

Le strutture di sostegno dei **moduli fotovoltaici**

**ANALISI E VALUTAZIONE DELLE MODALITÀ DI INSTALLAZIONE, SU TETTO
E A TERRA, DEI MODULI FOTOVOLTAICI**

■ di **FRANCESCO GROPPI**

La numerosità delle possibili applicazioni del fotovoltaico risulta particolarmente evidente quando si passa ad esaminare le caratteristiche dei siti, principalmente in termini di superficie di appoggio e modalità di posa dei moduli.

Oltre ad una prima suddivisione rappresentata dalla distinzione tra impianti a terra e impianti su coperture (alle quali possono essere accomunate strutture di vario tipo), è possibile distinguere tra un gran numero di tipologie e sottotipologie rappresentate, ad esempio, dagli impianti fissi e ad inseguimento solare, su falda di tetto, su copertura piana o su facciata, facenti parte dell'involucro della struttura o sovrapposti a questo.

Poiché l'attuale legislazione che regola le incentivazioni in Conto Energia per gli impianti fotovoltaici prevede livelli di contribuzione differenti a seconda del loro livello di integrazione, sono previsti criteri e modalità finalizzati a distinguere tra gli impianti integrati, parzialmente integrati e non integrati.

La "Guida agli interventi validi ai fini del riconoscimento dell'integrazione architettonica del fotovoltaico" emessa dal GSE riporta una minuziosa casistica che permette di valutare il livello di integrazione architettonica di un impianto, almeno per le tipologie più comuni.

Tuttavia, a prescindere dal livello di integrazione architettonica dell'impianto fotovoltaico, che con tutta probabilità sarà vanificato a partire dal 2011 con l'entrata in vigore della nuova normativa, è importante in primo luogo valutare la validità delle scelte effettuate sulla base di criteri tecnici che assicurino al progetto i necessari requisiti.

■ **PRINCIPALI REQUISITI**

Qualunque sia la struttura di sostegno utilizzata, essa deve essere in grado di reggere il peso proprio più il peso dei moduli e di resistere alle due principali sollecitazioni di norma considerate in questi progetti, rappresentate dal carico neve (resta esclusa la disposizione verticale dei moduli) e dall'azione del vento. Il DM 16 gennaio 1996 e la Circolare 4 luglio 1996 hanno introdotto criteri più severi rispetto al passato per il calcolo delle sollecitazioni agenti sulle strutture. Gli stessi criteri sono stati successivamente ripresi dal più recente Testo Unico recante le Norme Tecniche per le costruzioni del 2005 e successivamente modificato nel 2008.

Le modalità di calcolo per il carico neve sulle coperture fanno dipendere il valore di progetto dai seguenti fattori e parametri caratteristici:

- valore di riferimento del carico neve al suolo;
- coefficiente di forma della copertura;
- discontinuità di quota della copertura;
- possibilità di accumulo contro pareti verticali;
- possibile accumulo di neve da un'estremità sporgente di una copertura;
- carico neve su protezioni paraneve ed altri ostacoli sulla copertura.

La pressione del vento su una struttura viene invece considerata statica e orizzontale (salvo ca-



si particolari). Essa è tradotta in una pressione normale alla superficie dei moduli fotovoltaici, positiva o negativa a seconda dell'esposizione. I principali fattori che intervengono nei calcoli sono:

- pressione cinetica di riferimento;
- coefficiente di esposizione o di topografia;
- coefficiente di forma o aerodinamico.

Oltre alle azioni della neve e del vento, occorre considerare le azioni sismiche per le quali, generalmente, il calcolo risulta più complesso.

Anche in questo caso il territorio nazionale è stato suddiviso mediante un insieme di punti con differenti livelli di pericolosità sulla base di un reticolo di riferimento.

Nel seguito si esamineranno le principali tipologie realizzative per gli impianti fotovoltaici costruiti su edifici e su terreno.

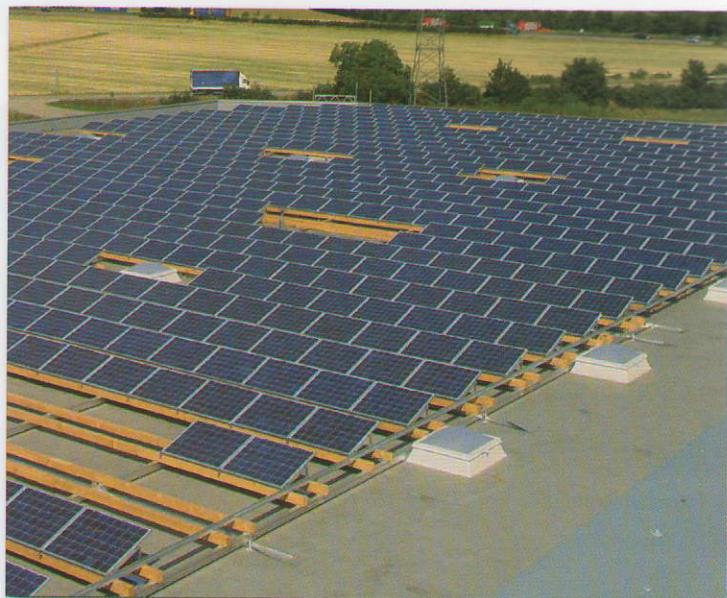


▲ Figura 1: Struttura zavorrata su tetto piano

■ SISTEMI SU COPERTURE PIANE

Dovendo realizzare impianti fotovoltaici su coperture di edifici o costruzioni in genere, molto spesso si ha a che fare con coperture piane. Queste ultime permettono una maggiore facilità di esecuzione delle opere ma per loro natura sono dotate di uno strato di impermeabilizzazione, realizzato nella maggior parte dei casi per mezzo di una guaina collocata esternamente o immediatamente al di sotto della pavimentazione.

La presenza della guaina rende difficoltoso l'ancoraggio

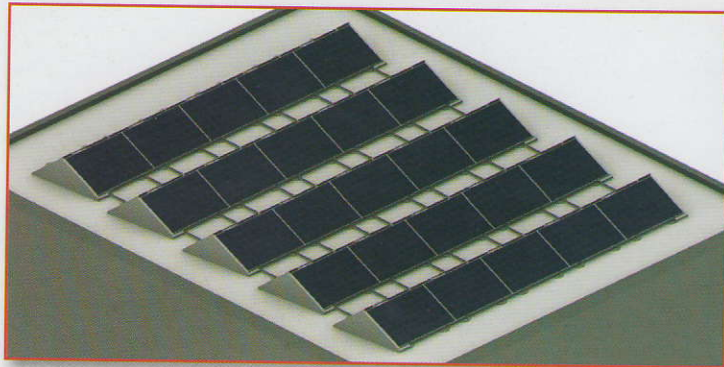


▲ Figura 2: Esempio di struttura unica di supporto dei moduli per tetto piano

delle strutture portamoduli in quanto la foratura e il successivo ripristino devono comunque essere tali da evitare nel tempo l'infiltrazione dell'acqua piovana. Per questo motivo si ricorre spesso a strutture zavorrate (figura 1) che, in virtù del loro peso, sono in grado di resistere all'azione del vento. L'uso delle zavorre va comunque valutato attentamente, principalmente perché non deve essere mai superato il carico massimo sopportabile dal tetto e, in secondo luogo, perché questo sistema non garantisce che in casi eccezionali (in presenza di vento forte o raffiche), la struttura non sia comunque soggetta a spostamenti. Talvolta si ricorre quindi a soluzioni alternative, come quella in cui si impiega un'unica struttura priva di zavorre o debolmente zavorrata, possibilmente vincolata a punti perimetrali tali da non comportare pericoli per quanto riguarda le possibili infiltrazioni d'acqua (figura 2). Attualmente la tendenza è comunque quella di mantenere le strutture quanto più basse possibili, cercando di evitare l'effetto vela mediante basse inclinazioni dei moduli come nell'esempio di figura 3, nel quale si è scelto di orientare i moduli secondo le direzioni Est-Ovest, oppure chiudendo o raccordando opportunamente le strutture con delle lamiere sagomate (figura 4).

▼ Figura 3: Moduli fotovoltaici su tetto piano con bassa inclinazione e orientamento Est-Ovest





▲ Figura 4: Strutture per tetto piano chiuse e raccordate

■ SISTEMI SU COPERTURE A FALDA

Sulle coperture a falda dei tetti, purché tali falde siano favorevolmente orientate, è in generale possibile ottenere degli impianti che sfruttano al meglio lo spazio disponibile, sovrapponendosi al manto di copertura o andandolo a sostituire. In caso di sostituzione degli elementi di copertura (coppi, tegole, lamiera), è necessaria la tenuta all'acqua della struttura portamoduli e gli eventuali raccordi con il manto esistente devono essere realizzati in modo da scongiurare il pericolo di infiltrazioni d'acqua.

L'impermeabilizzazione può essere realizzata utilizzando i moduli stessi come elementi di tenuta all'acqua, come nell'esempio di figura 5, oppure prevedendo al di sotto di essi un adeguato strato impermeabile.

Vi sono tuttavia esempi di tetti fotovoltaici sovrapposti agli elementi di copertura che si presentano alla vista come un assieme gradevole e proporzionato.

Nel caso di sovrapposizione dell'impianto fotovoltaico a un tetto esistente, è importante che i



▲ Figura 5: Strutture per tetto piano chiuse e raccordate

punti di connessione alla struttura sottostante siano scelti in modo tale da gravare uniformemente su di essa, soprattutto senza andare a sollecitare gli elementi di copertura, i quali, a differenza delle travi e degli arcarecci, non sono in grado di reggere carichi puntiformi.

Talvolta, se l'orientamento delle falde disponibili non è ottimale, si preferisce ricorrere a strutture con inclinazione propria, orientate differenzialmente dalla pendenza di falda, come nell'esempio di figura 7.



▲ Figura 6: In questo esempio i moduli fotovoltaici sono sovrapposti al manto di copertura ma il risultato ottenuto è comunque eccellente

■ IMPIANTI SU FACCIATA

Gli impianti fotovoltaici su facciata non godono di larga diffusione, in quanto questo tipo di esposizione per il generatore fotovoltaico penalizza notevolmente tali realizzazioni sotto il profilo della resa energetica.

In assenza di ombre tale perdita può infatti superare il 40% rispetto alle condizioni di esposizione ottimali. Con una facciata fotovoltaica è però possibile ottenere un effetto scenico di sicuro impatto, per cui questa tipologia trova soprattutto applicazione presso aziende o enti che per vari motivi intendono rendere ben visibile l'impianto.



◀ **Figura 7:**
Utilizzo
di strutture
inclinate
nel caso di
orientamento
non ottimale
della falda
di tetto

Esistono numerosi esempi di impianti su facciata, realizzati con moduli fotovoltaici di vario tipo: in figura 8 è visibile una realizzazione particolarmente interessante che fa uso di moduli in film sottile CIGS.

■ IMPIANTI SU TERRENO

La pratica più comune per gli impianti a terra di grande taglia è la realizzazione di strutture a cavalletto caratterizzate da un'alta velocità di posa, ottenuta mediante soluzioni tecniche mirate alla meccanizzazione del processo.

Attualmente le applicazioni si concentrano su due possibili soluzioni adottate per il portale base, al quale, in genere, corrisponde una stringa fotovoltaica o un suo multiplo:

- avvitatura nel terreno, mediante grosse viti sulla testa delle quali sono successivamente fissati i colonnini di sostegno del cavalletto;
- infissione nel terreno per battitura dei profili di acciaio zincato che costituiscono i colonnini di sostegno del cavalletto.

Risulta invece sempre meno frequente il ricorso a fondazioni in calcestruzzo a causa dei maggiori costi previsti per il ripristino del sito a fine vita dell'impianto.

Il sistema di avvitatura dei colonnini di sostegno sfrutta grandi viti di acciaio di lunghezza variabile, nell'intervallo di 1,5 m e peso di circa 20 kg, le quali si adattano piuttosto bene a tutte le situazioni di terreno (vegetativo, roccioso).

Non è richiesta una particolare precisione nell'operazione di avvitatura in quanto le eventuali mancanze di perpendicolarità che si dovessero manifestare possono essere compensate nel montaggio della testa della vite alla base dei colonnini.

Viceversa, il sistema a infissione consente una velocità di installazione maggiore ma richiede come minimo uno studio penetrometrico del terreno o SPT (Standard Penetration Test) per saggiare la composizione del terreno e stabilire la lunghezza di infissione compatibile con le caratteristiche meccaniche del tipo di colonnino utilizzato.

In figura 9 è visibile un esempio di struttura portamoduli per impianti a terra con i colonnini avvitati nel terreno.

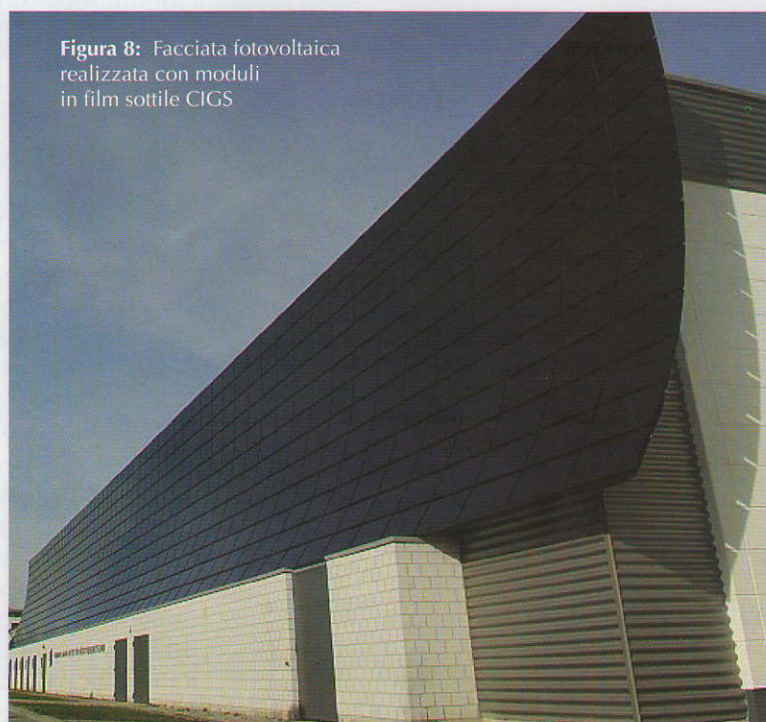


Figura 8: Facciata fotovoltaica realizzata con moduli in film sottile CIGS

■ INSEGUITORI SOLARI

Realizzati prendendo spunto dai girasoli, gli inseguitori solari sono dei meccanismi che modificano l'inclinazione e l'orientamento dei moduli fotovoltaici nel tentativo di far arrivare su di essi la radiazione solare diretta nel modo migliore possibile.

Questi dispositivi si distinguono in inseguitori su un solo asse o monoassiali (figura 10) e inseguitori su due assi o biassiali (figura 11). Solo gli inseguitori biassiali sono in grado, almeno in teoria, di orientarsi perfettamente rispetto al disco solare, mentre quelli monoassiali si limitano a seguire l'evoluzione del sole durante il giorno con un certo margine di errore.

Gli inseguitori biassiali consentono quindi, in mancanza di impedimenti, di sfruttare l'evoluzione completa del sole dall'alba al tramonto ri-



▲ Figura 9: Esempio di struttura portamoduli per impianti fotovoltaici a terra

volgendo la superficie dei moduli perpendicolarmente alla radiazione solare. A conti fatti, il guadagno energetico in condizioni ottimali si aggira intorno al 25÷30% rispetto ad un analogo sistema fisso.

Tuttavia, prima di accingersi a realizzare un impianto ad inseguimento solare su due assi, è bene considerare i possibili inconvenienti:

- il costo dei sistemi di puntamento non è trascurabile e a questo vanno aggiunti i maggiori costi di esercizio e manutenzione per motori, ingranaggi e parti elettriche ed elettroniche a corredo;
- al fine di evitare ombreggiamenti reciproci eccessivi, la superficie richiesta per questi impianti è molto maggiore rispetto a quella che richiederebbe un impianto fisso della stessa potenza (almeno 3 volte);
- pur distribuendo l'impianto su una vasta superficie, non è possibile evitare gli ombreggiamenti reciproci a inizio e fine giornata, per cui il guadagno energetico reale è sempre inferiore rispetto a quello teorico;
- la maggiore complessità di questi sistemi, coniugata ad una maggiore esposizione alle condizioni meteo avverse (vento in particolare) fa sì che le rotture e i disservizi nei sistemi di puntamento non siano infrequenti; in genere, il cattivo allineamento di alcuni elementi non influisce granché sulla produzione, ma l'effetto scenico complessivo può non essere gradevole, soprattutto se questo era uno degli obiettivi del progetto.

Per questi motivi si ricorre spesso a sistemi di puntamento più semplici di tipo monoassiale. Particolarmente interessanti per i grandi impianti risultano essere quelli in cui gli assi di rotazione risultano disposti secondo la direzione Nord-Sud, per cui, a seconda dell'ora del giorno, i moduli fotovoltaici risultano orientati secondo un angolo azimutale differente.



▲ Figura 10: Esempio di inseguitori monoassiali



▲ Figura 11: Esempio di inseguitori biassiali