

Dipartimento DATA
Design Tecnologia dell'Architettura Territorio e Ambiente
Tesi di dottorato in
Progettazione Ambientale
Coordinatore: Prof. Eliana Cangelli
XXIII Ciclo

Tall Building.
Infrastrutture verticali per il riequilibrio energetico
dell'ambiente urbano.

Tall Buildings. 'Vertical facilities' for the energy balance of
the urban habitat

Dottorando: Lukia Fais
Tutor: Prof. Eliana Cangelli

Abstract



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

The Thesis has the general aim to inquire on tall buildings in relation to the quest for a more sustainable future, by going through research on their potential capability to produce energy from renewable sources.

The final result is a systematic framework of tall buildings morphological and functional features related to building and renewable energy sources systems, and identifies critical elements and design variables as well, usefull for comparing tall buildings with targets such as Net Zero Energy Building and Plus Energy Building.

The thesis is divided into three thematic areas. First of all, it investigates the tall buildings' embodied and operational energy, by going through the most up-to-date literature and post occupancy evaluation data. The specific aim is to identify innovatory architectural strategies aimed at enhancing the energy efficiency of tall buildings. The second part of the research looks into the potential that tall buildings have of generating power from renewable sources. On the basis of an analysis of the technologies for generating power from renewable energy sources, the criticalities and the potential of each system implemented in tall buildings have been highlighted, focusing on the key issues of integration, maintenance and safety. Finally, a targeted selection of case studies, both built and experimental designs, are aimed to outline the state of the art, in terms of the implementation of renewable energy generation systems in tall buildings.

Inquadramento scientifico e risultati

L'edificio alto, in ragione delle sue caratteristiche tipo-morfologiche, presenta un potenziale rilevante in termini di riequilibrio energetico urbano. Dalle fondamenta fino alla cima che si staglia ben visibile nello *skyline* urbano, ha l'opportunità, se adeguatamente progettato, di sfruttare in misura maggiore rispetto agli edifici *low-* e *mid-rise* le condizioni climatiche specifiche che caratterizzano l'ambiente urbano, per produrre energia da fonti rinnovabili. Da questo punto di vista, la sperimentazione architettonica è ancora agli esordi.

Allo stato dell'arte, il numero di *net zero energy tall building* realizzati è estremamente limitato e, in assenza di valutazioni riguardanti la fase di esercizio, il termine *net zero* rimane tuttora mera aspirazione di una committenza sensibile alle questioni ambientali e desiderosa di associare la propria immagine ad un impegno nei confronti di una maggiore sostenibilità. Nei progetti che rappresentano lo scenario visionario, si è riscontrata l'ambizione di andare oltre il livello *net zero energy*, sia attraverso l'implementazione massiccia di un'unica tecnologia, sia per mezzo dell'applicazione integrata di più tecnologie. L'analisi condotta sulle tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili, che ha preso in considerazione i sistemi consolidati, emergenti e innovativi, ha avvalorato il potenziale dell'edificio alto quale struttura ad energia positiva, in quanto si è riscontrato un significativo divario tra i prodotti disponibili e quelli applicati. E' altresì affiorata la potenzialità dell'edificio alto quale dispositivo per il riequilibrio della densità urbana, nel suo duplice valore quantitativo e qualitativo; ove quest'ultimo scaturisce dalla varietà della densità e dalla varietà della destinazione d'uso. In sostanza, l'edificio alto ha la capacità di concentrare in uno spazio ristretto una notevole quantità di risorse e di attività umane e, se tempestivamente inserito nelle politiche di pianificazione urbana e adeguatamente contestualizzato, può diventare uno strumento risolutivo. Grazie a tali qualità implicite e in quanto sempre più connotato da finalità di *marketing* urbano, in qualità di tipologia edilizia accentratrice in senso comunicativo, tecnologico ed economico, il *tall building* riveste un ruolo di propulsore nei processi di riqualificazione e trasformazione.

Il nucleo centrale della ricerca, al fine di indagare sulle potenzialità dell'edificio alto di produrre energia in quantità superiore al suo stesso fabbisogno energetico, è costituito dall'analisi delle tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili.

Attraverso l'esame della letteratura più aggiornata, tali sistemi sono analizzati sulla base dei fondamenti delle singole tecnologie, dei principi di conversione e dei loro componenti; vengono poi selezionati secondo criteri di integrabilità, analizzati i loro sistemi in termini di progettazione ed, infine, valutati in relazione alla loro applicabilità nei *tall building*. La fase valutativa prende in considerazione la maturità tecnica e la producibilità del sistema, le peculiarità legate alla

manutenzione e alla sicurezza degli impianti, gli impatti locali ed esterni e si conclude con una sintesi, che fa da supporto ai fini della selezione dei prodotti che vengono ulteriormente approfonditi.

Gli esiti della ricerca si propongono di costituire un compendio informativo critico e strutturato che consente di valutare limiti e potenzialità di applicazione dei diversi sistemi di produzione di energia da fonti rinnovabili ad edifici a sviluppo verticale, al fine di renderli edifici a energia positiva. Ulteriore risultato della ricerca, è un repertorio critico di progetti, anche altamente sperimentali, in cui la teoria del *plus energy building* viene applicata e costituiscono un utile strumento di supporto alla progettazione.

Abstract e struttura della tesi.

La tesi è articolata in tre ambiti. Il primo ha il fine di delineare potenziali ruoli chiave dell'edificio alto all'interno del mutevole tessuto urbano, luogo di massima potenzialità in termini di cambiamento e di massima fragilità ambientale, economica e sociale. Il secondo è inteso a tracciare la configurazione dell'edificio alto in termini di fabbisogno energetico. Indaga sull'energia incorporata nella fase di costruzione dell'edificio alto e sull'energia consumata durante la fase di esercizio, entrambi argomenti altamente controversi. La terza parte affronta l'analisi delle tecnologie di produzioni di energia da fonti rinnovabili al fine di individuare le configurazioni più vantaggiose in termini di applicabilità nei *tall building*.

***Tall building* e la città contemporanea.**

Vengono affrontate le problematiche della città relative al fenomeno di inurbamento ed espone brevemente le sfide che la città contemporanea si trova ad affrontare dal punto di vista della sostenibilità, nonché il valore del sistema decentralizzato per l'approvvigionamento energetico urbano fondato sulle energie rinnovabili. Infine, attraverso un'attenta analisi del rapporto dell'Agenzia Internazionale per l'Energia "*Cities, Towns and Renewable Energy*", vengono individuate le tecnologie potenzialmente applicabili in modo vantaggioso alla tipologia dell'edificio alto.

***Tall building* e fabbisogno energetico.**

In primis viene affrontata la tematica dell'energia incorporata, nell'ottica di una possibile valutazione dell'altezza quale sua variabile. Da tale valutazione emerge che la densità è un parametro da prendere in considerazione in questo contesto, inserendo nel calcolo anche l'energia incorporata delle infrastrutture necessarie per le due diverse condizioni di sviluppo (orizzontale e verticale), e rapportando poi il risultato alla densità stessa, ovvero il numero di

persone che usufruiscono dell'insediamento. Pertanto, si ritiene che tale ambito richieda ulteriori approfondimenti, onde verificare in seno a quale configurazione urbana l'energia incorporata di un edificio alto equivalga o sia eventualmente inferiore ad uno sviluppo *mid-* o *low-rise*.

In secondo luogo, si analizza il fabbisogno energetico in fase di esercizio, con l'intento di delineare le principali caratteristiche morfologico-funzionali dell'edificio alto a contenuto fabbisogno energetico. Vengono individuate le categorie dei consumi, i parametri che li condizionano e gli ambiti delle strategie d'intervento per il loro contenimento. Un paragrafo è dedicato alla descrizione del microclima urbano e le relative variazioni a seconda delle diverse altezze. Infine, la configurazione dell'edificio viene illustrata attraverso gli elementi salienti individuati nei casi studio. In sintesi, il manufatto si modella secondo le caratteristiche climatiche del luogo in cui si inserisce e si compone di uno o più corpi che tengono conto, in senso planimetrico e altimetrico, delle condizioni ottimali per l'illuminazione naturale. Una quantità considerevole del riscaldamento e raffrescamento e la quasi totalità del ricambio dell'aria sono affidati a dispositivi tecno-morfologici, (con una prevalenza di atri bioclimatici), ed anche a sofisticati sistemi applicati all'involucro. Nei sistemi per il condizionamento artificiale (HVAC) si attua una decentralizzazione di determinati componenti, contribuendo così, grazie anche alla possibilità di collaborare con i sistemi passivi, alla riduzione del fabbisogno energetico per HVAC. Inoltre, l'edificio si caratterizza per un'articolazione settoriale che concorre all'efficienza dei sistemi tecno-morfologici e dell'involucro attivo. Il contributo dell'articolazione settoriale diventa più rilevante ove messo in relazione ad un adeguato mix di destinazione funzionale, mix che consente di creare un equilibrio ottimale in termini di consumi e riciclo dell'energia termica.

***Tall building* e produzione di energia da fonti rinnovabili.**

Solare fotovoltaico

L'analisi delle celle fotovoltaiche, dopo una descrizione generale del loro funzionamento, è articolata a seconda delle tecnologie di fabbricazione. Per le singole tipologie vengono illustrate la percentuale di efficienza, le condizioni di irraggiamento per il loro funzionamento e viene effettuata una prima valutazione in termini morfologici. L'analisi del progetto del sistema avviene per due configurazioni, ovvero quella del sistema tradizionale e quella dei sistemi a concentrazione e con moltiplicatori solari. Si è resa necessaria una descrizione alquanto esaustiva dei sistemi a concentrazione, allo scopo di effettuare valutazione in termini di efficienza e applicabilità nei *tall building*. Per tale motivo, sono stati illustrati i svariati dispositivi ottici, le modalità dell'inseguimento solare e i prodotti innovativi.

Dalla valutazione dell'applicabilità, emerge la potenzialità dei sistemi a concentrazione di raggiungere efficienze superiori del 50% rispetto al sistema tradizionale, l'affidabilità per consolidamento tecnologico di quest'ultimo, le criticità dei sistemi a concentrazione con specchi e l'assenza di impatti locali attribuibili al funzionamento di entrambe le tipologie d'impianto. Le schede di approfondimento riguardano sia prodotti con alto valore di efficienza a discapito delle qualità morfologiche che l'inverso, oltre ad alcuni prodotti innovativi.

Solare termico a bassa temperatura

La descrizione del collettore solare piano costituisce la base per procedere con l'analisi delle diverse tipologie dei collettori e del confronto dei relativi valori e condizioni di efficienza. In seguito viene individuata la configurazione ottimale dell'impianto in relazione al suo utilizzo finale, per proseguire quindi con l'approfondimento del sistema combinato destinato al condizionamento degli ambienti (riscaldamento e raffreddamento) e alla produzione di acqua calda sanitaria.

Dalla valutazione di applicabilità emerge la superiorità in termini di efficienza dei collettori con tubi sottovuoto, l'affidabilità dell'impianto combinato e l'assenza di impatti locali dovuti al suo funzionamento. Le schede di approfondimento si riferiscono sia a prodotti consolidati che a prodotti innovativi.

Solare termodinamico

Attraverso considerazioni di natura morfologica, vengono individuate due delle quattro tipologie del solare termodinamico potenzialmente installabili nell'edificio alto e vengono in seguito analizzate in relazione ai componenti ed alle peculiarità tecnologiche e morfologiche del sistema.

Dalla valutazione di applicabilità emerge la superiorità in termini di producibilità dell'impianto e di maturità tecnica dei collettori lineari parabolici, ma anche la criticità della manutenzione. D'altro canto, è emerso che i collettori lineari Fresnel sfruttano meglio la superficie disponibile ma presentano un rischio tecnico in quanto sono tuttora in fase sperimentale. Infine, in termini di impatto locale, quello visivo delle parabole lineari è decisamente superiore rispetto ai collettori Fresnel. Entrambe le tipologie sono state approfondite attraverso le schede di valutazione.

Eolico

L'analisi del principio fisico del funzionamento di un rotore eolico, è la base per la comprensione delle due tipologie di rotore distinguibili a seconda della posizione dell'asse di rotazione. Tale classificazione delinea l'analisi del progetto del sistema eolico. Un'ulteriore classificazione

individuata si riferisce all'eventuale accelerazione del vento che viene a contatto con l'edificio prima di raggiungere il rotore, creando così un impianto "eolico a concentrazione".

Dalla valutazione di applicabilità emerge che la producibilità dei rotori ad asse orizzontale è nettamente superiore rispetto a quelli ad asse verticale, ma con un limite attribuibile all'esigenza di un ristretto angolo di direzione del vento, oltre ad un impatto acustico e visivo non trascurabile. Entrambe le tipologie di rotori si prestano per un sistema a concentrazione, ma quelli ad asse verticale, poiché sono in grado di sfruttare il vento proveniente da tutte le direzioni oltre che le turbolenze, risultano più adeguati per una siffatta applicazione e per una loro collocazione in generale nell'ambiente costruito.

Geotermia

Il sistema che presenta la configurazione ottimale per l'utilizzo della fonte geotermica nell'edificio alto è rappresentato dall'impianto a bassa entalpia con pompa di calore e sonde verticali a circuito chiuso e viene in questo capitolo analizzato nei singoli componenti.

Dalla valutazione di applicabilità e dall'approfondimento attraverso la scheda di valutazione, si evince un comportamento eccellente per tutti gli ambiti.

Biomasse

Al fine di individuare, secondo il concetto di filiera, le biomasse potenzialmente idonee ad un impianto da installare in un edificio alto, le biomasse vengono classificate a seconda della provenienza e messe in relazione con i processi di conversione. In conclusione emerge che, ad eccezione della destinazione a *vertical farm*, l'edificio alto si potrebbe prestare bene per la coltivazione di alghe in bioreattori per la produzione di biomassa. Viene evidenziato il limite di questo processo, riscontrabile nell'elevata quantità di CO₂ necessaria per la coltivazione e le possibili soluzioni.

Celle a combustibile

Dalla classificazione delle diverse tipologie di celle e dal confronto in termini di applicazioni e rendimento elettrico, si evince che la tipologia più idonea è rappresentata dalle celle a elettrolita polimerico, alimentate da idrogeno.

Dalla valutazione di applicabilità del sistema costituito da celle polimeriche alimentate da idrogeno emerge l'altissimo valore di efficienza e il vantaggio indiretto di questa tecnologia applicata negli edifici alti, ovvero la possibilità di utilizzare l'energia prodotta da fonti rinnovabili, per effettuare il processo di elettrolisi dell'idrogeno che viene immagazzinato per essere adoperato in un secondo momento come combustibile per le celle.

Tall Building. Infrastrutture verticali per il riequilibrio energetico dell'ambiente urbano.

Introduzione

Tall Building e la città contemporanea

1.	Definizione dell'edificio alto	1
2.	La città contemporanea	2
2.1.	Crescita demografica e crescita urbana: stato dell'arte e tendenze in atto	2
2.2.	Dinamiche di crescita urbana: <i>urban sprawl</i> e metropolizzazione	4
2.3.	L'insostenibilità del modello attuale	4
2.4.	Le sfide della città che cresce	5
3.	La città sostenibile e il ruolo dei <i>tall building</i>	5
4.	Energia rinnovabile in ambito urbano e il ruolo dei <i>tall building</i>	7
	Bibliografia	13

Tall Building e fabbisogno energetico

1.	L'altezza come parametro dell'energia incorporata	14
1.1.	Definizione dell'energia incorporata	14
1.2.	Metodologie di valutazione	14
1.3.	Studi e ricerche di riferimento	15
1.4.	Strategie per il contenimento dell'energia incorporata	18
	Bibliografia	19
2.	Analisi del fabbisogno energetico dell'edificio alto in fase di esercizio	20
2.1.	Individuazione dei consumi energetici nei <i>Tall Building</i>	20
2.2.	Individuazione dei parametri che condizionano i consumi energetici nei <i>Tall Building</i>	24
2.3.	Individuazione delle strategie per il contenimento energetico nei <i>Tall Building</i>	26
	2.3.1. Individuazione dell'ambito climatico / 2.3.2 Il microclima nell'ambito urbano e le variazioni in relazione all'altezza / 2.3.3. Principi bioclimatici / 2.3.4. Articolazione morfologico-funzionale/ 2.3.5. Progresso tecnologico	
2.4.	Configurazione di un edificio alto a contenuto fabbisogno energetico.	36
	Bibliografia	39

Casi studio

1. Scenario attuale.	40
2. Scenario sperimentale	60
Bibliografia	80

Tall Building e produzione di energia da fonti rinnovabili

1. Introduzione	85
2. Solare Fotovoltaico	
2.1. Fondamenti della tecnologia del solare fotovoltaico	86
2.1.1. Introduzione / 2.1.2. Funzionamento e principio fisico / 2.1.3. Coefficienti e parametri / 2.1.4. Classificazione in funzione delle tecnologie di fabbricazione / 2.1.5. Sintesi: confronto tra celle con diverse tecnologie di fabbricazione	
2.2. Solare fotovoltaico e progetto del sistema	101
2.2.1. Classificazione in relazione al rapporto tra superficie FV e rendimento del sistema / 2.2.2. Componenti del sistema grid connected / 2.2.3. Collocazione per l'ottimizzazione della captazione / 2.2.4. Funzionamento, componenti e aspetti morfologici del campo fotovoltaico tradizionale con flat-panel e superfici thin-film / 2.2.5. Funzionamento, componenti e aspetti morfologici dei sistemi con moltiplicatori solari / 2.2.6. Funzionamento, componenti e aspetti morfologici dei sistemi a concentrazione / 2.2.7. Sistemi a bassa concentrazione/ 2.2.8. Sistemi a media concentrazione / 2.2.9. Sistemi ad alta concentrazione	
2.3. Tall building, valutazione di applicabilità	117
2.3.1. Efficienza dei moduli fotovoltaici e producibilità del sistema / 2.3.2. Manutenzione degli impianti fotovoltaici / 2.3.3. Maturità tecnica delle tecnologie fotovoltaiche / 2.3.4. Sicurezza degli impianti fotovoltaici / 2.3.5. Impatti locali / 2.3.6. Impatti esterni / 2.3.7. Sintesi / 2.3.8. Schede di valutazione di pannelli selezionati	
Bibliografia	136
3. Solare termico	
3.1. Fondamenti della tecnologia del solare termico a bassa temperatura	137
3.1.1. Introduzione / 3.1.2. Funzionamento e principio fisico / 3.1.3. Collettore solare e i suoi componenti / 3.1.4. Coefficienti e parametri / 3.1.5. Classificazione delle tecnologie dei collettori / 3.1.6. Efficienze a confronto / 3.1.7. Classificazione e componenti dei sistemi in relazione all'utilizzo finale / 3.1.8. Classificazione degli impianti in funzione della movimentazione del fluido termovettore	
3.2. Solare termico a bassa temperatura e progetto del sistema	144
3.2.1. Considerazioni sull'utilizzo finale dell'impianto / 3.2.2. Funzionamento, componenti e aspetti morfologici del sistema solare per condizionamento e produzione di acqua calda sanitaria	

3.3.	<i>Tall building</i> , valutazione di applicabilità	148
	3.3.1. Efficienza del campo solare e producibilità del sistema / 3.3.2. Manutenzione del solare termico / 3.3.3. Maturità tecnica della tecnologia del solare termico / 3.3.4. Sicurezza dell'impianto / 3.3.5. Impatti locali / 3.3.6. Impatti esterni / 3.3.7. Sintesi / 3.3.8. Schede di valutazione di collettori selezionati	
	Bibliografia	160
4.	Solare termodinamico	
4.1.	Fondamenti della tecnologia del solare termodinamico	161
	4.1.1. Introduzione / 4.1.2. Funzionamento e principio fisico / 4.1.3. Componenti di un sistema solare a concentrazione / 4.1.4. Coefficienti e parametri / 4.1.5. Classificazione delle tecnologie campo solare	
4.2.	Solare termodinamico e progetto del sistema	165
	4.2.1. Considerazioni introduttive / 4.2.2. Funzionamento, componenti e aspetti morfologici dei sistemi a collettore parabolico lineare / 4.2.3. Funzionamento, componenti e aspetti morfologici dei sistemi a collettori lineari Fresnel	
4.3.	<i>Tall building</i> , valutazione di applicabilità	169
	4.3.1. Efficienza dei componenti e producibilità del sistema / 4.3.2. Manutenzione dei sistemi a collettori lineari parabolici e Fresnel / 4.3.3. Maturità tecnica dei sistemi a collettori lineari parabolici e Fresnel / 4.3.4. Sicurezza degli impianti / 4.3.5. Impatti locali / 4.3.6. Impatti esterni / 4.3.7. Sintesi / 4.3.8. Schede di valutazione di collettori selezionati	
	Bibliografia	177
5.	Eolico	
5.1.	Fondamenti della tecnologia eolica	178
	5.1.1. Introduzione / 5.1.2. Funzionamento e principio fisico / 5.1.3. Coefficienti e parametri / 5.1.4. Classificazione in funzione alla taglia di potenza / 5.1.5. Classificazione in funzione della posizione dell'asse di rotazione potenza / 5.1.6. Classificazione in funzione alla modalità di rotazione del rotore	
5.2.	Eolico e progetto del sistema	183
	5.2.1. Classificazione in relazione al flusso del vento / 5.2.2. Funzionamento, componenti e aspetti morfologici degli aerogeneratori ad asse orizzontale sotto l'azione del vento "libero" / 5.2.3. Funzionamento, componenti e aspetti morfologici degli aerogeneratori ad asse verticale sotto l'azione del vento "libero" / 5.2.4. Funzionamento, componenti e aspetti morfologici degli aerogeneratori ad asse orizzontale e verticale sotto l'azione del vento "gestito" / 5.2.5. Sistemi innovativi	
5.3.	<i>Tall building</i> , valutazione di applicabilità	192
	5.3.1. Efficienza dell'aerogeneratore e producibilità del sistema / 5.3.2. Manutenzione degli aerogeneratori / 5.3.3. Maturità tecnica della tecnologia eolica / 5.3.4. Sicurezza degli	

	impianti eolici / 5.3.5. Impatti locali / 5.3.6. Impatti esterni / 5.3.7. Sintesi / 5.3.8. Schede di valutazione di rotori selezionati	
	Bibliografia	207
6.	Produzione di energia da fonte geotermica	
6.1.	Fondamenti delle tecnologie per la produzione di energia da fonte geotermica	208
	6.1.1. Introduzione / 6.1.2. Funzionamento e principio fisico / 6.1.3. Tecnologie di conversione della fonte geotermica	
6.2.	Impianti geotermici a bassa entalpia con pompa di calore e tubazioni a circuito chiuso	211
	6.2.1. Funzionamento dell'impianto / 6.2.2. Classificazione in relazione alla disposizione delle tubazioni	
6.3.	Impianto a pompa di calore geotermica con sonde verticali, per il condizionamento degli ambienti e la produzione di acqua calda sanitaria. Progetto del sistema.	212
	6.3.1. Componenti / 6.3.2. Aspetti morfologici e funzionali dei componenti	
6.4.	<i>Tall building</i> , valutazione di applicabilità	215
	6.4.1. Efficienza del campo geotermico a sonde verticali e producibilità del sistema / 6.4.2. Manutenzione dell'impianto / 6.4.3. Maturità tecnica / 6.4.4. Sicurezza dell'impianto / 6.4.5. Impatti locali / 6.4.6. Impatti esterni / 6.4.7. Sintesi / 6.4.8. Scheda di valutazione dell'impianto	
	Bibliografia	220
7.	Produzione di energia da biomasse	
7.1.	Fondamenti delle tecnologie per la produzione di energia da biomasse	221
	7.1.1. Definizione delle biomasse / 7.1.2. Funzionamento e principio fisico / 7.1.3. Componenti / 7.1.4. Classificazione delle biomasse per provenienza / 7.1.5. Tecnologie di conversione delle biomasse	
7.2.	Impianti di conversione delle biomasse nel contesto urbano	224
	7.2.1. Considerazioni introduttive / 7.2.2. Quali biomasse per il contesto urbano?/ 5.2.3. L'edificio alto quale bioreattore di alghe	
	Bibliografia	228
8.	Celle a combustibile	
8.1.	Fondamenti della tecnologia delle celle a combustibile	229

8.1.1. Funzionamento e componenti / 8.1.2. Classificazione per aree di applicazione / 8.1.3. Classificazione dei combustibili / 8.1.4. Classificazione per tipo di elettrolita / 8.1.5. Sintesi della classificazione	
8.2. Celle a elettrolita polimerico (PEFC) alimentate a idrogeno prodotto attraverso un processo di elettrolisi che utilizza energia proveniente da fonti rinnovabili. Progetto del sistema	234
8.3. <i>Tall building</i> , valutazione di applicabilità	235
8.3.1. Producibilità del sistema / 8.3.2. Manutenzione / 8.3.3. Maturità tecnica della tecnologia / 8.3.4. Sicurezza dell'impianto / 8.3.5. Impatti locali / 8.3.6. Impatti esterni / 8.3.7. Sintesi	
Bibliografia	237
Conclusioni	
1. Revisione critica dei sistemi per la produzione di energia da fonti rinnovabili nei <i>tall building</i> e considerazioni per un' applicazione integrata.	238
2. Considerazioni finali	242