

Impianti fotovoltaici di seconda generazione

<http://www.impresaoggi.com/it/articoli/Er13.pdf>

1. Premessa

Il settore dell'energia fotovoltaica, fino a oggi, è stato dominato dal silicio. Le ragioni di questo dominio sono:

- la sua abbondanza sulla crosta terrestre (1),
- la sua non tossicità, fattore che lo rende facilmente maneggiabile,
- l'ampio uso di questo materiale nell'industria elettronica.

Un wafer (2) di silicio mono o policristallino, utilizzato per l'industria fotovoltaica, è per il 90% prodotto dagli scarti dell'industria elettronica. La forte dipendenza dall'industria elettronica e il recente notevole incremento nella produzione dei moduli fotovoltaici, dovuto all'introduzione del meccanismo incentivante del conto energia, ha determinato, da qualche anno, una difficoltà nell'approvvigionamento di silicio.

La catena che dal silicio arriva alla produzione di energia elettrica è costituita dai seguenti anelli:

- Produttori dei lingotti di silicio e dei relativi wafer
- Produttori delle celle
- Produttori dei moduli (o pannelli)
- Progettisti installatori
- Produttori di energia elettrica.

Questa catena è dotata di sufficiente capacità produttiva ad eccezione del primo anello che oggi, condiziona, in parte, lo sviluppo dell'energia fotovoltaica, con costi molto elevati per il kWh fotovoltaico.

Nuovi produttori di lingotti di Si stanno, peraltro, entrando sul mercato, pertanto, nel 2010 aumenterà la produzione dei wafer di silicio e tutto il mercato ne risentirà positivamente.

2. La tecnologia del film sottile

In sostituzione della cella costituita da un wafer di silicio drogato, da poco, è entrata sul mercato la tecnologia del film sottile.

Attualmente diversi materiali sono in competizione per i film sottili:

- a-Si (silicio amorfo). Giova notare che il silicio amorfo assorbe la luce molto più efficacemente del silicio cristallino, per questo motivo lo spessore della cella in a-Si può essere cento volte minore dello spessore della cella in Si cristallino;
- a-Si/ μ -Si (giunzione ibrida silicio amorfo/ silicio microcristallino). I due materiali, entrambi semiconduttori, hanno caratteristiche complementari rispetto all'assorbimento della radiazione solare;
- CIS (rame, indio, diseleniuro);
- CdTe (tellururo di cadmio).

Potenzialmente la tecnologia del film sottile si presenta con svariati importanti vantaggi.

- Lo strato assorbente può essere prodotto in spessori molto ridotti tipicamente 2-3µm, contro i 200-300µm del wafer di silicio. Questo consente notevoli risparmi sul costo della materia prima ed elimina i problemi della reperibilità.
- La tecnologia consente di ridurre le fasi della lavorazione, con la realizzazione, in un unico processo, di tutte le celle del pannello e della relativa connessione, eliminando la costosa fase del montaggio delle celle e della loro connessione elettrica tipica della tecnologia Si-wafer-based.
- Il grado di automazione è maggiore rispetto alla tecnologia Si-wafer-based.
- Gli strati che costituiscono le celle possono essere depositati su materiali poveri, come vetro, ma anche fogli di plastica o di metallo.
- Con una produzione di pannelli non inferiore a 50 MW/anno il costo del Wp può essere molto contenuto, pertanto, l'*energy pay back time* degli impianti fotovoltaici può essere sensibilmente inferiore a quello per impianti Si-wafer-based.

Lo svantaggio più significativo è rappresentato dall'entità degli investimenti necessari per la produzione; a parità di MW installati un impianto a film sottile richiede investimenti circa dieci volte maggiori di un impianto per moduli Si-wafer-based.

La giapponese Kaneka , in test di laboratorio ha dimostrato che nell'arco di 12mesi la produzione di energia in kWh per impianti da 1kWp è:

Kaneka a-Si - 1,203

Kaneka c-Si - 1,113

Kaneka poly-Si - 1,059.

Il miglior comportamento del silicio amorfo è dovuto al suo buon rendimento anche alle alte temperature, tipiche, delle stagioni estive, e nelle condizioni di ombreggiamento.

In Fig. 1 è mostrata la tipica struttura a substrati di una cella a film sottile, indipendentemente dal materiale usato. Lo spessore totale degli strati può variare tra 3 e 5 µm; lo spessore del vetro può essere di 3-4mm., ma, come già detto, al posto del vetro si possono usare fogli di plastica o di metallo che consentono addirittura di ottenere pannelli arrotolabili.

Contatto trasparente frontale (3)
Buffer trasparente per realizzare la giunzione
Materiale assorbente (a-Si, CdTe, CIS, ecc)
Conduttore posteriore (Ag, Mo, ...)
Vetro

Le tecnologie a film sottile, già mature per la produzione industriale sono:

- Silicio amorfo, a-Si
- Giunzioni ibride silicio amorfo e silicio policristallino, a-Si/µ-Si
- Rame-indio-diseleniuro (CIS)
- Tellururo di cadmio, CdTe.

Esistono, pertanto, diversi materiali semiconduttori e numerosi processi per la deposizione di questi materiali sotto forma di film sottile, tuttavia, la struttura del film non dipende dalla tecnologia usata per produrlo.

Il processo di produzione prevede la deposizione, su un substrato (vetro, metallo, plastica), in successione dei seguenti strati:

- contatto metallico posteriore,
- materiale assorbente (semiconduttore),
- buffer,
- contatto anteriore trasparente alla radiazione (TCO).

Le deposizioni dei vari strati si alternano con una serie di asportazioni, mediante laser, di sottilissime strisce che consentono di realizzare le singole celle e di realizzare la connessione in serie tra le celle e, quindi, tra il polo positivo di una cella (contatto metallico posteriore) con il polo negativo (contatto trasparente frontale) della cella successiva. Questo processo, chiamato integrazione monolitica delle celle consente un elevato grado di automazione nella produzione dei pannelli.

Si procede, infine, all'incapsulamento del modulo tramite laminazione.

Il produttore che, oggi, ha i maggiori piani di produzione, a scala industriale, è la statunitense First Solar di Phoenix che ha ordini di moduli a film sottile in CdTe per 45MW/anno, con prezzi di vendita di circa 1,15 €/Wp. La First Solar ha annunciato, nel luglio 2007, che realizzerà in Germania, a Francoforte, un impianto per la produzione di pannelli a film sottile della capacità annua di 120 MW.

Gli si nota che il CdTe ha proprietà molto interessanti per il suo utilizzo in campo fotovoltaico. I vantaggi sono.

- È un semiconduttore a bandgap diretta (4) che consente di convertire l'energia solare in elettricità più efficacemente dei tradizionali semiconduttori a bandgap indiretta (5). L'energia della larghezza di banda del CdTe è pari a 1,45 eV contro 1,20 eV dei materiali usati più frequentemente.
- Mantiene un buon rendimento all'aumentare della temperatura di funzionamento.
- Non esistono problemi di reperimento dei componenti.
- I produttori come First Solar si impegnano a ritirare e riprocessare i moduli al termine della loro vita.

Gli si osserva che una delle domande che i tecnici si pongono riguarda quale potrà essere il materiale che, sul medio-lungo termine, si imporrà nella tecnologia del film sottile.

Nei laboratori di ricerca da anni vengono sperimentati i materiali che sono stati citati precedentemente e un dato interessante riguarda i valori delle efficienze di conversione di celle da 1cm² di superficie.

Materiale*	Efficienza di conversione
a-Si (a tripla giunzione)**	12,7
a-Si/ μ -Si	13
CdTe	16
CIS	18,8

*Per necessità di confronto sono stati presi i dati di letteratura, pertanto mancano alcuni casi abbastanza frequenti.

** La migliore soluzione trovata in laboratorio con l'a-Si.

Questi valori, che vanno comunque presi con prudenza, essendo dati di laboratorio, mostrano che CdTe e CIS realizzano le maggiori efficienze di conversione, avvicinandosi ai valori del silicio cristallino, d'altra parte a-Si (anche con singola giunzione) e a-Si/ μ -Si riscuotono molto interesse per svariati vantaggi, come, abbondanza della materia prima, natura non tossica del Si, minori consumi di energia nel processo di produzione rispetto agli altri due materiali e sono ottimi candidati per pannelli destinati a campi fotovoltaici di grandi potenze.

Il CIS è stato studiato a fondo presso lo ZSW, il centro di ricerche solari del Baden-Württemberg

CIS (rame-indio-diseleniuro) è un semiconduttore policristallino, spesso arricchito con gallio (CIGS), elemento che consente di aumentare l'efficienza di conversione.

Il modulo in CIS è realizzato, presso lo ZSW, usando come substrato vetro da 2-3mm di spessore; sul vetro viene depositato il molibdeno con uno spessore di circa 0,5 μ m, come contatto posteriore. Quindi lo strato assorbente CIS o CIGS ad uno spessore di 2-3 μ m. Il processo di deposizione più usato è la coevaporazione dei vari elementi sotto vuoto. La giunzione è realizzata depositando un buffer di CdS (materiale quasi completamente trasparente alla radiazione visibile e all'infrarosso) di 0,05 – 0,07 μ m di spessore. Infine, avviene la deposizione del ZnO, trasparente e buon conduttore e quindi con la funzione di contatto frontale, ad uno spessore di circa 2 μ m. Come già detto le deposizioni sono alternate da tracciatura laser che consente di separare le celle e di realizzare i contatti elettrici.

E' importante notare che i maggiori produttori mondiali di moduli FV in Si cristallino

- Sharp
- United Solar Systems
- Ersol
- Shott Solar
- Uni-Solar
- EPV-Solar
- CGS-Solar
- United Solar Ovonic
- Kaneka
- Mitsubishi
- Showa Shell Sekiyu
- Solarex
- Altri

si stanno orientando, anche, verso la produzione di moduli a film sottile.

Dopo questa veloce analisi della tecnologia a film sottile corre l'obbligo di riportare le considerazioni emerse durante il recente Congresso sul fotovoltaico tenuto a Milano, nel settembre 2007, e l'opinione di importanti operatori del settore.

Nel 2010 si ritiene che la tecnologia a film sottile potrà coprire il 25% del mercato dei pannelli fotovoltaici e i prezzi di vendita potrebbero essere circa un terzo del prezzo dei pannelli di silicio cristallino o policristallino.

Considerando gli incentivi del conto energia, oggi, il pay-back-time, per un impianto fotovoltaico Si-wafer-based è di 8-9 anni e spesso questo dato scoraggia i potenziali investitori. Se la tecnologia riuscirà ad abbattere considerevolmente il prezzo dei moduli, come avviene già oggi con i pannelli della First Solar, allora si avrà sicuramente una seconda esplosione nella produzione di energia elettrica da fotovoltaico.

A nostro parere la tecnologia del film sottile con i suoi prezzi al Wp sensibilmente inferiori ai prezzi dei moduli Si-wafer-based, consentirà tempi di pay-back dell'investimento in impianti fotovoltaici "molto ragionevoli" e aprirà la strada agli investimenti delle imprese industriali che potrebbero utilizzare, ad esempio, i tetti dei capannoni industriali per realizzarvi gli impianti.

Giova notare che nei paesi nei quali si sono registrate le maggiori realizzazioni di impianti FV investitori istituzionali come banche e gestori di fondi si stanno interessando attivamente agli investimenti in impianti fotovoltaici di grandi potenze.

3. Il parere degli esperti dell'Enea

Il 27 ottobre 2007 L'ENEA ha pubblicato un rapporto nel quale si parla dello stato dell'arte del fotovoltaico. A proposito della tecnologia a film sottile l'ENEA scrive.

“La quota di mercato delle tecnologie a film sottile è ancora molto contenuta (~ 7%), ma tutti gli scenari, delineati da fonti autorevoli, sono concordi nel considerarle come la soluzione con le maggiori potenzialità nel medio-lungo termine per una sostanziale riduzione dei prezzi (fino a valori inferiori a 1 €/Wp). L'idea alla base dei moduli in film sottile è di impiegare materiali a basso costo (vetro, metallo, plastica) insieme a quantità minime di un semiconduttore ad alto costo ma con una superiore capacità di assorbimento della luce solare rispetto al silicio cristallino, come il Silicio amorfo e microcristallino (a-Si e μ c-Si, con 6-9% di efficienza commerciale), il Diseleniuro di Rame e Indio (CIS, CIGS nel caso di aggiunta di Gallio, 10-12%), o il Tellururo di Cadmio (CdTe, 9%). Depositando i film direttamente su larga area, fino a oltre 5 mq, si evitano gli enormi sfridi di lavorazione tipici dell'operazione di taglio dei wafer di silicio cristallino dal lingotto di partenza. Le tecniche di deposizione sono a basso consumo di energia e quindi è breve il relativo payback time, ossia quanto tempo deve operare un impianto fotovoltaico per produrre l'energia impiegata per fabbricarlo, circa 1 anno per i film sottili di silicio amorfo contro i 2 della tecnologia del silicio cristallino, secondo le valutazioni più aggiornate. È possibile anche realizzare giunzioni multiple sovrapponendo in serie più strati di materiali semiconduttori diversi, con risposta ottimale per intervalli diversi di lunghezze d'onda dello spettro della luce solare, allo scopo di sfruttarlo al meglio. I moduli a film sottili dimostrano anche una migliore resa energetica rispetto ai moduli in c-Si di pari potenza nominale, grazie ad una minore dipendenza dell'efficienza dalla temperatura di funzionamento, che nei mesi estivi può raggiungere anche i 70 °C, e alla buona risposta anche quando la componente di luce diffusa è più marcata e quando sono bassi i livelli di irradianza (rispetto al riferimento standard di 1000 W/m²), ossia nelle

giornate nuvolose. Agli indubbi vantaggi delle tecnologie a film sottile non è corrisposto fino a oggi l'aspettato successo industriale per il persistere di alcuni fattori negativi: il confronto tra moduli a film sottili e al silicio cristallino sfavorevole per i primi perché di solito, acriticamente, non basato sulle rese energetiche ma sulle efficienze standard; problemi tecnologici e di disponibilità di alcuni materiali (l'In, in particolare, massicciamente impiegato per la realizzazione di LCD, è passato da 70 \$/kg nel 2002 a 1100 \$/kg nel 2005); difficoltà nel passaggio dalle linee pilota a quelle industriali per l'alto costo dell'investimento richiesto (è necessario approntare la linea di fabbricazione completa, mentre nel caso del silicio cristallino si possono acquistare i wafer da aziende specializzate). Nell'ultimo periodo, però, è stata riscontrata una netta inversione di tendenza con l'entrata in funzione di nuovi impianti e l'annuncio di nuovi investimenti, sia in Europa che nel resto del mondo, per realizzare stabilimenti di produzione di moduli a film sottili con tutte le diverse tecnologie disponibili (silicio, CIGS e CdTe), ma con una forte prevalenza di quella, più consolidata, del silicio amorfo.”

Gaetano Polimeri
15-10-2007

NOTE

- (1) Dopo l'ossigeno il Si è l'elemento più abbondante sulla crosta terrestre dove, tuttavia, non si trova libero ma sempre sotto forma di composti ossigenati (silice e silicati)
- (2) Fetta sottile
- (3) Noto come TCO, transparent conductive oxide
- (4) La bandgap o energy gap è la differenza in eV tra il minimo della banda di conduzione e il massimo della banda di valenza. La bandgap è diretta quando il minimo della banda di conduzione si trova sopra il massimo della banda di valenza.
- (5) Si ha quando il minimo della banda di conduzione è spostato rispetto al massimo della banda di valenza, pertanto gli elettroni della banda di conduzione hanno bisogno di una sorgente di “momento” per cadere nella banda di valenza.

<http://www.impresaoggi.com/it/articoli/Er13.pdf>