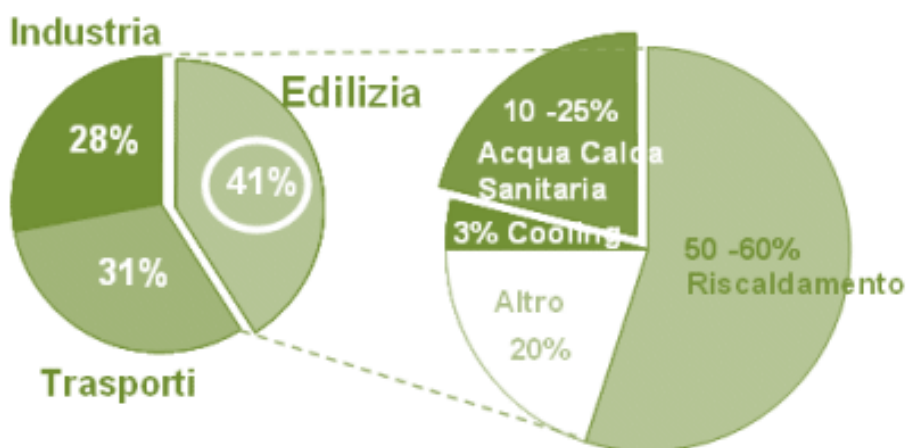


FIG.1 - Fabbisogno energetico dell'Unione Europea per settori e usi finali, 2009 [fonte: ENEA];

Strumento indispensabile è la certificazione energetica degli edifici, che è obbligatoria a partire dal 2009, e che fornisce degli indicatori di prestazione energetica che consentano di comparare gli edifici in condizioni standard, garantendo una "foto" della situazione esistente dell'immobile: può pertanto essere uno stimolo al risparmio energetico diventando un mezzo per orientare le strategie di incentivazione dell'efficienza energetica [3].

In particolare le strutture edilizie pubbliche dovrebbe porsi come "buon esempio" e riferimento comportamentale per i cittadini, come evidenziato dalle direttive comunitarie 31/2010/CE, 92/2001/CE e 32/2006/CE. Nel caso qui studiato, gli edifici scolastici che, per il ruolo di modello culturale e architettonico che ricoprono, come abbiamo visto nei capitoli precedenti, dovrebbero stimolare la collettività verso atteggiamenti virtuosi e la diffusione della cultura dell'efficienza energetica attraverso esempi pratici, dimostrando le possibilità tecniche e creando incentivi per il mercato a favore di quelle innovazioni che possono essere applicate al settore privato.

E proprio in quest'ottica, diventa particolarmente importante promuovere l'efficienza energetica degli edifici scolastici; le azioni di controllo dei consumi, l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, di materiali e tecniche non inquinanti e non nocivi dovrebbero essere finalizzate, quindi, alla sostenibilità ambientale per una nuova cultura ecologica dell'edificio che diventa, indirettamente e parallelamente, una nuova cultura del costruire per le generazioni future.

4.1.1. Principali norme sull'efficienza energetica

Il contesto normativo è costituito in primis da fonti di diritto comunitario, poi seguono le leggi nazionali che recepiscono le direttive europee sull'efficienza energetica. Nello specifico, nella normativa emanata, i riferimenti all'edilizia esistente regolano e definiscono politiche di intervento e mezzi finanziari messi a disposizione per l'espletamento di interventi di recupero variamente articolati in riferimento come adeguamento, riqualificazione, manutenzione e retrofit. Le normative emanate regolano in maggior parte la sfera degli interventi necessari per l'adeguamento delle strutture scolastiche sia ai parametri di igiene e di sicurezza, trasferendo normative per gli edifici pubblici alle scuole in quanto tali sia alle nuove esigenze di dotazione impiantistica.

▪ Legislazione europea

- DIRETTIVA 2010/31/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 - sulla prestazione energetica nell'edilizia;
- DIRETTIVA 2006/32/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 5 aprile 2006 - L'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e recante abrogazione della direttiva 93/76/CEE del Consiglio;
- Direttiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 6 luglio 2005 - Relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia e recante modifica della direttiva 92/42/CEE del Consiglio e delle direttive 96/57/CE e 2000/55/CE del Parlamento europeo e del Consiglio;
- Direttiva 2004/8/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 febbraio 2004 - Promozione della cogenerazione basata su una domanda di calore utile nel mercato interno dell'energia e che modifica la direttiva 92/42/CEE;
- Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 - Rendimento energetico nell'edilizia;
- Direttiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 27 settembre 2001 - Promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità;

▪ Legislazione nazionale

- Legge 23 luglio 2009, n.99 - Disposizioni per lo sviluppo e l'internazionalizzazione delle imprese, nonché in materia di energia - Stralcio;
- D.M. Sviluppo economico 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici;
- D.P.R. 2 aprile 2009, n.59 - Rendimento energetico in edilizia - Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del Dlgs 192/2005;
- D.L. 29 novembre 2008, n.185 - Misure urgenti per il sostegno a famiglie, lavoro, occupazione e impresa e per ridisegnare in funzione anti-crisi il quadro strategico nazionale;
- D.M. Ambiente 25 novembre 2008 - Fondo rotativo per Kyoto - Modalità di erogazione dei finanziamenti a tasso agevolato;

- D.Lgs. 30 maggio 2008, n.115 - Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE;
- D.M. Economia 7 aprile 2008 - Disposizioni in materia di detrazione per le spese di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente - Modifiche al D.M. 19 febbraio 2007;
- D.M. Sviluppo Economico 11 marzo 2008 - Valori limite di fabbisogno di energia primaria annuo e di trasmittanza termica - Articolo 1, comma 24, lettera a), della legge 24 dicembre 2007, n. 244;
- Legge 24 dicembre 2007, n. 244 - Legge Finanziaria 2008. Energie rinnovabili e efficienza energetica;
- D.M. Sviluppo Economico 21 dicembre 2007 - Efficienza energetica degli usi finali di energia, risparmio energetico e sviluppo delle fonti rinnovabili - Revisione e aggiornamento dei D.M. 20 luglio 2004;
- D.M. Economia 19 febbraio 2007 - Disposizioni in materia di detrazioni per le spese di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente - Articolo 1, comma 349, legge Finanziaria 2007 - Testo consolidato;
- D.Lgs. n.311 del 29 dicembre 2006 - Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/ce, relativa al rendimento energetico nell'edilizia;
- Legge 27 dicembre 2006, n. 296 - Legge Finanziaria 2007. Efficienza energetica;
- D.M. 22 dicembre 2006 - Approvazione del programma di misure ed interventi su utenze energetiche pubbliche, ai sensi dell'articolo 13 del decreto del Ministro delle attività produttive, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio 20 luglio 2004;
- D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 192 - Attuazione della direttiva 2002/91/Ce del Parlamento europeo e del Consiglio sul rendimento energetico nell'edilizia - Testo consolidato;
- D.M. Attività Produttive 20 luglio 2004 - Dlgs 164/2000 - Risparmio energetico e sviluppo delle fonti rinnovabili - Obiettivi nazionali - Testo consolidato;

- Legge 9 gennaio 1991, n. 10 - Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia;
- Legge 9 gennaio 1991, n. 9 - Norme per l'attuazione del nuovo Piano energetico nazionale: aspetti istituzionali, centrali idroelettriche ed elettrodotti, idrocarburi e geotermia, autoproduzione e disposizioni fiscali;

In merito alle tematiche legate al risparmio di risorse e alla produzione di energie rinnovabili non esiste alcuna specifica normativa applicabile alle strutture scolastiche che fissi obiettivi, standard e protocolli di intervento.

In quanto patrimonio edilizio esistente, in materia di rendimento energetico, sono auspicabili interventi in linea con il D.Lgs. 311/06 e con la nuova direttiva europea 2010/31/CE, nei quali sono stati stabiliti i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici esistenti e non solo, al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica.

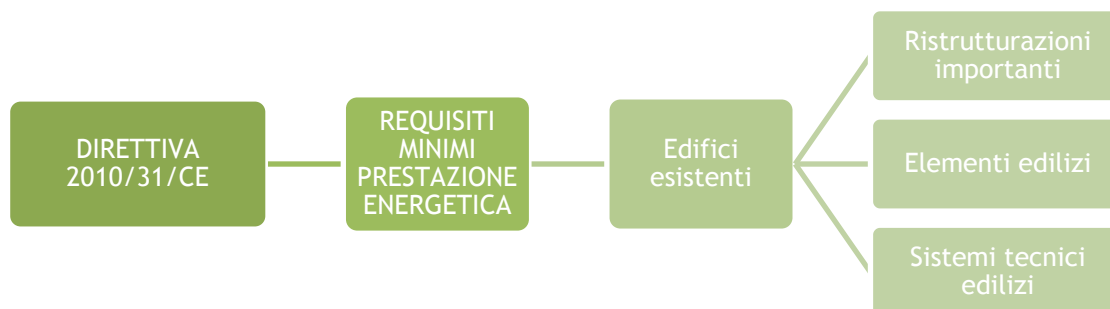


FIG.2 - Schema delle novità introdotte dalla direttiva 2010/31/CE per gli edifici esistenti [4];

4.1.2. Politiche e progetti esteri sull'efficienza energetica nelle scuole

Le scuole, come è stato detto in precedenza, rappresentano un settore strategico per lo sviluppo della consapevolezza dei giovani sul ruolo dell'energia nel futuro e per l'applicazione di progetti pilota sull'efficienza ed il risparmio energetico e l'uso di energie rinnovabili applicata ad una tipologia edilizia estremamente diffusa. Intervenire su questi edifici pubblici specialistici, direttamente gestiti dalle

Pubbliche Amministrazioni, è significativo poiché richiedono elevati standard e precise prestazioni di comfort energetico, senza dimenticare che possono intervenire sulla crescita della consapevolezza all'uso razionale dell'energia dei futuri cittadini europei.

Nel tentativo di restituire un quadro sufficientemente chiaro della situazione attuale, vengono esaminate di seguito alcune esperienze di riqualificazione energetica nell'edilizia scolastica, che negli ultimi anni hanno coinvolto numerosi Paesi.

▪ Stati Uniti



Negli Stati Uniti sono stati stanziati per la modernizzazione delle scuole 6,4 milioni di dollari per l'adeguamento energetico degli edifici scolastici e l'ammodernamento delle scuole [5]. Le scuole sono state considerate infatti parte integrante del rilancio dell'economia americana e della lotta contro il riscaldamento globale oltre che un veicolo fondamentale per la creazione di posti di lavoro

verdi. Un recente rapporto dell'American Federation of Teachers stima che la completa ristrutturazione delle scuole del Paese avrà un costo di almeno 255 miliardi di dollari [6].

I principali progetti seguono le indicazioni previste dall'Energy Star program, il piano del Dipartimento dell'Energia Usa e dell'Agenzia di Protezione Ambientale. In particolare il Dipartimento dell'Energia statunitense ha avviato l'EnergySmart Schools, un programma didattico e di consulenza che fornisce assistenza alle scuole su 4 fronti: pianificazione, finanza, costruzione e gestione.



ALLIANCE TO SAVE ENERGY'S
Green Schools Program
Empowering Schools Through Energy Efficiency

Oltre a questo ne seguono altri, come Alliance to save energy's green schools program

promosso dall'ente no-profit Alliance to Save Energy, progetto, che ha coinvolto scuole della Pennsylvania, di New York e di Washington ed ha permesso agli istituti partecipanti di tagliare i costi energetici di quasi il 15%. L'iniziativa oltre a un notevole risparmio, ha dato la possibilità agli studenti di essere direttamente

coinvolti nel processo di audit energetico del loro edificio, facendo capire loro come risparmiare energia con piccoli accorgimenti.



Inoltre negli USA una delle organizzazioni che più si è adoperata per l'efficienza energetica degli edifici è la CEE, Consortium for Energy Efficiency, che per aiutare le scuole negli Usa ha istituito il programma Schools for Energy Efficiency (SEE), progetto per favorire un uso più

razionale delle risorse energetiche, che ha portato un risparmio di 14 milioni di dollari in 4 anni, pari a circa il 12% su base annuale.

▪ Europa

In Europa una forte azione di sensibilizzazione al risparmio energetico è stata



improntata a livello comunitario con il programma IEE, Intelligent Energy Europe

[7], parte del CIP, Programma Quadro dell'Unione Europea per la Competitività e l'Innovazione. Il programma IEE, istituito nel 2003, mira a promuovere l'efficienza energetica, l'uso razionale delle risorse e l'utilizzo di fonti di energia nuove e rinnovabili, attraverso il finanziamento di bandi e progetti [8] nei singoli paesi dell'unione europea.

In riferimento all'efficienza energetica scolastica va ricordata la creazione del portale Energy is Our Future, lanciato da European Schoolnet nel 2006, che supporta l'educazione al risparmio energetico nelle scuole e stimolare negli studenti un comportamento più ecologico.

Gli Stati membri hanno incominciato ad incorporare gli obiettivi dello sviluppo sostenibile nelle rispettive politiche ambientali nazionali in misura diversa. Ciò in parte rispecchia i loro diversi approcci alla politica ambientale in genere e la misura in cui l'applicazione della politica ambientale è decentrata a livello regionale o comunale.



Nel Regno Unito, il raggiungimento di standard di elevata efficienza energetica nelle scuole è parte fondamentale del NDS, New Deal for Schools, sottolineato da una serie di linee guida stilate per costruire o trasformare le scuole secondo criteri eco-sostenibili (Building Bulletin 87). Data la forte spesa del settore energetico nelle scuole [9], si è promosso l'iniziativa Eco-Schools, che ha prodotto un notevole repertorio di best practices.



La Germania nel corso del 2007 ha avviato il progetto Niedrigenergiehaus im Bestand für Schulen, elaborato da DENA, Deutsche Energie Agentur, volto a elaborare dei progetti di

riqualificazione su 70 scuole tedesche, che costruzioni vanno dal 1950 al 1990, con la particolare presenza di edifici storici, testando nuovi standard e tecnologie per il risparmio energetico, e offrendo numerose agevolazioni a coloro che hanno preso parte al progetto.

Nella vicina Polonia, per raggiungere adeguati standard di efficienza, l'ICSC, International Centre for Sustainable Cities, ha attuato un programma di risparmio energetico utilizzando l'ESCO, Energy Service Companies, che valuta la domanda di energia degli edifici scolastici e considera le misure di risparmio attuabili. Questo processo ha permesso di riqualificare più di 250 scuole nella zona di Katowice con costi contenuti.



In Francia la lotta ai cambiamenti climatici e l'educazione al risparmio energetico negli edifici scolastici ha visto impegnata la società energetica EDF, che con il suo progetto L'Ecole de l'Energie è stato creato un sito internet per spiegare ai più piccoli come nasce l'energia e come utilizzarla senza sprechi.

4.1.3. Politiche e progetti sull'efficienza energetica nelle scuole italiane

Negli ultimi 2 anni in Italia l'attenzione si è rivolta verso la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente, data la sua situazione di emergenza. La corsa al risparmio e all'efficienza energetica è stata facilitata da notevoli vantaggi quali, in primis, la possibilità di sgravi fiscali fino al 55% delle spese sostenute, che ha portato anche a far decollare il fotovoltaico grazie agli incentivi previsti con il Conto energia [10]. Le pubbliche amministrazioni sono state il volano di importanti interventi che, attraverso bandi ministeriali o locali, hanno permesso di portare nei palazzi pubblici e soprattutto nelle scuole impianti fotovoltaici e solare termico. Per rendere più consapevoli le scuole dell'importanza dell'energia solare e per accelerare il passaggio all'energia rinnovabile sono partiti nell'ultimo anno anche interessanti progetti che hanno coinvolto aziende private.

Di seguito seguono i principali progetti finanziati da privati e aziende nell'ambito dell'efficienza energetica negli edifici scolastici:

- Eco-generation, Scuola amica del clima



Progetto nato nel 2010 dalla lunga collaborazione tra Edison e Legambiente, impegnate insieme in 10 istituti scolastici italiani sui temi del risparmio energetico e dell'utilizzo delle energie rinnovabili, per ridurre sprechi energetici e i costi sul bilancio già in bilico di molti istituti scolastici, e soprattutto per limitare l'impatto ambientale.

Dalle analisi effettuata tra gennaio e febbraio 2010, emerge la necessità di intervenire su tutte le strutture analizzate per ottenere un risparmio dei consumi del 50/70% rispetto alla situazione attuale. Nelle scuole campione, infatti, risulta scarso l'isolamento termico e la dispersione media di calore negli istituti analizzati è molto, con un'altissima concentrazione di CO2 nelle aule. Partendo da queste analisi, soprattutto attraverso di quelle termografiche, le scuole promuoveranno azioni specifiche e trasferiranno competenze alle scuole del proprio territorio su risparmio energetico, edilizia

sostenibile, fonti rinnovabili, diventando in questo modo veri e propri presidi ambientali. Da questo nascerà un decalogo condiviso delle buone pratiche per il risparmio energetico e per il miglioramento della vivibilità dell'ambiente classe/scuola. Tra gli obiettivi della campagna vi è la creazione condivisa di un marchio di sostenibilità degli edifici scolastici.

▪ MY FUTURE - Energia e riuso a scuola



Progetto avviato dal 2008 e promosso da Vodafone Italia, in collaborazione con Enel e Legambiente, che prevede di riutilizzare il materiale dei vecchi telefonini dismessi per realizzare impianti fotovoltaici. Finora ha permesso di finanziare l'installazione di impianti fotovoltaici, realizzati da Enel, in sei scuole individuate con il supporto di Legambiente. L'obiettivo è di finanziare l'installazione di pannelli su venti scuole

entro il 2011.

▪ Scuole per Kyoto



Progetto avviato dal 2005 e promosso da Kyoto Club, ha come obiettivo la promozione e diffusione della conoscenza e dell'approfondimento delle tematiche energetiche e ambientali, con le loro connessioni e interdipendenze, tra i giovani delle scuole. Il progetto punta a focalizzare problemi e a proporre soluzioni pratiche, con una particolare attenzione all'efficienza energetica, all'uso delle fonti rinnovabili, alla

mobilità sostenibile e al ciclo degli prodotti e dei rifiuti. I progetti saranno premiati con la realizzazione parziale o integrale degli interventi suggeriti dagli studenti, compatibilmente con il contributo reso disponibile da Enti e altre istituzioni pubbliche coinvolte nel programma (Comune, Provincia, Regione,

Ministero dell'Ambiente) e la disponibilità di meccanismi di incentivazione nazionali (titoli di efficienza energetica, conto energia, ecc.). Inizialmente dedicato alle scuole superiori, il progetto è stato recentemente ampliato alle scuole di grado minore.

A livello nazionale sono stati predisposti dal Ministero dell'Ambiente e dell'Istruzione appositi piani di sviluppo delle rinnovabili negli enti pubblici e nelle scuole. In particolare di seguito sono riportati i principali programmi a livello nazionale per rifinanziare interventi per un uso più razionale dell'energia e sostenere l'energia solare, tralasciando le numerose e valide esperienze di carattere locale.

- Ambienti per l'apprendimento - Riqualificazione energetico degli edifici scolastici
Bando promosso dal Ministero dell'Istruzione e finanziato dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR) con 220.000.000 di euro, a partire dal 2010, rivolti alle istituzioni scolastiche statali di Primo e Secondo Ciclo localizzate nelle Regioni Calabria, Campania, Puglia e Sicilia, per progetti finalizzati alla riqualificazione degli edifici scolastici in relazione all'efficienza energetica, alla messa a norma degli impianti, all'abbattimento delle barriere architettoniche, alla dotazione di impianti sportivi e al miglioramento dell'attrattività degli spazi.
- Energie rinnovabili e risparmio energetico - Interventi di efficientamento energetico degli edifici e utenze energetiche pubbliche o ad uso pubblico
Bando promosso dal Ministero dell'Ambiente e finanziato dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR) con 20.000.000 di euro, a partire dal 2010, rivolti alle istituzioni scolastiche statali di Primo e Secondo Ciclo localizzate nelle Regioni Calabria, Campania, Puglia e Sicilia, per progetti finalizzati all'efficientamento energetico degli edifici scolastici, aventi carattere esemplare e dimostrativo ed un elevato grado di replicabilità a livello nazionale.
- Audit - Attuazione analisi energetiche nel settore dei servizi e nella Pubblica Amministrazione
Bando promosso dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nel 2007 per il finanziamento¹ di attività di analisi energetiche (AUDIT) mirate alla definizione del potenziale risparmio energetico nel settore terziario e nella Pubblica Amministrazione. Queste attività, infatti, è

finalizzata a verificare l'efficienza dell'utilizzo dell'energia da parte del committente, attraverso la valutazione degli aspetti tecnici ed economici. L'obiettivo consiste nella individuazione e nella proposta di interventi di riqualificazione energetica mirati ed efficaci, con una conseguente riduzione dei costi legati all'approvvigionamento energetico.

▪ Il sole negli enti pubblici



Progetto avviato dal 2007 e promosso dal Ministero dell'Ambiente e rivolto a Pubbliche Amministrazioni ed Enti Pubblici, è finalizzato alla realizzazione di impianti solari termici per la produzione di calore a bassa temperatura realizzati su edifici pubblici prevedendo la formula del finanziamento tramite terzi con contributo pubblico concesso dal Ministero è pari al 50% dei costi ammissibili relativi all'impianto, incrementabile fino al 65% dei costi ammissibili nei casi in cui la quota dell'investimento a carico del soggetto proponente sia coperta mediante il finanziamento tramite terzi effettuato da una ESCO. Sono state destinate risorse pari a 10,3 milioni di euro ai quali con il Decreto n. 712/2008 della Direzione Generale Salvaguardia Ambientale sono aggiunti ulteriori 5 milioni di euro.

▪ Il sole a scuola



Iniziativa avviata nel 2007 e promosso dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e dall'ENEA, in collaborazione con il Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca, è un'iniziativa per la diffusione della conoscenza dell'uso sostenibile dell'energia e dell'impiego delle fonti rinnovabili rivolta alla scuola secondaria superiore.

Infatti, il programma, rivolto ai Comuni e alle Province proprietari di edifici ospitanti scuole medie inferiori o superiori, prevede il finanziamento di un impianto fotovoltaico e lo svolgimento di attività didattiche volte alla

sensibilizzazione e al coinvolgimento degli studenti alle tematiche delle energie rinnovabili e del risparmio energetico. I risultati comunicati dal Ministero dichiarano l'installazione di impianti fotovoltaici per una potenza pari a 1.200 kW, 1,6 milioni di kWh prodotti annualmente e la riduzione di 1.000/Ton di emissioni CO₂. La significativa presenza di progetti relativi ad edifici scolastici nel precedente programma, Tetti Fotovoltaici (2001-2004) ha suggerito l'avvio di una maggiore attività di sostegno e coinvolgimento dei docenti e degli studenti, a partire dagli Istituti Superiori che hanno installato o hanno interesse a installare impianti fotovoltaici. Fotovoltaico nell'architettura

Progetto avviato dal 2007 e promosso dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, è rivolto a Comuni capoluogo di provincia, a Comuni in cui vi sono territori facenti parti di aree naturali protette di valenza nazionale o regionale, a Province, a Università statali e ad Enti Pubblici di ricerca. L'incentivo è al 50% in conto capitale per la realizzazione di impianti fotovoltaici di taglia compresa tra 1 e 50 kWp, completamente integrati in complessi edilizi secondo criteri di replicabilità che risultino funzionali alle tipologie edilizie proprie del territorio e delle zone in cui verrà realizzato l'impianto stesso.

- **Tetti Fotovoltaici**



Progetto pluriennale avviato nel 2001 e promosso dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, con il supporto tecnico dell'enea, finalizzato alla promozione su tutto il territorio nazionale della tecnologia fotovoltaica, concedendo contributi a fondo perduto a soggetti pubblici e privati per la realizzazione di impianti fotovoltaici di piccola potenza (da 1 a 20 kW), installati negli edifici o su elementi di arredo

urbano e connessi alla rete elettrica di distribuzione nazionale.

Recentemente con il D.M. 6 agosto 2010, è stato avviato il programma per Energie rinnovabili e risparmio energetico, con interventi a sostegno della produzione di energia da fonti rinnovabili, nell'ambito dell'efficientamento energetico degli edifici e utenze energetiche pubbliche o ad uso pubblico all'interno del Programma Operativo Interregionale, che incentiva i progetti mirati all'efficienza energetica di edifici pubblici di Campania, Calabria, Puglia e Sicilia, per dare il buon esempio sul fronte dell'impatto ambientale: a beneficiare di interventi mirati alla realizzazione di nuovi impianti per lo sfruttamento di fonti rinnovabili - fotovoltaico, cogenerazione, biomasse, solare termico, geotermico - saranno infatti strutture pubbliche, edifici ministeriali, dell'amministrazione penitenziaria, della Difesa. Sono stati stanziati 30 milioni di euro per i progetti, e inoltre introdotta una semplificazione procedurale per la loro realizzazione.

4.2. La riqualificazione del patrimonio edilizio esistente

“..... Una piccola classe dunque, dopo tanti anni vissuti con scolaresche numerose ed eterogenee, una classe ideale. Ogni rosa però ha le sue spine. La temuta aula-cella, che aveva sempre ospitato la classe meno numerosa, è quest’anno la nostra realtà. Ieri, che doveva essere il primo giorno di lezioni e da noi invece era vacanza perché cadeva in giovedì, sono andato a vederla. Misura m 4,70 per 5. Pensavo a quante aule simili a questa ci sono ancora nel mondo per farci vivere i bambini nell’età che più di ogni altra ha bisogno di spazio, di verde, di sole e di moto. Scatole di mattoni. C’è una terribile somiglianza tra le celle di una vecchia prigione e le aule delle scuole: c’è la stessa ossessiva fissità delle strutture percettive (colori, forme, superfici), la stessa monotonia psicologica. Nella sosta di mezza mattina, quando le scolaresche scendono nel cortiletto privo di verde, sorvegliate dai maestri, hai l’impressione di essere fra detenuti che pigliano aria.”
 Mario Lodi “Il paese sbagliato” 1970

L’interesse crescente attorno al tema della riqualificazione energetica nell’edilizia, promosso negli ultimi anni dalle iniziative introdotte nelle recenti leggi finanziarie e dai programmi ministeriali, nasce dall’urgenza dell’adeguamento del patrimonio edilizio esistente alla normativa sulla sicurezza e sulla tutela dell’ambiente, e dalla necessità di recepire i nuovi obblighi stabiliti dalla direttiva europea sulla certificazione energetica degli edifici, una delle misure adottate dalla UE in attuazione al protocollo di Kyoto.

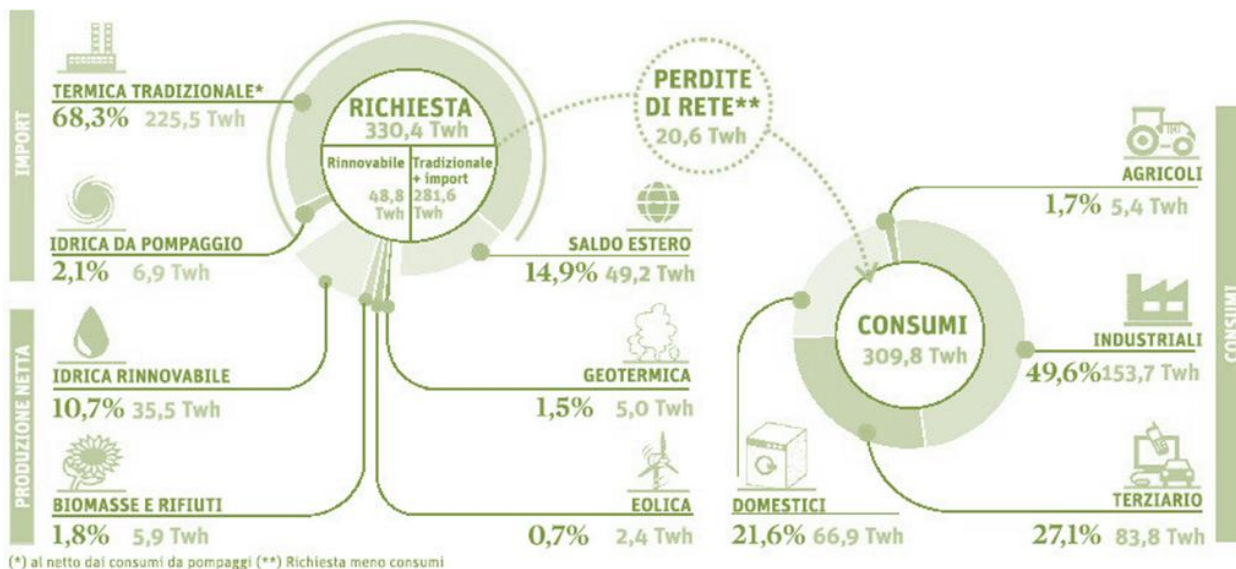


FIG.3 - Fabbisogno energetico dell’Italia per settori e usi finali, 2007 [fonte: Il Sole 24 Ore];

La necessità di riqualificazione energetica appare particolarmente stringente per gli edifici scolastici, scarsamente performanti in termini di consumi e caratterizzati da un forte degrado ambientale, sociale, estetico e funzionale.

Considerando che il 70% delle scuole italiane è stato costruito prima degli anni settanta, diventa indispensabile riflettere su come intervenire sul costruito per riprogettare spazi adeguati e compatibili anche con scelte ambientali sostenibili: l'edificio scolastico, i suoi spazi, la sua organizzazione possono proporsi come un modello di ri-progettazione ecosostenibile per una nuova sensibilità verso l'architettura scolastica, concentrandosi su un miglioramento delle prestazioni delle strutture e dai sistemi tecnologici usati, diventando un vero e proprio laboratorio di educazione ambientale in progress.

Già da molti anni gli edifici scolastici sono stati coinvolti da ristrutturazioni, ampliamenti, adeguamenti funzionali e tecnologici, sia per soddisfare i limiti e gli standard delle nuove normative, sia per la necessità di una riqualificazione di un patrimonio edilizio usurato dal tempo e dall'incuria.

Il problema del recupero delle esistenze, è oggi oggetto di ampio dibattito, che vede coinvolti al contempo, esperti nella storia dell'architettura e dell'urbanistica, nei materiali e nelle costruzioni, strutturisti, impiantisti, progettisti.

In uno scenario così ampio, sia dal punto di vista temporale che tematico, la tecnologia del recupero edilizio si è andata costituendo, come ambito disciplinare dai connotati specifici, al contempo, di natura metodologica e tecnica, e con uscite di natura progettuale, costruttiva, gestionale. Il quadro normativo, in particolare il D.M. del 22 dicembre 2006 e la recente Direttiva 2010/31/CE, promuovono in modo particolare la riqualificazione del patrimonio esistente attraverso un'attenta attività di diagnosi energetica e progettazione esecutiva[11].

A questi problemi si deve anche associare la questione degli interventi sugli edifici di interesse storico, che costituiscono gli elementi caratterizzanti delle città italiane e richiedono un'attenzione maggiore, sia in termini di investimento di risorse pubbliche e private, che di ricerca di modalità operative di intervento efficaci.

Risulta chiaro quindi che per poter realizzare correttamente un intervento di recupero dell'esistente è quindi necessario prima di tutto conoscere l'edificio su cui si vuole operare e realizzare successivamente interventi mirati, puntuali e/o estensivi, di cui è necessario verificare la fattibilità sotto il profilo economico, tecnico e procedurale, in accordo e in collaborazione con i soggetti preposti alla gestione, al controllo e alla manutenzione in materia di edilizia scolastica.

Gli interventi richiesti per migliorare ed adeguare i livelli prestazionali degli edifici scolastici nella loro totalità devono tener conto non solo quindi degli aspetti architettonici-costruttivi e tecnologici-impiantistici, ma anche di quelli spaziali e distributivi e della complessità propria dell'ambiente scolastico. Infatti, la riqualificazione può diventare una strada strategica per consolidare il rapporto tra i sistemi costruttivi-architettonici con quelli pedagogici attraverso un continuo confronto con le tematiche di un uso più razionale dell'energia. La scuola diventa così anche un modello di comunità, come organizzazione e come luogo fisico, i cui attori diventano soggetti attivi e responsabili.

Gli interventi sull'edificio scolastico, programmati e progettati sistematicamente, e l'attuazione di programmi culturali e didattici finalizzati all'uso e gestione delle risorse, devono necessariamente dialogare all'interno del progetto di riqualificazione, mirato sia al ripristino e che al miglioramento delle qualità dei livelli prestazionali di tutti i sistemi. Il recupero sostenibile delle scuole può essere conseguito a seguito di opportuni interventi.

Per il caso specifico della riqualificazione funzionale-spaziale si mira a rendere gli spazi didattici flessibili e multifunzionali nell'uso, condizione necessaria poter essere sempre adeguati ai metodi di insegnamento ed agli obiettivi educativi, in costante evoluzione¹¹, ma anche per essere utilizzati in maniera extra scolastica da parte della comunità, dando un valore aggiunto al plesso scolastico attraverso un riappropriamento delle strutture edilizie radicate nel proprio territorio di appartenenza, con un loro utilizzo fuori dall'orario scolastico (assistenza all'infanzia, attività sportive e servizi sociali, ecc.).

Parallelamente si delinea anche il progetto di riqualificazione energetica, che mira al risparmio delle risorse naturali (materiali, energia, acqua, territorio) e all'uso di fonti energetiche rinnovabili, realizzato tenendo presente i relativi benefici che si possono ottenere, sia in termini di miglioramento prestazionale dell'edificio, di soddisfacimento dei fruitori delle strutture e di riduzione dei consumi.

Questi interventi possono riguardare direttamente l'edificio per ridurre le perdite di calore o sull'efficienza della apparecchiature di produzione e controllo del calore attraverso materiali, componenti e sistemi realizzati con le tecnologie più avanzate. Inoltre, cosa fondamentale è un comportamento più consapevole sulla gestione dell'energia, in relazione ai suoi usi. In particolare, limitando il riscaldamento e l'illuminazione alle effettive esigenze sia temporali che spaziali, attraverso sistemi tecnologici innovativi per la gestione del settore.

Oggi purtroppo la maggior parte delle azioni di riqualificazione dell'esistente sono ancora relativamente limitate e, soprattutto, subordinate ad interventi di ampliamento o in risposta a norme di sicurezza.

Lo scenario nazionale nonostante tutto offre comunque un notevole numero di progetti di riqualificazione, come si può constatare dal repertorio di programmi e progetti che segue.

4.2.1. Protocolli per interventi di riqualificazione delle strutture scolastiche

Non esiste ancora oggi una posizione concorde all'interno dei diversi paesi su quali siano gli strumenti da adoperare per perseguire obiettivi di sostenibilità nell'edilizia scolastica. Sono ormai numerose le ricerche e i protocolli internazionali che mirano alla "protezione dell'ambiente", molto diverso da quello visto negli ultimi trenta anni e nel quale si inserisce un nuovo modo di affrontare il problema della qualità ambientale nelle costruzioni.

E' ormai evidente il tentativo di integrare gli studi finora compiuti in settori disciplinari differenti e di proporre progetti sperimentali che tengano conto di risultati scientifici maturati in campi molto distanti, ma vicini: da quello della conservazione dell'energia e dell'architettura bioclimatica, a quello degli studi di qualità dell'aria interna, sulla tecnologia dei materiali, sulle compatibilità economiche di impianti innovativi o sulla gestione dei rifiuti, ecc.

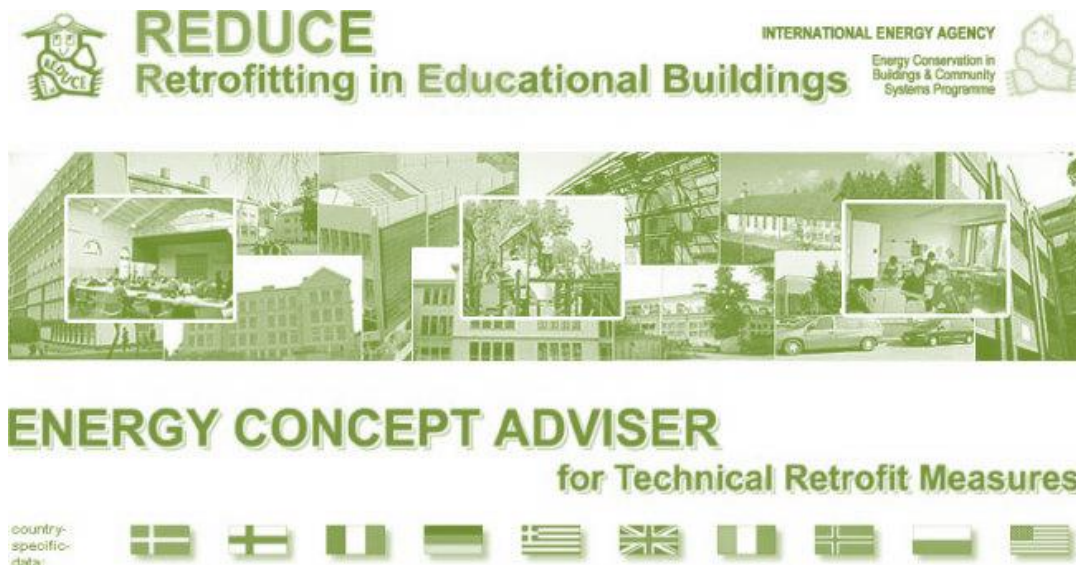
Il quadro internazionale seppur di recente formazione è, comunque, in continua evoluzione, presenta numerose esperienze interessanti:

- ECA - Energy Concept Adviser for technical retrofit measures

Questo protocollo nasce in occasione di un programma sull'efficienza energetica degli edifici, Energy Conservation in Building and Community System, promosso dall' IEA, Agenzia Internazionale per l'Energia, in cui, grazie alla presenza di esperienze internazionali e attraverso i best practices e le tecnologie di retrofit, è stato sviluppato un progetto dedicato alle tecnologie energeticamente efficienti per il retrofit degli istituti scolastici ed universitari, Annex 36- REDUCE- Energy Retrofit for Educational Building.

L'ECA è un software per l'assistenza nella progettazione di interventi di recupero energetico degli edifici dedicati alla formazione (scuole o edifici universitari).

L'utilizzo dei best practices è dovuta soprattutto al fatto che il patrimonio edilizio scolastico mostra numerose similitudini nello scenario internazionale, e quindi



offrono nuovi e diversi approcci per combattere problemi analoghi, soprattutto durante il retrofit, che possono essere facilmente trasferite ad altri paesi.

In particolare l'ECA è stato sviluppato per gli uffici tecnici per la gestione degli edifici scolastici e responsabili per la pianificazione, la progettazione, la realizzazione degli interventi di recupero e di retrofit delle strutture esistenti, e rivolto alla figura del decisional maker che nel corso delle fasi di programmazione degli interventi di retrofit degli edifici scolastici si deve confrontare con una quantità di combinazioni tra materiali e tecniche costruttive ed impiantistiche.

▪ EPQR + - Energy Performance Indoor Environmental Quality and Retrofit +

EPQR + è un software sviluppato, con il sostegno del CTI, Commissione per la Tecnologia e l'Innovazione nel quadro del progetto MEDIMMO, inserito nel terzo programma quadro dell'Unione Europea. Questo progetto si è svolto tra il 2002 e il 2005, coinvolgendo istituti di ricerca come l'EPFL/LESO, la SUPSI di Lugano, la HES di Lucerna e dei partner privati tra cui EPIQR Rénovation (Sportello informativo sulla riqualificazione degli edifici), la ESTIA SA (società fondata da membri del LESO-PB/ EPFL -Laboratoire d'Énergie Solaire et de Physique du Bâtiment de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne) e due studi d'architettura. L'EPQR+ è un programma per la diagnosi e la stima degli interventi di manutenzione e riqualificazione dell'edilizia scolastica con particolare attenzione ai fenomeni di degrado, al comfort degli ambienti interni e al risparmio energetico, senza

trascurare i costi, per cui viene realizzato un piano di investimento economico con la precisione, dichiarata delle cifre di costo pari al circa $\pm 15\%$.



Questo protocollo si rivolge a tutti i soggetti che si occupano della manutenzione e del risanamento di edifici o che gestiscono un parco immobiliare, e permette ai proprietari di edifici di stabilire un inventario dello stato fisico, funzionale ed energetico dell'edificio al fine di segnalarne i problemi, di definirne le priorità d'intervento e di stimare finanziariamente i lavori risultanti dal rinnovamento dell'edificio.

▪ BREEAM - Building Research Establishment's Environmental Assessment Method

Questo strumento nasce dall'esperienza condotta in Inghilterra dal BRE, Building Research Establishment, a partire dagli anni novanta, con una prima versione



relativa agli edifici per il terziario, che poi si adegua a una serie di tipologie edilizie, tra cui le scuole. Il protocollo si compone di un manuale, BREEAM Assessor Manual, all'interno del quale sono riportati i paradigmi progettuali e le

indicazioni sui pesi dei singoli obiettivi da perseguire, e di un modulo preliminare, Pre-Assessment Estimators, che permette una valutazione rapida degli obiettivi che possono essere perseguiti nella progettazione.

L'applicazione del metodo è volontaria e al termine viene rilasciato un certificato che attesta le prestazioni dell'edificio e della sua gestione.

- LEED for Schools



LEED for Schools, realizzato dall'U.S.GBC, U.S. Green Building Council, è un sistema di rating che offre risposte alle problematiche che riguardano gli edifici scolastici e alle questioni relative alla salute degli occupanti, e fornisce un sistema di linee guida per orientare gli interventi

di riqualificazione e gli strumenti di valutazione dell'esistente.

- Guida per il contenimento della spesa energetica delle scuole



E' una guida per l'uso razionale dell'energia negli edifici scolastici realizzata e proposta dall' ENEA, Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, e il FIRE Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia.

4.2.2. Repertorio dei Best Practices internazionali e nazionali

Le esperienze svolte in molti paesi europei e in Italia hanno dimostrato l'efficacia di un approccio integrato all'incremento delle prestazioni degli edifici esistenti, attraverso l'energy retrofit. La maggior parte delle soluzioni adottate e sperimentate riguarda principalmente l'adozione di soluzioni di sistemi passivi e attivi.

Tra questi risulta ancora carente lo studio delle peculiari condizioni climatiche del Mediterraneo, in cui sono le condizioni climatiche estive costituiscono il punto critico

del problema, e lo sono ancora di più nel caso degli edifici esistenti per le complicazioni tecnologiche, i costi e i vincoli normativi con cui deve interagire.

Qualità ambientale e innovazione tecnologica costituiscono il binomio sul quale fondare il processo di evoluzione e trasformazione della città secondo politiche di sostenibilità urbana, proprio nel settore problematico recupero e riqualificazione del patrimonio edilizio esistente.

▪ **Grund- und Hauptschule Plieningen in Stuttgart, GERMANIA [1999]**

Ubicazione: Paracelsusstr. 44, 70599 Stuttgart

Progetto: Comune di Stoccarda, Dipartimento di Protezione Ambientale

Strutture: Istituto Fraunhofer di Fisica della costruzione (IBP), Stoccarda

Impianti: IKE, Institut für Kernenergie und Energiesysteme

Monitoraggio: IKE con Fraunhofer Institute of Building Physics, 2002

inizio lavori: 1996

fine lavori: 1999

Superficie totale: 5.260 mq

Volume totale: 22.470 mc.

n.allievi: 420

▪ **Borgen Ungdomsskole, NORVEGIA [2005]**

Ubicazione: Borgenveien 1388 Borgen, Asker

Committente: Comune di Asker

Progetto: HUS arkitekter

Strutture: Ing. Seim & Hultgreen

Impianti: Dagfinn H. Jørgensen

Illuminazione: Elconsultteam as

Monitoraggio: ENS I Rådgivning AS

inizio lavori: 2002

fine lavori: 2005

Superficie totale: 6.000 mq

n.allievi: 450-500

▪ **Prøvehallen/Valby Skole, DANIMARCA [2004]**

Ubicazione: Øvnhallen 6, 2500 Valby, Copenhagen

Committente: Comune di Copenhagen

Progetto e Strutture: RIA Rådgivende Ingeniører og Arkitekter

Impianti, Illuminazione, Monitoraggio: Cenergia Energy Consultants e
Entreprenørfirmaet Einar Kornerup A/S

inizio lavori: 2003

fine lavori: 2004

Superficie totale: 7.000 mq

n.allievi: 750

▪ **Ecole primaire de La Tour de Salvagny, FRANCIA [2005]**

Ubicazione: 1, avenue de l'Hippodrome, 69890 La Tour-de-Salvagny

Committente: Comune di La Tour de Salvagny

Progetto: Agence Tectoniques

Strutture: Etamine

Impianti, Illuminazione, Acustica, Monitoraggio: Quadriplus-Groupe

inizio lavori: 1999

fine lavori: 2005

Superficie totale: 2.200 mq

Volume totale: 5.700 mc

n.allievi: 300

▪ **Kindertagesstätte "Bummi", GERMANIA [2008]**

Ubicazione: Bahnhofstraße 52, 37351 Dingelstädt

Committente: Comune di Dingelstädt

Progetto: Hartlep & Höch

Strutture: Oche Consulting Engineers

Impianti, Illuminazione, Acustica, Monitoraggio: Oche Consulting Engineers,

inizio lavori: 2007

fine lavori: 2009

Superficie totale: 1.300 mq

n.allievi: 130

▪ **Olbersdorf Schule, GERMANIA [2010]**

Ubicazione: Schulweg 13, 02785 Olbersdorf

Committente: Landkreis Löbau / Zittau, Landratsamt

Progetto e Strutture: AIZ - Architektur- und Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau
Zittau GmbH

Impianti: Ingenieurbüro Amthor

Illuminazione, Acustica, Monitoraggio: Ingenieurbüro Ickrath Land Messner

inizio lavori: 2008

fine lavori: 2010

Superficie totale: 5.610 mq

Superficie netta riscaldata: 4.915 mq

Volume netto riscaldato: 16.756 mc

n.allievi: 180

▪ Volksschule Virgen, AUSTRIA [2010]

Ubicazione: Niedermauern Straße 11, 9972 Virgen

Committente: Comune di Virgen

inizio lavori: 2002

fine lavori: 2006

Superficie totale: 6.200 mq

n.allievi: 430-460

▪ Scuola per l'infanzia S.Cecilia, ITALIA [2002]

Ubicazione: via San Daniele 8, 31030 Colfosco

inizio lavori: 2002

fine lavori: 2008

▪ Schulhaus Holderbach, SVIZZERA [2010]

Ubicazione: Wehntalerstrasse 563, 8046 Zürich

Committente: Città di Zurigo

Progetto: Boltshauser Architekten AG

Strutture: DSP Ingenieure & Planer AG

Impianti: Todt Gmür + Partner AG

Illuminazione: Divtech

inizio lavori: 2006

fine lavori: 2010

Superficie totale: 3.848 mq

volume totale: 13.799 mc

▪ Schulhaus Holderbach, SVIZZERA [2010]

Ubicazione: Wollishofen Strasse 23, 8038 Zürich

Committente: Città di Zurigo

Progetto: Kaufmann Widrig Architekten GmbH

Strutture: Aerni + Aerni Bauingenieure AG

Impianti: ALCO-Haustechnik

Illuminazione: Wobmann2

inizio lavori: 2006

fine lavori: 2009

Superficie totale: 1.806 mq

volume totale: 5.623 mc

Grund- und Hauptschule Plieningen

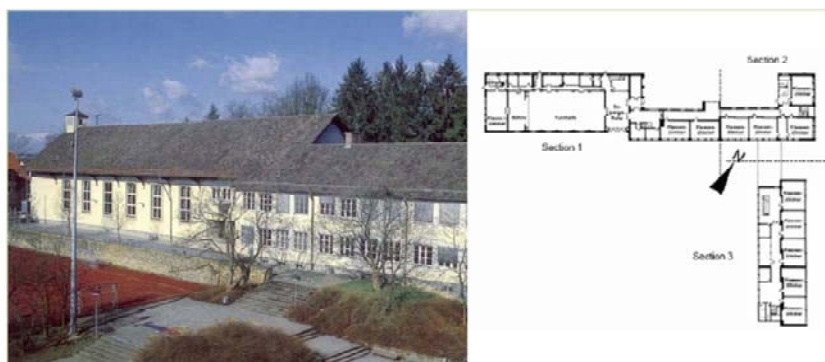
Stuttgart, GERMANIA

Risanamento e riqualificazione energetica

1999

DESCRIZIONE GENERALE dell'INTERVENTO:

Il complesso scolastico della Plieningen School è un edificio scolastico tipico della Germania occidentale, si compone di tre parti realizzate in diverse fasi (1930-1970), ogni parte è risultata tipica per il suo periodo di costruzione: la prima sezione, realizzata tra il 1930-1950, si presenta come un edificio di mattoni pieni, successivamente nel 1950 è stata aggiunta una seconda sezione, composta da un edificio in cemento armato con rivestimento in mattoni pieni, ed infine il terzo blocco è stato costruito nel 1970 in cemento armato combinato con uno stato isolante di truciolato multistrato sul lato esterno per migliorarne l'isolamento. Tutti e tre i blocchi presentano notevoli problemi: perdite di calore attraverso ponti termici e le finestrate, cattiva illuminazione e qualità dell'aria.



CARATTERISTICHE GENERALI dell'INTERVENTO:

Il progetto di risanamento e di retrofit realizzato sulla Plieningen School ha previsto non solo il completo rinnovamento del sistema impiantistico ma anche quello dell'intero involucro.

Gli interventi sulla struttura dell'edificio, visto il suo stato di conservazione e la sua qualità intrinseca, hanno previsto la realizzazione di differenti sistemi di isolamento termico in base alla struttura muraria su cui si andava intervenire, sottolineando l'esigenza di tutela in quanto edificio storico.

Si è utilizzato un sistema di isolamento interno con polistirolo come isolante (fino a 14 cm) in modo da lasciare inalterate il disegno originale delle facciate. Inoltre l'isolamento termico delle coperture, altamente disperdenti, ha prodotto un notevole risparmio, come anche la sostituzione degli infissi, differenti a seconda dell'esposizione, che ha inoltre introdotto un uso passivo dell'energia solare migliorando anche gli aspetti legati all'illuminazione. Tra le altre cose, il miglioramento dell'isolamento dell'edificio ha portato ad una maggiore tenuta d'aria, il che significa che la ventilazione degli ambienti non è più sufficiente con la semplice apertura manuale degli infissi ma nonostante questo nessun sistema di ventilazione meccanica è stato installato.

Per quanto riguarda gli impianti gli interventi messi in atto sono la sostituzione delle caldaie obsolete con una caldaie ad alta efficienza, accompagnata da un miglioramento del sistema distributivo e di emissione, con introduzione di termostati sui corpi radianti e sonde termostatiche all'interno dei tutti gli ambienti, in modo da ottenere in ogni aula la temperatura che corrisponde al fabbisogno effettivo.

Per il miglioramento del comfort visivo si è cercato di rimediare ai forti problemi legati all'illuminazione naturale diretta, in particolare ai forti effetti di abbagliamento, con il controllo della luce diurna tramite schermature automatiche (ora manuali causa distrazione), e parallelamente per il contenimento dei consumi elettrici è stato necessario intervenire sulla messa a norma dell'impianto elettrico, con la sostituzione dei corpi illuminanti a basso consumo e con apparecchi ad alta efficienza, con l'introduzione di dispositivi per l'accensione/spengimento automatico con sensore di luce crepuscolare e sensore di movimento per gli spazi del connettivo e per tutti quegli ambienti con un uso molto discontinuo.

RISULTATI dell'INTERVENTO:

Il progetto ha mirato dunque a ridurre al minimo il consumo futuro di energia e di ottimizzare il rapporto costo/efficacia del retrofit.

Inoltre dopo il completamento del progetto il consumo effettivo di energia è stato misurato su un periodo di due anni per dimostrare la validità dell'intervento e per la sua messa a punto, ottimizzando così il funzionamento dell'edificio (riscaldamento, illuminazione ed schermature).

Il consumo di energia nei primi anni novanta in media era di circa 210kWh/mq anno, il valore originale del 1977 è 382kWh/mq anno. Questo è principalmente il risultato di "buona gestione" applicata dal Comune di Stoccarda fino ad arrivare a un valore di 49kWh/mq anno dopo le operazioni di retrofit, con una riduzione del consumo di energia per il riscaldamento del 75%. Il rendimento del nuovo impianto di riscaldamento con due caldaie, anch'esse monitorate, è stato dimostrato di essere del 95%.

Il nuovo sistema di illuminazione ha permesso di ridurre il consumo di energia elettrica, si è passati da 8,6kWh/mq anno a 2,6kWh/mq anno. Il consumo totale di energia elettrica sale al 16 kWh/mq anno con il controllo automatico della luce diurna, il monitoraggio e i nuovi elettrodomestici nella scuola, che hanno portato a conseguente aumento dei consumi, ma con sempre un risparmio del 60%.

Il costo totale del progetto di risanamento e riqualificazione è stato di circa 2.150.000 €, finanziato da fonti diverse.



Borgen Ungdomsskole

Asker, NORVEGIA

Ampliamento e riqualificazione energetica

2005

DESCRIZIONE GENERALE dell'INTERVENTO:

L'edificio scolastico della Borgen Ungdomsskole è stato costruito nel 1970 con una configurazione spaziale distribuita "open plan", tipica di quegli anni, con un impianto planimetrico aperto, che nel corso degli anni è stato diviso per ottenere aule senza corridoi, obbligando gli studenti ad andare fuori da una stanza all'altra. L'edificio originario era in cemento armato con rivestimento in mattoni pieni con finestre molto piccole e che non rispondevano agli attuali standard di isolamento termico. L'edificio esistente mostrava cattive condizioni: un cattivo isolamento termico dell'involucro e delle finestre, un sistema di coperture non rispondenti alle nuove norme sui carichi di neve, un impianto di riscaldamento obsoleto, la ventilazione nella vecchia scuola era scarsa, ed era garantita esclusivamente attraverso l'apertura manuale delle finestre, inoltre i livelli di illuminazione naturale erano minimi, a causa delle piccole finestre e della profondità delle aule.



CARATTERISTICHE GENERALI dell'INTERVENTO:

La ristrutturazione del complesso è stata realizzata tra il 2003-2005 ed ha interessato circa 4.000mq, completamente rinnovati, mentre l'ampliamento ha previsto nuovi spazi per un totale di 2.000mq. Gli obiettivi sono stati rivolti all'ottimizzazione di un maggiore uso dello spazio da parte della comunità locale, dell'edificio e della sua qualità ambientale e di diminuire i consumi di energia, in modo di ottenere non solo benefici sociali ma anche economici. Il progetto ha previsto interventi migliorativi sulla struttura dell'involucro, sugli impianti di riscaldamento, ventilazione e illuminazione artificiale, e la realizzazione di sistemi che utilizzino energie rinnovabili. La struttura originaria dell'edificio è stata mantenuta e rafforzata, mentre la facciata e la copertura sono state completamente modificate e ridisegnate, per ottenere maggiori apporti di luce solare attraverso delle ridisegnate finestre, che sono state ampliate e migliorate dal punto di vista delle loro prestazioni di isolamento termico e protezione solare, con schermature interne. In particolare le strutture murarie completamente sostituite con pareti ventilate in legno rivestite in mattoni, con all'interno due strati di lastre di cartongesso come isolante. L'impianto di riscaldamento tradizionale è stato sostituito con l'installazione di una pompa di calore geotermica utilizzato sia per il riscaldamento, che per il preriscaldamento dell'aria di ventilazione e di acqua calda sanitaria. Il calore viene pompato da 44 pozzi di energia nel terreno, profondità media di circa 150m, che produce acqua calda a bassa temperatura e distribuita ai radiatori. L'utilizzo di pompe di calore necessita un sistema di backup, composto da due caldaie. Tra gli interventi è risultato molto importante il controllo della qualità dell'aria, attraverso la realizzazione di diversi sistemi di ventilazione naturale ibrida in grado di cambiare aria ai locali, diminuendo la dispersione di calore e garantendo un comfort attraverso condotti d'aria sotterranei, vale a dire canali di scolo, che contribuiscono anche al preriscaldamento dell'aria di ventilazione in inverno e di raffreddamento nel periodo estivo. Sensori per i livelli di temperatura, umidità relativa, e CO2 forniscono inoltre il controllo del tasso di ventilazione necessario per ogni ambiente. Per il miglioramento dell'impianto di illuminazione sono stati introdotti sensori di luce diurna in grado di controllare e ridurre la spesa di energia elettrica, in modo da utilizzare di più durante il giorno la luce naturale.

RISULTATI dell'INTERVENTO:

Il Borgen Ungdomsskole rappresenta un grande esempio di buone pratiche, un buon approccio integrato mirato alla ridistribuzione degli spazi interni, al miglioramento dell'edificio-impianto, la qualità ambientale dell'edificio, riducendo al minimo il consumo di energia

Il consumo di energia dopo l'intervento di retrofit passa da 280 a 111kWh/mq anno, ottimo risultato se si pensa che in Norvegia un edificio scolastico di nuova costruzione richiede circa 220kWh/mq anno. Questo progetto ha soddisfatto la richiesta di riduzione del consumo di energia di circa il 50%.

Inoltre l'impianto geotermico è dimensionata per il 60% del fabbisogno complessivo e in condizioni normali risulta sufficiente tanto da fornire acqua calda per riscaldamento per la vicina chiesa Vardåsen.

Il progetto dimostrativo Borgen ha dimostrato come le innovative soluzioni dell'energia geotermica, della ventilazione ibrida e dell'uso attivo della luce del giorno, combinate con un maggiore isolamento delle superfici opache e trasparenti, hanno ridotto il consumo di energia ad un costo ragionevole di 1.015.000 €, circa 100.90 €/mq, con un tempo di ritorno di poco più di 10 anni.



Prøvehallen/Valby Skole

Copenaghen, DANIMARCA

Conversione destinazione d'uso e riqualificazione energetica

2004



DESCRIZIONE GENERALE dell'INTERVENTO:

Il sito si trova in un quartiere urbano chiamato Valby a Copenaghen, è una vecchia area industriale che è stata completamente ridisegnata, modernizzata e resa un nuovo quartiere con una propria identità. La scuola di Valby è costituita da due edifici di una vecchia fabbrica di porcellana del 1917: Ovnhallen e Maskinhuset. Un terzo edificio, Prøvehallen, è stato trasformato in un centro culturale e sportivo. L'intero complesso è stato progettato dall'architetto H.P. Jakobsen ed eretto nel 1916-19 per la Scandinavia Porcelænsfabrikken Norden, più tardi Bing & Grøndahl, che ha prodotto isolatori in porcellana tecnica, principalmente per linee elettriche ad alta tensione. L'edificio scolastico mantiene le caratteristiche tipiche delle vecchie fabbriche in mattoni rossi, mentre internamente, i fori delle vecchie ciminiere sono stati estesi in modo da creare una corte centrale illuminata da lucernai. I nuovi spazi forniscono aule flessibili, grazie a pareti mobili e al moderno arredo.



CARATTERISTICHE GENERALI dell'INTERVENTO:

Durante il restauro, particolare attenzione è stata rivolta alla realizzazione importanti soluzioni che permettessero la riconversione del vecchio edificio cambiandone la destinazione d'uso, ammodernandolo alle esigenze dei regolamenti edilizi e considerando risparmi di energia attraverso un'architettura sostenibile.

La ristrutturazione dell'edificio è stata realizzata tra il 2002-2004 ed ha interessato circa 7.000 mq, completamente rinnovati ma rispettosi delle istanze storiche dell'edificio.

La struttura originaria dell'edificio è stata mantenuta e riqualificata: è stato migliorato l'isolamento che ha interessato tutta la struttura, le facciate esistenti sono state riportate alle loro espressioni originali, ma con l'uso di materiali moderni.

Anche le finestre, hanno mantenuto stata il disegno tipico dell'architettura del XVIII secolo, sono state migliorate dal punto di vista delle loro prestazioni di isolamento termico e protezione solare, con schermature esterne ed interne.

La ridistribuzione degli spazi ha creato una zona centrale aperta con una illuminazione diretta e aule che hanno a pareti mobili, in modo da ottenere un'ampia area per i progetti comuni.

L'illuminazione naturale ha avuto un ruolo importante nel progetto: vi erano originariamente molte finestre, ma al fine di trascinare la luce verso il basso, per tutta la lunghezza Ovnshallen si è creata una grande spazio centrale illuminato dall'alto, in cui è stato piantato nel mezzo un albero di ulivo nero, che rappresenta il montaggio della scuola.

Per la produzione di energia rinnovabile è stato utilizzato un sistema che sfrutta il sole: celle fotovoltaiche da 43 kWp sono state collocate sulla copertura dell'edificio.

Per il riscaldamento è previsto un sistema tradizionale, con la completa realizzazione di impianti di distribuzione ed emissione. Inoltre è stato realizzato un sistema di ventilazione meccanica controllata ibrida, realizzata con canali di alluminio a vista.

RISULTATI dell'INTERVENTO:

Il progetto di Prøvehallen mostra che introducendo opportune soluzioni tecnologiche come l'uso delle energie rinnovabili si possa ottenere tramite il retrofit un edificio che rispetti tutti gli standard di efficienza energetica a ragionevoli costi e tempi di ritorno. Inoltre è un buon esempio di riconversione e riutilizzo di edifici vecchi e abbandonati: una costruzione di quasi 100 anni può essere riutilizzata e integrata con la città.

Tutto il quartiere ha portato notevoli vantaggi da questa ristrutturazione. Il consumo di energia dopo l'intervento di retrofit passa da 317 a 132,0 kWh/mq anno, di cui il consumo per il riscaldamento degli ambienti, ad esclusione di acqua calda sanitaria, è di 64,8 kWh/mq.

Il consumo di energia elettrica risultante è 47,8 kWh/mq, che può ulteriormente migliorare attraverso l'uso razionale del sistema di ventilazione e l'uso del sistema di gestione BEMS, fino a raggiungere i 31,4 kWh/mq.

Per il progetto di riqualificazione dell'intera area si è sostenuta una spesa di circa 150.000.000 €, di cui circa 105 milioni di euro sono stati investiti nel retrofit dei due edifici della Valby Skole, con un tempo di ritorno stimato di 14÷15 anni.

Ecole primaire de La Tour de Salvagny

Tour de Salvagny, FRANCIA

Ampliamento e riqualificazione energetica

2005



DESCRIZIONE GENERALE dell'INTERVENTO:

La ristrutturazione e l'ampliamento della scuola primaria nasce dall'esigenza di anticipare i cambiamenti demografici dell'area fornendo un ambiente sano e piacevole da vivere per studenti e insegnanti.

Questo progetto, finanziato dalla Commissione Unione Europea, è stato anticipato da un attento studio dell'ambiente esistente, promuovendone, attraverso anche suggerimenti forniti dal corpo docenti e genitori, un edificio sostenibile: miglioramento dell'isolamento termico e acustico dell'intera struttura esistente, la sostituzione della vecchia caldaia con una a condensazione ad alta efficienza, l'introduzione di sistemi che permettessero il controllo automatico della illuminazione artificiale, un sistema di ventilazione ibrido e un sistema di produzione di energia rinnovabile tramite l'utilizzo della tecnologia fotovoltaica integrata nella copertura.



CARATTERISTICHE GENERALI dell'INTERVENTO:

La scuola primaria di Tour-de-Salvagny, situata in pieno centro della piccola cittadina, è stato oggetto di una importante ristrutturazione e ampliamento. Il progetto ha previsto la costruzione di una sala polivalente, una sala di arti plastiche, cinque nuove classi per la scuola elementare e il risanamento di sei classi esistenti.

La ristrutturazione del complesso è stata realizzata tra il 1999-2005 ed ha interessato circa 900mq, completamente rinnovati, mentre l'ampliamento, ha previsto nuovi spazi per un totale di 1.300 mq. Il progetto architettonico, realizzato in due fasi, rispetta a pieno la struttura esistente nella sua forma e il suo volume, integrando a pieno l'ampliamento, fornendo all'intero complesso numerosi vantaggi. La scelta delle tecnologie costruttive è stata rivolta verso soluzioni che richiedano una scarsa manutenzione, e materiali che abbiano una alta durabilità: miglioramento delle strutture opache tramite il rinforzamento dell'isolamento, pavimenti in di legno ad alta densità, zinco per il rivestimento delle coperture, delle quali alcune sono rivestite con manto erboso e la sostituzione dei vecchi infissi con altri maggiormente performanti con opportune protezioni solari esterni, riscaldamento/raffrescamento tramite un di sistema geotermico per una climatizzazione naturale.

Tutti gli interventi sono realizzati nell'ottica di ottenere un edificio a bassa inerzia per massimizzare le possibilità di un uso a intermittenza, dato il suo tasso di occupazione relativamente basso ed dal fatto che non occupata per lunghi periodi di tempo: ambienti che possono essere riscaldati e raffreddati.

Riscaldamento, ventilazione e illuminazione sono stati completamente rinnovati. Un impianto fotovoltaico di 160 mq è installato sui tetti del complesso per coprire oltre il consumo annuo di energia elettrica per l'illuminazione anche quella per la ventilazione, realizzata attraverso un sistema di ventilazione meccanica a flusso unico con recupero di calore. Inoltre, per il miglioramento del comfort visivo si è cercato di rimediare con l'apertura di nuove finestre, con il controllo della luce diurna tramite schermature automatiche, e parallelamente per il contenimento dei consumi elettrici è stato necessario intervenire con la sostituzione dei corpi illuminanti a basso consumo e con apparecchi ad alta efficienza, con l'introduzione di dispositivi per l'accensione/spengimento automatico con sensore di luce crepuscolare e sensore di movimento.

RISULTATI dell'INTERVENTO:

Il progetto di Tour-de-Salvagny mostra come con l'ausilio di opportune soluzioni tecnologiche si possa ottenere un edificio rispettoso dei recenti regolamenti sull'efficienza energetica. Il consumo energetico dell'edificio è stato ridotto al minimo attraverso buon isolamento, una caldaia a gas condensazione ad alte prestazioni, illuminazione automatica innovativi e ventilazione a velocità variabile. L'efficienza di isolamento e con la bassa inerzia riducono al minimo i costi di riscaldamento.

La Scuola dispone di due serbatoi da 40mc per la raccolta di acqua piovana che soddisfano a pieno i fabbisogni della scuola: servizi igienici e irrigazione dei giardini.

Il consumo di energia dopo l'intervento di retrofit passa da 183 a 128,0 kWh/mq anno, di cui il consumo di riscaldamento è 36 kWh/ mq anno, con un contributo derivante dall'impianto fotovoltaico, che produce circa 14.400 kWh/anno.

Per il progetto di riqualificazione e ampliamento sono stati spesi 4.300.000 €

Kindertagesstätte „Bummi“

Dingelstädt, GERMANIA

Risanamento e riqualificazione energetica

2009

DESCRIZIONE GENERALE dell'INTERVENTO:

La scuola materna Bummi nella città tedesca di Dingelstädt, è collocata in un edificio costruito nel 1972 con una tipologia costruttiva prefabbricata in cemento armato di circa 1.371mq, che presentava diversi problemi. Dopo un'analisi globale dell'edificio, è stato sviluppato un piano strategico, che ha raggiunto prestazioni inferiori rispetto alle attuali esigenze della normativa.



CARATTERISTICHE GENERALI dell'INTERVENTO:

Il progetto prevede la riqualificazione e il ridisegno della scuola, introducendo un adeguato isolamento dell'intero edificio e installazione di un nuovo sistema riscaldamento e di ventilazione in sostituzione di quelli ormai obsoleti. Uno dei benefici più evidenti è risultato il miglioramento della qualità dell'isolamento delle pareti esterne, della copertura e degli infissi, con particolare attenzione all'eliminazione dei ponti termici e maggiore tenuta d'aria, il che ha comportato lo studio di una adeguata ventilazione, poi realizzata attraverso un impianto di ventilazione meccanica controllata con un tasso di recupero di calore del 80%. L'edificio si presenta completamente rinnovato sia internamente che esternamente attraverso un nuovo disegno fatto di superfici e colore.

Per quanto riguarda gli impianti gli interventi messi in atto sono la sostituzione delle caldaie obsolete con una caldaia a condensazione ad alta efficienza, abbinata a un impianto solare termico con accumulo; tutto questo associato a un miglioramento del sistema distributivo e di emissione, con introduzione di termovalvole sui corpi radianti e sonde termostatiche all'interno dei tutti gli ambienti.

Per il miglioramento del comfort visivo sono state introdotte, e parallelamente per il contenimento dei consumi elettrici è stato necessario intervenire sulla messa a norma dell'impianto elettrico, con la sostituzione dei corpi illuminanti a basso consumo e con apparecchi ad alta efficienza, con l'introduzione di dispositivi per l'accensione/spengimento automatico. La gestione dell'energia è monitorata attraverso un sistema centrale di controllo.

RISULTATI dell'INTERVENTO:

I bambini vivono in un ambiente sano, con un clima interno piacevole e in un bellissimo edificio. Il consumo di energia primaria era 359kWh/mq anno come da progetto modello è stata ridotta di tre quarti a 86kWh/mq anno, riducendo così il consumo di energia primaria di oltre il 75%. Le perdite di calore l'involucro edilizio (pareti, finestre, tetto e pavimento), il cosiddetto perdita di calore specifico di trasmissione (come conducibilità), sono ridotte del 72% dopo la ristrutturazione è la trasmittanza media è di 0,34 W/mqK. Il sistema solare produce acqua calda, ma supporta anche il sistema di riscaldamento.

Per il progetto di riqualificazione dell'intera edificio si è speso circa 1.850.000, con una riduzione dei costi di riscaldamento per ogni anno l'83%, di circa 15.000 €



Olbersdorf Schule

Olbersdorf, GERMANIA

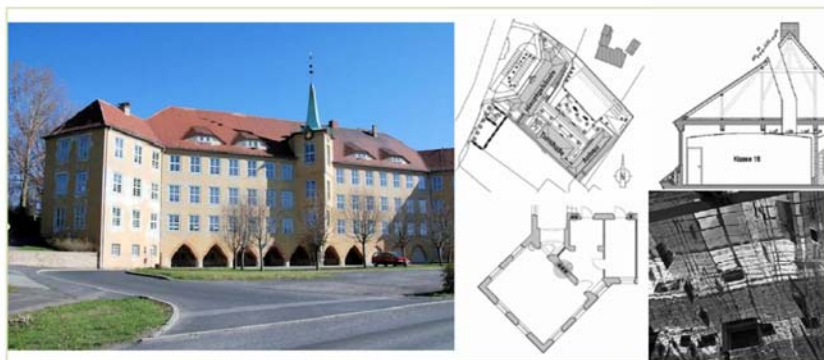
Risanamento e riqualificazione energetica

2010

DESCRIZIONE GENERALE dell'INTERVENTO:

Il complesso scolastico di Olbersdorf, composto da un edificio principale e da un palazzetto per lo sport, è stato realizzato nel 1927/28, presenta una struttura in muratura con uno spessore medio di 48 cm, di quattro piani con tetto a falde. Fino ad oggi ospitava una scuola media, ma dopo la realizzazione del risanamento verrà collocata anche la scuola speciale che si trova a Zittau a Olbersdorf.

Rappresenta tipico edificio scolastico sassone della Repubblica di Weimar: considerato un edificio storico da tutelare e risanare, è stato oggetto di una recente ristrutturazione, che lo ha portato a raggiungere gli standard tedeschi di una casa passiva da 3 litri, vale a dire la riduzione del fabbisogno di energia primaria annuale per il riscaldamento e ventilazione (compreso il consumo di energia ausiliaria), per un massimo 34 kWh/mq anno.



CARATTERISTICHE GENERALI dell'INTERVENTO:

Il progetto per la sua peculiarità è un modello per il tema di ricerca sulle scuole a basso consumo energetico, e fornisce con successo un chiaro esempio di un giusto compromesso tra conservazione delle valenze storiche proprie dell'edificio e la riduzione dei consumi attraverso una riqualificazione energetica.

Il punto di partenza è stato l'adeguamento dell'isolamento termico dell'intero edificio: le pareti e esterne le coperture attraverso l'introduzione di spessi strati di isolante, mentre gli infissi sono stati sostituiti con altri più performanti, abbinati per una illuminazione naturale ottimizzata a nuove schermature solari che servono soprattutto per la protezione solare estiva. Queste misure di ristrutturazione hanno anche conseguentemente migliorato l'acustica e la qualità dell'aria interna, riducendo al contempo la temperatura interna in estate. Oltre ai problemi di isolamento e strutturali della struttura, i risparmi sono stati conseguiti anche grazie alla moderna tecnologia di riscaldamento ad elevata efficienza, attraverso un impianto geotermico, che sfrutta il sottosuolo come serbatoio di calore, nei mesi invernali il calore viene trasferito in superficie, viceversa in estate il calore in eccesso, presente nell'edificio, viene ceduto al terreno, abbinato a due caldaie ad alta efficienza. Questa operazione è resa possibile da pompe di calore ad assorbimento installata ad est dell'edificio durante il retrofit, che supporta anche un sistema di ventilazione meccanica controllata ibrida potenziato con ventilatori a basso consumo di energia elettrica a seconda degli ambienti. A tal fine, nelle finestre hanno un'apertura nel riquadro inferiore, in modo che l'aria esterna entra nella cavità tra le lastre, si riscalda ed entra nella stanza attraverso la cornice della finestra superiore, sopra la zona di occupazione evitando il rischio di correnti d'aria. Inoltre i vecchi condotti dell'aria di scarico vengono riattivati in modo che l'aria utilizzata possa essere rimossa anche per mezzo di un camino naturale. La scuola è naturalmente raffrescata durante l'estate per mezzo di un sistema di raffreddamento notturno efficace, che è evita consumo di energia primaria. A causa della posizione dell'edificio sul un pendio, alcune parti dell'edificio necessitano illuminazione artificiale per tutto il giorno, mentre i vecchi pozzi di luce vengono rinnovati per fornire luce naturale all'interno con particolari sistemi per reindirizzare la luce. Le schermature introdotte evitano soprattutto sul lato elevati carichi termici, soprattutto nelle aule al piano superiore, dove gli utenti si lamentavano delle inaccettabili condizioni di lavoro.

RISULTATI dell'INTERVENTO:

Questo progetto ha permesso di creare un spazio per l'apprendimento supportato con una migliore igiene dell'aria e degli ambienti, l'acustica delle aule, nonché la riduzione della temperatura interna estiva. Per ragioni storiche, l'edificio nel suo aspetto è stato il cambiato meno possibile.

La ristrutturazione ha ottenuto un buon risultato, attraverso un sistema di isolamento termico a cappotto che ridoni alla facciata l'originale disegno e elimini i ponti termici, e la sostituzione e inserimento di nuovi impianti e tecnologie per il riscaldamento, la ventilazione e l'illuminazione, e ha ridotto notevolmente i costi energetici: il fabbisogno di calore è stato ridotto di oltre l'80%.

Basti pensare che le perdite di calore attraverso le pareti esterne e le finestre, tra il 2005/2006, causavano alla scuola un dispendio energetico per il solo riscaldamento di 765 MWh, e il fabbisogno di energia primaria era del 174,2 kWh/mq anno; dopo la sua ristrutturazione energetica, diventando un modello per le scuole del distretto di Görlitz, ha raggiunto 48.89 kWh/mq anno, con un consumo per il riscaldamento di 31.82 kWh/mq anno anziché 122.69 kWh/mq anno.

Il costo di investimento complessivo ammonta a 8.800.000 €, con una spesa media di circa 1,570 €/mq.



Volksschule Virgen

Virgen, AUSTRIA

Ampliamento e riqualificazione energetica

2006



DESCRIZIONE GENERALE dell'INTERVENTO:

Il complesso scolastico è situato nel capoluogo della Valle di Virgen, a 1.200 m sul mare, e si compone di una scuola materna, elementare e scuola media con circa 430 -460 studenti e dotato di un'ampia palestra. L'edificio è stato costruito tra il 1967 e il 1969, con un primo ampliamento per la scuola elementare e materna avvenne nel 1978, ma recentemente dato l'aumento del numero degli alunni si è dovuto procedere con un nuovo ampliamento. Prima della riqualificazione la struttura presentava notevoli problemi di spazio e un cattivo funzionamento.



CARATTERISTICHE GENERALI dell'INTERVENTO:

La ristrutturazione del complesso è stata realizzata tra il 2002-2006 ed ha interessato circa 3.800 mq, completamente rinnovati, mentre l'ampliamento ha previsto nuovi spazi per un totale di 2.400 mq. Gli obiettivi sono stati rivolti alla necessità di un maggiore uso dello spazio da parte della comunità locale, dell'edificio e della sua qualità ambientale e di diminuire i consumi di energia, in modo di ottenere non solo benefici sociali ma anche economici. Il progetto ha previsto interventi migliorativi sulla struttura dell'involucro, sugli impianti di riscaldamento, ventilazione e illuminazione artificiale, e la realizzazione di sistemi che utilizzino energie rinnovabili. La scelta delle tecnologie costruttive per il retrofit è stata rivolta verso soluzioni che richiedano una scarsa manutenzione, e materiali che abbiano una alta durabilità: miglioramento delle strutture opache tramite il rinforzamento dell'isolamento, riduzione dei ponti termici con isolamento di lana minerale insuflata, e in particolare l'isolamento sotto la platea di fondazione migliorando la tenuta d'aria e al vento della struttura; inoltre è stata ritenuta opportuna l'ampliamento e la sostituzione dei vecchi infissi con altri maggiormente performanti con opportune protezioni solari esterni. Le scuole di Virgen, come tutti gli edifici pubblici del comune e dei privati in centro sono collegati a un impianto a biomasse, che utilizza esclusivamente la legna dei boschi di Virgen, comportando aumento della produzione di legname in loco da circa 2.000mc agli attuali 4.800 mc all'anno. Quindi il riscaldamento è fornito dall'impianto di teleriscaldamento che fornisce calore a biomasse a corto raggio, con un rendimento di circa 900 kW. Un ulteriore intervento prevede l'installazione di un sistema di ventilazione controllata, che permette di avere nelle aule sempre Aria fresca e filtrata da polveri e pollini, migliorando il comfort interno, senza nessun abbassamento di temperatura causato dall'apertura delle finestre in inverno, nessun rumore dall'esterno e l'assenza di moscerini, mosche, zanzare. Per la produzione di energia rinnovabile è stato utilizzato un impianto fotovoltaico, inizialmente di 5 kW, sulla scuola ce in futuro sarà ampliato.

RISULTATI dell'INTERVENTO:

Il consumo di energia dell'edificio, la scuola media compresa la palestra, dopo l'intervento di retrofit passa a 58kWh/mq anno, mentre la scuola elementare con scuola materna a 73 kWh/mq anno. I consumi energetici sono stati notevolmente ridotti grazie ai numerosi interventi che non solo guardano alla sostenibilità, ma anche alla scuola come ambiente scolastico sano e pulito: grazie all'assistenza assidua di manutenzione da parte del custode della scuola, l'attuale fabbisogno di energia primaria passa della scuola dai 138 ai 23 kWh/mq anno. Il risparmio è risultato di circa il 37%, senza considerare l'aumento dei volumi di circa il 60%.



Scuola per l'infanzia S.Cecilia

Colfosco, ITALIA

Risanamento e riqualificazione energetica

2008



DESCRIZIONE GENERALE dell'INTERVENTO:

La Scuola dell'infanzia S.Cecilia costruita come un luogo per accogliere ed educare i bambini in tenera età, i lavori di costruzione ebbero inizio nel 1949 su un progetto dell'Architetto Ugo Meneghin e con il contributo gratuito di tutta la popolazione. L'inaugurazione avvenne il 27 aprile 1952, e la struttura di base è rimasta uguale nel corso degli anni, ma la manutenzione ordinaria ha anche dato modo di apportare modifiche per adeguarla alle necessità dei tempi e per renderla sempre più corrispondente alle esigenze attuali dei bambini. Il 19 giugno 2002 in occasione del 50° anniversario della fondazione, si è dato inizio ai lavori di ampliamento e ristrutturazione dell'edificio scolastico, che hanno favorito l'apertura di una sezione dedicata al nido integrato.



CARATTERISTICHE GENERALI dell'INTERVENTO:

La soluzione adottata, al fine di garantire una migliore qualità dell'aria e della vita delle persone, è un nuovo impianto di ventilazione meccanica controllata a doppio flusso con recupero di calore (in conformità ai requisiti della UNI EN 15251, del 2008). Al di là dell'efficienza energetica che si raggiunge con la ventilazione a doppio flusso non bisogna dimenticare gli effetti salutari che il continuo e costante ricambio d'aria comporta.

Questa tecnologia elimina gli agenti inquinanti nell'ambiente, consente di preservare la Scuola per l'infanzia dal degrado dovuto all'umidità, favorisce un elevato risparmio energetico, evitando la dispersione del calore e pericolosi sbalzi termici, causati dall'apertura delle finestre.

L'entrata in funzione della rete di condotti dell'aria, che prevede la purificazione dell'aria tramite appositi filtri, ha reso l'ambiente scolastico più confortevole ed igienico. Infatti, nel corso dell'anno scolastico 2008/2009 sono drasticamente diminuite, rispetto alla media del Nord-est del 27,29%, le assenze per influenza e contagi da malattie esantematiche, con più che positivi riflessi, in merito alla diminuzione di richieste di permessi lavorativi per la cura dei figli.

Nel dettaglio, l'impianto con due flussi prevede il recupero dell'energia contenuta nell'aria espulsa, nella misura del 70%, che viene utilizzata per riscaldare l'aria che sarà immessa nell'ambiente, assicurando una sensibile riduzione dei costi di riscaldamento. Inoltre, la soluzione permette un'aerazione uniforme e costante dei locali, aumentando i volumi dell'aria di rinnovo in aule e sale comuni e l'estrazione dell'aria inquinata da bagni, spogliatoi e mense, con un sistema autoregolabile. Infatti, l'impianto è molto flessibile perché consente di metterlo in funzione e spegnerlo, a seconda delle esigenze, in modo davvero semplice.

RISULTATI dell'INTERVENTO:

Questo progetto rientra perfettamente nella filosofia perseguita negli ultimi anni, da sempre orientata ad assicurare ai bambini un ambiente accogliente e stimolante, dotato di stanze ampie e decorate, ben illuminate ed in grado di offrire il massimo comfort. Infatti il progetto di ristrutturazione della Scuola per l'infanzia S.Cecilia di Colfosco, Treviso, è stato concepito in ottemperanza al Decreto Ministeriale del 18 Dicembre 1975, relativo alle "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica", nel quale si dispone che "vengano assicurati adatti valori della umidità relativa negli ambienti interni adibiti ad attività didattiche e collettive nel periodo invernale, mediante un trattamento di umidificazione dell'aria esterna effettuato dall'impianto di ventilazione idoneo a realizzare un'umidità relativa dell'aria ambiente del 45-55% e a mantenere negli ambienti una temperatura costante di 20°C".

Schulhaus Holderbach

Zurigo, SVIZZERA

Risanamento e riqualificazione energetica

2010

DESCRIZIONE GENERALE dell'INTERVENTO:

La scuola, costruita tra il 1954 e il 1957 da Ziegler Max, ha una tipologia distributiva a padiglioni bilateralmente esposti, e si trova in un quartiere satellite a nord della città di Zurigo, inserito in un centro residenziale del medesimo periodo.

Benché non sia negli elenchi degli edifici sotto tutela si tratta di un patrimonio culturale di elevata qualità. Obiettivo della strategia di rinnovamento era di riformulare dallo spirito del tempo degli anni '50 una nuova interpretazione contemporanea conferendo alla scuola un aspetto vivace e moderno in armonia con il carattere tipico del tempo.



CARATTERISTICHE GENERALI dell'INTERVENTO:

Grazie alle numerose misure energetiche, il sistema raggiunge lo standard Minergy. Il progetto prevede il ripristino delle facciate e tetti, danneggiati dal tempo e dall'usura in modo sostanziale. All'interno, i pavimenti, pareti e soffitti sono stati sostituiti. Le aule sono state riarmmodernizzate con nuovi arredi, mobili e pareti attrezzate dotate di un design moderno che risponde alle nuove esigenze didattiche, con particolare attenzione a un miglior confort acustico e visivo.

In prima istanza, gli edifici scolastici sembrano invariati nel tempo: solo da un esame più attento si nota che le finestre sono state rinnovate riprendendo il ritmo delle originarie ma con profili più spessi e più performanti a livello energetico. Inoltre per l'eliminazione di ponti termici sono inserite cornici intorno alle finestre, che forniscono anche dal punto di vista architettonico una nuova leggerezza della facciata. Sono state rinnovate le coperture inserendo sia internamente che esternamente alla struttura in cemento armato di uno strato isolante e con un rivestimento in alluminio.

Per il miglioramento del comfort visivo è stato rivisitato l'intero impianto di illuminazione: messa a norma dell'impianto elettrico, con la sostituzione dei corpi illuminanti a basso consumo e con apparecchi ad alta efficienza, con l'introduzione di dispositivi per l'accensione/spegnimento automatico. La gestione dell'energia è monitorata attraverso un sistema centrale di controllo.

Per quanto riguarda l'impianto di riscaldamento è stato sostituito il vecchio impianto a gasolio con una pompa di calore che sfrutta l'energia geotermica, con 12 pozzi a 120 m di profondità, abbinata a un sistema di controllo all'interno dei tutti gli ambienti. Questa tecnologia fornisce anche possibilità di attivare un raffrescamento naturale.

RISULTATI dell'INTERVENTO:

Queste innovazioni conferiscono all'intera scuola una atmosfera fresca e tranquilla che favorisce l'apprendimento e la vita degli utenti. La ristrutturazione recentemente completata garantisce il funzionamento del manufatto per almeno 30 anni senza particolari interventi strutturali, ma è sufficiente la normale manutenzione ordinaria. Di fatto, si è dimezzata la richiesta di riscaldamento da 137 kWh/mq anno a 74 kWh/mq anno, mentre il fabbisogno di energia elettrica è sceso a 35,4 kWh/mq anno.

Per il progetto di riqualificazione dell'intera area si è sostenuta una spesa di circa 11.616.893 di franchi, con un tempo di ritorno stimato di 20 anni.



Primarschulhaus Wollishofen

Zurigo, SVIZZERA

Risanamento e riqualificazione energetica

2009



DESCRIZIONE GENERALE dell'INTERVENTO:

La vecchia scuola Wollishofen è stata costruita nel 1886 come scuola secondaria, il fabbricato in stile rigorosamente classico è un volume con una severa geometria dove si distribuiscono sei classi disposte a lato e della scala collocata al centro dello spazio.

La superficie delle aule di 100 mq, tipica per l'epoca, prevedeva di accogliere al massimo 80 studenti, oggi sci sono 6 classi, con 20 -25 studenti. La scuola negli ultimi anni necessitava di un adeguato, causato anche dai segni di massicce ristrutturazioni che l'avevano danneggiata nel 1940 e nel 1970: le facciate avevano perso tutte le decorazioni classiche e anche negli interni le finiture originali erano state tutte smantellate e sostituite da controsoffitti e rivestimenti.



CARATTERISTICHE GENERALI dell'INTERVENTO:

La ristrutturazione si è concentrata nel conferire nuovamente alla scuola un linguaggio formalmente coerente che esprima al contempo il carattere dell'istituzione e il suo passato: restituire all'edificio con interventi contemporanei e poco impegnativi le proporzioni originarie e la propria dignità. Nelle aule, la demolizione dei controsoffitti ha riportato alla luce l'altezza originaria degli spazi. Il parquet antico era nascosto sotto il rivestimento a pavimento. Elementi acustici a soffitto e corpi luminosi soddisfano i requisiti tecnici odierni di contemporaneità. Le nuove finestre sono caratterizzate da un disegno che riprende l'originale, con una prestazione energetica che comporta un miglioramento dell'isolamento.

RISULTATI dell'INTERVENTO:

Per il progetto di riqualificazione dell'intera area si è sostenuta una spesa di circa 4.054.000 di franchi.

4.2.3. Riflessioni conclusive

Il quadro generale che risulta chiaro dal repertorio dei Best Practices dimostra che il problema della riqualificazione degli edifici scolastici è in questi ultimi anni è stato ampiamente affrontato sia in ambito nazionale che internazionale.

I progetti proposti sottolineano l'utilizzo di strategie comuni:

- Un crescente interesse verso i principi di sostenibilità e risparmio di risorse, che ormai permeano tutto il settore dell'edilizia, anche se è ancora limitato quasi esclusivamente alle nuove costruzioni;
- La necessità di investire di più possibile sull'esistente che risulta la parte più consistente del patrimonio edilizio, partendo proprio dagli edifici pubblici e, quindi, dalle scuole, sia per una reale riduzione delle spese legate ai consumi ma anche per realizzare progetti che siano modello da seguire da tutta la comunità;
- La volontà di coinvolgere tutti gli utenti e le amministrazioni per creare una partecipazione attiva al progetto di retrofit, attraverso piccole azioni quotidiane mirate alla salvaguardia delle risorse;
- I casi studio riportati delineano tipologia di interventi attivi e passivi ormai consolidati, sia in Italia che nell'ambito internazionale;
- Sono più numerosi i progetti di riqualificazioni delle scuole della prima infanzia (asili nido e scuole materne) seguiti dalle scuole primarie e gli interventi su scuole secondarie di I e II grado;
- In base alla tipologia dell'istituzione scolastica si differenziano anche gli interventi: sulle scuole di dimensione piccole-medie si interviene con un approccio globale nei confronti dell'edificio, mentre in quelle più grandi ci si orienta verso soluzioni di tipo attivo, ovvero che riguardano l'apparato impiantistico;
- L'investimento impiegato per l'intervento di riqualificazione ha tempi di ritorno diversi in base alle soluzioni scelte: ad esempio si ottengono tempi molto ridotti

soprattutto tramite il miglioramento del sistema impiantistico, che fornisce un immediato risparmio in termini di riduzione dei consumi termici e elettrici;

- Risultano ancora poco studiati le fasi di cantiere per una riduzione dei tempi di cantiere e dei disagi che essi provocano sulle attività di didattiche;
- Infine la maggior parte degli interventi di riqualificazioni che sono stati illustrati risultano realizzati in piccole o medie realtà urbane, in cui le strutture per l'educazione presentano un numero molto limitato rispetto alle grandi città, questo perché la gestione dei fondi a disposizione delle amministrazioni può essere mirata e deve far fronte a molte meno situazioni di urgenza.

Note

- [1] A seguito di due importanti avvenimenti: la Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente umano tenutasi a Stoccolma nel 1972, in cui vengono affrontati in maniera globale i problemi ambientali del pianeta evidenziando la stretta relazione tra le politiche economiche e quelle ambientali; e nel 1987 la Commissione Mondiale su Ambiente e Sviluppo (WECD) pubblica il rapporto "Our Common Future", noto anche come "Rapporto Bruntland", che definisce il concetto di sviluppo sostenibile.
- [2] L' Agenda 21, un documento di principi, obiettivi e azioni a cui devono orientarsi le politiche a livello globale, nazionale e locale, per la promozione di uno sviluppo più equilibrato il XXI secolo. In esso appare una nuova versione della definizione di sviluppo sostenibile: "...il soddisfacimento della qualità della vita mantenendosi entro i limiti della capacità di carico degli ecosistemi dai quali essa dipende...";
- [3] Una strategia di efficienza energetica per un edificio inizia da una fase inventariale, seguita dalla stima dei possibili risparmi energetici (in kWh e in Euro). La terza fase è l'elaborazione di un piano da realizzare, seguito da una fase di monitoraggio in cui si calcolerà l'effettivo risparmio energetico;
- [4] La novità più rilevante è la scomparsa del limite dimensionale, edifici di 1000 m² di superficie, al di sopra del quale, in caso di ristrutturazione importante, interviene l'obbligo di rispettare i requisiti minimi di prestazione energetica fissati dallo Stato. Per tali interventi l'obbligo vige anche per le singole unità immobiliari e per gli elementi edilizi componenti l'involucro di un edificio. Si rientra nella "ristrutturazione importante" quando: il costo complessivo della ristrutturazione, per quanto riguarda l'involucro dell'edificio o i sistemi tecnici per l'edilizia, supera il 25 % del valore dell'edificio, escluso il valore del terreno sul quale questo è situato; oppure la ristrutturazione riguarda più del 25 % della superficie dell'involucro dell'edificio. Gli Stati membri possono scegliere quale delle due opzioni applicare.
- [5] Dati riferiti all'anno 2009;
- [6] AFT, Building Minds, Minding Buildings: Our Union's Road Map to Green and Sustainable Schools, gennaio 2009;
- [7] Il programma IEE prevede azioni in 3 aree principali di intervento: efficienza energetica, in particolare nei settori dell'edilizia e dell'industria (SAVE); impiego di energie rinnovabili (ALTENER), energia nei trasporti (STEER). L'importo stanziato per il 2010 è pari a circa 56 milioni di euro e l'importo concesso sarà fino al 75% del totale dei costi ammissibili;
- [8] Di seguito sono elencati i principali progetti finanziati dall'UE nell'ambito dell'efficienza energetica negli edifici scolastici, e quindi in quelli pubblici: REE_TROFIT - Training on Renewable Energy solutions and energy Efficiency in reTROFITting, 2013; ENFORCE - European Network for the Energy Performance Certification of Buildings, 2012; TABULA - Typology Approach for Building Stock Energy Assessment, 2012; EDUCATE - Environmental Design in University Curricula and Architectural Training in Europe, 2012; USE EFFICIENCY - Universities and Students for Energy Efficiency, 2012; MINUS 3% - Shining Examples for the Implementation

of the Energy End-use Efficiency & Energy Services Directive, 2011; CYBER DISPLAY - Communicate Your Buildings Energy Rating, 2011; EDUCA RUE - Energy Efficiency Paths in Educational Buildings, 2010; REENBUILDINGPLUS - Leveraging the GreenBuilding Programme (GBP) to promote energy-efficiency and renewables in non-residential buildings, 2010; EPI-CREM - Energy Performance Integration in Corporate Public Real Estate Management, 2010; SQUARE - A System for Quality Assurance when Retrofitting existing buildings to Energy efficient buildings, 2010; INTEND - Integrated Energy Design in Public Buildings, 2009; CHECK IT OUT! - Check and improve the energy performance of schools and disseminate best practices, 2009; ENERINTOWN - Monitoring and Control of Energy Consumption in Municipal Public Buildings over the Internet, 2008; DEEP - Dissemination of Energy Efficiency Measures in the Public Buildings Sector, 2007; EPA-NR - Energy Performance Assessment for Existing Non Residential Buildings, 2007; ENPER EXIST - Applying the EPBD to improve the ENergy PErformance Requirements to EXISTing buildings, 2007; EPLABEL - A programme to deliver energy certificates for display in public buildings across Europe within a harmonising framework, 2007; E-TOOL - Energy-toolset for improving the energy performance of existing buildings, 2006; REVIVAL - Retrofitting for Environmental Viability Improvement of Valued Architectural Landmarks, 2008; BREA - Building Retrofitting Efficiency Assessment;

[9] Circa 350 milioni di sterline all'anno;

[10] Conto energia è il nome comune assunto dal programma europeo di incentivazione in conto esercizio della produzione di elettricità da fonte solare mediante impianti fotovoltaici permanentemente connessi alla rete elettrica.

Il Conto energia arriva in Italia attraverso la Direttiva comunitaria per le fonti rinnovabili (Direttiva 2001/77/CE), che viene recepita con l'approvazione da parte del Parlamento italiano del Decreto legislativo 387 del 2003. L'avvio del conto energia passa per altre due tappe, in particolare l'approvazione del Decreto attuativo n. 181 del 5 agosto 2005 (che fissa i tempi e i termini di attuazione) e la Delibera 188 del 14 settembre 2005 (che invece stabilisce i modi di erogazione degli incentivi);

[11] Adeguamento delle strutture esistenti alle vigenti normative in materia di sicurezza, agibilità, igiene e accessibilità con riferimento anche agli aspetti del contesto ambientale entro cui sono localizzate le scuole stesse, anche mediante nuove edificazioni quando i costi di ristrutturazione e le esigenze di ampliamento siano tali da rendere questa soluzione più vantaggiosa;

**PARTE QUINTA: Linee guida per riduzione dei consumi e
miglioramento delle condizioni ambientali nell'edilizia scolastica**

INDICE CAPITOLO

5.1. Guida per la progettazione e programmazione di interventi di retrofit	118
5.2. Comfort ambientale nelle scuole	121
5.2.1. La qualità dell'aria interna (Indoor Air Quality, IAQ)	123
5.2.2. La temperatura e il comfort termico	128
5.2.3. L'umidità relativa e il comfort igrometrico	138
5.2.4. L'illuminamento e il comfort illuminotecnico	146
5.2.5. Il rumore e il comfort acustico	162
5.3. Il comportamento energetico e consumi degli edifici scolastici	176
5.3.1. L'audit energetico	177
5.3.2. La prestazione energetica di un edificio	181
5.3.3. La classe di prestazione energetica	183
5.4. Linee guida per la progettazione e programmazione di interventi di retrofit	184
5.4.1. Possibili strategie progettuali e soluzioni tecnologiche per il retrofit	185
5.4.2. Problematiche legate all'uso dell'energia solare e altre fonti rinnovabili...194	
5.4.3. Un aspetto importante: la manutenzione e gestione post-retrofit	195
5.4.4. Analisi costi-benefici (ACB) dei progetti di riqualificazione energetica	197
5.5. Risultati ottenuti grazie alla riqualificazione degli edifici esistenti in Italia	200
5.6. Conclusioni: edifici scolastici come "vetrine educative".....	206

5.1. Guida per la progettazione e programmazione di interventi di retrofit

Le problematiche relative al risparmio di energia e allo sfruttamento delle risorse energetiche naturali hanno determinato nel settore dell'edilizia, e in particolare in quello delle ristrutturazioni e del recupero del patrimonio edilizio esistente, profonde modifiche negli indirizzi progettuali fondate sul miglioramento del comportamento energetico. Circa il 54% dell'attività edilizia è infatti dedicato all'intervento sui manufatti esistenti, tra cui le scuole, che rappresentano una tra le categorie che da sempre ha mostrato elevati consumi energetici correlati sia alle attività a cui sono destinati che alla loro gestione rispetto ad altre tipologie.

In un contesto come quello italiano, ci troviamo a dover intervenire su un grande patrimonio edilizio scolastico esistente, che come abbiamo visto nei capitoli precedenti, spesso mostra livelli qualitativi mediocri dal punto di vista delle prestazioni energetiche, ma che non è così obsoleto da essere demolito e sostituito con nuove costruzioni energeticamente più efficienti.

Da questa premessa nasce l'intento di fornire uno strumento che contenga indicazioni per la valutazione e l'individuazione di strategie per migliorare in maniera efficace e consapevole le prestazioni energetiche degli edifici scolastici esistenti, con riferimento alle ultime norme europee e italiane in materia di risparmio energetico, per facilitare e incentivare i progettisti e le amministrazioni pubbliche che operano in questo settore.

Ai primi viene fornito uno strumento per la valutazione della prestazione energetica dell'edificio scolastico nelle condizioni esistenti e uno schema per il progetto degli eventuali interventi di riqualificazione energetica, opportunamente calibrato sulle esigenze e le peculiarità dell'edificio su cui si va intervenire e sulla tipologia di utenza. Mentre alle amministrazioni preposte viene, invece, fornita la possibilità di formulare un giudizio sugli interventi più opportuni da finanziare in base ai propri fondi per garantire l'efficienza energetica e la conservazione degli edifici scolastici di propria appartenenza, ottenendo un potenziale risparmio energetico stimato tra il 10 e il 20% del totale (100.000 ÷ 200.000 Tep/anno).

Nella individuazione di opportune linee guida di riferimento per una riqualificazione degli edifici scolastici, è necessario comprendere che una costruzione presenta buone caratteristiche energetiche non solo perché è dotata di un elevato isolamento dell'involucro o dall'uso di tecnologie innovative per il risparmio energetico, ma

dipende dal fatto che tutti i suoi elementi, edificio-impianto, siano più o meno in grado di dare un contributo per un corretto funzionamento dal punto di vista energetico.

Qualità spaziale, contenimento dei consumi e sostenibilità ambientale devono coesistere, affiancate da un corretto utilizzo del linguaggio architettonico e una riprogettazione dello spazio, in modo da poter riqualificare l'edificio esistente usurato dal tempo.

Al concetto di qualità energetica dell'edificio deve essere necessariamente associato quello di qualità ambientale interna. E' evidente quindi come i consumi di energia (riscaldamento, climatizzazione, ventilazione, illuminazione) siano direttamente influenzati dal livello di comfort ambientale: non si possono quindi scindere gli studi connessi ai consumi energetici dalle valutazioni relative al comfort ambientale.



FIG.1 - Relazione tra i consumi e la qualità ambientale;

Per questo motivo per delineare un progetto di rinnovo edilizio in chiave bioclimatica, è essenziale indagare a fondo sullo stato e sulle caratteristiche costruttive dell'edificio sul quale intervenire, monitorando al contempo il suo comportamento energetico nello stato attuale. Solo attraverso queste azioni è possibile ipotizzare un approccio globale al retrofit di edificio esistente.

La strada da seguire, quindi, ai fini di perseguire l'obiettivo del miglioramento delle prestazioni di efficienza energetica e legate al controllo microclimatico negli spazi indoor delle scuole esistenti, deve essere articolata attraverso alcune azioni:

- miglioramento delle qualità degli ambienti interni in termini di comfort ambientale;
- un uso razionale dell'energia;
- riduzione dell'emissioni inquinanti;

- corretta gestione dei servizi energetici.

Inoltre bisogna sempre ricordare che il buon esito dell'intervento è fortemente condizionato dai comportamenti degli utenti finali che continuano ad avere un ruolo centrale all'interno della gestione e nella manutenzione del manufatto edilizio, a maggior ragione a seguito di un percorso che ha comportato notevoli investimenti in opere edilizie.

5.2. Comfort ambientale nelle scuole

In Italia i bambini, i ragazzi e il personale addetto trascorrono buona parte del loro tempo negli edifici scolastici da 4 a 8 ore al giorno, per almeno 10 anni, all'interno dei quali svolgono la propria attività.

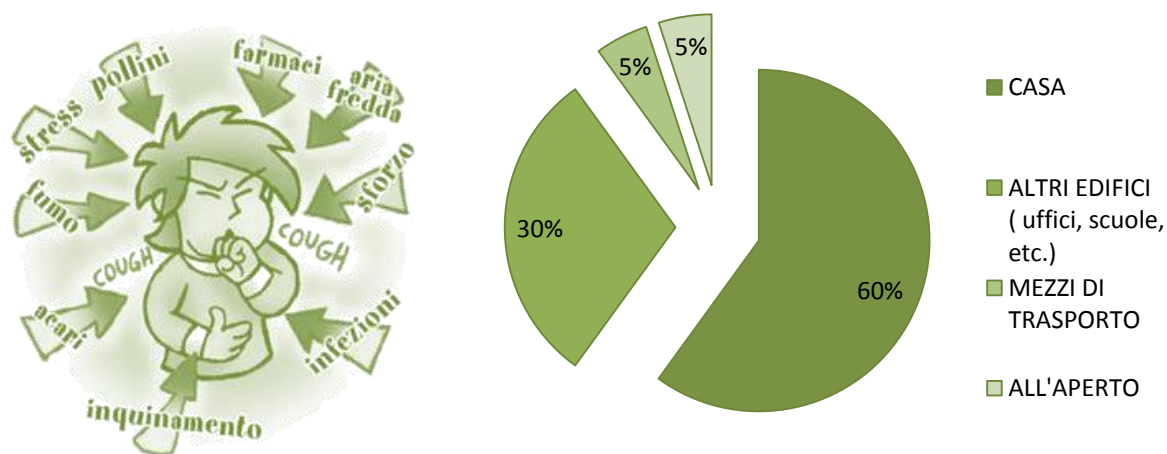


FIG.2 - Percentuale del tempo trascorso dagli individui all'interno e all'esterno degli edifici [Fonte: Environmental Protection Agency];

Affinché la propria attività risulti produttiva è importante creare condizioni ambientali termiche, luminose e acustiche tali da garantire il maggior benessere possibile, benessere inteso come quella particolare condizione psicofisica in cui l'individuo esprime soddisfazione nei confronti del microclima.

La condizione di benessere all'interno di uno spazio chiuso influenza non solo la produttività, ma anche le condizioni di salute e il comfort degli utenti. Infatti tutte le azioni connesse all'attività di insegnamento o di apprendimento richiedono un elevato livello di vivibilità degli ambienti: la qualità dell'ambiente interno è un elemento determinante per lo sviluppo di livelli adeguati di istruzione, educazione e di comportamento sia psicologico che fisico.

Trascurando l'aspetto psicologico, il benessere in un ambiente interno deriva dalle prestazioni che è in grado di fornire la parte edilizia dell'organismo (in particolare l'involucro insieme all'organizzazione degli spazi), associata alla parte impiantistica.

Il concetto di comfort in un edificio dipende inoltre in modo decisivo dai fattori climatici locali e dalle condizioni culturali ed economiche di chi lo usa. Assicurare certi livelli di comfort significa affrontare il problema dello scambio energetico tra

l'ambiente interno e l'ambiente esterno all'edificio, tenendo conto del luogo dove si opera.

Le variabili che intervengono a definire condizioni fisiologiche ideali sono:

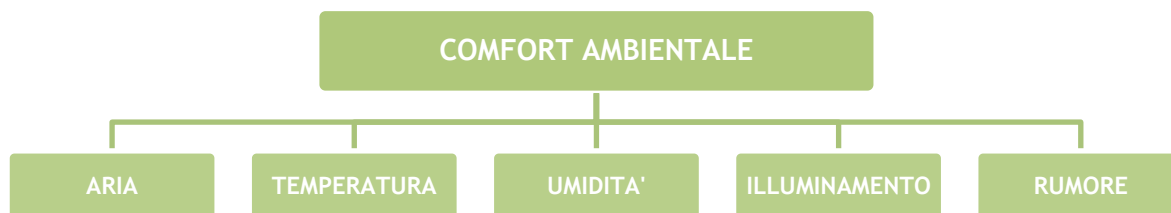


FIG.3 - Fattori che incidono su comfort ambientale;

I livelli di qualità dell'aria, di benessere termoisometrico, di illuminazione naturale e artificiale e quelli acustici per gli edifici scolastici, sono definiti in modo chiaro dalla normativa vigente [1]. Però oggi risulta difficile controllare in modo sistematico se i valori prescritti vengano raggiunti e mantenuti o, in caso contrario, di quanto questi valori si scostino dai valori di norma.

Nel caso degli edifici scolastici è importante ribadire come il microclima dell'ambiente interno influisce sulla salute degli occupanti, influenza il loro rendimento e la loro produttività, ed ha un notevole impatto sul loro umore. E' stato infatti dimostrato da vari studi sperimentali che , ad esempio, il surriscaldamento dell'aria dovuto all'innalzamento della temperatura interna e/o le condizioni di illuminazione artificiale ridotta o non correttamente distribuita negli ambienti, hanno una forte influenza sull'apprendimento, con ripercussioni sull'attenzione e sull'affaticamento.

In generale, si va da disturbi lievi (irritazioni alla pelle, agli occhi, alle vie respiratorie, cefalee, nausea, affaticamenti, vertigini) denominati Sick Building Sindrome [2] fino ad arrivare a fenomeni asmatici e a patologie tumorali, vere e proprie malattie che sono definite Building Related Illness [3].

Inoltre, gli edifici scolastici sono caratterizzati da un utilizzo molto variegato, spesso con orari flessibili. E' quindi fondamentale coniugare le esigenze di risparmio energetico con il necessario confort che deve essere offerto a docenti, insegnanti e altro personale.

Di seguito sono approfonditi i fattori che caratterizzano la qualità ambientale di uno spazio chiuso, che oltre a definire il comfort ambientale nelle scuole, concorrono al comportamento energetico di un edificio.

5.2.1. La qualità dell'aria interna (Indoor Air Quality, IAQ)

Uno dei primi fattori che incide sul comfort ambientale nelle scuole è la qualità dell'aria interna. Infatti, l'ambiente scolastico può ospitare molte fonti di sostanze tossiche e allergeni, di cui i bambini non sono consapevoli. I bambini sono, inoltre, fisiologicamente molto più vulnerabili degli adulti: il loro sistema immunitario è ancora immaturo, respirano velocemente (40-60 volte al minuto un bambino, 16-20 volte al minuto un adulto) e la concentrazione degli inquinanti è relativamente maggiore in un corpo di peso minore come è quello dei bambini.

Gli studi hanno dimostrato come la qualità dell'aria interna abbia un ruolo di grande importanza per la salute dei suoi occupanti: un ambiente indoor poco confortevole può interferire sulle attività d'insegnamento e può causare discomfort, come irritazioni alle vie respiratorie e vari problemi di salute a breve e lungo termine negli studenti, negli insegnanti e nel resto dello staff scolastico. Questo sottolinea l'importanza di come la qualità dell'aria negli ambienti interni dovrebbe essere accettabile, ovvero percepita come fresca e piacevole, in modo da comportare un aumento della produttività e dell'apprendimento degli studenti nelle scuole [4].

Le norme fino ad oggi emesse non prendono in considerazione la produttività e l'apprendimento e presentano un requisito modesto, ovvero che l'aria sia "accettabile" per almeno l'80% delle persone [5]. Questo significa che le persone più sensibili, come nel caso dei bambini, giudicheranno la qualità dell'aria inaccettabile. La problematica dell'inquinamento indoor e del benessere nei luoghi confinati è importante e di difficile valutazione per molte ragioni, una su tutte il fatto che spesso i vari fattori inquinanti e nocivi si intrecciano ed entrano in sinergia. La qualità dell'aria subisce alterazioni e modifiche dovute ad una serie di fattori quali la presenza e il comportamento degli occupanti, la qualità dei materiali con cui sono costruiti gli edifici, gli arredi, i sistemi di trattamento dell'aria, le operazioni di pulizia dei locali e per ultimo, ma non meno importante, l'inquinamento outdoor.

Diverse progetti, tra cui il recente studio pilota HESE [6], sono stati svolti per definire i principali e più negativi inquinanti indoor nelle scuole, tramite sopralluoghi

mirati, misurazioni specifiche di inquinanti fisici e chimici e valutazioni sulla percezione della qualità dell'ambiente indoor da parte degli occupanti, da cui risulta che l'aria all'interno delle scuole europee, e in particolare quelle italiane, appare piuttosto "scadente".

Tra gli inquinanti chimici e fisici analizzati nei campioni di scuole prese in esame, quelli che possono avere maggiori effetti negativi sulla salute dei ragazzi risultano essere: PM_{10} e $PM_{2,5}$, Aldeidi (formaldeide, acetaldeide), Btex (benzene, toluene, etilbenzene, xilene) e il radon. Inoltre si hanno sostanze contaminanti (CO_2) generate internamente per la presenza di persone (metabolismo), processi di combustione, materiali edilizi e arredi.



FIG.4 - Principali inquinanti chimici e fisici negli ambienti scolastici;

Dai primi risultati [7] è emerso che le misurazioni di PM_{10} e CO_2 , le cui concentrazioni risultano correlate (all'aumentare di un inquinante corrisponde un aumento dell'altro), hanno evidenziato alti livelli di esposizione, superiori ai limiti consigliati, dovuti principalmente a una scarsa ventilazione con la presenza di effetti negativi sulla salute respiratoria dei bambini, correlabili all'esposizioni di tali concentrazioni [8]. La concentrazione di PM_{10} , prodotto della combustione (riscaldamento, uso di gas per cucinare nelle mense scolastiche, ect.), la cui soglia [9] è di 50mg/mc, risulta superata: in Italia è di circa 150 mg/mc. Per quanto riguarda la CO_2 [10], dovuta alla respirazione, la sua concentrazione è di 1900 ppm.

Il dato più allarmante che deriva dai seguenti studi mostra che i valori più elevati, e quindi pericolosi, si hanno proprio nelle aule quando i bambini sono presenti. Non è disponibile una normativa specifica italiana sulla qualità dell'aria nelle scuole: esistono linee guida internazionali e dati derivanti dalla letteratura scientifica [11] e diverse iniziative intraprese in campo europeo, come Progetto "Indoor Air Pollution in Schools" messo a punto dall'EFA [12].

Da questo quadro appena delineato risulta evidente come gli ambienti degli edifici scolastici italiani frequentemente presentano gravi problemi igienico-sanitari, per la cattiva qualità delle costruzioni, per carenza di manutenzione e per problemi correlati al cattivo condizionamento dell'aria [13].

Nella maggior parte delle aule scolastiche, la purezza dell'aria è garantita dai ricambi naturali attraverso l'apertura manuale e periodica degli infissi delle aule (ad esempio, negli intervalli tra una lezione e l'altra oppure durante la ricreazione). Questo aspetto è legato alla tipologia costruttiva del parco edilizio esistente e delle tecnologie usate [14].



FIG.5 - Principali usi di areazione negli ambienti scolastici;

Dal punto vista energetico la ventilazione [15] incide notevolmente sul bilancio energetico dell'edificio: in Italia, come è stato già detto, la ventilazione è principalmente realizzata attraverso la classica apertura delle finestre al cambio

dell'ora, che risulta un metodo inefficace per generare un ricambio d'aria adeguato, e questo provoca un notevole dispendio di energia perché comporta un esercizio maggiore del sistema di riscaldamento-condizionamento, senza assicurare la completa bonifica dell'aria. Purtroppo la scarsa qualità dell'aria non dipende solo dalla carenza di ventilazione interna, ma anche dal modo di costruire e gestire gli edifici: gli interventi realizzati negli ultimi anni per "sigillare" le scuole al fine di conseguire un risparmio energetico spesso non tengono presente gli aspetti legati al comfort ambientale, necessari per buona riuscita dell'intervento.

E' evidente la necessità di intervenire in maniera efficace sulle strutture scolastiche esistenti per ottenere un'accettabile qualità dell'aria nelle aule.

▪ Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica

Per ottenere buoni livelli di qualità dell'aria, è opportuno provvedere una adeguata ventilazione degli ambienti, in base soprattutto all'utenza e al suo comportamento. La portata d'aria di ventilazione, o il numero di ricambi orari d'aria, diventano così gli elementi fondamentali in grado di garantire un'adeguata ventilazione: ogni bambino dovrebbe poter disporre di un ricambio d'aria di almeno 7,5÷8,00 litri al secondo [16].

E' noto che il ricambio d'aria comporta un'inevitabile dispersione termica [17] e quando avviene in modo incontrollato come succede nelle scuole esistenti (l'apertura manuale delle finestre), può incidere notevolmente sulla dispersione globale dell'involucro e quindi può compromettere l'obiettivo di raggiungere un'elevata prestazione energetica da parte dell'edificio. Per limitare le dispersioni non bisogna ridurre i ricambi d'aria perché comprometterebbe la salute dei bambini, ma gestire le portate d'aria in modo intelligente.

Esistono diverse possibilità per provvedere al necessario ricambio d'aria:

- Aerazione: approvvigionamento di aria esterna attraverso operazioni come l'apertura delle finestre, al quale si somma l'apporto dovuto alle infiltrazioni provenienti da serramenti e dall'involucro dell'edificio;
- Ventilazione naturale: movimento dell'aria generato da una differenza di pressione riconducibile a due fenomeni: effetto camino ed azione del vento agente sulle facciate dell'edificio (non è raccomandata per edifici fortemente ermetici);

- Ventilazione meccanica: impianti aeraulici e VMC (Ventilazione Meccanica Controllata): movimento dell'aria generato dall'immissione e/o rimozione dell'aria tramite soluzioni impiantistiche;
- Ventilazione ibrida: movimento dell'aria che sfrutta l'ingresso naturale dell'aria attraverso le fessure di infiltrazione, in combinazione con l'estrazione o l'immissione meccanica di aria, così da unire i principali vantaggi della ventilazione naturale (ingresso d'aria direttamente dall'esterno con bassissimo consumo di energia) alla stabilità di funzionamento propria dei sistemi meccanici.

In un'ottica di sostenibilità ambientale, una scelta energeticamente valida è rappresentata dalla ventilazione meccanica controllata (VMC). Per VMC si intende l'impiego di soluzioni impiantistiche, anche semplici, impiegate per le operazioni di ricambio d'aria negli edifici civili: consiste nel cambiare aria ai locali diminuendo la dispersione di calore e garantendo un comfort che la semplice gestione manuale delle finestre non permetterebbe [18]. Le componenti base della VMC sono rappresentate da:

- bocchette di immissione dell'aria pulita;
- percorsi dell'aria (gli ambienti stessi possono fungere da elementi canale per i flussi d'aria che si instaurano per le variazioni di pressione provocate dal ventilatore);
- bocchette di estrazione;
- sistema di convogliamento dell'aria estratta;
- ventilatore.

In caso di ristrutturazioni dell'esistente questi piccoli dispositivi si possono applicare sopra i serramenti e/o sotto alle soglie delle finestre in modo da mascherarli oppure a parete, con minimo o nullo onere di opere murarie. Il pregio degli impianti di VMC è anche quello di garantire il controllo delle portate di rinnovo dell'aria, che possono essere costanti (sistemi a portata fissa) o regolate durante il funzionamento (sistemi a portata variabile) mediante differenti tipi di sensori (umidità relativa, CO₂, presenza di persone).

Alternativamente possono essere adottati sistemi di ventilazione meccanica controllata con recupero di calore ottenendo così un risparmio energetico in

modo sensibile del 30÷50% (10÷25 kWh/mq annuo), con oltre il 90% di recupero di calore [19]. Questi sistemi prevedono la dotazione di scambiatori o pompe di calore che permettono di recuperare l'energia contenuta nell'aria espulsa, circa il 70%, che viene utilizzata per riscaldare l'aria che sarà immessa nell'ambiente, assicurando una sensibile riduzione dei costi di riscaldamento. Inoltre, la soluzione permette un'aerazione uniforme e costante dei locali, aumentando i volumi dell'aria di rinnovo in aule e sale comuni e l'estrazione dell'aria inquinata da bagni, spogliatoi e mense, con un sistema autoregolabile.

Dai recenti studi condotti dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare [20], sono suggeriti ulteriori semplici accorgimenti per migliorare la IAQ, come:

- progettare pareti e pavimenti a superfici lisce (escludere assolutamente la moquette e, se possibile, anche il linoleum che può emettere formaldeide);
- eliminare i tendaggi interni di qualunque tipo e utilizzare tendaggi esterni all'aula per riparare l'ambiente dal sole;
- pulire i locali della scuola (aule, corridoi, palestra ecc.) e aprire le finestre durante le operazioni di pulizia in modo da evitare che gli inquinanti contenuti nei detersivi si concentrino nelle aule;
- evitare operazioni di giardinaggio durante l'orario scolastico per ridurre l'esposizione ai pollini;

5.2.2. La temperatura ambientale e il comfort termico

Il comfort o benessere termico è definito come una condizione di benessere psicofisico dell'individuo rispetto all'ambiente in cui vive e opera dal punto di vista termico [21], oppure la condizione in cui il soggetto non sente alcuna sensazione di caldo o freddo (condizione di neutralità termica).

Nell'affrontare le problematiche inerenti al benessere termico negli ambienti scolastici è necessario tenere conto di tutti i parametri [22] che concorrono a influenzare il rapporto corpo umano-ambiente esterno. In effetti la sensazione umana di benessere termico non dipende esclusivamente dalla temperatura ambientale, ma anche da altri fattori, non meno importanti, quali:

- fattori soggettivi, dipendenti dalle caratteristiche fisiche, biologiche ed emozionali degli individui: abbigliamento, attività svolta;
- fattori oggettivi, connessi al microclima dell'ambiente considerato: temperatura dell'aria, temperatura media radiante, umidità relativa e velocità dell'aria;
- fattori fisiologici, temperatura della pelle, potenza termica dispersa per evaporazione

Le mutue variazioni di questi parametri o le eventuali disomogeneità degli stessi, internamente all'ambiente occupato, possono dar luogo a comfort termico (negli ambienti termici moderati) oppure addirittura producendo alterazioni più rilevanti nelle situazioni di "discomfort termico" o un vero stress termico (negli ambienti termici severi), come avviene in alcuni settori [23].

Oggi la ricerca del comfort termico oltre a mirare a stabilire una relazione tra la sensazione termica umana e i parametri che caratterizzano sia l'ambiente termico che le variabili personali, è molto importante per il contenimento dei consumi energetici, perché i tutti sopracitati parametri incidono notevolmente sui sistemi di riscaldamento e/o raffrescamento per il mantenimento della situazione di benessere psicofisico costante negli spazi confinati che garantisce l'ottimale svolgimento delle attività degli adulti e degli studenti.

Negli edifici scolastici in particolare, il benessere termico è molto importante poiché sono strutture destinate all'accoglienza di un'utenza particolare, come i bambini.

I bambini hanno un sistema immunitario non ancora maturo e non sono del tutto in grado mantenere la temperatura interna del corpo pressoché costante, perché il loro meccanismo di termoregolazione non riesce ancora a garantire correttamente l'equilibrio tra l'energia generata dal metabolismo e quella dissipata, e quindi necessitano di avere ambienti in cui il microclima interno sia costante.

Infatti, l'organismo umano cerca di mantenere costante la temperatura interna al variare delle condizioni esterne e a tal fine i meccanismi di termoregolazione cercano di compensare le energie perse o acquisite attraverso un bilanciamento di energie termiche, che può essere rappresentato analiticamente attraverso la seguente equazione semplificata:

$$M = C + R + E \pm I + L$$

in cui:

M = calore prodotto dal corpo umano per effetto del metabolismo (W);

C = potenza termica ceduta dal corpo per convezione (W);

R = potenza termica ceduta per irraggiamento (W);

E = potenza termica ceduta per evaporazione (W);

I = calore immagazzinato (segno +) o perduto (segno -) dal corpo in relazione alla variazione della sua temperatura media in condizioni di non equilibrio (W);

L = potenza meccanica sviluppata dall'organismo (W).

Questo bilancio è quindi funzione del metabolismo, attraverso cui il corpo trasforma l'energia potenziale chimica degli alimenti ingeriti in energia termica e, durante l'attività svolta, anche in energia meccanica.

I bambini compensano meglio degli adulti con una maggiore capacità di aumentare il proprio metabolismo [24]: in un bambino è sensibilmente superiore a quello degli adulti, 45 W/mq, raggiungendo anche i 70 W/mq. Inoltre i bambini presentano una minore tolleranza al freddo degli adulti: ciò dipende dal fatto che i bambini (e più in generale le persone di piccola taglia) hanno un elevato rapporto fra area della superficie corporea (da cui dipende lo smaltimento del calore) e massa corporea (da cui dipende la produzione).

I meccanismi che consentono all'essere umano di mantenere costante la temperatura interna [25] sono detti meccanismi di termoregolazione che possono essere:

- di tipo naturale o involontario: attività fisiologica vasomotoria o attività comportamentale (sudorazione o brivido);
- di tipo artificiale o volontario: abbigliamento o modificazione delle condizioni ambientali (uso degli impianti);

Il meccanismo più efficiente per dissipare l'energia termica accumulata e mantenere le condizioni di equilibrio termico interno all'interno del corpo umano è rappresentato dalla produzione di sudore. Il verificarsi di questa autoregolazione è legato all'isolamento termico creato dal vestiario [26].

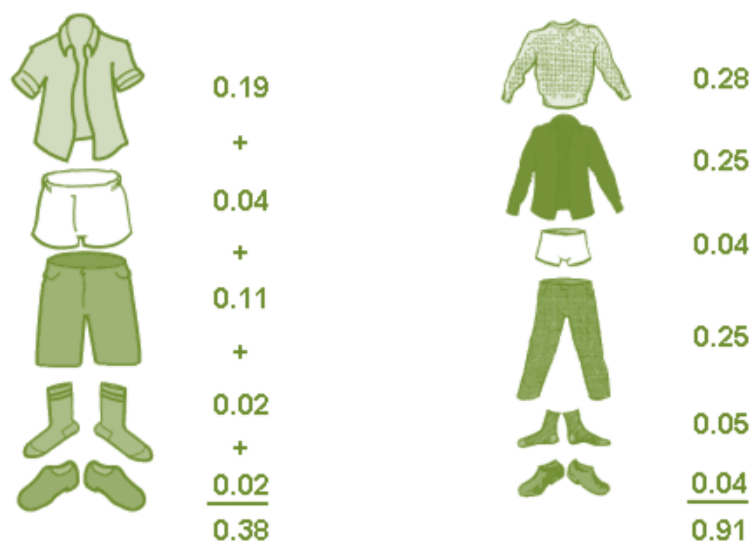


FIG.6 - Resistenza termica dei vestiti Icl per un abbigliamento tipico estivo ed invernale;

La temperatura dell'aria è quindi uno dei parametri che influiscono in modo sostanziale gli scambi termici del corpo e, quindi, la condizione di benessere termico. Valori compresi tra i 20÷22°C in inverno e 24÷26°C in estate rappresentano degli intervalli tali da garantire potenzialmente condizione di benessere.

Per determinazione di questi intervalli viene utilizzata la cosiddetta temperatura operativa t_o [27], indicatore parziale del benessere termico, che rappresenta la temperatura che noi percepiamo, riassumendo in sé l'effetto della temperatura dell'aria e la temperatura media radiante delle superfici che racchiudono l'ambiente considerato. Infatti la temperatura operante è definita come la media fra la temperatura dell'aria e quella media radiante proprio per valutare con un unico valore gli scambi termici per convezione e irraggiamento.

Inoltre è anche funzione della velocità dell'aria, che ha una grande influenza sulle perdite convettive del corpo umano; è di fondamentale importanza che il suo valore sia il più basso possibile in inverno, mentre in estate velocità dell'aria più elevate facilitano gli scambi convettivi.

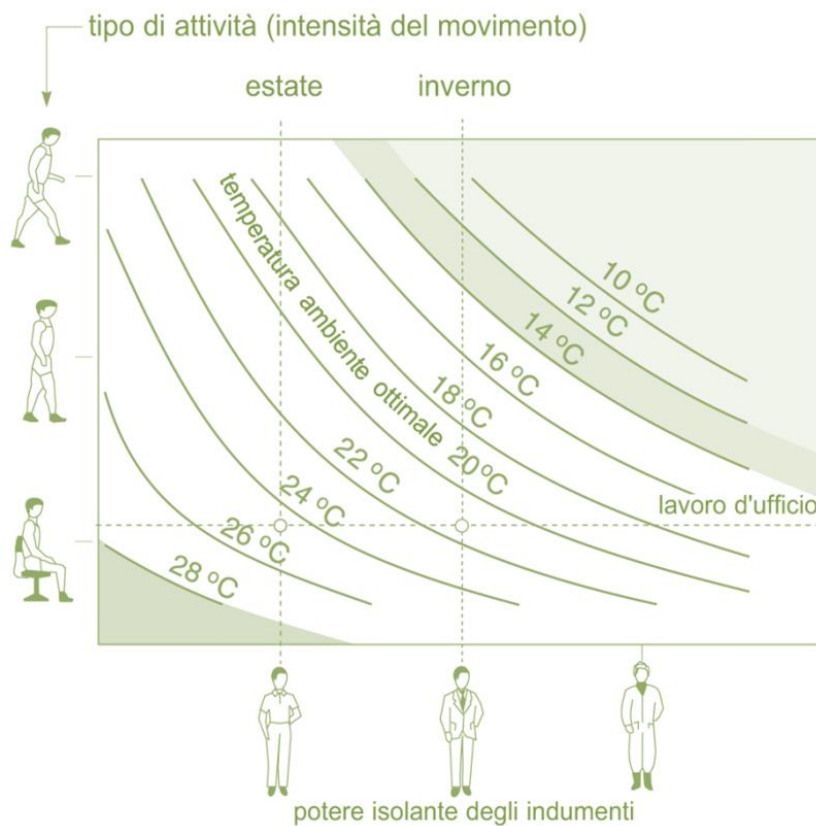


FIG.7 - Temperatura ambiente media gradevole, in funzione del genere d'attività e dell'abbigliamento;

Negli ambienti chiusi, come le aule, la temperatura media radiante è la media pesata delle temperature delle superfici che delimitano lo spazio con cui il corpo umano può innescare uno scambio termico di tipo radiativo. Questo parametro viene compreso anche l'effetto dell'irraggiamento solare incidente, fattore che influenza maggiormente la sensazione di calore perché la radiazione che cade sulla cute ne attiva gli stessi organi sensori (in relazione al tipo di abbigliamento indossato dagli utenti).

Assieme alla temperatura dell'aria, intesa come temperatura di bulbo secco, è il fattore più importante nella determinazione del benessere termico. Infatti per ottenere delle buone condizioni di benessere ambientale, la temperatura dell'aria e quella delle superfici interne, pareti, soffitti e pavimenti devono essere il più possibile uguali e ciò dipende dalle caratteristiche termiche dell'involucro edilizio e dalla tipologia di quest'ultime.

Gli effetti di questi o di tutti sopracitati parametri combinati aiutano a da definire un indice per la valutazione del comfort termico all'interno degli ambienti chiusi.

In realtà ottenere un idoneo indicatore dell'ambiente termico che correli sia i parametri oggettivi ambientali sia quelli soggettivi legati alle persone presenti nell'ambiente e che esprima la qualità di quest'ultimo, dal punto di vista termico, è molto difficile da sviluppare e comunque non soddisferebbe tutte le possibili condizioni richieste. Si possono distinguere tre diverse classi di indici termici ambientali:

- indici diretti, ottenibili direttamente dai diversi tipi di sonde di misura;
- indici analitici, normalmente basati sull'analisi del bilancio termico umano dello scambio termico con l'ambiente;
- indici empirici, basati sulla correlazione tra alcuni parametri ambientali e la sensazione umana a tali condizioni, attraverso un'analisi di regressione multipla, in cui le variabili termiche che meglio si correlano alla sensazione termica sono combinate, attraverso una stima statistica.

Gli indici diretti e quelli analitici possono essere utilizzati senza limitazione, mentre quelli empirici, essendo ricavati attraverso test su un certo numero di persone, spesso sono limitati entro particolari valori dei parametri stessi.

Tra i suddetti indici di valutazione quello più usato e che con maggiore precisione rispecchia l'influenza delle variabili fisiche e fisiologiche sopracitate sul comfort termico è l'indice di Fanger, il PMV (Predicted Mean Vote) [28]. Sinteticamente esso deriva dall'equazione del bilancio termico il cui risultato viene rapportato ad una scala di benessere psicofisico ed esprime il parere medio sulle sensazioni termiche di un campione di soggetti alloggiati nel medesimo ambiente. Dal PMV è derivato un secondo indice denominato PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) che quantifica percentualmente i soggetti comunque "insoddisfatti" in rapporto a determinate condizioni microclimatiche. Il PMV risulta quindi un indice particolarmente adatto alla valutazione di ambienti lavorativi a microclima moderato [29], quali abitazioni, scuole, uffici, laboratori di ricerca, ospedali, ect.

Essendo un modello statistico legato alla soggettività non esiste una condizione nella quale tutti i soggetti risultano soddisfatti ed anche per valori di PMV uguali a zero, cioè in condizioni previste di comfort, il valore di PPD è pari al 10%.

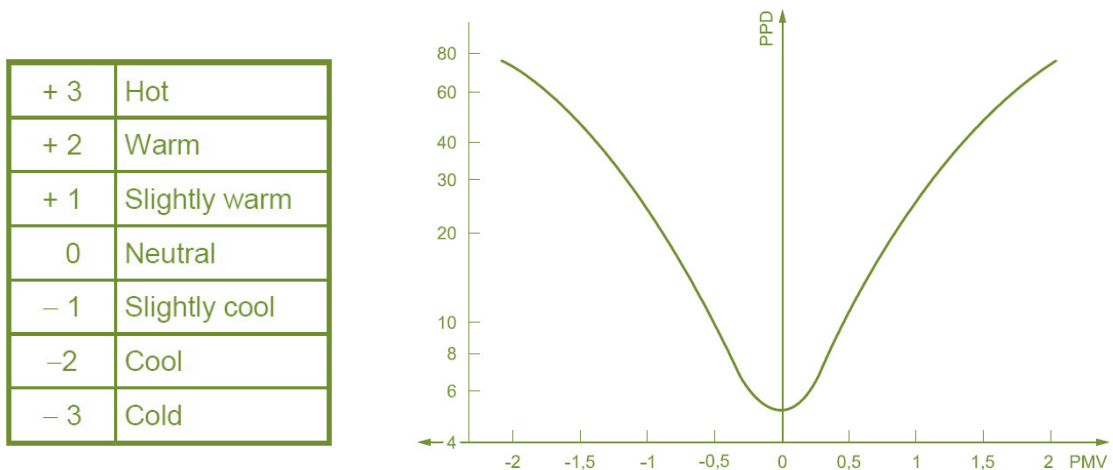


FIG.8 - Scala di sensazione termica: relazione tra PMV e PPD [fonte: UNI EN ISO 7730:2005];

Per la determinazione delle condizioni di comfort termico sono stati sviluppati diversi digrammi, tra cui quelli psicrometrici [30], che derivano da ricerche in campo ed esprimono graficamente i parametri che incidono sul comfort estivo e invernale.

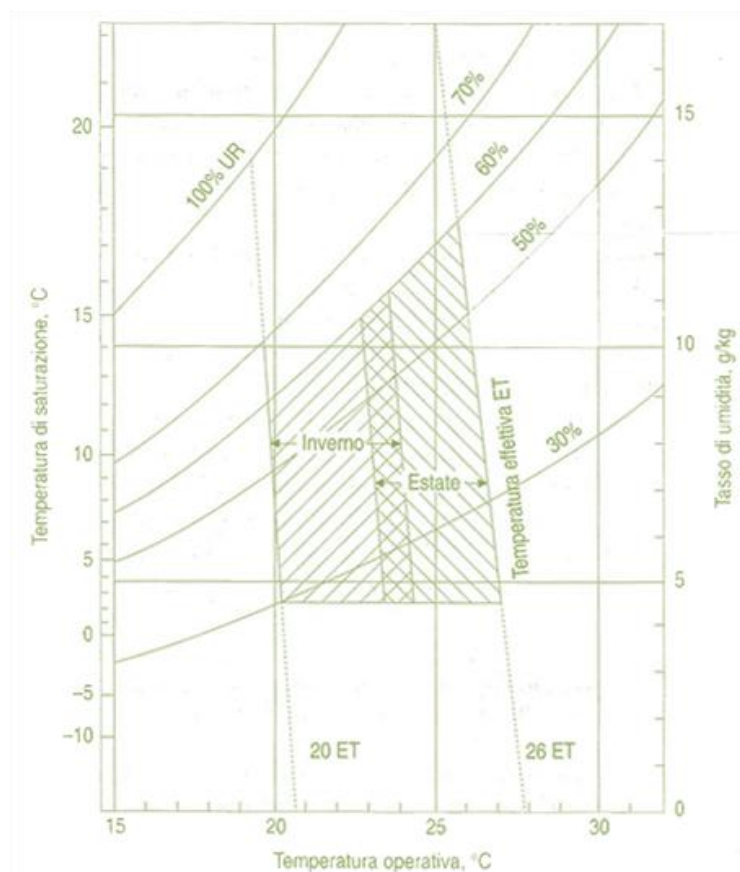


FIG.9 - Diagramma psicometrico con l'indicazione di comfort per le diverse situazioni stagionali [fonte: ASHRAE];

Il diagramma è valido per uffici o ambienti simili, caratterizzati da attività pressoché sedentaria, da flessibilità nella scelta del vestiario e da un elevato controllo sul microclima dell'ambiente interno da parte degli utenti, principalmente attraverso l'apertura e la chiusura delle finestre. La norma, non volendo essere dedicata unicamente alle attività di tipo sedentario, fornisce anche parametri correttivi per la valutazione di altri tipi di attività.

▪ Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica

Nella presentazione delle problematiche legate alla temperatura, e quindi del comfort termico negli ambienti scolastici, risulta evidente come la sensazione di benessere risulti influenzata dalla temperatura ambiente e la distribuzione del calore. La temperatura ambiente viene intesa normalmente come la temperatura dell'aria, che tecnicamente non esprime la percezione di calore di un individuo. La misurazione più idonea ad esprimere la sensazione di caldo di un individuo, all'interno di un ambiente riscaldato, è quella che esprime una media ponderata tra la temperatura dell'aria, delle pareti, del pavimento e del soffitto: la cosiddetta temperatura operante.

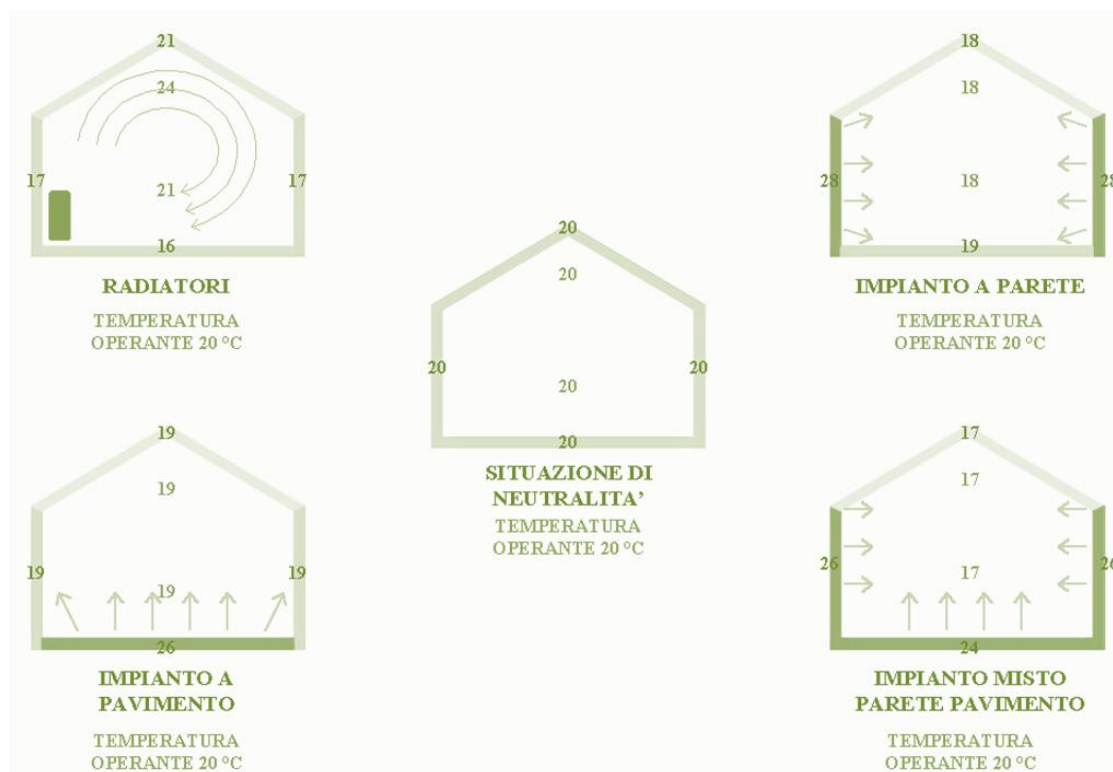


FIG.10 - Esempi di temperatura operante;

Il comfort termico negli edifici scolastici di solito si intende limitato al benessere nella stagione invernale, mentre per la situazione estiva in genere non vengono previsti impianti di condizionamento dell'aria, salvo in alcuni casi più recenti per le aule universitarie, e pure negli edifici scolastici di vario genere, ma solo per sala Convegno/Aula Magna, se a uso duplice, e per gli uffici.

Un approccio corretto deve agire su diversi livelli progettuali che riguardano l'ambiente e l'involucro dell'edificio ma anche le tecnologie impiantistiche, tradizionali e innovative.

Una prima soluzione per mantenere la temperatura nell'intorno dei valori ottimali risiede in una corretta ri-progettazione dell'involucro ed in particolare delle superfici vetrate e dei serramenti. Infatti come abbiamo visto nei capitoli precedenti, la maggior parte degli edifici scolastici, e in particolare quelli più datati e quelli costruiti senza una particolare attenzione all'isolamento ed ai dettagli costruttivi, è soggetto a dispersioni termiche.

La dispersione termica è dovuta al fatto che il calore si trasmette, attraverso pareti, solai, infissi e tetto, dall'interno (più caldo) verso l'esterno (più freddo). La dispersione termica comporta ogni inverno una maggior spesa per il riscaldamento poiché, oltre a mantenere riscaldato l'ambiente, bisogna anche compensare la parte di calore che viene dispersa verso l'esterno.

Per ridurre significativamente le spese per il riscaldamento invernale, è necessario migliorare le caratteristiche termiche dell'involucro edilizio. Questo significa che, per migliorare l'involucro edilizio, bisogna migliorare l'isolamento di pareti, tetto e solai, ma anche ridurre al massimo i ponti termici [31], in modo che le variazioni di temperatura esterne siano risente in misura inferiore, permettendo il mantenimento delle condizioni ottimali per lo svolgimento delle attività scolastica.

Accanto a questi interventi, sono necessari adeguamenti degli impianti termici, dalla semplice sostituzione della caldaia (caldaie a condensazione) alla realizzazione di nuovi impianti termici (come gli impianti di riscaldamento a pavimento che possono essere anche alimentati con energia solare), con un rendimento di produzione elevato e, soprattutto, rispetta i vincoli imposti dal D.P.R. 15 novembre 1996, n. 660 in attuazione della direttiva 92/42 CEE oppure si può optare per pompe di calore geotermiche. La regolazione impiantistica dovrebbe avvenire con sonda esterna e clima di ogni singola aula al fine di

ottimizzare la prestazione del sistema di regolazione evitando sprechi energetici.

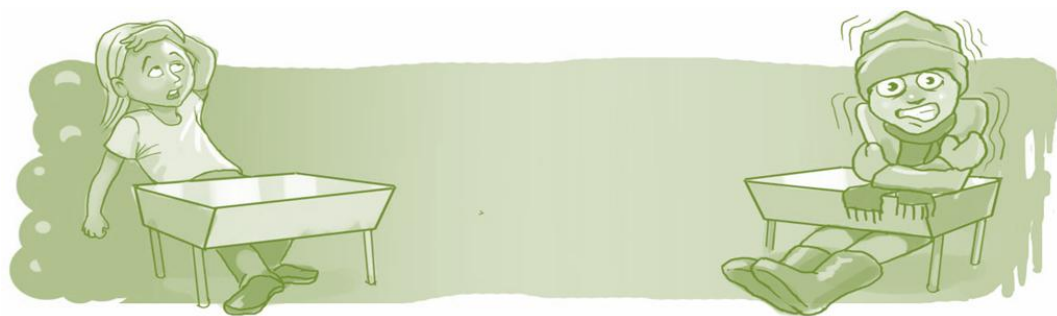


FIG.11 - Effetti della temperatura sui bambini;

Queste particolari tipologie di interventi presentano buoni risultati in termini di miglioramento della temperatura operante, con conseguente maggior benessere e minori consumi energetici.

In particolare, la curva di carico tradizionale prevede il picco massimo di potenza al mattino, verosimilmente tra le ore 6 e le 8; dopodiché, con l'arrivo degli alunni e del loro apporto termico, i carichi si attenuano notevolmente.

La caldaia durante la mattina resta accesa, ma probabilmente non alla massima potenza. Concluse le ore di lezione l'edificio normalmente viene chiuso e il riscaldamento spento. Se alcuni locali vengono utilizzati anche nel pomeriggio, il riscaldamento può funzionare parzialmente anche per quasi tutto il resto della giornata.

Poiché nelle scuole il carico massimo di potenza si raggiunge solo per poche ore al giorno, è fondamentale la potenza di spunto di inizio giornata quando l'edificio, rimasto freddo per tutta la notte, deve raggiungere il regime in poche ore. Per questo motivo spesso le centrali termiche degli edifici scolastici sono sovradimensionate, determinando un notevole spreco di energia.

Per evitare il sovradimensionamento dell'impianto si può intervenire attraverso:

- l'utilizzo di accumuli termici inerziali;
- l'installazione di caldaie modulanti;
- una più corretta gestione negli orari di funzionamento del sistema.

Per le aule è necessario prevedere un impianto di riscaldamento predittivo, in grado cioè di adattarsi al fatto che l'impianto rimane spento dal pomeriggio

precedente o dal sabato, prevedendo il tempo necessario per riportare le aule ad una temperatura confortevole giusto all'entrata degli studenti. Mentre i laboratori e le sale riunione, devono essere invece riscaldati in maniera minore, ma sufficiente per tornare rapidamente alla temperatura di confort a seconda delle esigenze.

Inoltre gli edifici scolastici hanno quasi sempre una morfologia poco compatta e di conseguenza gli impianti di riscaldamento spesso non sono ben bilanciati. Per superare lo sbilanciamento dell'impianto termico dovuto a un eventuale morfologia poco compatta dell'edificio, conviene installare le valvole termostatiche nei vari ambienti della scuola. Le valvole termostatiche garantiscono il comfort desiderato nelle diverse zone anche se sono lontane dalla centrale termica ed evitano notevoli sprechi di energia.

5.2.3. L'umidità relativa e il comfort igrometrico

L'aria presente negli ambienti chiusi è costituita da un miscuglio di aria secca e vapore acqueo. La quantità di vapore acqueo presente nell'aria determina il grado di umidità dell'aria: il vapore acqueo si forma a causa dell'attività umana degli occupanti (respirazione/traspirazione), e viene assorbito dall'aria in quantità dipendenti dalle condizioni ambientali determinandone la concentrazione.

L'umidità dell'aria incide notevolmente sulla salubrità dell'ambiente all'interno dei locali, ed fortemente legata agli scambi termo-igrometrici tra soggetto e ambiente negli spazi confinati: è dunque uno di quei parametri ambientali da cui dipende il benessere igrometrico, più precisamente benessere termoigrometrico, negli ambienti chiusi. I valori temperatura dell'aria e umidità relativa che determinano situazioni di comfort possono essere lette su appositi diagrammi psicrometrici.

L'umidità dell'aria viene in genere espressa come umidità relativa UR, cioè il rapporto percentuale tra umidità assoluta (quantità di vapore acqueo contenuta in un metro cubo di aria al momento della determinazione) e umidità massima (cioè la massima quantità di acqua che può essere contenuta nello stesso metro cubo di aria a quella determinata temperatura).

La massima quantità di vapore che l'aria può assorbire è chiamata quantità di saturazione ed è funzione crescente della temperatura a parità di volume. Se la

quantità di vapore acqueo contenuto in un volume di aria saturata ad una determinata temperatura aumenta, il vapore condensa passando allo stato liquido.

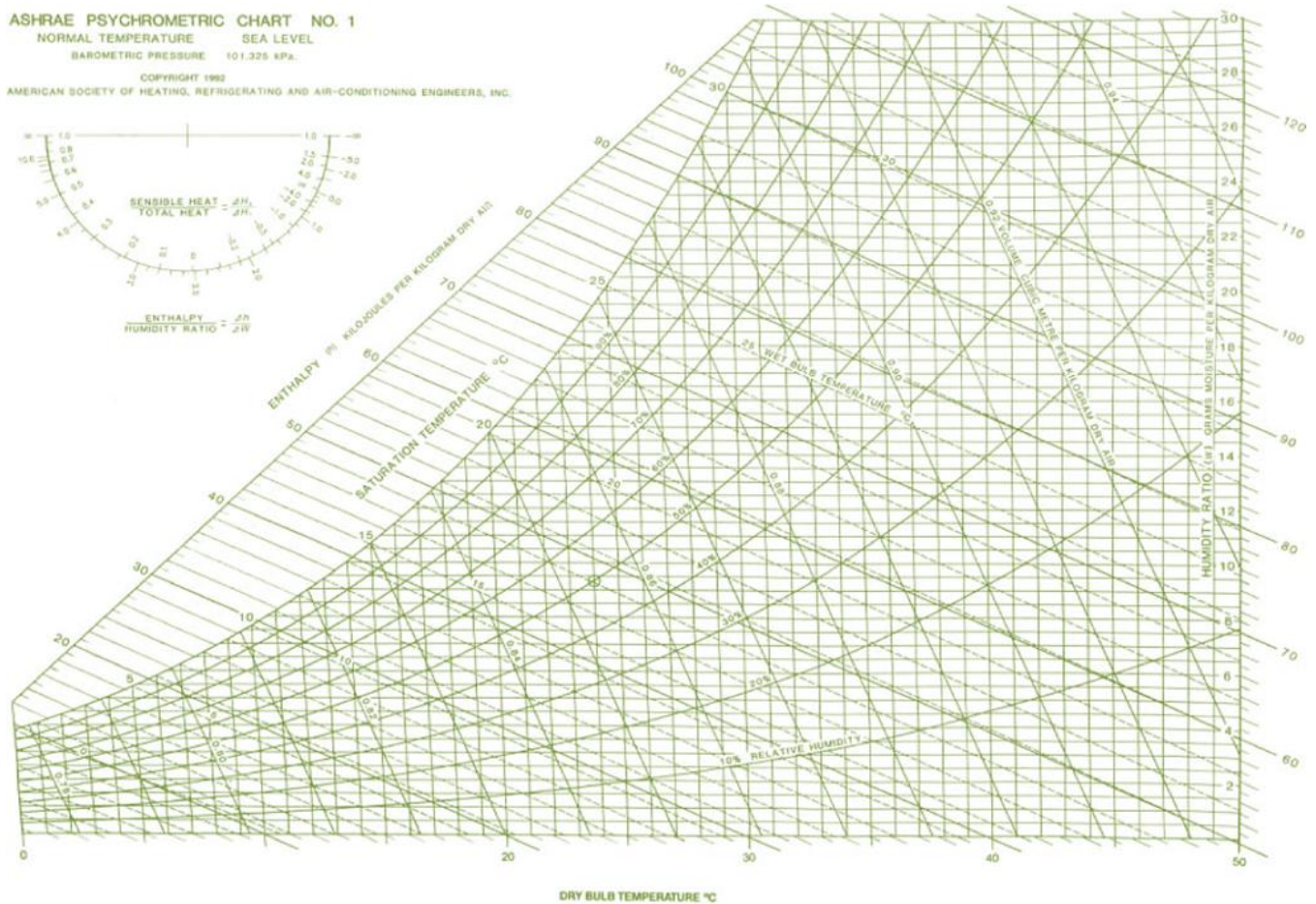


FIG.12 - Diagramma psicrometrico [fonte: ASHRAE];

L'umidità dell'aria è un aspetto piuttosto importante nella progettazione, soprattutto riferito ai problemi legati alla formazione di condensa ed alla conseguente comparsa di macchie di umidità e di muffe sulle pareti degli ambienti interni che sono una tra le patologie più diffuse nell'ambito degli edifici esistenti. Infatti l'umidità attiva un processo di degrado dei materiali che compongono le strutture edilizie, li danneggia non solo in modo visibile ma anche invisibile.

Oltre a queste ricadute sull'edificio, vi sono quelle che coinvolgono l'attività e la salute degli utenti di esso: un livello troppo alto o troppo basso dell'umidità dell'aria può influire negativamente sul corpo umano, sull'apparato respiratorio in particolare.

Come illustrato nel paragrafo precedente, il corpo umano deve mantenere una temperatura interna il più possibile costante per trovarsi in una situazione di comfort ambientale, e quando la temperatura tende ad aumentare, esso reagisce con varie contromisure, principalmente attraverso la sudorazione: la pelle viene inumidita dal sudore che a contatto dell'aria tende ad evaporare. Questo sistema di autoregolazione avviene in maniera efficace solo se negli ambienti confinati l'aria ha un'umidità sufficientemente bassa per garantire un'evaporazione rapida del sudore e quindi un efficace raffreddamento. In caso contrario, quando l'umidità ha un tasso elevata, oltre il 75%, il sudore ristagna sulla pelle e la temperatura del corpo aumenta provocando una sensazione di spossatezza e di malessere termico e può causare la proliferazione di contaminanti microbiologici (batteri, muffe o funghi filamentosi e acari) che possono provocare patologie respiratorie e reazioni allergiche (per contatto o inalazione). Anche nel caso di un livello basso di umidità, del 15÷20%, può essere dannoso in quanto l'eccessiva evaporazione, e quindi secchezza, può provocare irritazioni alle mucose nasali e ai bronchi.



FIG.13 - Batteri, muffe o funghi filamentosi e acari;

Oltre a ripercussioni sulla salute, un tasso di umidità non ideale provoca, soprattutto nelle scuole, una diminuzione del livello di attenzione da parte degli studenti, provocandone uno stato di affaticamento e una riduzione delle capacità lavorative degli insegnanti.

Temperatura	Umidità Relativa	Sensazioni provate
24 °C	40 %	benessere massimo
	85 %	benessere a riposo
	91 %	affaticamento, depressione
32 °C	25 %	nessun malessere
	50 %	impossibile il lavoro continuo
	65 %	impossibile il lavoro pesante
	81 %	aumento della temperatura corporea
	90 %	forte malessere
36 °C	10 %	nessun malessere
	20 %	impossibile il lavoro pesante
	65 %	necessità di riposo
	80 %	malessere

FIG.14 - Sensazioni percepite in funzione della temperatura e dell'umidità relativa [fonte: Simonetti in AA.VV., 1993];

Per stabilire il grado di umidità ottimale bisogna considerare diversi fattori, che variano varia da persona a persona:

- l'età e lo stato di salute, perché il corpo ha esigenze differenti a seconda che sia neonato, giovane, adulto o anziano;
- l'attività fisica o sedentaria che si pratica in un determinato momento e ambiente;
- il tipo di ambiente confinato in cui ci si trova.

Tuttavia, in caso di attività sedentarie come quelle che si svolgono principalmente nelle strutture scolastiche, il tasso di umidità dell'aria per ottenere una sensazione di benessere è compreso tra il 30% in inverno (per temperature comprese tra 19 e 24 °C) ed il 65% in estate (per temperature comprese tra 22 e 28 °C). Valori più bassi o alti sono fisiologicamente accettabili solo se limitati a pochi giorni durante l'anno.

	Temperatura	Umidità Relativa	Velocità dell'aria
inverno	19-24 °C	40-50 %	0,05-0,1 m/s
estate	22-28 °C	50-60 %	0,1-0.2 m/s

Fig.15 - Valori consigliati per temperatura, UR e velocità dell'aria a seconda della stagione [fonte: Simonetti in AA.VV., 1993];

Senza dimenticare che l'umidità presente nelle aule può avere effetti negativi soprattutto sulla percezione della qualità dell'aria: nel caso di massimo affollamento [32] in rapporto alla superficie a disposizione per ogni studente [33], il tasso di umidità che si forma all'interno di questi ambienti, senza un adeguato sistema di ventilazione che garantisca i necessari ricambi d'aria, può causare negli studenti oltre che uno stato generale di malessere, un abbassamento della soglia di percezione degli odori, ritardando così il momento in cui gli utenti percepiscono la necessità di ricambi d'aria.

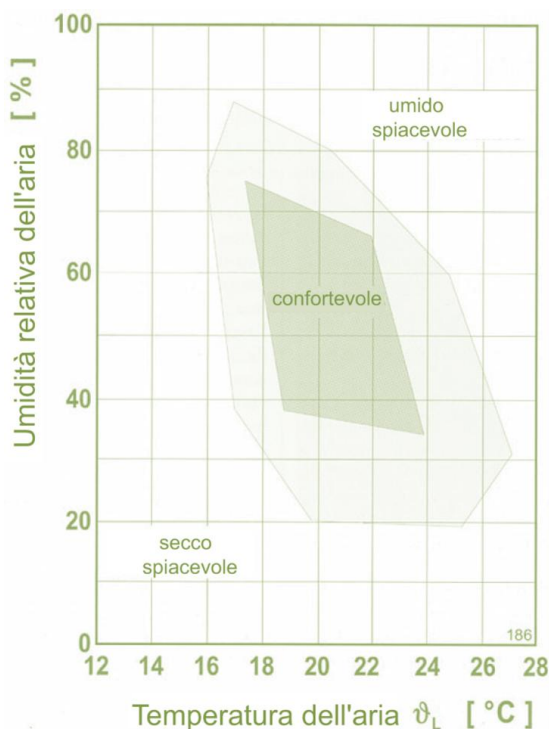


Fig.16 - Influsso della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa sul comfort termico [fonte: Terhaag 1986];

Come inizialmente accennato, la presenza di un'eccessiva umidità provoca danni agli edifici. I problemi legati alla formazione di condensa ed alla conseguente comparsa di macchie di umidità e di muffe sulle pareti degli ambienti abitati sono una tra le patologie più diffuse nell'ambito delle costruzioni.

Questo fenomeno si è accentuato in questi anni, probabilmente a causa di un uso poco cosciente degli ambienti scolastici e soprattutto delle tecnologie utilizzate (serramenti ad elevato isolamento, rivestimenti isolanti e cappotti esterni), che se da un lato giustamente favoriscono il comfort ed il risparmio energetico, tendono anche a sigillare gli ambienti senza provvedere nel contempo ai ricambi d'aria attraverso opportune aperture o impianti di ventilazione.

In generale i fenomeni di condensa nelle pareti degli edifici sono classificabili in due tipologie principali:

- la condensa interstiziale [34] che si manifesta all'interno della parete, attraverso la transizione di fase dell'acqua da stato di vapore a stato liquido all'interno di un componente edilizio;
- la condensa superficiale [35] che si verifica quando, per cause di diversa natura, la temperatura sulla superficie interna della parete scende al di sotto della temperatura di rugiada in concomitanza con la presenza di elevati valori di umidità relativa dell'aria interna.

Le cause che possono indurre alla formazione di condensa possono schematicamente essere ricondotte ad errori di natura progettuale, ad errori di esecuzione e ad una cattiva conduzione dell'impianto di riscaldamento, e nell'uso dell'edificio.



FIG.17 - Fenomeni di condensa interstiziale e superficiale;

La condensa interstiziale si verifica [36] quando il vapore acqueo attraversa un componente edilizio che separa due ambienti caratterizzati da condizioni differenti di pressione di vapore che "spinge" l'aria umida attraverso i pori dei materiali costituenti gli strati del componente edilizio. Il rischio di formazione di condensa interstiziale è legato alla produzione di vapore negli ambienti, alle resistenze termiche ed alle permeabilità al vapore dei materiali costituenti gli strati del componente edilizio in esame. A seguito dell'accumulo di acqua dovuta a condensazione negli strati di un componente edilizio si può avere un decadimento della resistenza termica e lo sviluppo di fenomeni di degrado, e questo si verifica principalmente in corrispondenza di ponti termici, di discontinuità delle proprietà igrotermiche, in punti in cui si hanno infiltrazioni di aria umida o di aria fredda.

Mentre la condensa superficiale si verifica quando la temperatura della superficie interna della parete è inferiore alla temperatura di condensa dell'aria dell'ambiente abitato: ad esempio, si avrà condensa superficiale quando, a fronte di una temperatura ambiente di 20 °C, con umidità relativa del 70%, tale temperatura sarà $\leq 14^{\circ}\text{C}$. Lo sviluppo della condensa di superficiale si presenta, anch'essa, in corrispondenza di ponti termici e di discontinuità, e soprattutto nei punti in cui è limitata la circolazione ed il ricambio dell'aria.

La comparsa di macchie di umidità porta nel tempo al degrado ed allo sfaldamento dell'intonaco; in questo processo restano coinvolti, in caso di condense interstiziali, anche i materiali isolanti interposti nelle pareti.



FIG.18 - Formazione di condensa sulla superficie interna(in corrispondenza del nodo tra solaio e parete) e sulla superficie interna vetrata di un infisso;

▪ Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica

La maggior parte degli edifici scolastici esistenti presentano un problema relativo all'elevato tasso di umidità relativa.

Per ottenere e tenere sotto controllo nelle aule il tasso di umidità, esistono alcune soluzioni impiantistiche come l'umidificazione e la deumidificazione, manuali o meccanici, correlati a sistemi di filtrazione dell'aria, che rimuova quindi polvere, cattivi odori e pollini. Queste tecnologie risultano essere particolarmente energivore: ad esempio, la riduzione dell'umidità di un aula attraverso l'apertura manuale degli infissi, comporta come abbiamo visto nei paragrafi precedenti, una perdita di calore durante il periodo invernale, e quindi un grande dispendio di energia.

Negli ultimi decenni si è fatto molto per affrontare tutti i fenomeni di degrado dovuti all'umidità: sono stati sviluppati e ideati nuovi materiali e nuove tecnologie. Perché sia garantito il controllo di questi fenomeni bisogna avvalersi di una corretta progettazione dei componenti, dalla scelta della tipologia costruttiva e dei prodotti più idonei, fino alla corretta posa in opera dei materiali, e lo svolgimento delle necessarie verifiche termo igrometriche in fase di progetto.

Al fine di evitare problematiche di condensazione generalmente si consiglia di garantire la circolazione e i ricambi d'aria necessari in maniera omogenea all'interno degli ambienti, per mantenere l'umidità relativa interna entro condizioni accettabili (tipicamente al di sotto del 60%) attraverso sistemi automatici per il ricambio e filtraggio dell'aria, oppure bocchette di aspirazione autoregolanti sui cassonetti o sui serramenti dei locali in modo da favorire un certo ricambio d'aria così da ridurre i picchi di umidità negli ambienti (microventilazione).

Inoltre bisogna evitare che la temperatura scenda al di sotto quella di rugiada [37] allo spegnimento degli impianti (ad esempio imponendo una temperatura di set-point minima di esercizio): seguendo per esempio un ciclo di riscaldamento e attenuazione notturna più attento alle condizioni ambientali esterne, in modo che si eviti di abbassare troppo la temperatura di notte evitando in tal modo un accumulo di umidità. Questi possono essere meglio gestiti attraverso le cosiddette "stazioni meteo", dispositivi che rilevano il tasso di umidità e temperature effettive nei vari ambienti della scuola e indicano come regolare i

sistemi impiantisci per ottenere condizioni comfort: entrano in funzione solo quando l'umidità supera il livello che si è scelto di impostare oppure che si arrestano quando l'umidità scende sotto il livello minimo.

Contemporaneamente per tenere sotto controllo condense interne nelle aule, si interviene anche sull'involucro edilizio, specialmente sui ponti termici. Infatti come si è già osservato precedentemente, spesso i problemi derivano anche da una cattiva coibentazione attuata in difformità dalle norme. Nei casi più gravi si può addirittura riscontrare la presenza di umidità e di muffe su tutta la superficie delle pareti, specialmente se orientate verso Nord o poco soleggiate.

A seconda dei casi gli interventi possibili sono la realizzazione di un rivestimento a cappotto esterno [38] o con una parete ventilata, aumentando la resistenza termica con opportuni isolanti (avendo cura di non eliminare la traspirazione delle stesse, cioè non bloccando la permeabilità al vapore d'acqua), se la presenza del fenomeno è diffusa, mentre se il fenomeno è limitato è preferibile intervenire dall'interno o dall'esterno ma in modo parziale; in ogni caso l'intervento dall'interno può essere difficile da attuare: infatti sottrae spazio agli ambienti e provoca non poco disagio perché deve essere eseguito in ambienti abitati.

Relativamente all'umidità proveniente dal sottosuolo può essere eliminata, una volta che si è individuato il meccanismo d'immissione, con la realizzazione di intercapedini aerate e drenate o impiegando azioni sulle fondazioni e murature per ostacolare la risalita dell'acqua.

L'umidità proveniente dalle infiltrazioni di acque meteoriche va eliminata agendo sulle impermeabilizzazioni delle frontiere (orizzontali, inclinate, verticali) e/o sulla rete di smaltimento delle gronde e dei pluviali per evitare ristagni.

5.2.4. L'illuminamento e il comfort illuminotecnico

L'illuminazione è un fattore molto importante all'interno di un edificio scolastico, perché oltre che migliorare le condizioni di visibilità dei ragazzi, influisce sulle attività che vengono svolte. Un'illuminazione errata affatica la vista e porta a fenomeni di stanchezza.

Per questo motivo la luce ha un forte influsso sulla qualità ambientale degli edifici scolastici, in cui è essenziale ottenere il massimo sfruttamento della luce naturale limitando l'utilizzo della luce artificiale, e questo non solo ai fini del risparmio energetico (la luce artificiale incide per il 19%, secondo l'International IEA Energy Agency, sulle spese di un edificio scolastico di qualsiasi tipo), ma soprattutto del comfort visivo.

Le aule scolastiche e gli spazi di circolazione all'interno degli edifici devono essere provvisti di un'illuminazione naturale o artificiale sufficiente e adeguata alla funzione dello spazio stesso. L'illuminazione di un ambiente di lavoro come le aule deve essere tale da soddisfare le esigenze dei bambini e insegnanti:

- buona visibilità: per svolgere correttamente una determinata attività, come la lettura e la scrittura, tipiche attività scolastiche, con facilità, velocità ed accuratezza;
- comfort visivo: l'insieme dell'ambiente visivo deve soddisfare necessità di carattere fisiologico e psicologico;
- sicurezza: le condizioni di illuminazione devono sempre consentire sicurezza e facilità di movimento;

Per soddisfare queste tre esigenze fondamentali è necessario riferirsi a parametri qualitativi e quantitativi definiti per i sistemi di illuminazione naturale ed artificiale. La conoscenza della natura della luce e delle grandezze utili a misurare le sensazioni che questa produce nell'uomo, sono importanti per descrivere l'ambiente visivo ed individuare i parametri ed i fattori che condizionano l'affidabilità della prestazione visiva nei luoghi scolastici. Ciò che si definisce radiazioni luminose o più semplicemente luce, sono le radiazioni elettromagnetiche che l'occhio umano è in grado di percepire, e precisamente quelle che hanno una lunghezza d'onda λ nel vuoto compresa tra 380 e 780 nm: alla lunghezza d'onda minore corrisponde la gamma cromatica del blu-violetto, a quella maggiore corrisponde invece la gamma dei rossi.

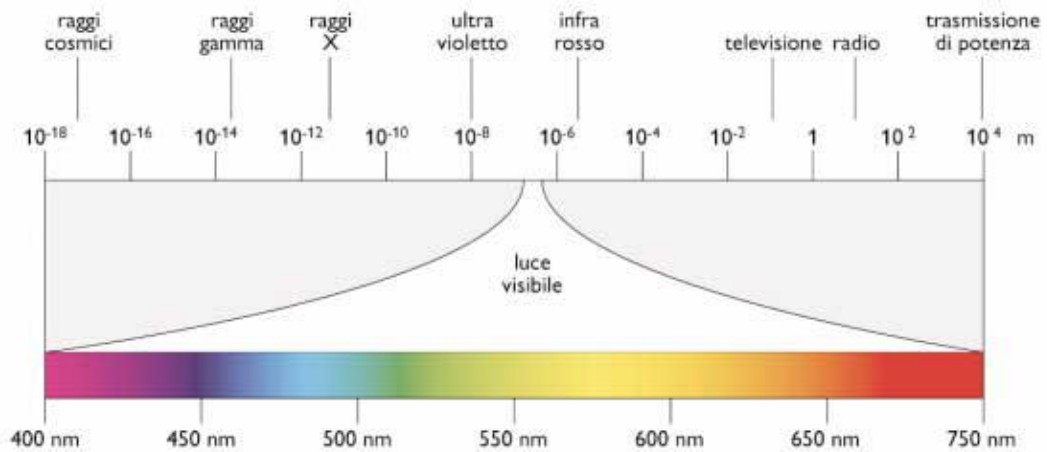


FIG.19 - Spettro elettromagnetico relativo alle differenti lunghezze;

Le differenze individuali possono far variare leggermente l'ampiezza dello spettro visibile. La luce è quindi la sensazione soggettiva prodotta dall'interazione di queste radiazioni con l'apparato visivo. La luce si manifesta all'uomo attraverso l'occhio, un organo sensibile e in grado di adattarsi alle mutevoli situazioni che lo circondano.

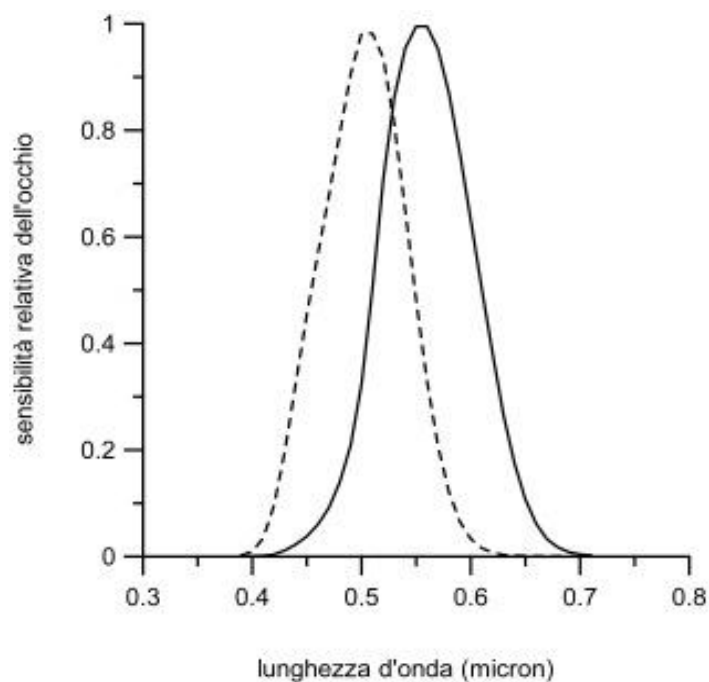


FIG.20 - Curva di sensibilità dell'occhio umano [fonte:Fördergemeinschaft Gutes Licht];

L'atto del vedere si esplica in una complessa sequenza di fenomeni fisici, chimici e nervosi e si manifesta concretamente attraverso la percezione delle forme, del colore, del rilievo e del movimento degli oggetti. Tralasciando i diversi meccanismi della visione, è importante concentrarsi sull'aspetto più importante nel campo architettonico: il colore.

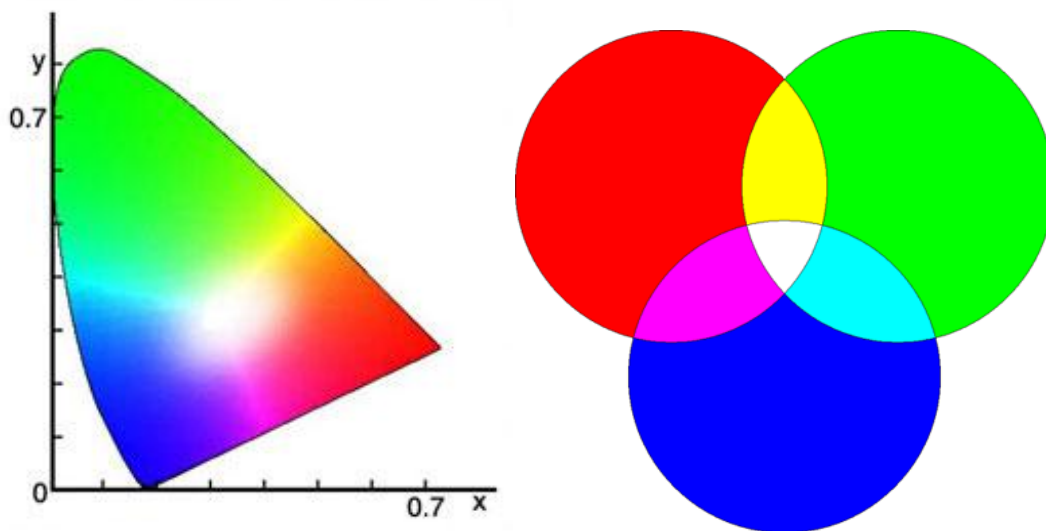


FIG.21 - Diagramma cromatico del CIE - Commission Internationale de l'Éclairage con l'indicazione delle lunghezze d'onda in nanometri [fonte: CIE], esempio di sintesi (o mescolanza) additiva di tipo spaziale;

In particolare nella progettazione contemporanea il colore è un elemento importante e può costituire una modalità tramite quale, oltre ad ampliare le caratteristiche degli spazi, delle superfici e dei corpi solidi, è possibile connotare il linguaggio della stessa architettura. I colori, ed il tipo di luce che i colori stessi generano, possono diventare componenti dell'architettura al pari di qualunque altro materiale che definisce i volumi, il pieno e il vuoto, gli spessori e le superfici. Addirittura la loro presenza (o assenza) può contribuire ad aggiungere qualità percettive allo spazio e alle dimensioni, manipolare la fisicità, connotare i volumi dei corpi rivelando ciò che aspetta di essere svelato.

Il colore è quindi un elemento indispensabile per favorire il benessere e la salute, sia individuali che collettivi, per il suo potente influsso psico-fisico, a causa della sua interazione con la luce e gli spazi, ed è un importante elemento di progettazione

ergonomica, che se ben scelto e dosato può facilitare i movimenti e le percezioni umane, specialmente delle persone come i bambini (la percezione del colore ne bambino è differente da quella dell'adulto).

Da quanto è stato appena detto una buona progettazione illuminotecnica per gli spazi didattici deve necessariamente essere attenta e rivolta alla ricerca del massimo comfort per tutti coloro che operano all'interno di questi ambienti, garantendo la presenza dei requisiti illuminotecnici di base. Le attività svolte all'interno di una scuola si diversificano per tipologia ed importanza e questo dovrà essere tenuto in considerazione dal punto di vista illuminotecnico. Risulta evidente che la struttura architettonica, i colori, gli arredi e il contesto generale dei locali sarà importante per il raggiungimento di questo obiettivo.

L'obiettivo illuminotecnico per un'aula scolastica è proprio quello di creare l'ambiente più adatto all'apprendimento. Le attività si svolgono generalmente su cattedre, tavoli e pareti, attraverso l'uso di libri di testo, computer e lavagne. Gli studenti e i docenti interagiscono ed è quindi importante riuscire a distinguere le espressioni e il linguaggio corporeo (che ha particolare importanza per gli studenti audiolesi, che basano la propria comprensione sulla lettura delle labbra e dei segni): da qui l'importanza di una corretta illuminazione.

In particolare negli ambienti scolastici, la normativa tecnica [39] definisce i criteri di qualità degli impianti per una corretta visione, le metodologie di misura e i criteri di progettazione, suggerendo in particolare che il progetto illuminotecnico preveda il più possibile l'uso della luce naturale, in modo da favorire il benessere psico-fisico degli occupanti e limitare allo stesso tempo il consumo energetico.

L'impressione visiva di un ambiente è influenzata dall'aspetto delle superfici degli oggetti, del suo interno (pareti, soffitti, pavimenti, arredi) e delle sorgenti di luce (finestre e apparecchi d'illuminazione) e dipende da diversi parametri, quali:

- distribuzione delle luminanze: una luminanza ben bilanciata è necessaria per aumentare la nitidezza della visione, la sensibilità al contrasto e l'efficienza delle funzioni oculari;
- illuminamento: la quantità di luce che cade sulle superfici e la sua ripartizione influenza notevolmente la percezione del compito visto e la sua esecuzione in modo rapido e sicuro;

- abbagliamento (diretto o riflesso): fenomeni collaterali a un difetto di illuminamento che può causare errori, affaticamento e incidenti;
- aspetti del colore: devono essere considerati sempre separatamente i due attributi di apparenza del colore e di resa del colore;
- sfarfallamento ed effetti stroboscopici: lo sfarfallamento provoca distrazione e può dar luogo per esempio a cefalee, mentre gli effetti stroboscopici possono comportare situazioni di pericolo;
- luce diurna: fornisce tutta o in parte l'illuminazione necessaria.

L'aspetto più importante in ambiente scolastico e lavorativo è la densità luminosa che giunge sul posto di lavoro. Quantitativamente pertanto l'illuminazione ottimale di ogni ambiente dipende dal particolare tipo di lavoro che si deve svolgere. Nell'ambiente scolastico in particolare si ricordano i seguenti limiti raccomandati dalla legislazione:

Ambiente	Intensità luminosa (Lux)
Corridoi, scale, spogliatoi, docce, toilette, atrio d'ingresso, saloni, aula magna, sala feste	100
Mense, aula professori e di raccolta	200
Aule	300
Aule speciali, laboratori, aule con prevalente utilizzo serale o speciali per l'istruzione adulti	500
Palestre e spazi sportivi: allenamenti, gare	200 400

FIG.22 - Valori di riferimento previsti dalla normativa per l'intensità media di illuminazione;

Il grado di illuminazione non è però soltanto in rapporto con l'intensità luminosa, l'ampiezza del fascio di radiazioni e la distanza dalla sorgente diretta di luce, ma che con la capacità che le pareti e gli oggetti circostanti hanno o meno di diffondere e riflettere la luce che incide su di essi. Un'illuminazione errata che non tenga in

considerazioni tutti i parametri appena elencati, può portare a delle conseguenze negative e danni sui i bambini e il corpo docente, come un affaticamento della vista e fenomeni di stanchezza.

Negli ambienti dotati di finestre, il contributo di luce naturale in termini di illuminamento interno può essere calcolato secondo indicazioni normative attraverso il coefficiente di luce diurna medio, FLD_m , che rappresenta il rapporto in percentuale tra l'illuminamento medio dell'ambiente e l'illuminamento che si ha nelle stesse condizioni di tempo e spazio, su una superficie orizzontale esterna che riceve luce dall'intera volta celeste, senza irraggiamento solare diretto. Il ricorso ad un tale descrittore consente di rappresentare con un parametro statico un fenomeno dinamico, riducendo per di più il calcolo alla valutazione di fattori puramente geometrici (limite imposto per le aule di $FMLD > 3\%$).

Da quanto finora detto, risulta come sia estremamente importante ottenere dei livelli di illuminazione ottimali negli edifici scolastici perché siano svolte in maniera ottimale le diverse attività che si svolgono all'interno di questi ambienti. Questo può essere ottenuto attraverso:

- un illuminazione naturale;
- un illuminazione artificiale;
- un illuminazione combinata tra quella naturale e artificiale.



FIG.23 - Componenti della luce naturale;

I locali scolastici debbono, come e più delle altre categorie di edifici, disporre di luce naturale ed avere una illuminazione artificiale adeguata.

L'illuminazione naturale ha come sorgente il sole che emette una luce ottimale qualitativamente, ed è fissa e di colore bianco [40]. Ma la vera sorgente luminosa è rappresentata dall'atmosfera che riflette e diffonde la luce solare: è proprio la "volta celeste" l'elemento considerato fonte di luminosità, tanto è vero che viene misurata nella sua estensione visibile da un posto di lavoro per emettere giudizi di luminosità ottimale. Ovviamente bisogna tenere presente che la luce solare, riflessa dalla volta celeste, viene condizionata da vari fattori atmosferici facilmente intuibili che ne provocano fenomeni d'assorbimento e di diffusione delle radiazioni solari, in misura variabile con le ore del giorno (percorso più o meno lungo che le radiazioni stesse compiono prima di raggiungere il livello del suolo), di cui si deve sempre tener conto. L'elemento fondamentale per lo sfruttamento della luce naturale è la "finestra". Dalla normativa gli ambienti destinati ad attività didattica (aule per lezione, studio e disegno) devono essere principalmente dotati di un illuminazione naturale mediante aperture finestrate, aventi superficie non inferiori a $1/5$ della superficie del pavimento.

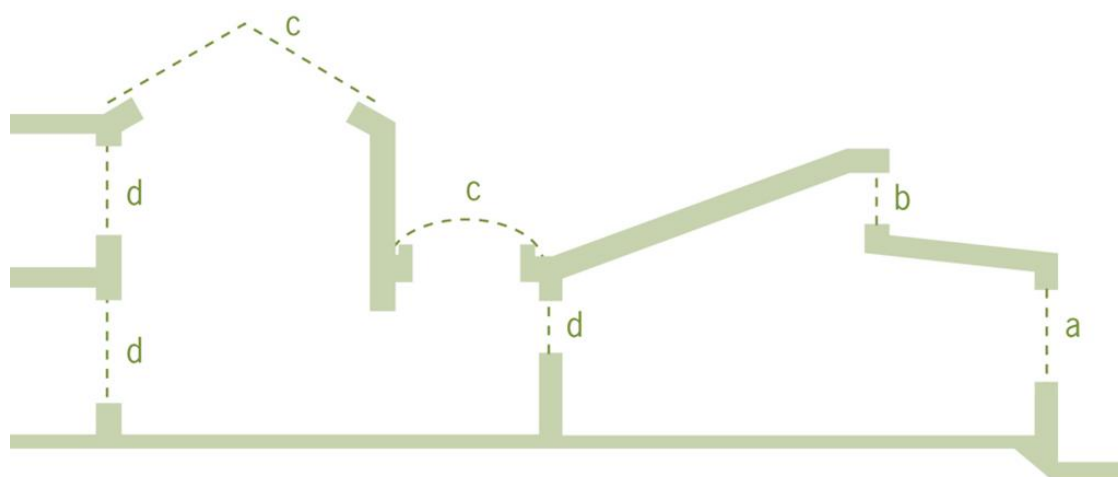


FIG.24 - Differenti collocazioni delle chiusure trasparenti all'interno dell'involucro edilizio [fonte: Department of Education and Employment, UK];

Nell'illuminazione degli ambienti l'impiego della luce diurna è importante sia per la qualità della visione e le caratteristiche di gradevolezza da parte degli utenti, che, come già detto, per ragioni connesse al risparmio energetico.

Il contributo della luce naturale nell'illuminazione degli interni va inoltre privilegiato in quanto la presenza nell'involucro di un edificio di aperture verso l'esterno

permette di cogliere le modulazioni del ciclo della luce a cui sono legate importanti funzioni fisiologiche e di mantenere un legame visivo col mondo circostante che è un bisogno psicologico elementare dell’bambino.

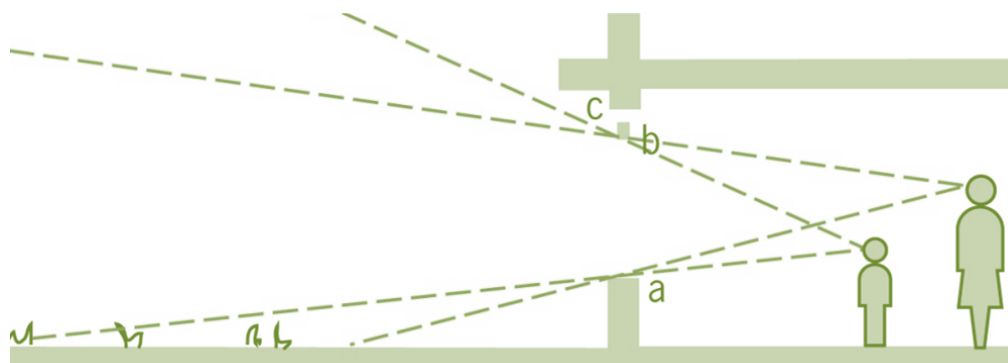


FIG.25 - Schema dei coni visuali di bambini e adulti [fonte: Department of Education and Employment, UK];

La luce diurna è caratterizzata da variazioni nel tempo di quantità e qualità, composizione spettrale e direzione ed il suo ingresso negli ambienti confinati dipende:

- dalla località;
- dall’orientamento dell’edificio e in particolare delle aule;
- dalla distribuzione, dalla localizzazione e dalle caratteristiche tecnologiche-formali delle chiusure trasparenti;
- dalla presenza nell’intorno di edifici od altri elementi del paesaggio.

Questi elementi devono essere tenuti presenti nella progettazione dei luoghi dedicati alla didattica per utilizzare efficacemente i vantaggi dati dalla luce diurna e minimizzare gli effetti negativi che possono derivarne, attraverso scelte architettoniche e di materiali compatibili.

Importante per il contenimento dei consumi energetici e per il benessere illuminotecnico è opportuno cerca di ottenere una massima captazione di luce solare in inverno, quando vi è meno disponibilità esterna, e massima protezione in estate, quando è preferibile avere un’illuminazione indiretta e diffusa. Queste stesse

considerazioni valgono anche al fine di ottimizzare gli apporti solari di energia termica: massima captazione in inverno e protezione in estate.



FIG.26 - Schema dei vantaggi/svantaggi della luce diurna;

Ma poiché i livelli di illuminazione naturale risultano essere insufficienti specialmente nella stagione invernale, ma anche nelle stagioni intermedie a causa di fenomeni dovuti alla diffusione della luce naturale diretta, è necessario integrare supplire al deficit con sistemi per l'illuminazione artificiale, che oltre a comportare maggiori consumi elettrici abbassano il livello di benessere psico-fisico legato alla percezione cromatica dei colori.

Per questo l'illuminazione artificiale adottata deve essere sufficiente, non abbagliante, di composizione spettrale eguale a quella naturale, non pulsante, non

deve alterare le caratteristiche fisiche e chimiche dell'aria e deve essere uniforme ed economica.

La progettazione di un impianto di illuminazione deve perciò essere coerente con le caratteristiche dell'ambiente (dimensioni, forma, proprietà fotometriche delle superfici interne, presenza di luce diurna, ecc.), la sua funzione generale (commerciale, produttiva, sanitaria, ecc.) ed i compiti visivi degli utilizzatori.



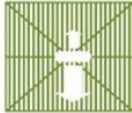


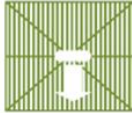

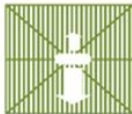
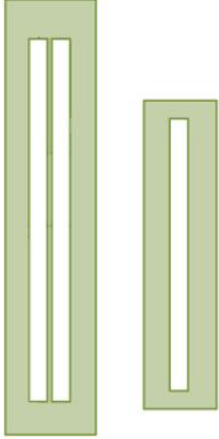
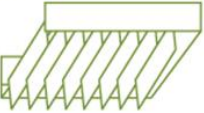

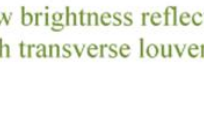


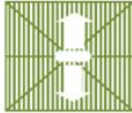
Luminaire type		Distribution/mounting	Performance
	Diffuser 	Semi-direct 	Good utilisation factor for large high reflectance rooms (LHR) Risk of glare for large low reflectance rooms (LLR).
 Modular	Prismatic 	Direct 	Middle utilisation factor even for LHR rooms Little risk of glare for LLR rooms.
	Prismatic controller 	Semi-direct 	Good utilisation factor for LHR rooms Little risk of glare for LLR rooms.
	Transverse louver 	Semi-direct 	Middle utilisation factor even for LHR rooms Little risk of glare even for LLR rooms.
	Low brightness reflector with transverse louver 	Direct 	Good utilisation factor for LHR rooms No risk of glare even for LLR rooms.
	Direct/indirect	Direct – Indirect 	Middle utilisation factor for LHR rooms No risk of glare even for LLR rooms.

FIG.27 - Tipologie dei dispositivi di illuminazione [fonte: IAE - Annex 36];

Quindi un corretto utilizzo della luce diurna rende più gradevoli ambienti agli occupanti e contemporaneamente può contribuire a contenere durante il giorno i consumi di energia elettrica.

▪ Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica

Le principali problematiche presenti negli edifici scolastici esistenti mostrano la presenza di un cattivo stato delle superfici trasparenti e delle apparecchiature del sistema d'illuminazione artificiale, causa deterioramento degli infissi e di una manutenzione praticamente assente e l'incapacità di sfruttare sistemi di illuminazione progettati in modo corretto.

In base alle analisi esigenziali e alle necessità proprie dei locali scolastici, e soprattutto all'economicità, in tutti i settori (d'installazione, manutentivi, di gestione,...), risulta importante ristabilire un ambiente luminoso ottimale.

Le riduzioni dei consumi di elettricità che si possono ottenere mediante interventi di razionalizzazione degli impianti possono essere consistenti e vanno pertanto perseguite.

Il settore delle tecnologie per l'illuminazione efficiente è in continua evoluzione e consente di conseguire risparmi energetici molto elevati, spesso compresi fra il 30% ed il 50%, offrendo contestualmente un comfort visivo migliore.

In questo caso bisogna tener conto di tutta una serie di fattori tra cui la quantità di luce naturale presente; l'eventuale cambio di destinazione d'uso dei diversi ambienti; le caratteristiche fisiche dell'ambiente; la rispondenza agli standard di comfort visivo degli vari ambienti rispetto alla specifica destinazione d'uso e le esigenze di flessibilità.

Gli interventi realizzabili ricadono in due categorie principali:

- sostituzione di componenti e sistemi con altri più efficienti (lampade, alimentatori, corpi illuminanti, regolatori);
- adozione di sistemi automatici di regolazione, accensione e spegnimento dei punti luce (sensori di luminosità, sistemi di regolazione del flusso);

Per quanto riguarda le lampade, la maggior parte degli edifici scolastici presenta un impianto di illuminazione artificiale costituito da lunghi tubi a fluorescenza collocati a soffitto che forniscono un tipo di luce abbastanza uniforme, ma esistono numerose configurazioni dei dispositivi e differenti tipologie di lampade ad alta efficienza energetica.

In commercio si trovano diverse tipologie di lampade, il cui utilizzo è essenzialmente legato alle caratteristiche dell'ambiente che si vuole illuminare,

al tipo di luce prodotto da ciascuna ed alle attività che si intendono svolgere nell'ambiente stesso. Vi sono infatti lampade in grado di emettere una luce più "calda", altre caratterizzate da una luce bianca che non altera i colori, altre ancora emettono una luce gialla.

Tipo di lampada	Efficienza (lm/W)	Durata (h)	Costo (€/unità)
A incandescenza normale	12	1000-1200	1,00
A incandescenza alogena	15,5	2000	2,00
A scarica in gas fluorescente compatta*	40-60	12.000	7,00
A scarica in gas tubolare fluorescente ad alta frequenza	80	12.000	12,00

FIG.28 - Caratteristiche delle varie lampade in commercio (* attenzione all'utilizzo delle lampade a scarica in gas poiché queste contengono vapori di mercurio che ne impediscono lo smaltimento come rifiuto non pericoloso);

Come evidenziato dai dati riportati, passando da lampade a incandescenza normali, a lampade alogene, a lampade a scarica in gas fluorescenti tradizionali, a lampade a scarica in gas fluorescenti compatte si ha un generale aumento del costo di acquisto cui però si accompagna un rendimento maggiore (ovverosia un minor consumo di elettricità durante l'uso) e un tempo di vita più lungo (che consente di sfruttare nel tempo il beneficio del risparmio energetico).

Un aumento di efficienza nell'illuminazione, oltre ai ritorni diretti di risparmio energetico descritti, comporta ricadute positive anche in conseguenza del miglioramento del comfort degli ambienti scolastici da cui si ottengono miglioramenti produttivi degli studenti.

Per quanto riguarda gli alimentatori è bene optare per quelli elettronici, che consentono di ridurre i consumi di energia elettrica, di migliorare il funzionamento della lampada grazie alla frequenza di alimentazione più elevata e di conseguire maggiori durate rispetto a quelli magnetici.

Una attenta scelta dei corpi illuminanti permette di ottimizzare la distribuzione del flusso di luce prodotto da una lampada e il rendimento luminoso, con il

risultato di non generare eccessive dispersioni di luce per riflessioni - rifrazioni interne all'apparecchio o per diffusione verso direzioni non utili. Per ciascun apparecchio illuminante è quindi importante valutare il rendimento luminoso il quale esprime la frazione di flusso luminoso emesso dalla sorgente indirizzato verso la direzione utile.

Inoltre, gli apparecchi illuminanti delle aule e dei laboratori dovranno essere posizionati in funzione delle loro caratteristiche e della disposizione dei banchi in modo da garantire una razionale uniformità di illuminamento in tutta l'aula. A tal fine oltre alla geometria giocano un ruolo importante.

Gli interventi inerenti alla regolazione per ottenere un ottimale livello di illuminazione deve essere previsto un sistema in grado di offrire un corretto illuminamento, riguardano:

- il comando manuale per aree distinte;
- il controllo automatico a tempo;
- il comando automatico con rilevatore di presenza;
- la regolazione del flusso luminoso in funzione del decadimento delle lampade, dell'orario e dell'apporto di luce diurna.

La progettazione dell'intervento sull'illuminazione artificiale va eseguita nell'ottica della massima integrazione tra luce naturale e luce artificiale e quindi del maggiore risparmio energetico possibile. La norma UNI EN 12464-1, fa delle semplici considerazioni energetiche, limitandosi ad osservare che un impianto d'illuminazione deve corrispondere ai requisiti d'illuminazione di un luogo particolare, senza sprecare energia. Tuttavia, afferma, questo deve avvenire senza compromettere l'aspetto visivo di un impianto d'illuminazione, e per ottenere ciò occorre un esame approfondito dei sistemi più appropriati d'illuminazione, delle apparecchiature, dei comandi e dell'uso della luce diurna disponibile.

Tali requisiti saranno ottenuti con un impianto di illuminazione delle aule, dei laboratori e degli uffici, rivolto al risparmio energetico, che prevedono una gestione controllata delle fonti di illuminazione attraverso comandi che condizionano l'accensione delle lampade tramite sensori e detettori alla presenza effettiva di persone. Un sistema come questo garantisce, anche in caso

di dimenticanza degli utenti, lo spegnimento automatico dell'illuminazione nelle aule, trascorsi pochi minuti dal termine delle lezioni.

Nel caso delle aule scolastico risultano ad hoc i sistemi di controllo adattativo della illuminazione, basati sulla combinazione di lampade fluorescenti a basso consumo dotate di reattori elettronici dimmerabili e di sensori di luminosità e presenza, che permettono di anticipare sia l'accensione che lo spegnimento graduati nel corso della giornata, tenendo costante la quantità di luce nei soli periodi di effettivo utilizzo.

Dagli studi effettuati [41] si evidenzia come i sensori di luce diurna e la rilevazione di presenza possono generare risparmi energetici fino all'80% senza compromettere la qualità dell'illuminazione fornita.

I dispositivi descritti, pertanto, consentono al sistema di illuminazione una regolazione in intensità e presenza e di conseguenza il tempo di permanenza del circuito di illuminazione acceso, si riduce notevolmente. Ovviamente il sistema automatico, considerato il numero di aule, ai laboratori, ect, di tutto il complesso scolastico, comporterà un risparmio energetico notevole in relazione al tempo di funzionamento dell'impianto di illuminazione nelle ore di funzionamento.

Per quanto concerne invece i problemi legati dall'illuminazione naturale i più incidenti sono l'abbagliamento dovuto alla notevole differenza di luminanza fra le superfici vetrate delle finestre e le superfici opache dei muri interni e gli apporti solari. Per ridurre l'abbagliamento e gli apporti solari causati dalle superfici trasparenti, è necessario intervenire sull'involucro dell'edificio, utilizzando schermature o sistemi che permettano di controllare l'ingresso di luce naturale negli ambienti, soprattutto in condizioni d'elevata luminanza esterna. In particolare l'utilizzo di un sistema di schermatura necessario per ridurre gli apporti solari, è espressamente richiesto dalla legislazione nazionale (comma 10, all. I del D.Lgs. 311/2006 e DPR 59/2009).

Le schermature sono distinguibili in:

- Schermature esterne fisse;
- Schermature esterne mobili;
- Schermature interne flessibili.

La schermatura più efficace per una finestra rivolta a sud è quella orizzontale, mentre per le finestre rivolte ad est oppure ovest si devono usare schermi verticali. I dispositivi più semplici sono gli aggetti ed i brise-soleil.

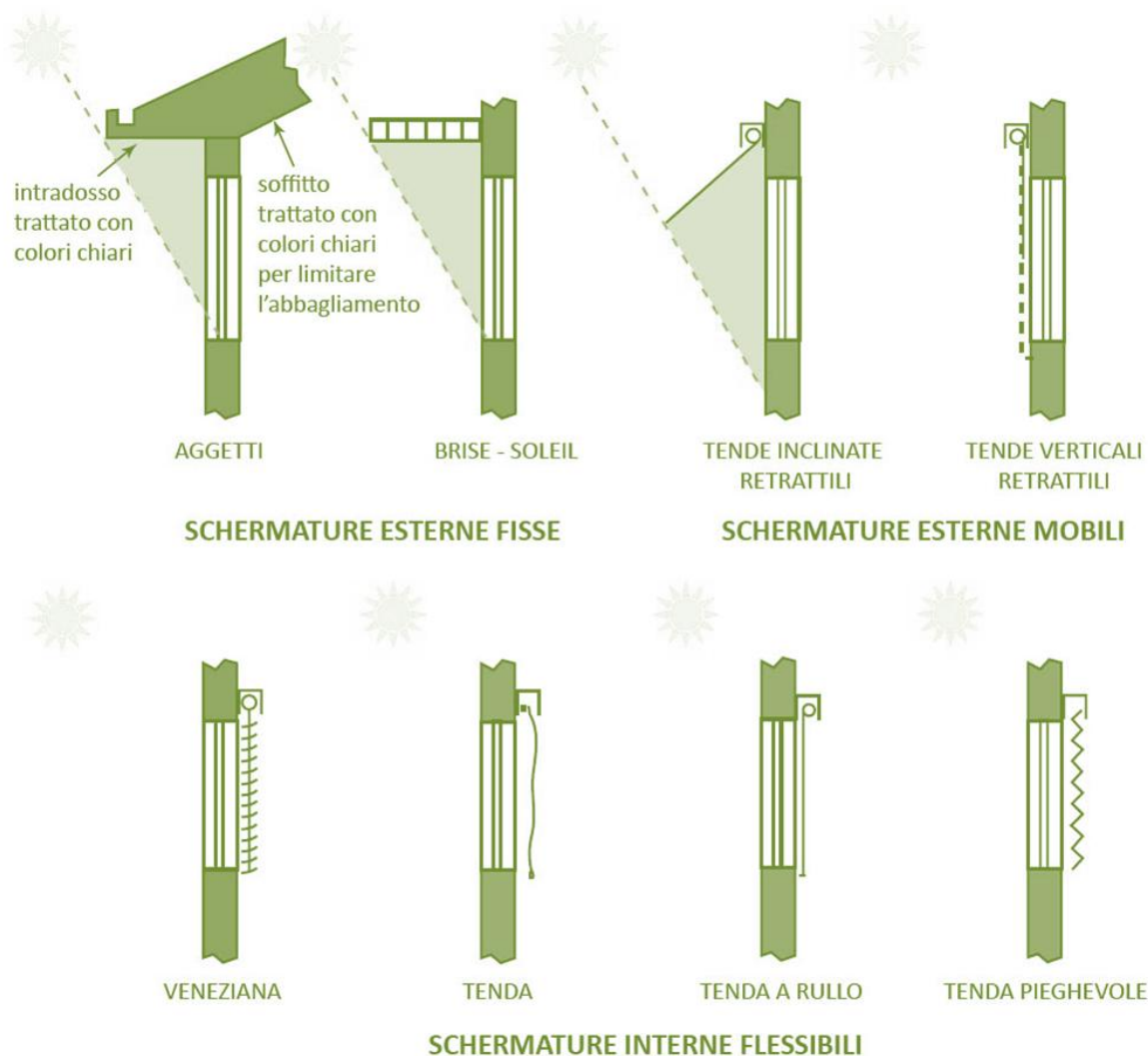


FIG.29 - Possibili schermature attraverso dispositivi esterni e interni [fonte: Department of Education and Employment, UK];

Il difetto principale degli schermi fissi è che l'entità della schermatura è determinata dalle stagioni solari, piuttosto che da quelle climatiche e ciò produce effetti schermanti anche in periodi in cui è richiesto un riscaldamento passivo. Gli schermi fissi tagliano sempre una parte della radiazione diffusa e quindi riducono l'illuminazione naturale.

Gli schermi mobili, quali tende, schermi veri e propri, persiane e scuretti, oltre a controllare l'ingresso della radiazione solare, dovrebbero essere progettati anche allo scopo di isolare di notte, durante la stagione del riscaldamento. Gli schermi interni sono meno efficaci in quanto la luce solare entra comunque nell'edificio e non può essere efficacemente riflessa all'indietro.

L'efficienza degli schermi esterni, in quanto dissipano all'aria l'energia solare assorbita, è del 30% superiore a quella degli schermi interni, anche se questi ultimi sono più economici e facili da manovrare manualmente. Il controllo degli schermi può essere sia manuale che meccanico.

I controlli manuali sono realizzati tramite leve, aste, corde e catene, mentre i controlli meccanici fanno uso di energia elettrica e possono intervenire sia con il consenso manuale che con quello di un sensore fotoelettrico. Un particolare sistema è costituito dallo "skylid", nel quale un fluido di lavoro cambia la sua fase da liquida a vapore e la conseguente variazione di peso attiva un'azione meccanica.

Oltre alle lampade, agli apparecchi e ai dispositivi di regolazione, il concept d'illuminazione ottimizzata e i programmi di manutenzione pianificata sono fondamentali per garantire maggiore sostenibilità negli ambienti scolastici.

Infatti la manutenzione dell'illuminazione è fondamentale per conservare l'efficienza energetica delle lampade. Il livello di luminosità diminuisce nel tempo a causa dell'invecchiamento delle lampade e della sporcizia che può crearsi su di esse. Questi fattori possono ridurre l'illuminazione totale del 50% o più, mentre le lampade continuano a consumare la stessa energia.

5.2.4. Il rumore e il comfort acustico

La qualità acustica degli edifici scolastici e le conseguenti condizioni di benessere per insegnanti e studenti sono tra gli aspetti forse più trascurati nella progettazione e nella realizzazione delle scuole, nonostante siano particolarmente importanti per la vivibilità degli ambienti scolastici. Infatti gli importanti progressi nel quadro normativo [42] purtroppo hanno inciso poco sul miglioramento acustico degli edifici scolastici, siano essi nuovi o da ristrutturare. Questo anche perché tale requisito incide quasi esclusivamente sulla qualità ambientale dei locali scolastici, limitando la

sua influenza sulle problematiche legate al consumo energetico a situazioni particolari (mancata ventilazione naturale tramite apertura finestre causa dell'inquinamento acustico proveniente dall'esterno) [43].

Nella maggior parte dei casi, gli edifici scolastici italiani sono inseriti in aree urbane densamente popolate, con attività commerciali o ancora in prossimità di strade con elevato traffico veicolare che si è dimostrato essere la fonte di rumore predominante tra quelle responsabili dell'inquinamento acustico. La legge n.447/1995 definisce l'inquinamento acustico come *“l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi, dei beni materiali, dei monumenti, dell'ambiente abitativo o dell'ambiente esterno o tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi”*. Nonostante sia spesso ritenuto meno rilevante rispetto ad altre forme di inquinamento, suscita sempre più reazioni da parte della popolazione esposta che considera il rumore come una delle principali cause del peggioramento della qualità della vita.

Il problema dell'inquinamento acustico in ambiente scolastico rappresenta un'importante problematica ambientale e riguarda non solo il controllo del rumore esterno ma anche di quello interno dovuto alla normale attività didattica nelle aule e nelle strutture scolastiche in generale. L'esposizione al rumore della popolazione scolastica riveste un particolare interesse per due ordini di motivi. Da un lato la necessità di tutelare gli edifici scolastici, all'interno dei quali vengono svolte attività per le quali il rumore costituisce elemento di criticità e produce effetti quali interferenza con la comunicazione verbale, annoyance e difficoltà nella comprensione dell'informazione e nella comunicazione del messaggio. D'altro canto è necessario sottolineare che la popolazione esposta (bambini) costituisce di per sé un gruppo più vulnerabile, in quanto per esso può essere maggiore il rischio di effetti dannosi.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità ha recentemente identificato dei valori-guida per il rumore ambientale per le scuole:

Ambiente specifico	Valori-guida proposti dall'OMS per il rumore ambientale			
	Effetto/i critico/i [Critical Health Effect(s)]	LAeq (dB)	Riferimento temporale (h)	L _{Amax, fast} (dB)
Aule scolastiche e asili, interno	Intelligibilità della parola e difficoltà nella comprensione dell'informazione e nella comunicazione del messaggio	35	Durante le lezioni	-
Asili, stanze da letto, interno	Disturbo del sonno	30	Durante il sonno	45
Scuole, aree esterne di ricreazione	<i>Annoyance</i> (sorgente esterna)	55	Durante il gioco	-

FIG.30 - Valoriguida dell'OMS per gli ambienti scolastici [fonte: OMS];

Inoltre la normativa italiana vigente prevede per asili ed edifici scolastici in generale la collocazione in classe I (Aree particolarmente protette) con limite diurno pari a 50 dBA; nel DPCM 05/12/1997 sono altresì fissati i requisiti acustici passivi anche per l'edilizia scolastica [44].

Risulta evidente come a scuola la comunicazione verbale non è solo un mezzo per trasmettere informazioni e garantire continuità di apprendimento ma è anche indispensabile per allacciare rapporti e socializzare: è indispensabile allora che il luogo in cui il bambino trascorre la maggior parte del suo tempo garantisca benessere e comfort acustico.

In particolare è opportuno evidenziare tre diversi aspetti che comportano effetti distinti sugli studenti e sugli insegnanti:

- il livello di isolamento acustico nei confronti del rumore esterno che compromette l'intelligibilità delle relazioni didattiche insegnante-allievo secondo due meccanismi distinti che sono il mascheramento della parola ed il basso livello di attenzione degli allievi. Da ciò deriva la fissazione di livelli minimali d'isolamento delle facciate;
- il tempo di riverberazione dei locali condiziona in modo sensibile la regolazione della voce dell'insegnante (forza e ritmo) con conseguente affaticamento. Per i locali scolastici esistono raccomandazioni sui valori ottimali del tempo di riverberazione;
- il rumore generato all'interno delle scuole, nelle classi, nelle mense e negli spazi comuni è causa di fatica e/o eccitazione degli allievi che sono condizioni

sfavorevoli per l'apprendimento. Questo rumore può essere limitato con l'impiego di idonei materiali.

Una cattiva acustica significa quindi, in primo luogo, perturbazione e compromissione della comunicazione verbale, definibile quantitativamente attraverso la misura della perdita di intelligibilità del parlato, ovvero dell'abbassamento, più o meno sensibile, della percentuale di parole correttamente intese da un ascoltatore, ovvero dallo studente, rispetto alla totalità di parole pronunciate dal parlatore, l'insegnate.

Gli elementi di disturbo alla comunicazione sono in genere un alto rumore di fondo (prodotto indifferentemente da sorgenti esterne e interne) e la presenza di un ambiente eccessivamente riverberante.

Questi aspetti possono produrre diverse conseguenze, soprattutto quelle legate alla perdita di efficienza della comunicazione verbale per l'apprendimento e, più in generale, per i rapporti tra insegnanti ed allievi.

Sebbene i bambini non manifestino particolari reazioni da disturbo nei confronti del rumore, così come invece accade per gli adulti e a partire nei giovani di età compresa tra i 16 e i 18 anni, tuttavia non sono immuni dagli effetti del rumore che riguardano oltre che l'apprendimento puramente nozionistico, anche lo sviluppo di certe capacità intellettuali. Di fatto, i soggetti più piccoli e quelli della scuola primaria, trovandosi in un momento cruciale per lo sviluppo intellettuale, risentono notevolmente di un clima acustico inadeguato poiché la mancanza di una sufficiente conoscenza non permette loro di ricostruire correttamente le parti del messaggio verbale mascherate dal rumore, con conseguenze decisive sullo sviluppo del linguaggio.

Numerosi studi stimano che un livello sonoro troppo elevato in casa o a scuola possono alterare la qualità delle comunicazioni verbali, generare ritardi nell'acquisizione della lingua, disturbi del linguaggio sia scritto che parlato e una limitazione della ricchezza del vocabolario. Allo stesso modo la mancanza di intelligibilità del parlato, collegata strettamente al rumore, può avere ripercussioni sulla formazione e sullo sviluppo mentale di giovani studenti.

L'esposizione prolungata ad alti livelli di rumore genera indubbiamente effetti duraturi ed è stata per esempio associata ad una scarsa memoria a lungo termine, scarsa comprensione nella lettura ed una diminuzione della motivazione negli scolari [45].

Del rumore bisogna ancora segnalare altri effetti quali le manifestazioni di irritabilità, aggressività, di fatica e agitazione che possono compromettere il clima di socializzazione all'interno della scuola ed essere causa di conflitti.

Ciò che colpisce maggiormente di tutti questi ragionamenti è il fatto che gli effetti dovuti ad una esposizione pressoché cronica al rumore sembrano essere effetti a lungo termine; cioè i problemi di apprendimento e comportamento sopra citati non finiscono una volta che il bambino si sottrae alla fonte del disagio. È per questo che ogni parte della scuola deve essere studiata e progettata, anche quegli ambienti come per esempio la mensa, in cui i bambini passano una parte del loro tempo.

La mensa è un luogo in cui i bambini non trattengono le urla e si misurano livelli di rumore esagerati che possono aggravare una condizione di benessere già minata dalle ore di lavoro precedenti. A tal proposito, non si deve dimenticare che spesso i bambini dimostrano la loro vitalità attraverso il rumore e che in certe condizioni, come quella della ricreazione, hanno la necessità di sfogare la loro vivacità attraverso il gioco, cosa che è di sicuro fonte di manifestazioni molto rumorose. In generale, da questi si apprende anche che l'entità ed il tipo di disturbi indotti non sono uniformi, ma dipendono dalla fascia di età degli allievi, dalle loro condizioni psico-fisiche e dal contesto socio-culturale da cui provengono.

Prima di procedere a definire la qualità acustica di un ambiente, è necessario comprendere almeno a grandi linee il concetto fisico di "suono" e le grandezze utili a misurare le sensazioni che produce nell'uomo.

Il suono è la sensazione data dalla vibrazione di un corpo in oscillazione. Tale vibrazione, che si propaga nell'aria o in un altro mezzo elastico, raggiunge l'orecchio che, tramite un complesso meccanismo interno, è responsabile della creazione di una sensazione "uditiva" direttamente correlata alla natura della vibrazione.

Il numero di oscillazioni (variazioni di pressione) al secondo viene chiamato frequenza del suono e viene misurato in cicli al secondo ossia in Hertz (Hz). Il campo uditivo dell'uomo si estende da circa 20 Hz fino a 20.000 Hz (ossia 20 KHz). Il suono è quindi definito come una variazione di pressione che l'orecchio umano riesce a rilevare. Un segnale complesso in cui i suoni sono del tutto casuali e non legati da legge armonica origina un rumore.

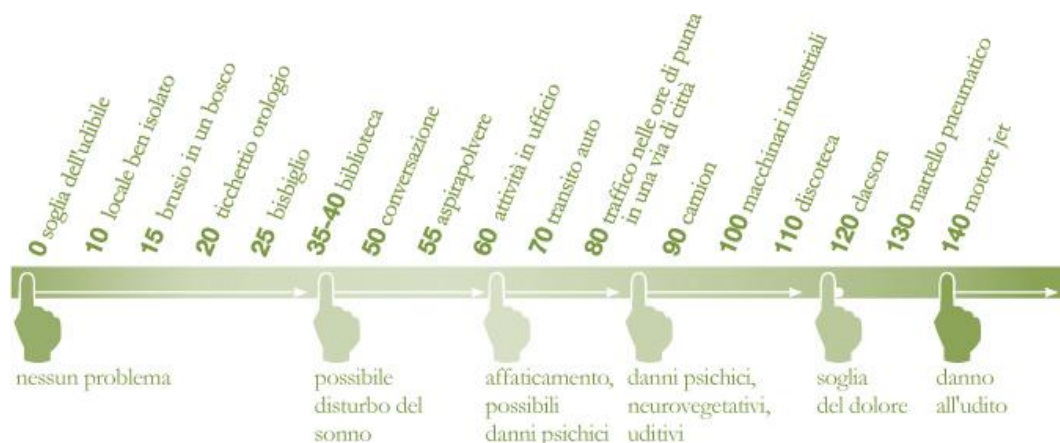


fig.31 - Livelli di pressione sonora espresso in dB [fonte: ISI];

Il livello sonoro, espresso in Decibel (dB) indica l'intensità di un rumore o di un suono in rapporto ad una scala di riferimento. Da 10 a 120 dB, la pressione acustica corrisponde a fonti di rumore di natura differente e genera percezioni che vanno dalla calma (10 dB) alla soglia del dolore (120 dB). Questa valutazione o misura del rumore permette, a partire da un suono identificato, di definire un obiettivo per un livello sonoro che si desidera ottenere. Per essere percepibile, ogni miglioramento acustico deve essere superiore a 1 dB minimo.

Se vi sono rumori emessi simultaneamente della stessa intensità o di intensità sonore differenti, i livelli di rumore si sommano. In particolare, due rumori di eguale intensità produrranno un rumore superiore di 3 dB (esempio, 60 dB + 60 dB = 63 dB) e due rumori di intensità differente produrranno un rumore di valore uguale al valore più forte (60 dB + 80 dB = 80 dB).

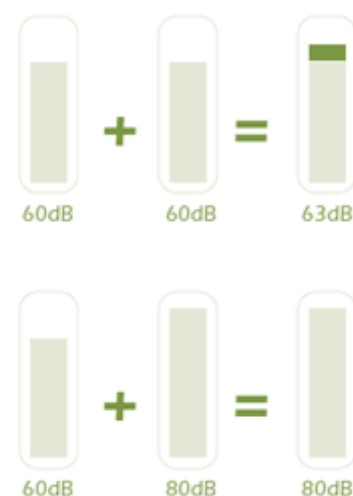


FIG.32 - Livello sonoro complessivo prodotto da due sorgenti [fonte: ISOVER];

Sebbene l'orecchio sia in grado di percepire tutte le frequenze comprese nell'intervallo 20-20000 Hz, tuttavia non risulta ugualmente sensibile a suoni di frequenza diversa: possiamo dire che due suoni a frequenze diverse possono avere la stessa intensità ma dare un livello di sensazione diversa. In relazione a questo sono state introdotte diverse scale di livelli di intensità soggettiva equivalente, determinate in via sperimentale che consentono di quantificare la sensazione avvertita dall'orecchio rispetto a rumori diversi.

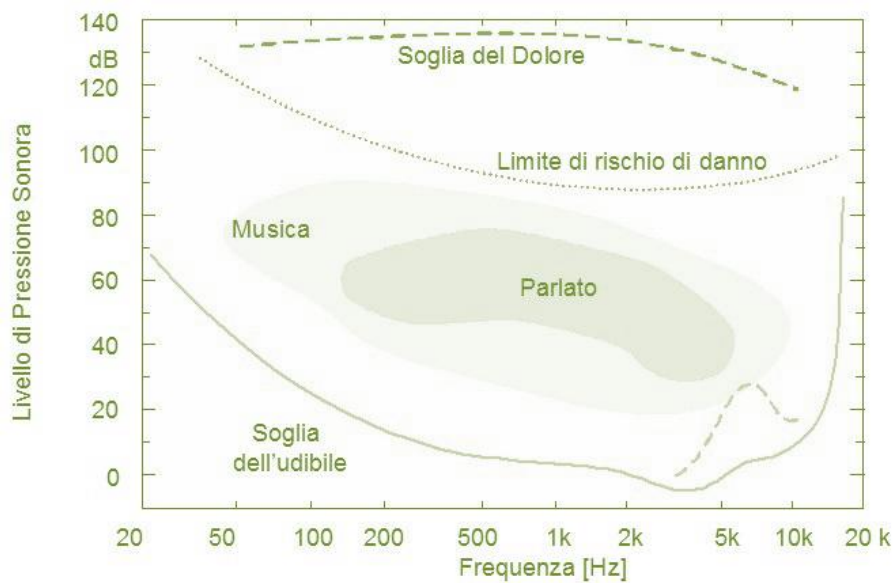


FIG.33 - Risposta non lineare dell'orecchio umano in termini di frequenza, area della sensazione uditiva;

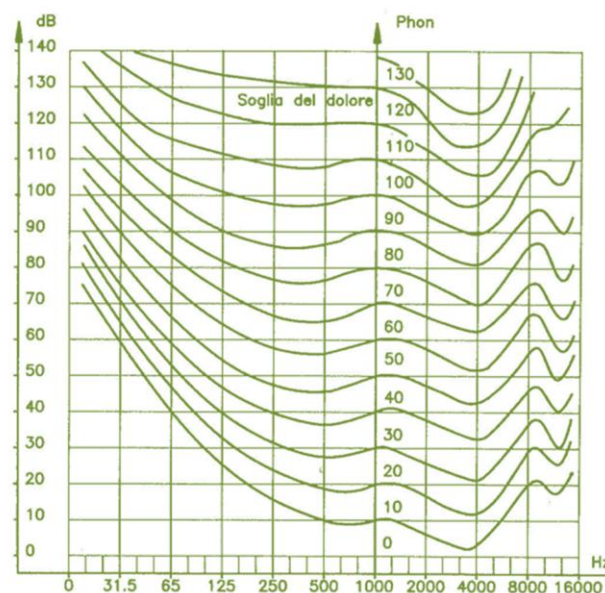


FIG.34 - Curve isofoniche [fonte: Raccomandazione ISO - R 226];

Gli aspetti fisici che regolano la propagazione del suono all'interno degli ambienti chiusi è molto complessa: l'energia sonora incidente viene in parte riflessa, in parte assorbita e in parte trasmessa, in funzione del tipo di materiali che costituiscono i limiti fisici dell'ambiente stesso. Ciò considerato, in un ambiente confinato, una sorgente sonora determina due campi sonori sovrapposti:

- un campo sonoro diretto, prodotto dal suono che si trasmette direttamente dalla sorgente al ricettore;
- un campo sonoro riverberante, prodotto dalle riflessioni delle onde sonore sulle superfici che delimitano l'ambiente.

Il campo sonoro diretto dipende principalmente dalla distanza che intercorre fra sorgente e ricettore, il cui decadimento è legato alla relazione prevista per la propagazione del suono all'aperto (campo libero), mentre il campo sonoro riverberante dipende dalla geometria e dalle caratteristiche di assorbimento del rumore delle superfici che delimitano l'ambiente.

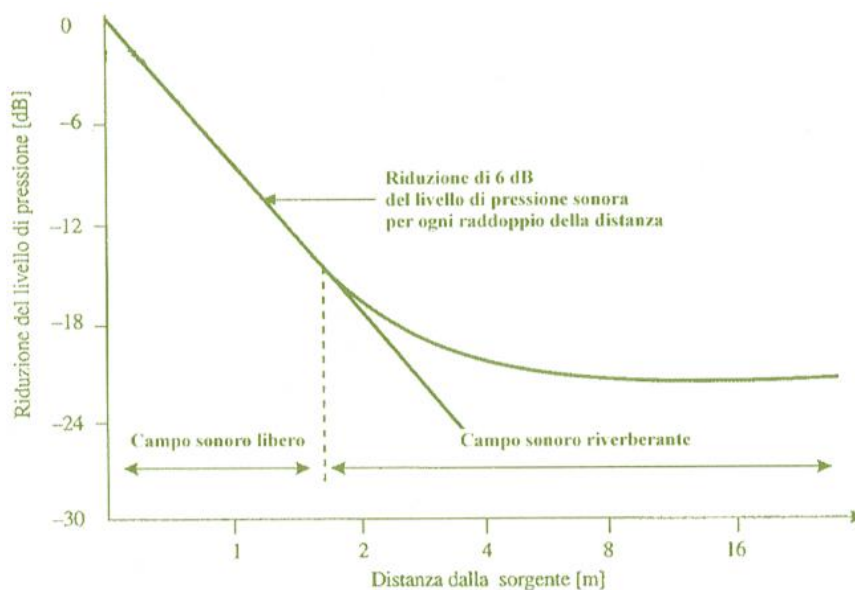


FIG.35 - Riduzione sonora risultante dalla sovrapposizione dei due campi in funzione della distanza;

Quindi i principali fattori fisici che possono pregiudicare la qualità acustica di un'aula scolastica, rendendo difficoltoso percepire e comprendere i discorsi degli insegnanti, sono:

- la distanza dall'insegnante;
- il tempo di riverberazione ambientale;
- il rumore di fondo esistente nell'aula.

Il rumore di fondo è il fattore d'inquinamento acustico più grave e diffuso nelle aule scolastiche. In tutti i Paesi che si sono finora occupati di questa questione, la sua presenza e il suo livello si sono rivelati infatti come la principale causa di riduzione dell'intelligibilità del parlato. A ciò si aggiunga che un elevato rumore di fondo provoca solitamente un aggravamento degli effetti negativi associati ai primi due fattori considerati. Il rumore di fondo esistente in un'aula ha origine dal contesto sonoro nel quale essa è inserita, e a determinarne la presenza ed il livello possono quindi concorrere numerose fonti. Solitamente le principali sono:

- le sorgenti di rumore esterne: il traffico stradale, aeronautico e ferroviario, gli impianti industriali e commerciali, i cantieri stradali, ecc.;
- le sorgenti di rumore interne all'edificio scolastico: l'attività nelle aule adiacenti, nei corridoi e nelle palestre, il funzionamento degli impianti interni;
- le fonti di rumore interne all'aula: il brusio degli allievi, il cigolio dei banchi e delle sedie, gli impianti di condizionamento ambientale, ecc.

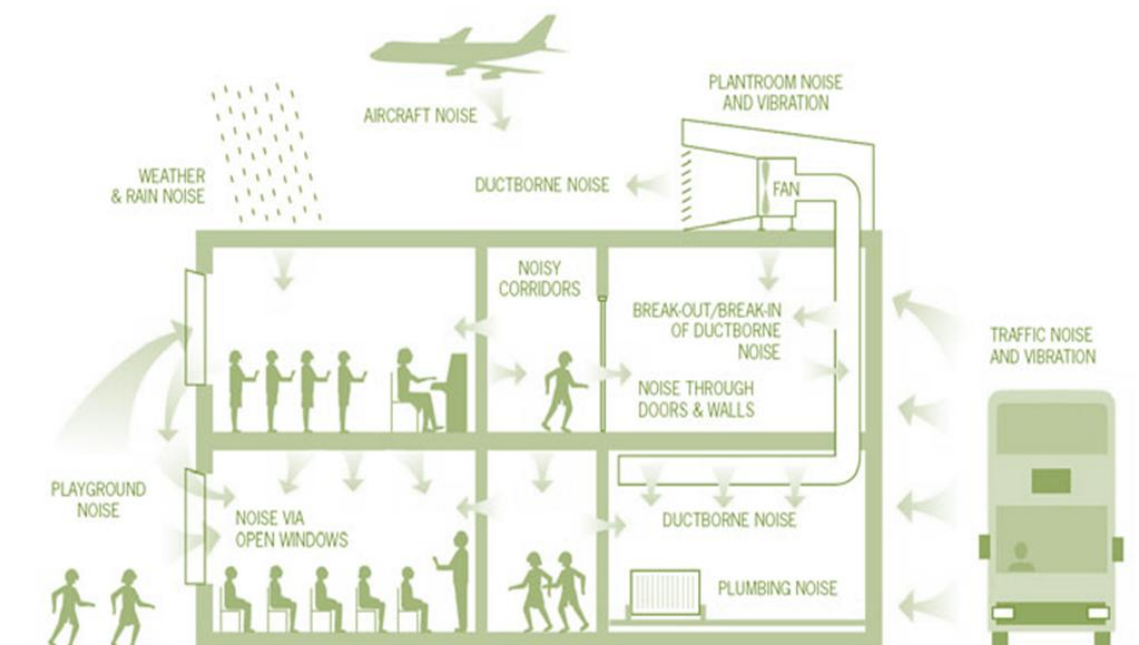


FIG.36 - Fonti di rumore caratteristiche di un edificio scolastico [fonte: Department of Education and Employment, UK];

Tanto più elevato sarà il livello del rumore di fondo determinato da una o più di queste sorgenti sonore, tanto maggiore sarà per gli allievi, rispetto al segnale vocale dell'insegnante, l'effetto di "mascheramento", ovvero di inibizione della capacità di distinguere un suono in presenza di un rumore con caratteristiche di livello e frequenza simili. Il docente potrà cercare di ovviare al disturbo alzando il volume di voce, ma con scarsi vantaggi per gli studenti e sensibili svantaggi, in termini di affaticamento, per se stesso.

La trasmissione del suono avviene secondo due distinti meccanismi di propagazione: trasmissione per via aerea e trasmissione per via strutturale.

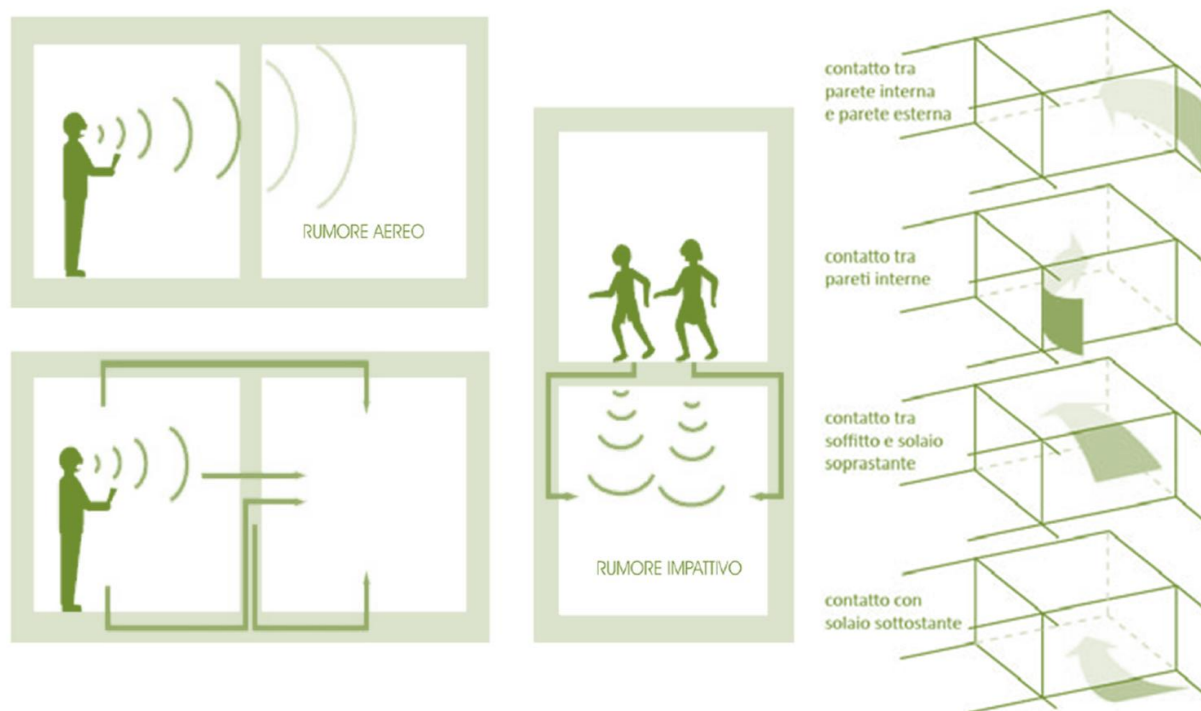


FIG.37 - Trasmissione del rumore aereo e di calpestio attraverso ambienti adiacenti [fonte: Department of Education and Employment, UK];

Nel primo caso, il rumore si propaga nell'aria senza incontrare ostacoli solidi (ad es. condotte d'aria o aperture) mentre, nel secondo caso, la propagazione avviene attraverso le strutture solide dell'edificio, tramite vibrazioni elastiche.

La propagazione dipende dalle caratteristiche dimensionali e morfologiche, costruttive e dai materiali utilizzati nella realizzazione degli edifici e degli ambienti interni ed è per questo è particolarmente difficoltoso migliorare le prestazioni acustiche una volta che si interviene su un edificio esistente: la maggior parte degli edifici scolastici esistenti costruiti prima del DM 18 dicembre 1975 non presentano particolari accorgimenti acustici.

- Modalità e suggerimenti per affrontare la problematica

L'aumento delle fonti e dei livelli dei rumori ai quali siamo continuamente esposti, rende effettivamente molto importanti tutte le misure applicabili contro l'inquinamento acustico. Sostenendo l'importanza e la necessità di garantire ai fruitori degli spazi didattici condizioni sonore favorevoli, eliminando i disagi ed i disturbi potenzialmente generati da eccessivi livelli di rumore in aula, si possono proporre interventi sostenibili per migliorare la qualità dell'ambiente interno ed attuabili con una spesa ragionevole.

Per ottimizzare il confort acustico di un ambiente è necessario determinarne la qualità acustica, anche se risulta assai complessa, a tal fine gli aspetti più importanti da tenere in considerazione sono: il livello di disturbo o livello sonoro, il tipo di sorgenti di rumore presenti e il tipo di strutture sulle quali è previsto l'intervento.

È importante precisare che quest'ultimo parametro è fortemente legato alle caratteristiche costruttive e tecnologiche dell'edificio ed è, pertanto, difficilmente controllabile a posteriori attraverso eventuali progetti di riqualificazione. Tuttavia, è sempre possibile intervenire per correggere la situazione anche nei casi più gravi. Inoltre, con l'impiego dei materiali appropriati, l'intervento di "correzione acustica" può diventare anche l'occasione per rendere complessivamente più salubri gli ambienti scolastici (pensiamo agli aspetti termoigrometrici) e migliorare l'estetica di aule, mense, palestre e laboratori, ottenendo dei risparmi notevoli sui consumi energetici.

Il primo aspetto da considerare è il grado d'isolamento acustico rispetto al rumore esterno. Per le scuole la legge stabilisce valori limite più severi rispetto all'edilizia residenziale, anche per quanto riguarda i requisiti acustici passivi [46]. Nel caso di edifici esistenti, andranno adottati tutti gli accorgimenti necessari, all'interno ed eventualmente all'esterno, per contenere la rumorosità

immessa. Ad esempio, l'attenuazione del rumore proveniente dall'esterno si può ottenere attraverso un corretto isolamento la struttura, tenendo conto che il 70% dei rumori aerei esterni si insinua attraverso le finestre, e nel caso di sostituzione di infissi è opportuno scegliere serramenti con un alto valore di abbattimento acustico R_w [47].

Il secondo aspetto è il tempo di riverberazione dei locali, correlato al rumore generato all'interno. Il persistere dei suoni negli ambienti dopo l'avvenuta emissione (riverbero) è da imputare alla scarsa capacità assorbente delle strutture. La parola e la musica sono linguaggi caratterizzati da suoni in successione più o meno rapida. Un tempo di riverbero troppo lungo (inteso come il tempo necessario affinché il suono decada di 60 dB) implica un decadimento lento dei suoni e la sovrapposizione degli stessi, compromettendo l'intelligibilità della parola; inoltre gli ambienti presentano fastidiosi fenomeni di rimbombo per la riflessione multipla delle onde sonore e una sgradevole rumorosità di fondo.

L'intervento classico di correzione acustica in ambiente chiuso per contenere e ridurre i tempi di riverbero [48] è l'aumento del potere fonoassorbente del soffitto e delle pareti mediante l'applicazione di appositi pannelli. I materiali fonoisolanti e/o fonoassorbenti che permettono di conseguire importanti risultati non solo in termini di abbattimento sonoro ma anche di percezione del suono nell'ambiente senza necessariamente modificarne l'intensità sonora.

Questa operazione provoca infatti la decrescita del tempo di riverbero, a vantaggio dell'intelligibilità della parola. Inoltre si indebolisce la componente riflessa dei suoni, abbassando ulteriormente la rumorosità dei locali ed annullando la fastidiosa sensazione sonora di rimbombo.

La modularità del sistema a pannelli consente inoltre di trattare in modo differente ambienti differenti, personalizzando l'acustica dei locali o degli spazi (ma anche l'estetica) a seconda della loro destinazione d'uso.

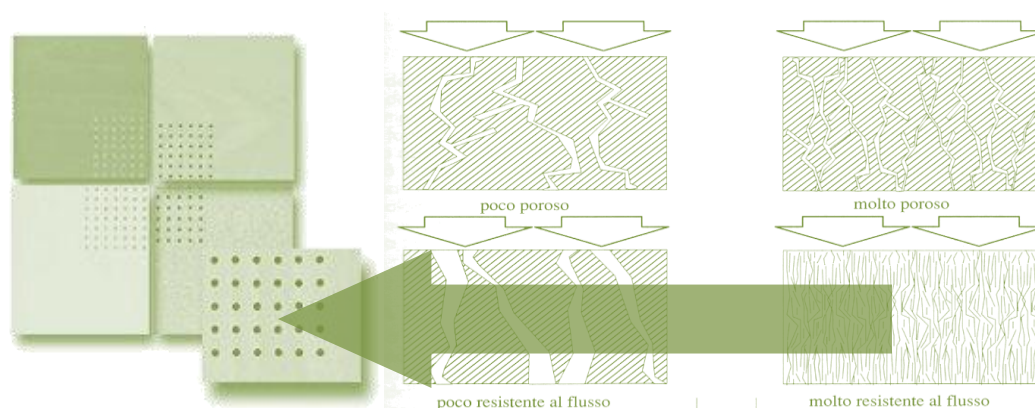


FIG.38 - Assorbimento per porosità;

Trattandosi di ambienti aperti al pubblico dove salubrit , resistenza e sicurezza sono requisiti irrinunciabili, la scelta cade solitamente su materiali (ed eventualmente strutture di sostegno) resistenti all'insaccamento, ininfiammabili, autoestinguenti, imputrescibili, non tossici, non gocciolanti e biologicamente puri. E' anche importante che il materiale fonassorbente abbia qualit  di isolamento acustico inalterabili nel tempo ed in qualsiasi condizione igrotermica dell'ambiente e che non contenga fibre minerali sfuse che rischiano di entrare in ventilazione.

Nei progetti di riqualificazione degli edifici scolastici   bene quindi tenere presenti alcune regole che rivestono notevole importanza per il buon raggiungimento del comfort acustico:

- i giunti orizzontali e verticali devono quindi essere perfettamente sigillati, evitando evitare la formazione di "ponti acustici" tra i singoli elementi;
- l'isolamento acustico delle partizioni verticali e orizzontali (pareti divisorie, solai, facciate esterne, coperture) dai rumori emessi per via aerea;
- l'isolamento acustico dei solai dai rumori di calpestio (rumori d'urto o rumori impattivi);
- l'isolamento dai rumori e dalle vibrazioni generati dagli impianti tecnologici (ascensori, caldaie, gruppi refrigeratori, impianti idrosanitari);
- il passaggio di tubazioni rigide e similari deve essere eseguito adottando l'accorgimento di proteggere le tubazioni stesse con materiali elastoplastici.

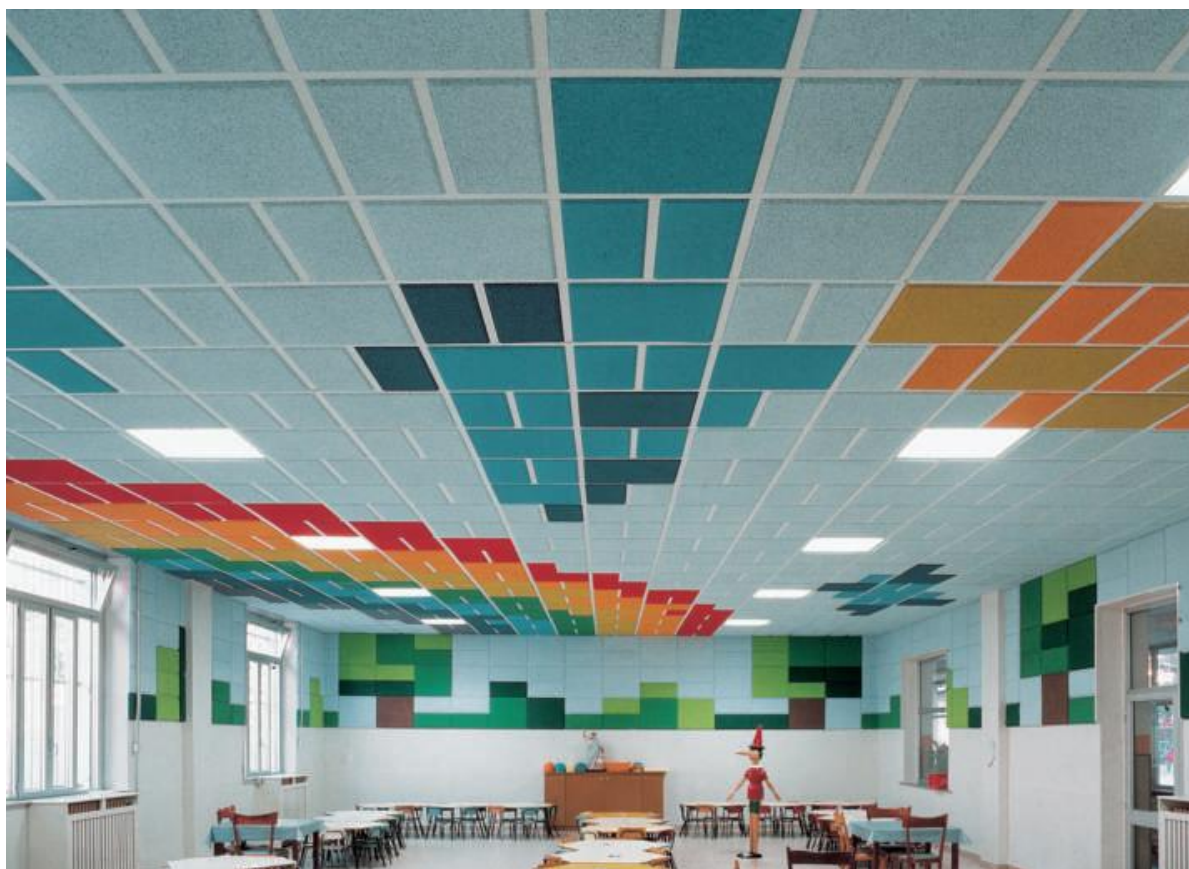


FIG.39 - Esempio intervento di “correzione acustica”;

5.3. Il comportamento energetico e consumi degli edifici scolastici

Come risulta evidente dagli argomenti appena affrontati la qualità ambientale di uno spazio chiuso concorre al comportamento energetico di un edificio.

Assicurare buoni livelli di comfort significa affrontare il problema dello scambio energetico tra l'ambiente interno e l'ambiente esterno all'edificio.

Dai capitoli precedenti [49] risulta chiaro come l'edilizia scolastica esistente risulta una quota molto maggiore rispetto agli edifici scolastici di nuova costruzione ed la maggior è responsabile dei consumi energetici delle amministrazioni pubbliche.

Dall'analisi effettuate da diversi progetti europei e italiani, emerge la necessità di intervenire su queste strutture per ottenere un risparmio dei consumi del 50/70% rispetto alla situazione attuale. Nelle scuole-campione, infatti, la dispersione media di calore ha un valore medio che si attesta attorno a 290 kWh/mq anno, e a questo si aggiunge, nelle aule, un'altissima concentrazione di CO₂, che raggiunge i 2800/3000 ppm, equivalenti a un valore medio di 60 kg di CO₂ per mq anno [50].

Accanto a questi dati, si riscontra una scarsa politica di gestione energetica sostenibile degli edifici che garantisca il miglioramento della qualità degli ambienti interni in termini di comfort termico e visivo e acustico, di contenimento della domanda di energia, dell'uso razionale dell'energia, della riduzione delle emissioni inquinanti e della corretta gestione dei servizi energetici. In tutti questi casi si ha un impiego di risorse energetiche maggiore di quello necessario, con effetti negativi sul comfort degli utenti e uno spreco di denaro.

A causa di queste considerazioni, e soprattutto in riferimento ai costi di gestione e manutenzione molto elevati (che rappresentano il 75% del costo complessivo di un edificio durante la sua durata di vita) e di risorse finanziarie limitate, oltre ad una maggiore sensibilità nei confronti dell'ambiente, è nata l'esigenza di orientarsi verso nuove forme di gestione del parco immobiliare scolastico, in grado di individuare in modo tempestivo fenomeni di degrado e decidere dove e quanto investire. A tal fine potranno anche essere attivati accordi programmatici con diversi soggetti idonei alla realizzazione ed al finanziamento degli interventi, anche sulla base dei meccanismi di incentivazione esistenti [51].

Da qui l'esigenza di individuare per ogni singolo edificio quali siano le inefficienze e criticità per poi intervenire con le soluzioni a minor costo e maggior efficacia in termini di riduzione dei consumi energetici. Inoltre le problematiche relative al comportamento

energetico degli edifici esistenti risultano essere di maggiore importanza nel caso di edifici pubblici ed in particolare nel caso degli edifici scolastici, se si considera che sono presenti in Italia oltre 62.000 scuole di cui 45.000 pubbliche, là dove un uso più efficace dei vettori energetici comporta sicuri vantaggi ai bilanci delle amministrazioni pubbliche.

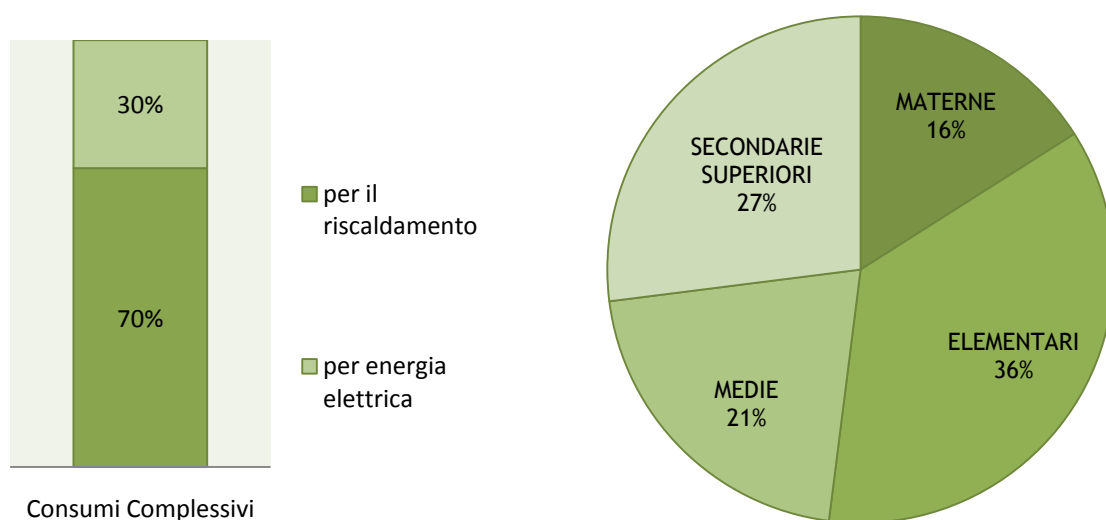


FIG.40 - Consumi energetici complessivi delle scuole italiane [fonte: Kyoto Club];

L'indagine sul comportamento energetico propone non solo di valutare le condizioni degli edifici analizzati e di delineare le strategie di riqualificazione energetica più efficaci, ma soprattutto di sperimentare metodologie di rilievo semplificato per poterla riproporre in situazioni simili.

Quindi la conoscenza puntuale del patrimonio edilizio è il punto di partenza per una oculata programmazione energetica, particolarmente importante per la Pubblica Amministrazione (contratti di fornitura di energia e di global services). Disponendo di informazioni affidabili, si riescono a pianificare con anticipo gli interventi e a stabilirne l'entità, il grado di priorità e il livello di qualità, imponendo le idonee specifiche tecniche alle opere da realizzare.

5.3.1. L'audit energetico

Il primo passo per conoscere il comportamento energetico dell'edificio-impianto è l'audit energetico: utilizzando le normali documentazioni cartacee in possesso degli

enti proprietari ed integrandole con sopralluoghi sul campo, si ottiene un primo rilievo della situazione energetica di ciascun edificio che permette di conoscere le tipologie e prestazioni energetiche dell'involucro degli impianti che costituiscono quell'edificio, nonché individuare quali sono le modalità di utilizzo delle diverse componenti, al fine di ricostruire un bilancio in usi finali (termici ed elettrici) dell'edificio. Inoltre un'attenta conoscenza del manufatto, ovvero del suo processo costruttivo, di eventuali successive modificazioni nel corso degli anni sono i presupposti fondamentali per la valutazione del comportamento energetico dell'edificio, necessarie per l'analisi di fattibilità tecnico - economica per la realizzazione degli interventi più idonei.

Una volta individuato dove, in un edificio, si consuma più energia e perché, si procede a una valutazione dei possibili interventi di risparmio. L'integrazione dati raccolti sul campo con strumenti di calcolo fornisce un modello matematico dell'edificio attraverso cui individuare e analizzare interventi di riqualificazione energetica dell'edificio.

Oltre all'ispezione visiva, esistono alcune utili tecniche strumentali, ognuna delle quali disciplinata da una specifica norma tecnica, che possono essere validamente utilizzate per la diagnosi energetica, e sono:

- Valutazione qualitativa dell'involucro termico dell'edificio mediante termografia ad infrarossi (in regime estivo e in regime invernale) [52];
- Valutazione quantitativa del valore di trasmittanza in opera mediante termoflussimetri [53];
- valutazione del comportamento di tenuta all'aria dell'involucro tramite il Blower door test [54].

Inoltre bisogna effettuare altre indagini per una più esaustiva conoscenza del manufatto, quali:

- indagini endoscopiche, per controllare la corrispondenza fra le stratigrafie effettive delle chiusure opache e quelle di progetto;
- misurazioni di temperatura e umidità, per la valutazione il grado di comfort interno e il comportamento del sistema di immissione del calore (terminale di impianto) e del sistema di regolazione;
- misurazioni della IAQ (concentrazione di CO₂) nei locali scolastici.

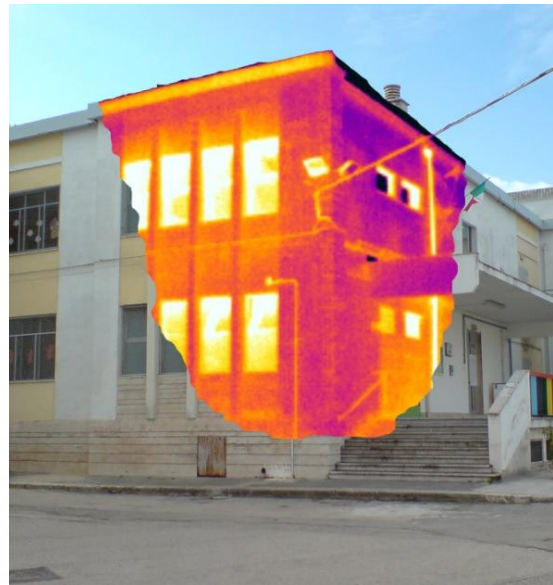


FIG.41 - Termocamera ad infrarossi ed esempio di termografia;

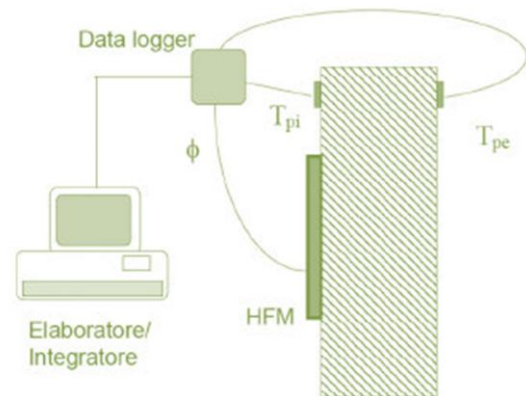
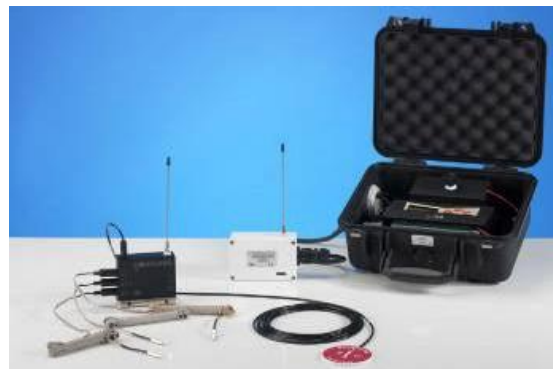


FIG.42- Misura della trasmittanza in opera con termoflussimetro e sonde di temperatura;

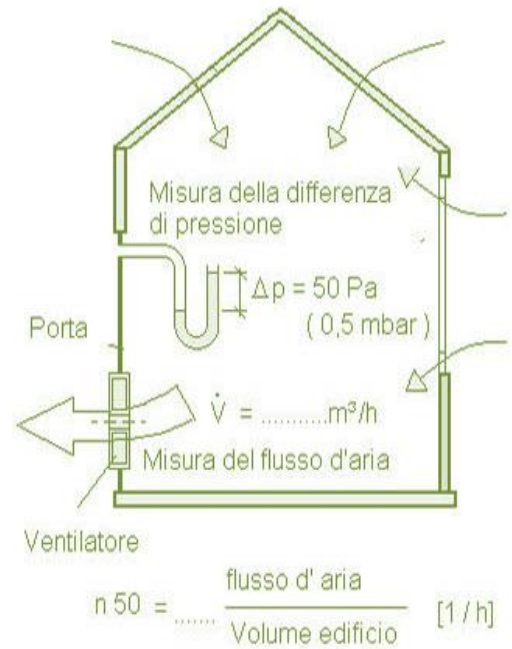


FIG.43- Blower door test;



FIG.44 - Termoigrometri registratori;

Una fase successiva prevede un'approfondita indagine sulle dotazioni impiantistiche, sia quelle elettriche che quelle per la climatizzazione invernale e estiva.

L'analisi dell'impianto elettrico riguarda tutti gli apparecchi in dotazione alla scuola, facendo particolare attenzione ai dispositivi utilizzati per l'illuminazione dei locali scolastici e lo stato della rete elettrica. Accanto a questo è opportuno verificare i contratti di fornitura stipulati per poterne determinare la convenienza.

L'analisi dell'impianto di riscaldamento riguarda la valutazione dell'intero sistema di produzione e distribuzione del calore (rendimenti dell'impianto, parametri di combustione, dispersioni termiche del generatore, dispersioni lungo le tubazioni di distribuzione, sottodimensionamento dei terminali di emissione, ecc.) e anche in questo caso è utile la verifica dei contratti di fornitura.

Una volta individuato dove, in un edificio, si consuma più energia e perché, si procede a una valutazione dei possibili interventi di risparmio. L'integrazione dati raccolti sul campo con strumenti di calcolo fornisce un modello matematico dell'edificio attraverso cui individuare e analizzare interventi di riqualificazione energetica dell'edificio.

Tra le anomalie più frequenti sono state riscontrate infiltrazioni di aria fredda dai serramenti, dovute per lo più alla scarsa qualità degli infissi, dispersione di calore dai radiatori e dall'impianto di riscaldamento, la mancata coibentazione delle pareti esterne e sbalzi di temperatura legati a una cattiva progettazione. Sono stati riscontrati, inoltre, numerosi problemi invisibili a occhio nudo ma che incidono sull'isolamento come, ad esempio, la presenza di dispersione di calore dai cassonetti degli avvolgibili o dai davanzali non isolati correttamente che creano una via preferenziale del calore verso l'esterno.

5.3.2. La prestazione energetica di un edificio

Una volta realizzata un'accurata diagnosi dell'edificio si procede alla valutazione della prestazione energetica.

La prestazione energetica di un edificio, definita dal D.Lgs. 192/2005 e successive, come *“la quantità annua di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi la climatizzazione invernale e estiva, la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, la ventilazione e l'illuminazione”*, ed è espressa attraverso un indice, "EP", che esprime il consumo di energia primaria totale dell'edificio riferito all'unità di superficie utile o di volume lordo (kWh/mq anno o

kWh/mc anno). Gli indici di prestazione energetica EP parziali esprimono invece i consumi di energia primaria riferiti a singoli usi energetici dell'edificio (climatizzazione invernale, climatizzazione estiva, produzione di acqua calda per usi sanitari, illuminazione e ventilazione).

La prestazione energetica complessiva dell'edificio è espressa attraverso l'indice di prestazione energetica totale EP espresso in kWh/mq anno o kWh/mc anno:

$$EP = EP_i + EP_{ACS} + EP_e + EP_{ill}$$

in cui:

EP_i = indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale;

EP_{ACS} = indice di prestazione energetica per la produzione di acqua calda sanitaria;

EP_e = indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva;

EP_{ill} = indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale.

Dallo screening energetico del patrimonio scolastico nazionale attraverso i progetti sopraccitati sulle prestazioni energetiche emerge che le scuole disperdono molto, annualmente tra i 250 kWh/m² e i 350 kWh/m² (media 290 kWh/m²) con un consumo annuo di energia di circa 40 €/mq[55]. In particolare risulta molto importante il valore medio del fabbisogno dell'edificio calcolato sulla base delle necessità di solo riscaldamento dell'involucro che è mediamente di circa 84 kWh/mq anno riferito al clima reale.

▪ Metodi di calcolo della prestazione energetica

La prestazione energetica può essere calcolata secondo diverse le metodologie:

1. *“Valutazione energetica di calcolo” (design rating o asset rating) o metodo calcolato* secondo le UNI/TS 11300, sulla base di dati di ingresso di progetto, reali o adattato in base all'utenza, che, a seconda del tipo di valutazione, valuta secondo un algoritmo di calcolo la prestazione energetica a partire da dati di ingresso relativi all'edificio e a condizioni d'uso standard (temperatura interna, aerazione, funzionamento impianti etc...). Il margine di incertezza è dato dal livello di dettaglio dei dati di ingresso;
2. *“Valutazione energetica di esercizio”, o “metodo a consuntivo” (operational rating), o “dai consumi energetici reali o presunti”, solo per*

edifici esistenti che valuta la prestazione energetica a partire dai consumi energetici reali ricavabili dalle bollette. Il margine di incertezza è dato dal metodo di raccolta dei dati di ingresso relativi ai consumi e dalla difficoltà di normalizzare le caratteristiche dell'utenza e delle condizioni d'uso. L'intervallo di incertezza è maggiore rispetto ai valori calcolati con il metodo precedente.

Il valore ottenuto dal calcolo è un indice di "prestazione standardizzato" che può essere confrontato con i valori che si possono ottenere adottando soluzioni diverse sullo stesso edificio (miglioramento del sistema impiantistico o delle prestazioni dell'involucro, ecc.), che consentono di valutare la scelta più opportuna per realizzare un determinato intervento di riqualificazione.

5.3.2. La classe di prestazione energetica

La classe di prestazione energetica è definita rispetto ad un intervallo convenzionale (range) di valori dell'indice di prestazione energetica espresso in valore numerico e parametrizzata rispetto ad una scala di prestazione energetica comunemente dalla Classe A (bassi consumi) alla Classe G (alti consumi).

La classe di prestazione energetica ha la finalità di informare l'utente e l'amministrazione senza nozioni tecniche della qualità del prodotto-edificio rispetto ad una scala di valutazione parametrata o rispetto a un criterio qualitativo che renda chiaro il "livello di consumo" dell'edificio.

L'uso della classe energetica e della scala di prestazione energetica è stato introdotto dalla comunità europea non solo per gli edifici, ma anche per diversi prodotti (dalle caldaie ed in particolare per gli elettrodomestici) ha comportato un notevole impatto sulle dinamiche di mercato sia nella vendita sia nella produzione.

La scala di prestazione energetica ed i range delle classi energetiche sono fissati dai provvedimenti nazionali e/o regionali, secondo i criteri individuati dalla prEN 15217.

Dagli studi effettuati in tutta Italia, i campioni di scuole prese in esame mostrano che circa il 95% degli edifici scolastici se fosse certificato risulterebbe in classe energetica G, la peggiore, e il restante 5% arriverebbe non oltre la classe F [56].

5.4. Linee guida per la progettazione e programmazione di interventi di retrofit

La progettazione di opportuni interventi per la riqualificazione richiede informazioni derivanti da un'attenta diagnosi dell'edificio, tenendo presente alcune variabili, in particolare la complessità sia dell'edificio su cui si interviene che delle attività didattiche ed amministrative insediate.

Prima fra tutte va svolta un'analisi finalizzata alla conoscenza dell'edificio stesso: la scelta dei possibili interventi viene quindi realizzata attraverso l'elaborazione dei dati sull'edificio-impianto, che fornisce un modello matematico dell'edificio attraverso cui vengono verificate, simulate e sperimentate alcune possibili azioni individuando e analizzando quelle più opportune e idonee in base al grado di fattibilità, tutte con l'obiettivo comune di innalzamento della qualità e delle prestazioni offerte dal manufatto edilizio.

Per questo un'analisi storica può essere utile per ipotizzare, in base all'epoca di costruzione, quali materiali potremmo trovare nella composizione dell'involucro. Ad esempio, come si è visto nei capitoli precedenti, le scuole realizzate nel dopoguerra sono tra quelle con maggiori problemi, in quanto in assenza di leggi in materia sono spesso state realizzate con involucri scadenti e senza strato isolante, ma lo stesso problema si può rilevare in molti altri edifici realizzati fino all'entrata in vigore, e all'effettivo recepimento della Legge 10/1991 sul risparmio energetico.

In fase di programmazione dell'intervento, il progetto consente la verifica delle scelte, nonché della congruità degli strumenti e delle risorse individuate per garantirne la fattibilità. Come descritto dalla normativa in materia di Lavori Pubblici [57] al progetto viene affidata una valenza strategica non solo riguardante la convenienza economica dell'intervento ma dimostrandone l'utilità: nel caso di un progetto di riqualificazione di una scuola esso diventa così un vero e proprio momento educativo.

La realizzazione di un progetto di retrofit deve illustrare chiaramente le ragioni delle soluzioni scelte, *"in relazione alle caratteristiche e alle finalità dell'intervento, anche con riferimento ad altre possibili soluzioni"* [58]. Pertanto, tutti gli elementi che hanno portato alla scelta di un tipo di intervento devono essere ben esplicitati e documentati al fine di individuare la migliore soluzione tra le diverse alternative praticabili.

In particolare, bisogna considerare nell'ambito degli edifici scolastici esistenti il fatto che essi sono soggetti ad un regime d'utilizzo continuo rispetto ad altre tipologie

(eccetto durante il periodo estivo), e quindi qualsiasi scelta d'intervento deve tener conto di alcuni aspetti legati al contesto scolastico, quali:

- integrabilità degli interventi con le attività didattiche svolte all'interno dell'edificio al fine di non arrecare disturbo e disagi al normale funzionamento dei locali scolastici nel meno tempo possibile;
- integrabilità degli interventi senza compromette in modo sostanziale le prestazioni strutturali e la stabilità dell'edificio;
- facile reversibilità e riciclabilità di ogni intervento per poter realizzare una manutenzione degli elementi edilizi sostituiti o aggiunti senza compromettere lo stato raggiunto per un ulteriore prolungamento del ciclo di vita dell'edificio;

Gli interventi previsti possono fornire ulteriori qualità all'edificio, basti pensare a quando si realizza un intervento sull'isolamento esterno dell'edificio che fornisce sia una nuova immagine architettonica che nuova identità all'edificio scuola, attribuendone una nuova centralità e importanza sociale ed educativa nella comunità di appartenenza. Le linee guida proposte vuole fornire un utile toolkit di principi di progettazione, spunti e riferimenti per la definizione di interventi di riqualificazione degli edifici scolastici mediante azioni di retrofit. Il repertorio di criteri e soluzioni presentato è realizzato in funzione di alcuni parametri, che come abbiamo visto dai paragrafi precedenti, influiscono ed incidono notevolmente sia sulla qualità ambientale che sui consumi energetici delle strutture scolastiche. Inoltre le soluzioni sono state scelte in base a caratteristiche comuni, nell'ambito di esperienze europee e italiane, tali da suggerire utilizzabilità per ogni tipologia scolastica esistente dai livelli primari (materne e scuole elementari) a quelli secondari (medie e superiori).

5.4.1. Possibili strategie progettuali e soluzioni tecnologiche per il retrofit

Un edificio scolastico mediamente consuma circa 1,8 tep all'anno, attraverso l'uso di combustibili e di energia elettrica. Più della metà del consumo è assorbito appunto dal riscaldamento. Ogni chilowattora elettrico richiede la combustione di 250 grammi di olio combustibile con relativa emissione in atmosfera di 750 grammi di CO₂ e corrisponde all'energia utilizzata per mezz'ora di accensione di un dispositivo elettrico.

Tali consumi possono essere significativamente ridotti, l'ottimizzazione del sistema involucro-impianto, che permette di perseguire performance apprezzabili dal punto di vista energetico.

Le azioni riguardano interventi sull'edificio e/o sugli impianti, e la loro scelta sarà fatta in base al grado di urgenza e di fattibilità e soprattutto di sicurezza per gli studenti e il corpo docenti.

A questo riguardo è importante ricordare che nel caso di operazioni di manutenzione ordinaria (ad esempio sostituzione infissi), per evitare disagi al regolare svolgimento dell'attività didattica, è opportuno compartimentare le zone interessate attraverso un'adeguata programmazione dei lavori. Nel caso di interventi più importanti e di maggiore entità è consigliabile la loro realizzazione durante il periodo estivo, in cui le lezioni sono sospese per le vacanze, oppure prevedere lo spostamento dell'istituzione scolastica presso un altro edificio nei quali spostare provvisoriamente le attività didattiche.

Il grado di fattibilità quindi dovrà tener conto di questi importanti aspetti, con particolare attenzione nei confronti del lasso di tempo e la rapidità necessario per concludere i lavori che deve risultare il più breve possibile.

Bisogna altresì considerare che ogni intervento produrrà degli effetti sull'intero complesso, e in particolar modo sulla stabilità strutturale nel complesso con possibili sovraccarichi delle strutture esistenti per ogni elemento che verrà aggiunto o demolito. Ed inoltre, il progetto di riqualificazione di edifici esistenti è vincolato, anche se parzialmente, dalla scarsa flessibilità della maggior parte delle strutture scolastiche data dalla loro configurazione tipo-morfologica [59], che permette solo in pochi casi l'uso di soluzioni che comportino espansioni del volume edilizio (cappotti o serre solari). Con tali premesse, il progetto deve individuare gli interventi mirati al risparmio energetico e all'uso delle fonti rinnovabili di energia (in particolare energia solare fotovoltaica), specifici per ogni scuola, in relazione ai costi da sostenere [60].

▪ SCHEDE DIAGNOSTICA

Definizione del comportamento energetico dell'edificio-impianto che permette di raccogliere informazioni sul quadro dei bisogni e delle esigenze, al fine di identificare gli interventi necessari al loro soddisfacimento.

- Localizzazione;

- Epoca di costruzione;
- Eventuali ristrutturazioni;
- Eventuale presenza di vincoli (proprietà e servitù, beni culturali ecc.);
- Dati quantitativi e qualitativi di massima (superficie lorda, di pavimento e coperta, superficie, volumetria, ecc.);
- Documentazione (certificato di agibilità o certificato statico, certificato di prevenzione incendi (CPI) o Nulla Osta Provvisorio, copia denuncia impianto messa a terra, dichiarazione conformità impianti elettrici, documentazione impianto riscaldamento centralizzato);
- Identificazione della classificazione della scuola;
- Descrizione dell'edificio (tipo di strutture, caratteristiche delle superfici opache e trasparenti);
- Descrizione del sistema impiantistico (impianto elettrico e di illuminazione, impianto di termico, impianti di ventilazione).

▪ INTERVENTI EDILIZI

Nell'ottica di riqualificare il cospicuo patrimonio immobiliare, le prestazioni dell'involucro edilizio sono fondamentali e certamente risulta auspicabile l'ottimizzazione del sistema edificio- impianto al fine di conseguire performance apprezzabili in termini energetici.

Un involucro efficiente, in termini di resistenza termica, riduce notevolmente il consumo energetico e la potenza termica dell'impianto necessario per la climatizzazione invernale degli ambienti così isolati.

Gli interventi sull'involucro riguardano generalmente strutture opache verticali, finestre comprensive di infissi, sistemi di copertura e solai, a condizione che tali componenti delimitino il volume riscaldato verso l'esterno e verso vani non riscaldati, e che rispettino i valori limite di trasmittanza termica U ($W/m^2 K$) prescritti [61], rispettivamente differenziati in funzione della zona climatica e per i vari componenti:

Zona climatica	Strutture opache verticali	Strutture opache orizzontali o inclinate		Chiusure apribili e assimilabili (**)
		Coperture	Pavimenti (*)	
A	0,54	0,32	0,60	3,7
B	0,41	0,32	0,46	2,4
C	0,34	0,32	0,40	2,1
D	0,29	0,26	0,34	2,0
E	0,27	0,24	0,30	1,8
F	0,26	0,23	0,28	1,6

FIG.45 - Valori applicabili dal 1° gennaio 2010 per tutte le tipologie di edifici;
 (*) Pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno; (**) Conformemente a quanto previsto all'articolo 4, comma 4, lettera c), del D.P.R. 2 aprile 2009, n. 59, che fissa il valore massimo della trasmittanza (U) delle chiusure apribili e assimilabili, quali porte, finestre e vetrine anche se non apribili, comprensive degli infissi;

Il miglioramento dell'isolamento termico dell'edificio scolastico influisce sulla temperatura delle superfici delle pareti e quindi sulla situazione climatica all'interno delle aule, consentendo un forte risparmio energetico per riscaldamento invernale e con conseguente significativa riduzione delle spese, ma ancora più importante un comfort ambientale ottimale per lo svolgimento delle attività didattiche. Questo si realizza attraverso la realizzazione sullo spessore delle pareti e sulle coperture di un isolamento aggiuntivo. Questo tipo di intervento aiuta ad aumentare l'isolamento termico, risparmiare le spese di riscaldamento e fornisce un adeguato confort termico. Sebbene ci siano diverse possibilità d'intervento, dall'interno, nell'intercapedine e dall'esterno, il modo migliore è sicuramente un intervento dall'esterno, che evita una riduzione degli spazi interni dedicati alla didattica che si avrebbe intervenendo dall'interno, e costi eccessivi nel caso intervenga nell'intercapedine.

In questa fase è fondamentale studiare anche con attenzione i punti di congiuntura dei diversi materiali che formano l'involucro, al fine di evitare ponti termici che provocano la dispersione di energia e la formazione di condensa e muffe. Inoltre è opportuno valutare anche un possibile intervento sull'inerzia termica delle componenti dell'involucro, poiché è risultato errato intervenire solo esclusivamente sulla trasmittanza che considera la presenza di un regime stazionario di trasmissione del calore, presupposto teorico ma inesistente. Infatti le temperature interne ed esterne di un edificio variano a seconda dell'ora del

giorno e della notte (temperature superficiali, temperature operative, asimmetria radiante): si rende quindi necessario valutare le prestazioni dell'involucro edilizio anche in regime dinamico.

Perché un involucro edilizio sia efficace sia per mantenere il calore in inverno che per mantenere il fresco in estate, è necessario che abbia una certa inerzia termica. Un intervento di retrofit intelligente sull'involucro dovrebbe tenere dunque conto anche dell'inerzia termica per sfruttare adeguatamente i benefici che essa può portare in termini di benessere e comfort interno oltre che di risparmio energetico.

L'inerzia termica è la capacità dell'involucro di assorbire/accumulare calore per cederlo successivamente: è legata sia alla capacità di accumulo del calore che alla conduttività dei materiali. Al fine di migliorare le prestazioni energetiche, in modo particolare durante il periodo estivo e nelle stagioni intermedie, in cui si hanno elevati carichi sia esterni che interni (persone, luci, radiazione diffusa in ingresso dalle superfici vetrate, ecc.), quindi, bisogna intervenire sull'involucro edilizio in modo che durante l'estate sia in grado di ridurre il calore che entra nell'edificio (fattore di attenuazione) e di rallentare il più possibile quella parte di calore che riesce comunque ad oltrepassare la parete (sfasamento). Attualmente la normativa, che si riferisce principalmente al periodo invernale e quindi ai valori di trasmittanza, per quanto concerne il comfort termico in fase estiva introduce solamente un limite inferiore di massa superficiale M_s pari a 230kg/mq nelle località più soleggiate[62].

La scelta di una struttura a bassa inerzia e fortemente coibentata determina, in relazione all'introduzione dei carichi interni, oscillazioni maggiori delle temperature interne, temperature superficiali più elevate e di conseguenza temperature operanti più alte. Una soluzione di questo tipo è, dunque, sfavorita dal punto di vista del comfort.

Il modo più comune per ottenere un buon comportamento dell'involucro è quello di rendere le strutture opache più pesanti in modo che possano accumulare il calore, o nel caso in presenza di strutture leggere, è necessario un attento studio degli strati di materiali che compongono la parete. Quanto sinora detto è stato avvalorata, da diversi studi e sperimentazioni [63], si è sottolineato come sia importante e utile intervenire sull'inerzia dell'involucro: l'aumento dell'isolamento termico, abbinato a quello della massa superficiale (230-

360kg/mq), conferisce alle strutture opache elevate caratteristiche di inerzia termica (sfasamento e smorzamento) del carico termico estivo trasmesso all'ambiente interno.

Per tutti i motivi sopraelencati, e nel caso non siano edifici vincolati [64], intervenire dall'esterno risulta certamente la strada più agevole e che comporta molti benefici come:

- l'eliminazione dei ponti termici, in quanto, questo tipo di intervento può essere applicato senza interruzioni;
- l'eliminazione dell'umidità da condense superficiali interna e aumento della temperatura interna di quelle pareti da cui si è eliminato il ponte termico con conseguente miglioramento delle condizioni di abitabilità dell'ambiente;
- aumento dell'inerzia termica dell'edificio e molti altri benefici strutturali dovuti per esempio al fatto che l'edificio, dotato di isolamento dell'involucro, mantiene per tutto l'anno una temperatura delle pareti esterne quasi costante riducendo il formarsi di fessurazioni che sono causati da notevoli sbalzi termici;
- valorizzazione degli immobili con una maggiore durabilità delle facciate e nessuna riduzione della superficie abitabile interna.

Nell'azione di miglioramento dell'isolamento termico delle superfici opache, è auspicabile applicare l'isolamento termico in tutti i componenti edilizi opachi dell'involucro edilizio, ad eccezione del basamento, dove l'applicazione dell'isolamento termico, in edifici esistenti, è più difficoltoso e meno frequente, per le difficoltà operative e i limiti di ingombro e di riduzione delle altezze nette dei locali al piano terra. Inoltre, nello specifico, si è verificato che il contatto col terreno di un'ampia porzione della superficie dell'edificio, per mezzo di superfici che consentano lo scambio termico con il terreno stesso, nonostante porti ad un aumento delle dispersioni invernali, porta anche ad una riduzione della richiesta di energia utile per il raffrescamento.

In linea del tutto generale, si può stimare che il risparmio di energia in fonte primaria conseguibile con interventi di miglioramento della prestazione energetica dell'involucro sia dell'ordine del 20÷40% in termini di kWh/mc anno, a seconda della tipologia edilizia e delle zone climatiche[65].

I costi per realizzare un buon isolamento termico sono accessibili, dipendono solamente dal materiale isolante scelto ed incidono solo in parte sulle spese fisse (impalcatura e lavorazione). Ricordando che la condizione di realizzabilità delle scelte progettuali è che esse soddisfino valori minimi prestazionali differenziati in funzione della zona climatica di appartenenza per ogni diversa tipologia di intervento.

- **Isolamento termico superfici opache verticali e/o orizzontali:**
 - Coibentazione in intercapedine sui muri esterni 90,00 €/mq
 - Coibentazione esterna (isolamento a cappotto) 60,00 €/mq
 - Coibentazione interna 90,00 €/mq
 - Risoluzione ponti termici delle pareti
 - Isolamento acustico esterno con capacità anche termoisolanti 60,00 €/mq
 - Isolamento acustico interno con capacità anche termoisolanti 20,00÷35,00 €/mq
 - Coibentazione coperture piane non praticabili 25,00÷30,00 €/mq
 - Coibentazione coperture piane praticabili 50,00÷60,00 €/mq
 - Coibentazione coperture inclinate con rifacimento manto 350,00 €/mq
 - Isolamento sottotetto 25,00 €/mq
 - Realizzazione di tetto giardino spessore substrato 68,00÷140,00 €/mq
 - Coibentazione sottotetto praticabile 110,00 €/mq
 - Coibentazione primo solaio su spazi non riscaldati 60,00 €/mq
 - Coibentazione primo solaio su terreno 145,00 €/mq
 - Sistemi a guadagno solare indiretti e/o diretto

- **Isolamento termico superfici trasparenti:**
 - Sostituzione vetro 100,00 €/mq
 - Rifacimento e/o ripristino degli infissi esterni 200,00÷400,00€/mq
 - Sostituzione infissi esterni 390,00 €/mq
 - Risoluzione ponti termici delle finestre (guarnizioni di gomma o silicone) 10,00 €/cad
 - Schermature esterne e/o interne dei serramenti 850,00 €/cad
 - Schermature interne (tende) 10,00÷150,00 €/cad

▪ **INTERVENTI IMPIANTISTICI**

All'interno del settore scolastico, i consumi di energia per usi finali sono dovuti per la maggior parte alla climatizzazione invernale e all'illuminazione degli ambienti. Tali consumi possono essere significativamente ridotti, utilizzando

impianti e apparecchiature a più alta efficienza, abbattendo nel tempo i costi fissi legati alle utenze fino al 40% [66].

Le prestazioni degli impianti devono quindi risultare ottimali per avere performance apprezzabili in termini energetici e per conseguire tali risparmi energetici sono necessari opportuni interventi sui sistemi impiantistici presenti all'interno degli edifici scolastici.

Per quanto riguarda quelli legati alla climatizzazione invernale, gli interventi sui sistemi impiantistici riguardano la manutenzione degli impianti esistenti o l'eventuale sostituzione degli impianti termici esistenti tradizionali con caldaie di tipo a condensazione e contestuale la messa a punto del sistema di distribuzione del calore.

Tali caldaie ad alta efficienza sono attualmente quelle con la tecnologia più avanzata: permettono di recuperare parte del calore contenuto nei gas di scarico sotto forma di vapore acqueo, consentendo un migliore sfruttamento del combustibile e quindi il raggiungimento di rendimenti più alti, anche oltre il 100%.

La sostituzione totale dell'impianti termici con impianti che funzionano a bassa temperatura, ad esempio con impianti a pannelli radianti o con distribuzione a pavimento, anche se notevolmente invasivo e opportuni solo nel caso di importanti ristrutturazioni strutturali, consentono un notevole risparmio sui consumi e un netto miglioramento del comfort termico rispetto al tipico impianto a radiatori.

Risulta anche importante ai fine del risparmio interventi specifici sui sistema di distribuzione, regolazione (isolamento delle tubazioni e sonde esterne) devono essere realizzati in modo da evitare gli sprechi energetici.

Altre considerazioni impiantistiche vanno fatte sulla ventilazione e l'illuminazioni che sono strettamente correlate alla qualità ambientale interna e al consumo di energia elettrica.

Come si è visto nei paragrafi precedenti, l'apporto di aria di rinnovo consente di ridurre i rischi di produzione di condensa in estate ma crea problemi durante il periodo invernale. Per questo l'aria di ripresa dovrebbe essere inviata ad un recuperatore termico per permettere un opportuno risparmio energetico. I sistemi di ventilazione con recupero di calore, permettono un'areazione costante controllando i volumi d'aria di rinnovo con sistemi che possono essere

anche autoregolabili. Attraverso uno scambiatore di calore ad alta efficienza in controcorrente, recupera il calore dall'aria di espulsione che andrebbe altrimenti persa, circa il 60% dell'entalpia dell'aria in uscita.

Per quanto attiene all'illuminazione, i consumi elettrici possono essere significativamente ridotti, utilizzando apparecchiature a più alta efficienza e abbattendo nel tempo i costi fissi legati alle utenze fino al 40%.

Ma si può intervenire anche sulla produzione di energia elettrica attraverso gli impianti fotovoltaici architettonicamente integrati agli edifici: in Italia, da Nord a Sud, un impianto ottimamente orientato ed inclinato [67] da 1kWp ha una produzione specifica variabile tra 1.000 e 1.400 kWh per ogni kWp installato.

L'introduzione di dispositivi che utilizzano fonti rinnovabili, come quelli che sfruttano il calore e la luce del sole, risulta di notevole miglioramento del bilancio energetico complessivo a servizio dell'utenza, e possono essere soggetti ad incentivi anche gli edifici pubblici come le scuole[68].

Si consideri ovviamente anche gli impianti solari termici per la produzione di acqua calda, che però risultano necessari e soprattutto opportuni solo quando la scuola prevede si è presenti asili nidi, mense o impianti sportivi con l'obiettivo di ridurre notevolmente i consumi di energia. Questi interventi possono comportare risparmi sui consumi stimabili attorno al 20%. Si tratta di interventi più facili e meno costosi.

In tutti i casi sopraelencati è bene ricordare comunque che l'intervento sulla struttura è ben più efficace oltre che durevole eliminando la causa della dispersione termica "alla fonte".

▪ Impianti per la climatizzazione invernale e estiva:

▪ Manutenzione e taratura del generatore termico e dei terminali;	150,00 €/cad
▪ Inserimento valvole termostatiche sui terminali non predisposti	60,00÷80,00 €/cad
▪ Inserimento valvole termostatiche sui terminali predisposti	20,00 €/cad
▪ Installazione pannelli riflettenti/isolanti sul retro di radiatori	10,00÷20,00 €/cad
▪ Sostituzione terminali	100,00 €/cad
▪ Installazione pannelli radianti a bassa temperatura da pavimento	60,00 €/mq
▪ Isolamento della rete di distribuzione	
▪ Rifacimento della rete termoidraulica	
▪ Sostituzione della centrale termica con messa a punto dell'impianto di distribuzione, esclusi interventi sulla distribuzione	2.500,00 €/cad

- Realizzazione di nuovi impianti termici escluso sistema di distribuzione
10.000,00÷25.000,00 €/100mq
- Installazione di gruppo cogenerativo
- Sistemi avanzati di gestione (sensori di temperatura)
- Ottimizzazione dei contratti di fornitura;
- Ottimizzazione del sistema di regolazione

- **Impianti di illuminazione:**
 - Pulizia e taratura impianto di illuminazione
 - Verifica e rifasamento dell'impianto elettrico
 - Miglioramento dei sistemi di illuminazione interna naturale ed artificiale 320,00 €/cad
 - Sostituzione lampade e dispositivi illuminanti 3,00÷15,00 €/cad
 - Installazione sensori di daylighting
 - Installazione sensori di presenza
 - Installazione di attenuatori della luce artificiale (dimmer)
 - Installazione di interruttori a tempo (bagni, scale, corridoi)
 - Ottimizzazione dei contratti di fornitura

- **Impianti di ventilazione:**
 - Installazione di sistemi VMC con recuperatore di calore
 - Installazione di umidificatori o deumidificatori (manuali o meccanici, correlati a sistemi di filtrazione dell'aria)

- **Energie rinnovabili (sole, pompe di calore, vento, biomasse):**
 - Installazione di pannelli solari per la produzione di acs 400,00€/mq
 - Installazione di pannelli solari per acs+riscaldamento 800,00€/mq
 - Installazione di pannelli fotovoltaici; 400,00€/mq
 - Installazione di pompe di calore ad assorbimento
 - Installazione di impianto a biomassa

5.4.2. Problematiche legate all'uso dell'energia solare e altre fonti rinnovabili

L'obbligo della certificazione energetica e di fatto dai decreti relativi dell'uso dell'energia solare (termica e fotovoltaica) [69] possono creare situazioni conflittuali, soprattutto nelle ristrutturazioni per la difficoltà di integrazione di tali impianti nell'architettura dell'edificio, e per gli orientamenti e le inclinazioni

disponibili delle coperture in genere non ottimali per la loro miglior efficienza nel corso dell'anno.

L'applicazione della tecnologia fotovoltaica all'edilizia scolastica è generalmente compatibile con il fabbisogno energetico elettrico di tali tipologie di edifici, anche in considerazione del fatto che esiste un incentivo supplementare del 5% contenuto nella normativa incentivante in materia [70].

Mentre per quanto riguarda l'uso del solare termico [71], di cui la normativa indica una copertura del 50% del fabbisogno annuo di acqua calda sanitaria mediante il ricorso a fonti energetiche rinnovabili trovano una applicazione significativa nell'edilizia scolastica solo in alcuni casi:

- asili nido e scuole materne;
- cucine (laddove non si ricorra ad un servizio produzione pasti esterno);
- impianti sportivi collegati alla struttura scolastica (spesso con utilizzo esteso anche a società sportive e in orari diversi da quelli scolastici).

Questi sono i casi nei quali il fabbisogno di ACS è più significativo e di conseguenza quelli nei quali il ricorso al solare termico può avere riscontro maggiore. È necessario però rammentare che le attività scolastiche non si svolgono, se non in minima parte, nei mesi estivi, per cui il calcolo di copertura del fabbisogno dovrebbe essere effettuato senza tenere conto dei mesi centrali dell'estate che sono in realtà i più produttivi in termini energetici. Tale riduzione di periodo può verosimilmente variare alcuni parametri progettuali dell'impianto solare termico (ad esempio, l'inclinazione dei collettori rispetto alla verticale).

5.4.3. Un aspetto importante: la manutenzione e gestione post-retrofit

Gli interventi retrofit energetico risolvono il problema del mal funzionamento del sistema edificio-impianto, ma resta sempre il problema del mantenimento del livello acquisito.

A ciò si può provvedere con un piano di controllo e di gestione: questo aiuta ad assicurare la continuità di un buon funzionamento del sistema edificio-impianto. Le linee di attività principali devono prevedere:

- programmazione, progettazione ed esecuzione dei contratti di appalti dei lavori di manutenzione ordinaria e straordinaria;
- adeguamento e ristrutturazione degli immobili di pertinenza;
- piano di utilizzazione e logistica degli edifici scolastici e degli immobili di proprietà;
- attività di collaborazione e di consulenza tecnica specialistica, verifiche periodiche;
- sopralluoghi tecnici sugli immobili di competenza dell'Amministrazione per la esecuzione di piccole opere di manutenzione ordinaria e per la programmazione di interventi di esercizio per garantire i livelli raggiunti a seguito degli interventi di retrofit;

La intrinseca connessione sia a livello teorico che operativo, tra il recupero e la manutenzione del costruito nasce dalla necessità di garantire nel tempo i livelli prestazionali raggiunti negli edifici, in particolare quelli scolastici, dopo opportuni interventi di retrofit energetico, oltre che di supportare gli enti preposti alla gestione del proprio patrimonio immobiliare.

Infatti parallelamente alle tematiche nell'ambito della riqualificazione degli edifici esistenti è necessario sviluppare per un proprio naturale completamento dell'iter i metodi e gli strumenti per una corretta manutenzione. Da qui risulta, come la riqualificazione e la manutenzione del costruito abbiano ambiti tematici complementari, in cui si consolida il rapporto di interdipendenza per la necessità di controllare gli esiti e le ricadute degli interventi di recupero rispetto al rendimento nel tempo e di verificare l'incidenza delle scelte manutentive sulla consistenza del patrimonio costruito.

La manutenzione è concepita come strategia per mantenere un equilibrio all'interno del ciclo di vita di un edificio, con funzioni di servizio e con ruolo di connettore di strutture organizzative di attività, volte alla conservazione del funzionamento di sistemi edificio-impianto. La manutenzione individua nella programmazione dei tempi l'insieme delle attività a farsi introducendo nel processo edilizio modelli decisionali-previsionali che orientano le prassi di gestione del patrimonio costruito.

L'approccio al processo manutentivo integra più livelli di competenza, infatti come operazione tecnica la manutenzione coinvolge diversi attori, quali l'impresa,

amministratori e utenza, prassi per promuovere processi di sinergia e mutuo sostegno in un ottica di sviluppo equilibrato tra diversi settori economici e sociali.

La manutenzione è, quindi, l'interfaccia tra decisione ed azione che, attraverso l'ottimizzazione degli interventi volti alla conservazione, definisce e qualifica il ciclo di vita utile del patrimonio edilizio.

Per coordinare una simile strategia, spesso è molto utile nominare un funzionario pubblico responsabile degli aspetti energetici per l'edificio in questione.

5.4.4. Analisi costi-benefici (ACB) dei progetti di riqualificazione energetica

Un importante problema che si pone in un progetto di riqualificazione è la scelta fra diverse alternative o progetti possibili, cui allocare le limitate risorse disponibili.

Come si è potuto constatare nei capitoli precedenti [72], la spesa destinata agli edifici scolastici di proprietà e di competenza delle amministrazioni è registrata all'interno della programmazione economica prevista nei Piani Triennali e Annuali, e poiché risulta molto spesso che siano limitate le risorse destinate a questo ambito, diventa essenziale disporre di strumenti metodologici, come l'analisi costi-benefici (ACB), che consentano di analizzare le alternative da diversi punti di vista e di valutarne i risultati previsti a fronte delle risorse da impiegarvi, allo scopo di scegliere la migliore o le migliori.

La valutazione economica delle opportunità d'intervento in campo energetico deve essere in grado di considerare nella maniera più estensiva possibile gli effetti derivanti dall'adozione delle misure di miglioramento.

In quest'ottica, diventa rilevante, da una parte, lo sviluppo di una maggiore capacità di valutazione economica delle opportunità d'intervento, sia da parte delle autorità pubbliche che degli utenti finali, al fine di avere una rappresentazione corretta dei costi e benefici associati alla loro adozione e di indirizzare primariamente le risorse verso le misure che massimizzino i benefici sociali, garantendo, parallelamente, tempi di ritorno accettabili; dall'altra, la diffusione di strumenti e logiche di finanziamento che riducano la ridotta disponibilità di risorse delle pubbliche amministrazioni.

In via schematica, le principali componenti di costo da considerare riguardano:

- costi di pianificazione e decisione: consulenze, design e progettazione, project management;
- costi d'investimento: costi amministrativi, costi d'acquisto delle tecnologie, costi di realizzazione, oneri finanziari, oneri fiscali;
- costi di installazione, avviamento e verifica;
- costi di gestione e manutenzione: consumi, pulizia, manutenzione e sostituzione, smaltimento, formazione e aggiornamento del personale.

Elemento essenziale dell'analisi costi/benefici è rappresentato inoltre dalla necessità di valutare esclusivamente i costi netti, ovvero sia iniziali che quelli di manutenzione e gestione, legati alle misure di efficienza energetica, ovvero soluzioni tecnologiche, impiantistiche o gestionali che migliorano il rendimento energetico rispetto allo stato precedente.

Sul fronte dei benefici, il principale elemento è rappresentato dai risparmi energetici, sempre intesi in termini differenziali rispetto alle soluzioni standard o a quelle preesistenti. Nel caso di interventi di riqualificazione degli edifici esistenti, viene generalmente stimata la percentuale di riduzione di energia primaria impiegata e, quindi, dei costi sostenuti per la bolletta energetica.

Insieme a questa componente prettamente monetaria, vanno però aggiunti almeno altri due aspetti da prendere in considerazione. Il primo riguarda i benefici non monetari per gli utenti: miglioramento del comfort termico e acustico, migliore illuminazione, maggiore salubrità degli ambienti, maggiore produttività degli studenti, ecc., che non entrano normalmente nelle analisi dei modelli finanziari, ma che possono costituire un elemento di valutazione rilevante. Il secondo riguarda i benefici sociali che derivano dal minor consumo energetico e/o dalle migliori tecnologie adottate: riduzione di emissioni di CO₂, riduzione dipendenza energetica, miglioramento della salute dei bambini.

Tali benefici, generalmente di non facile traduzione in termini monetari, dovrebbero costituire un termine di riferimento essenziale delle analisi per gli interventi di retrofit nell'ambito dell'edilizia scolastica.

L'indicatore più semplice e ricorrente nel campo della valutazione costi/benefici è rappresentato dal tempo di ritorno (recupero) semplice (simple payback), calcolato dividendo l'investimento iniziale (netto) per il risparmio (netto) annuo. Esso fornisce, in sostanza, un'indicazione di immediata comprensione e interpretazione, anche per

gli operatori meno esperti, del periodo necessario per ottenere un cash flow positivo: ovvero per coprire i maggiori investimenti iniziali con i risparmi ottenuti grazie al miglioramento dell'efficienza energetica.

Le elaborazioni dei dati derivanti dai studi effettuati in questo campo, permettono di stabilire che affrontando la riqualificazione energetica di un edificio scolastico secondo la migliore strategia fra quelle considerate, si può ottenere fino al 60% di risparmio, permettendo di raggiungere un indice medio di circa 110 kWh/mq anno contro gli attuali 290. I costi stimati sono dell'ordine di 300÷350 €/mq di superficie calpestabile, con un tempo di ritorno dell'investimento di 12-14 anni [73].

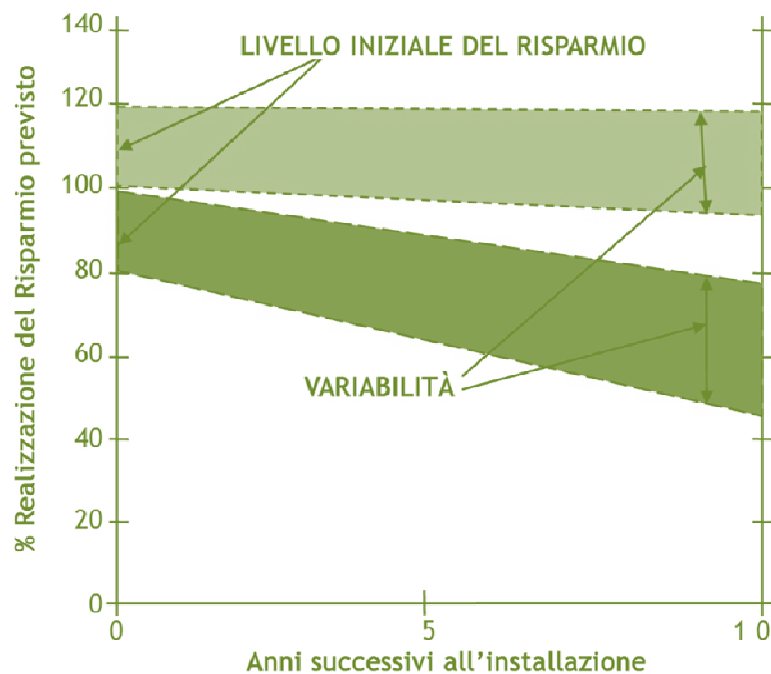


FIG.46 - Persistenza dell'effetto delle Misure di Risparmio Energetico nel Tempo attraverso il protocollo di misure e verifiche (M&V);

5.5. Risultati ottenuti grazie alla riqualificazione degli edifici esistenti in Italia

Dai dati derivanti dagli interventi eseguiti e dal monitoraggio dei risultati ottenuti (energetici, ambientali, economici) tramite le riqualificazioni avvenute negli ultimi anni in Italia, è interessante notare il consolidamento delle attività di retrofit, sia attivo che passivo, anche grazie alla crescita del mercato dell'efficienza energetica connesso alla manovra fiscale[74]. Per quanto concerne il riferimento all'epoca di costruzione degli edifici oggetto di interventi si può comunque sottolineare che si in cui si concentra per il periodo compreso fra gli anni 1961-1982, che rappresenta, 43% del parco immobiliare riqualificato. Rispetto agli anni precedenti, oggi si assiste a un notevole sviluppo di queste pratiche di retrofit, che hanno portato a grandi risparmi ottenuti, sia in termini di energia primaria e di anidride carbonica non emessa in atmosfera, che in termini di costo connessi agli stessi interventi effettuati. Entrando quindi in merito alla lettura dei dati specifici, emerge chiaramente come il numero degli interventi di retrofit nel corso degli ultimi anni sia raddoppiato, in particolare, per valutare in termini quantitativi e qualitativi quest'ultimi è molto utile il rapporto annuale prodotto dal Gruppo di Lavoro Efficienza Energetica dell'ENEA[75], che fornisce un quadro sull'andamento del settore delle riqualificazioni energetiche.

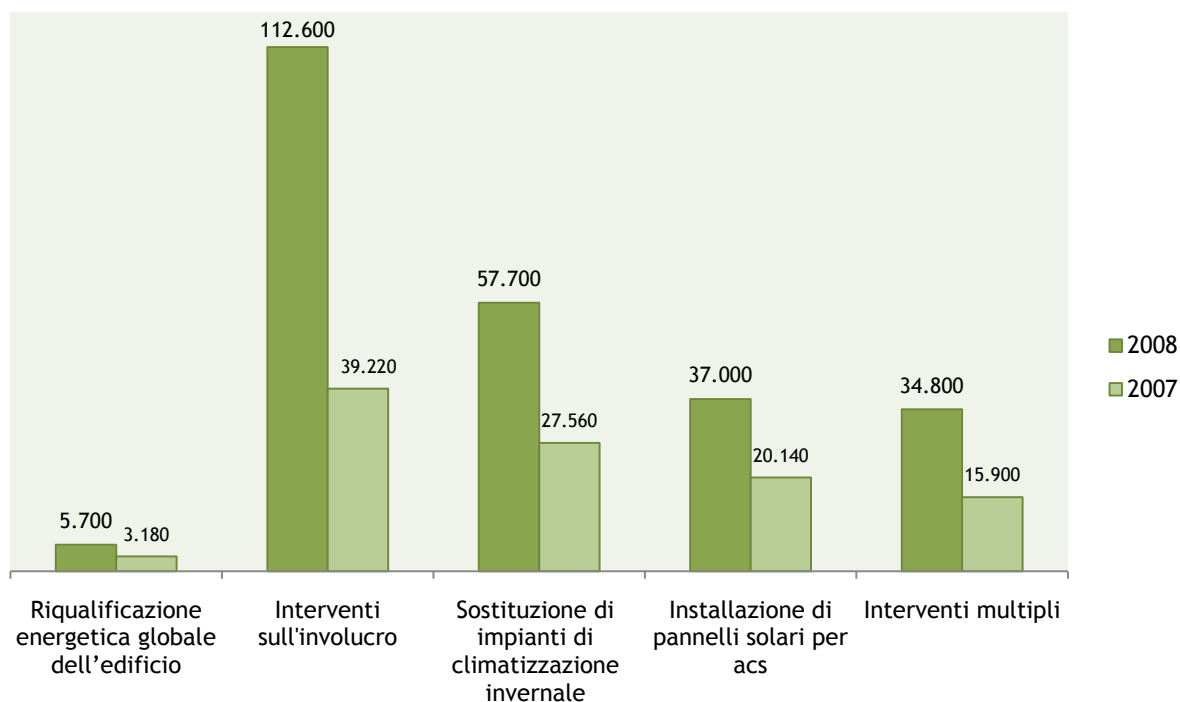


FIG.47 - Numero delle pratiche pervenute per la detrazione fiscale [fonte: ENEA];

Dalla lettura di questi dati emerge chiaramente come il contributo maggiore sia dovuto agli interventi sulle strutture opache e soprattutto quelle trasparenti, che hanno visto nell'ultimo anno una crescita esponenziale degli specifici interventi di sostituzione di infissi. In numeri, quindi, si osserva un trend di crescita molto significativo per gli interventi effettuati sull'involucro (+287%) e per le sostituzioni di impianti termici (+209%). La crescita è inferiore, per quanto comunque significativa, relativamente ad interventi di installazione di pannelli solari (+183%) e riqualificazione globale (+179%). Interessante rilevare come anche i cosiddetti interventi combinati siano cresciuti con un fattore superiore al 200% (per la precisione, pari al 218%).

Analogamente, dai dati specifici al risparmio conseguito emerge come primo elemento degno di nota che tutte le voci sono cresciute significativamente, e in modo particolare spicca il dato ottenuto con l'installazioni dei pannelli solari, indice forse di una maggiore sensibilità ambientale e di una maggiore attenzione verso le fonti alternative.

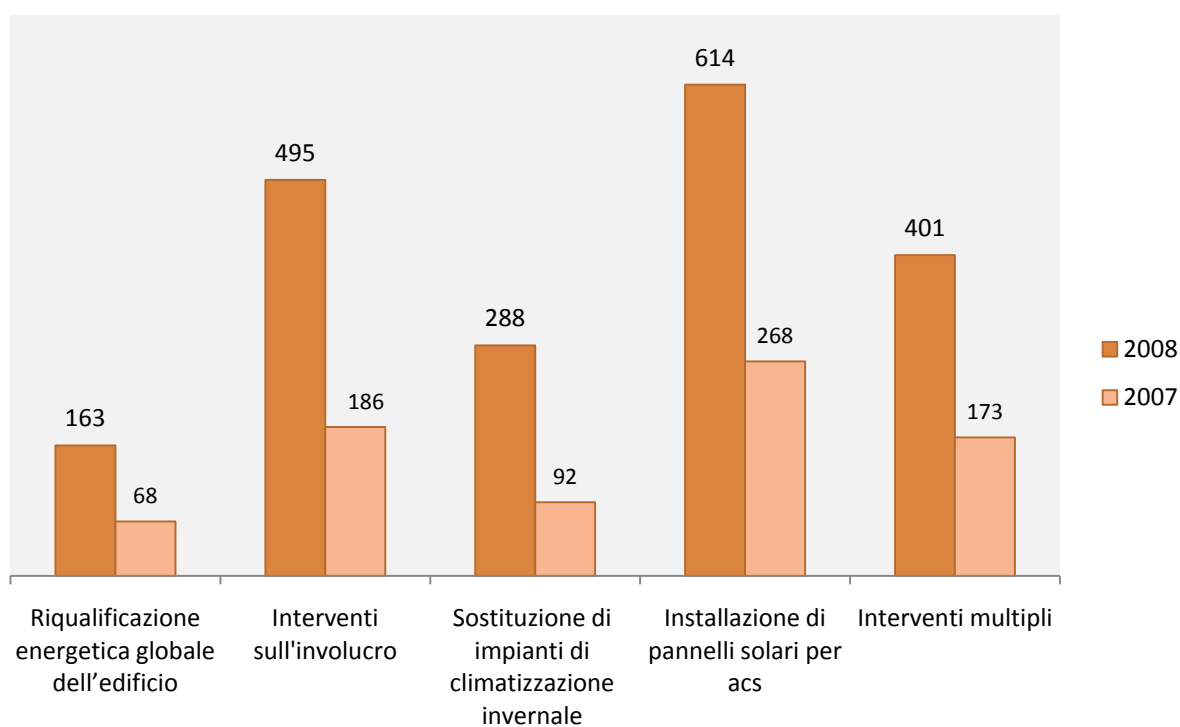


FIG.48 - Risparmio conseguito in GWh anno in funzione dell'intervento effettuato [fonte: ENEA];

Strettamente connessi ai risultati appena commentati, sono da considerare anche i valori di anidride carbonica non emessa in atmosfera, evidenziando il fatto che

l'incremento degli impianti solari termici ha portato a triplicare, rispetto al 2007, i benefici ambientali in termini di riduzione dei gas serra in atmosfera.

Entrando poi in merito alla lettura dei costi medi specifici per intervento, si nota una sostanziale invarianza degli esborsi fra 2007 e 2008 per la realizzazione dei lavori di "efficientamento". L'aumento del 20% relativo alla sostituzione degli impianti termici è dovuto forse alle nuove tecnologie, sempre più complesse e più costose, mentre l'unico dato in forte diminuzione è quello per la riqualificazione globale dell'edificio.

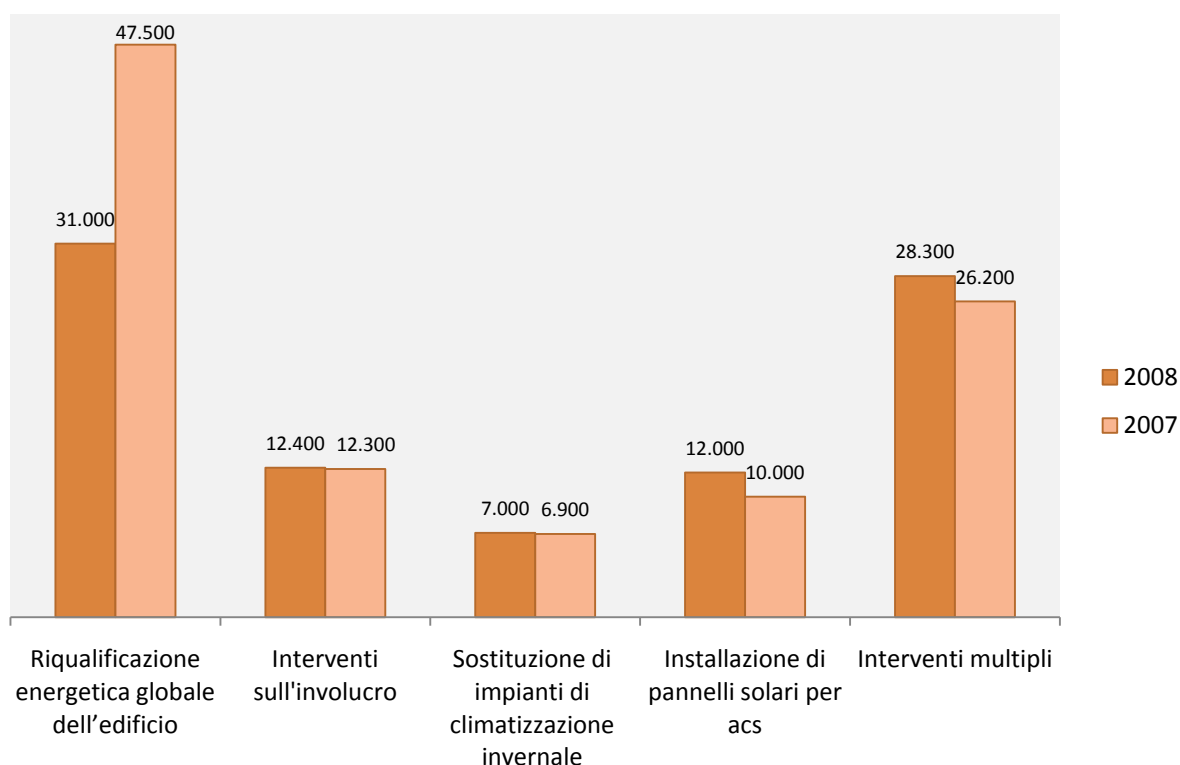


FIG.49 - Costo medio in euro dell'intervento effettuato [fonte: ENEA];

Dai dati pervenuti, fra tutti gli interventi, quello maggiormente perseguito sul territorio nazionale è stata la sostituzione di infissi, mentre quello meno diffuso, sicuramente a causa della maggiore complessità e onerosità, anche se a più alto valore aggiunto in termini di energia risparmiata, è invece la riqualificazione globale dell'edificio.

Per quanto concerne gli interventi sostitutivi/ integrativi effettuati sulle chiusure opache dell'involucro edilizio, risultano essere gli interventi tecnicamente più articolati (ma anche energeticamente più efficaci), come ad esempio le realizzazioni di cappotti esterni sulle chiusure verticali preesistenti, e i più penalizzati proprio in ragione della

maggior complessità esecutiva (vale a dire: tempi di realizzazione, necessità di cantierizzazione, complessità dell'iter procedurale e ovviamente maggiori costi).

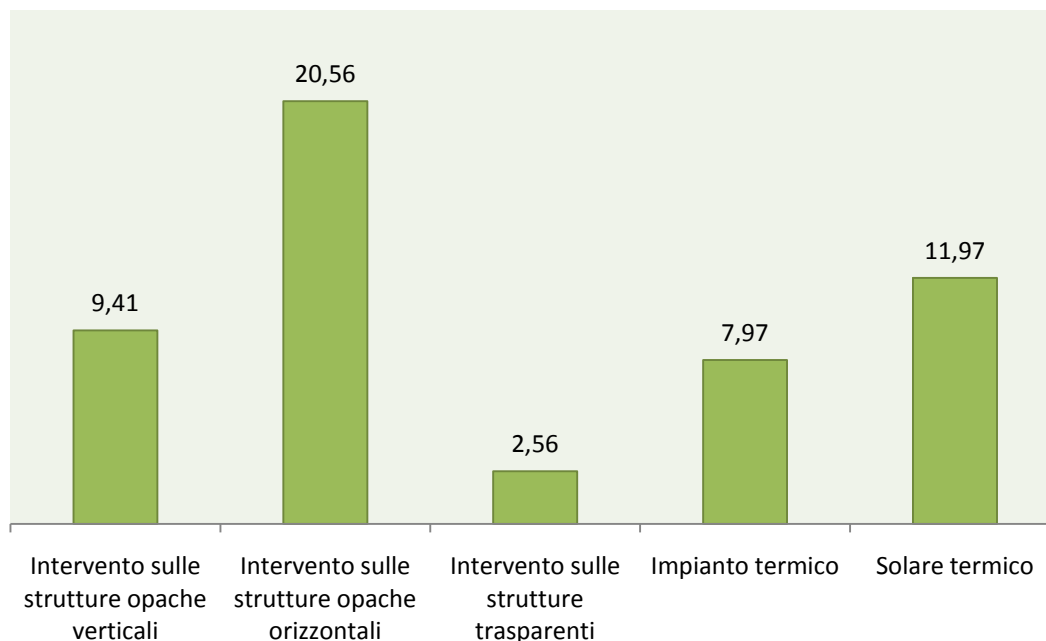


FIG.50 - Risparmio medio in MWh per tipologia di intervento [fonte: ENEA];

Da questa stima è possibile fornire anche una lettura uniforme dei dati relativi alle diverse tipologie di intervento, gli effetti degli interventi in termini economici e di risparmio energetico. Tali considerazioni dimostrano la preferenza degli utenti, indipendentemente dal risparmio realizzato, per interventi di più semplice esecuzione e di semplice sviluppo anche da un punto di vista amministrativo come la sostituzione degli infissi, invece di mettere in opera una struttura molto più complessa come un cappotto termico.

Tipologia Interventi	Coibentazione Strutture opache verticali	Coibentazione Strutture opache orizzontali o inclinate	Sostituzione Infissi	Sostituzione Impianto termico
Vita Utile [anni]	20	15	20	12

FIG.51 - Vita utile degli interventi [fonte: ENEA];

Si osserva poi a livello territoriale una tendenza a investire a livello mediamente di più su impianti di climatizzazione invernale nelle regioni settentrionali rispetto alle regioni meridionali ed insulari.

Riguardo alla convenienza economica dei singoli interventi, si è verificato che la tipologia di lavori che ha dato il massimo risparmio con la minima spesa è quella afferente alla sostituzione di impianti termici con caldaie a condensazione, mentre quelli più costosi in rapporto al risultato conseguito sono quelli relativi alla sostituzione di finestre comprensive di infissi e alla coibentazione pareti opache.

Inoltre è opportuno anche ricordare anche quanto è stato fatto finora per la riduzione dei consumi elettrici, come quanto riportato dai rapporti realizzati dal GSE e da Legambiente[76]. Nel 2009 la richiesta di energia elettrica sulla rete in Italia è risultata inferiore di circa il 6% in meno rispetto all'anno precedente a causa della attuale crisi economica. Questo ha comportato da una parte l'interruzione del trend di crescita dei consumi elettrici, quindi una invarianza dei consumi legati al settore civile, dall'altra un crescente sviluppo della generazione da fonti rinnovabili (+19%), che ha contribuito a ridurre ulteriormente l'utilizzo dei combustibili fossili: basta analizzare i soli impianti alimentati da fonti rinnovabili, che alla fine del 2009, avevano una potenza installata in Italia pari a 26.519 MW, l'11% più elevata rispetto all'anno precedente, dando forma a un nuovo modello di generazione distribuita.

Impianti solari fotovoltaici, solari termici, mini idro-elettrici, geotermici ad alta e bassa entalpia, da biomasse e biogas, integrati con reti di teleriscaldamento e pompe di calore: lo scenario è cambiato completamente rispetto al modo tradizionale di guardare all'energia e al rapporto con il territorio.

Anno	Solare termico	Solare fotovoltaico	Eolico	Mini idroelettrico	Biomassa	Geotermica	Totale
2007	268	287	136	76	73	9	1.262
2008	390	2.103	157	114	306	28	3.190
2009	2.996	5.025	248	698	604	73	5.591
2010	4.064	6.311	297	799	788	181	6.993

FIG.52- La crescita dei Comuni rinnovabili per le diverse fonti [fonte:Legambiente];

Il merito va alla continua ricerca applicata che in questi anni ha permesso dei significativi miglioramenti nelle prestazioni degli impianti e ai nuovi sistemi di incentivo.

In particolare la produzione lorda di energia elettrica da fonte rinnovabile nel 2009 è stata pari a 69.330 GWh, il 19% più elevata rispetto all'anno precedente.

Tra le diverse tipologie di impianti di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, va ricordato, soprattutto nel caso qui studiato delle riqualificazioni energetiche, il ruolo degli impianti fotovoltaici integrati o semi-integrati agli edifici.

La tecnologia fotovoltaica consente di trasformare direttamente in energia elettrica l'energia associata alla radiazione solare. Essa sfrutta il cosiddetto effetto fotovoltaico, basato sulle proprietà di alcuni materiali semiconduttori (il più utilizzato è il silicio, elemento molto diffuso in natura) che, opportunamente trattati, sono in grado di generare elettricità se colpiti da radiazione luminosa. Questa tecnologia è incentivata tramite il meccanismo del Conto Energia (CE), con tariffe incentivanti differenziate in relazione alla classe di potenza e alla tipologia di integrazione dell'impianto.

L'Italia con i suoi 676 GWh si pone al terzo posto tra i paesi dell'UE15 per produzione fotovoltaica.

Nell'ottica di riqualificare il cospicuo patrimonio immobiliare, è stato verificato che le prestazioni dell'involucro edilizio sono fondamentali e certamente risulta auspicabile l'ottimizzazione del sistema edificio-impianto al fine di conseguire performance apprezzabili in termini energetici. Banalmente, scelte orientate con attenzione in questa direzione creano le condizioni per una riduzione significativa della potenza termica dell'impianto di climatizzazione invernale necessario al benessere degli ambienti che quella elettrica dovuta all'illuminazione.

In linea del tutto generale, si può stimare che il risparmio di energia in fonte primaria conseguibile con interventi di miglioramento della prestazione energetica dell'involucro sia dell'ordine del 20-40% in termini di kWh/mq anno (dato, ovviamente, fortemente variabile in funzione della tipologia edilizia e delle zone climatiche).

5.6. Conclusioni: edifici scolastici come "vetrine educative"

In un contesto nazionale dove l'attività edilizia si rivela come uno dei settori di maggiore impatto ambientale ed energetico, si ritiene che l'edilizia pubblica, per il suo ruolo "storico esemplare", con particolare riferimento a quella scolastica, se realizzata con requisiti di ecosostenibilità, può configurarsi come modello architettonico in grado di recuperare quei valori ambientali che l'architettura dovrebbe sempre garantire.

La duplice valenza di un edificio scolastico pubblico è di essere un luogo dove gli utenti trovano soddisfatte le proprie esigenze sociali-culturali e nel contempo quella di rappresentare un vero e proprio modello architettonico.

L'apprendimento scolastico è un processo lungo e delicato, il cui percorso e il cui esito sono prevalentemente governati dalle capacità degli insegnanti, ma accanto a queste anche le condizioni fisico-ambientali entro cui si svolge hanno una influenza non trascurabile, che come si è visto nei precedenti paragrafi, può assumere talvolta un peso rilevante. Da tempo, infatti, è maturata la consapevolezza di quanto possa essere importante un'architettura per gli ambienti di apprendimento che favorisca i processi di collaborazione e cooperazione, promuovendo al contempo il benessere psicofisico degli alunni e del personale educativo e che sia coerente con i valori etici ed estetici che la scuola intende rafforzare.

Gli aspetti di comfort ambientale in luoghi dedicati alla didattica, grazie anche a recenti disposizioni nella normativa europea e nazionale, stanno assumendo maggior importanza rispetto al passato. In particolare le aule scolastiche sono attualmente oggetto di numerosi studi e indagini sia a livello nazionale sia internazionale[77]: notevole, in questo contesto, il contributo che il programma dell'OCSE sugli edifici educativi, attraverso il PEB - Programme on Educational Building, che offre una serie di studi sulla definizione e valutazione della qualità delle strutture per l'educazione mediante un ampio repertorio di best practices.

Per questi motivi è importante promuovere la sostenibilità ambientale nella riqualificazione degli edifici scolastici, applicando strategie di valorizzazione delle buone pratiche del costruire, utilizzare principi costruttivi di sostenibilità, adottando criteri per il controllo dei consumi energetici ed utilizzando materiali e tecniche non inquinanti, azioni per tanto mirate ad una nuova cultura ecologica del costruire.

Tutti gli spazi dei servizi educativi, interni ed esterni, dovrebbero possedere e mantenere nel tempo caratteristiche strutturali, impiantistiche, di arredo e di gioco, tali da tutelare

e promuovere la salute e il benessere dei bambini e degli operatori, al fine di contenere gli impatti sull'ambiente. Tra i vari requisiti che devono essere garantiti, si evidenzia quello del risparmio energetico, della salubrità, del benessere ambientale, ed infine l'attenzione alla ri-progettazione bioclimatica dell'edificio, e la riciclabilità dei suoi componenti.

La futura tendenza legislativa sembra essere quella di una maggiore attenzione ad una corretta gestione energetica del settore edile, e ad una maggiore qualità ambientale.

Anche se appare più problematico riqualificare energeticamente gli immobili esistenti, si possono sicuramente ottenere vantaggi ambientali significativi.

Note

[1] La normativa tecnica vigente in tema di comfort ambientale in ambito scolastico:

Riferimenti normativi nazionali:

- ✓ Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati. Accordo del 27/09/2001 tra il Ministro della salute, le regioni e le province autonome;
- ✓ UNI EN 15251:2008, Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica;
- ✓ UNI EN ISO 7730:2005, Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale;
- ✓ UNI EN ISO 7726:2002, Ergonomia degli ambienti termici - Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche;
- ✓ UNI EN 13779:2005, Ventilazione degli edifici non residenziali - Requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di condizionamento;
- ✓ UNI 10339:2005, Impianti aerulici a fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta di offerta, l'offerta, l'ordine, la fornitura;
- ✓ UNI TS 11300-1:2008, Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale;
- ✓ UNI EN 12792:2005, Ventilazione degli edifici. Simboli, terminologia e simboli grafici;
- ✓ UNI EN 12097:2007, Ventilazione degli edifici. Rete delle condotte. Requisiti relativi ai componenti atti a facilitare la manutenzione delle reti delle condotte;
- ✓ UNI EN 13779:2005, Ventilazione degli edifici non residenziali Requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di condizionamento;
- ✓ UNI 13789:2005, Riscaldamento degli edifici. Fabbisogno energetico convenzionale normalizzato;
- ✓ UNI EN ISO 13788:2003, Prestazione igrometriche dei componenti e degli elementi per l'edificio. Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale. Metodo di calcolo;
- ✓ UNI EN ISO 14683: 2001, Ponti termici in edilizia Coefficiente di trasmissione termica lineica. Metodi semplificati e valori di riferimento;
- ✓ UNI EN ISO 13789: 2001, Prestazione termico degli edifici. Coefficiente di perdita di calore per trasmissione. Metodo di calcolo;
- ✓ UNI EN ISO 13370: 2001, Prestazione termica degli edifici. Coefficiente di perdita di calore attraverso il terreno. Metodo di calcolo;
- ✓ UNI EN ISO 10077: 2002, Prestazione termica di finestre, porte, chiusure. Calcolo della trasmittanza termica. Metodo semplificato.

Riferimenti normativi internazionali:

- ✓ ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2010 - Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality;
- ✓ ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy;
- ✓ WHO Guidelines for Indoor Air Quality;
- ✓ BUILDING REGULATION 2000 - PART F - Ventilation;
- ✓ Indoor Air Quality Guidelines and Standards RR-204.

- [2] **Sindrome dell'edificio malato - SBS:** complesso di sintomi di malessere generale, non specifici ma ripetitivi, lamentati dagli occupanti di particolari fabbricati (con ambienti sigillati e dotati di impianti per il condizionamento dell'aria) che spariscono allontanandosi dagli edifici. Malattia riconosciuta e definita nel 1987 dall'OMS, Organizzazione Mondiale della Sanità;
- [3] **Malattia correlata all'edificio - BRI:** complesso di sintomi che si manifestano in uno o più occupanti del medesimo edificio; possono essere riferiti ad uno specifico fattore eziologico (quadro clinico definito : irritazioni alle mucose provocate dalla presenza di formaldeide, tumore polmonare indotto da esposizione a radon indoor, legionellosi, ecc.) presente nell'aria dell'ambiente confinato e dal lungo tempo necessario per la guarigione;
- [4] **Esistono diversi progetti e programmi con lo scopo di promuovere il miglioramento della qualità dell'aria nelle scuole, per ridurre il rischio di problemi respiratori acuti e cronici e la frequenza delle crisi allergiche nei bambini sensibili, tra cui:**
- ✓ progetto europeo SEARCH (School environment and respiratory health of children) condotto contemporaneamente in 6 Paesi Europei, Italia, Albania, Bosnia, Erzegovina, Serbia, Slovacchia, che è stato promosso dal Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare, attraverso l'Italian Trust Fund (ITF)¹, in collaborazione con il REC-Ungheria (Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe);
 - ✓ SCALE (Science, Children, Awareness, Legal instrument, Evaluation), sostiene l'importanza di proteggere prima di tutto la salute dei bambini dalle minacce dell'ambiente, quale investimento essenziale per assicurare un adeguato sviluppo umano ed economico;
 - ✓ piano europeo d'azione per l'ambiente e la salute 2004-2010, che ha costituito un importante contributo alla IV Conferenza intergovernativa Ambiente e Salute, organizzata dall'OMS Regione Europa a Budapest nel giugno 2004;
 - ✓ "Progetto toscano indoor su inquinanti fisici e chimici nelle scuole: risultati e considerazioni epidemiologiche".
- [5] *"la qualità dell'aria interna è considerata accettabile quando in essa non sono presenti inquinanti in concentrazioni dannose, secondo quanto stabilito dalle autorità competenti e quando una notevole percentuale di persone (80% o più) non esprime insoddisfazione verso di essa":* ASHRAE, Ventilation for acceptable indoor air quality, ASHRAE Standard 62/1999, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc., Atlanta, 1999;
- [6] Lo studio pilota HESE ("Health Effect of School Environment"), che ha coinvolto 5 paesi europei, è stato effettuato con lo scopo di fornire informazioni sulla qualità dell'aria in un campione di 21 scuole (46 aule) elementari, frequentate da 654 scolari e di valutare le possibili associazioni con la salute respiratoria dei bambini;
- [7] I primi risultati riportati in un articolo "School air quality related to dry cough, rhinitis and nasal patency in children" dell' European Respiratory Journal; ulteriori risultati dello studio HESE sono stati presentati al 20° Congresso ERS, Barcellona, 18-22 settembre 2010;
- [8] Lo studio SIDRIA (Studi Italiani sui Disturbi Respiratori nell'Infanzia e nell'Ambiente) ha stimato che il 20% dei ragazzi con meno di 15 anni ha sofferto o soffre di rinite allergica; il 9,5% dei bambini e il 10,4% degli adolescenti soffrono di sintomi asmatici; il 10% dei bambini (6-14) anni soffre di dermatite atopica e circa l'8% di bambini al di sotto dei tre anni e il 3-4% dei bambini in età scolare e prescolare soffre di allergie.

[9] Le soglie di esposizioni al PM10 sono suggerite dall'Epa (Environmental Protection Agency):

- ✓ 50 mg/mc per esposizioni a lungo termine;
- ✓ 150 mg/mc per esposizioni a breve termine.

[10] Le soglie di esposizioni alla CO₂ sono riportate dall'ASHRAE, Ventilation for acceptable indoor air quality, ASHRAE Standard 62/1999,

[11] Environmental Protection Agency, "European Federation of Asthma and Allergy Association" .

Bruce N, Perez-Padilla R, Albalak R. Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge. *Bull World Health Organ* 2000; 78: 1078-1092.

Neas LM, Dockery DW, Ware JH, Spengler JD, Ferris BG, Speizer FE. Concentration of indoor particulate matter as a determinant of respiratory health in children. *Am J Epidemiol* 1994;139:1088-1099.

Simoni M, Scognamiglio A, Carrozzi L, Baldacci S, Angino A, Pistelli F, Di Pede F, Viegi G. Indoor exposures and acute respiratory effects in two general population samples from a rural and an urban area in Italy. *J Expo Anal Env Epid* 2004; 14 Suppl 1:S144-52.

Rojas-Bracho L, Suh H H, Koutrakis P. Relationship among personal, indoor, and outdoor fine and coarse particle concentrations for individuals with COPD. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2000; 10: 294-306.

Viegi G, Annesi-Maesano I. Lung diseases induced by indoor and outdoor pollutants. In: Mapp C E, ed. *Occupational lung disorders*. *Eur Respir Mon* 1999; 4 (Monograph 11): 214-241.

Viegi G, Simoni M, Scognamiglio A, Baldacci S, Pistelli F, Carrozzi L, Annesi-Maesano I. Indoor air pollution and airway disease. *Int J Tuberc Lung Dis* 2004;8: 1401-1415.

Carrer P, Bruinen de Bruin Y, Franchi M, Valovirta E. The EFA Project : Indoor air quality in European schools. In: *Proceedings of Indoor Air 2002*.

Norback D, Walinder R, Wieslander G, Smedje G, Erwall C, Venge P. Indoor air pollutants in schools: nasal patency and biomarkers in nasal lavage. *Allergy* 2000;55:163-70.

Blondeau P, Iordache V, Poupard O, Genin D, Allard F. Relationship between outdoor and indoor air quality in eight French schools. *Indoor Air* 2005;15:2-12.

Kim CS, Lim YW, Yang JY, Hong CS, DC Shin DC. Effects of indoor CO₂ concentration on wheezing attacks in children. In: *Proceedings of Indoor Air 2002*.

Smedje G, Norbäck D, Edling C (1997). Asthma among secondary school pupils in relation to the school environment. *Clin Exp Allergy*, 1997a, 27, 1270-1278.

[12] Progetto "Indoor Air Pollution in Schools" messo a punto dall'EFA (European Federation of Allergy and Airways Diseases Patients Associations), con il contributo finanziario dalla Commissione Europea-DGSANCO;

[13] Circolare MIUR n.85/2001 - monitoraggio sulla sicurezza nelle scuole - dati anno 2001;

- [14] Vedi Cap.3;
- [15] Per ventilazione si intende “*l’insieme di operazione volte a sostituire , in tutto o in parte, l’aria viziata di uno spazio confinato con aria pulita. Le operazioni consistono nell’immissione, l’eventuale filtrazione, la movimentazione e l’espulsione dell’aria*”, UNI EN 12792;
- [16] Per calcolare rapidamente il numero dei ricambi d’aria necessario, conoscendo il numero di alunni (N), il cubo d’aria necessario per alunno (c) e la cubatura dell’aula (Ca): Numero ricambi all’ora = $N \times c / Ca$. Per i soggetti in età fino a 10 anni il cubo d’aria risulta di 14-15 mc/ora/persona e per quelli tra 10 e 16 anni di 22-23 mc/ora/persona. Per gli adulti è classico il riferimento a un fabbisogno di 32 mc/ora/persona.
- [17] Il metodo di calcolo della dispersione per ventilazione è descritto nella UNI EN ISO 13790:2008 e ripreso dalla recente UNI/TS 11300-1. In particolare le perdite per ventilazione nelle scuole possono incidere fino al 30 % sul bilancio energetico di un edificio;
- [18] Le norme ENEC in Germania, lo schema MINERGIE in Svizzera impongono l’adozione di sistemi di ventilazione controllata a doppio flusso con recupero di calore; cfr.atti AiCARR Bologna 1999;
- [19] Risparmio annuo con utilizzo impianto di ventilazione (per un appartamento di 100 mq a Milano) € 250,00/anno circa;
- [20] Lavoro realizzato dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare italiano, grazie ai contributi del Gruppo di lavoro italiano del Progetto SEARCH: “QUALITÀ DELL’ARIA NELLE SCUOLE: UN DOVERE DI TUTTI, UN DIRITTO DEI BAMBINI”;
- [21] Il comfort termico è definito come“... *la condizione in cui il soggetto esprime soddisfazione nei confronti dell’ambiente che lo circonda ...*”, ASHRAE Standard 55-92 (Thermal environmental conditions for human occupancy);
- [22] Il complesso di tali parametri è indicato dal termine microclima;
- [23] Secondo la norma UNI EN ISO 7730:2005 gli ambienti termici possono essere classificati: ambienti moderati, ambienti severi caldi e ambienti severi freddi.
Sono definiti ambienti termici moderati tutti i luoghi di lavoro nei quali non esistono specifiche esigenze produttive che vincolano uno o più parametri microclimatici e che impediscono il raggiungimento del comfort termico. Essi sono caratterizzati dalla facilità di raggiungimento delle condizioni di omeotermia dell’organismo, all’omogeneità e dalla ridotta variabilità temporale delle condizioni microclimatiche, da un’attività fisica modesta dei soggetti e da una sostanziale uniformità del vestiario.
- [24] Il metabolismo basale è l’energia consumata per mantenere le funzioni indispensabili alla vita, quali i movimenti respiratori, la circolazione del sangue e soprattutto per il mantenimento della temperatura del corpo a 36.6°C e si misura in W/mq di superficie corporea, o in met (1 met = 58,2 W/mq);
- [25] L’ equilibrio termico è detta omeotermia; si intende per acclimatazione la capacità dell’organismo umano di adeguarsi e resistere alle condizioni microclimatiche esterne, per intervento del sistema di termoregolazione, con uno sforzo minimo e con un minimo consumo

di energia; per adattamento si intende la capacità di acclimatazione a condizioni microclimatiche più onerose, inizialmente ritenute sfavorevoli o disagiati, anche in relazione all'abitudine e all'accettazione della mansione sul piano psicologico e comportamentale.

- [26] La resistenza termica dei vestiti, I_{cl} è definita come rapporto fra la resistenza termica totale dell'abbigliamento, r_{cl} , e una resistenza termica di riferimento pari a 0.155 (mqK)/W
- [27] La temperatura operativa è definita come “... *la temperatura uniforme di una cavità in cui il soggetto scambierebbe per irraggiamento e convezione la stessa energia che effettivamente scambia nell'ambiente reale non uniforme...*” ASHRAE
- [28] La teoria di Fanger, creatore degli indici sopra riportati (1970) nasce dalla necessità di correlare i parametri di tipo fisico a sensazioni soggettive delle persone esposte; la quale poi è stata successivamente assimilata nella normativa internazionale ISO soprattutto per gli ambienti indoor (ISO 7730, ISO 9920, ISO 11079);
- [29] Gli ambienti termici possono essere suddivisi, ai fini della loro valutazione in rapporto ai soggetti che li occupano, in due macro classi identificate come “ambienti termici moderati” e “ambienti termici severi”. In ambienti moderati non esistono rischi per la salute dell'individuo e gli indici sintetici di rischio mirano esclusivamente alla quantificazione del confort/disconfort;
- [30] Sulla base degli studi svolti e dell'esperienza della norma ANSI-ASHRAE 55-81 sviluppata la ANSI-ASHRAE 55-92 (Thermal environmental conditions for human occupancy);
- [31] L'attenuazione dei ponti termici può consentire di ridurre l'entità delle dispersioni la percentuale delle quali può arrivare al 15% del totale.
- [32] Il massimo affollamento ipotizzabile nelle aule scolastiche è di 26 persone, ed è fissato dal punto 5 del decreto 26 agosto 1992 del Ministero dell'Interno: Norme di prevenzione incendi per l'edilizia scolastica;
- [33] Nel caso, se si tratta di scuole dell'Infanzia, Primarie o Secondarie di primo grado, ogni persona presente deve avere a disposizione 1,80 mq netti. Il parametro minimo sale a 1,96 mqnetti se si tratta di scuole secondarie di II grado; gli spazi minimi vitali per garantire la funzionalità dei locali scolastici sono contenuti nel Decreto Interministeriale 18 dicembre 1975, emanato dai Ministeri dei Lavori Pubblici e della Pubblica Istruzione;
- [34] UNI EN ISO 13788: 2003, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia- Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale - Metodo di calcolo;
- [35] UNI EN ISO 13788: 2003, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia- Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione superficiale - Metodo di calcolo;
- [36] Nella norma UNI EN ISO 13788 il meccanismo di trasporto del vapore per diffusione segue sostanzialmente secondo la legge di Fick;

[37] La temperatura di rugiada è definita come la temperatura alla quale l'aria diventerebbe satura se venisse raffreddata senza che intervenga una variazione di pressione. Per questo si è detto che l'umidità di saturazione dipende dalla temperatura; quindi per ogni umidità vi è una temperatura caratteristica per la quale tale umidità rappresenta il valore di saturazione. Se si raffredda quindi dell'aria a pressione costante, si deve giungere alla temperatura di saturazione (o di rugiada); ogni ulteriore raffreddamento deve implicare una condensazione;

[38] Nel caso le condense siano dovute a raffreddamento delle superfici per insufficiente isolamento termico si aumenta la resistenza termica con isolanti: è infatti preferibile realizzare un isolamento dall'esterno, con una disposizione di strati avente resistenza alla diffusione del vapore decrescente dall'interno verso l'esterno (principio del freno al vapore decrescente) e resistenza termica crescente verso l'esterno;

[39] La normativa tecnica in tema di comfort visivo in ambito scolastico:

- ✓ UNI 10380
- ✓ UNI EN 12193/ 2001: Luce e illuminazione - Illuminazione di installazioni sportive;
- ✓ UNI EN 12464-1/2004: Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni;
- ✓ UNI EN 12665/2004: Luce e illuminazione - Termini fondamentali e criteri per i requisiti illuminotecnici
- ✓ UNI 11165/2005: Luce e illuminazione - Illuminazione di interni - Valutazione dell'abbagliamento molesto con il metodo UGR
- ✓ UNI 10840/2007: Luce e illuminazione - Locali scolastici - Criteri generali per l'illuminazione artificiale e naturale
- ✓ EN 15193/2006: Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting (recepita in Italia nel marzo 2008)

[40] Risultante dalla sovrapposizione dei sette colori dello spettro solare;

[41] La comunità europea ha avviato il progetto GreenLight per promuovere l'illuminazione efficiente (interni ed esterni). Lo schema non prevede contributi, in quanto gli interventi si ripagano velocemente da soli, ma offre la possibilità di fregiarsi dell'apposito logo e di venire pubblicizzati nel sito web del progetto ed in occasione di vari eventi e manifestazioni. Il sito www.eu-greenlight.org offre una panoramica delle varie tecnologie disponibili e consigli sulla corretta installazione. E' inoltre presente un elenco di ESCO che operano nel settore e che hanno aderito al progetto come partner. Per maggiori informazioni si rimanda all'apposita sezione del sito FIRE.

[42] La normativa vigenti in tema di benessere acustico ambientale in ambito scolastico:

Riferimenti normativi nazionali:

- ✓ DPCM del 5 dicembre 1997, "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici";
- ✓ Legge 11 gennaio 1999, n. 23, "Norme per l'edilizia scolastica";
- ✓ D.M. 18 dicembre 1975, "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nell'esecuzione di opere di edilizia scolastica";
- ✓ Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 30 aprile 1996, n. 1769, "Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici nelle costruzioni edilizie";

- ✓ Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 22 maggio 1967, n. 3150, "Criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici nell'edilizia scolastica";
- ✓ D.Lgs. 19 agosto 2005, n.194, "Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale";
- ✓ Legge 31 ottobre 2003, n.306, "Disposizioni per l'adempimento di obblighi comunitari derivanti dall'appartenenza dell'Italia alle Comunità europee. Legge comunitaria 2003";
- ✓ Legge 23 marzo 2001, n.93, "Disposizioni in campo ambientale";
- ✓ Legge 26 ottobre 1995, n.447, "Legge quadro sull'inquinamento acustico" e ss. mm. (Legge n. 426 del 09/12/1998, Legge n. 448 del 23/12/1998, Legge n. 179 del 31/07/2002);
- ✓ D.P.C.M. 01 marzo 1991, "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno";
- ✓ D.P.R. 30 marzo 2004, n.142, "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n.447";

Riferimenti normativi comunitari:

- ✓ Direttiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25/06/2002 relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale (G.U.C.E. 18/07/2002, L 189/12);
- ✓ Raccomandazione della Commissione del 6 agosto 2003 concernente le linee guida relative ai metodi di calcolo aggiornati per il rumore dell'attività industriale, degli aeromobili, del traffico veicolare e ferroviario e i relativi dati di rumorosità (G.U.C.E. 22/08/2003, L 212/49);
- ✓ Direttiva 2002/30/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 26/03/2002 che istituisce norme e procedure per l'introduzione di restrizioni operative ai fini del contenimento del rumore negli aeroporti della Comunità (G.U.C.E. 28/03/2002, L 85/40);

[43] Per un maggiore approfondimento delle variabili energetiche legate alla ventilazione naturale degli ambienti si rimanda al precedente paragrafo 5.2.1.;

[44] La normativa tecnica in tema di comfort acustico in ambito scolastico:

- ✓ ISO 9613-1:1993 - Acoustics/Attenuation of sound during propagation outdoors - Calculation of the absorption of sound by atmosphere;
- ✓ ISO 9613-2:1996 - Acoustics/Attenuation of sound during propagation outdoors - General method of calculation;
- ✓ ISO 8297:1994 - Acoustics- Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment - Engineering method;
- ✓ UNI 11143-1-2-3-5-6:2005, "Acustica. Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti";
- ✓ UNI 9884:1997, "Acustica. Caratterizzazione acustica del territorio mediante la descrizione del rumore ambientale";
- ✓ UNI 10855:1999, "Acustica. Misura e valutazione del contributo acustico di singole sorgenti";
- ✓ UNI EN 12354-2:2002, "Acustica in edilizia. Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti. Isolamento acustico al calpestio tra ambienti";
- ✓ UNI EN 12354-3:2002, "Acustica in edilizia. Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti. Isolamento acustico contro il rumore proveniente dall'esterno per via aerea";
- ✓ UNI TR 11175:2005, "Acustica in edilizia. Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici. Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale";

- ✓ UNI EN ISO 3382:2001, "Acustica. Misurazione del tempo di riverberazione di ambienti con riferimento ad altri parametri acustici";
 - ✓ UNI EN ISO 10844:1999, "Acustica. Determinazione della capacità di fonoassorbimento degli ambienti chiusi";
 - ✓ UNI EN ISO 140-4:2000, "Acustica. Misura dell'isolamento acustico degli edifici e di elementi di edificio. Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea tra ambienti";
 - ✓ UNI EN ISO 140-5:2000, "Acustica. Misura dell'isolamento acustico degli edifici e di elementi di edificio. Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea degli elementi di facciata e delle facciate";
 - ✓ UNI EN ISO 140-7:2000, "Acustica - Misura dell'isolamento acustico degli edifici e di elementi di edificio - Misurazioni in opera dell'isolamento dal rumore di calpestio"
 - ✓ UNI 8199/1998, "Acustica. Collaudo acustico degli impianti di climatizzazione e ventilazione. Linee guida contrattuali e modalità di misurazione";
 - ✓ UNI EN ISO 10052:2005, "Acustica. Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea, del rumore da calpestio e della rumorosità degli impianti. Metodo di controllo";
 - ✓ UNI EN ISO 16032:2005, "Acustica. Misurazione del livello di pressione sonora di impianti tecnici in edifici. Metodo tecnico progettuale";
 - ✓ UNI EN ISO 11654:1998, "Acustica. Assorbitori acustici per l'edilizia. Valutazione dell'assorbimento acustico";
 - ✓ UNI EN ISO 717-1:2007, "Acustica. Valutazione dell'isolamento acustico in edifici ed in elementi di edificio. Isolamento di rumori aerei" ;
 - ✓ UNI EN ISO 717-2:2007 "Acustica. Valutazione dell'isolamento acustico in edifici ed in elementi di edificio. Isolamento dai rumori di calpestio";
 - ✓ UNI EN ISO 140-4:2000, "Acustica edilizia. Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Misurazione in opera dell'isolamento acustico pervia aerea tra ambienti";
 - ✓ UNI EN ISO 140-5:2000, "Acustica edilizia: Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Misurazione in opera dell'isolamento acustico per via aerea tra elementi di facciata e delle facciate";
 - ✓ UNI EN ISO 140-7:2000, "Acustica edilizia: Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Misurazione in opera dell'isolamento dal rumore di calpestio di solai";
- Riferimenti normativi internazionali:
- ✓ SS 02 52 68, Acoustics - Sound classification of spaces in buildings - Institute (Healthcare) premises, rooms for education, day centres and after school centres, rooms for office work, and hotels;

[45] Una prova di ciò è data da uno studio realizzato nel 1975 da Bronzaft e McCarthy i quali hanno scoperto che i bambini situati sul lato più silenzioso di una scuola posta accanto a una ferrovia sopraelevata, avevano risultati migliori nella lettura rispetto ai bambini situati sul lato esposto al rumore del treno, con livelli superiori a 89 dB(A);

[46] Vedi riferimenti normativi alla nota [42];

[47] L'indice R_w , espresso in dB, misura le prestazioni acustiche di un vetro: maggiore è l'indice R_w , migliore è la protezione del vetro contro il rumore. L'indice R_w di una vetrata isolante tradizionale è di 29 dB, mentre un vetro altamente performante Thermobel Phonibel può raggiungere circa 50 dB;

- [48] I tempi di riverbero ottimali per gli ambienti scolastici sono indicati nel D.M. 18/12/1975;
- [49] Vedi Cap.3;
- [50] Fonte: ENEA, LEGAMBIENETE;
- [51] Supporto nella realizzazione degli interventi promuovendo l'accesso a meccanismi di incentivazione nazionale disponibili, D.M. 28 luglio 2005, D.M. 20 luglio 2004, Bando solare termico del Ministero dell'Ambiente, etc., ed al finanziamento tramite terzi attraverso il coinvolgimento di ESCO;
- [52] La termografia è un metodo di determinazione e rappresentazione della temperatura superficiale tramite misurazione senza contatto della radiazione infrarossa radiante da una superficie, ed è regolata dalla norma UNI EN 13187:2000;
- [53] La verifica viene effettuata mediante termoflussimetro, con successivo calcolo del valore di trasmittanza mediante il metodo delle medie progressive secondo la norma ISO 9869:1994; essa descrive *“il metodo del termoflussimetro per le misure di trasmissione del calore per elementi piani di involucro (strati opachi perpendicolari alla direzione del flusso termico senza significativo flusso laterale)”*;
- [54] Il Blower-Door-Test permette di misurare l'ermeticità di un edificio dopo aver imposto una determinata differenza di pressione tra interno ed esterno, ed è regolato dalla norma UNI EN 13829:2005. Il metodo permette di scoprire le perdite d'aria dell'involucro edilizio e di valutare il flusso (o tasso) di ricambio dell'aria. Ovviamente valori bassi (infiltrazioni d'aria inferiori) sono preferibili;
- [55] Fonte: ENEA;
- [56] Fonte: ENEA;
- [57] Legge n.109/1994 e s.m.i.;
- [58] D.P.R. 21 dicembre 1999, n. 554, Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici n.109/1994 e s.m.i.;
- [59] Vedi Cap.3;
- [60] La determinazione del costo finale di ciascun intervento è stato determinato considerando tutti gli oneri aggiuntivi:
- ✓ incremento lavori per isole;
 - ✓ trasporto a discarica rifiuti speciali di risulta;
 - ✓ incremento lavori per oneri sicurezza;
 - ✓ spese tecniche (progettazione, direzione lavori, collaudo, coordinatore sicurezza, cassa previdenza);
 - ✓ IVA;
 - ✓ Allacci (elettrico, idrico, fognario, gas, ecc.);
 - ✓ spese per gara (pubblicazione, pubblicità, affidamento, commissione,
 - ✓ consulenza legale, ecc.);
 - ✓ R.U.P. (responsabile unico lavori);
 - ✓ imprevisti esecuzione lavori;

- ✓ imprevisti amministrativi e gestionali;
- ✓ spese organizzative gestionali.

- [61] D.M. 26 gennaio 2010, aggiornamento del D.M. 11 marzo 2008 in materia di riqualificazione energetica degli edifici e D.P.R. 2 aprile 2009, n. 59, che fissa il valore massimo della trasmittanza;
- [62] Per località più soleggiate si intende quelle aventi un $I_{m,s} \geq 290$ W/mq, come descritto nel D.Lgs 311/2006, lettera b del comma 9, dell'allegato I;
- [63] A tale proposito si veda la ricerca, di C.Di Perna (Dipartimento di Energetica, Università Politecnica delle Marche, Ancona) e di F. Stazi, A. Ursini Casalena, A. Stazi (Dipartimento di Architettura Costruzioni e Strutture, Università Politecnica delle Marche, Ancona), dal titolo "Massa e comfort: necessità di una adeguata capacità termica areica interna periodica", pubblicata sull'Industria dei Laterizi, marzo-aprile 2008;
- [64] Ai sensi del D.Lgs 490/1999 (già legge 1089/39);
- [65] Stima desunta dal rapporto realizzato da ENEA, "Le detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente nel 2009";
- [66] Stima desunta dal rapporto realizzato da ENEA, "Le detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente nel 2009" e dal rapporto realizzato dal GSE " Bilancio elettrico e le fonti rinnovabili in Italia nel 2009";
- [67] L'esposizione ottimale è verso Sud con una inclinazione di circa 30-35° gradi. Inoltre ogni kWp installato richiede uno spazio netto di circa 8 -10 mq, qualora i moduli siano installati in modo complanare alle superfici di pertinenza degli edifici; occorre invece uno spazio maggiore se l'impianto è installato in più file successive su strutture di supporto inclinate collocate su superfici piane.
- [68] Conto Energia 2011/2013, in attuazione al D.M. 6 Agosto 2010 sull'incentivazione alla produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare;
- [69] L'obbligo di utilizzo delle fonti rinnovabili per la produzione di energia termica ed elettrica viene disposto dal D.Lgs 311/2006 (disposizioni correttive ed integrative al D.Lgs 192/2005 recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia), il riferimento è ai commi 12 e 13 dell'allegato I.
Il regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del DLG 19 agosto 2005, n. 192 e' il D.P.R. 59/2009.
- [70] Nel caso di edifici di nuova costruzione, pubblici e privati, o di ristrutturazione degli stessi conformemente all'articolo 3, comma 2, lettera a, del D.Lgs 311/2006, è obbligatoria l'installazione di impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica;
- [71] A partire dal 2007 nel caso di nuove costruzioni o di ristrutturazioni degli impianti esistenti, il 50% del fabbisogno termico per la produzione di acqua calda sanitaria venga prodotto da una fonte rinnovabile. Nei centri storici la produzione da fonte rinnovabile può coprire il 20% del fabbisogno, ma deve comunque essere presente. Le deroghe sono previste solo nei casi di cattiva esposizione solare o impedimenti purché accuratamente dettagliati;

[72] Vedi Cap.2 e 3;

[73] Stima desunta dal rapporto realizzato da ENEA, "Riqualificazione di edifici scolastici: risultati di una campagna di monitoraggio energetico", di P.Romagnoni, E.Antonini, M.Boscolo. F.Cappelletti, all'interno della ricerca "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione", responsabile G.Fasano, ENEA;

[74] È stata la Finanziaria 2007 (Legge n.296/2006) a introdurre le agevolazioni fiscali del 55% sulle spese sostenute per gli interventi di riqualificazione energetica degli edifici, prorogate dalla Finanziaria 2008 (Legge n. 244/2007) fino al 2010. Le numerose sollecitazioni per il proseguimento di questa misura è stato recepito in extremis come emendamento alla Legge di stabilità (Finanziaria 2011), con il prolungamento degli incentivi sino al 2011;

[75] Rapporto realizzato da ENEA, "Le detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente nel 2009" e stime desunte dal rapporto realizzato da ENEA, "Riqualificazione di edifici scolastici: risultati di una campagna di monitoraggio energetico", di P.Romagnoni, E.Antonini, M.Boscolo. F.Cappelletti;

[76] Stime desunte dal rapporto realizzato dal GSE, " Rapporto statistico Impianti a fonti rinnovabili relativo al 2009" e quello realizzato da Legambiente in collaborazione con il GSE e SORGENIA, "Comuni Rinnovabili 2010";

[77] A livello internazionale il programma dell'OCSE, il PEB - Programme on Educational Building; analogamente in Italia nell'ambito del Progetto "Abitare la scuola" a cura dell'Agenzia Nazionale per lo Sviluppo dell'Autonomia Scolastica (ex-Indire);

PARTE SESTA: Caso studio: edifici scolastici a Roma

INDICE CAPITOLO

6.1. Individuazione del campione di studio: le scuole del comune di Roma	220
6.1.1. Consistenza e distribuzione territoriale	221
6.1.2. Età e caratteristiche tecnico-costruttive e strutturali	223
6.1.3. Situazione energetica attuale del patrimonio scolastico	225
6.2. Ipotesi e strategie di riqualificazione edilizia ed energetica	229
6.2.1. Problematiche legate al patrimonio edilizio storico	230
6.3. Progetti pilota	234
6.3.1. Gli interventi migliorativi di riqualificazione energetica ed edilizia	235
6.3.2. Motivazione della scelta delle porzioni di territorio oggetto di analisi ...	237
6.3.3. Edilizia storica e premoderna: il caso del primo municipio	240
6.3.4. Edilizia Moderna e contemporanea: il caso dell'ottavo municipio	250
6.4. Risultati ed analisi conclusive	261

6.1. Individuazione del campione di studio: le scuole del comune di Roma

Al fine di creare un repertorio di soluzioni tecnologiche ricorrenti per la città di Roma, si è ritenuto opportuno indagare direttamente sul parco edilizio esistente determinando un campione di studio che possa essere rappresentativo di una situazione più ampia e utile per l'individuazione delle criticità dell'ambito energetico in cui si intende operare con le successive linee guida.

Attualmente la quota predominante dei consumi energetici del civile della città di Roma è da attribuire al settore residenziale, anche se va aumentando negli ultimi anni il peso del terziario: tra il 1995 e il 2003 il residenziale si contrae dal 71% al 65%, parallelamente il terziario cresce dal 29% al 35% circa [1]. In termini di funzione d'uso la domanda energetica del settore, nel 2003, è prodotta per il 67% dal riscaldamento, per il 15% da usi elettrici obbligati, per il 12% dalla produzione di acqua calda e per il rimanente 6% dagli usi cucina.

Come già detto precedentemente, le scuole rappresentano il miglior ambito per la realizzazione di programmi di promozione della sostenibilità ambientale in quanto sono uno straordinario veicolo di conoscenza verso docenti, studenti e famiglie, ma soprattutto perché rappresentano di gran lunga la fetta più consistente dei consumi energetici dell'edilizia pubblica se si considera che sono presenti a Roma oltre 1.394 scuole pubbliche.

Proprio per questo motivo la pubblica amministrazione romana è attivamente coinvolta attraverso il finanziamento e la promozione di diversi studi e ricerche questo campo: come ad esempio lo studio "Diagnosi energetica sulle 42 scuole del XV Municipio", "Efficienza termica di una scuola del XV Municipio", interni al Piano d'Azione, adottato dalla Giunta Comunale il 18 Marzo 2009 [2]: gli studi hanno fornito dati sull'efficienza energetica degli edifici, ossia gli "involucri", degli impianti elettrici e di riscaldamento in maniera tale da averne una "mappatura" completa al fine di ridurre il consumo di energia primaria (principalmente fossile) e quindi di ottenere una riduzione delle emissioni di gas climalteranti. Questa infine fornisce indicazioni tecniche per la attuazione di quanto disposto dalla Del.G.C. 282/2001 per l'uso di fonti rinnovabili di energia negli edifici pubblici.

Le sommarie indicazioni che seguono sulla consistenza del patrimonio scolastico comunale, possono estendersi per analogia anche alle strutture ora di proprietà della Provincia, e ci permettono di dare delle valutazioni preliminari sullo stato attuale del

sistema “edificio-impianti” e conseguentemente di individuare gli interventi mirati al risparmio energetico e di uso delle fonti rinnovabili di energia, specifici per ogni scuola, in relazione ai costi da sostenere.

6.1.1. Consistenza e distribuzione territoriale del patrimonio scolastico romano

Nel territorio del Comune di Roma ricadono 1.394 edifici destinati ad uso scolastico, di questi 1.296 di proprietà Comunale e 104 di proprietà Provinciale. Degli edifici scolastici di proprietà comunale l'ultimo riferimento per la valutazione della loro consistenza ed articolazione è l'inventario del patrimonio comunale aggiornato al 2000 [3]; in base a quanto rilevato gli edifici effettivamente utilizzati ai soli fini scolastici sono 1.296. Questi i dati permettono una valutazione delle caratteristiche di consistenza e di utilizzo effettivo degli immobili. Gli edifici realizzati dall'Amministrazione o da altri per conto dell'Amministrazione con le caratteristiche proprie dell'uso scolastico sono in tutto 1.296, con 18.873 aule.

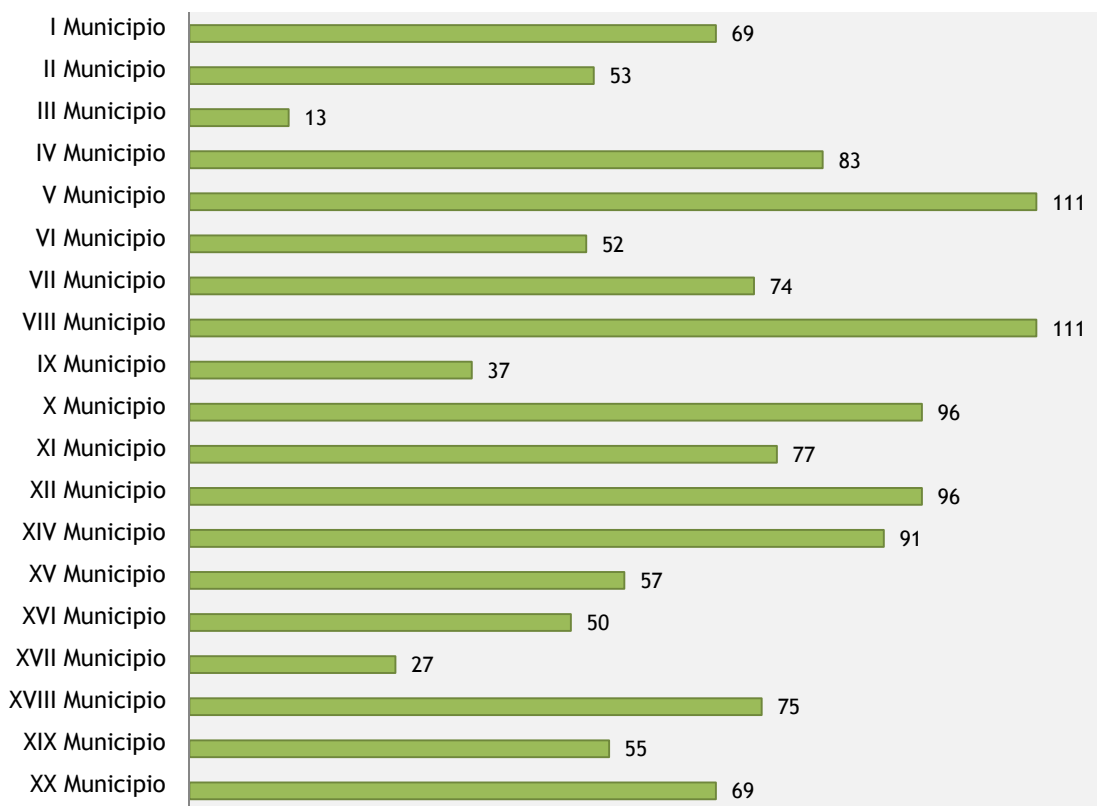


FIG. 1 - Numero degli edifici scolastici di Roma per Municipi [Fonte: XII Dipartimento del comune di Roma];

Il volume totale è di 13.518.925 mc. Il maggior numero di fabbricati si trova nei Municipi quinto e ottavo. Il primo Municipio, che ha la maggiore quota in volumetria in assoluto, è quello che presenta la più alta dotazione di immobili di grande dimensione: ben il 27% circa dei fabbricati della classe superiore a 30.000 mc; gli altri Municipi centrali seguono in una ipotetica graduatoria: il nono (13%), il diciassettesimo (13%), il secondo (10%), il terzo (4%, che costituisce ben il 30% di tutto il suo patrimonio); complessivamente in tutta l'area centrale è concentrato il 68% degli immobili ad uso scolastico classificati nella maggiore fascia dimensionale. In questa area si trova il 12,5% dei fabbricati, ma il 23,4% delle cubature dell'intera città: quindi un patrimonio concentrato e di grande dimensione. Del tutto diversa è la situazione delle municipalità periferiche: la quinta e l'ottava ciascuna con l'8,56% delle sedi hanno rispettivamente il 6,11%, ed il 7,82% delle cubature, la tredicesima con il 7,02% delle sedi il 4,39% delle cubature e con valori analoghi le altre.

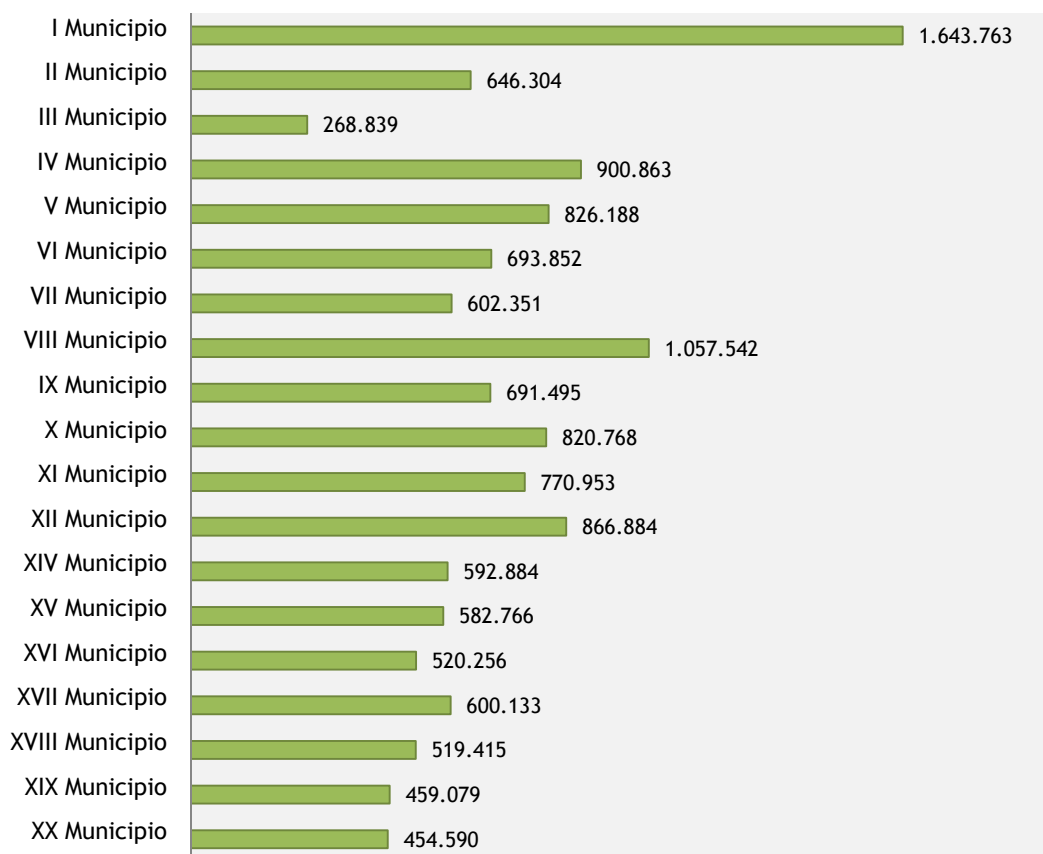


FIG. 2 - Distribuzione volumetrica degli edifici scolastici di Roma per Municipi, dati in mc [Fonte: XII Dipartimento del comune di Roma];

Circa il 61% degli immobili si situa in due classi dimensionali che raggruppano gli edifici con volumetrie comprese tra 2.500 e 10.000 e tra 10.000 e 30.000 mc. Il 36% (470 fabbricati) è concentrato nella classe tra 10.000 e 30.000 mc, che è quindi quella che raccoglie il maggior numero di fabbricati; solo il 7% circa (90 fabbricati) supera i 30.000 mc. Il volume medio per edificio è di 10.431 mc.

Inoltre risulta importante esaminare in cosa attualmente consistono gli spazi e quali siano le destinazioni degli edifici destinati alla didattica di proprietà comunale. Una prima distinzione, cui è collegata la tipologia dell'edificio e degli impianti a servizio dello stesso, dipende dal grado dell'edificio scolastico [4]:

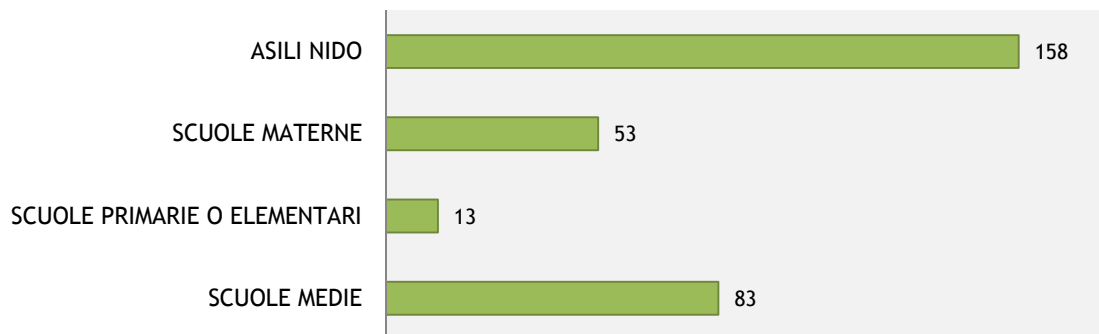


FIG. 3 - Destinazione d'uso degli edifici scolastici di Roma [Fonte: XII Dipartimento del comune di Roma];

Con l'aumentare del grado scolastico aumentano generalmente le dimensioni degli edifici, il numero di utenti, il grado di affollamento delle aule, la quantità di spazio dedicata a utilizzi accessori (uffici, attività sportive, servizi mensa ecc.).

6.1.2. Età e caratteristiche tecnico-costruttive e strutturali

Per quanto concerne il riferimento all'epoca di costruzione degli edifici scolastici romani si può sottolineare come la distribuzione nel tempo dell'attività realizzativa fornisce importanti indicazioni sulle caratteristiche dimensionali e tecnico-costruttive.

Gli edifici costruiti dopo l'avvento del nuovo Stato unitario avevano un ruolo istituzionale più rappresentativo e riconoscibile nella sua capitale moderna, insieme a condizioni didattiche più adeguate. Nel 1885 l'Assessore alla Pubblica Istruzione del Comune di Roma, Oreste Tommasini, nomina una commissione ispettiva per valutare

la situazione delle scuole elementari del Comune di Roma. La conseguente relazione diventa il "punto di partenza del piano di realizzazione di una moderna edilizia scolastica di Roma Capitale".

In particolare, tutti gli edifici precedenti alla seconda guerra mondiale possono essere modellizzati in tre macro classi: quelli premoderni, ovvero gli edifici storici concepiti con altra destinazione poi trasformati alla fine dell'800 in strutture scolastiche, gli edifici realizzati durante la prima espansione post-unitaria della città ed infine gli edifici realizzati dal Governatorato tra gli anni Trenta e i primi anni Quaranta del '900.

In tutti e tre i casi siamo di fronte ad edifici le cui strutture sono "i nuovi templi della odierna civiltà, dotati di ampie aule e locali adibiti ad attività specifiche: palestre coperte, all'aperto, aule per i lavori manuali, per il disegno, giardini, cucina, refettorio, servizi igienici comodi e adeguati". Queste le caratteristiche dei nuovi edifici scolastici: il corpo di fabbrica a doppia campata per aerare e illuminare tutti gli ambienti, l'orientamento delle aule sempre verso sud, le aule rettangolari alternate e collegate a uno spogliatoio indipendente, tre finestre per aula che diventano carattere architettonico distintivo delle scuole romane, un ambiente separato per la palestra, il piano terra rialzato, le finestre ad arco con infissi in ferro, la scala elicoidale ellittica come elemento architettonico eccezionale e dominante nella composizione d'insieme. Elementi architettonici che si ritrovano nelle "Istruzioni tecnico igieniche nazionali" del 1888 per la costruzione degli edifici scolastici, che indicano standard dimensionali, suggerimenti di forme, modi di distribuzione degli spazi, di illuminazioni, di aerazione, di disposizione e di dimensione dei banchi.

Ne risultano manufatti che hanno caratteristiche generalmente di pregio, mantenute in maniera discreta, che presentano punti di debolezza principalmente nel sistema degli infissi e in alcuni casi delle coperture. Questi edifici hanno caratteristiche tecnico-costruttive e strutturali discrete, caratterizzati spesso per le grandi cubature e con spazi di servizio e di connettivo molto ampi, ma a livello impiantistico presentano dei grossi problemi di integrazione tra le strutture storiche e le dotazioni necessarie al loro funzionamento ordinario.

Gli edifici realizzati nel secondo dopoguerra, mostra negli anni Cinquanta la concentrazione di grandi volumetrie in un numero di edifici abbastanza contenuto, ma con il consolidarsi dei quartieri e delle borgate storiche e con la crescita

dell'urbanizzazione del territorio della città di Roma, gli edifici scolastici crescono di numero e si riducono sensibilmente di volumetria, indice questo di una maggiore diffusione sul territorio delle strutture scolastiche.

Dai primi anni Sessanta, sotto la pressione della crescita demografica e comunque non al passo con le esigenze effettive dell'urbanizzazione del territorio, si registra un'impennata nel ritmo di edificazione degli edifici. Nella metà degli anni Settanta la realizzazione di scuole supera prima i 40 e poi i 60 edifici l'anno, nel 1976 verrà toccato il massimo storico con 96 edifici in un anno. Un nuovo picco viene toccato intorno alla metà degli anni Ottanta, successivamente la realizzazione andrà diminuendo, assestandosi negli anni Novanta su valori molto bassi, conseguenti alla stasi demografica e al successivo calo della natalità.

Questo dato ci consegna un patrimonio mediamente giovane ma con gravi problemi di obsolescenza tecnologica diffusa, localizzata proprio nelle famiglie di edifici più recenti.

Quasi tutti i manufatti realizzati tra gli anni Cinquanta e gli anni Ottanta presentano delle caratteristiche prestazionali dal punto di vista dell'isolamento termico e acustico assolutamente non in linea con le attuali esigenze di comfort ambientale e di gestione energetica; in moltissimi casi versano anche in uno stato di profondo degrado concentrato soprattutto nel sistema delle chiusure verticali (pareti perimetrali ed infissi) e delle coperture. Inoltre, negli ultimi anni di questo periodo, molti presentano anche problemi più o meno gravi di idoneità strutturale e di sicurezza ambientale, oltre che di generale degrado degli elementi tecnici di involucro.

Questi dati ci mostrano un patrimonio mediamente giovane ma con gravi problemi di obsolescenza tecnologica diffusa, localizzata proprio nelle famiglie di edifici più recenti.

6.1.3. Situazione energetica attuale del patrimonio scolastico

Nell'ambito della determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici del comune di Roma, da quanto sinora detto, risulta chiaro come presentino generalmente cattive condizioni a livello edificio-impianto e gestione, sia da parte degli utenti che dell'utenza stessa.

La valutazione dei consumi reali è molto importante in un programma di riqualificazione ed è evidente l'importanza che questa stima sia il più affidabile possibile. Per questo motivo è fondamentale tenere conto dell'influenza delle variabili maggiormente significative che possono determinare variazioni nei consumi energetici: si rende quindi necessaria un'analisi approfondita dei diversi parametri significativi e influenzanti i consumi, senza limitarsi alla sola analisi di parametri dimensionali e climatici.

Gli edifici precedenti alla seconda guerra mondiale, mostrano consumi elevati a causa del fatto che le loro dimensioni richiedono molta energia per essere mantenuti a regime, e nella maggior parte dei casi non sono supportati da sistemi impiantistici adeguati. Mentre per i consumi elettrici, in molti casi sono dovuti al fatto che esse sono inserite nel tessuto della città storica che comporta anche un grande consumo di risorse per garantire una adeguata illuminazione degli spazi interni. Nonostante queste criticità, la generale integrità di questi edifici ed il discreto stato di manutenzione, oltre al migliore comportamento termico delle pareti perimetrali opache, rende meno grave il problema della loro gestione energetica e della loro eventuale riqualificazione.

In riferimento alla restante parte delle strutture, di cui circa il 40% è stato realizzato fra gli anni Sessanta e Ottanta, si può sottolineare come tale parco sia stato costruito in fretta e senza badare all'efficienza energetica, grazie al basso costo dell'energia in quel periodo.

I dati relativi ai consumi elettrici e termici forniti in forma aggregata dal XII Dipartimento del comune di Roma, possono essere distribuiti come segue in funzione della distribuzione delle cubature per Municipio.

Proprietà edifici	Volume [mc]	Superficie [mq]	Consumi termici [kWh]	Consumi termici [kWh/mc]	Consumi termici [kWh/mq]	Consumi elettrici [kWh]	Consumi elettrici [kWh/mc]	Consumi elettrici [kWh/mq]
Comune di Roma	13.518.925	3.379.731	241.428.571	17,86	71,43	50.900.000	3,77	15,06
Provincia di Roma	1.115.848	278.962	19.927.438	17,86	71,43	4.201.270	3,77	15,06
Totale	14.634.773	3.658.693	261.356.009	17,86	71,43	55.101.270	3,77	15,06

FIG.4 - Sintesi dei consumi elettrici e termici degli edifici scolastici comunali e provinciali [Fonte: XII dipartimento del comune di Roma];

Municipi	Volume mc	Potenza termica (Kwh)	consumi elettrici Kwh
1	1643763	16664	2709954
2	646304	12800	2081559
3	268839	3140	510571
4	900863	20046	3259799
5	826188	26808	4359491
6	693852	12559	2042284
7	602351	17872	2906327
8	1057542	26808	4359491
9	691495	8936	1453164
10	820768	23185	3770370
11	770953	18596	3024151
12	866884	23185	3770370
13	592884	21978	3573997
15	582766	13766	2238657
16	520256	12076	1963735
17	600133	6521	1060417
18	519415	18113	2945602
19	459079	13283	2160108
20	454590	16664	2709954
totale	13.518.925	313.000	50.900.000

FIG.5 - Consumi elettrici e potenza termica erogata degli edifici scolastici per municipio [Fonte: XII dipartimento del comune di Roma];

In termini economici ad incidere di più è l'energia elettrica rispetto a quella termica. Per questo è importante ricordare in questa analisi dei consumi, che nell'abitare questo tipo di edifici, infatti, sono diversi i comportamenti abituali dell'utenza che comportano inutili sprechi di energia. Esempio immediato è quello che riguarda l'illuminazione: essa viene attivata inizialmente quando se ne presenta la necessità, ma non è abitudine diffusa la disattivazione della stessa dal momento in cui la disponibilità di illuminazione naturale sia aumentata fino a garantire, senza necessità di alcuna integrazione artificiale, un sufficiente livello di illuminamento degli spazi.

Oppure, sovente capita di uscire dall'aula, per un intervallo o per le attività sportive, dimenticando di disattivare il sistema di illuminazione artificiale. E ancora, i dispositivi di oscuramento, attivati quando la radiazione solare diretta comporta abbagliamento agli occupanti, raramente vengono disattivati nel momento in cui la causa del discomfort non è più presente (e l'illuminazione artificiale resta attivata). Molteplici, come visto nei paragrafi precedenti, potrebbero essere anche gli esempi di "abusi" che comportano maggiori consumi per il riscaldamento o il raffrescamento degli ambienti: finestre aperte per ricambiare l'aria con terminali dell'impianto di condizionamento attivati (il che comporta, tra l'altro, il perdurare dei ricambi d'aria oltre lo stretto necessario visto che la compensazione termica data dai terminali attivi ritarda la sensazione di discomfort che ricorda all'utente di chiudere le finestre), ambienti condizionati senza presenza di persone, ecc.

Da un lato, come emerge dagli esempi riportati, essi sono prevalentemente riconducibili ad atteggiamenti di noncuranza da parte degli utenti (particolarmente accentuata nel caso in cui gli stessi non siano intestatari della bolletta energetica, come avviene negli edifici pubblici) ma, dall'altro lato, essi sono anche dovuti alla mancanza di adeguati sistemi di regolazione e controllo dell'erogazione energetica locale. Ad esempio, capita spesso di trovarsi in un ambiente eccessivamente riscaldato, privo di termostato di regolazione autonomo, e di dover provvedere al "raffrescamento" aprendo le finestre delle aule. Oppure di disporre di un solo interruttore che comanda la totalità dei corpi illuminanti presenti in ambiente quando, diversamente, in alcune giornate o momenti della giornata, sarebbe sufficiente attivare parzialmente le lampade per raggiungere il livello di illuminamento desiderato.

Tali aspetti, troppo spesso trascurati, sono in realtà responsabili di effetti energetico-ambientali assai rilevanti: secondo alcune ricerche [5] i costi energetici annuali per un campione di scuole esaminato ammontano a 507.454 euro pari a 6.224MW/h.

6.2. Ipotesi e strategie di riqualificazione edilizia ed energetica

Lo studio dello stato attuale delle scuole romane è stato svolto al fine di valutare diversi scenari di riduzione degli sprechi energetici a seguito di interventi mirati ad una gestione “comfort on demand” dell’energia erogata negli spazi vissuti del parco edifici scolastici del comune di Roma. Questa problematica di gestione e valorizzazione è molto complessa ed articolata sia dal punto di vista della sicurezza che della riqualificazione energetica e del comfort interno.

La dinamica della crescita, avvenuta ad ondate e cicli successivi ha portato ad una tipizzazione delle realizzazioni che, per gruppi omogenei, presentano problemi analoghi, sia in rapporto al contesto urbano in cui si trovano, sia per la loro organizzazione funzionale, tipologica e tecnico-costruttiva.

Facendo riferimento agli edifici ricadenti nella città storica e consolidata, il rapporto tra interventi di adeguamento agli standard previsti e il rispetto dei caratteri storico-figurativi del manufatto diventa più critico dovendo rispettare tutti quegli elementi, anche meno visibili, testimonianza di una pratica costruttiva di artigianalità spesso perdute. Diverse sono le modalità di intervento, da quelle meno invasive limitate a operazioni sui serramenti e sulle vetrazioni, a quelle di maggiore impatto edilizio dove, il miglioramento della risposta funzionale, energetica o strutturale può portare a riconfigurare in maniera più o meno evidente la preesistenza.

Le condizioni degli edifici realizzati tra gli anni Settanta e Ottanta, invece, necessitano di una valutazione attenta dell’opportunità di trasformazione e recupero dei manufatti a fronte dell’effettivo miglioramenti di prestazione potenziale che si ottiene. Per gli edifici di questo periodo è anche ipotizzabile una trasformabilità per fasi successive attraverso una pianificazione degli interventi portata avanti in parallelo alla pianificazione del risparmio potenzialmente ottenibile attraverso gli interventi da realizzare fase per fase.

Da quanto detto sinora, la particolare dinamica di sviluppo del patrimonio scolastico dell’area romana, ci permette di individuare alcuni gruppi di edifici cronologicamente affini, con problematiche edilizie, funzionali e strutturali consimili, che ci consentono di proporre delle valutazioni preliminari sia sulla qualità della realizzazione che sulla loro performance energetica.

L’indagine svolta sulle caratteristiche del parco edilizio, sulle dotazioni impiantistiche-tecnologiche degli ambienti considerati ma anche sulle modalità d’uso, ha portato alla

definizione di un elevato numero di informazioni che consentono di individuare le principali cause di sprechi di energia e definire possibili strategie di intervento mirate al miglioramento funzionale delle dotazioni impiantistiche a livello di singolo ambiente.

In funzione delle caratteristiche degli ambienti analizzati, e delle strategie di riduzione dei consumi ipotizzate, è stato possibile valutare il potenziale risparmio energetico e la riduzione delle emissioni ad effetto serra conseguibili. Infine, l'analisi ha consentito di individuare le migliori strategie di intervento dal punto di vista dei tempi di ritorno dell'investimento, al fine di suggerire le priorità d'azione da contemplare nella pianificazione economica di gestione e manutenzione del parco edifici in esame.

Inoltre queste indicazioni sulla consistenza del patrimonio scolastico comunale e sui possibili interventi possono estendersi per analogia anche alle strutture ora di proprietà della Provincia, permettendoci di dare delle valutazioni preliminari anche sulla qualità della realizzazione degli edifici e sulla loro performance energetica.

Le linee guida qui proposte sono da intendersi quale strumento di ausilio e indirizzo che i progettisti, i gestori e gli utenti finali potranno integrare e sviluppare in soluzioni diverse a seconda dello stato della struttura scolastica, con casi pilota che riguardano le scuole del comune di Roma. Si è pertanto ricavato una serie di indicazioni per ogni scuola studiata che indirizzino gli interventi di manutenzione nella direzione di una maggiore efficienza energetica.

Il panorama particolarmente composito ed articolato del patrimonio scolastico dell'area romana richiede un approccio multidisciplinare di analisi, per poter individuare, valutare e indirizzare le azioni più idonee da suggerire agli Enti Locali gestori, in ottica di una pianificazione tecnica integrata degli interventi da mettere in atto.

6.2.1. Problematiche legate alla riqualificazione del patrimonio edilizio storico

Un aspetto importante, e non da trascurare, nel processo di riqualificazione sono problematiche legate allo stato energetico delle scuole romane facenti parte del patrimonio edilizio storico.

Tali edifici storici vincolati rappresentano un'importantissima risorsa, risultato di varie stratificazioni culturali che hanno portato alla creazione di un corpus edilizio molto vario e complesso. La maggior parte di queste strutture, sono manufatti di particolare valore storico e architettonico, nate per svolgere la funzione di scuola o a volte riconvertite per ospitare funzioni culturali, cosa che in entrambi i casi ha

comportato la necessità di attuare piani di interventi di adeguamento, rivolti al soddisfacimento delle esigenze di conservazione e di valorizzazione dell'edificio e dei manufatti interni, sia a livello di impianti che di involucro.

Infatti, proprio per la loro peculiarità, gli edifici storici, non rispettano gli standard di efficienza e risparmio energetico, e ogni tipologia di interventi su questi edifici tutelati dovrà basarsi secondo una particolare logica di riduzione dei consumi, proponendo diverse soluzioni per un uso più razionale dell'energia.

Per questo oggi, tramite una stima energetica di alcuni edifici scolastici storici, è stata affrontata questa tematica del recupero, in relazione alla problematica del consumo energetico nella fase d'uso e di gestione; con particolare attenzione alle caratteristiche geometriche dell'involucro, degli impianti e delle forniture, per capire effettivamente quanta energia viene consumata, e soprattutto per capire gli interventi adatti per questa specifica tipologia di edifici.

In questo senso, tale aspetto costituisce un'esperienza importante per tracciare delle possibili linee guida per la riqualificazione, la tutela e la valorizzazione anche del patrimonio culturale (beni immobili d'interesse artistico, storico, culturale) e dei luoghi della cultura, tutto questo secondo un criterio che tenga in considerazione anche le nuove politiche energetiche.

Questa strategia indaga la capacità tecnica che ha un possibile intervento di relazionarsi con l'edificio storico, modificandone gli aspetti tipo-morfologici e impiantistici, e di come un'integrazione parziale o totale di elementi tecnologici nell'edificio preesistente, instauri con lo stesso un nuovo processo di riqualificazione prestazionale. Per questo l'obiettivo è quello di poter fissare uno strumento di immediata lettura, presentando una casistica utile, in cui vengono soddisfatti gli standard di qualità e le modalità integrate di approccio architettonico e impiantistico legate alla conservazione, fruizione e valorizzazione del bene culturale.

Affrontare il tema del retrofit in ambito di edifici storici è molto complesso, sottolineato anche dalle recenti prescrizioni introdotte dalla normativa italiana in materia di efficienza energetica, in particolare dal D.Lgs 311/2006, che cercano di promuovere ed incentivare il recupero sostenibile patrimonio storico, con un'attenzione particolare per gli immobili che ricadono nella disciplina del codice dei beni culturali e del paesaggio [6], in cui non è previsto alcun obbligo di applicare misure di miglioramento dell'efficienza energetica, quando il rispetto delle

prescrizioni implicherebbe un'alterazione inaccettabile del carattere o aspetto, con particolare riferimento ai caratteri storici o artistici.

Data, quindi, la complessità di questo tema bisogna dare una risposta chiara e priva di indecisione, guardando a una futura ottimizzazione energetica degli organismi edilizi sottoposti a tutela, attraverso una sperimentazione tecnico-progettuale di sistemi e componenti, in modo da verificare la possibilità concreta di operare anche su questi particolari contenitori architettonici, facendo molta attenzione a possibili incoerenze, e ricercando possibili sinergie.

Il progetto deve prevedere la conservazione delle caratteristiche storico - artistiche che ne hanno costituito l'assoggettabilità alla tutela, attraverso le caratteristiche geometriche, i materiali e le tecnologie costruttive ma anche, il funzionamento energetico e funzionale connesse con l'uso e la fruizione delle attività ospitate, al fine di progettare in maniera coerente sia con la storia dell'edificio, sia con le necessità contemporanee.

Per poter progettare un intervento che garantisca la continuità oltre che materia anche nell'utilizzo del fabbricato bisogna far sì che il progetto soddisfi i requisiti di benessere, prestazionali e normativi attuali.

Il progetto di restauro deve garantire la "continuità" di utilizzo del fabbricato con le stesse o modificate attività insediate. Tale continuità viene raggiunta, unitamente alle operazioni di consolidamento statico ed eliminazioni delle cause patologiche del degrado materico delle parti strutturali e delle finiture dell'edificio, anche e soprattutto attraverso la progettazione degli impianti tecnici grazie alle possibilità offerte dalla tecnologia impiantistica integrata alle caratteristiche fisiche e distributive dell'edificio. Tra le operazioni di rilievo e lettura storica, occorre individuare anche le soglie di "progettazione energetica ed impiantistica". Negli edifici sottoposti a tutela sovente ci si imbatte in impianti inseriti a posteriori in periodi successivi alla costruzione, spesso nel secondo dopoguerra, ed altrettanto spesso con tecnologie ormai obsolete e facilmente soggette a guasti e rotture. La conoscenza della storia, in particolare della tecnica impiantistica, consente al progettista di operare alcuni distinguo tra: impianti obsoleti mal funzionanti e non più funzionanti che possono essere eliminati e sostituiti, e impianti obsoleti ma comunque importanti per la "storia materiale" del fabbricato che è possibile conservare come elemento d'arredo (storia) ed in alcuni casi anche integrare con i nuovi impianti.

Si può dire banalmente che sono adeguabili, in senso impiantistico, quegli edifici nei quali l'intervento di recupero non generi un peggioramento delle condizioni di conservazione tecnologica funzionale ed estetica.

Ad esempio, negli edifici storici si devono limitare tutte le lavorazioni che incidono sull'ossatura portante (tracce, fori, nicchie...). Sono incompatibili quegli interventi in cui il divario nella dotazione dei servizi comporta un sacrificio troppo grande per l'edificio storico.

Le vie perseguibili per adeguare gli edifici storici, alla luce dell'attuale normativa[8], sono rappresentate da alcune tipologie di interventi, come l'installazione di caldaie a condensazione e di pannelli solari, oppure lavori d'isolamento termico con sostituzione o modifica degli infissi esistenti. Le modifiche dovute all'installazione di impianti tecnologici e le istanze della conservazione hanno trovato un punto d'equilibrio, mentre la stessa cosa non vale per le soluzioni di isolamento termico delle pareti o sostituzioni di parti, escludendola per ovvi motivi.

Inoltre è importante evidenziare come anche in questi progetti, e in particolare quelli in cui vi è un impianto fotovoltaico, sono soggetti a molte incentivazioni, nel caso in cui vengano adottate soluzioni di integrazione architettonica. La tariffa incentivante per la vendita di energia elettrica al gestore GSE è maggiorata se i sistemi di produzione saranno integrati architettonicamente.

6.3. Progetti pilota

Le fasi di analisi e di progettazione preliminare degli interventi sono orientate ad individuare i criteri di ottimizzazione dell'efficienza tecnologica ed energetica degli edifici scolastici e, parallelamente, a fornire gli elementi necessari a predisporre la successiva certificazione energetica e ambientale.

Una volta individuati i criteri di ottimizzazione dell'efficienza tecnologica e funzionale degli edifici sarà possibile definire strategie di intervento sia su complessi edilizi di recente realizzazione che sul patrimonio storico moderno e premoderno. Le attività svolte previste da questo programma di indagine e di progetto sono:

- Attività di analisi e ricognizione:
 - Ricognizione conoscitiva dei dati di consistenza del patrimonio scolastico dell'area metropolitana romana, finalizzata all'integrazione e alla sistematizzazione dei dati in possesso delle amministrazioni;
 - Ricognizione sull'efficienza tecnologica ed energetica dello stock edilizio esistente;
 - Individuazione di tipologie di complessi edilizi particolarmente significativi per consistenza, pregio architettonico, caratteristiche tecnologiche, strutturali, costruttive o tipo-morfologiche ricorrenti, al fine di individuare i casi di studio su cui proporre approfondimenti di indagine specifici.

- Attività di sintesi e valutazione:
 - Definizione di un sistema di indicatori utili a valutare la suscettività di trasformazione di un manufatto edilizio, al fine di permettere un'analisi costi-benefici degli interventi necessari alla riqualificazione integrata dell'edificio;
 - Individuazione di una griglia di requisiti guida per la definizione di interventi migliorativi sul patrimonio edilizio esistente e di parametri di valutazione dei progetti in corso di elaborazione e realizzazione.

Dal confronto delle valutazioni successive alle fasi di analisi, si arriva alla definizione di una metodologia per la costruzione di una gerarchia di priorità delle tipologie di intervento da proporre sui manufatti. Tali attività possono essere descritte come segue:

- definizione di un sistema di indicatori utili a valutare la suscettività di trasformazione;
- individuazione di una griglia di requisiti guida per la definizione di interventi migliorativi sul patrimonio edilizio esistente.

Queste famiglie di indicatori verranno messe a sistema e confrontate per trovare i criteri di valutazione di opportunità o di fattibilità della promozione di interventi di riqualificazione edilizia sui singoli edifici. Questi indicatori saranno organizzati in relazione alle tipologie ricorrenti di edifici individuate e classificate nella fase di ricognizione a seconda dell'epoca costruttiva, tipologia edilizia, caratteristiche tecnologiche e strutturali etc.

Una volta valutata l'opportunità delle proposte di intervento sugli edifici sarà necessario, per stabilire quali interventi prevedere, definire i requisiti guida per la progettazione degli interventi di miglioramento e riqualificazione edilizia, organizzati in funzione dei deficit prestazionali individuati nella fase di diagnosi dei manufatti.

6.3.1. Gli interventi migliorativi di riqualificazione energetica ed edilizia

Gli interventi potranno essere di due tipi: quelli che puntano sulla riduzione del fabbisogno termico degli edifici (interventi sull'involucro edilizio) e quelli che massimizzano il rendimento degli impianti e ne ottimizzano il funzionamento e la gestione (interventi sulle componenti impiantistiche).

Complessivamente si tratta di un progetto di risanamento e di miglioramento prestazionale che mira ad intervenire sul mal funzionamento del sistema edificio-impianto, integrando un piano di controllo ed di gestione degli impianti e dell'energia.

Il patrimonio scolastico ospita funzioni e attività a bassa o media complessità tecnologica, caratterizzata da consumi sia elettrici che termici relativamente bassi. È quindi credibile proporre una serie di interventi a basso costo e a bassa complessità per migliorarne le prestazioni in modo consistente.

I diversi interventi sono stati quindi classificati in relazione al potenziale di riduzione del fabbisogno di energia:

- Gli interventi migliorativi proposti per la riduzione Consumi termici
 - ✓ ottimizzazione del riscaldamento degli ambienti attraverso l'utilizzo diffuso di termovalvole, in particolare negli ambienti che hanno cicli di utilizzo molto frazionati (valvole e sonde termostatiche, gestione assistita della ventilazione e il ricambio d'aria, sensori apertura finestra);
 - ✓ sostituzione delle apparecchiature per la produzione e il controllo di calore (caldaie ad alta efficienza, impianto di distribuzione del calore);
 - ✓ verifica di fattibilità per il ricorso diffuso al solare termico nelle materne e nei nidi per la produzione di ACS;
 - ✓ associazione sistematica degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria alla riqualificazione energetica degli edifici;
 - ✓ programmazione degli interventi di miglioramento prestazionale degli involucri negli edifici più recenti (isolamento termico, isolamento acustico, vetrazioni basso emissive a controllo solare, ventilazione naturale);
 - ✓ adozione di sistemi tecnologici o gestionali innovativi (pannelli solari e fotovoltaici, cogenerazione);

- Gli interventi migliorativi proposti per la riduzione dei Consumi elettrici
 - ✓ ottimizzazione della illuminazione naturale e artificiale delle aule e degli spazi comuni, attraverso utilizzo di apparecchi a basso consumo ed alta efficienza utilizzo associati a dispositivi automatici per il controllo dell'illuminazione (interventi semplici e componibili: sensori di presenza, sensory daylight (dimming), sensory daylight (ON-OFF), ripartizione accensione luci migliore, regolazione locale terminali, temporizzatore);
 - ✓ ottimizzazione dell'utilizzo di schermature solari efficaci (sensori apertura finestra, apertura tende interne differenziata);
 - ✓ verifica di fattibilità di installazione diffusa di pannelli fotovoltaici.

Ad esempio, affrontando la riqualificazione energetica di un edificio scolastico secondo i precedenti dettami, scegliendo la migliore e la più opportuna fra quelle considerate, si può ottenere fino al 60% di risparmio: con l'isolamento degli involucri opachi, come l'applicazione di 8 cm di isolamento in parete e 10 cm in copertura in posizione adatta a risolvere i ponti termici, si riducono i consumi di circa il 30%; la

sostituzione dei vecchi serramenti con componenti aventi prestazioni conformi alla normativa vigente contribuisce per un ulteriore 10% e l'adozione di sistemi di ventilazione meccanica controllata dotati di recuperatori efficienti migliora le prestazioni di un ulteriore 20%, permettendo di raggiungere un indice medio di circa 110 kWh/mq anno contro gli attuali 290.

I costi stimati sono dell'ordine di 300-350 € per mq di superficie calpestabile (isolamento 50 €/mq; serramenti 150 €/mq ventilazione 120 €/mq), con un tempo di ritorno dell'investimento di 12-14 anni.

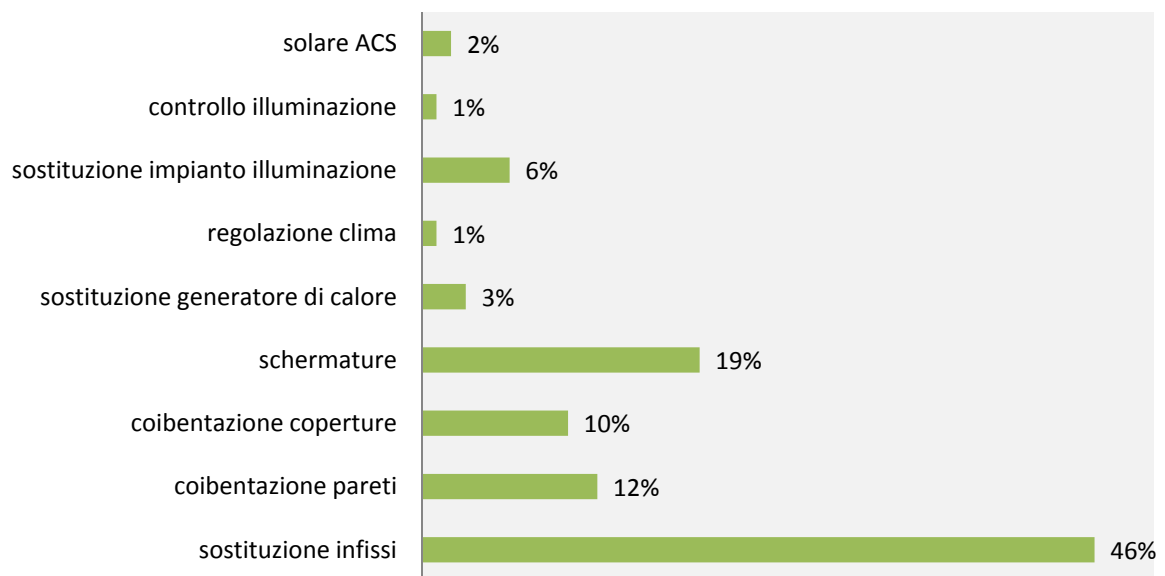


FIG.6 - Incidenza dei costi per tipo di intervento [Fonte:ENEA];

6.3.2. Motivazione della scelta delle porzioni di territorio oggetto di analisi

In seguito alla ricognizione conoscitiva dei dati di consistenza del patrimonio scolastico dell'area metropolitana romana e alla successiva valutazione della idoneità funzionale dello stock edilizio esistente e del suo livello di efficienza tecnologica ed energetica, sono stati individuati alcuni complessi edilizi particolarmente significativi per consistenza, pregio architettonico, caratteristiche tecnologiche, strutturali, costruttive o tipo-morfologiche ricorrenti, al fine di selezionare i casi di studio su cui proporre approfondimenti di indagine specifici.

Coerentemente con la struttura del patrimonio edilizio romano sono stati individuati due esempi riconducibili a due momenti caratteristici della sua formazione e a due campioni territoriali particolarmente significativi: il primo è stato scelto all'interno della città storica, nel I Municipio, il secondo nella città di espansione periferica, nel VIII Municipio.

Gli edifici analizzati in entrambi i contesti campione sono stati sottoposti ad una fase di verifica prestazionale e funzionale in relazione alle normative vigenti portata avanti in parallelo al reperimento di dati riguardanti le caratteristiche dimensionali degli edifici, le informazioni sui consumi elettrici e termici dell'ultimo triennio, a sopralluoghi per il riscontro e la verifica diretta dei dati, oltre che all'elaborazione di un rilievo geometrico dettagliato e di rilevazioni termografiche atte alla caratterizzazione dell'edificio in termini di prestazioni termiche dell'involucro.

Un volta verificate le informazioni di base sugli edifici sono state si è proceduto con la determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale, con riferimento alla specifica tecnica UNI TS 11300, ha portato alla formulazione di un giudizio complessivo sulla prestazione energetica, alla valutazione dell'incidenza dell'involucro sul fabbisogno di energia e dell'adeguatezza dell'impianto esistente.

La verifica di più casi di studio ha portato all'individuazione del range di variabilità del EP degli edifici scolastici che per la "città storica" e per quelli della "città consolidata", nel primo caso è stato riscontrato un valore di EP dello stato di fatto compreso tra 14 e 16 kWh/mc anno, nel secondo un valore di EP dello stato di fatto compreso tra a 18 e 24 kWh/mc anno.

Per tutti gli edifici oggetto di analisi, sono stati inoltre raccolti i dati di consumo per il riscaldamento per tre stagioni consecutive: questo è il consumo energetico principale legato a questa specifica destinazione d'uso. In particolare sono stati raccolti, su base mensile, i dati di energia primaria (attraverso la misura del combustibile consumato) e di energia utile erogata (misurata con contatori di calore) in ogni edificio.

Sono stati inoltre raccolti i dati di consumo reale di energia elettrica per lo stesso campione di edifici scolastici. La fonte dei dati è la bolletta mensile con dati rilevati realmente e dati previsti in altri casi. Per le analisi è stato quindi utilizzato il dato annuale, in quanto il dato mensile non è stato considerato sufficientemente affidabile.

Sugli edifici individuati come progetti pilota sono poi stati ipotizzati interventi di riqualificazione sul sistema edificio-impianto, in relazione alla loro suscettività di trasformazione e alla valutazione della opportunità tecnico-economica degli interventi individuati come utili e/o necessari; per ogni edificio scolastico il progetto di riqualificazione energetica è stato valutato anche in termini economici, effettuando un'analisi costi benefici indicativa, con stima dei tempi di ritorno di ogni categoria di intervento.

Volendo riqualificare in termini energetici il consistente patrimonio scolastico, le prestazioni energetiche dell'involucro edilizio sono fondamentali e solo l'ottimizzazione del sistema edificio-impianto permette di conseguire performance realmente apprezzabili. Un involucro efficiente, in termini di resistenza termica, riduce notevolmente il consumo energetico e la potenza termica dell'impianto necessario per la climatizzazione invernale degli ambienti così isolati. Gli interventi sull'involucro riguardano pareti perimetrali verticali, gli infissi esterni, sistemi di copertura e in alcuni casi solai a terra, a condizione che tali componenti delimitino il volume riscaldato verso l'esterno e verso vani non riscaldati.

Gli interventi sugli impianti, invece, valutati sia singolarmente che in relazione a quelli sull'involucro, riguardano essenzialmente: la sostituzione delle apparecchiature per la produzione e il controllo di calore con l'introduzione di caldaie a condensazione adeguatamente dimensionate secondo la potenza di picco richiesta per il contenimento dei costi e per il miglioramento del rendimento di produzione; l'ottimizzazione del riscaldamento degli ambienti attraverso l'utilizzo diffuso di termovalvole, in particolare negli ambienti che hanno cicli di utilizzo molto frazionati (valvole e sonde termostatiche, gestione assistita della ventilazione e il ricambio d'aria); la verifica di fattibilità per il ricorso al solare termico e all'adozione di sistemi tecnologici o gestionali innovativi (pannelli solari e fotovoltaici).

Di seguito si presentano i risultati dello studio su un campione di edifici con applicata singolarmente ciascuna delle azioni considerate per il miglioramento delle prestazioni energetiche. E' stata redatta una scheda per ciascuna scuola analizzata, con una descrizione dettagliata delle prestazioni energetiche dell'edificio prima (dati sui consumi elettrici e per il riscaldamento degli ambienti, planimetrie, reportage fotografico e scheda di sopralluogo) e dopo gli interventi ipotizzati (studio di

fattibilità tecnico-economico di ogni tipologia di intervento, di risparmio energetico e di uso delle fonti rinnovabili di energia), con il risparmio energetico ed economico conseguibile e con i benefici ambientali derivanti dalle azioni.

6.3.3. Edilizia storica e premoderna: il caso del I Municipio

Il I Municipio del comune di Roma rappresenta un caso emblematico della ricchezza del patrimonio scolastico romano; qui si concentra il 12,36% dei cubature destinate alla scuola, gli edifici si caratterizzano per la grande dimensione e per l'inserimento nel tessuto urbano in continuità con il resto dell'edificato. Altri Municipi hanno parte dei loro edifici riconducibili a queste caratteristiche ma non rappresentano un campione ugualmente omogeneo.

Tra gli edifici scolastici presenti su questo territorio sono stati analizzati alcuni, scelti per che in possesso di alcune caratteristiche tipizzabili, riferite o alle caratteristiche costruttive, al loro inserimento nel tessuto urbano, al loro stato di conservazione. Sono comunque stati individuati edifici progettati per essere destinati ad istituzioni scolastiche e non edifici trasformati o adattati, tipologia ricorrente nella città storica. Tutti gli edifici sottoposti ad esame sono stati realizzati in un periodo compreso tra il 1880 e il 1930, quindi con tecnologie tradizionali su impianti già ispirati a regole di igiene ambientale e ad indirizzi pedagogici in via di consolidamento.

La lettura comparativa dei dati di analisi e di progetto degli edifici selezionati ha permesso di evidenziare delle caratteristiche comuni sia nel comportamento degli elementi tecnici dell'edificio che della organizzazione e della gestione del sistema degli impianti

L'involucro degli edifici premoderni e storici risulta avere livelli prestazionali migliori rispetto all'edilizia moderna in particolare degli anni '60-'80, sia in termini di trasmittanza, che soprattutto di inerzia termica; per intraprendere corrette azioni di recupero, negli edifici storici sono state svolte indagini finalizzate sulle caratteristiche termo-fisiche dei materiali tramite misure termoflussimetriche e rilievi termografici.

Una volta definita la suscettività di trasformazione, in quasi tutti i casi è possibile intervenire sull'involucro e sugli infissi esterni in cui si concentrano le maggiori problematiche relative a deficit funzionale sia per l'isolamento termico che

isolamento acustico, comfort luminoso, sicurezza e ventilazione degli ambienti; nelle seguenti modalità:

- messa in opera di un isolamento cappotto interno o di soluzioni analoghe volte a minimizzare la trasformazione delle superfici di finitura esterna, per realizzare un miglioramento delle prestazioni energetica delle chiusure opache;
- proposta di sostituzioni degli infissi esterni particolarmente ammalorati o, ove tecnicamente possibile, sostituzione delle vetrazioni, ed inserimento di schermature interne e/o esterne per ridurre fenomeni di sovra riscaldamento e di discomfort luminoso;
- intervento combinatori riqualificazione delle coperture per migliorarne il livello di isolamento termico e di tenuta all'acqua, predisponendo la localizzazione di impianti di solare fotovoltaico e termico.

Per quel che concerne gli impianti, negli edifici storici analizzati si è riscontrato un generale sovradimensionamento degli impianti termici. Sono state svolte indagini sui consumi degli edifici (conta termie dell'ultimo triennio), sulla potenza dei generatori presenti e sul loro funzionamento, per poi procedere alla formulazione di proposte di ottimizzazione del rendimento di produzione e regolazione con caldaia a condensazione e valvole termostatiche; fondamentale è, inoltre, lo studio di fattibilità di interventi retrofit per l'installazione di fotovoltaico e solare termico, al fine di promuovere l'uso delle risorse rinnovabili nel centro storico, in conformità ai vincoli sui beni sottoposti alla Soprintendenza.

Scuola Materna ed Elementare “Madonna dell’Orto - Regina Margherita”

Roma, ITALIA

PROGETTO PILOTA: Risanamento e riqualificazione energetica

DESCRIZIONE GENERALE DELL’EDILIZIA STORICA E PREMODERNA: IL CASO DEL PRIMO MUNICIPIO

Il complesso scolastico della Madonna dell’Orto a Trastevere è una delle prime strutture scolastiche nate nella Roma post-unitaria come edificio dedicato all’istruzione elementare e media con la prima sezione di Giardino d’infanzia. Si tratta di un edificio improntato ai criteri igienici e pedagogici più innovativi per l’epoca; il tipo edilizio definito in questa realizzazione diviene il riferimento dell’edilizia scolastica romana successiva, informando il capitolo relativo all’edilizia scolastica del regolamento tecnico per la realizzazione degli edifici scolastici nel Regno d’Italia pubblicato nel novembre del 1888.

La struttura, organizzata attorno ad una corte aperta che da sull’orto del convento di Santa Cecilia, ed è articolata come semplice corpo doppio, con le aule sempre esposte verso sud, sud-est o sud-ovest e la distribuzione ed i servizi disposti verso i lati meno favoriti a nord. Tutte le aule sono dotate di un piccolo locale di servizio da utilizzare come guardaroba o piccolo deposito esterno allo spazio della didattica per migliorarne le condizioni igieniche, questa organizzazione funzionale da un ritmo molto particolare a piani destinati alla didattica. Al piano terra si trova la sezione del giardino d’infanzia, oggi occupata dalla materna, che permette ai bambini l’accesso diretto al cortile; al piano terra si trovano anche gli uffici amministrativi, la mensa, la palestra. La scuola è dotata anche di un teatro e di alcuni laboratori didattici.

La struttura, originariamente composta da due piani fuori terra e un interrato, è stata sopraelevata nel 1952, con la realizzazione di un altro piano destinato sempre a spazi didattici.

Le strutture sono tutte in muratura portante in mattoni pieni, gli orizzontamenti delle aule dei primi due piani sono realizzati in travetti di ferro e voltine in mattoni in foglio, il solaio del terzo piano è stato realizzato in struttura mista in c.a con blocchi di alleggerimento in laterizio. I corridoi dei primi due piani sono voltati a botte come quelli dell’interrato.

Le chiusure verticali sono realizzate in mattoni pieni di spessore medio di circa 65-70 cm, gli infissi esterni, in ferro finestra con vetro singolo, sono di ottima fattura e in discreto stato di conservazione. Alcune finestre sulla corte interna sono in legno.

VALUTAZIONI, IPOTESI E STRATEGIE DI RIQUALIFICAZIONE EDILIZIA ED ENERGETICA

Gli interventi sulla struttura dell’edificio, visto il suo stato di conservazione e la sua qualità intrinseca, possono concentrarsi sul restauro delle finestrate in ferro, prevedendo l’inserimento di vetrazioni più performanti dal punto dell’isolamento termico e acustico, e sul miglioramento dell’isolamento dell’ultimo piano. In questo caso si rende necessario rifare la copertura piana delle terrazze dell’edificio inserendo un isolamento termico adeguato, ripristinando impermeabilizzazione e strato di finitura. Il rifacimento delle coperture a terrazzo potrebbe rendersi necessario anche per ospitare le strutture utili all’alloggiamento di pannelli fotovoltaici debitamente dimensionati in funzione della capacità di produzione, dell’orientamento favorevole dell’edificio e del loro impatto paesistico. Sempre all’ultimo piano è necessario intervenire migliorando la trasmittanza degli elementi verticali predisponendo un isolamento a cappotto interno, da realizzare intervenendo attraverso la sostituzione degli intonaci uno strato di isolamento integrato con la finitura, attraverso la posa in opera di un intonaco premiscelato fibrorinforzato per isolamento termo-acustico e deumidificazione, composto da sughero (gran. 0-3 mm), argilla, polveri diatomeiche, legante idraulico e fibre di polipropilene, con conducibilità termica massima $\lambda = 0,045 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$. Questo tipo di intervento può essere esteso anche agli altri due piani nel momento in cui si dovessero affrontare adeguamenti impiantistici diffusi all’intera struttura (impianti elettrici o termici radianti). In tutti gli spazi esposti a sud, sud-ovest, è stato lamentato un forte surriscaldamento degli ambienti dovuto all’eccessivo apporto termico delle ampie finestrate non adeguatamente schermate e all’impossibilità di regolare localmente tutti gli ambienti. Il sovrariscaldamento riscontrato anche nei mesi invernali suggerisce di verificare la fattibilità economica dell’utilizzo vetrazioni basso emissive e a controllo solare, da installare sulla serramentistica esistente; questo intervento migliorerebbe anche le condizioni ambientali delle stagioni calde. Per quanto riguarda gli impianti gli interventi da mettere in atto sono la sostituzione della caldaia attuale con una caldaia a condensazione ad alta efficienza e l’introduzione di termovalvole sui corpi radianti e sonde termostatiche all’interno dei tutti gli ambienti. Per il contenimento dei consumi elettrici è necessario intervenire sulla messa a norma dell’impianto elettrico, con la sostituzione dei corpi illuminanti a basso consumo e con apparecchi ad alta efficienza, con l’introduzione di dispositivi per l’accensione/spengimento automatico con sensore di luce crepuscolare e sensore di movimento per gli spazi del connettivo e per tutti quegli ambienti con un uso molto discontinuo (servizi igienici, depositi, archivi, ecc.)

dati generali:

PROPRIETÀ:	Comune di Roma - I Municipio
PROGETTISTA:	Ing. Arch. G.D’Amborsio
ANNO COSTRUZIONE:	1885-1888
ULTIMA RISTRUTTURAZIONE:	2002
ALTEZZA INTERNA:	6,0 m
SUPERFICIE NETTA:	5.876,0 mq
SUPERFICIE LORDA:	7.535,0 mq
VOLUME NETTO:	35.256,0 mc
VOLUME LORDO:	50.407,0 mc
S/V RAPPORTO di FORMA:	0,25 m-1
Trasmittanza pareti esterne:	1,04 W/mq K
Trasmittanza serramenti esterni:	6,00 W/mq K
Trasmittanza solaio copertura:	1,50 W/mq K
Trasmittanza solaio a terra:	1,65 W/mq K
η Rendimento medio stagionale:	62,20%
FABBISOGNO ENERGETICO INVOLUCRO - stagione invernale:	12,52 KWh/mc anno
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA - stagione invernale:	14,60 KWh/mc anno

Scuola Materna ed Elementare "Madonna dell'Orto - Regina Margherita"

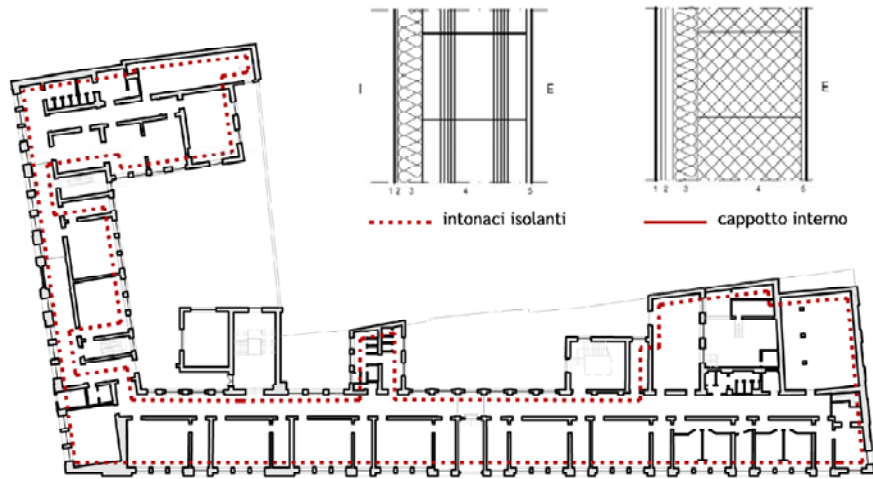
Roma, ITALIA

PROGETTO PILOTA: Risanamento e riqualificazione energetica



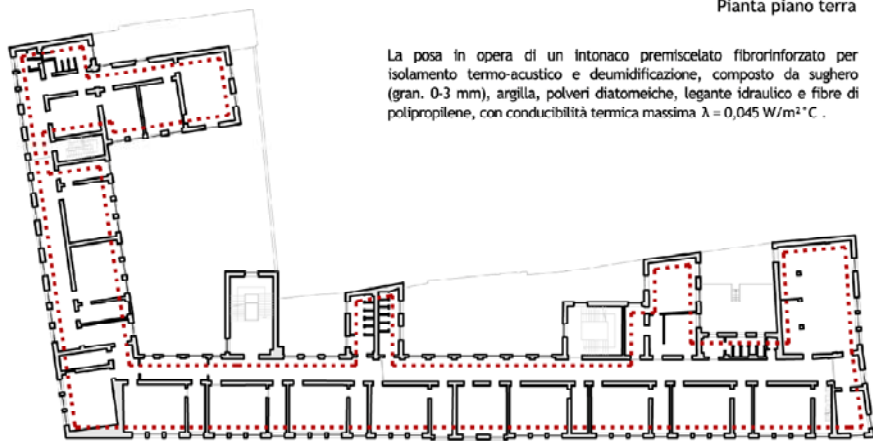
INTERVENTI EDILIZI: GLI ISOLAMENTI TERMICI

L'isolamento termico dell'involucro ricopre un ruolo strategico nel risparmio energetico, ma nel caso di edifici storici è difficilmente proponibile, per tale motivo si è scelto di intervenire attraverso un isolamento dall'interno con l'uso di intonaci termo-acustici per i primi due piani, mentre per l'ultimo piano è previsto un isolamento a cappotto interno con controplaccaggio in cartongesso.



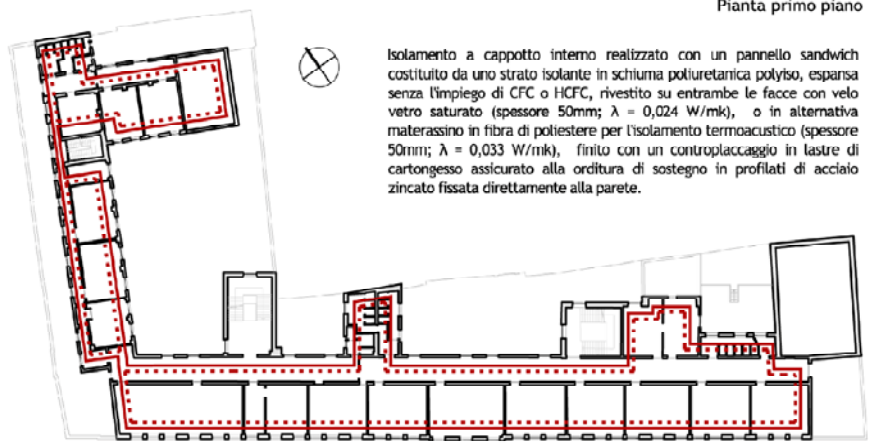
Pianta piano terra

La posa in opera di un intonaco premiscelato fibrorinforzato per isolamento termo-acustico e deumidificazione, composto da sughero (gran. 0-3 mm), argilla, polveri diatomeiche, legante idraulico e fibre di polipropilene, con conducibilità termica massima $\lambda = 0,045 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C} .$



Pianta primo piano

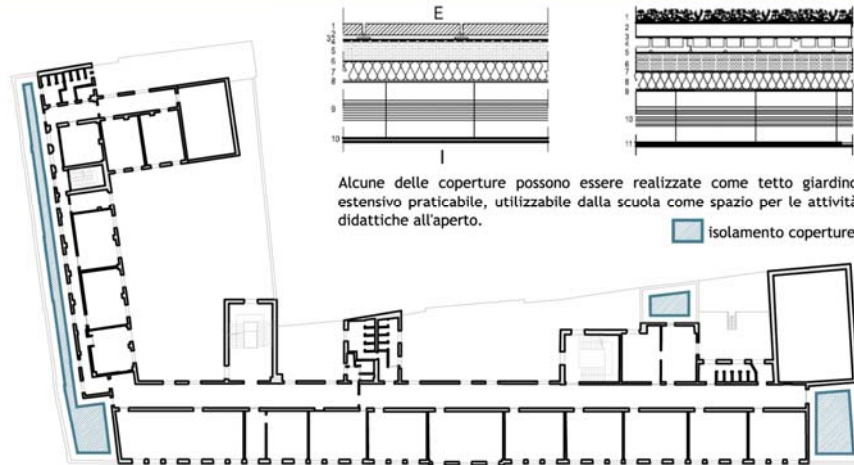
Isolamento a cappotto interno realizzato con un pannello sandwich costituito da uno strato isolante in schiuma poliuretanic polyiso, espansa senza l'impiego di CFC o HCFC, rivestito su entrambe le facce con velo vetro saturato (spessore 50mm; $\lambda = 0,024 \text{ W/mk}$), o in alternativa materassino in fibra di poliestere per l'isolamento termoacustico (spessore 50mm; $\lambda = 0,033 \text{ W/mk}$), finito con un controplaccaggio in lastre di cartongesso assicurato alla orditura di sostegno in profilati di acciaio zincato fissata direttamente alla parete.



Pianta secondo piano

INTERVENTI EDILIZI: GLI ISOLAMENTI TERMICI

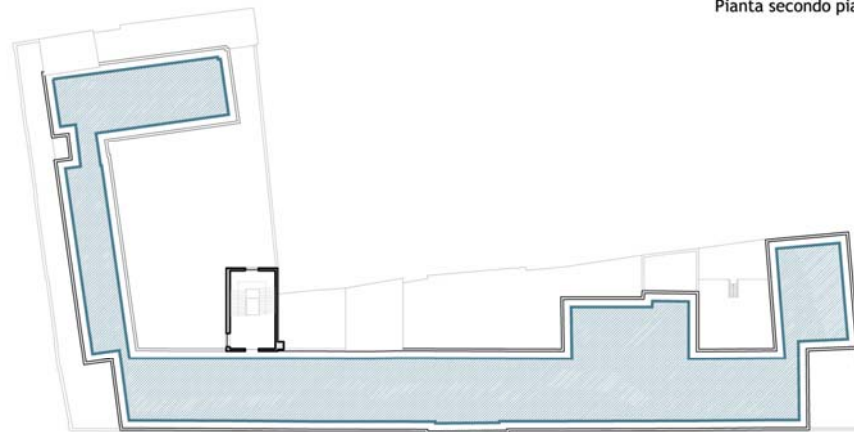
Si rende necessario rifare la copertura piana delle terrazze dell'edificio inserendo un isolamento termico adeguato, ripristinando impermeabilizzazione e strato di finitura. Il rifacimento delle coperture a terrazzo potrebbe rendersi necessario anche per ospitare le strutture utili all'alloggiamento di pannelli fotovoltaici debitamente dimensionati in funzione della capacità di produzione, dell'orientamento favorevole dell'edificio e del loro impatto paesistico.



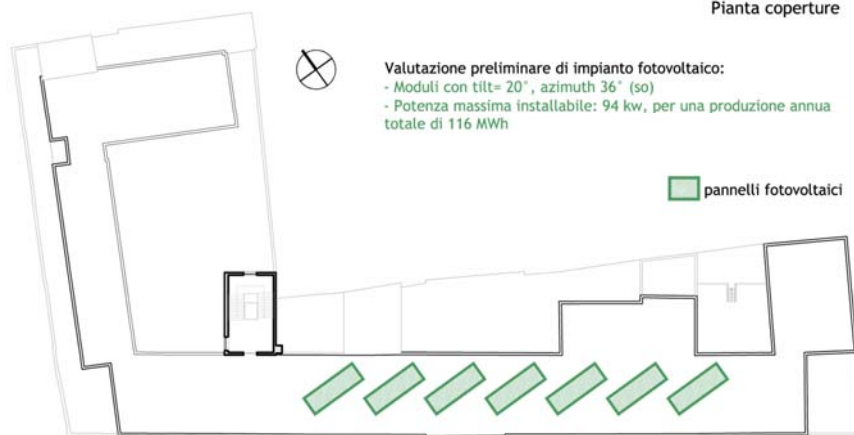
Alcune delle coperture possono essere realizzate come tetto giardino estensivo praticabile, utilizzabile dalla scuola come spazio per le attività didattiche all'aperto.

■ isolamento coperture

Pianta secondo piano



Pianta coperture



■ pannelli fotovoltaici



Valutazione preliminare di impianto fotovoltaico:

- Moduli con tilt= 20°, azimuth 36° (so)
- Potenza massima installabile: 94 kw, per una produzione annua totale di 116 MWh

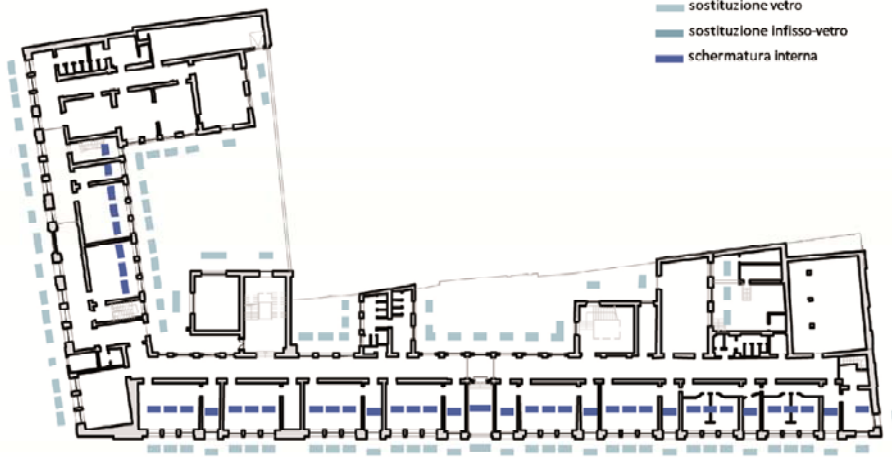
Pianta coperture

INTERVENTI EDILIZI: GLI ISOLAMENTI TERMICI

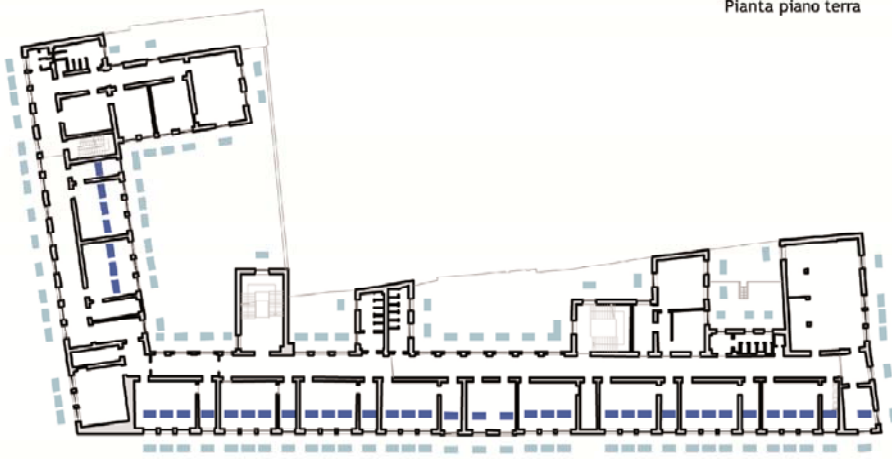
In tutti gli spazi esposti a sud, sud-ovest, è stato lamentato un forte surriscaldamento degli ambienti dovuto all'eccessivo apporto termico delle ampie finestrate non adeguatamente schermate e all'impossibilità di regolare localmente gli elementi radianti. Il sovriscaldamento riscontrato anche nei mesi invernali suggerisce di verificare la fattibilità economica dell'utilizzo vetrazioni basso emissive e a controllo solare, da installare sulla serramentistica esistente; questo intervento migliorerebbe anche le condizioni ambientali delle stagioni calde.



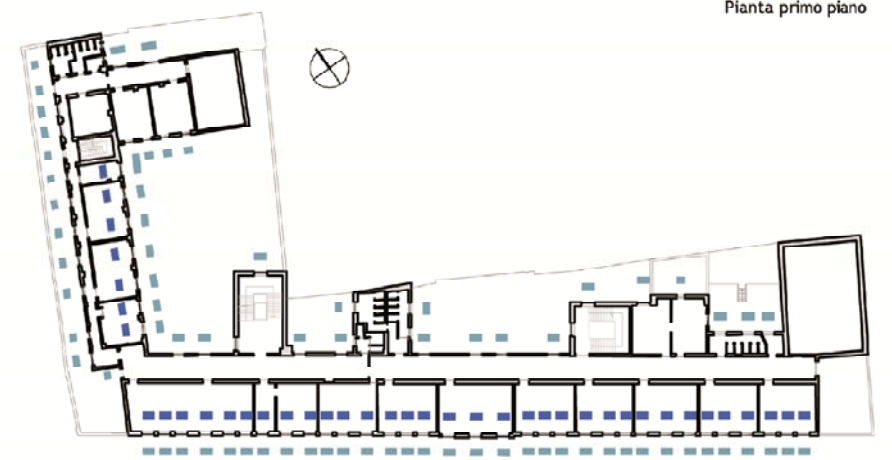
- sostituzione vetro
- sostituzione infisso-vetro
- schermatura interna



Pianta piano terra



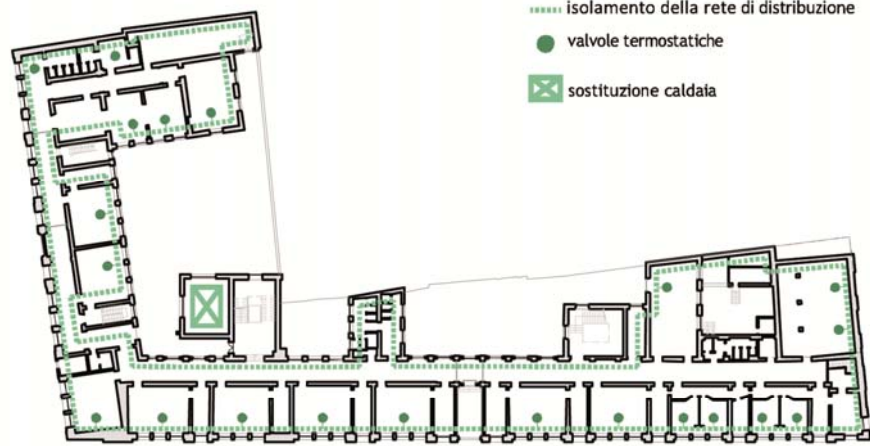
Pianta primo piano



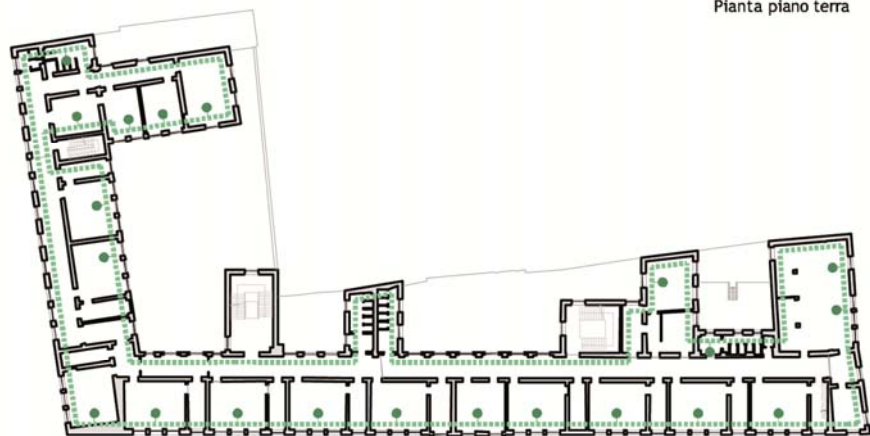
Pianta secondo piano

INTERVENTI IMPIANTISTICI: PRODUZIONE, DISTRIBUZIONE E REGOLAZIONE

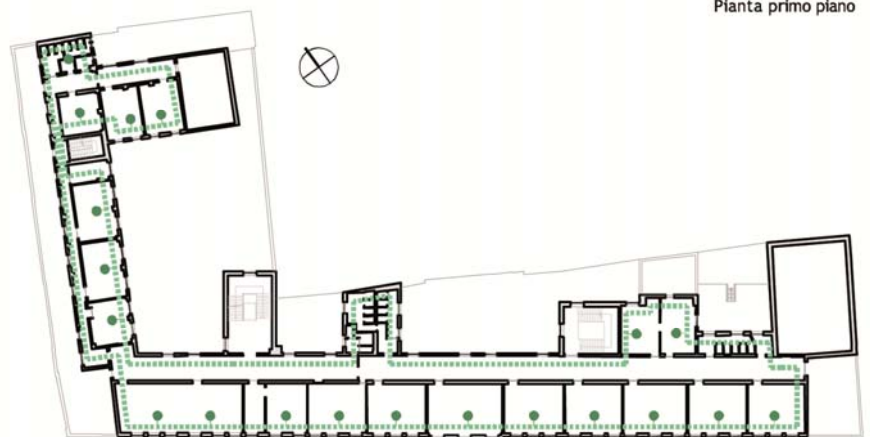
Per quanto riguarda gli impianti gli interventi da mettere in atto sono la sostituzione della caldaia attuale con una caldaia a condensazione ad alta efficienza e l'introduzione di termovalvole sui corpi radianti e sonde termostatiche all'interno dei tutti gli ambienti.



Pianta piano terra



Pianta primo piano



Pianta secondo piano

INTERVENTI IMPIANTISTICI: ILLUMINAZIONE

Per il contenimento dei consumi elettrici è necessario intervenire sulla messa a norma dell'impianto elettrico, con la sostituzione dei corpi illuminanti a basso consumo e con apparecchi ad alta efficienza, con l'introduzione di dispositivi per l'accensione/spengimento automatico con sensore di luce crepuscolare e sensore di movimento per gli spazi del connettivo e per tutti quegli ambienti con un uso molto discontinuo (servizi igienici, depositi, archivi, ecc.).



Scuola Materna ed Elementare "Madonna dell'Orto - Regina Margherita"

Roma, ITALIA

PROGETTO PILOTA: Risanamento e riqualificazione energetica

VALUTAZIONE DEI COSTI/BENIFICI DEGLI INTERVENTI:

Gli investimenti necessari a realizzare le proposte progettuali sono stati valutati redigendo un computo metrico estimativo, sulla base del prezzario regionale del Lazio. I benefici energetici sono stati stimati per differenza con lo stato attuale.

Tale analisi è stata eseguita:

- per interventi singoli;
- combinando gli interventi.

Rappresentando, in termini economici, il risparmio R ottenuto rispetto all'investimento I di ogni intervento, è stato possibile effettuare una analisi comparativa finalizzata ad evidenziare le soluzioni più efficaci. In questo modo, è stato possibile determinare una scala degli interventi che presentano maggiori benefici energetici e minori costi di realizzazione. Ciò consente di proporre un quadro di interventi possibili, da scegliere anche in funzione delle eventuali disponibilità economiche.

INTERVENTI EDILIZI: GLI ISOLAMENTI TERMICI

Trasmittanza pareti esterne:	0,36 W/mq K
FABBISOGNO ENERGETICO INVOLUCRO - stagione invernale:	9,9 KWh/mc
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA - stagione invernale:	12,10 KWh/mc anno
Trasmittanza serramenti esterni:	2,40 W/mq K
FABBISOGNO ENERGETICO INVOLUCRO - stagione invernale:	10,80 KWh/mc
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA - stagione invernale:	13,00 KWh/mc anno
Trasmittanza solaio copertura:	0,32 W/mq K
FABBISOGNO ENERGETICO INVOLUCRO - stagione invernale:	11,00 KWh/mc
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA - stagione invernale:	13,20 KWh/mc anno

INTERVENTI IMPIANTISTICI: PRODUZIONE, DISTRIBUZIONE E REGOLAZIONE

η Rendimento medio stagionale:	83%
η_p Rendimento produzione:	102%
FABBISOGNO ENERGETICO INVOLUCRO - stagione invernale:	125,31 KWh/mq - 20,89 KWh/mc
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA - stagione invernale:	151,25 KWh/mq - 25,21 KWh/mc
η Rendimento medio stagionale:	75%
η_p Rendimento distribuzione:	97%
FABBISOGNO ENERGETICO INVOLUCRO - stagione invernale:	125,31 KWh/mq - 20,89 KWh/mc
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA - stagione invernale:	167,88 KWh/mq - 27,98 KWh/mc
η Rendimento medio stagionale:	76%
η_p Rendimento regolazione:	94%
FABBISOGNO ENERGETICO INVOLUCRO - stagione invernale:	125,31 KWh/mq - 20,89 KWh/mc
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA - stagione invernale:	164,12 KWh/mq - 27,35 KWh/mc

VALUTAZIONE DEI COSTI/BENIFICI DEGLI INTERVENTI

	FABBISOGNO specifico post retrofit [KWh/mc]	Variazione post retrofit	Costo intervento [€/mq]	I [€]	R [KWh]	R/I [KWh/€]
Interventi singoli						
cappotto interno, intonaci	12,10	-2,50	70	223.529	216.720	0,355
vetri, infissi ed schermature	13,00	-1,59	250	275.250	229.685	0,185
isolamento coperture	13,20	-1,40	50	128.675	101.017	0,346
valvole termostatiche	11,70	-2,90	0,77	24.498	36.769	3,766
sostituzione caldaia	12,40	-2,20	100	28.000	101.654	2,499
Comulativo	5,62	-9,00		764.952	286.337	

FABBISOGNO ENERGETICO POST INTERVENTO involucro 9,00 KWh/mc anno -40%

FABBISOGNO ENERGETICO POST INTERVENTO impianti 10,10 KWh/mc anno -30,10%

FABBISOGNO totale POST INTERVENTO 5,60 KWh/mc anno -68,48%

RISPARMIO ANNUALE in kWh -286337 KWh/anno

RISPARMIO ANNUALE in TEP -24,62 TEP/anno

RISPARMIO ANNUALE in tCO₂ -74,58 tCO₂/anno



6.3.4. Edilizia Moderna e contemporanea: il caso dell'VIII Municipio

Il caso dell'Ottavo Municipio del Comune di Roma rappresenta un campione emblematico delle edilizia scolastica romana della città in consolidata formatasi tra gli anni Sessanta ed Ottanta del Novecento: in questo Municipio trovano luogo 111 edifici che ospitano 115 istituti scolastici di medie dimensioni, con rapporti tra cubatura e superfici utile pari alla metà degli edifici della città storica. In questo contesto le tecniche costruttive impiegate negli anni sono abbastanza omogenee sia per livello di qualità della realizzazione che per livello di manutenzione e prestazione funzionale. A fianco di edifici realizzati con strutture a telaio in realizzate completamente in opera, troviamo strutture realizzate con sistemi industrializzati sia ad elementi piani che puntuali, in ogni caso il livello di prestazione complessiva degli involucri denuncia problematiche assolutamente assimilabili. In questo tipo di edilizia il problema dell'involucro è prioritario rispetto a quello negli impianti. Gli edifici esaminati, infatti, presentano gravi condizioni di degrado delle chiusure, con forti dispersioni (notevole incidenza dei ponti termici) e valori decisamente insufficienti di trasmittanza e inerzia termica. Definita la suscettività di trasformazione, la soluzione per il miglioramento delle prestazioni per le pareti perimetrali comporterà la scelta del cappotto esterno o di soluzioni simili che conducano, anche con una trasformazione radicale dello stato di fatto, al raggiungimento di un livello di efficienza energetica non disgiunta da una riqualificazione architettonica dell'involucro. In quasi tutti i casi esaminati è necessaria la completa sostituzione degli infissi e l'isolamento dei cassonetti degli avvolgibili, con la previsione dell'integrazione di sistemi di schermature solari più efficienti degli attuali.

Gli edifici di presi in esame sono caratterizzati da una configurazione plano volumetrica estensiva, ovvero si tratta di edifici sviluppati prevalentemente in orizzontale su due o massimo tre piani, e si caratterizzano quindi per grandi superfici di copertura non utilizzate o non praticabili, male isolate e con grossi problemi di tenuta all'acqua; in questi casi è necessario prevedere soluzioni di finitura e di isolamento che possano migliorare significativamente le prestazioni della chiusura orizzontale e c possano offrire benefici ambientali diffusi a livello di complesso insediativo e urbano. Per questi motivi sarà utile valutare in modo estensivo, dove le strutture sia geometricamente compatibili, il rinnovo delle

copertura con riferimento alla soluzione del tetto giardino estensivo o ad altre soluzioni che possano anche migliorare l'inerzia termica della copertura; grazie alla particolarità localizzativa e geometrica dei complessi scolastici di questa tipologia, sarà utile prevedere lo sfruttamento di parte delle coperture degli edifici per l'installazione di impianti di solare termico e fotovoltaico.

La messa in efficienza dell'involucro, permetterà, di ricalibrare l'intervento sull'impianto, con un considerevole risparmio sulle potenze di picco e, di conseguenza, con una diminuzione delle potenze necessarie a soddisfare il fabbisogno di energia primaria e dei costi. L'uso di fotovoltaico e solare termico può giustificare altri interventi e, studiandone l'integrazione, contribuire alla qualità complessiva della riqualificazione.

Istituto Comprensivo in via dell'Archeologia

Roma, ITALIA

PROGETTO PILOTA: Risanamento e riqualificazione energetica



DESCRIZIONE GENERALE DELL'EDILIZIA STORICA E PREMODERNA: IL CASO DELL'OTTAVO MUNICIPIO

Il comprensorio scolastico di Via dell'Archeologia sito nel quartiere di Tor Bella Monaca è stato costruito negli anni '80 all'interno del piano di edilizia economica e popolare di questa area periferica.

Il complesso, comprendente una scuola elementare, una media e un asilo nido, risente nelle caratteristiche architettoniche e costruttive delle indicazioni del Decreto Ministeriale 18 dicembre 1975 - Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica - che ha costituito il riferimento normativo di base per la costruzione delle nuove scuole dagli anni '70 fino ad oggi, per un numero di edifici che costituisce circa il 60% del patrimonio scolastico comunale.

L'edificio presenta una conformazione planimetrica a corte aperta avente sui due lati corti i volumi delle aule e nel corpo centrale i servizi comuni (mensa, palestra, teatri); il giardino racchiuso all'interno di questa struttura ospita l'asilo nido. I volumi delle aule, organizzati su due piani per la scuola elementare e su tre piani per la media, sono orientati con asse est-ovest: le aule sono sempre disposte a sud, la distribuzione e i servizi sul lato nord.

L'edificio è costruito con struttura portante a telaio in cemento armato e solai misti in laterocemento con travi a spessore, le tamponature perimetrali sono realizzate in muratura a cassetta con doppio tavolato in laterizio forato e intercapedine d'aria interposta (spessore medio: 28 cm). In corrispondenza del prospetto sud la parete in laterizio riveste i pilastri andando a costituire una struttura considerevole che si alterna alle grandi aperture realizzate con serramenti in alluminio a vetro singolo e sistema di oscuramento con tapparella in pvc. Questa alternanza di strutture massicce e grandi aperture vetrate disposte con un ritmo tripartito A-B-A caratterizza i prospetti sud ed evidenzia la presenza delle aule che costituiscono circa il 25% del volume totale dell'edificio.

Tutto il sistema delle chiusure risulta gravemente ammalorato, il livello di manutenzione è assolutamente non soddisfacente; in particolare il sistema degli infissi e degli oscuramenti versa in uno stato di grave degrado: i telai e i controtelai degli infissi risultano distaccati dalla struttura muraria in più punti e i cassonetti degli avvolgibili, non isolati e in più punti completamente aperti verso l'esterno, compromettono l'integrità funzionale e strutturale del sistema delle chiusure.



VALUTAZIONI, IPOTESI E STRATEGIE DI RIQUALIFICAZIONE EDILIZIA ED ENERGETICA

L'intervento prevede la realizzazione di uno strato di isolamento a cappotto esterno delle pareti perimetrali verticali con pannelli in EPS e finitura in intonaco su rete in fibra di vetro, il rifacimento completo del pacchetto di copertura mediante la messa in opera di un sistema a tetto caldo finito con una guaina autoprotetta; è previsto anche l'inserimento di una strato isolante all'estradosso della chiusura orizzontale inferiore (sottopavimento). Si prevede inoltre la sostituzione degli infissi con serramenti in alluminio a taglio termico anti-effrazione e vetro camera basso emissivo con vetratura interna di sicurezza. Una forte riduzione dei consumi può essere inoltre garantita da un efficace sistema di schermatura che possa garantire un'ottimizzazione della radiazione termica e luminosa entrante nelle differenti stagioni riducendo i consumi di energia termica ed elettrica.

Questo sistema sarà composto da due elementi: una schermatura esterna per il controllo del calore entrante per irraggiamento e una interna per il controllo della radiazione luminosa entrante e la riduzione degli abbagliamenti. La prima sarà costituita da elementi aggettanti che possono ospitare sistemi fotovoltaici integrati per la produzione di energia elettrica, la seconda da semplici tende a bande verticali orientabili.

Per quanto riguarda gli impianti gli interventi da mettere in atto sono la sostituzione della caldaia attuale con una caldaia a condensazione ad alta efficienza e l'introduzione di termostatiche sui corpi radianti e sonde termostatiche all'interno di tutti gli ambienti. Per il contenimento dei consumi elettrici è necessario inoltre intervenire sulla messa a norma dell'impianto elettrico, con la sostituzione dei corpi illuminanti a basso consumo e con apparecchi ad alta efficienza, con l'introduzione di dispositivi per l'accensione/spegnimento automatico con sensore di luce crepuscolare e sensore di movimento per gli spazi del connettivo e per tutti quegli ambienti con un uso molto discontinuo (servizi igienici, depositi, archivi, ecc.).

dati generali:

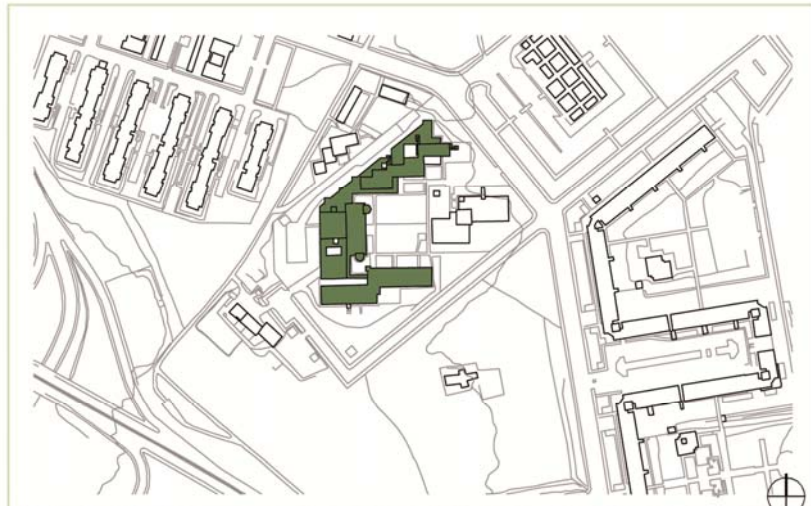
PROPRIETÀ:	Comune di Roma - VIII Municipio
PROGETTISTA:	-
ANNO COSTRUZIONE:	1980
ULTIMA RISTRUTTURAZIONE:	2001
ALTEZZA INTERNA:	3,0 m
SUPERFICIE NETTA:	8.262,45 mq
SUPERFICIE LORDA:	8.767,24 mq
VOLUME NETTO:	25.053,60 mc
VOLUME LORDO:	29.958,00 mc
S/V RAPPORTO DI FORMA:	0,54 m-1
Trasmittanza pareti esterne:	1,52 W/mq K
Trasmittanza serramenti esterni:	5,60 W/mq K
Trasmittanza solaio copertura:	1,45 W/mq K
Trasmittanza solaio a terra:	1,00 W/mq K
η Rendimento medio stagionale:	59,20%
FABBISOGNO ENERGETICO INVOLUCRO - stagione invernale:	17,92 kWh/mc anno
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA - stagione invernale:	24,10 kWh/mc anno



Istituto Comprensivo in via dell'Archeologia

Roma, ITALIA

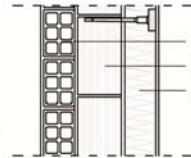
PROGETTO PILOTA: Risanamento e riqualificazione energetica



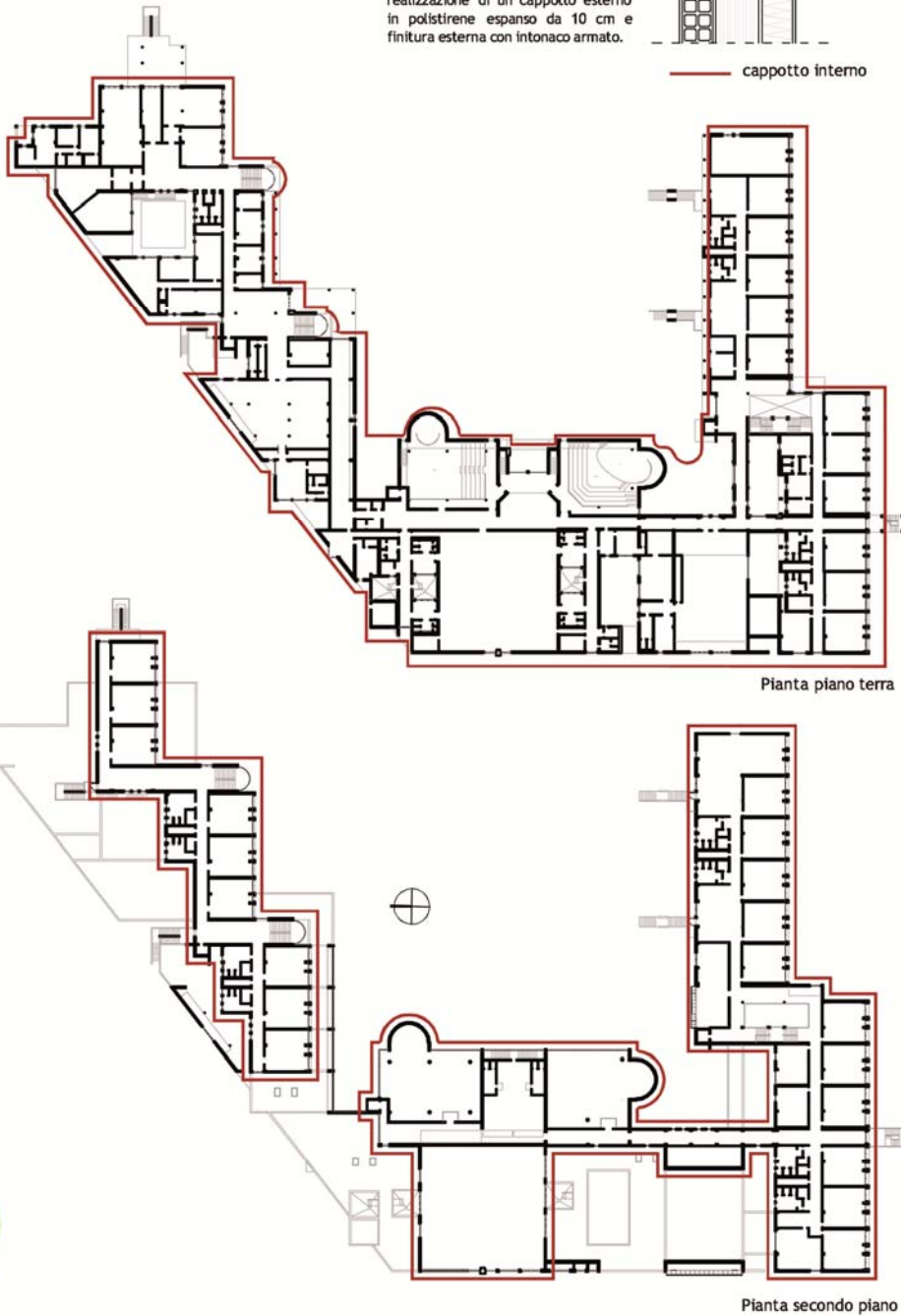
INTERVENTI EDILIZI: GLI ISOLAMENTI TERMICI

Gli interventi di riqualificazione permettono di soddisfare i requisiti imposti dal D.L. 311 in termini di trasmittanza e di verifica delle condensazioni interstiziali. L'isolamento termico dell'involucro ricopre un ruolo strategico nel risparmio energetico. In questo caso, l'adozione del cappotto termico permette di correggere tutti i ponti termici e di sfruttare l'inerzia termica della massa interna, specialmente nella stagione estiva. Una buona massa termica è necessaria per il comfort estivo (come prescritto dal D.L. 311), ma anche in relazione alle mutate esigenze delle scuole, che stanno ampliando le loro funzioni. Il cappotto esterno permette di venire incontro a queste esigenze e di raggiungere una temperatura media sulla superficie di 17.6°C, riducendo i forti squilibri presenti precedentemente.

L'ipotesi di intervento prevede la sostituzione dell'intercapedine e del paramento esterno con blocchi di laterizio a fori verticali da 15 cm, realizzazione di un cappotto esterno in polistirene espanso da 10 cm e finitura esterna con intonaco armato.



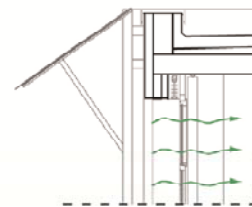
— cappotto interno



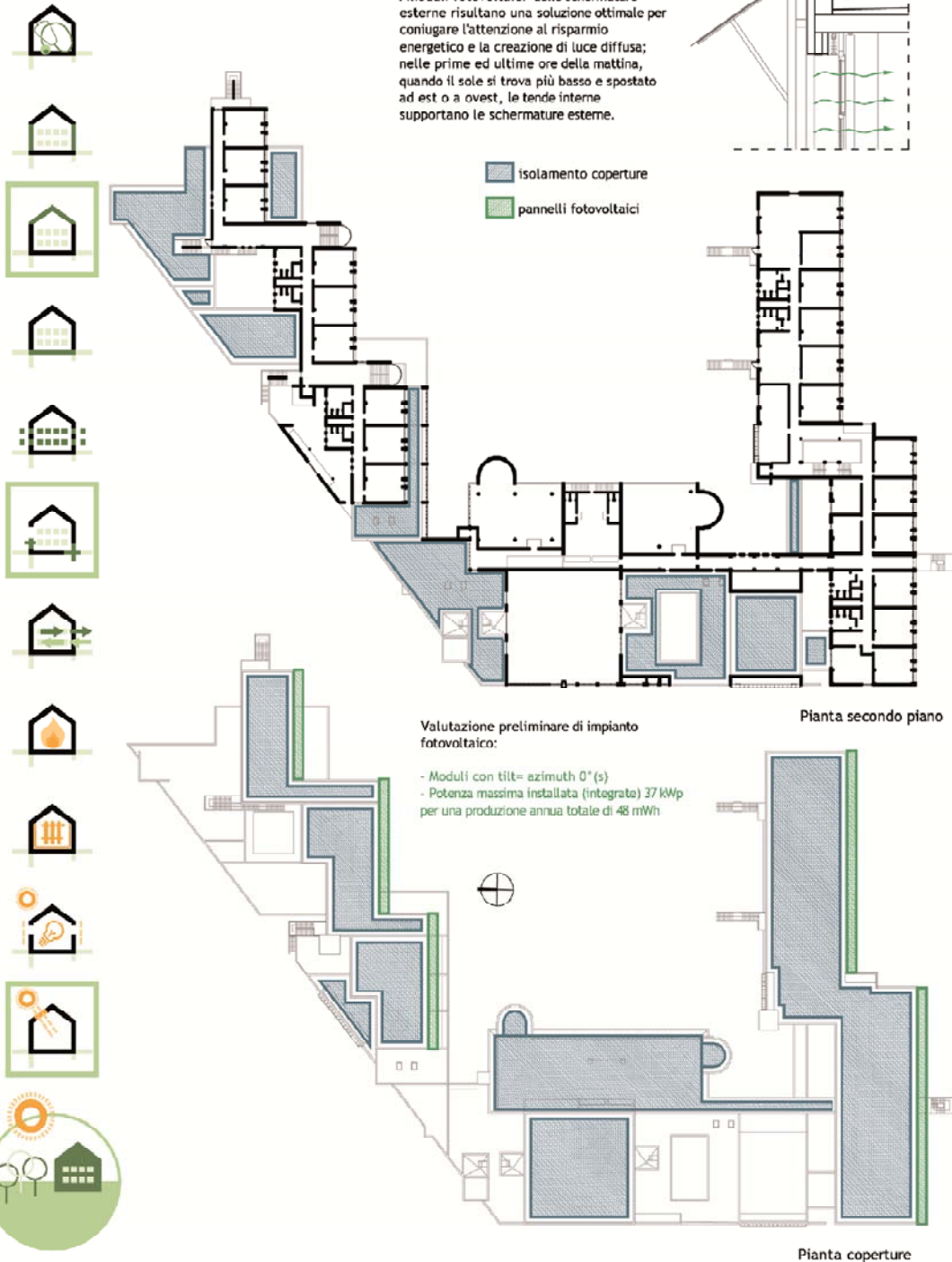
INTERVENTI EDILIZI: GLI ISOLAMENTI TERMICI

Anche le coperture necessitano dell'adeguamento dell'isolamento, tramite l'applicazione di isolante e il rifacimento dell'impermeabilizzazione e dello strato di finitura. Negli interventi di riqualificazione sono comprese anche delle schermature esterne sulla parete sud con moduli fotovoltaici, contribuendo a soddisfare parte del fabbisogno energetico dell'edificio, debitamente dimensionati in funzione della capacità di produzione e dell'orientamento.

I moduli fotovoltaici delle schermature esterne risultano una soluzione ottimale per coniugare l'attenzione al risparmio energetico e la creazione di luce diffusa; nelle prime ed ultime ore della mattina, quando il sole si trova più basso e spostato ad est o a ovest, le tende interne supportano le schermature esterne.



- isolamento coperture
- pannelli fotovoltaici



Valutazione preliminare di impianto fotovoltaico:

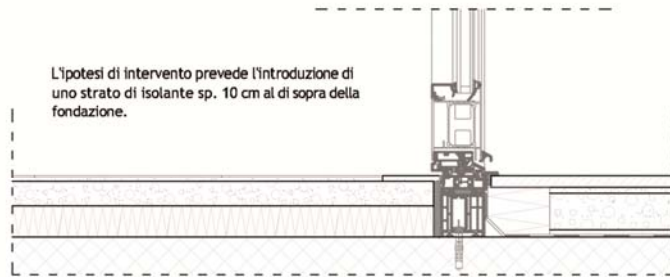
- Moduli con tilt= azimuth 0° (s)
- Potenza massima installata (integrata) 37 kWp per una produzione annua totale di 48 mWh

Pianta secondo piano

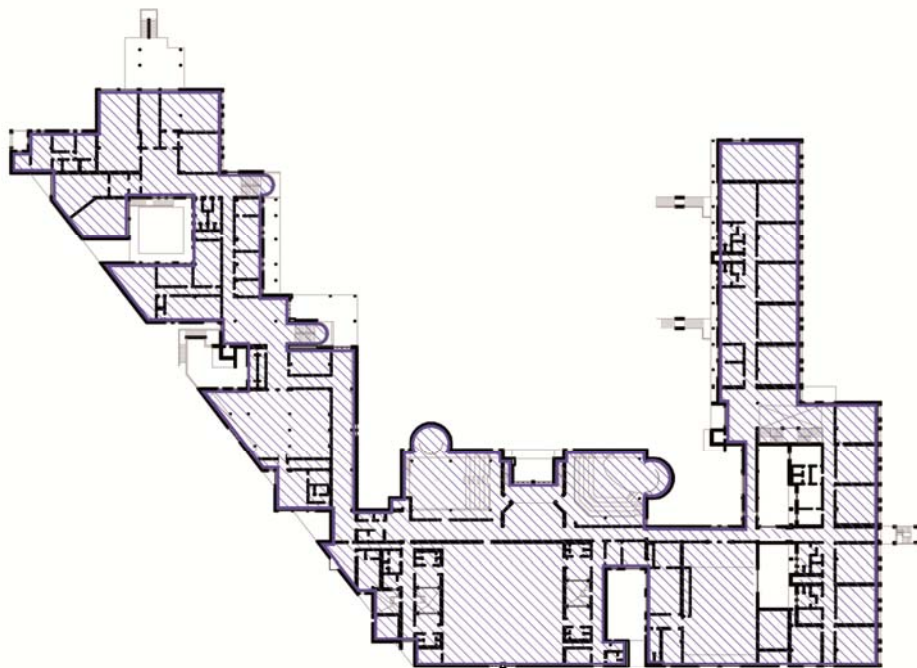
Pianta coperture

INTERVENTI EDILIZI: GLI ISOLAMENTI TERMICI

Il solaio a terra è attualmente non isolato. All'interno del pacchetto costruttivo dell'attacco a terra risulta fondamentale la presenza di uno strato termoisolante per l'isolamento termico dell'edificio e il contenimento dei consumi energetici. Le dispersioni termiche nei confronti del sottosuolo possono, infatti, essere notevoli e influire molto sul bilancio finale dei consumi e sul comfort indoor, specialmente in un edificio scolastico. E' pertanto opportuno ricorrere, anche per quanto concerne il solaio controterra, all'utilizzo di prodotti coibenti con requisiti di resistenza meccanica ai carichi previsti, imputrescibilità e inattaccabilità da insetti e microrganismi, resistenza all'umidità e buoni valori di coibenza.

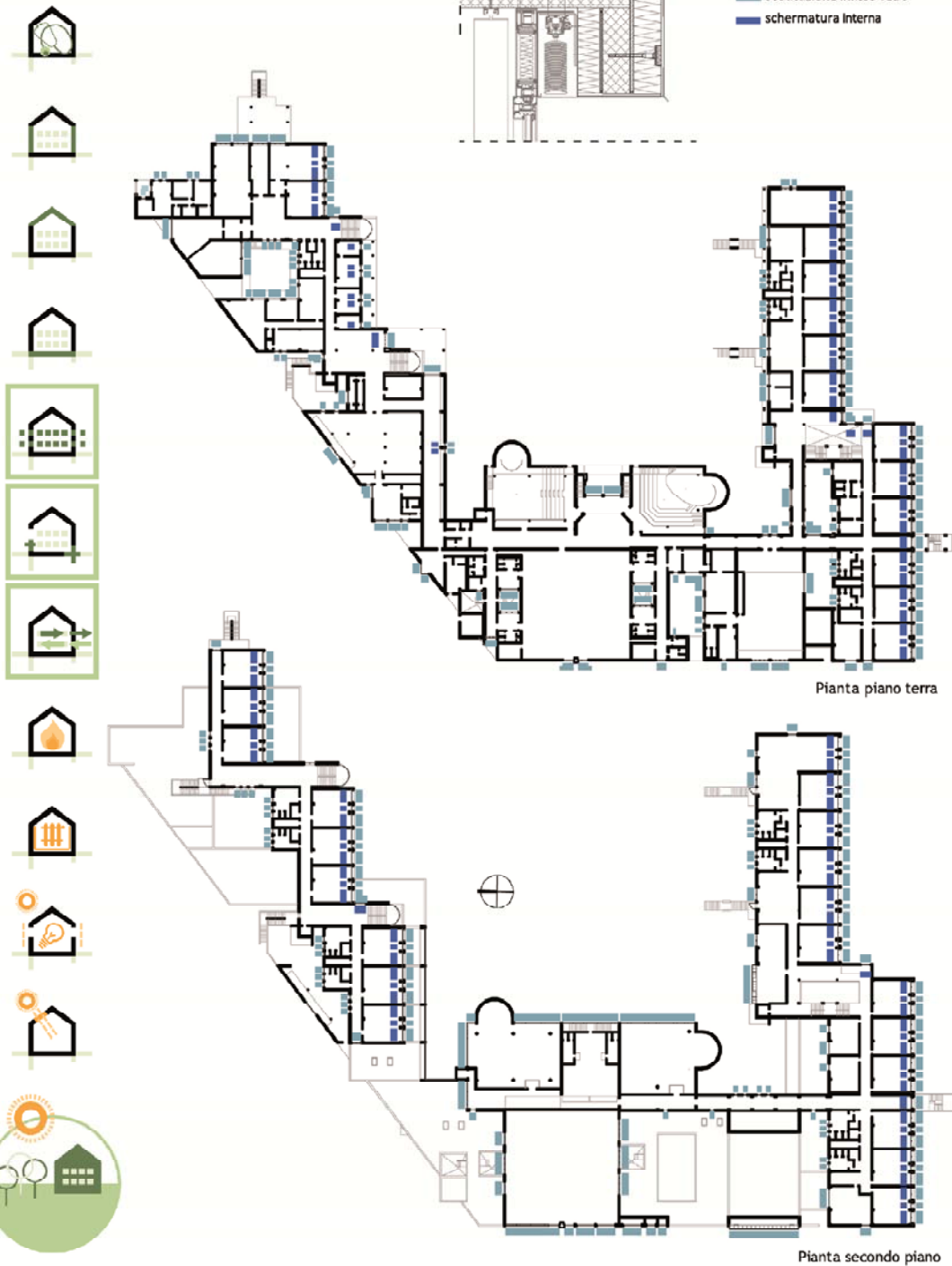


isolamento chiusure pavimento



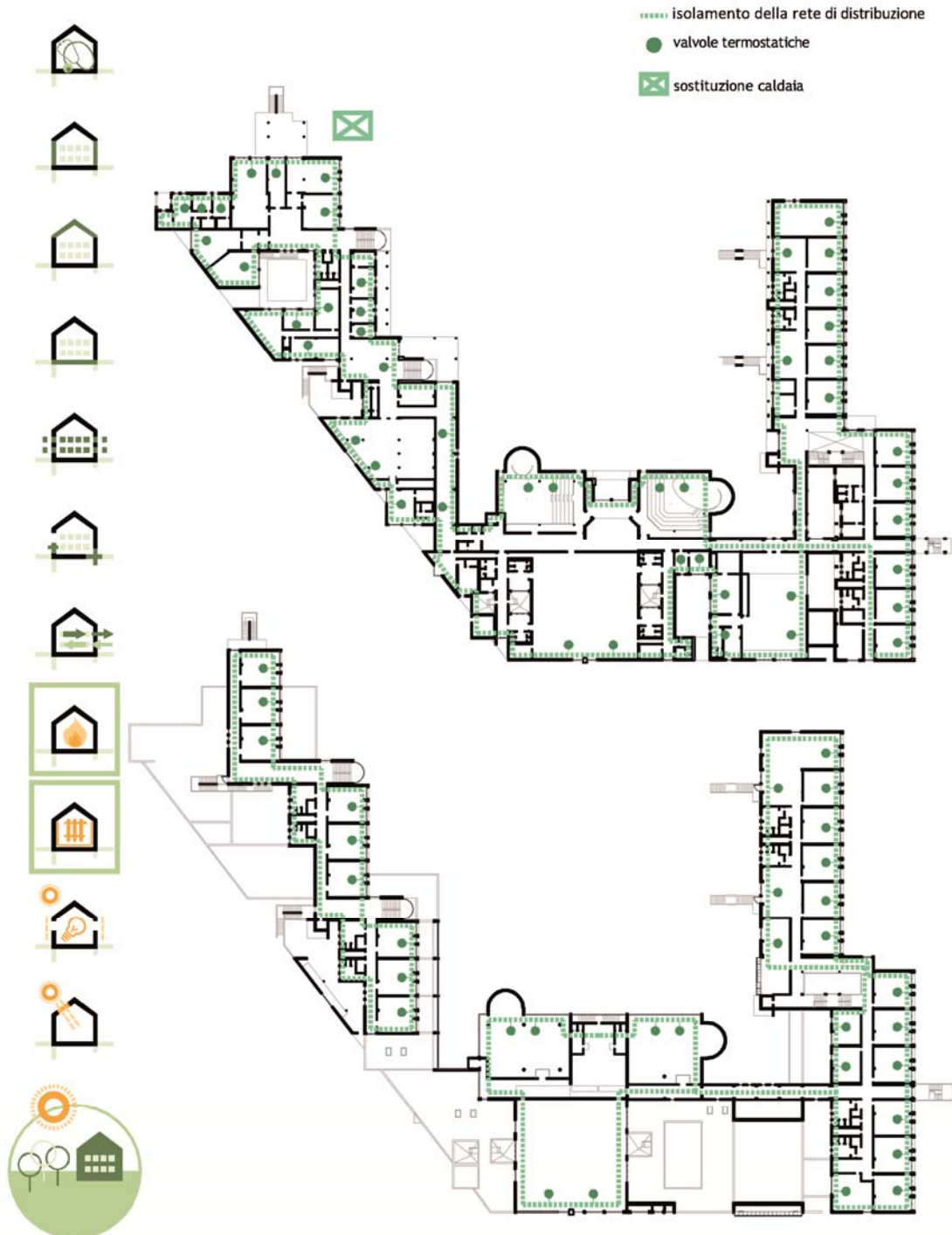
INTERVENTI EDILIZI: GLI ISOLAMENTI TERMICI

L'isolamento dell'involucro verrà incrementato con la sostituzione dei serramenti esistenti con infissi in alluminio con telaio antieffrazione a taglio termico ($U_f = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) e vetrocamera di sicurezza.
 I sistemi di schermatura Interni sostituiscono il cassettoni dell'avvolgibile non isolato e, adeguatamente isolate, eliminano il ponte termico ed evitano gli effetti di abbagliamento garantendo un'illuminazione diffusa.



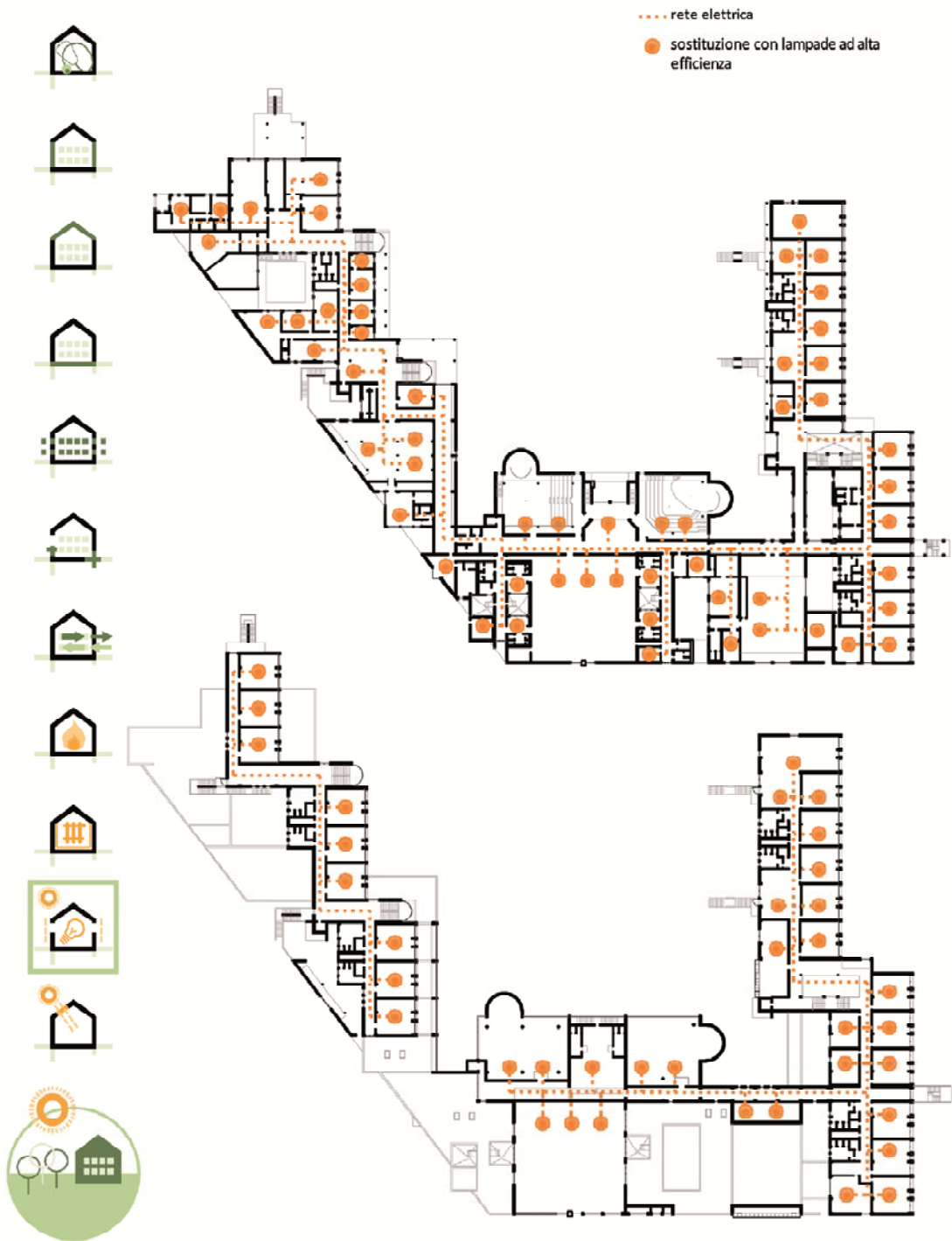
INTERVENTI IMPIANTISTICI: PRODUZIONE, DISTRIBUZIONE E REGOLAZIONE

Per quanto riguarda gli impianti gli interventi da mettere in atto sono la sostituzione della caldaia attuale con una caldaia a condensazione ad alta efficienza e l'introduzione di termovalvole sui corpi radianti e sonde termostatiche all'interno dei tutti gli ambienti.



INTERVENTI IMPIANTISTICI: ILLUMINAZIONE

Una forte riduzione dei consumi può essere inoltre garantita da un efficace sistema di schermatura che possa garantire un'ottimizzazione della radiazione termica e luminosa entrante nelle differenti stagioni riducendo i consumi di energia termica ed elettrica.



Istituto Comprensivo in via dell'Archeologia

Roma, ITALIA

PROGETTO PILOTA: Risanamento e riqualificazione energetica

VALUTAZIONE DEI COSTI/BENIFICI DEGLI INTERVENTI:

Gli investimenti necessari a realizzare le proposte progettuali sono stati valutati redigendo un computo metrico estimativo, sulla base del prezzario regionale del Lazio. I benefici energetici sono stati stimati per differenza con lo stato attuale.

Tale analisi è stata eseguita:

- per interventi singoli;
- combinando gli interventi.

Rapportando, in termini economici, il risparmio R ottenuto rispetto all'investimento I di ogni intervento, è stato possibile effettuare una analisi comparativa finalizzata ad evidenziare le soluzioni più efficaci. In questo modo, è stato possibile determinare una scala degli interventi che presentano maggiori benefici energetici e minori costi di realizzazione. Ciò consente di proporre un quadro di interventi possibili, da scegliere anche in funzione delle eventuali disponibilità economiche.

INTERVENTI EDILIZI: GLI ISOLAMENTI TERMICI

Trasmittanza pareti esterne:	0,25 W/mq K
FABBISOGNO ENERGETICO INVOLUCRO - stagione invernale:	8,94 KWh/mc
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA - stagione invernale:	13,04 KWh/mc anno
Trasmittanza serramenti esterni:	1,60 W/mq K
FABBISOGNO ENERGETICO INVOLUCRO - stagione invernale:	9,02 KWh/mc
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA - stagione invernale:	13,15 KWh/mc anno
Trasmittanza solalo copertura:	0,27 W/mq K
FABBISOGNO ENERGETICO INVOLUCRO - stagione invernale:	9,08 KWh/mc
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA - stagione invernale:	13,24 KWh/mc anno
Trasmittanza solalo a terra:	0,30 W/mq K
FABBISOGNO ENERGETICO INVOLUCRO - stagione invernale:	10,18 KWh/mc
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA - stagione invernale:	14,84 KWh/mc anno

INTERVENTI IMPIANTISTICI: PRODUZIONE, DISTRIBUZIONE E REGOLAZIONE

η Rendimento medio stagionale:	83%
η_p Rendimento produzione:	102%
FABBISOGNO ENERGETICO INVOLUCRO - stagione invernale:	54,10 KWh/mq - 9,02 KWh/mc
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA - stagione invernale:	71,17 KWh/mq - 11,86 KWh/mc
η Rendimento medio stagionale:	74%
η_p Rendimento distribuzione:	97%
FABBISOGNO ENERGETICO INVOLUCRO - stagione invernale:	54,10 KWh/mq - 9,02 KWh/mc
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA - stagione invernale:	73,22 KWh/mq - 12,20 KWh/mc
η Rendimento medio stagionale:	72%
η_p Rendimento regolazione:	95%
FABBISOGNO ENERGETICO INVOLUCRO - stagione invernale:	54,10 KWh/mq - 9,02 KWh/mc
FABBISOGNO ENERGIA PRIMARIA - stagione invernale:	74,76 KWh/mq - 12,46 KWh/mc

VALUTAZIONE DEI COSTI/BENIFICI DEGLI INTERVENTI

	FABBISOGNO specifico post retrofit (KWh/mc)	Variazione post retrofit	Costo Intervento (€/mq)	I (€)	R (KWh)	R/I (KWh/€)
Interventi singoli						
cappotto interno, intonaci vetri, infissi e schermature	20,30	-3,80	70	237.952	95.204	0,400
isolamento coperture	22,10	-2,00	400	266.102	50.107	0,188
isolamento solalo a terra	17,30	-6,80	50	256.480	170.364	0,664
valvole termostatiche	22,80	-1,30	50	256.480	32.570	0,127
sostituzione caldaia	19,60	-4,50	0,77	19.291	112.741	5,844
	20,10	-4,00	100	56.000	100.214	1,790
Comulativo	3,10	-20,60			516.104	

FABBISOGNO ENERGETICO POST INTERVENTO involucro	9,80 KWh/mc anno	-60%
FABBISOGNO ENERGETICO POST INTERVENTO impianti	16,20 KWh/mc anno	-34,50%
FABBISOGNO totale POST INTERVENTO	4,80 KWh/mc anno	-80,00%
RISPARMIO ANNUALE in kWh	516104 KWh/anno	
RISPARMIO ANNUALE in TEP	-44,38 TEP/anno	
RISPARMIO ANNUALE in tCO ₂	-129,03 tCO ₂ /anno	



6.4. Risultati ed analisi conclusive

Le elaborazioni condotte in questa ricerca nel complesso non pretendono di dare una visione esaustiva del comportamento energetico degli edifici scolastici del parco romano, ma possono contribuire a determinare un punto di partenza da cui muovere ulteriori approfondimenti.

Grazie alla Direttiva europea 2002/91/CE, e poi quella più recente 2010/31/CE, è stato possibile avviare un meccanismo di riqualificazione energetica nel settore edilizio, che in Italia è stato reso operativo per le nuove costruzioni a partire dall'ottobre 2006 e che, nel corso del 2009, è diventata pienamente operativa, anche per le ristrutturazioni.

A Roma gli edifici destinati all'istruzione risultano più di 1.300 e in generale, da audit energetici condotti a macchia di leopardo, sono apparsi evidenti gli enormi sprechi energetici a carico del sistema scolastico, soprattutto per quelli ante anni Ottanta, ma spesso anche in quelli più recenti per responsabilità composite: assessori e tecnici della committenza e delle imprese realizzatrici poco sensibili, gestori e responsabili della conduzione e della manutenzione poco attenti ai possibili risparmi.

Nel settore dell'edilizia scolastica già da qualche tempo si sono verificate molteplici iniziative di diversi Comuni, Province, Università tese a costruire nuovi edifici e, in qualche caso, a ristrutturarne di esistenti, nel rispetto dei criteri di bioedilizia e nel perseguimento di forti risparmi energetici e nell'uso non sporadico di fonti rinnovabili, soprattutto quella solare, e sovente per soluzioni impiantistiche a esse assimilabili.

Inoltre il sistema di certificazione può e deve costituire uno strumento molto utile per la riduzione dei consumi energetici. È tuttavia necessario che l'attenzione normativa posta sul progetto edilizio sia almeno pari a quella posta sugli aspetti impiantistici, un buon progetto primariamente deve tener conto dei fattori ambientali e tipologici, deve assicurare ogni tipo di benessere, e perseguire al tempo stesso risparmi energetici di ogni sorta.

L'efficienza energetica è argomento di particolare importanza negli edifici scolastici in quanto si tratta di edifici didattici in tutti i sensi: un edificio scolastico ben costruito, nelle parti edili e negli impianti, può essere un contributo importante all'educazione a un tema, quello della sostenibilità ambientale ed energetica, di fondamentale importanza per le generazioni future. Gli studenti di oggi non dovranno essere i consumatori, bensì i tutori di energia del domani, e per questo motivo non solo le nuove scuole dovranno essere costruite con tali criteri, ma la qualità energetica delle stesse

dovrebbe essere facilmente percepibile in modo da rendere tali edifici anche didascalici.

Con le tipologie edilizie contemplate nello studio si è voluto calibrare un set di indici di benchmark energetici rappresentativi di situazioni estreme ed intermedie (dalle epoche storiche, alle condizioni climatiche, all'estensione della quota di superficie trasparente dell'involucro, ecc.): dagli esiti di queste valutazioni potrebbero essere desunti, con interpolazioni di prima analisi, valori energetico-prestazionali riconducibili ad altri casi (diverse soluzioni edilizie o contesti climatici), che permettono di stabilire gli interventi più opportuni per migliorare le prestazioni delle scuole.

L'impiego di soluzioni tecnologiche-impiantistiche innovative può garantire un sensibile risparmio di energia primaria sia per quanto riguarda la fase di riscaldamento invernale e la fase di raffrescamento estivo che per l'illuminazione.

Le simulazioni del comportamento energetico degli edifici analizzati, sia per il riscaldamento che per le utenze elettriche, hanno individuato i possibili interventi di risparmio energetico e di utilizzo delle fonti rinnovabili per ciascuna scuola, considerando il massimo risparmio ottenibile con interventi per i quali i tempi di ritorno attualizzati degli investimenti non superino i 10 anni. Si potrebbe conseguire un risparmio del 35% di energia primaria, corrispondente ad un risparmio di energia termica del 40% e di energia elettrica del 19%, ed una riduzione delle emissioni di CO₂ del 33%. Se si considerano anche gli investimenti per i quali i tempi di ritorno superano i 10 anni si ottiene un risparmio in energia primaria pari al 39%, corrispondente ad un risparmio di energia termica del 47% e di energia elettrica del 19%, e una riduzione delle emissioni di CO₂ del 36%.

Note

- [1] Fonte: elaborazione ENEA su dati MAP;
- [2] Delibera della Giunta Comunale n. 72 del 18 marzo 2009, Approvazione del "Piano d'Azione Ambientale" per il raggiungimento degli obiettivi del Protocollo di Kyoto nella città di Roma;
- [3] "Rapporto sul patrimonio immobiliare del 2000" risultato del lavoro di analisi realizzato dall'ufficio di Conservatoria in collaborazione con il Dipartimento di studi geoeconomici, statistici e storici per l'analisi regionale dell'Università degli studi di Roma "La Sapienza";
- [4] Vedi Cap.2;
- [5] Stima desunta dalla ricerca "I costi energetici delle scuole nel XVI Municipio di Roma" nell'ambito del progetto "Efficienza energetica e fonti rinnovabili", realizzato dal XVI Municipio di Roma, ad opera di RomaEnergia (agenzia del Comune di Roma) con il contributo di Campidoglio, Provincia di Roma e Regione Lazio;
- [6] D.Lgs. 42/2004;
- [7] D.Lgs 192/2005, D.Lgs 311/2006;

BIBLIOGRAFIA

Riferimenti bibliografici sull'evoluzione del sistema scolastico	266
Riferimenti bibliografici sull'edilizia scolastica	268
Riferimenti bibliografici sull'efficienza energetica e il retrofit	275
Riferimenti bibliografici sul caso studio	293

Riferimenti bibliografici sull'evoluzione del sistema scolastico

▪ Manuali/Libri/Saggi/Report/Atti:

Ambrosoli L., *La scuola italiana dal dopoguerra a oggi*, Il Mulino, Bologna, 1982.

Angelo Gaudio, *Legislazione e organizzazione della scuola, lotta contro l'analfabetismo*, in *Storia d'Italia nel secolo ventesimo: strumenti e fonti*, a cura di Claudio Pavone, Roma, Ministero per i beni e le attività culturali. Dipartimento per i beni archivistici e librari. Direzione generale per gli archivi, 2006, Vol. I.

Anselmi G.M., Pelizzi F., *La scuola interattiva: reti e multimedialità al servizio della didattica*, CLUEB, Bologna, 1998.

Balani D., Roggero M., *La scuola in Italia dalla Controriforma al secolo dei lumi*, Loescher, Torino, 1976.

Barbagli M., *Scuola, potere e ideologia*, Il Mulino, Bologna, 1982.

Bertoni Jovine D., *La scuola italiana dal 1870 ai nostri giorni*, Editori Riuniti, Roma, 1958.

Bertoni Jovine D., *Storia dell'educazione popolare in Italia*, Laterza, Bari, 1965.

Bertoni-Jovine D., *Storia della didattica*, Editori Riuniti, Roma, 1976.

Bonetta G., *Storia della scuola e delle istituzioni educative. Scuola e processi formativi in Italia dal XVIII al XX secolo*, Giunti, Firenze, 1997.

Bianchi A. (a cura di), *L'istruzione in Italia tra Sette e Ottocento*, Editrice La Scuola, Brescia, 2007.

Bonetta G., *Storia della scuola e delle istituzioni educative. Scuola e processi formativi in Italia dal XVIII al XX secolo*, Giunti, Firenze, 1997.

Bosna E., *Tu riformi...io riforma*, *La travagliata storia della scuola italiana dall'unificazione all'ingresso nell'unione Europea*, ETS, Pisa, 2005.

Canestri G., *Centoventanni di storia della scuola 1861/1983*, Loescher, Torino, 1983.

Canestri G., Recuperati G., *La scuola in Italia dalla legge Casati a oggi*, Loescher, Torino, 1976.

Civra M., *I programmi della scuola elementare dall'Unità d'Italia al 2000*, Marco Valerio, Torino, 2002.

Corbi E., Sarracino V., *Scuola e politiche educative in Italia dall'unità a oggi*, Liguori, Napoli, 2003.

De Vivo F., *Linee di storia della scuola italiana*, La Scuola, Brescia, 1983.

Decollanz G., *Storia della scuola e delle istituzioni educative. Dalla Legge Casati alla riforma Moratti*, Laterza, Bari, 2005.

Desinan C.(a cura di), *Discutere la scuola: ipotesi, contenuti e prospettive a confronto*, Franco Angeli, Milano, 1998.

Di Pol R.S., *Il sistema scolastico italiano*, Marco Valerio, Torino, 2002.

EURYDICE, *Strutture dei sistemi di istruzione e formazione in Europa: Italia*, Edizione 2009/10.

Frabboni F., *Didattica generale: una nuova scienza dell'educazione*, Bruno Mondadori, Milano, 1999.

Frabboni F., *Sottoisei: pedagogia e didattica della scuola materna*, Ed. Falzea, Reggio Calabria, 1997.

Genovesi G., *Storia della scuola in Italia dal Settecento a oggi*, Laterza, Roma-Bari, 2006.

Grendler P. F., *La scuola nel Rinascimento italiano*, Laterza, Bari, 1991.

Lacaita C. G., *Istruzione e sviluppo industriale in Italia 1859-1914*, Giunti-Barbera, Firenze, 1973.

MIUR, *La scuola statale: sintesi dei dati - a.s. 2009/2010*.

Natale G., Colucci F.P., Natoli A., *La scuola in Italia. Dal 1859 ai decreti delegati*, Mazzotta, Milano, 1975.

OECD, *Education at a Glance 2008: : OECD Indicators*, OECD Publishing, Paris, 2008.

OECD, *Education at a Glance 2009: : OECD Indicators*, OECD Publishing, Paris, 2009.

OECD, *Education at a Glance 2010: : OECD Indicators*, OECD Publishing, Paris, 2010.

Pazzaglia L., Sani R.(a cura di), *Scuola e società nell'Italia unita*, La Scuola, Brescia, 2001.

Piscopo U., *La scuola del regime*, Guida, Napoli, 2006.

Scurati C., Fiorin I., *Dai programmi alla scuola: principi pedagogici e metodologici dell'azione didattica*, Ed. La Scuola, Brescia, 1997.

Semeraro A., *Il sistema scolastico italiano*, Carocci, Roma, 1999.

Spadolini B., Titone R., *Lineamenti di scienze dell'educazione*, Ed. Armando, Roma, 1997.

Vertecchi B., *La scuola italiana da Casati a Berlinguer*, Franco Angeli, Milano, 2001

Riferimenti bibliografici sull'edilizia scolastica

▪ Manuali/Libri/Saggi/Report/Atti:

AA.VV., Edilizia scolastica ecocompatibile, EdicomEdizioni, Monfalcone, 2008.

AA.VV., Servizi educativi per la prima infanzia. Guida alla progettazione, Regione Toscana, Educazione - Studi e Ricerche/23, Edizioni Plus, Università di Pisa, 2003.

Ader J. (a cura di), Costruzioni scolastiche. Obiettivi e progetti di scuola secondaria opzionale, A.Armando, Roma, 1977.

Airoldi R., Bottino P.L., Giovenale F., Manuale di edilizia scolastica, NIS, Roma, 1982.

Amirante M. I., Muzzillo F. (a cura di), Progetto e costruzione, Napoli, 2003.

Astolfi A., Giovannini M. (a cura di), Acustica delle aule scolastiche, Requisiti prestazionali, soluzioni di progetto, verifiche a calcolo e in opera, ed.Rockwool, Milano, 2010.

Baffa M., Rivolta U., Scuola e edilizia, La Nuova Italia, Firenze, 1978.

Bandi D., Bindi P., Morè, Audit energetico di edifici scolastici", Atti del Convegno Naz. AICARR/SAIE, Bologna, 2008.

Bandi D., Bindi P., Morè, Audit energetico di edifici scolastici, atti del convegno Naz. AICARR/SAIE a Bologna, 2008.

Bartoletti M. (a cura di), Il progetto della scuola. Contributo all'analisi per una progettazione strutturale dello spazio educativo: rilettura di alcune esperienze didattiche, Faenza Editrice, Faenza, 1976.

Basso S. (a cura di), Bagnolo in Piano: strumenti innovativi di pianificazione e edilizia scolastica ecocompatibile, EdicomEdizioni, Monfalcone, 2006.

Bedarida A., Edifici scolastici razionali. Giardini d'infanzia, scuole elementari, scuole per sordomuti, Crudo&C., Torino, 1932.

Berlinguer L., La scuola nuova, GLF Laterza Roma, Bari, 2001.

Bonomi M., Baldinazzo M., Ferrari S., Zanutto V., Ramponi R., Sviluppo di modelli di calcolo semplificati per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici, ENEA - Ministero per lo Sviluppo Economico, Roma, 2009.

Brubaker W.C., Planning and Designing Schools; McGraw-Hill, New York, 1998.

Calocchia G., Sicurezza e prevenzione antincendio nelle scuole, Il Sole24Ore, Milano, 2008.

Calosci T., Esposito M. A., GIS per la gestione degli edifici scolastici, Franco Angeli, 1996.

Campagnoli G., L'architettura della scuola. Un'idea per i luoghi della cultura e dell'apprendere, Franco Angeli, Milano, 2007.

- Carbonara P. (a cura di), Gli edifici per l'istruzione e la cultura in Architettura pratica, vol. 3, tomo 2, Composizione degli edifici, sezione 7, UTET, Torino 1976.
- Carpanico C, Cartella F., Gabetti R., Peruccio G, Ronco G, Esigenze e requisiti della scuola media, Stip, Troino, 1974.
- Cavadini L., Architettura razionalista nel territorio comasco, ed. La Provincia di Como, Como, 2004.
- Celli L., De Rosa D., Frateili E., Prefabbricare l'architettura: indirizzi progettuali per la scuola della prima infanzia, Franco Angeli Editore, Milano, 1984.
- Chatelet A.M., Lerch D., Luc J.N. (a cura di), L'école de plein air. Une expérience pédagogique et architecturale dans l'Europe du 20 siècle, Recherches, Paris, 2003
- Ciampolini F., La ricerca metodologico-disciplinare: una strategia per il rilancio della scuola italiana, Il mulino, Bologna, 2000.
- Cillo R., Sviluppo sostenibile e città, Mulino, Bologna, 1997.
- Cittadinanzattiva, VIII Rapporto Sicurezza a scuola, 2010.
- Crosbie M. J., Class architecture, Images Publishing, Mulgrave, 2001.
- Curtis E., School Builders, Wiley-Academy, New York, 2002.
- Dall'O G.(a cura di),Verso l'edificio intelligente, BE-MA, Milano, 1989.
- D'Angelo N., D'Angelo B., Tatano V., Zanut S., La Sicurezza nelle scuole e il Piano di Emergenza, Sistemi Editoriali, Napoli, 2005.
- D'aquino G., Gallinella V. (a cura di), Edilizia scolastica - I temi, i progetti, le opere, Provincia di Milano, Milano, 1990.
- D'Aquino G., Gallinella V. (a cura di), Edilizia scolastica - I temi, i progetti, le opere, Provincia di Milano, Milano, 1990.
- De Matteis E., Scuola sicura, EPC Libri, Roma, 2007.
- Di Bitonto A., Giordano F., L'architettura degli edifici per l'istruzione, Officina, Roma, 1995.
- Di Macco S., La sicurezza negli edifici scolastici, Edizioni di legislazione tecnica, Roma, 2009.
- Duca G., Il recupero dell'edilizia scolastica a misura di bambino : requisiti di usabilità per le scuole primarie, Fridericana Editrice Universitaria, Napoli, 2008.
- Dudek M., Architecture of Schools. The New Learning Environments, Architectural Press, Princeton, 2000.
- Dudek M., Kindergarten architecture: space for the imagination, London/NY, 2000.
- Dudek M., Schools and Kindergarten Architecture, Birkhauser, Basilea, 2008.

ENEA, FIRE, Guida per il contenimento della spesa energetica nelle scuole, , Enea, Centro Ricerche Casaccia, Roma.

Fontana L., Querzè A. (a cura di), Quattro scuole, un teatro. Progetti di riqualificazione. Nido d'infanzia T.A. Edison, scuola d'infanzia T.A. Edison, nido e scuola d'infanzia Mamitù, scuola primaria, Artestampa, Modena, 2009.

Fontana L., Querzè A. (a cura di), Scuola d'infanzia comunale villaggio Artigiano. Un salone «circolare» al centro di un quartiere, Artestampa, Modena, 2009.

Ford A. B., Sustainable School, Images Publishing, Mulgrave, 2007.

Forni E., La città di Batman : bambini, conflitti, sicurezza urbana. Bollati Boringhieri, Torino, 2002.

Fortunati A., Fumagalli G., Galluzzi S., La progettazione dello spazio nei servizi educativi per l'infanzia, Edizioni Junior, Bergamo, 2008.

Franchi G., Arredo e attrezzature didattiche: nella scuola superiore. Angeli, Milano, 1985.

Franchi G., Una scuola per la riforma: quindici anni di architettura per la scuola media superiore: 1970-1895, Unicopli, Milano, 1985.

Franchino R., Le reti ambientali nel progetto di riqualificazione urbana, Arte Tipografica Editrice, Napoli, 2006.

Frateili E., Cocito A., Architettura e comfort, Clup Città Studi, Milano, 1995.

Gentili Tedeschi E., Tipologia per la scuola dell'obbligo, ISEDI, Milano, 1976.

Giacobbe D., "Le scuole nella trama della città", in Atti del Convegno "La nuova cultura della città", Accademia Nazionale dei Lincei e CNR, Roma, 2002.

Hertzberger H., Space and Learning, 010 Publishers, Rotterdam, 2007.

Legambiente, Ecosistema Scuola 2009, Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi, Roma, 2009.

Legambiente, Ecosistema Scuola 2010, Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi, Roma, 2010.

Legambiente, Ecosistema Scuola 2011, Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi, Roma, 2011.

Leschiutta F. E., Frammenti di scuola. L'edilizia scolastica nel prossimo decennio, Kappa, Roma, 1989.

Leschiutta F. E., Nuova architettura per la scuola, Armando Editore, Roma, 1983.

Leschiutta F.E., Linee evolutive dell'edilizia scolastica. Vicende, norme, tipi, 1949-1974, Bulzoni, Roma, 1975.

- Lombardo S., Asili nido e scuole materne : manuale di edilizia scolastica : orientamenti educativi, tipologie edilizie, organizzazione funzionale degli spazi, organizzazione degli spazi esterni, norme ... (D.M. 26 agosto 1992), D. Flaccovio, Palermo, 1994.
- Maffei L., Peretti A., Pompoli R., "Acustica e Ambienti Scolastici", Atti del Convegno Associazione Italiana di Acustica, Ferrara, ottobre 1995.
- Mandelli E., Colore, luce e materia in architettura, Alinea Editrice, Firenze, 2000.
- Marzari F., Alberghi, ospedali e scuole, Il Sole 24 Ore, 2001.
- Maurer U., Pädagogische Anforderungen an den Schulbau; Pädagogische Hochschule Zürich, Zürich, 2002.
- Melino C., Lineamenti di igiene del lavoro, Società Editrice Universo, Roma 1992.
- Merlo R., Falsetti F., L'edilizia scolastica, Roma, NIS, 1994.
- Milesi E., A Lallio un campus scolastico sostenibile. Ediz. italiana e inglese, Archos, Bergamo, 2007.
- Minnucci G., Scuole. Asili d'infanzia, scuole all'aperto, elementari e medie, case del balilla, palestre ed impianti sportivi. Criteri, dati, esempi per la progettazione, la costruzione e l'arredamento, Hoepli, Milano, 1936.
- Mugnai M. (a cura di), Le strutture edilizie per l'insegnamento : analisi critiche e orientamenti sulla progettazione, CLUSF, Firenze, 1978.
- Oleotto E. (a cura di), Edifici scolastici ecocompatibili, EdicomEdizioni, Monfalcone, 2007.
- Oli Vero A., Il bambino e la città: principi ed esperienze di progettazione partecipata, Celid, Tonno, 2005.
- Oreto P. (a cura di), Edilizia scolastica, Grafill, Palermo, 2004.
- Panizza M., Scuole materne, elementari e secondarie, in Architettura Pratica, Aggiornamenti, sezione settima, parte prima - Gli edifici per l'istruzione e la cultura, UTET, Torino, 1989.
- Paoli E., Gli edifici scolastici. Dalla scuola materna all'università, Cisav, Milano, 1960.
- Parlato G., Cotellessa D., Costruire scuole. Bibliografia ragionata sulla edilizia scolastica in Italia e all'estero dal 1960 ad oggi. Asili nido, scuole materne, elementari, medie, secondarie, distretti, Biblioteca della Facoltà di Architettura, Pescara, 1977.
- PEB, Schools for Today and Tomorrow, OECD, Parigi, 1996.
- Pepe D., Scuole ecocompatibili. Dal nido per l'infanzia all'istituto superiore, DEI, Roma, 2009.
- Perkins B., Building type basics for elementary and secondary schools, Wiley, New York, 2001.
- Petrangeli M., Scuole contemporanee. Dibattito Progetti Realizzazioni 1970-1989, Le Monnier, Firenze, 1990.

- Poli D. (a cura di), *Il bambino educatore : progettare con i bambini per migliorare la qualità urbana*, Alinea, Firenze, 2006.
- Provincia di Milano e Cisem, *Una scuola per la riforma*, Unicoply, Milano, 1985.
- Rambert C., *Constructions scolaires et universitaires*, Freal, Paris, 1955.
- Rogers E. N., et al., *L'utopia della realtà: un esperimento didattico sulla tipologia della scuola primaria*, Leonardo Da Vinci Editrice, Bari, 1965.
- Rossetti F. M., Lombardozzi S., Ferroni M. (a cura di), *Gli spazi per l'infanzia 0-6*, Gangemi, Roma, 2008.
- Roth A., *The new school. Das neue Schulhaus. La nouvelle école*, Girsberger, Zurich, 1966.
- Ruggeri R., *Edilizia per l'istruzione: adeguamento per i disabili*, CNR, Roma, 1990.
- Sartoris A., *Luci sulla scuola moderna*, Emo Cavalleri, Como, 1940.
- Sasso U., *Bioarchitettura. Forma & formazione. I dodici progetti di strutture formative*, Editrice Alinea, Firenze, 2003.
- Secchi L.L., *Edifici scolastici italiani primari e secondari. Norme tecnico-igieniche per lo studio dei progetti*, U. Hoepli, Milano, 1927.
- Simonetti, D'arca A., *Argomenti di igiene ambientale*, Libretia K, Roma 1975.
- Siola U., *Tipologia e architettura della scuola*, ESI, Napoli, 1966.
- Sole M., *Manuale di edilizia scolastica*, NIS, Roma, 1995.
- Tafuri M., *Architettura italiana 1944-1981 in Storia dell'arte italiana - Il Novecento*, Einaudi, 1983.
- Tafuri M., *Teorie e storia dell'architettura*, Bari, 1976.
- Tonucci F., *La città dei bambini*. Laterza, Roma-Bari, 2005.
- Tortorici G., *Handicap minorile: contributo ad una architettura scolastica*, Franco Angeli Editore, Milano, 1979.
- Tronconi O.(a cura di), *L'edificio intelligente*, Etaslibri, Milano, 1990.
- Vernuccio R., *Centri di servizio. Architettura per la scuola e la città*, Edizioni Medicea, Firenze, 1994.
- Violano A., Cannaviello M. (a cura di), *La certificazione energetica degli edifici esistenti*, Franco Angeli, Milano, 2007.
- Ward C., *British school buildings. Designs and appraisals 1964-74*, The Architectural Press, London, 1976.

Zaffagnini M., L'edilizia scolastica, universitaria e per la ricerca. Quaderni del manuale di progettazione edilizia, Hoepli, Milano, 2006.

Zevi B., Storia e controscoria dell'architettura in Italia, ed. Newton, Roma, 1997.

▪ Articoli e numeri monografici di riviste:

AA.VV., Alison et Peter Smithson, in L'Architecture D'Aujourd'hui, n.344/2003.

AA.VV., Architettura per la Scuola, in Casabella, n. 447-448/1979.

AA.VV., Architettura sostenibile per la scuola, in L'Architettura Naturale, n. 25/2004.

AA.VV., Ecoles, in L'Architecture D'Aujourd'hui, n. 232/1984.

AA.VV., Edifici per la scuola, in L'industria delle costruzioni, n. 398/2007.

AA.VV., Edilizia scolastica Ecocompatibile, in ilProgettoSostenibile, n.17-18/2008.

AA.VV., Edilizia scolastica ecocompatibile nella provincia di Brescia, in ilProgettoSostenibile, dossier maggio/giugno 2008.

AA.VV., Edilizia scolastica, in L'Architettura Naturale, n.9/2000

AA.VV., Education and Architecture, The Architectural Review, n. 1263/2002.

AA.VV., Education, in The Architectural Review, n. 1158/1993.

AA.VV., Folkeskoler, in Arkitektur DK, n.2/2003.

AA.VV., Formative Years, in The Architectural Review, n.1178/1995.

AA.VV., Frammenti di scuole, in Parametro, n.210/1995.

AA.VV., Kindergartern, in Detail, n.3/2008.

AA.VV., Parque escolar, in Arquitectura Viva, n.78/ 2001.

AA.VV., Richard Neutra, Le scuole nel New Deal, in Casabella, n. 754, aprile 2007.

AA.VV., School Buildings, in Detail, n.3/2003.

AA.VV., Schools creating the image of Finland, in ARKKITEHTI, n.1/2004.

AA.VV., Schulen modernisieren, in Detail, n. 9/2009.

AA.VV., Scuole del secondo Novecento, in Casabella, n.750-751/2007.

AA.VV., Sweden spaces for learning, in Arkkitehti, n.1/2006.

Bohigas O., Arquitectura y pedagogia. La tradicion escolar catalana, in Arquitectura Viva, n.56/1997.

Menna G., Le scuole di Willem Marinus Dudok, in *Area*, n.38/1998.

Morganti R., Edifici scolastici, in *L'Ingegnere*, vol. 7, n.2/1933.

Muffato A., William Lescaze. Scuole ieri oggi, in *Casabella*, n.755/2007.

Pizza A., Gatepac. Scuole per la democrazia. L'istruzione come redenzione sociale, in *Casabella*, n. 757/2007.

Rovira J.M., Le scuole progettate da José Luis Sert. Scuola elementare a Palau-Solita, Scuola a Arenys de mar, Scuole a Martonell, in *Casabella*, n. 757/2007.

Zanut S., Prevenzione incendi a scuola, in *Arketipo*, n.19/2007.

Zanut S., Una scuola sicura per tutti: Come conciliare le disposizioni di prevenzione incendi con quelle di abbattimento delle barriere architettoniche negli edifici scolastici, in *Antincendio*, n. 11/2006.

Riferimenti bibliografici sull'efficienza energetica e il retrofit

▪ Manuali/Libri/Saggi/Report/Atti:

AA. VV., Energia e Involucro, CELID, Torino, 1990.

AA.VV., Architettura Bioecologica, ANAB, EdicomEdizioni, Monfalcone, 1996.

AA.VV., Bioarchitettura, impegno per una progettazione ecologica, Maggioli Editore, Rimini, 1992.

AA.VV., Città del passato per il futuro: recupero edilizio come riqualificazione urbana, CIE, Roma, 1986.

AA.VV., Costruire con il sole. Uno sguardo al passato per progettare il futuro, ISES Italia, Roma, 1995.

AA.VV., Costruire sostenibile 2000, Bologna Fiere, Alinea Editrice, Firenze, 2000.

AA.VV., Costruire sostenibile. Il mediterraneo, Bologna Fiere, Alinea Editrice, Firenze, 2001.

AA.VV., Costruire sostenibile. L'Europa, Bologna Fiere, Alinea Editrice, Firenze, 2002.

AA.VV., Efficienza Energetica degli edifici: prestazioni termiche, comportamento ambientale, Ed.Rockwool, Milano, 2006.

AA.VV., European Passive Solar Handbook, Edited by P. Achard and R. Gicquel, EEC Bruxelles 1986.

AA.VV., Guida per la progettazione di edifici a basso consumo energetico, Il Sole24Ore, Milano, 2008.

AA.VV., Impianti, edifici, città. Integrazione e nuove visioni di progetto e di gestione, Atti Convegno internazionale AICARR, Milano, 2004.

AA.VV., L'efficienza energetica nei regolamenti edilizi. Linee guida, Provincia di Milano, 2006.

AA.VV., La progettazione dell'architettura bioclimatica, Franco Muzzio, Padova, 1980.

AA.VV., La qualità ambientale degli edifici, Maggioli Editore, Rimini, 1998.

AA.VV., Le regioni italiane e la bioedilizia - Le esperienze e le proposte per una normativa in materia, EdicomEdizioni, Monfalcone, 2008.

AA.VV., Libro Bianco "Energia-Ambiente-Edificio", Il Sole24Ore, Milano, 2004.

AA.VV., Progettare l'involucro edilizio: correlazioni tra il sistema edificio e i sistemi impiantistici, Atti del Convegno AICARR, Napoli, 2002.

AA.VV., Recupero edilizio, Alinea, Firenze, 1988.

- AA.VV., *Skins for buildings: the architects materials sample book*, BIS, Amsterdam, 2004.
- Abbate C., *L'integrazione architettonica del fotovoltaico: esperienze compiute*, Gangemi, Roma, 2004.
- Accottona C., Angelone L., Funaro G., Olivetti M., Pennarella G., *Usa razionale dell'energia nel settore scolastico*, Enea, Roma, 1994.
- Alagna A., *La riqualificazione tecnologica per la qualità ambientale: l'involucro edilizio*, DPCE, Palermo, 2000.
- Alfano G., D'ambrosio F.R., De Rossi F., *Fondamenti di benessere termoigrometrico*, Cuen, Napoli, 1987.
- Allen G., Moro M., Buro L. (a cura di), *Repertorio dei materiali per la bioedilizia*, Maggioli Editore, Rimini 2001.
- American Federation of Teachers (AFT), *Green Schools and Colleges*, AFT resolution adopted by the AFT executive council, 2008.
- Amirante M. I., Violano A., "The energy quality of enclosure for housebuilding, *Atti del Convegno Mondiale sulle Energie Rinnovabili (TIA - Sustainable Teaching for Sustainable Architecture 2006)*, Elsevier, Wrec, 2006.
- Anderson B., *Energia solare, manuale di progettazione*; Franco Muzzio, Padova, 1985.
- Antonini E. (a cura di), *Residui da costruzione e demolizione: una risorsa ambientalmente sostenibile: il progetto VAMP e altre esperienze di valorizzazione dei residui*, Franco Angeli, Milano, 2001.
- Aquilino M., *Il recupero edilizio: metodi e materiali per la progettazione*, NIS, Roma, 1984.
- Argiolas C., *Tecnologie per l'involucro*, C.U.E.C., Cagliari, 2001.
- ASHRAE 62.1, *Ventilation for acceptable Indoor Air Quality*, ASHRAE (USA), 2007.
- Asquini L., Oleotto E., Bassi L., *Efficienza energetica e sostenibilità - Linee guida per interventi su edifici esistenti e di nuova costruzione con schede di valutazione dei materiali*, EdicomEdizioni, Udine, 2008.
- Aste N., *Il fotovoltaico in architettura*, Sistemi Editoriali, Napoli, 2002.
- Baggio P., Cappelletti F., Gasparella A., Romagnoni P., *Il calcolo della prestazione energetica degli edifici. Gli esiti di un confronto*, Atti del Convegno AiCARR, *Riduzione dei fabbisogni, recupero di efficienza e fonti rinnovabili per il risparmio energetico nel settore residenziale*, Padova, 2008.
- Baglioni A. (a cura di), *Nuovi materiali leggeri per l'architettura*, Progetto Leonardo, Bologna, 1993.
- Baglioni A., Guarniero G., *La ristrutturazione edilizia*, Hoepli, Milano, 1980.

- Baglioni A., Piardi S., *Costruzioni e salute: criteri, norme e tecniche contro l'inquinamento interno*, Franco Angeli, Milano, 1993.
- Baker N., *Energy and environment in architecture: a technical design guide*, E&FN Spon, New York, 2000.
- Baker N., *The Handbook of Sustainable Refurbishment. Non-Domestic Buildings*, Hoepli, Milano, 2010.
- Bandi D., Bindi P., *L'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili nelle strutture pubbliche: analisi e metodi per l'isolamento termico e la ventilazione di edifici scolastici*", atti del convegno Naz. AICARR/SAIE, Bologna, 1999.
- Banham R., *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Laterza, Bari, 1978.
- Bateson G., *Mente e natura: un'unità necessaria*, Adelphi, Milano, 1984.
- Bateson G., *Verso un'ecologia della mente*, Adelphi, Milano, 1976.
- Battisti A., *La Qualità ambientale delle Architetture di interno*, Alinea Editrice, Firenze, 2000.
- Battisti A., Tucci F., *Ambiente e cultura dell'abitare: innovazione tecnologica e sostenibilità del costruito nella sperimentazione del progetto ambientale*, Librerie Dedalo, Bari, 2000.
- Battisti A., Tucci F. (a cura di), *Qualità ed ecoefficienza delle trasformazioni urbane*, Alinea Editrice, Firenze, 2002.
- Battisti R., Corrado A., Micangeli A., *Impianti Solari Termici. Acqua calda con l'energia solare*, Franco Muzzio Editore - Collana Energie, Padova, 2005.
- Bellomo A., *Pareti verdi*, SE ed., Napoli, 2003.
- Benedetti C., *Manuale di architettura bioclimatica*, Maggioli Editore, Rimini, 1994.
- Bigazzi D., Sala M., *Capitolati: materiali e tecnologie ecocompatibili*, Alinea Editrice, Firenze, 1999.
- Boaga G., *L'involucro architettonico. Progetto, degrado e recupero e la qualità edilizia*, Asson Editore, Milano, 1994.
- Boarin P., *Edilizia scolastica. Riqualificazione energetica e ambientale. Metodologie operative, requisiti, strategie ed esempi per gli interventi sul patrimonio esistente*, EdicomEdizioni, Monfalcone, 2010.
- Bocco A., Cavaglià G., *Cultura tecnologica dell'architettura. Pensieri e parole, prima dei segni*, Carocci, Roma, 2008.
- Boeri A., *Criteri di progettazione ambientale*, Editriale Delfino, Milano, 2007.
- Bosco A., Scognamiglio A. (a cura di), *Fotovoltaico e riqualificazione edilizia*, ENEA, Roma, 2005.

- Bottero B. (a cura di) Spazio e conoscenza nella costruzione dell'ambiente, Franco Angeli, Milano, 1991.
- Bottero B., Progettare e costruire nella complessità. Lezioni di bioarchitettura, Liguori, Napoli, 1993.
- Bruno S., Progettazione bioclimatica e bioedilizia, Il Sole24Ore, Milano, 2001.
- Busa L., Cellai G., Secchi S., Certificazione energetica degli edifici: metodologie di calcolo dei consumi energetici per l'illuminazione, in Atti del 61° Congresso Nazionale ATI, Perugia, 2006.
- Butera F., Dalla Caverna alla casa ecologica, Edizioni Ambiente, Milano, 2007.
- Cabrini F. (a cura), Progetti ecologici di architettura. Esperienze nel mondo, EdicomEdizioni, Monfalcone, 1996.
- Cangelli E., Paoletta A., Il progetto ambientale degli edifici. LCA, EMAS, Ecolabel, gli standard ISO applicati al processo edilizio, Alinea Editrice, Firenze, 2001.
- Cannaviello M., Violano A. (a cura di), La Certificazione Energetica degli edifici esistenti, Franco Angeli, Milano, 2007.
- Capolongo S., Daglio L., Oberti I., Edificio, Salute, Ambiente, Hoepli, Milano, 2007.
- Carletti C., Rummel C., Sciupi F., Prestazioni e certificazione energetica degli edifici italiani, Taed, Firenze, 2006.
- Carnimeo G., Frey M., Iraldo F., Gestione del prodotto e sostenibilità: le imprese di fronte alle nuove prospettive delle politiche ambientali comunitarie e della IPP (Integrated product policy), Franco Angeli, Milano, 2002.
- Caterina G., Fiore V., La manutenzione edilizia e urbana: Linee guida e prassi operative, Sistemi Editoriali, Napoli, 2005.
- Caterina G., Tecnologia del recupero edilizio, UTET, Torino, 1989.
- Caturano U., Le tecnologie dei materiali tra progetto e innovazione, Franco Angeli, Milano, 1996.
- Cavallari L. (a cura di), Lucien Kroll. Ecologie urbane, Franco Angeli, Milano, 2001.
- Cellai G., Raffellini G., Secchi S., Certificazione energetica: problematiche e possibili risposte alla luce del quadro normativo europeo, nazionale, regionale, Atti del Convegno Naz. AICARR/SAIE, Bologna, 2008.
- Chiesa G., Dall' O G., Risparmio energetico in edilizia, Masson, Milano, 1996.
- Chiesi A., Riconvertire i luoghi, Postmedia, Milano, 2008.
- CHPS-Collaborative for High Performance Schools (a cura di), Best Practices Manual. Vol 1 - Planning, 2006.

- CHPS-Collaborative for High Performance Schools (a cura di), Best Practices Manual. Vol 2 - Design, 2006.
- CHPS-Collaborative for High Performance Schools (a cura di), Best Practices Manual. Vol 2 - Criteria, 2006.
- Ciribini G.(a cura di), Tecnologie della costruzione, NIS, Roma,1992..
- Ciribini G., Tecnologia e progetto, ed. Celid, Torino, 1984.
- Clementi A. Perego F.(a cura di), Eupolis. La riqualificazione della città in Europa.Periferie oggi, Laterza, Bari, 1990.
- Colombo R., Landabaso A., Sevilla A., Manuel de conception, architecture solaire passive pour la région méditerranéenne, Centre Commun de Recherche, Bruxelles 1995.
- Crisci G. (a cura di), La Certificazione Energetica degli edifici. Strumenti e metodi, Luciano Editore, Napoli, 2007.
- Dalla Costa M., Il progetto di restauro per la conservazione del costruito, CELID, Torino, 2000.
- Daniels K., Advanced Building Systems, Birkhäuser, Basel, 2003.
- Davoli P.M., Architettura senza impianti: aspetti bioclimatici dell'architettura preindustriale, Alinea Editrice, Firenze, 1993.
- De Capua A., Nuovi paradigmi per il progetto sostenibile. Contestualità, Adattabilità, Durata, Dismissione, Gangemi, Roma, 2002.
- Dept. children, school and families, Refurbishing Historic School Buildings, Published by English Heritage, London (UK), 2010.
- Dept. For Communities And Local Government, Building Bulletin 95, Schools for the future. Designs for Learning Communities, London (UK), 2002.
- Dept. For Communities And Local Government, Review of Sustainability of Existing Buildings, Building Bulletin 87, Guidelines for Environmental Design in Schools, London (UK), 2003.
- Dept. For Communities And Local Government, Review of Sustainability of Existing Buildings, Building Bulletin 90, Lighting Design for Schools. A design guide, London (UK), 2006.
- Dept. For Communities And Local Government, Review of Sustainability of Existing Buildings, Building Bulletin 101, Ventilation of School Buildings, London (UK), 2006.
- Dept. For Communities And Local Government, Review of Sustainability of Existing Buildings, Building Bulletin 93, Acoustic Design of Schools. A design guide, London (UK), 2003.
- Dept. For Communities And Local Government, Review of Sustainability of Existing Buildings. The Energy Efficiency of Dwellings. Initial Analysis, London (UK), 2006.
- Dept. of the Environment, Transport and the Regions' Energy Efficiency, Energy efficient refurbishment of schools, Good Practice Guide 233, London (UK), 1997.

- Dept. of the Environment, Transport and the Regions' Energy Efficiency, Energy efficient design of new buildings and extensions for schools and colleges, Good Practice Guide 173, London (UK), 1997.
- DGDAO, Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni, 2007.
- Di Battista V., Ambiente Costruito. Un secondo paradigma, Alinea Editrice, Firenze, 2006.
- Di Battista V., Fontana C., Pinto M.R. (a cura di), Flessibilità e riuso, Alinea Editrice, Firenze, 1995.
- Di Battista V., Giallocosta G., Minati G., Architettura e approccio sistemico, Polimetrica, Milano, 2006
- Di Giulio R., Manuale di manutenzione edilizia, Maggioli Editore, Rimini, 2003.
- Di Sivo M., Marocco M., Orlandi F., Santi, Tecnologia, paesaggio, ambiente, Alinea Editrice, Firenze, 1989.
- Dierna S., Tecnologie, tecno-ecologie, tero-tecnologie, Kappa, Roma, 2004.
- Dierna S., Orlandi F., Buone pratiche per il quartiere ecologico. Linee guida di progettazione sostenibile nella città della trasformazione, Alinea Editrice, Firenze, 2005.
- D'Innocenzo A., Progettare il recupero: strumenti e tecniche per riqualificare la città, Gangemi, Roma, 1991.
- EHS, Guide to Part F of the Northern Ireland building regulations 2006. Historic buildings and energy efficiency, Belfast (UK), 2006.
- ENEA, F.IN.CO., Libro Bianco: Energia - Ambiente - edificio. Dati, criticità e strategia per l'Efficienza Energetica del sistema Edificio, Il Sole 24 Ore, Milano, 2004.
- ENEA, L'energia fotovoltaica, opuscolo ENEA, Roma, 2003.
- ENEA, L'etichetta energetica, opuscolo ENEA, Roma, 2003.
- ENEA, Rapporto energia e ambiente 2010, ENEA, Roma, 2011.
- ENEA, Risparmio energetico con gli impianti di riscaldamento, opuscolo ENEA, Roma, 2003.
- ENEA, Risparmio energetico con l'illuminazione, opuscolo ENEA, Roma, 2003.
- ENEA, Risparmio energetico nella casa, opuscolo ENEA, Roma, 2003.
- ENEA, Uso razionale dell'energia nel settore scolastico, Dipartimento di Energia - Settore promozione degli usi efficienti dell'energia e delle energie rinnovabili, Roma, 1994.
- Erlacher P., Erlacher R., Casaclima in muratura massiccia, Un manuale, Raetia Edizioni, Bolzano, 2007.

-
- Ermolli S.R., Green buidings. Architetture sostenibili nel Regno Unito, Clean Edizioni, Napoli, 2005.
- European Commission, A green vitrovius: principales and practice of sustainable architecture design, James & James, London, 1999
- Fabbri K., Guida alla riqualificazione energetica, DEI, Roma, 2007.
- Fabbrizzi F., Architettura verso natura. Natura verso architettura, Alinea Editrice, Firenze, 2003.
- Faconti D., Piardi S., La qualità ambientale degli edifici, Maggioli Editore, Rimini, 1998.
- Falasca C.C., Dal clima alla tipologia edilizia: note metodologiche per la progettazione, Alinea Editrice, Firenze, 1985.
- Feist W. Fachinformation PHI-2002/2, Passivhaus Institut, 2002.
- Finke L., Introduzione all'ecologia del paesaggio, Franco Angeli, Milano, 1993.
- Florensa Serra R., Roura Coch H., L'energia nel progetto di architettura, CittàStudiEdizioni, Milano 2003.
- Foti G., I luoghi della trasformazione, Rubbettino, Soveria Mannelli, 2004.
- Fracastoro G., "The evaluation of energy saving potential of building retrofit at region or national scale", in Atti del Convegno AICARR, Milano, ottobre 2008.
- Francesco D., Architettura bioclimatica, UTET, Torino, 1996.
- Franchino R., Le reti ambientali nel progetto di riqualificazione urbana, Arte Tipografica, 2006.
- Franco G.(a cura di), Una tecnologia per l'architettura costruita. Forme, strutture e materiali nell'edilizia genovese e ligure, Alinea Editrice, Firenze, 2002.
- Franco G., L'involucro edilizio, EPC Libri, Roma, 2003.
- Franco G., Riqualificare l'edilizia contemporanea: valutazione, progetto, intervento, sicurezza, Franco Angeli, Milano, 2003.
- Fusco Girard L., Nijkamp P., Le valutazioni per lo sviluppo sostenibile della città e del territorio, Franco Angeli, Milano, 1997.
- Gabrielli B., Il recupero della città esistente. Saggi 1968-1992, Etas Libri, Milano, 1993.
- Gambino F., Conservare l'architettura, Flaccovio, Palermo, 2004.
- Gangemi V. (a cura di), Emergenza ambiente, teorie e sperimentazioni della Progettazione Ambientale, Clean Edizioni, Napoli, 2001.
- Gangemi V. (a cura di), L' ambiente risanato. La bioarchitettura per la qualità della vita, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli, 1994.

- Gangemi V. (a cura di), *Riciclare in architettura. Scenari innovativi della cultura del progetto*, Clean, Napoli, 2004.
- Garofolo I. (a cura di), *Le città per un costruire sostenibile*, EdicomEdizioni, Monfalcone, 2003.
- Gauzin-Mouller D., *Architettura sostenibile. 29 esempi europei di edifici e insediamenti ad alta qualità ambientale*, Edizioni Ambiente, Milano, 2003.
- Gauzin-Mouller D., *Case ecologiche. I principi, le tendenze, gli esempi*, Edizioni Ambiente, Milano, 2006.
- Germanà M.L., *La gestione sostenibile dell'ambiente costruito: la manutenzione dall'edificio alla città*, in *Atti del Convegno Internazionale Urban: Maintenance as Strategy for Sustainable Development*, Milano, 2002.
- Germanà M.L., *La qualità del recupero edilizio*, Alinea Editrice, Firenze, 1995
- Giallocosta G., *Riflessioni sull'innovazione*, Alinea, Firenze, 2004.
- Ginelli E. (a cura di), *L'intervento sul costruito, problemi e orientamenti*, Franco Angeli, Milano, 2002.
- Gottfried A. (a cura di), *I materiali sintetici*, in *Quaderni di progettazione edilizia*, Hoepli, Milano, 2003.
- Grosso M., *Il raffrescamento passivo degli edifici: concetti, precedenti architettonici, criteri progettuali, metodi di calcolo e casi studio*, Maggioli Editore, Rimini, 1997.
- Grosso M., Peretti G., Piardi Silvia, Scudo G., *Progettazione ecocompatibile dell'architettura: concetti e metodi, strumenti d'analisi e valutazione, esempi applicativi: energia, edifici, spazi esterni, suolo, materiali*, Sistemi editoriali, Napoli, 2005.
- Guida A., Pontrandolfi P., De Fino C., Guida F., *La riqualificazione possibile: periferia, metodo, progetto*, ed. Ermes, Potenza, 2000.
- Hausladen G., De Saldanha M., Liedl P., *Climate Design. Solutions for Buildings that can do more with less energy*, Birkhauser, Berlin, 2005.
- Hausladen G., De Saldanha M., Liedl P., *Climate Skin. Building skin concepts that can do more with less energy*, Birkhauser, Berlin, 2003.
- Heinrich D., Herteg M., *Atlante di Ecologia*, HOELPI, Milano, 1996.
- Herzog T. (a cura di), *Solar Energy in architecture and urban planning*, Prestel, Munich, 1996.
- IEA, ECBCS Annex 36: *Retrofitting of Educational Buildings-REDUCE, Case Study Reports*, Editor Ove Morck, 2003.
- Imperadori M. (a cura di), *Costruire sul costruito: tecnologie leggere nel recupero edilizio*, Carocci, Roma, 2001.

-
- Imperadori M., *Le Procedure Struttura e Rivestimento per l'Edilizia Sostenibile*, Maggioli Editore, Rimini, 1999.
- Imperadori M., Vanoncini E., Zambelli E., *La Costruzione Stratificata a secco*, Maggioli Editore, Rimini, 1998.
- Kaltenbach, F.(a cura di), *Traslucent materials: glass, plastics, metals*, Birkhäuser Edition Detail, Basilea, 2004.
- Korn G., *Usò razionale dell'energia nella casa*, Franco Muzzio, Roma, 2003.
- Langella C., *Nuovi paesaggi materici: design e tecnologia dei materiali*, Alinea, Firenze, 2003.
- Lannutti C., *Controllo della qualità tecnico prestazionale del componente edilizio*, Gangemi, Roma, 2001.
- Lantschner N., *Casa clima vivi in più*, KlimaHaus, Raetia, Bolzano, 2005.
- Lantschner N., *Casaclima il piacere di abitare*, Athesia, Bolzano, 2008.
- Lanzarone F., *Conservazione dei beni culturali*, Flaccovio Editore, Palermo, 2004.
- Latouche S., *Breve trattato sulla decrescita serena*, Bollati Boringhieri, Torino, 2008.
- Lattanza V., Soragnese A.R., *Certificazione energetica di edifici ed impianti termici, Legislazione tecnica*, Roma, 2008.
- Lauria M., *La permanenza in Architettura. Progetto,costruzione,gestione*, Gangemi, Roma, 2008.
- Liébard A., De Herde A., *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques*, Observ'ER, Paris, 2005.
- Longhi G., *Linee guida per una progettazione sostenibile*, Officina, Roma, 2003.
- Longo D., *Decostruzione e riuso. Procedure e tecniche di valorizzazione dei residui edilizi in Italia*, Alinea Editrice, Firenze, 2007.
- Lorenzo R., *La città sostenibile. Partecipazione, luogo, comunità*, Elèuthera, Milano, 1998.
- Losasso M., *Interventi di retrofit energetico e riqualificazione degli edifici in c.a.*, in Crisci G. (a cura di), *La certificazione energetica degli edifici. Strumenti e Metodi*, Luciano, Napoli, 2007.
- Losasso M., *Percorsi dell'innovazione*, Clean, Napoli, 2010.
- Lucarelli M.T., (a cura di), *L'ambiente dell'organismo città. Strategie e sperimentazioni per una nuova qualità urbana*, Alinea, Firenze, 2006.
- Magnaghi A., *Il progetto locale*, Bollati Boringhieri, Torino, 2000.
- Magrini A., Ena D., *Tecnologie solari attive e passive*, EPC Libri, Roma, 2002.

- Magrini A., La progettazione degli impianti di climatizzazione negli edifici, EPC Libri, Roma, 2002.
- Malagigi E., Benessere a scuola: luoghi fisici e innovazione didattica, EdicomEdizioni, Udine, 1999.
- Malighetti L. E., Recupero edilizio e sostenibilità, Il Sole24Ore, Milano, 2004.
- Malighetti L., Recupero edilizio e sostenibilità, Il Sole 24 Ore, Milano, 2004.
- Marino F.P.R., Greco M., La certificazione energetica degli edifici ed il D.Lgs 192 del 19/8/2005, EPC Libri, Roma, 2006.
- Marocco M., Orlandi F., Qualità del comfort ambientale. Elementi per la progettazione, Editrice Libreria Dedalo, Roma, 2000.
- Marocco M., Progettazione e costruzione bioclimatica dell'architettura, Kappa, Roma, 2000.
- Marzia E., Sistemi solari passivi, Franco Muzzio, Padova, 1980.
- Mazzola E.M., Verso un'architettura sostenibile, Gangemi, Roma, 2007.
- Michieletto P., Paganuzzi P., "Strategie di qualità per interventi di riqualificazione edilizia. Procedure di diagnosi e definizione del progetto preliminare", in Atti del Convegno Qualificazione del progetto edilizio, Milano, giugno 2004.
- Minguzzi G., Architettura sostenibile, Skira, Milano, 2006.
- Molinari C., Procedimenti e metodi della manutenzione edilizi, Esselibri-Simone, Napoli, 2002
- Moneo R., Costruire nel costruito, Allemandi, Torino, 2007.
- Nava C. (a cura di), Involucro ed edifici a basso impatto ambientale. Caratteri, Tecnologie e Materiali, Falzea editore, Reggio Calabria, 2004.
- Neri P. (a cura di), Verso la valutazione ambientale degli edifici, Life Cycle Assessment a supporto della progettazione eco-sostenibile, Alinea editrice, Firenze, 2008.
- Nicoletti M., Architettura Ecosistemica, Gangemi, Roma, 2001.
- Novi F. (a cura di), La riqualificazione sostenibile: applicazioni, sistemi e strategie di controllo climatico naturale, Alinea, Firenze, 1989.
- Novi F. (a cura di), La riqualificazione sostenibile: applicazioni, sistemi e strategie di controllo climatico ambientale, Alinea, Firenze, 1999.
- Nuzzo E., Tomasinsig E., Recupero ecoefficiente del costruito - Confronto tra soluzioni migliorative di pareti, coperture e solai, EdicomEdizioni, Udine, 2008.
- OECD - Centre for Educational Research and Innovation, Designs for Learning - 55 exemplary Educational Facilities, OECD Publishing, Paris, 2001.

- OECD - Centre for Educational Research and Innovation, *Schools for today and tomorrow*; OECD Publishing, Paris, 1996.
- Olgyay V., *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, Franco Muzzio, Padova, 1981.
- Orlandi F., *Il comfort ambientale nel rapporto indoor-outdoor. Tecnologie di progetto e qualità dell'abitare*, Editrice Libreria Dedalo, Roma, 2000.
- Paganuzzi P. (a cura di), *Guida al progetto di recupero*, Upsel Domeneghini, Padova, 1997.
- Paganuzzi P. (a cura di), *I rivestimenti di facciata*, Progetto Editrice, Padova, 2000.
- Paganuzzi P., Abbascià L., Gaspari J., "Il recupero sostenibile", in *Atti del Convegno Brixia Forum Strategie di architettura per la sostenibilità*, Venezia, 2005.
- Paoella A. (a cura di), *L'edificio ecologico. Obiettivi, riconoscibilità, caratteri, tecnologie*, Gangemi, Roma, 2001.
- Paoella A., *Ambiente e Progettazione*, Maggioli Editore, Rimini, 1996.
- Paoella A., C.Nava (a cura di), *Il fotovoltaico applicato all'edilizia residenziale urbana - Integrazione di tecnologie in ambito locale*, Falzea ed., Reggio Calabria, 2002.
- Paoella A., *L'edificio ecologico*, Gangemi editore, Roma, 2001.
- Paoella A., *L'ombra dei grattacieli. Per una critica ambientale dell'architettura contemporanea*, il Prato, Padova, 2006.
- Paoella A., *Tecnologie per il recupero ecologico e sociale dell'abitare*, Edizioni Papageno, Palermo, 2002.
- Park S.C., *Heating, Ventilating, and Cooling Historic Buildings - Problems and Recommended Approaches*. TPS Preservation Briefs, 1991.
- Passaro A., *Costruire e Dimettere*, Arte Tipografica, Napoli, 1996.
- Peguiron G., *I materiali sostenibili in edilizia*. In *La progettazione sostenibile in edilizia*, a cura di Spagnolo M., ISES ITALIA, Roma, 2004.
- Perago A., *Progettare tetti e coperture: dalla tegola al fotovoltaico*, Maggioli Editore, Rimini, 2006.
- Peretti G. (a cura di), *Verso l'ecotecnologia in architettura: un percorso attraverso la tecnologia dell'architettura*, BEMA, Milano, 1997.
- Piardi S., *Costruire edifici sani. Guida alla scelta dei prodotti*, Maggioli Editore, Rimini, 1999.
- Pietroni L., *Eco-materiali ed ecoprodotto "made in Italy"*, Edizioni Kappa, Roma, 2004.
- Pinto M.R., *Il riuso edilizio. Procedure, metodi ed esperienze*, UTET, Torino, 2004.

- Portoghesi P., Scarano R., *Architettura del Mediterraneo: conservazione, trasformazione, innovazione*, Gangemi, Roma, 2003.
- Ra Vizza D., *Progettare con la luce: luce, visione, colore, progetto d'illuminazione d'interni, la luce in viaggio, sistemi a sorgente remota, illuminare ambienti per il terziario e ambienti domestici*, Franco Angeli, Milano, 2001.
- Raffellini G., Secchi S., Nanni Pieri E., *Studio sul miglioramento delle condizioni di illuminazione in ambienti di valenza storico artistica dell'Univ. di Firenze*, in *Atti del 8° Congresso Nazionale CIRIAF*, Perugia, 2008.
- Raiteri R. (a cura di), *Trasformazioni dell'ambiente costruito. La diffusione della sostenibilità*, Gangemi, Roma, 2003.
- Raiteri R. (a cura di), *Trasformazioni dell'ambiente costruito - La diffusione della sostenibilità*, Gangemi, Roma, 2003.
- Rava P., *Tecniche costruttive per l'efficienza energetica e la sostenibilità*, Maggioli Editore, Rimini, 2007.
- Recalcanti R., Dall'O' G., *Procedura per la certificazione energetica degli edifici: manuale del rilevatore*, Punto Energia, Milano, 1998.
- Rigamonti E., *Il riciclo dei materiali in edilizia*, Maggioli Editore, Rimini, 1996.
- Rizzi M. (a cura di), *Consigli di risparmio energetico per gli edifici esistenti*, Provincia di Udine, 2006.
- Rogora A., *Architettura e bioclimatica - la rappresentazione dell'energia nel progetto*, Sistemi Editoriali SE, Napoli, 2003.
- Rossi P., *Architettura vs ambiente. Le domande emergenti sulla tecnologia e sul progetto*, Franco Angeli, Milano, 2008.
- Sala M. (a cura di), "I percorsi della progettazione per la sostenibilità ambientale: un confronto sull'evoluzione della didattica e della ricerca del settore nelle Università italiane", *Atti del Convegno nazionale ABITA*, Firenze, 2004.
- Sala M. (a cura di), *Recupero edilizio e bioclimatica*, Sistemi Editoriali, Napoli, 2001.
- Sala M. (a cura di), *Tecnologie bioclimatiche in Europa*, Alinea Editrice, Firenze, 1994.
- Sanoff H., *School Building Assessment Methods*, National Clearinghouse for Educational Facilities, Washington D.C., 2001.
- Sassi P., *Il sole nella città*, Franco Muzzio, Roma, 2002.
- Schittich C. (a cura di), *Architettura solare, Strategie visioni concetti*, Birkhauser Edition Detail, Munich, 2003.
- Schittich C. (a cura di), *Involucri edilizi*, Detail Edizioni, Berlino, 2002.
- Schlorhauser B., *Architetture recenti in Alto Adige*, SprinterWien New York, Bolzano, 2006.

- Scudo G., Piardi S. (a cura di), *Edilizia Sostenibile*, Sistemi Editoriali, Napoli, 2002.
- Shield B.M., Dockerell J.E., *la necessità di una buona acustica nelle aule scolastiche*, Seminario acustica e ambienti scolastici, Congresso Associazione Italiana Acustic, Venezia, 2004.
- Sichirolo L. (a cura di), Giancarlo De Carlo. *Gli spiriti dell'architettura*, Editori Riuniti, Roma, 1992.
- Sinopoli N., Tatano V. (a cura di), *Sulle tracce dell'innovazione. Tra tecniche e architettura*, Franco Angeli. Milano, 2002.
- Sinopoli N., Tatano V., *Sulle tracce dell'innovazione. Tra tecniche e architettura*, FrancoAngeli, Milano, 2002.
- Spagnolo M., *Strategie per l'architettura sostenibile. I fondamenti di un nuovo approccio al progetto*, Edizioni Ambiente, Milano, 2008.
- Srunoro S., *Efficienza energetica delle facciate: standard, requisiti, esempi per l'adeguamento e la riqualificazione architettonica*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2006.
- Szokolay, S., *Introduzione alla progettazione sostenibile*, Hoepli, Milano, 2006.
- Tampellini I., Trivella F., *Recupero del costruito: manuale d'intervento pratico*, Flaccovio, Palermo, 1999.
- Tanner C. K., Lackney, J.A., *Educational Facilities Planning: Leadership, Architecture, and Management*, Allyn and Bacon, Boston, MA 2006.
- Tatano V., *Edifici scolastici: manutenzione e messa in sicurezza - guida all'adeguamento e al rinnovo*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2001.
- Tedesco S., *Riqualificazione energetico-ambientale degli edifici scolastici*, Alinea Editrice, Firenze, 2010.
- Todorovic B., *Retrofitting of buildings at the /eve/ of entire town: planning, benefits, the example of Belgrade*, in *Atti del convegno AICARR*, Milano, ottobre 2008.
- Toni M., *Qualità involucro. Contributo attorno ai problemi del comfort abitativo*, Pitagora Editrice, Bologna, 1990.
- Torricelli M. C., Lauria A. (a cura di), *Innovazione tecnologica per l'architettura. Un diario a più voci*, ETS, Pisa, 2004.
- Trevisi A.S., *Efficienza in edilizia: diagnosi energetica*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2007.
- Trianti E., *Bioclimatic Retrofitting of a University Building in Ioannina in the World of Buildings*, 1996.

Tucci F., Involucro ben temperato. Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici, Alinea Editrice, Firenze, 2006.

Tucci F., Tecnologia e natura. Gli insediamenti del mondo naturale per il progetto dell'architettura bioclimatica, Alinea Editrice, Firenze, 2009.

Tucci F., Tecnologia e natura. Gli insegnamenti del mondo naturale per il progetto dell'architettura bioclimatica, Alinea Editrice, Firenze, 2000.

U.S. Environmental Protection Agency, ENERGY STAR®. Building Upgrade Manual, Office of Air and Radiation, 2008 Edition.

U.S. Green Building Council (a cura di), LEED for Schools for New Construction and Major Renovations. Version 2007, 2007.

Violano A., "La qualità energetica dell'involucro edilizio alla luce della Direttiva 2002/91/CE e dei Decreti italiani di recepimento", in Atti del Convegno Prestazioni e Certificazione Energetica degli edifici Italiani, Firenze, 2006.

Vitale R., Scuola in sicurezza, EPC LIBRI, Roma, 2000.

Wienke U., Aria Calore Luce. Il comfort ambientale negli edifici, DEI, Roma, 2005.

Wienke U., L'edificio passivo. Standard, requisiti, esempi, Alinea Editrice, Firenze, 2002.

Wienke U., Manuale di bioedilizia, DEI, Roma, 2004.

Zambelli E., Ristrutturazione e trasformazione del costruito, Il Sole24Ore, Pirola (MI), 2004. Zappone C., La serra solare, Se ediz., Napoli, 2005.

Zambelli E., Vanoncini P.A., Imperadori M., Costruzione stratificata a secco, Maggioli Editore, Rimini, 1998.

Zumthor P., Atmosfere. Ambienti architettonici. Le cose che ci circondano, Electa, Milano, 2007.

▪ Articoli e numeri monografici di riviste:

AA.VV., Architettura sostenibile per la scuola, in L'Architettura Naturale, n.25/2004.

AA.VV., Edilizia Scolastica bioecologica, in L'Architettura Naturale, n.9/2000.

AA.VV., L'attacco a terra, in Ambiente Costruito, n.1/1997.

AA.VV., L'attacco al cielo, in Ambiente Costruito, n.3/1997.

AA.VV., L'involucro, in Ambiente Costruito, n.1/1998.

AA.VV., L'illuminazione in edifici scolastici, in Luce, n.1/2003.

- AA.VV., Nuovi materiali, in *Materia*, n.42/2003.
- AA.VV., Scuola in evoluzione, in *L'Architettura Naturale*, n.37/2007.
- AA.VV., Sparen auf ganzer Linie. Energetische Schulsanierung profitiert von neuer Heiztechnik, in *IKZ Haustechnik Magazin für Gebäude und Energietechnik*, n.63/2010.
- AA.VV., Speciale retrofit, in *Costruire*, n.312/2009.
- Allen G., Valutazione, selezione e certificazione dei materiali, in *L'architettura Naturale*, n.5/1999.
- Andreotti G., Dalla facciata al doppio involucro: un percorso tra tecnica e architettura verso la sostenibilità, in *Modulo*, n.285/2002.
- Andreotti G., Recupero High-Tech, in *Modulo*, n.287/2002-2003.
- Antonini E., Mucelli G., Sinopoli N., Sostenibile come un rifiuto, in *Costruire*, n.207/2000.
- Antonini E., Sinopoli N., Tatano V., Rapporto ArTec 2003: Sulle piste dell'innovazione, in *Costruire*, n.244/2003.
- Antonini E., Sinopoli N., Tatano V., Rapporto ArTec 2004: L'ambiente dell'innovazione, in *Costruire*, n. 256/2004.
- Antonini E., Sinopoli N., Tatano V., Rapporto ArTec 2005: Innovazione., in *Costruire*, n.268/2005.
- Azzolino C., La ventilazione ibrida in architettura, in *Modulo*, n.265/2000.
- Baratta A.F.L., Carletti C., Case passive, in *Costruire*, n.224/2002.
- Bianchi R., A tutto sole, in *Modulo*, n.288/2003.
- Bredemeier J., Einzelraumregelung ermöglicht ideale Spieltemperatur, in *Fachzeitschrift: Moderne*, n. 65/2011.
- Brunetti G.L., La simulazione energetica nella progettazione architettonica, in *Arketipo*, n.5/2006.
- Cattanei A., Dubbi in facciata, in *Modulo*, n.290/2003.
- Cattanei A., Il progetto dell'esistente. Stato dell'arte. Tavola rotonda, in *Modulo*, n.307/2005.
- Clemente M.C., Il primo requisito, in *Costruire*, n.164/1997.
- Clini C., Energy saving, in *Area*, n.4/2008.
- Cognati S.P., Corrado V., Filippi M., A method for heating consumption assessment in existing buildings: A field survey concerning 120 Italian schools, in *Energy and Buildings*, n.40/2008.

- Dall'O' G., Galante A., Scansani S., Imporre il risparmio, in *Modulo*, n. 292/2003.
- Dall'O' G., Galante A., Sostenibili e risparmiati, in *Modulo*, n. 293/2003.
- Dandini E., Ristrutturazione e risparmio energetico: un'occasione da non perdere, in *Casa&Clima*, n.3/2006.
- Davoli P., Pelli mutevoli in Architettura, in *Paesaggio Urbano*, n.5/2002.
- De Santoli L., I sistemi impiantistici per il controllo del microclima negli edifici storici, in *Antincendio*, n. 8/2006.
- Delbene G., Save - Energy transient architectures, in *Area*, n. 4/2008.
- Dell'Oro D., Sostenibilità. La verifica è virtuale, in *Arketipo*, n.5/2006.
- Di Leo G., Sostenibilità global? Sì, grazie, in *Modulo*, n. 279/2002.
- D'Orazio M., Risparmio energetico? Dipende..., in *Modulo*, n. 256/2000.
- Euler S., Ökologischer Umbau: Energetische Sanierung von Dach und Fassade mit Holzfaserdämmplatten, in *Holzbau Die Neue Quadriga*, n.3/2010.
- Fabris L.M.F., Alleato Legno: piccole realizzazioni, spesso curiose - un banco di prova di soluzioni ad alta sostenibilità, in *Costruire*, n.245/2003.
- Fattor S., Costruire sul costruito, in *Casa&Clima*, n.12/2008.
- Fianchini M., "Metodi di valutazione rapida degli edifici", in *ilProgettoSostenibile*, n.15/2007.
- Filippi M., Fabrizio E., Una gestione energetica sostenibile per l'edilizia scolastica, in *ilProgetto Sostenibile*, n.17-18/2008.
- Filippin C., Benchmarking the energy efficiency and greenhouse gases emissions of school buildings in central Argentina, in *Building and Environment*, n. 35/2000.
- Fragno P., Riquilificazione edilizia e risparmio energetico: Londra, in *Recuperare*, n.35/1988.
- Francese D., Strategie e metodi di verifica di eco-sostenibilità e biocompatibilità per le scuole in area mediterranea, in *ilProgettoSostenibile*, n° 17-18/2008.
- Gargano C., Riciclare per costruire, in *Modulo*, n.308/2005.
- Gertis K., Sedlbaue K., Schulsanierung. Schulbauten im Bestand - eine Herausforderung für die Planer, in *Greenbuilding*, n.7-8/2010.
- Giannarelli P., Principi per la pratica del costruire ecologico, in *Paesaggio Urbano*, luglio-agosto 2002.
- Goven T., Effekt von Licht auf das Lernverhalten. Der Einfluss der Umgebungsbeleuchtung auf Schüler in Klassenzimmern, in *Professional Lighting Design*, n.70/2010.

- Grossi A., L'obiettivo è sostenibile, in *Costruire*, n.212/2001.
- Gustafsson S.I., Optimisation of insulation measures on existing buildings, in *Energy and Buildings*, n.33/2000.
- Heike Klutting, Hans Erhorn, Ove Morck, I.E.A. ECBCS Annex 36: Retrofitting of Educational Buildings-REDUCE - Case Study Reports of 10 different Countries.
- Jaggs M., Palmer J., Energy performance indoor environmental quality retrofit - a European diagnosis and decision making method for building refurbishment, in *Energy and Buildings*, n.31/2000.
- Joachini E., Graebener E. B., Kroll R., Weilacher K. A., Kohl H., Becker T., Viva i bambini, in *Bioarchitettura*, n.33/2003.
- Knüsel P., Erste Fussabdrücke auf dem Effizienzpfad, in *Haustech*, n.234/2010.
- La Torre C., Ristrutturazione energetica, in *L'installatore Italiano*, n.2/2004.
- Lo Sasso M., Gargano C., Progettare per risparmiare, in *Costruire*, dossier n.60, n.212/2001.
- Lo Sasso M., Gargano C., Progetto e tecnologia a basso impatto, in *Costruire*, dossier n.48, n.198/1999.
- Lo Sasso M., Ucci M., Green Quality, in *Modulo*, n. 288/2003.
- Losasso M., Gargano C., Progettare per risparmiare, in *Dossier n. 60 di Costruire*, n.212/2001.
- Losasso M., Gargano C., Progetto e tecnologia a basso impatto, in *Dossier n. 48 di Costruire*, n.198/1999.
- Lucchini A., La riqualificazione energetica dell'esistente, in *Modulo*, n.345/2008.
- Malighetti L., I trasformabili, in *Modulo*, n. 296/2003.
- Marengo M., Rosina E., Salerno A., Termografia infrarossa. Come valutare lo stato di conservazione degli edifici, in *Neo-EUBIOS*, n.22/2007.
- Maspoli R., Modalità di gestione innovativa per l'edilizia scolastica, in *IlProgettoSostenibile*, n.17 - 18/2008.
- Miglioli C., Manduca F., Integrazione luce naturale e luce artificiale in un ambiente scolastico, in *Luce*, n.3/2003.
- Nepoti M., Riqualificare conviene? Facciamo due conti, in *Casa&Clima*, n.16/2008.
- Olgiate C., Turri E., Raffrescare il costruito, in *Ambiente Costruito*, n.3/1999.
- Orlandi F., Strategie ecosostenibili per il recupero e la riqualificazione ambientale, edilizia, in *Quaderno 9 IAED*, 1997.

Pancaldi A., Papi A., Innovazione tecnologica per la riqualificazione energetica. Procedura integrate di acquisizione morfometrica, termografica e termoflussimetrica nella valutazione energetica, in *Paesaggio Urbano*, n.5/2008.

Paoletti I., Coordinamento totale, in *Modulo*, n. 308/2005.

Raffellini G., Secchi S., Un ottavo non basta, in *Costruire*, n.210/ 2000.

Riva G., Rossi B., L'involucro complesso, in *Ambiente Costruito*, n.4/1999.

Russo Ermolli S., Innovazione e recupero, in *Costruire*, n. 210/2000, Dossier 58.

Sinopoli N., Klimahouse 2006. Nel mondo di casaClima, in *Costruire*, n.275/2006.

Tae Han Kim, Metodologie di riqualificazione energetica, in *ilProgettoSostenibile*, n.15/2007.

Zabot S., Dall'o' G., Quanto costano gli edificio sostenibili, in *Modulo*, n.308/2005.

Olsen E.L., Chen Q., 2003, Energy consumption and comfort analysis for different low-energy cooling systems in a mild climate, in *Energy and Buildings*, n.35/2003.

Enshen L., 2005, Individuality and universality of energy efficient buildings, in *Building and Environment*, n.40/2005.

Riferimenti bibliografici sul caso studio

▪ Manuali/Libri/Saggi/Report/Atti:

AA. VV., La capitale a Roma - città e arredo urbano 1870 -1945, Roma, 1991.

AA.VV. La nuova scuola di Roma. Catalogo della Mostra di Francoforte, Arsenale Editrice 1987.

AA.VV., 1935-1985. La "Sapienza" nella Città Universitaria, Roma, 1985.

AA.VV., Trucci, trucci cavallucci... Infanzia a Roma tra Otto e Novecento, Palombi editore, Roma, 2001.

Accasto G., Fraticelli V., Nicolini R., L'architettura di Roma Capitale.1870-1970, Golem, Roma, 1971.

Amministrazione provinciale di Roma; Ordine degli architetti di Roma e provincia, Architetture per la scuola, una storia di qualità per Roma e provincia, Prospettive, Roma, 2003.

Bonavita A. (a cura di), L'Architettura delle Scuole Romane. Qualità del Patrimonio Immobiliare Ipotesi Per Progetto della Sua Valorizzazione, Palombi, Roma, 2004.

Bonelli R., Moretti, Editalia, Roma, 1975.

Borsi F. (a cura di), Arte a Roma. Dalla Capitale all'Età Umbertina, Editalia, Roma, 1980.

Calza A., Roma moderna, Treves, Milano, 1911.

Carnevale P., La vecchia e la nuova Roma, Roma, 1885.

Castagnoli F., Cecchelli C., Giovannoni G., Zocca M.(a cura di), Topografia e urbanistica di Roma, Cappelli,Bologna, 1958.

Ciucci G., De Feo V., Itinerari per Roma, Milano, 1985.

Cocchioni C. De Grassi M., La casa popolare a Roma.Trent'anni di attività dell'I.C.P., Kappa, Roma, 1984.

Comune di Roma, Assessorato Politiche Educative e Scolastiche Dipartimento 11. Assessorato Politiche Lavori Pubblici e Manutenzione Urbana Dipartimento 12., Dipartimento 9, Ai bambini piacciono le scuole... il comune le ha fatte 2001-2006, Roma, Gangemi, 2006.

Comune di Roma, Concorso internazionale di progettazione "3 nuove scuole a Roma". Esempi di scuole, documento preliminare al bando di concorso, 2004.

Comune di Roma, I Quaderni del Patrimonio immobiliare comunale, n. 2, L'architettura delle scuole romane. Qualità del patrimonio immobiliare. Ipotesi per un progetto della sua valorizzazione, Palombi Editori, Roma, 2004.

Conforto C., G. De Giorgi, A. Muntoni, M. Pazzaglini, Il dibattito architettonico in Italia 1945-1975, Bulzoni, Roma,1977.

- Cresti C., *Architettura e Fascismo*, Vallecchi, Firenze, 1985.
- De Angelis D'Ossat G., *L'architettura a Roma negli ultimi tre decenni del secolo XIX*, in *Annuario dell'Accademia di San Luca*, Roma, 1942.
- De Guttry I., *Guida di Roma Moderna dal 1870 ad oggi*, Leonardo Arte, Roma, 1989.
- De Matteis F., *Architettura in trasformazione. Problemi critici del progetto sull'esistente*, Milano, Franco Angeli, 2009.
- De Seta C., *L'architettura del Novecento*, Utet, Torino, 1981.
- Fanelli G., *L'architettura moderna in Italia, 1900-1940*, Marchi & Bertolli, Firenze, 1968.
- Fratlicelli V., *Roma 1914-1929. La città e gli architetti tra la guerra e il fascismo*, Officina, Roma, 1982.
- Galardi A., *Architettura italiana contemporanea (1955-1965)*, Comunità, Milano, 1967.
- Insolera I., *Le città nella storia d'Italia*. Roma, Laterza, Bari, 1980.
- Insolera I., *Roma moderna, un secolo di storia urbanistica. 1870-1970*, Einaudi Torino, 1962.
- Ippolito A.M., Pagnotta M., *Roma Costruita. Le vicende, le problematiche e le realizzazioni dell'architettura a Roma dal 1946 al 1981*, Fratelli Palombi, Roma, 1982.
- Kidder-Smith G.E., *Guida dell'architettura contemporanea in Europa*, Comunità, Milano, 1963.
- Kidder-Smith G.E., *L'Italia costruisce*, Comunità, Milano, 1955.
- Molledo A., La Franca R. (a cura di), *Disegni di Architetture. Schizzi di opere romane dal dopoguerra agli anni Ottanta*, Gangemi, Roma, 1995.
- Muratore G. (a cura di), *Cantieri romani del Novecento. Maestranze, materiali, imprese, architetti, nei primi anni del cemento armato*, Archivio IZZI, Roma, 1995.
- Negri E., *Caratteri generali dell'architettura in Roma da G. Valadier a E. Basile*, in *Atti del Terzo Congresso Nazionale di Studi Romani*, Roma, 1935.
- Negri E., *L'opera degli architetti in Roma nella seconda metà dell'Ottocento*, in *Atti del Quarto Congresso Nazionale di Studi Romani*, Roma, 1938.
- Piacentini M., *Le vicende edilizie di Roma dal 1870 ad Oggi*, Fratelli Palombi, Roma, 1952.
- Ponti G., *Amate l'architettura*, CUSL, Milano, 2004.
- Portoghesi P., *Roma del Rinascimento*, Electa, Milano, 1971.
- Portoghesi R., *L'Ecllettismo a Roma 1870-1922*, De Luca Editore, Roma, 1968.
- Provincia di Roma, *Inarch, 3 scuole, 50 progetti*. Maccaresse, Corviale, Acquafredda, Multigrafica, Roma, 1981.

Provincia di Roma, La provincia Capitale. Rapporto annuale sull'area romana 2006-2007, Direzione Generale- Ufficio Studi, Ricerche e Statistica, Roma, 2008.

Provincia di Roma, La provincia Capitale. Rapporto annuale sull'area romana 2006-2007, Roma, 2008.

Quaroni L., Immagine di Roma, Laterza, Bari, 1969.

Regione Lazio, Deliberazione n° 1018 del 14/12/2007, Modifica al "Piano regionale di dimensionamento delle istituzioni scolastiche". D.G.R. 30 novembre 1999, n. 5654. Modifica al "Piano regionale di dimensionamento delle istituzioni scolastiche". Pubblicato sul BUR/GU n° 7 SO del 21/02/2008.

Regione Lazio, Deliberazione n° 191 del 21/03/2008, Atto di indirizzo Regione Lazio: Programmazione della rete scolastica. Anno scolastico 2009-2010. D.G.R. n. 5654 del 30 novembre 1999 "Piano regionale di dimensionamento delle istituzioni scolastiche". Atto di indirizzo della Regione Lazio sulla Programmazione della rete scolastica. Anno scolastico 2009-2010.

Regione Lazio, DG 179 - 21 marzo 2008 - Norme per l'edilizia scolastica - Piano triennale 2007/2009 - Oggetto: Legge 11.01.1996 n. 23 - Norme per l'edilizia scolastica - Piano triennale 2007/2009 - Ratifica del Patto per la Sicurezza sottoscritto in data 20.12.2007, Reg. Cron. 9128/2008.

Regione Lazio, DG 89 - 27 febbraio 2009 -Fondo straordinario per l'edilizia scolastica, OGGETTO: Art. 52 L.R. 7.6.1999 n. 6 - Fondo straordinario per l'edilizia scolastica - Esercizi finanziari 2009-2011 - Ripartizione finanziamenti per le Amministrazioni Provinciali - Importo € 45.000.000,00 - Capitolo F16503.

Remiddi G., Bonavita A. (a cura di), Guida alle scuole del I Municipio. Il Moderno attraverso Roma n.4 anno 2005, Palombi editore, Roma,2005.

Remiddi G., Greco A., Bonavita A., Ferri P., Il moderno attraverso Roma: guida a 200 architetture e alle loro opere d'arte, Fratelli Palombi, Roma,2001.

Remiddi G., Greco A., Il moderno attraverso Roma: guida alle architetture romane di Adalberto Libera, Fratelli Palombi, Roma, 2003.

Rogers E. N., Il senso della storia. Continuità e discontinuità, UNICOPLI, Milano, 1999.

Rossi A., L'architettura della città, Marsilio, Padova, 1966.

Rossi P. O., Roma.Guida all'architettura moderna 1909-2000, Laterza, Roma-Bari, 2005.

Sacripanti M., Città di frontiera, Bulzoni editore, Roma, 1973.

Sapori F., Architettura in Roma.1901-1950, Angelo Belardetti Editore, Roma, 1953.

Sgarbi V. (a cura di), Dizionario dei monumenti italiani e dei loro autori. Roma dal Rinascimento ai giorni nostri, Milano, 1991.

Sitte C., L'arte di costruire le città, Jaca Book, Milano, 1982.

Spagnesi G., Edilizia Romana nella seconda metà del XIX secolo (1848-1905), Roma, 1974.

Strappa G., Mercurio G., Architettura Moderna a Roma e nel Lazio 1920-1945. Atlante, Roma, 1996.

Strappa G. (a cura di), Tradizione e innovazione nell'architettura di Roma Capitale 1870-1930, Roma, 1989.

Toschi L., Edilizia economica e popolare nello sviluppo urbanistico di Roma moderna (1870-1903), Roma, 1983.

Vannelli V., Economia dell'Architettura in Roma Fascista, Roma, 1981.

Vannelli V., Economia dell'Architettura in Roma Liberale, Roma, 1979.

Venturi R., Complexity and contradiction in architecture, New York, 1966.

Zacheo M.I., L'architettura del Ventennio a Roma, Roma 1990.

Zocca M. (a cura di), Roma Capitale d'Italia, in Istituto Studi Romani, Topografia e Urbanistica di Roma, Bologna, 1958.

▪ Articoli e numeri monografici di riviste:

AA.VV., Il Novecento e l'architettura, in Edilizia Moderna, n. 81/1963

AA.VV., in Casabella, n. 279/1963.

AA.VV., in Costruire, n. 52/1969.

AA.VV., in L'architettura, n. 22/1957.

AA.VV., in L'architettura, n. 26/1957.

AA.VV., in L'architettura, n. 69/1961.

Caniggia G., Il clima architettonico romano e la città universitaria, in LA CASA, n.6/1959.

Gatti A., Edilizia scolastica e pianificazione, in Casabella Continuità, n. 224 - 2/1959.

Maldonado T., Roma : le periferie, in Casabella, n.438/1978.

Marcialis G., La crescita di Roma : contraddizioni e politiche, in Casabella, n.438/1978.

Portoghesi P., La vicenda romana, in La Casa, n. 6/1959.

Regni B., Sennato M., L'architettura del novecento e la "scuola romana" in rassegna dell'istituto di architettura e urbanistica, n. 40-41/1978.

Volpicelli L., I primi anni della scuola a Roma dopo il 1870, Ricostruire la scuola, Dossier in Capitolium, n. 5/2004.

www.a21italy.it	www.artenergy.it
www.adiconsum.it	www.arup.com
www.advancedbuildings.org	www.ascomac.it
www.agenda21.it	www.ashrae.org
www.agenziacasaclima.it	www.aspoitalia.it
www.aicarr.it	www.associazionedocenti.it
www.aicc.it	www.autorita.energia.it
www.aipe.it	www.bdp.it
www.aippeg.it	www.bestresult-iee.com
www.ambientediritto.it	www.betterbricks.com
www.ambienteitalia.it	www.bioarchitettura.org
www.anab.it	www.books.google.it
www.anit.it	www.bre.co.uk
www.annex36.com	www.breeam.org
www.anpae.it	www.brianzaplastica.it
www.anpe.it	www.brita-in-pubs.com
www.ansa.it/ecoenergia/index.shtml	www.buffalo.edu
www.apat.gov.it	www.buildup.eu
www.aper.it	www.campagnaseeitalia.it
www.apme.org	www.carbontrust.org.uk
www.area-arch.it	www.casaclima.it
www.arpab.it	www.casaclimasudtirol.it

www.casarinnovabile.it
www.cede.it
www.celenit.it
www.cepheus.de
www.chps.net
www.circoloinnovazione.it
www.cittasostenibili.minori.it
www.climawatt.it
www.cnr.it
www.comune.roma.it
www.comunirinnovabili.it
www.costruireabitaresano.it
www.cremonesiconsulenze.it
www.dena.de
www.docet.itc.cnr.it
www.domotecnica.it
www.dpuu.it
www.dsireusa.org
www.ec.europa.eu
www.ec.europa.eu
www.ec.europa.eu/energy/intelligent/index_en.html
www.ec.europa.eu/life
www.ecbcs.org/annexes/annex05.htm
www.ecbcs.org/annexes/annex36.htm
www.ecbcs.org/annexes/annex38.htm
www.ecbcs.org/annexes/annex39.htm
www.ecbcs.org/annexes/annex40.htm
www.ecbcs.org/annexes/annex42.htm
www.ecbcs.org/annexes/annex45.htm
www.ecbcs.org/annexes/annex46.htm
www.ecbcs.org/annexes/annex47.htm
www.ecbcs.org/annexes/annex48.htm
www.ecbcs.org/annexes/annex49.htm
www.ecbcs.org/annexes/annex50.htm
www.ecoage.it
www.ecoazioni.it
www.eco-bau.ch
www.econhome.net
www.ectp.org
www.edilclima.it
www.edilio.it
www.edilportale.com
www.edilportale.com
www.edscuola.com
www.eere.energy.gov/buildings/energysmartschools/
www.eere.energy.gov/buildings/energysmartschools/financing_guide.html
www.efficienzaenergetica.acs.enea.it
www.en.eun.org/eun.org2/eun/en/index.html
www.enea.it
www.enel.it
www.enelgreenpower.it
www.enerbuilding.eu
www.enerbuilding.eu

www.enercat.it

www.energaclub.it

www.energistyrelsen.dk

www.energoclub.it

www.energy-advice.org

www.energysmartschools.gov

www.energystar.gov/schools

www.eni.it

www.enob.info

www.eota.be

www.epsass.it

www.escansa.com

www.estif.org

www.eu-greenlight.org

www.eumeps.org

www.euribor.it

www.eurima.org

www.euroace.org

www.euroserv-er.org

www.europa.eu.int/comm/publications

www.europaconcorsi.it

www.european-energy-award.org

www.european-energymanager.net

www.eurydice.org

www.federcasa.it

www.finstral.it

www.fire-italia.it

www.fivra.it

www.fonti-rinnovabili.it

www.froma11.it

www.geotermia.it

www.gostner.it/it/referenzen/holzbau.html

www.ArupAssociates.com/DrukWhiteLotusSchool/home.htm

www.governo.it

www.greatnotley.com

www.greenbuilder.com

www.greenbuilding.ca

www.greenbuildingbook.com

www.gse.it

www.gsel.it

www.handylex.org

www.hausderzukunft.at

www.icram.org

www.iea-shc.org

www.iisbe.org

www.ilportaledelsole.it

www.ilsole24ore.it

www.ilsolea360gradi.it

www.infobuild.it

www.infrastrutturetrasporti.it

www.inies.fr/

www.innovativedesign.net

www.intemorm.it

www.inu.it

www.ips.it/scuola/home.html

www.isesitalia.it
www.isopack.it
www.isover.it
www.istruzione.it
www.itaca.org
www.itaca.org
www.italia.gov.it
www.italiafutura.it
www.itc.cnr.it
www.kme.it
www.Kyotoclub.it
www.kyotoinhome.info
www.legambientescuolaformazione.it
www.managenergy.net
www.mercatoelettrico.org
www.metra.it
www.minergie.ch
www.miniambiente.it
www.miniwatt.it
www.mygreenbuildings.org
www.naturemade.ch
www.ncef.org
www.novatlantis.ch
www.nrel.gov
www.oecd.org
www.onuitaha.it
www.parlamento.it
www.passiv.de
www.passivhaustagung.de
www.piccolirisparmiatoridienergia.it
www.provincia.bz.it
www.provincia.roma.it
www.pubblica.istruzione.it
www.pv-t.org
www.qualenergia.it
www.qualitaedilizia.it
www.quipo.it/internetscuola/home.html
www.quotidianoenergia.it
www.rdb.it
www.resinbuil.com
www.riqualficazioneenergetica.info
www.risparmioenergetico-roma.it
www.rockwool.it
www.rofix.it
www.rt2000.net
www.rt2000.net
www.rt-batiment.fr
www.saie.bolognafiere.it
www.schueco.com
www.sicet.it
www.sistemifatavoltaici.it
www.sql.com
www.stadt-zuerich.ch
www.studenti.it
www.sustainable-cities.org

www.sustainabledesignguide.umn.edu.

www.sustenergy.org

www.sviluppoeconomico.gov.it

www.terna.it

www.to.archiworld.it

www.topten.ch

www.topten.info

www.tuttoconsumatori.it

www.ueonline.it

www.unep.org

www.unesco.org

www.unhabitat.org

www.unicef.org

www.usgbc.org

www.valutazione.it

www.wikipedia.org

www.worldarchitecturenews.com

www.wwf.org

