

Università degli Studi "Gabriele D'Annunzio" _ Pescara

Facoltà di Architettura _ Corso di Laurea in Tecniche del Costruire



APPROFONDIMENTO SUL FOTOVOLTAICO

Esame di Fisica Tecnica _ Docente Prof. Renato Ricci _ recupero di n.1 cfu

Studente Fabrizio Cantelmi

ENERGIE RINNOVABILI

Sono da considerarsi energie rinnovabili quelle forme di energia generate da fonti che per loro caratteristica intrinseca si rigenerano o non sono "esauribili" nella scala dei tempi "umani" e, per estensione, il cui utilizzo non pregiudica le risorse naturali per le generazioni future. Sono dunque generalmente considerate "fonti di energia rinnovabile" il sole, il vento, il mare, il calore della Terra, ovvero quelle fonti il cui utilizzo attuale non ne pregiudica la disponibilità nel futuro, mentre quelle "non rinnovabili", sia per avere lunghi periodi di formazione di molto superiori a quelli di consumo attuale (in particolare fonti fossili quali petrolio, carbone, gas naturale), sia per essere presenti in riserve non inesauribili sulla scala dei tempi umana (in particolare l'isotopo 235 dell'uranio, l'elemento attualmente più utilizzato per produrre energia nucleare), sono limitate nel futuro. Spesso vengono usate come sinonimi anche le locuzioni "energia sostenibile" e "fonti alternative di energia". Esistono tuttavia delle sottili differenze:

__ Energia sostenibile è una modalità di produzione ed uso dell'energia che permette uno sviluppo sostenibile: ricomprende dunque anche l'aspetto dell'efficienza degli usi energetici.

Altre alternative di energia sono definite in univoco dalle diverse degli fonti rinnovabili, esistendo in diversi ambiti diverse opinioni sull'inclusione o meno di una o più fonti nel gruppo delle "rinnovabili". Secondo la normativa di riferimento italiana, vengono considerate "rinnovabili":

« ...il sole, il vento, le risorse idriche, le risorse geotermiche, le maree, il moto ondoso e la trasformazione in energia elettrica dei prodotti vegetali o dei rifiuti organici e inorganici. »

Nell'ambito della produzione di energia elettrica le fonti rinnovabili vengono inoltre classificate in "fonti programmabili" e "fonti non programmabili", a seconda che possano essere programmate in base alla richiesta di energia oppure no. Secondo la definizione del Gestore Servizi Elettrici (GSE, anche conosciuto come GRTN), nel primo gruppo rientrano "impianti idroelettrici a serbatoio e bacino, rifiuti solidi urbani, biomasse, impianti assimilati che utilizzano combustibili fossili, combustibili di processo o residui", mentre nel secondo gruppo (non programmabili) si trovano "impianti di produzione idroelettrici fluenti, eolici, geotermici, fotovoltaici, biogas".

EFFETTO FOTOVOLTAICO

L'effetto fotovoltaico si realizza quando un elettrone presente nella banda di valenza di un materiale (generalmente semiconduttore) passa alla banda di conduzione a causa dell'assorbimento di un fotone sufficientemente energetico incidente sul materiale.

L'effetto fotovoltaico fu osservato per la prima volta da Alexandre Edmond Becquerel nel 1839, costituisce una delle prove indirette della natura corpuscolare delle onde elettromagnetiche. La teoria fisica che spiega l'effetto fotoelettrico, del quale l'effetto fotovoltaico rappresenta una sottocategoria, fu pubblicata nel 1905 da Albert Einstein che per questo ricevette il premio Nobel. Quando una radiazione elettromagnetica investe un materiale può, in certe condizioni, cedere energia agli elettroni più esterni degli atomi del materiale e, se questa è sufficiente, l'elettrone risulta libero di allontanarsi dall'atomo di origine. L'assenza dell'elettrone viene chiamata in questo caso lacuna. L'energia minima necessaria all'elettrone per allontanarsi dall'atomo (passare quindi dalla banda di valenza che corrisponde allo stato legato più esterno alla banda di conduzione ove non è più legato) deve essere superiore alla banda proibita del materiale.

Questo fenomeno viene usualmente utilizzato nella produzione elettrica nelle celle fotovoltaiche. Il meccanismo di funzionamento si basa sull'utilizzo di materiali semiconduttori. Quando un flusso luminoso investe il reticolo cristallino di un semiconduttore, si verifica la transizione in banda di conduzione di un certo numero di elettroni al quale corrisponde un egual numero di lacune che passa

in banda di valenza. Si rendono pertanto disponibili portatori di carica, che possono essere sfruttati per generare una corrente. Per realizzare ciò è necessario creare un campo elettrico interno alla cella, stabilendo un eccesso di atomi caricati negativamente (anioni) in una parte del semiconduttore ed un eccesso di atomi caricati positivamente (cationi) nell'altro. Questo meccanismo si ottiene mediante drogaggio del semiconduttore che generalmente viene realizzato inserendo atomi del terzo gruppo come ad esempio il boro e del quinto gruppo come il fosforo, per ottenere rispettivamente una struttura di tipo p (con un eccesso di lacune) ed una di tipo n (con un eccesso di elettroni).

Lo strato drogato con elementi del quinto gruppo, che hanno cinque elettroni esterni (o di valenza) contro i tre di quelli del terzo gruppo, presenta una carica negativa debolmente legata, costituita da un elettrone in eccesso per ogni atomo drogante. Nello stesso modo, nello strato drogato con elementi del terzo gruppo, che hanno invece tre elettroni esterni, si ottiene un eccesso di carica positiva, data dalle lacune degli atomi droganti. Il primo strato, a carica negativa, viene generalmente chiamato strato n, l'altro, a carica positiva, strato p, la zona di separazione è detta giunzione p-n.

Va sottolineato che il materiale risulta essere globalmente neutro, dato che il drogaggio viene realizzato con atomi neutri (non ioni), quello che cambia è l'eccesso di elettroni nei legami covalenti, da una parte, e il difetto degli stessi dall'altra. Mettendo a contatto i due materiali così ottenuti, si viene a verificare un flusso di diffusione di elettroni dalla zona n alla zona p e di lacune in direzione opposta, fino al raggiungimento dell'equilibrio elettrostatico, che determina un eccesso di carica positiva nella zona n, un eccesso di elettroni nella zona p e una regione intermedia detta regione di svuotamento. Il risultato è un campo elettrico interno al dispositivo che si estende a cavallo della regione di svuotamento, generalmente spessa pochi micrometri.

A questo punto, se viene illuminata con fotoni la giunzione dalla parte n, vengono a crearsi delle coppie elettrone-lacuna sia nella zona n che nella zona p. Il campo elettrico permette di dividere gli elettroni in eccesso (ottenuti dall'assorbimento dei fotoni da parte del materiale) dalle lacune, e li spinge in direzioni opposte gli uni rispetto agli altri. Gli elettroni, una volta oltrepassata la zona di svuotamento non possono quindi più tornare indietro, perché il campo impedisce loro di invertire la marcia. Connettendo la giunzione con un conduttore esterno, si otterrà un circuito chiuso nel quale il flusso di elettroni parte dallo strato n, a potenziale maggiore, verso lo strato p, a potenziale minore sintanto che la cella resta esposta alla luce.

CELLE FOTOVOLTAICHE

Dopo l'ossigeno, il silicio, è l'elemento più diffuso sulla crosta terrestre (28%). Allo stato puro ha struttura cristallina simile a quella del diamante. Tutte le moderne tecnologie dei computer sono possibili grazie al silicio elettronico. I microchips, le schede integrate, i microcircuiti sono tutti realizzati con silicio elettronico. Per ottenere il silicio si parte da sabbia di rocce silicee e quarzose. Attraverso processi di riduzione, la silice, in fase di fusione perde atomi di carbonio che vengono assimilati da sostanze riducenti (sodio, carbone). Dopo varie fasi di fusione/cristallizzazione si ottiene silicio metallurgico, usato per le cellule FV, che è un prodotto di scarto del silicio elettronico perché meno puro. Il silicio utilizzato per le celle fotovoltaiche può essere: policristallino, monocristallino e amorfo (cioè che non ha struttura cristallina).

Il silicio metallurgico fuso in lingotti (diametro 10-15 cm) viene affettato in sezioni di 0,25-0,35 mm di spessore. La cellula FV è costituita da due strati di silicio "drogato" (cioè silicio a differente potenziale elettrico) posti tra le due facce delle sezioni ricavate dai lingotti. La differenza di potenziale si ottiene attraverso la diffusione controllata, nei forni, di atomi di fosforo e di atomi di

boro sui due strati opposti della cellula. I primi creano carenza di elettroni, quindi, i secondi creano esubero di elettroni. Dal primo si ottiene silicio tipo "p", dall'altro silicio tipo "n". Nella giunzione tra i due strati, per effetto del bombardamento di fotoni (esposizione alla luce solare), le cariche elettriche tendono a separarsi creando la circolazione di corrente elettrica tra le due facce della cellula, ossia, i due poli (negativo e positivo) della cella. Ovvero tra il contatto elettrico inferiore, ottenuto per serigrafia di una pasta d'argento, e il contatto elettrico superiore, costituito da una griglia frontale.

La cellula fotovoltaica è la giunzione di due sottili materiali semiconduttori (silicio tipo "p" e silicio di tipo "n"). Quando un raggio di luce colpisce la cellula le cariche positive si separano da quelle negative creando una differenza di potenziale. Tra i due semiconduttori si genera una piccola corrente elettrica. Una cellula ha una superficie di 100 mmq, alle condizioni di normale insolazione (25 °C - 1 kW/mq) produce corrente elettrica di 3 Ampere di intensità, 0,5 Volt di tensione e 1,5 Watt di potenza. Il silicio è praticamente una "macchina" che produce energia ma, come tutte le macchine, ha delle perdite di efficienza. I moderni motori a scoppio arrivano al 27%, le centrali elettriche arrivano al 50%. Così il silicio policristallino ha rendimenti bassi pari al 12-14%, il monocristallino ha rendimento del 18% e il silicio amorfo ha efficienza di conversione (7%) ancora più bassa del policristallino, costa meno ma ha un tempo di vita di 10 anni mentre, un modulo policristallino, ha garanzia di vita per 25-30 anni.

MODULI FOTOVOLTAICI

Il collegamento di più cellule consente di ottenere tensioni (Volts) più alte. Una volta connesse in serie/parallelo, le 36 cellule vengono incapsulate in uno spessore di EVA (Etil-Vinil-Acetato) e poi laminate su una lastra di vetro ad alta resistenza, trasparenza e antiriflesso per ottenere il modulo incorniciato da un telaio di alluminio. Così connesse le cellule formano il modulo di mezzo metro quadro che produce 50 Wp (per le perdite di accoppiamento), ad una tensione di 17V (Volts x Amps = Watts). Pesa circa 6 chilogrammi, ha uno spessore di 4 centimetri. Più moduli sono una stringa e, più stringhe insieme, sono un campo fotovoltaico.

TIPOLOGIE DI IMPIANTO

Le tipologie impiantistiche sono: essenziale e distribuzione (grid -connected).

Impianti isolati (stand-alone)

In questi impianti l'energia generata alimenta direttamente il carico elettrico. Quella in eccesso viene accumulata nelle batterie che la rendono disponibile nei periodi in cui il generatore fotovoltaico non è in nelle condizioni di fornirla. Questi impianti rappresentano la soluzione più idonea a soddisfare utenze isolate che possono essere convenientemente equipaggiate con apparecchi utilizzatori che funzionano in corrente continua.

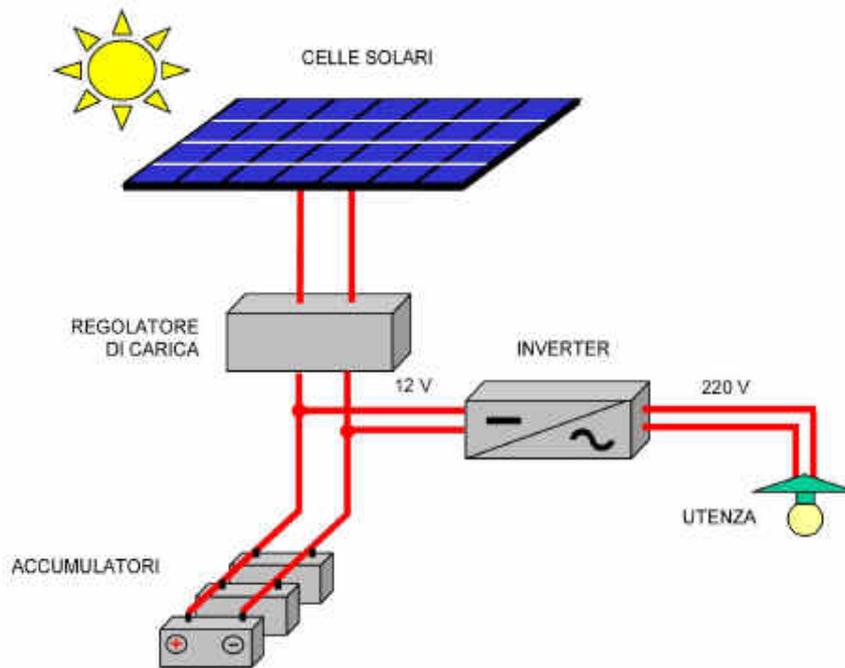
Un sistema impiantistico fotovoltaico stand-alone è composto dai seguenti elementi. Per ricavare più potenza vengono collegate tra loro diverse celle.

2. Regolatore di carica: è un apparecchio elettronico che regola la ricarica e la scarica degli accumulatori. Uno dei suoi compiti è di interrompere la ricarica ad accumulatore pieno.

3. Accumulatori: sono i magazzini di energia di un impianto fotovoltaico. Essi forniscono l'energia elettrica quando i moduli non sono in grado di produrne, per mancanza di irraggiamento solare.

4. Inverter (o convertitore): trasforma la corrente continua proveniente dai moduli e/o dagli accumulatori in corrente alternata convenzionale a 220V. Se l'apparecchio da alimentare necessita di corrente continua si può fare a meno di questo componente.

5. Spesso vengono impiegati anche dagli impianti fotovoltaici. Per esempio impianti fotovoltaici in combinazione con gruppi elettrogeni a motore Diesel. In questo caso l'impianto fotovoltaico fornisce la potenza base utilizzata di solito. Per consumi elevati di breve durata (o in caso di emergenza) viene inserito il gruppo elettrogeno.



Schema di un impianto isolato (stand-alone)

Impianti connessi con una rete elettrica

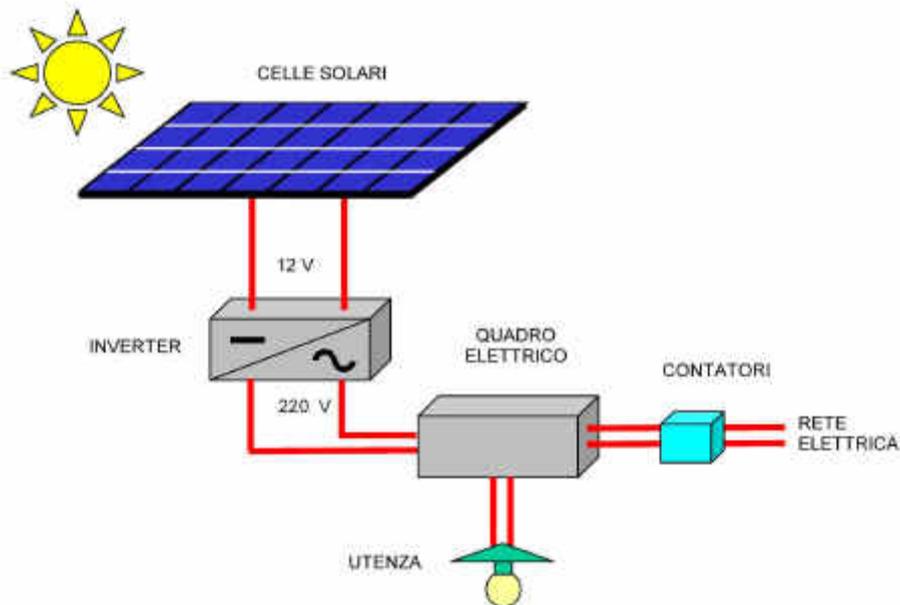
In questi impianti l'energia viene convertita direttamente in corrente elettrica alternata che può alimentare le normali utenze oppure essere immessa nella rete, con la quale lavora in regime di interscambio. In quest'ultimo caso presso l'utente sono installati due contatori: uno che contabilizza l'energia elettrica fornita dall'impianto fotovoltaico alla rete ed uno che contabilizza l'energia elettrica che l'utente preleva dalla rete. Nell'ipotesi in cui le due tariffe coincidano, l'utente paga all'ente erogatore dell'energia elettrica solo la differenza tra l'energia consumata, prelevata dalla rete, e quella fornita alla rete.

Un impianto fotovoltaico a trasmissione in diretta è un sistema a corrente continua. Per i componenti: potenza vengono collegate tra loro diverse celle.

2. Inverter: trasforma la corrente continua proveniente dai moduli in corrente alternata convenzionale a 220V di tensione. Questo adattatore è assolutamente necessario per il corretto funzionamento delle utenze collegate e per l'alimentazione della rete.

3. Quadro elettrico: in esso avviene la distribuzione dell'energia. In caso di consumi elevati o in assenza di alimentazione da parte dei moduli fotovoltaici la corrente viene prelevata dalla rete pubblica. In caso contrario l'energia fotovoltaica eccedente viene di nuovo immessa in rete. Inoltre esso misura la quantità di energia fornita dall'impianto fotovoltaico alla rete.

5. Rete elettrica pubblica: l'energia elettrica viene fornita dalla rete pubblica.



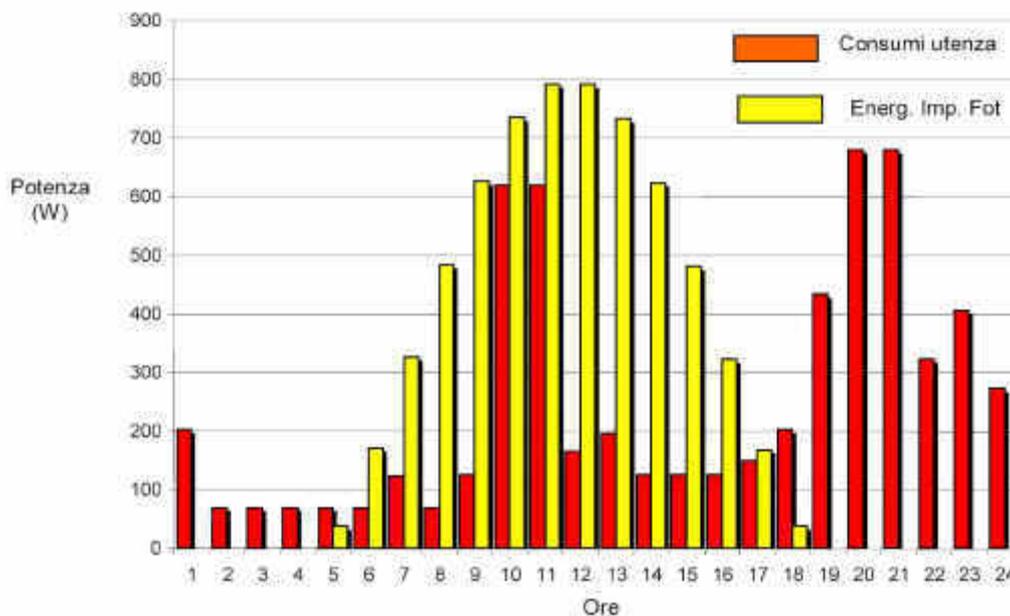
Schema di un impianto connesso alla rete pubblica.

Gli impianti fotovoltaici connessi alla rete rappresentano dal punto di vista applicativo la soluzione ideale in quanto tutta l'energia generata dall'impianto viene comunque utilizzata: o direttamente dall'utente o immessa nella rete elettrica che costituisce quindi un sistema di accumulo infinito.

La mancanza di un sistema di accumulo locale consente inoltre di ridurre sia i costi iniziali sia quelli di esercizio (le batterie di accumulo dopo un certo numero di anni devono infatti essere sostituite). Per comprendere meglio la logica con la quale funzionano gli impianti fotovoltaici connessi alla rete è utile fare riferimento al grafico che riporta il bilancio energetico di un impianto fotovoltaico per una tipica utenza residenziale.

Le barre verticali gialle rappresentano le quote di energia elettrica fornita dall'impianto fotovoltaico. Tale energia è proporzionale alla radiazione solare incidente e quindi segue un andamento con valori massimi nelle ore centrali della giornata.

Le barre rosse rappresentano le quote di energia elettrica richiesta dall'utenza presa come esempio. L'andamento dei consumi elettrici, evidenzia comunque una richiesta di energia elettrica concentrata nelle ore serali in cui l'impianto fotovoltaico non è in grado di erogare energia.



Bilancio energetico di un impianto fotovoltaico per una tipica utenza residenziale

Quando l'energia elettrica richiesta è superiore a quella che l'impianto fotovoltaico è in grado di fornire, l'utenza preleva energia dalla rete.

D'altra parte quando l'energia elettrica richiesta è inferiore a quella disponibile, e quindi si verificano degli esuberi, l'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico viene immessa in rete.

LA LEGGE "CONTO ENERGIA"

Il 19 febbraio 2007 è entrato in vigore il decreto legislativo attraverso cui si definiscono i criteri e le modalità per incentivare la produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare, in attuazione dell'articolo 7 del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387.

Tale decreto costituiva il recepimento della Direttiva Europea per le fonti rinnovabili (Direttiva 2001/77/CE) in cui si dà la possibilità di usufruire a chiunque di finanziamenti in conto energia. Ciò significa che gli incentivi per la costruzione di impianti fotovoltaici verranno erogati in "conto energia" anziché in "conto capitale": si basano cioè su una tariffa incentivante per kWh di energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico che consente di ammortizzare il costo dell'installazione rivendendo l'energia elettrica prodotta direttamente al gestore GRTN. Questo provvedimento garantirà anche in Italia il successo degli impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica, esattamente come è accaduto in Germania, dove i finanziamenti in conto energia hanno permesso il decollo del settore fotovoltaico diventando così il secondo paese al mondo per installazioni. Al termine dei 20 anni l'energia prodotta potrà essere utilizzata direttamente per i consumi privati e quindi le bollette che si riceveranno saranno a quel punto relative alla differenza tra quello che si produrrà e quello che si sarà utilizzato. I vantaggi a seguito dell'attuazione di questa nuova norma rispetto al passato, si possono sintetizzare essenzialmente in tre punti:

Tali incentivi sono a disposizione sia per le persone fisiche che giuridiche (comuni, enti locali, aziende private etc.) e sono diventati oggi più facilmente erogabili. Si può installare l'impianto fotovoltaico sulla propria abitazione o in azienda in qualsiasi momento.

Oltre tutte le finalità etiche insite nel concetto di energia pulita, grazie a questa novità chiunque può decidere di utilizzare la produzione di energia come una forma pura di investimento. Gli incentivi, come sottolineato prima, non vanno a sostenere i costi per la realizzazione dell'impianto ma mirano a far investire per produrre energia elettrica da impianto fotovoltaico in un'ottica di investimento a medio-lungo termine.

Il produttore di energia elettrica potrà vendere al gestore GRTN quanto prodotto a costi molto superiori rispetto ai prezzi di acquisto attuali. L'energia prodotta dagli impianti verrà ceduta per 20 anni al gestore ad un prezzo pari circa al doppio/triplo rispetto all'ammontare normalmente pagato in ragione della potenza installata e della tipologia di impianto scelto.

I costi dell'incentivazione degli impianti fotovoltaici non sono a carico dello stato, ma sono coperti con un prelievo sulle tariffe elettriche che tutti i consumatori (componente tariffaria A3) stanno pagando da anni. Questa componente a carico del consumatore è pari a circa 0,0014€ (poco meno di 3 lire) per ogni kWh. L'IVA su tali impianti è pari al 10%.

Usufruendo delle tariffe del "conto energia", in prima approssimazione si può stimare un tempo di ritorno del capitale investito compreso tra 8 e 12 anni.

Tuttavia bisogna tener conto delle diverse applicazioni. La redditività di un impianto fotovoltaico dipende direttamente dalla quantità di radiazione solare disponibile (dipendente dalla latitudine del sito d'installazione e dall'orientamento), dal costo per kW dell'investimento (dipendente dalla taglia dell'impianto) e dalla valorizzazione dell'energia prodotta (valore delle tariffe incentivanti e valore dell'energia utilizzata).

L'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico viene convertita dall'inverter e immessa nella rete. Viene installato un primo contatore posizionato dal gestore GSE a valle dell'inverter, conteggia tutta l'energia prodotta dall'impianto, e riconosce al produttore, per venti anni, a seconda della classe di appartenenza definita in base alla potenza, delle tariffe incentivanti che variano al variare della tipologia di impianto e della potenza; in particolare vengono distinte le seguenti tipologie di impianto:

- Impianto non integrato (es. impianto al suolo)
- Impianto parzialmente integrato (es. impianti a tetto aderenti alla superficie della copertura)
- Impianto integrato (es. pensiline con copertura costituita da moduli fotovoltaici)

La tabella di seguito sintetizza il valore dell'incentivazione riconosciuta al variare della potenza e della tipologia di impianto:

Dimensione impianto	Tariffe incentivo statale per tipologia impianto		
	Nessuna integrazione architettonica	Parziale integrazione architettonica	Integrazione architettonica
1 - 3 kWp	0,40 euro/KWh	0,44 euro/KWh	0,49 euro/KWh
3 - 20 kWp	0,38 euro/KWh	0,42 euro/KWh	0,46 euro/KWh
> 20 kWp	0,36 euro/KWh	0,40 euro/KWh	0,44 euro/KWh

L'energia prodotta viene ceduta all'ENEL e conteggiata da un secondo contatore che conteggia i KWh immessi alla rete. Si può immaginare la rete nazionale come una batteria di capacità infinita dove il produttore immette l'energia prodotta e quando necessita la preleva. Il vantaggio enorme di tale soluzione è che la rete nazionale non necessita di manutenzione e costi aggiuntivi dovuti alle perdite di carica e scarica della batteria e la sua sostituzione che avviene ogni circa 10 anni.

Un terzo contatore cioè il normale contatore che si ha normalmente in casa conteggia, il consumo energetico per i propri fabbisogni quando non vi è produzione di energia elettrica dall'impianto. In sintesi il secondo contatore ha la caratteristica di misurare l'energia immessa nella rete Nazionale, mentre il terzo contatore quello di misurare il consumo.

Le tariffe riportate nella tabella precedente valgono per tutti quegli impianti che entreranno in funzione nel 2007, il decreto definisce altresì le tariffe che verranno applicate agli impianti che entreranno in produzione negli anni successivi al 2007 fino al 2010 compreso; in pratica ogni anno successivo al 2007 verranno applicate le tariffe dell'anno precedente ridotte del 2%.

Le tariffe specificate nel decreto possono essere ulteriormente maggiorate (fino ad un massimo del 30%) qualora l'impianto sia abbinato ad interventi di efficientamento energetico; in particolare ad ogni riduzione del 10% del fabbisogno energetico di ogni unità abitativa (ottenuto attraverso interventi tesi alla riduzione delle perdite energetiche) farà seguito un aumento di pari entità della tariffa incentivante (fino, appunto, ad un massimo del 30%).

CELLE A FILM SOTTILE

Spesso si deve impiegare più energia nella produzione di una cella fotovoltaica di quanto la cella stessa ne produrrà in tutta la sua attività di funzionamento.



Nel fotovoltaico esistono problemi anche dal punto di vista ambientale, infatti, il trattamento del silicio è svolto con l'utilizzo di grandi quantità di acidi molto tossici che in seguito dovranno essere smaltiti con particolari processi chimici.

Nei laboratori degli istituti di ricerca e dell'industria solare si cerca pertanto di produrre celle fotovoltaiche con materiali più ecocompatibili e con un rendimento maggiore. Alcuni siti industriali si stanno concentrando sulla produzione di celle fotovoltaiche sottili,

attraverso una tecnologia che si chiama CIS. Questo acronimo sta per una combinazione di rame, indio e il semi-metallo selenio, materiale che si comporta come un semiconduttore fotoattivo. Esistono altre tecnologie che utilizzano semiconduttori come cadmio-telluride (CdTe tellururo di cadmio) o rame, indio, gallio, selenio e zolfo (CIGSSe), ottenendo risultati soddisfacenti nella trasformazione da energia solare in elettrica.

Mentre le celle fotovoltaiche di silicio devono avere almeno uno spessore di qualche decimo di millimetro per essere in grado di trasformare la luce in elettricità, le celle a film sottile fanno lo stesso lavoro con uno spessore cento volte minore, quindi risparmiando materiale ed energia.

Nella tecnologia del film sottile i singoli semiconduttori sono semplicemente evaporati e depositati in strati sopra un supporto di vetro o di metallo, ma anche su supporti flessibili come teli che possono essere opportunamente piegati secondo le esigenze applicative.

Un altro metodo tecnologico è lo "sputtering", un sistema ecologico in cui un bombardamento di ioni estrae atomi da vari materiali depositandoli sul substrato scelto. Questo processo avviene sotto vuoto e richiede un tempo minore rispetto alla semplice evaporazione.

Lo sputtering è la tecnologia più pulita di ogni altra tecnica di rivestimento e fornisce una molteplice combinazione di vantaggi basata prima di tutto su un metodo di deposizione economicamente efficiente che genera un sottile e uniforme rivestimento, ed in secondo luogo su un processo a bassa temperatura.

Altri vantaggi evidenziano un forte legame tra il film semiconduttore ed il substrato perché entrambi sono saldati a livello molecolare, una versatilità operativa perché è un trasferimento a freddo, che può essere usato per depositare materiali su ogni tipo di substrato, come i metalli, la ceramica, il vetro e i materiali plastici, ed infine il processo ha la possibilità di automatizzare il controllo di deposizione.

Vediamo sinteticamente i principali step di questo processo, il materiale di rivestimento è inserito nella camera a vuoto come catodo sotto forma di piastra metallica. Dopo che nella camera è stato creato il vuoto, viene introdotto il gas di processo, è usato normalmente argon per il suo elevato peso atomico, ed infine si applica un'alta tensione elettrica.

A questo punto gli ioni positivi di argon subiscono una accelerazione verso il catodo negativo ed in seguito a ripetuti urti espellono gli atomi della piastra metallica, creando un materiale evaporante che si deposita sui substrati degli oggetti già sistemati all'interno della camera a vuoto, successivamente questo materiale evaporante condensa formando il rivestimento. Possono essere inseriti in uno stesso sistema di rivestimento sotto vuoto catodi diversi costituiti da materiali differenti, in tal modo si ottengono deposizioni multistrato assolutamente originali ed innovative.

La deposizione per sputtering permette di ottenere film di ottima qualità, composti da ogni tipo di materiale e con particolari accorgimenti consente la realizzazione di ricoprimenti con proprietà diverse dal materiale di partenza in fase massiva.

Analizziamo alcune applicazioni pratiche sull'utilizzo del fotovoltaico a film sottile, una di queste è rappresentata dai tetti di molti capannoni industriali che non sono in grado di sopportare il peso della struttura e degli ancoraggi un impianto fotovoltaico tradizionale. Il problema sparisce quando si tratta di applicare su un tetto celle fotovoltaiche sottili con un film fotoattivo di alcuni millesimi di millimetro. La soluzione è quella dell'applicazione dello strato fotovoltaico su supporti come teli arrotolabili, che possono essere tagliati secondo la forma del tetto o incollati direttamente su una facciata, superando l'ostacolo del peso del sistema fotovoltaico in silicio.

Una nuova fase innovativa che sta partendo in questi ultimi anni, con gli sviluppi delle nanotecnologie, promette ulteriori miglioramenti tecnologici.

La capacità di progettare materiali a livello nanometrico con proprietà innovative rende possibile una nuova ottimizzazione del processo fotovoltaico. Il materiale da cui si parte è sempre un semiconduttore come il (CIGS) diselenuro rame indio gallio, o in alternativa polimeri fotovoltaici di nuova generazione. Questi semiconduttori sono utilizzati sotto forma di inchiostri, vengono depositati secondo le tecniche della stampa rotativa, e progettati con formule che permettono l'autoassemblaggio a livello molecolare di strutture geometriche disposte in un preciso ordine tridimensionale, nell'intervallo tra 1 e 100 nanometri.

Con queste tecnologie si raggiungono efficienze dell'effetto fotovoltaico simili a quelle del silicio tradizionale ma con costi inferiori.

La tecnologia di deposizione per stampa permette l'uso di materiali di supporto meno costosi di quelli per la diffusione sotto vuoto, ottenendo caratteristiche più flessibili, resistenti e maneggevoli.

Questa tecnologia garantisce buone performances pur in presenza di tempo nuvoloso e per elevate temperature dei moduli.

Uno dei più grandi impianti al mondo dove si è deciso di usare celle in film sottile (CdTe) si trova a Meiring, in Germania, dove la Epuron, azienda leader nelle energie rinnovabili ha installato 28.500 moduli di First Solar pari a 1,78 MW su un'area di oltre 6 ettari. L'impianto, costato 7 milioni di euro, è sufficiente al fabbisogno di circa 500 famiglie, con un risparmio sulle emissioni inquinanti pari a 1450 milioni di tonnellate di CO₂ l'anno.

APPLICAZIONE DIDATTICA DEGLI STUDI SUL FV

Per l'approfondimento della tesi compilativa per la laurea triennale in tecniche decostruire si era deciso di unire le conoscenze acquisite in Elementi della costruzione con le conoscenze acquisite in Fisica Tecnica 2:

Per Elementi della costruzione, si è svolto uno studio sulle caratteristiche tecniche e ambientali di un edificio già realizzato, scelto da una rivista. Per Fisica Tecnica 2 una parte del corso è stata riservata allo studio del fotovoltaico. L'approfondimento si pone come obiettivo l'integrazione dei due corsi: per cui il lavoro consiste nell'analizzare il progetto per inserirvi un impianto fotovoltaico senza alterare lo spirito e le conformazioni del progetto originale.

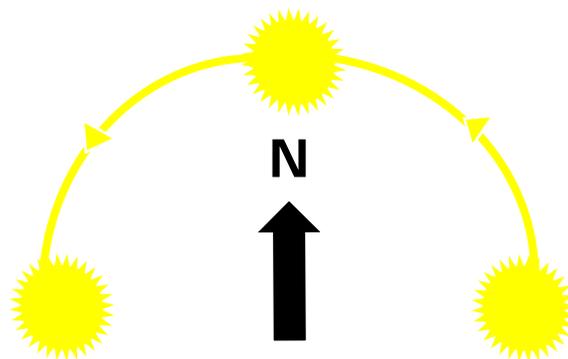
CLIMA GENERALE – SANTIAGO DEL CILE

Il paese, delimitato dall'Oceano Pacifico a ovest e chiuso dalle Ande a est, si estende per circa 4300 km, dal desertico settentrione al glaciale sud. Condivide buona parte della sua estesa frontiera orientale con l'Argentina e confina a nord con il Perù e la Bolivia. In media, il Cile non supera i 200 km di larghezza, ma questa scarsa estensione è compensata dall'elevazione del territorio, che dal livello del mare sale rapidamente fino a raggiungere i 6000 m, mentre gli estremi latitudinali conferiscono al paese una straordinaria varietà paesaggistica. Il clima del Cile è vario quanto il suo territorio: zone aride, ma sorprendentemente temperate a nord, una zona centrale che gode di un clima mediterraneo e le terre della Patagonia cilena e di Tierra del Fuego a sud, esposte a vento, pioggia e neve. La parte centrale del Cile (chiamata *Zona central*) ospita la maggior parte della popolazione del paese e comprende tre delle principali aree urbane, Santiago, Valparaíso e Concepción. Si estende dal 32° S fino ai 37° S di latitudine, il territorio è caratterizzato dalla presenza di due catene montuose, la Cordigliera della costa parallela alla costa e la Cordigliera delle Ande, fra le due catene si trova un'ampia vallata chiamata *Depresión Intermedia* oppure *Valle Longitudinal*. Il clima è di tipo mediterraneo. Qui la stagione delle piogge si protrae da maggio ad agosto e fa registrare un calo delle temperature che a luglio scendono a una media non inferiore ai 3°C. In gennaio la temperatura massima media è circa di 29°C.



SOLEGGIAMENTO:

Trovandosi nell'emisfero australe il percorso del sole sarà esattamente l'opposto di quello che compie in Italia (emisfero boreale). Questo significa che il lato da tenere in considerazione per il soleggiamento dell'abitazione e per eventuali utilizzi dell'energia solare o fotovoltaica è quello a nord.



DESCRIZIONE DEL PROGETTO:

L'orientamento del terreno ha consentito di formulare una proposta piuttosto semplice: un volume principale, dell'altezza di due piani, disposto trasversalmente al lotto e di forma regolare; una sorta di scatola esposta a nord-est, chiusa sulla strada ma aperta sul giardino e sul paesaggio montano, che contiene la zona giorno, una terrazza coperta, la sala da pranzo, uno studio e le camere da letto. La scala, il bagno per i bambini e quello degli ospiti sono inseriti in un corpo di forma irregolare annesso al lato occidentale della costruzione, un "blocco di roccia" che si erge sullo specchio d'acqua nel patio d'accesso. La cucina, i servizi e il garage sono stati collocati all'interno di un volume ribassato: l'ingresso per le auto dà direttamente sulla strada, mentre è stata sfruttata la possibilità di realizzare un'area per il posteggio antistante il giardino. Al primo piano, trovano posto il soggiorno, la sala da pranzo, un bagno, la camera da letto padronale e un soggiorno, mentre al secondo, affinché fossero più riparate, sono state previste le camere per i figli ed uno studio, completamente isolato dalla zona dedicata ai bambini, che godesse appieno della magnifica vista; vi si accede attraverso un corridoio / biblioteca che si affaccia sulla terrazza e sul salotto a doppia altezza collocato al centro del volume principale. L'opera è stata interamente realizzata in cls pigmentato a vista, preparato con cemento bianco messicano.

CARICO RICHIESTO:

Per dimensionare correttamente un impianto fotovoltaico si parte dall'analisi nel dettaglio del carico energetico richiesto dall'abitazione. In questa fase bisogna fare molta attenzione perché più il carico richiesto sarà alto, maggiore sarà la superficie dei pannelli necessaria al fabbisogno energetico. Nel nostro caso, non conoscendo internamente l'abitazione si è effettuata una stima del fabbisogno energetico. La differenza tra il periodo estivo e quello invernale è comunque necessaria, poiché le ore di utilizzo variano di molto sia per le lampade che per gli elettrodomestici. Per il calcolo si utilizza il maggiore dei due carichi, anche se i valori non sono molto differenti.

VALUTAZIONE DEL CARICO RICHIESTO (E_c) – PERIODO ESTIVO						
TIPO DI CARICO	QUANTITÀ	POTENZA UNITARA (W)	POTENZA TOTALE (W)	ORE/GG	FATTORE DI CONTEMPORANEITÀ	CONSUMO (Wh/g)
Frigorifero	1	250	250	8	1,0	2000
Lampade int.	25	13	325	3	0,5	487,5
Lampade est.	10	15	150	3	1,0	450
Televisore	2	100	300	4	1,0	1200
Stereo	2	150	200	3	1,0	600
Congelatore	1	15	150	8	1,0	1200
TOTALE						5937,5
VALUTAZIONE DEL CARICO RICHIESTO (E_c) – PERIODO INVERNALE						
TIPO DI CARICO	QUANTITÀ	POTENZA UNITARA (W)	POTENZA TOTALE (W)	ORE/GG	FATTORE DI CONTEMPORANEITÀ	CONSUMO (Wh/g)
Frigorifero	1	250	250	6	1,0	1500

Lampade int.	25	13	325	6	0,5	975
Lampade est.	10	15	150	6	1,0	900
Televisore	2	100	300	4	1,0	1200
Stereo	2	150	200	3	1,0	600
Congelatore	1	15	150	6	1,0	900
TOTALE						6075

RENDIMENTO:

Qualsiasi pannello si scelga non si deve commettere l'errore di inserire nei calcoli il valore di rendimento indicato dalla ditta costruttrice: questo va, infatti, moltiplicato per il rendimento totale dei componenti dell'impianto e delle varie perdite elencate nella tabella. Questo procedimento riduce il rischio di un dimensionamento inferiore a quello effettivamente necessario.

PERDITE DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO (%)		RENDIMENTI (%)	RENDIMENTI
Perdite per bassa radiazione e ombreggiamento	3	6	94
Perdite per riflesso	3		
Perdite per mismatching tra le stringhe e i moduli	3	9	91
Perdite per effetto della temperatura	6		
Perdite sull'inverter	10	90	0,9
Perdite per inquinazione sui moduli	1	99	0,99
Perdite sul sistema di accumulo	11	89	0,89
Perdite sui circuiti in corrente continua	1	99	0,99
TOTALE		67	0,67

SCELTA DEL PANNELLO:

La scelta del pannello è fondamentale per il dimensionamento; nella scheda tecnica riportata sotto troviamo molte informazioni relative a diversi pannelli della stessa azienda costruttrice. La scelta va fatta in base alle proprie esigenze che possono essere dimensionali o di efficienza. Nel nostro caso si è deciso di adoperare un pannello di non grandi dimensioni (così da rimanere avvantaggiati per l'installazione) e con un rendimento del 15%.

$$\eta_{FV} = 0,15$$

Il rendimento effettivo dell'impianto sarà dato dalla seguente formula:

$$\eta_G = \eta_{bos} \times \eta_{FV} = 0,67 \times 0,15 = 0,1$$

PANNELLI FOTOVOLTAICI FSM (MONOCRISTALLO) - CERTIFICATO DIN EN 61215

MOD	WATT	Rend. %	Elem.	Uoc (V)	Isc (A)	P _{mpp} (V)	P _{mpp} (A)	LxBxH (mm)	Peso (kg)	Sup. (m ²)
FSM40-12	40	14	36	21,1	3,4	16,5	2,42	987 x 452 x 40	6	0,446
FSM45-12	45	14,5	36	20,7	3,5	16	2,81	987 x 452 x 40	6	0,446
FSM50-12	50	15	36	21,16	3,7	17,1	2,92	987 x 452 x 40	6	0,446
FSM55-12	55	15,5	36	21,5	3,6	17,2	3,2	987 x 452 x 40	6	0,446

KWANT s.r.l. - Nuove Tecnologie - Distributore esclusivo per Europa

RADIAZIONE GLOBALE MEDIA (G_m) E DISPOSIZIONE DEI PANNELLI:

Nella tabella di sopra troviamo anche le potenze relative ai diversi pannelli, tuttavia il valore da utilizzare per il calcolo è la "radiazione globale media giornaliera su base mensile sul piano dei moduli". Cioè il quantitativo di energia che il sole fornisce in media sul piano del pannello fotovoltaico. Questo valore, quindi, è strettamente legato a due fattori: l'ubicazione dell'impianto e l'orientamento dei pannelli. Il progetto è situato a Santiago del Cile (33°26' Sud - 70°39' Ovest), non potendo usare i dati dell'ENEA (calcola la radiazione su un piano inclinato in qualsiasi luogo d'Italia), si è svolta una sorta di stima di questo valore medio che cresce man mano che diminuisce la latitudine. In definitiva se a Milano (45°) il valore è 4301, a Siracusa (37°) è 4861, a Santiago del Cile (33°) sarà all'incirca 5141 Wh/m². I valori adoperati dall'ENEA dipendono comunque dall'orientamento della superficie: ci troviamo nell'emisfero sud, quindi i pannelli fotovoltaici debbono essere esposti a nord con un angolo zenitale di 0,00°. Si è scelto, infine, un angolo d'inclinazione dei pannelli di 25° (inferiore di 5° a quello usato solitamente in Italia).

$$G_m = 5141 \text{ Wh/m}^2$$

AREA MINIMA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO (A_{g min}):

Si può finalmente giungere al calcolo della superficie minima del sistema fotovoltaico necessaria al fabbisogno dell'edificio. La formula da utilizzare è la seguente (coefficiente di ombreggiamento K = 0,97):

$$A_{g \min} = \frac{E_c}{\eta_g \cdot G_m \cdot K} = 6075 / (0,1 \times 5141 \times 0,97) = 12,18 \text{ m}^2$$

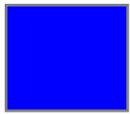
NUMERO DI PANNELLI ADOPERATI (N_p):

Con l'area minima necessaria e la superficie del singolo pannello (tabella), si calcola ora il numero minimo di pannelli necessari al fabbisogno energetico:

$$N_p = A_{g \min} / A_p = 12,18 / 0,446 = 27,31 \text{ m}^2$$

LETTURA ANALITICA DEI PROSPETTI:

È indiscutibile che per evitare disastri progettuali, con l'aggiunta di pannelli fotovoltaici su un edificio già realizzato, bisogna cercare di comprenderne il significato così da riuscire poi a capire cosa del progetto e in quale misura può essere modificato.



È il volume principale del progetto, un parallelepipedo che si innalza per 2 piani e che prosegue sul tetto con un parapetto, il quale però non si distingue dal resto dell'elemento. Il materiale adoperato è il cemento armato a vista.



Per questo elemento di forma irregolare, il materiale adoperato è lo stesso del volume principale. Contiene la scala interna e i servizi, ma la sua funzione è anche estetica, poiché con lo specchio d'acqua su cui poggia crea un'immagine di un "blocco di roccia sospeso sull'acqua" caratteristica del paesaggio montano delle Ande.



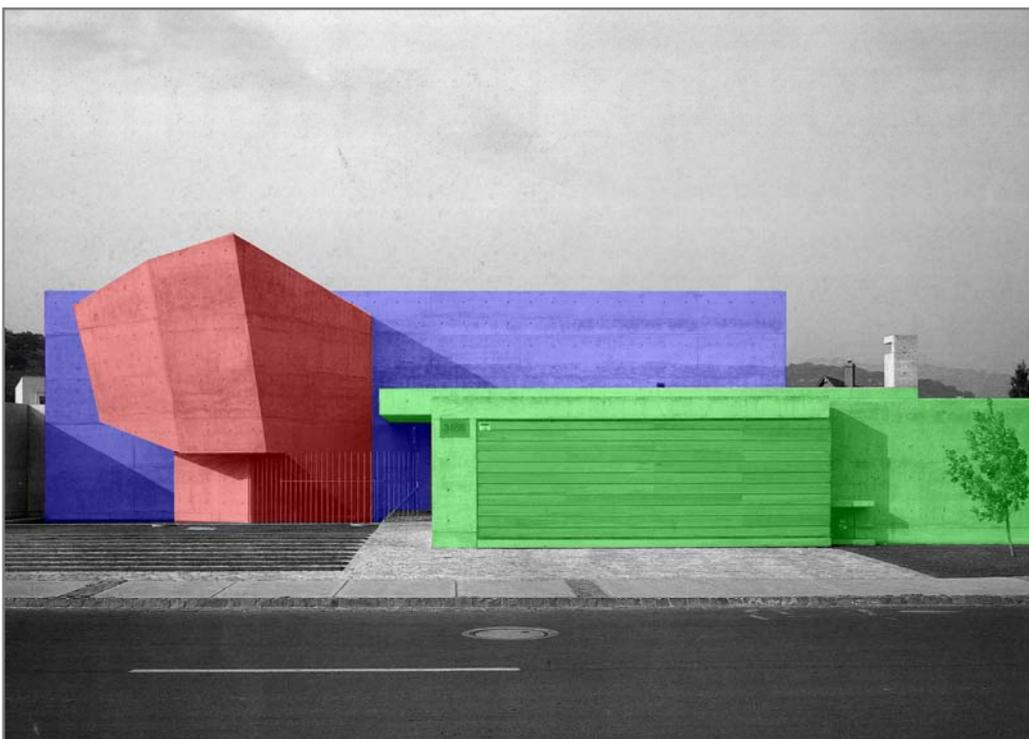
Osservandolo il prospetto non si dà troppa importanza a questo elemento. In realtà all'interno del volume (più basso, ma più largo) trovano posto un garage con due posti auto e un'ampia cucina. Esteticamente è necessario per spezzare la monotonia dell'elemento a due piani.



L'elemento in giallo è una semplice pensilina che però presenta un dente (sempre in cemento armato a vista) molto largo la cui funzione è quella di schermare il soggiorno a doppia altezza dalla luce solare.



Tutti i volumi analizzati (a parte l'elemento "roccia") si incrociano con linee guida orizzontali. La forza di questo edificio sta proprio in queste linee interrotte solo dall'elemento roccia anteriormente e dalla pensilina posteriormente.





INSTALLAZIONE DEI PANNELLI:

Dall'analisi del progetto risulta evidente come qualsiasi tentativo di modifica dei due prospetti eliminerebbe i cardini progettuali dell'edificio. Inoltre l'inclinazione dei pannelli (25°) è tale per cui sarebbe impossibile una loro installazione sulle facciate dell'edificio. Si è scelto quindi il tetto che oltre ad offrire ampi spazi, riesce col parapetto a nascondere i pannelli installati, mantenendo intatti i due prospetti. Come risulta dai calcoli svolti, si devono installare minimo 27,32 pannelli fotovoltaici. Per maggiore efficienza, semplicità di unione e regolarità delle forme ne installiamo 30 divisi in 5 stringhe da 6 pannelli ciascuno. Ciascuna stringa è stata posta il più possibile distante dalle possibili cause d'ombra (parapetto e altre stringhe) in modo da ottimizzare il rendimento dell'intero impianto.

