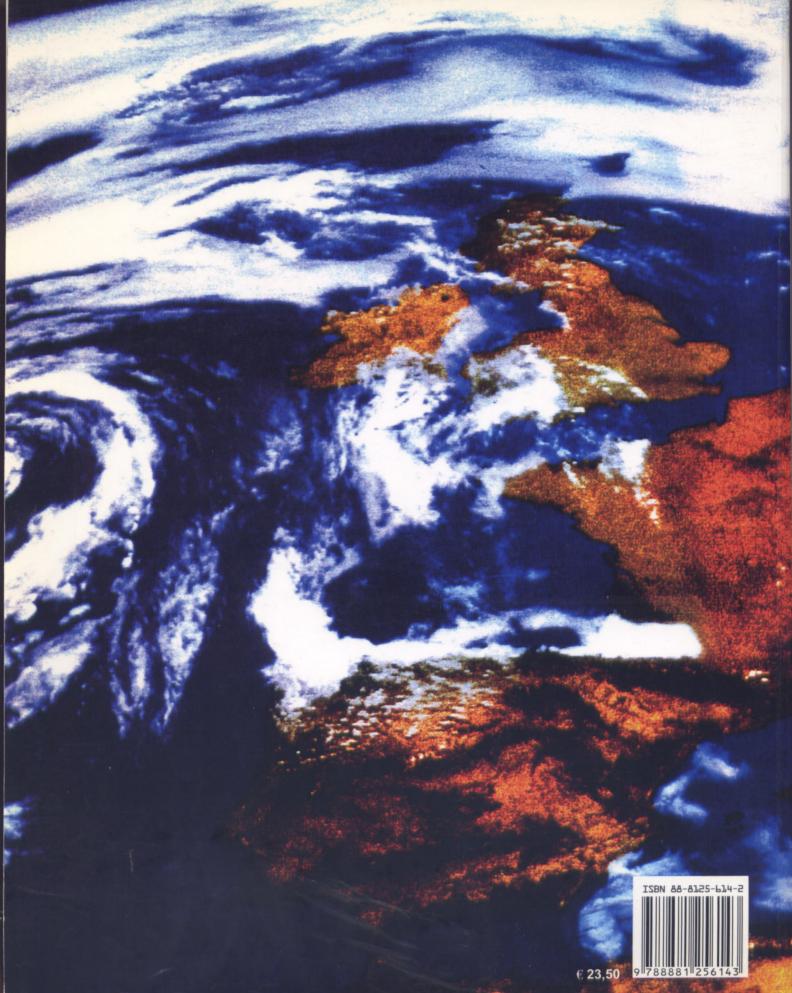


# FLORE Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

## 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)					





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 HQE²R: 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 II 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	268	Dal progetto architettonico al parti- colare costruttivo: i nodi strutturali	
186	Esperienze di edilizia residenziale sostenibile in Olanda Clara Masotti		legno - laterizio - acciaio Roberto Teneggi	
196	Civiltà ecologica Marcello Grisotti	274	Case riciclate in Europa e in Nord- America Ernesto Antonini	
202	L'Università sostenibile: il caso Nottingham Renato Cervini Carla Chiarantoni	280	Nati per essere smontati: gli edifici effimeri, una risposta al costruire sostenibile? Giovanni Mucelli	
210	Ecologia a scala urbana e territoria- le: esperienze in Toscana Enrica Burroni	286	Riqualificazione trasparente: com- plesso Hines a Milano - MCA Andrea Boeri	
220	Un progetto di ricerca europeo sui musei ecosostenibili Angelo Mingozzi	292	Integrazione dei sistemi fotovoltaici negli edifici Lucia Ceccherini Nelli	
226	La Finlandia, terra di sperimentazione per la sostenibilità: il nuovo insediamento residenziale ecocompatibile a Viikki Paola Gallo Alain Lusardi		profili	
		304	<b>Arup e la sostenibilità</b> Gabriele Del Mese Mike Hogan	
	il contributo dell'inno-	310	Gli aspetti ecologici in architettura Stefan Behnisch	
vazione te	vazione tecnologica	316	Progetti di Thomas Herzog Maria Rosa Ronzoni	
	Nicola Sinopoli	330	Peter Hübner come inventare architetture per la	
236	Dalle case a basso consumo energetico alle case passive Cristina Carletti		<b>gente</b> Ugo Sasso	
		336	Qualità dell'architettura ecososteni- bile: i progetti di Massimo Pica	
244	Sistemi innovativi per la captazione ed il trasporto della luce naturale: il progetto europeo "Arthelio"		Ciamarra Associati Luisella Gelsomino	
	Sergio Bottiglioni	344	Marco Goldschmied Richard Rogers Partnership	
252	Involucri a doppia pelle vetro-vetro: la parete perimetrale da elemento statico a luogo tecnologico con pre-		Maria Cristina Donati	
	stazioni variabili Fabio Conato Simona Cinti	363	autori	

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

### 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 incremento 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.



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.

 Integrazione FV con elementi frangisole e faceleta FV. Edificio Solar Fabrik, Germania 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





3

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 applicazione 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 cotura, sede dell'Accainia del Mont-Cenis une, Germania

Integrazione fotovolmain facciata continua mata, Soler office, UK







#### 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 facimente posizionabili i moduli fotovoltaici inclinandoli nel modo ottimale, usualmente equivalente alla latitudine del luogo, variazioni di 15° 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'istallazione di impianti FV
- Esteticamente e funzionalmente sono semplici da integrare

Posizione del sistema FV		stema	Caratteristiche	
1. coperture inclinate	a.	Pannelli FV	Combinati con il sistema strutturale Tegole FV, flessibili e facili da applicare sia	
	b.	Tegole FV	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	Facilità di montaggio e performanti dal	
		con struttura	punto di vista architettonico Sistema più	
		flessibile	rigido con diverso rendimento a seconda della diversa inclinazione dei moduli	
b		pannelli FV rigidi		
		applicata su s	upporto curvo	
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

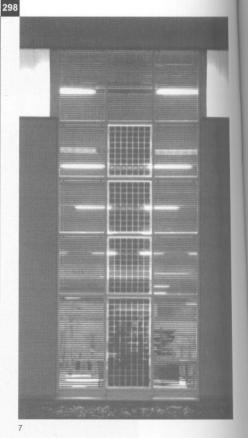
Le coperture sono assai più facili da ventilare rispetto alle facciate ed il surriscaldamento delle celle provoca meno trasmissione di calore interna in copertura rispetto ad i sistemi di facciata.

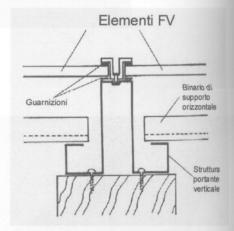
Per le coperture inclinate è necessario utilizzare un supporto esterno per montare i moduli fotovoltaici sulla copertura del tetto.

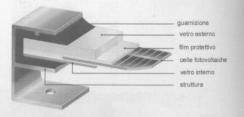
Questo sistema consente una camera d'aria di 100 mm tra i moduli e la struttura di copertura, che incorpora l'isolamento e i cavi di collegamento elettrico dell'impianto. Per diverse soluzioni di lucernari le aperture a nord consentono di dissipare direttamente il calore prodotto in eccesso.

#### 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







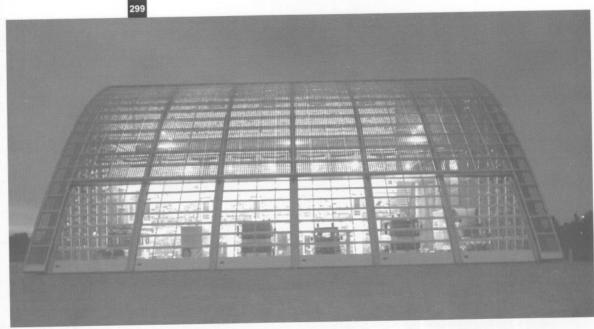
tuda 2. Istami di integrazione eroperture

Integrazione fotovolka in facciata verticale

# Esempio di sezione #FV inserita in lastre tetto e sistema di sup-

Integrazione architetma su copertura cura Edificio Samyn, Geruna

tt Tetto-luce fotovoltaisidegrato per l'Istituto Credito Bayerische, amania



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 finestrature 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 inferire 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.





- 12. Integrazione fotovoltaica in facciata verticale e copertura. Scuola Rembrandt, Olanda
- Sistema di connessione di moduli FV integrati in facciata

Tabella 3. Principali sistemi FV di facciata

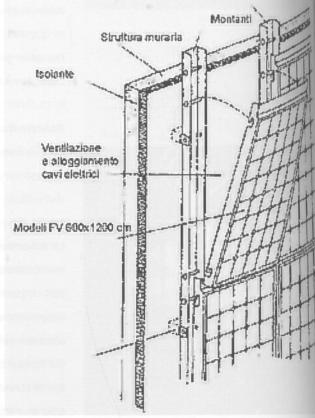
14. Facciata continua integrata FV con doppio vetro e camera d'aria

#### 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.

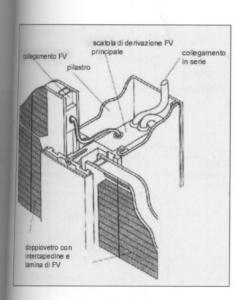
Le moderne tecniche di costruzioni permettono l'uso di moduli di facciata prefabbricati che includono tutte le connessioni interne e le sue protezioni.

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.



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