

Telloruro di Cadmio: Eldorado del fotovoltaico o insidia ambientale?

Giovanni Palmisano, Vincenzo Augugliaro, Rosaria Ciriminna, Vittorio Loddo, Mario Pagliaro
Polo fotovoltaico della Sicilia

La diffusione degli economici moduli a film sottile in Telloruro di Cadmio (CdTe), la cui produzione da un paio di mesi è stata avviata anche in Italia (nell'impianto lombardo di Arendi), ha generato un acceso dibattito sull'impatto ambientale dei moduli e sul possibile ingresso di Cadmio libero nell'ecosistema, causato da installazioni diffuse. Il processo produttivo particolarmente efficiente di questi pannelli permette di utilizzare una quantità di semiconduttore circa cento volte inferiore a quella necessaria alla realizzazione di moduli in Silicio cristallino.

La struttura dei moduli "vetro su vetro" a singola giunzione prevede un contatto elettrico anteriore (SnO_2 o analoghi ossidi conduttori), un film sottile di solfuro di Cadmio, il film semiconduttore di CdTe (con *band gap* energetico di ca. 1,5 eV) e infine il contatto posteriore (Figura 1). La quantità di CdTe presente in ogni singolo modulo (di circa 1 m²) è inferiore a 10 grammi.

Il semiconduttore è un composto costituito da Cadmio e Tellurio. Il Cadmio è un metallo pesante tossico, viene utilizzato come costituente delle comuni batterie ricaricabili al nickel-cadmio (ogni pila contiene circa 10 g di Cadmio puro). Si ottiene, a prescindere dalla richiesta di mercato come sottoprodotto della produzione di

zinco (ca. 80%) e piombo (ca. 20%), in quantitativi tali (20.000 t/anno) da renderlo di facile reperibilità. L'Unione europea nel 2004 ha fissato un limite massimo dello 0,002% in peso alla quantità di Cadmio presente nelle batterie. Nonostante ciò sono previste varie eccezioni tra cui quelle relative ad applicazioni in batterie d'emergenza, per sistemi d'allarme, per strumenti medicali e per batterie utilizzate in utensili elettrici senza fili.

Il Tellurio, invece, è un elemento chimico con proprietà intermedie tra i metalli e i non metalli, si ottiene quasi esclusivamente come sottoprodotto dei processi di raffinazione del rame ed è abbastanza raro.

Il CdTe è un composto assai più stabile dei suoi costituenti (Tabella 1), insolubile in comuni solventi e quindi difficilmente dissolvibile. Esiste solo il sospetto che il CdTe possa essere cancerogeno e nocivo per l'ambiente: alcuni test hanno verificato che nei topi le dosi letali per ingestione sono di 15 grammi per chilogrammo di peso corporeo, laddove un uomo dovrebbe ingerire il CdTe di alcune centinaia di moduli.

Inoltre la decomposizione del CdTe, che può essere la sola causa di immissione di Cadmio libero in natura, avviene a temperature superiori a 1.000°C. Anche in questo caso, però, il rilascio da parte dei moduli fotovoltaici, non sarebbe automatico, in quanto il semiconduttore è ben incapsulato al loro interno.

Negli Stati Uniti il *Brookhaven National*

Laboratory presso il *National Photovoltaic Environmental Health and Safety Assistance Center*, autorità federale statunitense, ha effettuato accurati test al fine di valutare i possibili rischi di contaminazione ambientale di questi moduli fotovoltaici.

Sono state simulate condizioni di incendio con temperature fino a 1.100°C e i risultati hanno mostrato che a temperature superiori a 800°C il CdTe presente nei moduli inizia gradualmente a fondere e volatilizzare. Cosa che non avviene in ogni caso nell'emissione in atmosfera di Cadmio, perché il vetro del modulo parzialmente fuso incapsula stabilmente il Cadmio liberato. Le prove simulate all'interno di forni isotermi (con moduli disposti orizzontalmente) hanno dato luogo a rilascio di Cadmio in aria solo in percentuali minime (massimo lo 0,6% del Cd totale) rispetto a quelle presenti nei moduli (Tabella 2).

Le contestazioni naturalmente non mancano: c'è chi sostiene che le temperature in caso di incendio vadano ben oltre i 1.000°C (vero all'interno degli edifici, ma raro sui tetti); chi obietta che i moduli vengano montati con una certa inclinazione e quindi il vetro fuso scivolerebbe via, non garantendo l'incapsulamento del Cadmio volatilizzato; chi ancora critica l'isotermicità del forno utilizzato, molto lontana dai gradienti termici che si svilupperebbero nelle varie parti di un modulo e che potrebbero causare la rottura del vetro di protezione, annullando

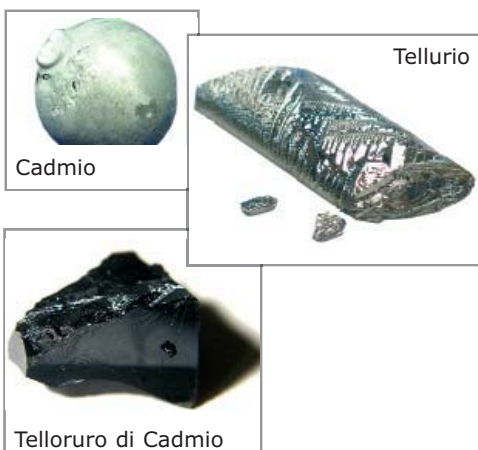


Tabella 1. Densità, temperatura di fusione e di ebollizione e calore specifico di Cadmio (Cd), Tellurio (Te) e Telloruro di Cadmio (CdTe).

	Cd	Te	CdTe
Densità a 25°C [kg/m ³]	8,65	6,24	5,85
T _{fusione} [°C]	321	450	1092
T _{ebollizione} [°C]	767	988	1130
c _p a 25°C [J/kg K]	231	202	210

Tabella 2. Risultati dei test di simulazione di incendi su moduli in CdTe.

T (°C)	500	760	900	1000	1100
Durata della simulazione (min)	60	30	30	120	240
Rilascio di Cd (%)	0,2	0,6	0,4	0,5	0,4

così ogni effetto protettivo.

Ciò è vero, nonostante vada sottolineata che le sostanze generate durante un incendio sono talmente tossiche e quantitativamente così rilevanti, da non reggere minimamente il confronto con i pochi grammi di Cadmio possibilmente rilasciati nell'ambiente da un impianto fotovoltaico. I vapori tossici derivano in gran parte dai prodotti presenti nei nostri edifici, contenenti PVC, resine varie, poliuretani, etc. Questo cocktail di composti, bruciando, dà vita a monossidi di carbonio, diossine, furani, acido cianidrico, idrocarburi policiclici aromatici, policlorobifenili, polveri sottili. In Italia, da una recente analisi di Greenpeace, il rilascio in aria di sostanze altamente tossiche e cancerogene (come le diossine e i furani) è risultato essere globalmente dell'ordine di centinaia di grammi all'anno. Si pensi che ogni singola raffineria emette ogni anno alcune decine di grammi di Cadmio, come è mostrato periodicamente dalle agenzie regionali per l'ambiente.

Se per assurdo supponessimo di soddisfare il fabbisogno energetico globale italiano esclusivamente tramite moduli in CdTe, troveremmo che il Cd rilasciato a causa di incendi sarebbe pari a una ventina di grammi annui, cioè più o meno quello rilasciato da una sola raffineria.

Inoltre, altri test hanno scartato l'ipotesi di una possibile contaminazione delle falde acquifere per dilavamento del CdTe: i moduli, frantumati, sono stati immersi in una soluzione e la concentrazione di metalli (Cadmio in particolare) è stata monitorata per ventiquattro ore, senza che fossero rilevate nemmeno tracce del metallo. Di conseguenza, i moduli in CdTe possono quindi essere smaltiti insieme ai rifiuti solidi urbani, senza alcun accorgimento particolare.

Sebbene, per quanto detto sinora, non risulti alcun rischio tangibile derivante dal

CdTe, i produttori hanno rapidamente sviluppato impianti pilota per riciclare i moduli: uno è già attivo in Germania e un altro negli Stati Uniti. L'impegno a ritirare gratuitamente i moduli non più utilizzabili e la presenza di una polizza assicurativa che garantisce il loro ritiro e riciclaggio (anche in caso di fallimento delle compagnie coinvolte) rendono perfettamente sostenibile lo sviluppo del fotovoltaico basato su CdTe nei prossimi decenni. Le aziende, dal canto loro, recuperando il 90% del vetro, e soprattutto il 95% del semiconduttore, abbattano notevolmente i costi di produzione dei moduli.

Il vetro, il Cadmio, il Tellurio e lo Stagno vengono recuperati e rivenduti alle aziende che fanno uso di questi metalli; l'incapsulante polimerico in etil vinil acetato (EVA) e lo zolfo derivante dal film in CdS vengono smaltiti.

Il processo di riciclaggio può essere sinteticamente riassunto nei seguenti stadi: triturazione dei moduli; rimozione del film semiconduttore di CdTe tramite dissoluzione in una soluzione di acido solforico e perossido di idrogeno; separazione delle parti solide da quelle liquide; separazione del foglio polimerico in EVA dal vetro; lavaggio del vetro e cessione a terzi per il riutilizzo; concentrazione della soluzione liquida contenente Cd, Te, Sn, Cu con cessione a terzi per la purificazione e l'immissione dei metalli sul mercato.

Ragionando per un momento sulla quantità di energia producibile tramite i moduli in CdTe, e volendo quindi fare un confronto tra il contenuto di Cadmio presente nelle batterie NiCd e nei moduli fotovoltaici, per unità di energia prodotta nella loro vita utile si ricavano facilmente i dati presenti in *Tabella 3*, dove sono riportati anche i grammi di Cadmio presenti in un singolo modulo e batteria. Per produrre 1 kWh di energia tramite moduli in CdTe è necessario poco più di un mg

Tabella 3. Quantità di Cd presente nei moduli fotovoltaici e nelle batterie NiCd.

	mg/kWh	g/unità
Moduli fotovoltaici *	1,3	7
Batterie NiCd (AA) **	3265	3,2
Batterie NiCd (C) **	3265	10,5-21

** I dati si riferiscono a 20 anni di vita utile.
** I dati si riferiscono a 1.000 ricariche.*

di cadmio, considerando conservativamente una vita utile del modulo di 20 anni e una irradianza solare media simile a quella del Nord Italia. Dall'altra parte abbiamo più di tre grammi di Cd, considerando che le batterie NiCd possono essere ricaricate un migliaio di volte prima di essere smaltite.

Si può quindi concludere che l'uso del CdTe per realizzare moduli fotovoltaici non presenta rischi di particolare rilievo per la salute dell'uomo e per la contaminazione ambientale. Utilizzare il Cadmio prodotto comunque come scarto di altri processi produttivi equivale a sottrarlo all'ambiente. Considerando infine che i moduli durante il loro funzionamento non producono scorie e che, una volta smaltiti, i processi di riciclaggio già esistenti consentono di recuperare almeno il 95% del CdTe presente, la produzione energetica tramite CdTe è del tutto sostenibile e rappresenta un'applicazione "green" del Cadmio.

Per informazioni:
gpalmisano@dicpm.unipa.it

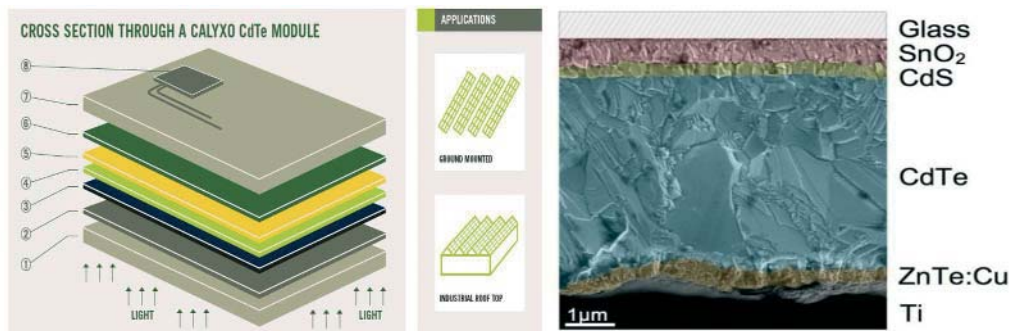


Figura 1. Struttura dei moduli in CdTe (sinistra) e microscopia elettronica di un modulo in CdTe (destra).