



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

# FLORE

## Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

### **Integrazione dei sistemi fotovoltaici negli edifici**

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

*Original Citation:*

Integrazione dei sistemi fotovoltaici negli edifici / L.Ceccherini Nelli. - STAMPA. - (2002), pp. 292-301.

*Availability:*

This version is available at: 2158/781164 since:

*Publisher:*

Alinea

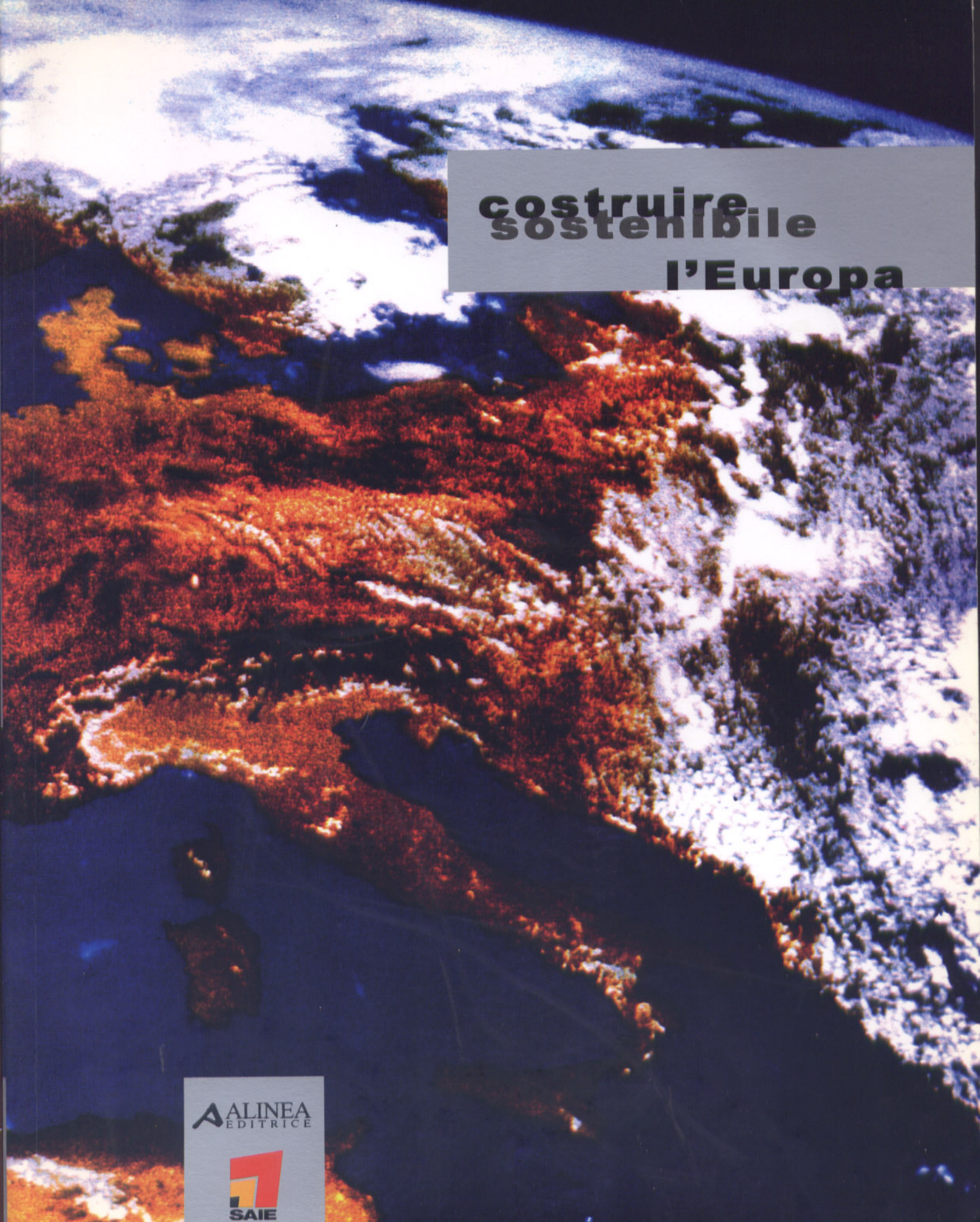
*Terms of use:*

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

*Publisher copyright claim:*

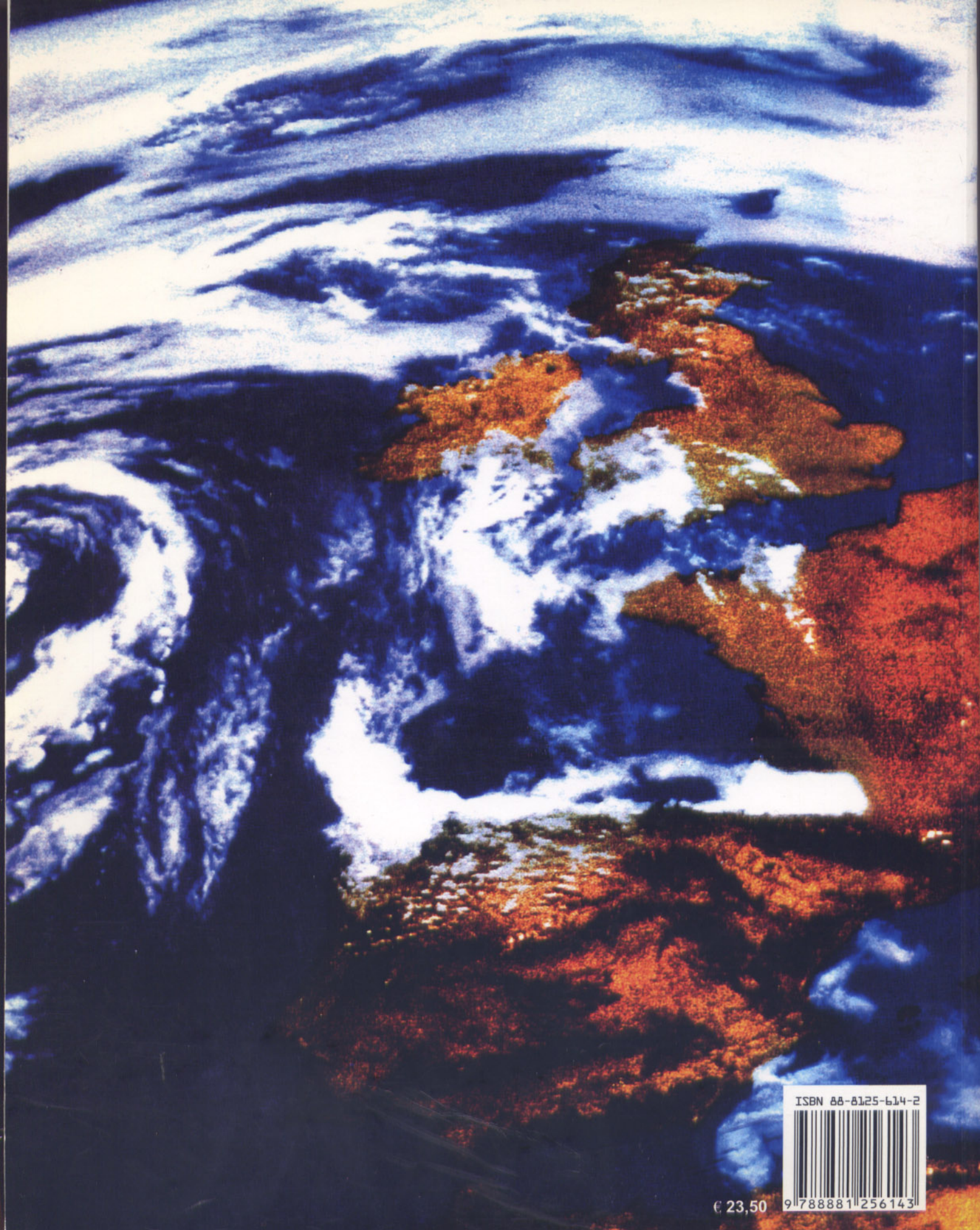
(Article begins on next page)



**costruire  
sostenibile  
l'Europa**

**A**ALINEA  
EDITRICE





ISBN 88-8125-614-2



€ 23,50 9 788881 256143

SOMMARIO

- 8 **Presentazione**  
Carlo Monti  
Riccardo Roda
  
- verso politiche urbane sostenibili**
  
- 18 **Introduzione**  
Carlo Monti  
Riccardo Roda
  
- 20 **Prove di sostenibilità nella pianificazione del territorio**  
Attilia Peano
  
- 32 **Obiettivi e strumenti di politica urbana**  
Gaetano Fontana
  
- 42 **Ricostruzione sostenibile della città. Ristrutturazione innovativa di quartieri storici in sette città europee**  
Eike Münke
  
- 50 **HQE<sup>2</sup>R: un progetto europeo sul recupero sostenibile di quartieri urbani**  
Antonella Grossi
  
- 58 **Abitare sostenibile in cooperativa: il progetto europeo 5° Programma Quadro SHE - Sustainable Housing in Europe**  
Roberto Ballarotto  
Francesco Marinelli
  
- 66 **Il progetto di un modello ambientale: le città Brundtland**  
Adolfo F. L. Baratta
  
- 74 **Il progetto europeo CEPHEUS: il settore abitativo in marcia verso il Fattore 4**  
Alain Lusardi
  
- 80 **Le politiche ecologiche della città di Friburgo**  
Ernesto Antonini  
Valeria Tatano
  
- 86 **Energie rinnovabili per l'isola di Gozo (Malta)**  
Giampiero Cuppini
  
- 90 **Sostenibilità urbana del nuovo Piano Generale di Lleida**  
Guido Ronzani  
Federica Boselli
  
- 100 **Pianificazione moderna del traffico: quale direzione?**  
Willi Hüsler
  
- 108 **Zurigo: trasporti e sviluppo sostenibile di un'area metropolitana**  
Francesco Re
  
- 116 **Vulnerabilità delle infrastrutture (un nuovo lemma nel glossario del costruire compatibile)**  
Carlo Niccolai
  
- 122 **Sostenibilità: USA/Europa**  
Marcello Grisotti
  
- nuove prospettive per la progettazione edilizia**
  
- 134 **Introduzione**  
Renato Cervini  
Adolfo Cesare Dell'Acqua
  
- 138 **Complessità funzionale ed ecosostenibilità in strutture edilizie specialistiche**  
Adolfo Cesare Dell'Acqua  
Annarita Ferrante
  
- 148 **Vienna: una residenza ecologicamente sostenibile**  
Renato Cervini  
Carla Chiarantoni
  
- 156 **Graz: rilettura in chiave organica della residenza**  
Renato Cervini  
Carla Chiarantoni
  
- 162 **Il controllo ambientale si fa immagine architettonica**  
Pietromaria Davoli
  
- 172 **Un nuovo quartiere residenziale a Malmö, Svezia: BO.01 esposizione europea dell'abitare**  
Stefano Farneti
  
- 178 **I complessi Novy Smichov e Zlaty Andel a Praga 5**

Anna Barozzi

- 186 **Esperienze di edilizia residenziale sostenibile in Olanda**  
Clara Masotti

- 196 **Civiltà ecologica**  
Marcello Grisotti

- 202 **L'Università sostenibile: il caso Nottingham**  
Renato Cervini  
Carla Chiarantoni

- 210 **Ecologia a scala urbana e territoriale: esperienze in Toscana**  
Enrica Burroni

- 220 **Un progetto di ricerca europeo sui musei ecosostenibili**  
Angelo Mingozzi

- 226 **La Finlandia, terra di sperimentazione per la sostenibilità: il nuovo insediamento residenziale ecocompatibile a Viikki**  
Paola Gallo  
Alain Lusardi

## **il contributo dell'innovazione tecnologica**

- 234 **introduzione**  
Nicola Sinopoli

- 236 **Dalle case a basso consumo energetico alle case passive**  
Cristina Carletti

- 244 **Sistemi innovativi per la captazione ed il trasporto della luce naturale: il progetto europeo "Arthelio"**  
Sergio Bottiglioni

- 252 **Involucro a doppia pelle vetro-vetro: la parete perimetrale da elemento statico a luogo tecnologico con prestazioni variabili**  
Fabio Conato  
Simona Cinti

- 260 **Ruolo dell'involucro e dell'impiantistica nei progetti di tipo ecologico**  
Giorgio Raffellini

- 268 **Dal progetto architettonico al particolare costruttivo: i nodi strutturali legno - laterizio - acciaio**  
Roberto Teneggi

- 274 **Case riciclate in Europa e in Nord-America**  
Ernesto Antonini

- 280 **Nati per essere smontati: gli edifici effimeri, una risposta al costruire sostenibile?**  
Giovanni Mucelli

- 286 **Riqualificazione trasparente: complesso Hines a Milano - MCA**  
Andrea Boeri

- 292 **Integrazione dei sistemi fotovoltaici negli edifici**  
Lucia Ceccherini Nelli

## **profili**

- 304 **Arup e la sostenibilità**  
Gabriele Del Mese  
Mike Hogan

- 310 **Gli aspetti ecologici in architettura**  
Stefan Behnisch

- 316 **Progetti di Thomas Herzog**  
Maria Rosa Ronzoni

- 330 **Peter Hübner come inventare architetture per la gente**  
Ugo Sasso

- 336 **Qualità dell'architettura ecosostenibile: i progetti di Massimo Pica Ciamarra Associati**  
Luisella Gelsomino

- 344 **Marco Goldschmied Richard Rogers Partnership**  
Maria Cristina Donati

- 363 **autori**

## Integrazione dei sistemi fotovoltaici negli edifici

*Lucia Ceccherini Nelli*

L'uso di notevoli quantità di energia negli edifici, indipendentemente dalle condizioni esterne, ha garantito per decenni elevati standard di comfort, caratterizzando la progettazione degli edifici dei paesi di tutto il mondo. Ciò ha incrementato lo sviluppo di tipologie ed urbanizzazioni, i cui costi collettivi, ora, sono molto alti in termini di qualità della vita, di impatto ambientale e di risparmio energetico.

A causa di questo modo di agire si è sviluppata una tecnologia che ha generato un'architettura autonoma, insensibile a ciò che accade al suo esterno, attenta solo al comfort interno, tramite l'uso di sistemi di condizionamento e riscaldamento altamente inquinanti, che gravano pesantemente sulla salute degli uomini.

Il concetto di "esauribilità" delle fonti fossili in tempi medio/lunghi ormai è un dato certo ma è inoltre preoccupante, constatare le modificazioni apportate all'ambiente da consumi energetici indiscriminati.

Da queste considerazioni nasce la necessità di un ripensamento radicale della logica costruttiva degli edifici, una trasformazione che includa tra i criteri base del processo progettuale un'elevata sensibilità energetica. La "cultura energetica" in ambito progettuale va intesa come conoscenza di tutti quei problemi energetici interni ed esterni all'edificio, che influenzano la scelta di materiali e tecnologie per ottimizzare le risorse termiche negli edifici, e sensibilizzazione nell'utilizzo di risorse energetiche rinnovabili, tra le quali quella fotovoltaica (FV).

Progettare con criteri bioclimatici ed utilizzare fonti di energia rinnovabile integrata alle strutture edilizie significa adattare l'edificio al clima che lo circonda, riducendo al minimo l'apporto energetico necessario per garantire buoni standard ambientali interni.

Designing a building to comply with bioclimatic criteria and make use of renewable energy sources means designing a building suited to the local climate and so reduce energy inflows to the minimum while still ensuring good interior living standards.

Designing future buildings to accommodate photovoltaics is an important technological step change that may revolutionise the very concept of a built structure, allowing not only energy self-sufficiency but also some surplus production to be made available to the rest of the community.

The photovoltaic industry has now developed photovoltaic modules of similar size to standard building components in glass, metal or plastic, thereby allowing their integration into standard building projects in an aesthetically pleasing and functionally feasible way.



1

La progettazione architettonica per l'integrazione della tecnologia fotovoltaica in edilizia, rappresenta un passo importante, che potrà rivoluzionare la concezione dell'edificio, dotandolo non solo di nuove potenzialità tecnologiche ma strumento di produzione diretta di energia, utilizzabile per le proprie e le altrui necessità.

I continui progressi dell'industria fotovoltaica, consentono di realizzare moduli con dimensioni sempre più simili ai componenti edilizi standard, come i componenti strutturali dei moduli, realizzati in vetro, metallo o materiale plastico, acquisendo così una elevata caratteristica estetica e funzionale di integrabilità architettonica.

**fotovoltaico**

### La progettazione fotovoltaica integrata

La tecnologia fotovoltaica è in continua crescita in quanto è possibile produrre energia elettrica direttamente dalla radiazione solare, ed i vantaggi di tale tecnologia stanno diventando sempre più evidenti al diminuire dei costi di realizzazione degli impianti. La tecnologia fotovoltaica, basa il suo funzionamento sul silicio, un materiale avanzato, col quale è possibile realizzare una considerevole varietà di forme, coperture, facciate di edifici, schermature ecc..

L'integrazione architettonica di un impianto FV ha i seguenti vantaggi:

- se l'impianto è parte integrante dell'edificio, i costi della sua struttura di supporto e del terreno su cui insiste sono già coperti;
- la tecnologia fotovoltaica deve essere considerata come parte integrante dell'edificio e come tale è migliore il suo funzionamento se associata ad una corretta progettazione passiva dell'edificio;
- nel caso di tipologie di integrazione legate anche a soluzioni bioclimatiche, come i sistemi di ombreggiamento e le facciate ventilate, un componente costruttivo FV può anche incidere direttamente sulla riduzione dei costi di gestione termica dell'edificio, ad esempio sul raffrescamento artificiale;
- esiste un beneficio economico particolarmente interessante per gli edifici ad uso commerciale, il consumo della maggior parte dell'energia richiesta avviene durante il giorno, quando questa è più costosa.
- l'energia prodotta dal FV fa risparmiare i costi di picco dell'equivalente elettricità acquistata dall'ente erogatore. Inoltre l'elettricità prodotta in eccedenza potrà essere ceduta dal proprietario all'ente erogatore e riacquisita all'occorrenza, in fasce più economiche, come quelle serali e notturne;
- I sistemi FV connessi alla rete sono più economici di quelli non connessi non dovendo essere supportati da batterie e la corrente viene generata sul posto ove viene consumata;
- Nei sistemi connessi alla rete, gli impianti FV operano in parallelo con la rete di distribuzione elettrica, cosicché una eventuale maggiore domanda di energia se non coperta dall'impianto FV è coperta dalla rete di distribuzione elettrica.
- Esiste infine una componente "sociale" che caratterizza questo nuovo modo di produrre energia: i generatori FV convenzionali sono di consuetudine di proprietà di enti erogatori che vendono elettricità ai loro clienti. Il FV integrato alla costruzione, invece, appartiene al proprietario dell'edificio. L'energia prodotta è integralmente di sua proprietà e sarà in buona parte utilizzata direttamente dalle sue utenze. In tal



2



3



Edifici	Richiesta di elettricità kWh/m <sup>2</sup> /annua
1. Centri di ricerca	36
2. Edifici per uffici (senza condizionamento)	53
3. Residenze a basso consumo energetico	15-25
4. Edifici scolastici	20

Tabella 1.

modo si creano i presupposti per un nuovo concetto di produzione locale di energia, una sorta di distribuzione capillare del sistema produttivo composto da medi, piccoli e piccolissimi generatori FV strettamente integrati negli elementi edilizi e nelle infrastrutture urbane.

### Tipologie fotovoltaiche applicate all'edilizia

Attualmente in Italia, l'energia prodotta da un sistema fotovoltaico connesso alla rete è più costosa che utilizzare direttamente l'energia della rete, l'intervento di integrazione fotovoltaica acquisisce un senso se si considera in positivo il costo risparmiato per tutte le superfici coperte con materiali integrati con sistemi fotovoltaici.

Un cospicuo numero di edifici, dagli uffici agli alberghi agli edifici industriali, possono utilizzare i sistemi FV integrati. La tipologia per uffici a causa della significativa domanda di energia che copre l'orario dalle 9 alle 18, è sicuramente la tipologia che maggiormente sfrutterebbe la produzione di elettricità fornita dall'impianto FV. Significative sono anche le applicazioni fotovoltaiche applicate agli edifici industriali, commerciali e scolastici.

I consumi di energia, variano naturalmente, a seconda dell'utilizzazione dell'edificio e a tal fine dovranno essere studiate appropriate valutazioni economiche per il dimensionamento degli impianti FV da installare.



Gli elementi che costituiscono un impianto FV sono i moduli. La selezione dei moduli, le sue caratteristiche estetiche in termini di geometria, dimensione, colore, sistema di montaggio (con telaio o senza), influirà sull'intero aspetto dell'edificio e sul carattere architettonico dell'intervento. I moduli sono l'elemento più caratteristico e riconoscibile di un sistema FV. Sono abbastanza visibili dall'esterno dell'edificio e dovranno essere generalmente posizionati in modo da evitare qualsiasi tipo di ombra che possa ridurre la loro efficienza.

La forma, il colore e la struttura delle celle e del vetro costituiscono i più importanti parametri estetici di un modulo FV. Il bilancio tra la quantità e la qualità del vetro e la quantità e tipo di celle utilizzate in un modulo fa parte del processo progettuale diventando rilevante sia per il modulo stesso sia per l'intero edificio. Queste caratteristiche possono essere utilizzate come elementi di decoro ma anche funzionali.

### **Criteri di progettazione**

Esistono tre generali categorie per integrare i sistemi FV negli edifici.

Per prima, l'integrazione nelle coperture, che possono sostituire le coperture tradizionali, sia inclinate che piane, con manti di copertura speciali fotovoltaici (tegole fotovoltaiche, coperture metalliche con fotovoltaico, ecc..). La seconda categoria riguarda l'integrazione dei sistemi di facciata, sostituendo le facciate vetrate tradizionali con altre integrate con sistemi FV, ed infine l'integrazione con i sistemi frangisole e schermi solari, che potranno essere posti sia in copertura che in facciata.

Le migliori integrazioni potranno essere realizzate in edifici di nuova costruzione, mentre in caso di ristrutturazioni l'integrazione sarà più difficile e spesso più onerosa, a meno che l'intervento preveda di ristrutturare parti dell'edificio con altre integrate con FV, in modo da compensare i costi manutentivi con i costi delle nuove strutture integrate.

Le tecnologie che consentono una buona integrazione dei sistemi fotovoltaici devono perseguire i seguenti requisiti:

- Estetica
- Tenuta agli agenti atmosferici
- Tenuta al vento
- Durata dei materiali utilizzati
- Sicurezza (costruttiva, al fuoco, elettrica, ecc...)
- Costo

Integrazione FV in copertura, sede dell'Accademia del Mont-Cenis, Germania

Integrazione fotovoltaica in facciata continua, Soler office, UK



5



6

### Sistemi integrati con le coperture

Le coperture inclinate sono generalmente preferite per il posizionamento dei moduli FV per tre ragioni. La prima riguarda la radiazione solare incidente, su una copertura inclinata sono facilmente posizionabili i moduli fotovoltaici inclinandoli nel modo ottimale, usualmente equivalente alla latitudine del luogo, variazioni di  $15^\circ$  avranno un basso impatto sul rendimento complessivo dell'impianto.

Le coperture sono caratterizzate dai seguenti elementi:

- Generalmente sono privi di sistemi di schermatura
- La pendenza della copertura spesso non condiziona l'installazione di impianti FV
- Esteticamente e funzionalmente sono semplici da integrare

Posizione del sistema FV	Sistema	Caratteristiche
1. coperture inclinate	a. Pannelli FV b. Tegole FV	Combinati con il sistema strutturale Tegole FV, flessibili e facili da applicare sia su una copertura esistente che integrate nel manto di copertura
2. coperture a shed	a. Pannelli FV	Consentono il passaggio della luce
3. Coperture curve	a. celle opache con struttura flessibile b. pannelli FV rigidi applicata su supporto curvo	Facilità di montaggio e performanti dal punto di vista architettonico Sistema più rigido con diverso rendimento a seconda della diversa inclinazione dei moduli
4. Atri	a. pannelli FV	Questo sistema può essere alternato per copertura con parti trasparenti e parti opache FV e semitrasparenti FV.

Tabella 2.

### Coperture ventilate

Le coperture sono assai più facili da ventilare rispetto alle facciate ed il surriscaldamento delle celle provoca meno trasmissione di calore interna in copertura rispetto ad i sistemi di facciata.

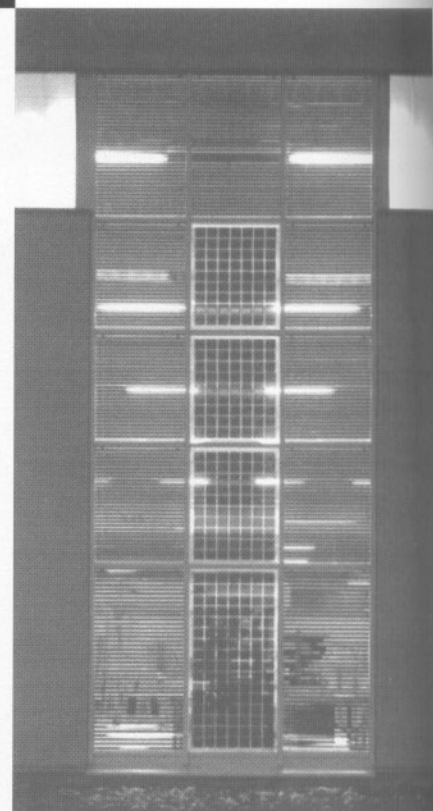
Per le coperture inclinate è necessario utilizzare un supporto esterno per montare i moduli fotovoltaici sulla copertura del tetto.

Questo sistema consente una camera d'aria di 100 mm tra i moduli e la struttura di copertura, che incorpora l'isolamento e i cavi di collegamento elettrico dell'impianto.

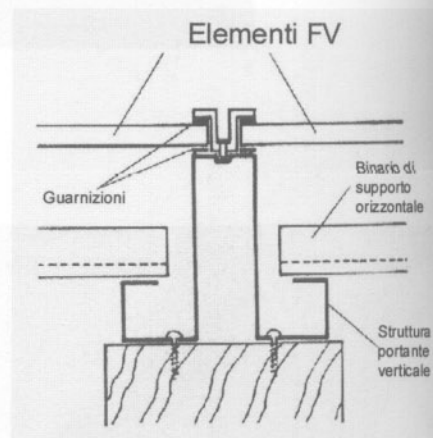
Per diverse soluzioni di lucernari le aperture a nord consentono di dissipare direttamente il calore prodotto in eccesso.

### Sistemi di Facciata e pareti vetrate continue

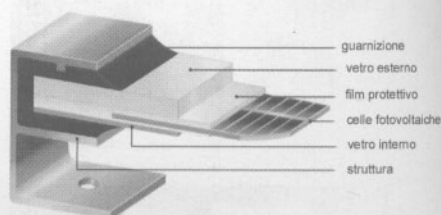
Il sistema costituito da facciata continua vetrata e FV è un sistema ormai ampiamente utilizzato in numerosi edifici di prestigio. Le superfici trasparenti sono generalmente con doppio vetro e le superfici opache sono realizzate con vetri opachi o pannelli isolanti. I moduli fotovoltaici sono preassemblati in fabbrica nelle unità con doppio vetro. Il vetro esterno con FV sarà di tipo temperato, intercapedine d'aria e vetro interno; lo spessore generale sarà di 300 mm. I moduli semitrasparenti fotovoltaici avranno l'effetto di schermare parzialmente la luce ed avranno collocazione speciale nella facciata, ove occorra ridurre parzialmente l'ingresso della luce naturale, le aree



7



8



9

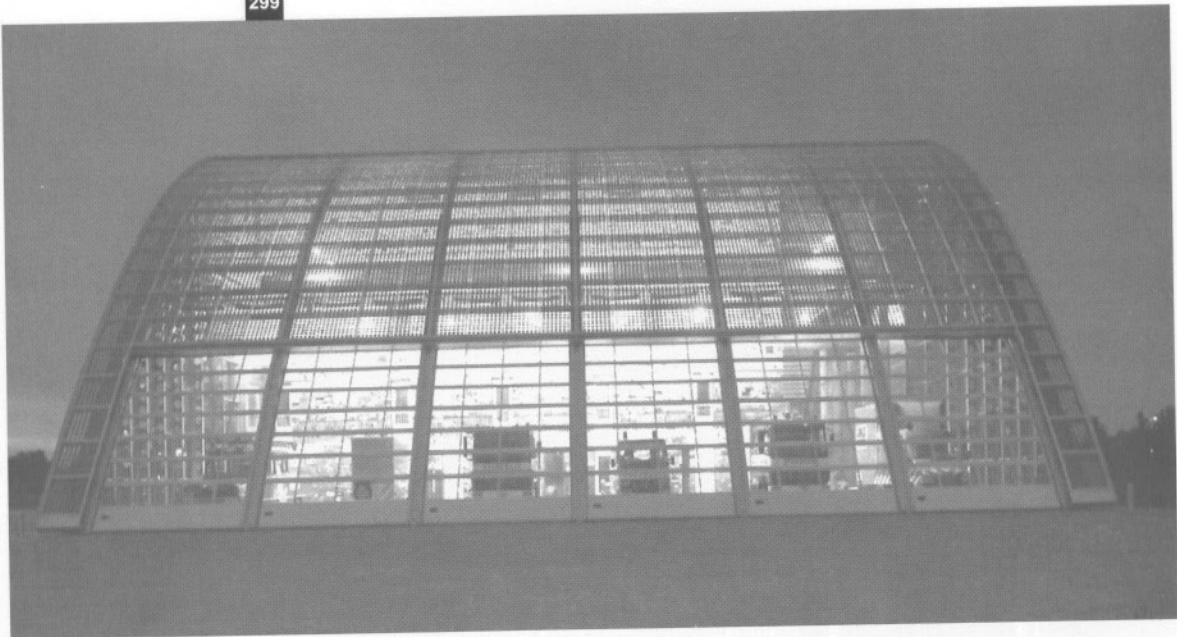
avola 2.  
 Sistemi di integrazione  
 di coperture

Integrazione fotovoltaica  
 in facciata verticale

Esempio di sezione  
 con PV inserita in lastre  
 di vetro e sistema di sup-  
 porto

Integrazione architet-  
 tonica su copertura cur-  
 va. Edificio Samyn, Ger-  
 mania

Tetto-luce fotovoltaico  
 integrato per l'Istituto  
 di Credito Bayerische,  
 Germania



10

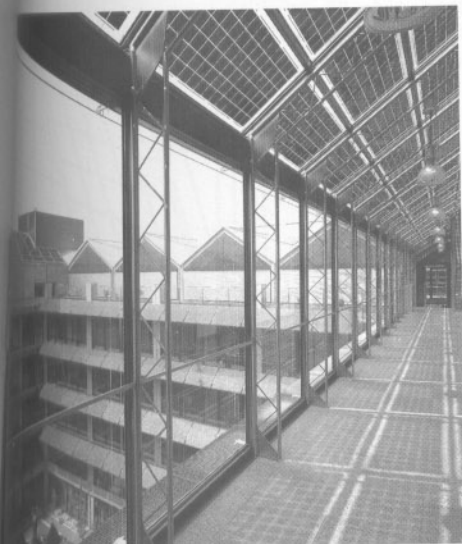
che dovranno garantire una buona visibilità potranno essere lasciate trasparenti. Infine le parti oscuranti potranno essere realizzate con un numero maggiore di celle fotovoltaiche opache.

In questo tipo di tecnologia, deve essere data particolare attenzione al sistema dei montanti generalmente in alluminio modulare in cui verranno passati i cavi per il collegamento elettrico dei moduli FV.

### Schermature fisse

Tutte le finestrate necessitano di sistemi per il controllo dell'illuminazione naturale. Spesso vengono utilizzate tecnologie per l'ombreggiamento poste nella parte interna dell'edificio. Lo svantaggio di tali soluzioni è la riduzione di visibilità esterna ed il surriscaldamento della parete esterna dovuto all'irraggiamento solare diretto.

Le schermature esterne con fotovoltaico possono essere di tipo fisso o mobile, l'orientamento ottimale è di circa 40° per l'Italia. Le schermature FV normalmente sono realizzate con un pannello (spesso in alluminio) aggettante in facciata dell'edificio posizionato su supporti metallici per consentire il passaggio dell'acqua e la ventilazione. La distanza degli elementi non potrà essere inferiore a 100 mm per consentire la ventilazione dei moduli FV. Sui montanti potranno essere posizionali anche i cablaggi del sistema FV. Ci sono alcuni tipo di schermatura FV montati su supporti di vetro, essi consentono una buona visione esterna e architettonicamente risultano avere una elevata valenza estetica.



11



12

## Conclusioni

L'integrazione architettonica del fotovoltaico offre benefici che vanno ben oltre il risparmio energetico. L'alta valenza dell'integrazione FV può incrementare notevolmente il valore estetico dell'edificio e al tempo stesso produrre energia pulita.

Le moderne tecniche di costruzioni permettono l'uso di moduli di facciata prefabbricati che includono tutte le connessioni interne e le sue protezioni.

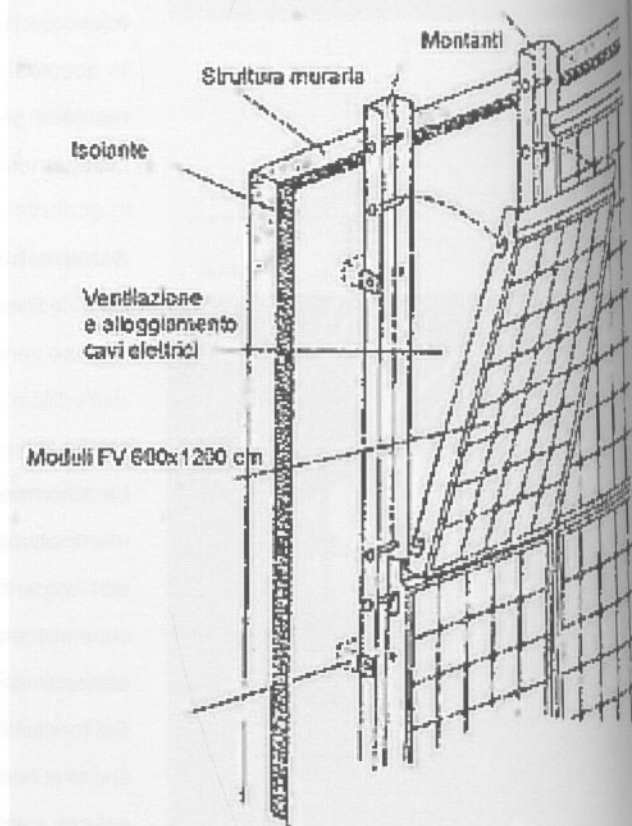
I risultati conseguiti dai recenti programmi di sviluppo e ricerca internazionali e le risposte ottenute nel settore degli investimenti privati fanno prevedere una notevole crescita dell'integrazione architettonica del FV. Funzionale allo sviluppo di questa tecnologia è la riduzione del costo del FV, obiettivo che può essere raggiunto sia con lo sviluppo di nuove strutture economiche, sia con la realizzazione di nuovi componenti FV per l'edilizia.

12. Integrazione fotovoltaica in facciata verticale e copertura. Scuola Rembrandt, Olanda

13. Sistema di connessione di moduli FV integrati in facciata

Tabella 3.  
Principali sistemi FV di facciata

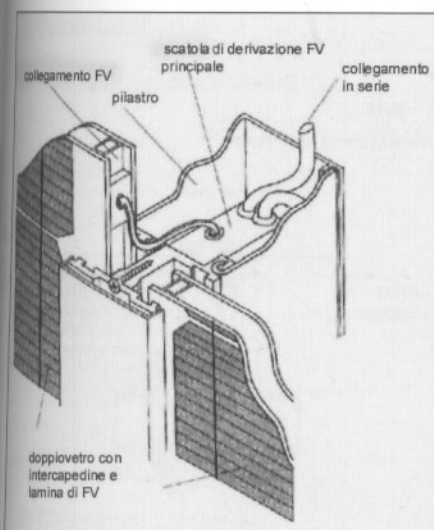
14. Facciata continua integrata FV con doppio vetro e camera d'aria



13

Posizione del FV	Sistema	Caratteristiche
<b>Pareti verticali</b>	Facciate continue	Standard ed economicità durante la realizzazione, i pannelli opachi FV possono essere mescolati a quelli trasparenti o semi trasparenti
<b>Pareti verticali</b>	Pareti protettive ventilate	Con camera d'aria per la ventilazione e per il passaggio dei cavi per l'impianto FV
<b>Pareti verticali con pannelli FV inclinati</b>	Facciate vetrate ventilate	Con questo sistema si incrementa l'efficienza FV, conseguimento di un potenziale ombreggiamento delle finestre (se desiderato) ma conseguente auto ombreggiamento dei moduli
<b>Pareti inclinate</b>	Vetrate	Notevole interesse architettonico, incremento della resa dei moduli FV, minor utilizzo dell'area calpestabile dell'edificio
<b>Schermature fisse</b>	Vetrate	Possibili perdite di luce diurna
<b>Frangisole mobili</b>	Vetrate	Incremento di resa del sistema FV comparato al sistema per frangisole fissi

Tabella 3.



Il lancio del programma del Ministero dell'ambiente 'Tetti Fotovoltaici' in Italia, segna un'occasione per incentivare il mercato nazionale e lo sviluppo delle tecnologie integrate in architettura del FV.

E' necessario che a livello nazionale si incentivi l'applicazione della legislazione esistente per l'utilizzazione delle fonti energetiche rinnovabili, sia nelle nuove costruzioni che nelle vecchie costruzioni. L'industria del fotovoltaico dispone ormai delle capacità tecniche per realizzare prodotti innovativi edilizi per l'integrazione del FV nell'ambiente urbano.