

SOLARIMETRI Vs. PIRANOMETRI

A. Calatroni, A. Ferrandi, G. Rosso ® 2012

Una comparazione analitica tra le due tecnologie di sensori di irraggiamento

Abstract

Per il corretto monitoraggio delle performance di impianti fotovoltaici a taluni nasce il dilemma : è più giusto usare un solarimetro al silicio o un piranometro ?

La risposta è : è più funzionale usare un solarimetro (o sensore a cella al silicio)

Ciò si fonda sui seguenti presupposti e concetti:

1. la cella al silicio rileva la medesima radiazione che un impianto fotovoltaico è in grado di convertire in energia
2. alcuni solarimetri posseggono una tecnologia in grado di restituire un valore di irraggiamento depurato dagli effetti della temperatura
3. i solarimetri presentano una superficie piatta e perciò analoga alla superficie dei moduli fotovoltaici. Essi inoltre vengono posizionati con la medesima orientazione ed inclinazione dei moduli fotovoltaici dell'impianto.
4. I solarimetri di fascia alta posseggono un'uscita con elevata immunità ai disturbi e in impianti di una certa grandezza dove sono presenti molte stringhe di moduli, fenomeni di induzione elettromagnetica a danno dei cavi che portano segnali, sono frequenti. Al contrario i piranometri essendo concepiti per aree privi di disturbi quali le stazioni meteorologiche hanno solitamente uscite di 10-20mV, e il segnale che passa sul cavo fino al sistema di monitoraggio ha notevole vulnerabilità a tali disturbi.
5. I solarimetri costano sensibilmente meno dei piranometri.

Ovviamente i piranometri hanno dalla loro alcuni vantaggi. Ai paragrafi successivi viene sviluppato in modo analitico ciascuno di questi quattro punti; all'ultimo paragrafo una tabella comparativa tra i vari sensori solari

1. la parte di radiazione solare soggetta alla conversione fotovoltaica

Il sole emette una radiazione elettromagnetica con diverse lunghezze d'onda e con un picco centrato nello spettro del visibile.

Questa radiazione per arrivare al suolo terrestre deve attraversare l'atmosfera terrestre, dove subisce assorbimenti, rifrazioni, riflessioni ed emissioni che agiscono in maniera selettiva.

Ogni elemento presente nell'atmosfera infatti reagisce in maniera diversa alle varie lunghezze d'onda della radiazione elettromagnetica, cioè ogni componente assorbe ed emette (assorbendo la radiazione si scalda e a seconda della temperatura

raggiunta ne emette un'altra diversa) la radiazione ad una diversa lunghezza d'onda.

Questo provoca che la radiazione solare al livello del suolo abbia uno spettro molto diverso (e energeticamente inferiore) da quello extra atmosferico, come si vede dall'immagine 1 le principali differenze sono nei valori massimi e nella "scomparsa" (o una accentuata diminuzione) di intere e specifiche lunghezze d'onda.

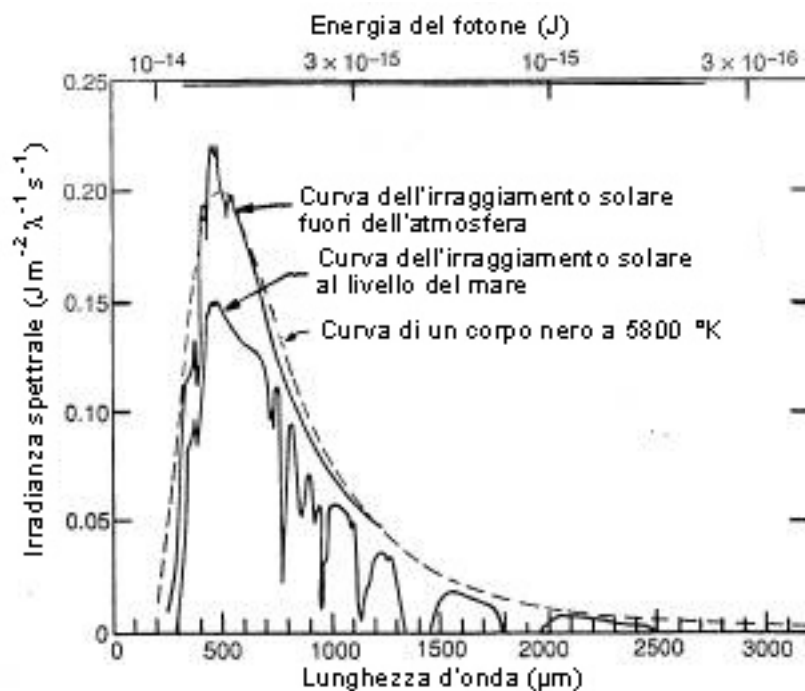


Figura1: Spettro della tipica radiazione solare a livello del mare

Si intuisce come per effettuare una corretta misura del valore dell'intera radiazione, bisogna considerarne tutto lo spettro.

Il sistema che meglio si presta a rilevare tutto lo spettro è quello basato sulla tecnologia delle termopile (piranometri) il quale è in grado di assorbire integralmente la radiazione solare, come

approfonditamente trattato nell'articolo "Pyranometers v. Reference Cells for PV Installations" scaricabile dal sito della Kipp&Zonen.

La figura 2 mostra la capacità di responso di un piranometro di ottima qualità; (tratto dalla scheda tecnica di un piranometro 'standard secondario' di Kipp&Zonen)

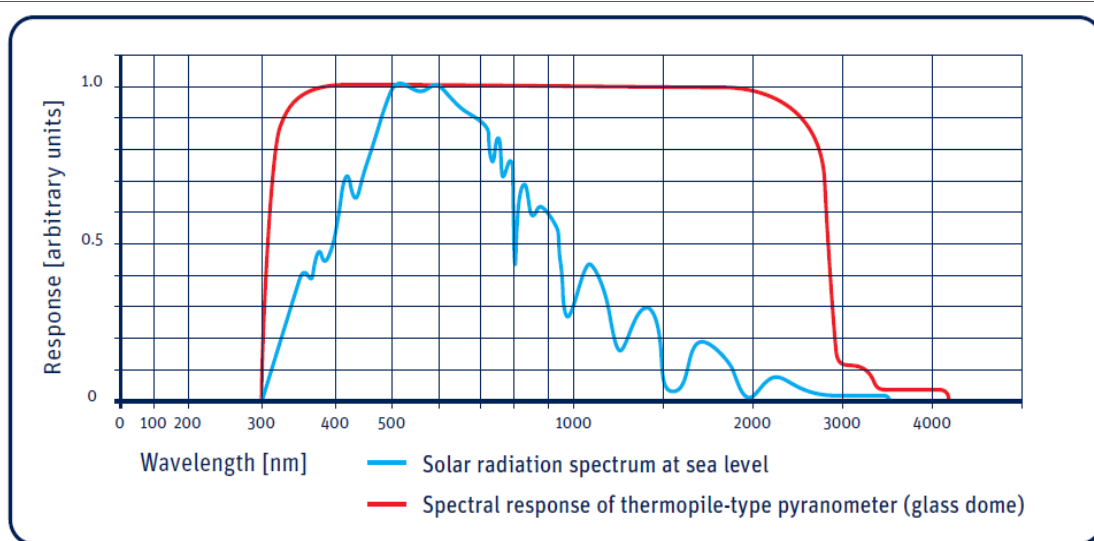


Fig. 2: Spettro della radiazione solare a livello del mare confrontato con l'assorbimento di una termo-pila

Quindi per avere una corretta stima della radiazione globale, diffusa o diretta il sistema migliore è senza dubbio quello di usare un piranometro.

Se invece si vuole valutare la producibilità di un impianto fotovoltaico e quindi valutare i flussi di cassa di possibili investimenti oppure “per valutare se l'impianto fotovoltaico funziona

correttamente e in linea con il rendimento previsto in fase di progetto” allora il piranometro non è lo strumento adatto alle vostre esigenze. Questo perché un modulo fotovoltaico convenzionale al silicio mono (o poli) cristallino non assorbe tutta la radiazione solare, ma solo un contenuta frazione dello spettro. La figura 3 rappresentata la radiazione assorbita (area in rosso)

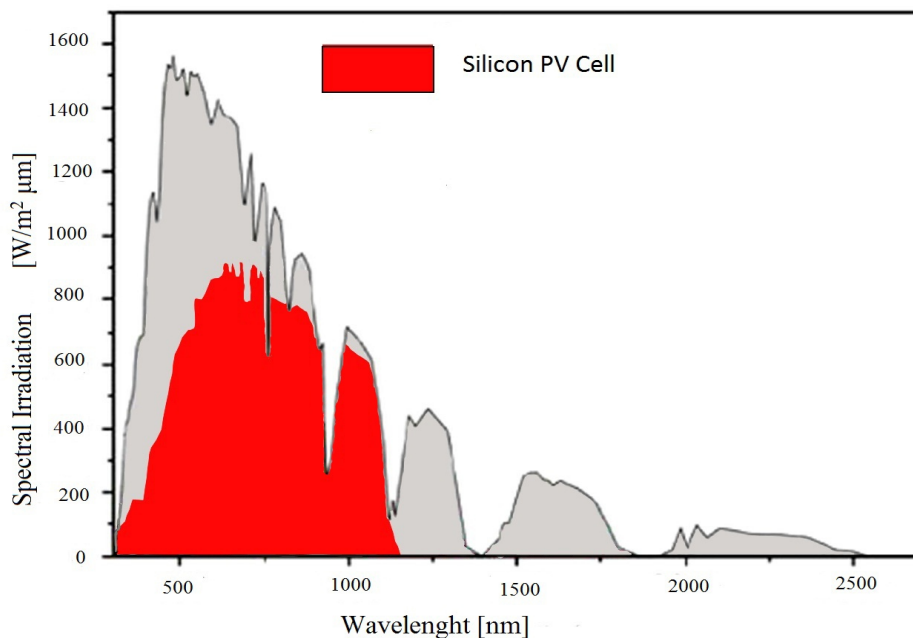


Fig.3: Spettro della radiazione solare assorbita da una cella di silicio monocristallino

Come si osserva ed è facilmente intuibile, andare a valutare la producibilità di un impianto fotovoltaico con un piranometro, che cattura tutto lo spettro solare, è un errore in quanto si andrebbe a sovrastimare sensibilmente la producibilità. Paradossalmente, se ci trovassimo a dover misurare la radiazione al di fuori dell'atmosfera, se avessimo ipoteticamente un sensore in grado di rilevare anche i raggi γ e X, sarebbe ancor più

facile comprendere che tale sensore non ci restituirebbe un 'benchmark' accurato di quanto può produrre un impianto FV dato che la banda di risposta della tecnologia fotovoltaica è molto più limitata (0,3 μm a 1,0 μm)

Si osservi la figura 4 per avere un ordine di grandezza numerico della sottostima.

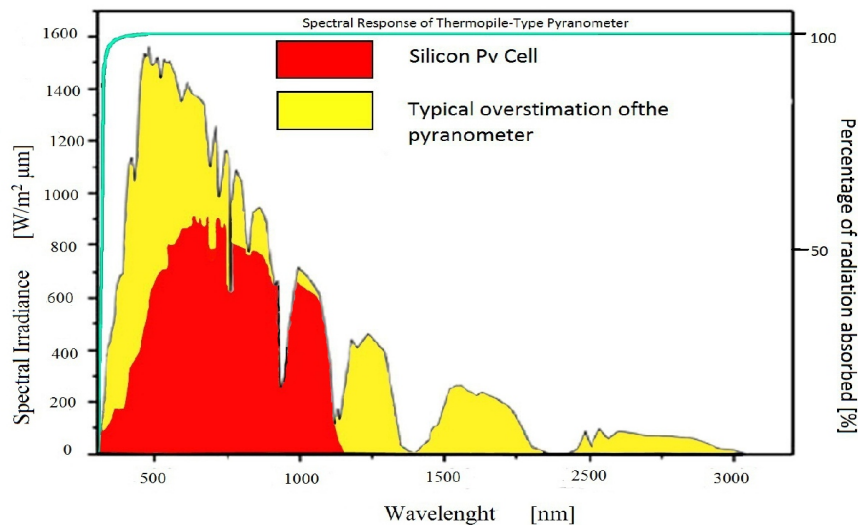


Fig.4: Sovrastima nella valutazione della producibilità di un impianto fotovoltaico al silicio cristallino commesso da un piranometro a termopila.

Se la fisica non è la materia da voi più digerita, si potrebbe esplicitare tale concetto facendo il paragone con un benchmark di un fondo d'investimento.

Un benchmark è un parametro obiettivo di riferimento, costituito facendo riferimento ad indicatori finanziari elaborati da soggetti terzi e di comune utilizzo, come possono essere gli indici azionari.

In sintesi nel mondo della finanza per valutare la redditività di un fondo o di altri prodotti, uno dei sistemi più diffusi è quello di riferire i parametri del nostro fondo a un fondo di riferimento, il benchmark appunto.

Se noi andassimo a prendere come valore di riferimento l'irradianza rilevata in un determinato luogo geografico un valore misurato con un piranometro, otterremmo un valore impreciso a cui riferire la produzione dell'impianto.

L'uso di solarimetri per la misura della radiazione solare invece, azzerava questo problema in quanto il sensore usato dai solarimetri con cella al silicio cristallino assorbe la stessa lunghezza d'onda di un modulo commerciale al silicio, e quindi fornisce il valore corretto di producibilità dell'impianto senza dover diminuirlo tenendo conto della frazione di infrarosso e quindi senza tener conto degli indici di stato del cielo e utilizzando complessi metodi numerici, che difficilmente un datalogger sarebbe in grado di elaborare se non con sofisticata strumentazione aggiuntiva (analisi spettrale etc..)

Quindi possiamo riassumere dicendo che misurare la radiazione solare con un piranometro ci permette di valutare il fenomeno fisico più interamente, mentre misurarla con un solarimetro ci permette di valutare il fenomeno utile per la produzione di energia, e quindi il fenomeno funzionalmente ed economicamente interessante.

Si sottolinea che il solarimetro non è lo strumento più accurato per la valutazione della radiazione solare, esso invece è lo strumento più efficace e semplice per valutare la producibilità di un impianto fotovoltaico.

Tuttavia il solarimetro se viene tarato con l'ausilio di un piranometro è utilizzabile come strumento per la valutazione della radiazione solare, anche se a causa dei punti sopra esplicitati, si porterà dietro un'incertezza dovuta alla sua non sensibilità all'infrarosso e al non assorbimento totale della radiazione visibile, che lo renderà meno preciso degli strumenti a termopila. La taratura di un solarimetro attraverso un piranometro deve allora essere eseguita sotto condizioni particolari. (1)

2. l'effetto della temperatura sulla misura della radiazione solare

I piranometri non necessitano di una correzione in temperatura sulla misura effettuata., o almeno l'effetto della temperatura è così limitato che non vale la pena compiere questa operazione.

Ad essere più precisi alcuni piranometri prevedono la possibilità di effettuare la correzione in temperatura fornendo la curva di correzione all'interno del certificato di taratura, ma nei piranometri più precisi e costosi si tratta di correzioni di grandezze intorno all'1%.

La suddetta curva di solito viene fornita nei

piranometri di fascia alta in quanto sono quelli pensati e sviluppati per funzionare in condizioni climatiche più avverse dove l'effetto di temperatura può essere molto importante.

Alle nostre latitudini e comunque in zone a noi climaticamente simili, l'errore sarebbe così limitato da essere di qualche interesse unicamente per studi accademici.

Tuttavia si sottolinea come l'effetto sia così limitato solo per strumenti molto sofisticati e costosi, mentre per strumenti di fascia più bassa l'errore tende a crescere sensibilmente.

Le comuni celle al silicio cristallino invece risentono della temperatura influenzandone i valori di tensione e corrente. Ciò a causa delle caratteristiche stesse del silicio sottoposto a drogaggio per aumentare l'effetto di conversione fotovoltaica.

Oggi, i solarimetri in commercio di fascia medio alta, effettuano la correzione in temperatura del valore misurato grazie a dell'elettronica a bordo di un certo pregio. In tal modo l'effetto della temperatura sulla lettura del valore di corrente della cella, viene rettificato dall'elettronica o da algoritmi se è presente un microcontroller. Tali correzioni raggiungono valori attorno a 8% in corrispondenza di elevate temperature estive. (rispetto al valore misurato in condizioni S.T.C. a 25°C).

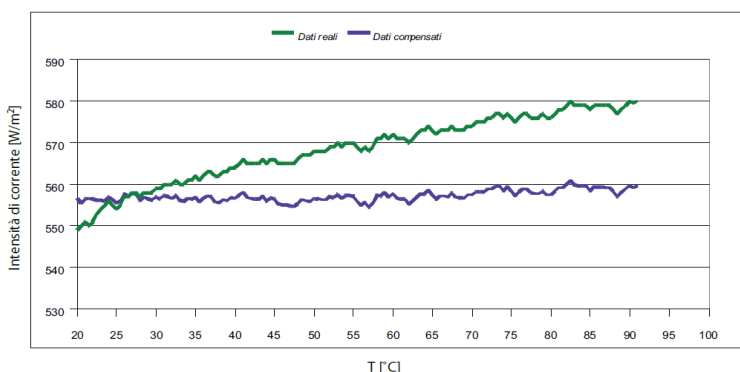


Fig. 5: Confronto tra irradiazione corretta e non corretta a varie temperature di un solarimetro.

3. effetto dell'orientazione ed inclinazione del sensore

I piranometri sono concepiti per risentire il meno possibile degli effetti dovuti all'effetto cosinusoidale (incertezza sperimentale dovuta alla non ortogonalità tra la direzione dei raggi solari e la superficie considerata) attraverso soluzioni costruttive quali la presenza della cupola emisferica e l'uso di vetri di elevatissima qualità.

I moduli fotovoltaici però per la stragrande maggioranza sono piani e quindi risentono maggiormente del suddetto effetto.

Concettualmente se non esistesse questo effetto, se noi misurassimo la radiazione diretta sul piano ortogonale e la moltiplicassimo per il coseno dell'angolo di zenith, dovremmo ottenere lo stesso valore della radiazione diretta misurata sul piano orizzontale, ma nella pratica non è così in quanto al diminuire del valore dell'angolo di altezza solare, il raggio incide in maniera sempre più inclinata sulla superficie e quindi una sua frazione sempre maggiore sarà riflessa e non verrà assorbita. Anche andando ad inclinare un piranometro con lo stesso angolo dei moduli, l'errore commesso dal piranometro sarà minore di quello commesso dai moduli, in quanto questi sono una superficie piana mentre il piranometro è dotato di cupole di vetro e di tutta una serie di sistemi per minimizzare il suddetto errore.

Sempre riprendendo il paragone col benchmark di un fondo, posizionare un sensore di irraggiamento in posizione orizzontale o utilizzare uno strumento che non risente (o risente molto poco) dell'errore cosinusoidale è come se il benchmark di riferimento agisse sullo stesso comparto ma fosse composto da titoli di diversa natura da quelli del fondo che stiamo monitorando; così l'effetto sarebbe quello di non 'replicare' bene l'andamento del vostro fondo.

4. disturbi indotti dal passaggio di tensioni e correnti elevate di impianti FV.

Una informazione trasmessa in maniera analogica da un dispositivo sorgente ad un dispositivo utilizzatore (ad es. datalogger o sistema di monitoraggio) è soggetta a diversi fattori che possono comprometterne l'integrità.

In alcuni casi il segnale analogico può venire alterato da del disturbo o 'rumore', così che il segnale che giunge al dispositivo utilizzatore è diverso da quello partito dal dispositivo sorgente.

Questo è tanto più evidente e significativo quanto l'ampiezza originaria del segnale è piccola rispetto al potenziale livello dei disturbi che si possono concatenare, e tanto più lungo è il percorso che il segnale deve fare per arrivare a destinazione.

In alcuni casi il segnale originale e il disturbo hanno contenuto armonico sufficientemente diverso e distinto da poter essere più o meno efficacemente separato per mezzo di appositi filtri all'interno del dispositivo utilizzatore, ma anche in questo caso, parte del disturbo risulterà ancora presente nel segnale finale e parte dell'informazione originale verrà comunque alterata a sua volta proprio dall'azione del filtro.

Alla pagina successiva le fig.6 e fig.7 mostrano un esempio didattico di un disturbo (rumore di fondo) ad una sola armonica con ampiezza dei segnali dell'ordine di grandezza di 1/10 del segnale campionato. La figura 7 mostra il segnale che si riceve, dato dalla sovrapposizione dei due segnali elettrici.

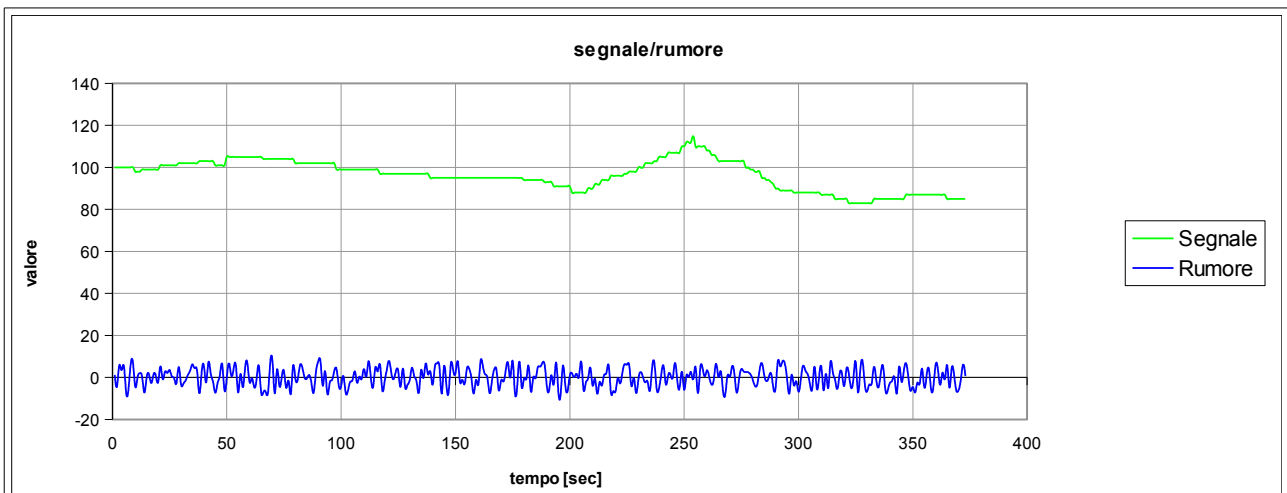


Fig.6 : un segnale proveniente da una sonda ed un disturbo proveniente dal sistema stesso

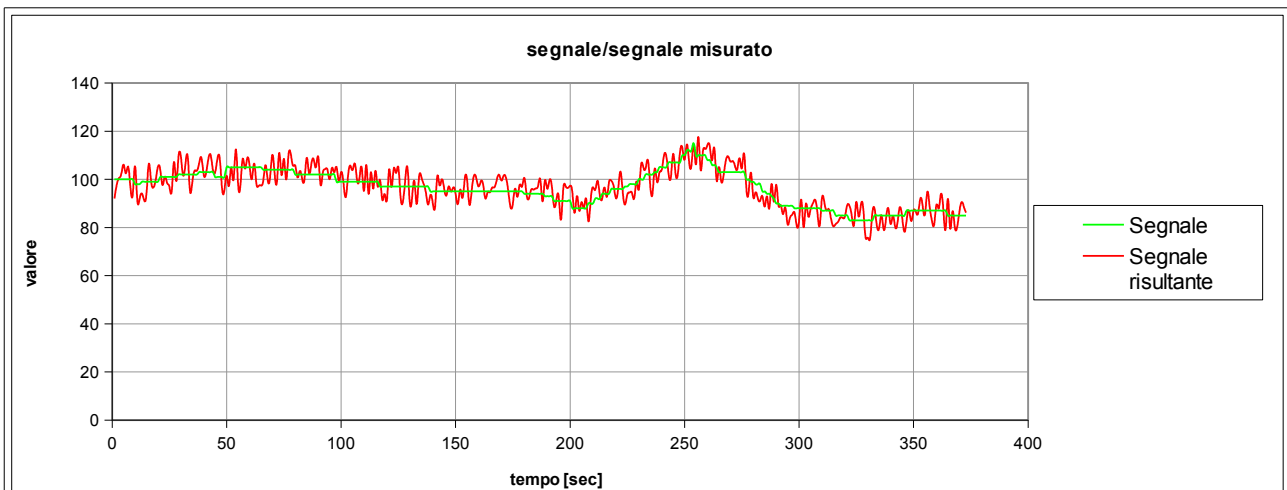


Fig.7 : in rosso chiaro l'effetto combinato di segnale + rumore

Inoltre, il sistema utilizzatore è soggetto ad errori sistematici (ad esempio, errori di guadagno, offset, linearità, ecc) nel processo di trasformazione dell'informazione nel formato finale gestito dall'utilizzatore.

In generale, ogni stadio in cui transita il segnale analogico contribuisce alla corruzione dell'informazione originale.

Infine si fa notare che i segnali analogici "in tensione" sono più facilmente alterabili rispetto a quelli "in corrente".

Nel caso dei sensori radiometrici per il settore fotovoltaico, è molto comune trovare piranometri o solarimetri con uscita diretta, non amplificata, il cui fondo scala è nel range 50-100mV.

Questa è la categoria potenzialmente più soggetta ad errori di misura dovuti a disturbi, in quanto l'informazione è completamente analogica, in tensione e ampiezza molto bassa.

La situazione migliora sicuramente nei sensori con uscita amplificata: range di uscita molto prevedono fondi scala di 1 o 5 o 10V, con

ampiezze del segnale che possono essere quindi anche oltre a 100 volte superiori a quelle dei dispositivi non amplificati.

Se l'amplificazione prevede poi che il segnale venga trasmesso tramite "in corrente", casi tipici sono le uscite 0-20mA o molto più spesso 4-20mA, il sistema risulta poi avere una reiezione (immunità) ai disturbi ulteriormente accresciuta.

Riassumendo, con l'utilizzo di sensori ad uscita amplificata, sicuramente il rapporto segnale / rumore è molto migliore, ma una certa quantità di disturbo è possibile ed in ogni caso restano sempre valide le considerazioni fatte sulla corruzione del segnale apportata da ogni stadio di trattamento del segnale analogico.

Nella pratica, in un impianto fotovoltaico effettuare indagini sui possibili disturbi indotti dai cavi portatori di energia sarebbe oneroso e rimarrebbero comunque delle componenti aleatorie, così è più semplice fare la seguente valutazione: "Più l'impianto è grande, più lo devo dotare di sensori con uscita ad elevato rapporto tra segnale e rumore (signal/noise).

Se poi si vuole l'affidabilità ed una maggiore precisione 'a prescindere', la risposta è un sensore con uscita su bus seriale con protocollo standard.

Trasmettere l'informazione in maniera digitale risolve gran parte dei problemi evidenziati: in particolare, il segnale digitale è trasmesso elettricamente utilizzando due soli livelli di segnale (corrispondenti ad un bit di valore 0 o 1) generalmente di valori molto distanti tra loro e con un buon margine di tolleranza attorno ai valori nominali: eventuali disturbi quindi o vengono direttamente ignorati perchè ampiezza tale da non modificare il segnale in maniera consistente (e quindi l'informazione passa indenne tramite il canale di trasmissione ed arriva integra a

destinazione), oppure, se l'intensità del disturbo è tale da generare un segnale al di fuori dei livelli consentiti il sistema riconosce che l'informazione è corrotta e può richiederne la ritrasmissione.

Anche nel caso che il disturbo fosse tale da cambiare l'informazione risultando comunque in un livello considerato valido (quindi trasformando uno 0 in 1 o viceversa), il protocollo di comunicazione normalmente prevede sistemi di codifica che permettono quantomeno di rilevare (ed in alcuni casi anche correggere) l'eventuale errore.

In ogni caso dunque, con la trasmissione digitale, o l'informazione giunge integra o c'è almeno la segnalazione dell'errore e quindi possibilità di ritentare la trasmissione.

Si sottolinea inoltre che, indipendentemente da come sia stato trasmesso e trasformato il segnale durante i vari passaggi dalla sorgente all'utilizzatore, l'informazione che arriva integra a destinazione è esattamente identica a quella inviata dalla sorgente: non ci sono alterazioni di nessun tipo. In pratica, è come se l'informazione fosse stata acquisita direttamente dal sistema utilizzatore!

Il bus RS485, ed il protocollo Modbus, sono nati in ambito industriale proprio per trasmettere segnali e comandi in ambienti fortemente disturbati. Sono degli standard universalmente riconosciuti per le qualità di robustezza, praticità, flessibilità ed economicità.

Si termina questa trattazione con una TABELLA COMPARATIVA delle peculiarità dei vari tipi di sensori, a termopila e a cella fotovoltaica.

Si intende far notare che questa tabella è stata redatta sulla base delle nostre esperienze, a differenza dei punti sopraesposti che hanno un approccio analitico con l'ausilio di basi bibliografiche correntemente pubblicate.

Caratteristiche / Peculiarità	Piranometri	Solarimetri a cella tarata	Solarimetri con elettronica per output amplificato	Solarimetri con correzione della temperatura e output su bus (Es. Sunmeter)
• Elevata accuratezza dell'intero spettro solare	X			
• Adatto per ricerca scientifica	X			
• Adatto per valutazione investimenti fotovoltaico		X	X	X
• Adatto per ambienti con campi elettrici notevoli			X	X
• Stesso spettro di assorbimento dei moduli fotovoltaici oggi in commercio		X	X	X
• Risposta al coseno pari ai moduli fotovoltaici		X	X	X
• Adatto all'uso in condizioni ambientali estreme *	X			
• Immunità alla deriva termica	X			X
• Immunità alla deriva temporale	X			X**
• Costo contenuto		X	X	X
• Rapido tempo di risposta		X	X	X
• Immunità al tipo di radiazione da misurare	X			

* : si assume che i piranometri siano più duraturi nel corso del tempo. Tuttavia non tutte le case costruttrici di piranometri costruiscono piranometri duraturi, come peraltro osservato presso centri di ricerca da uno degli scriventi.

** : Sunmeter Pro non è soggetto alla deriva temporale dei primi 12 mesi poiché subisce un pre-condizionamento prima di essere venduto.

(1) In Italia attualmente quando si effettua una misura dell'irraggiamento con un solarimetro, ci si riferisce ai valori di irradiazione che forniscono i piranometri . Riteniamo più coerente ed auspichiamo in un prossimo futuro che le tarature dei 'working references' vengano effettuate usando come riferimento delle celle campione tarate dagli istituti che sono in grado di valutare il corretto valore di irraggiamento effettivamente ricevuto da un solarimetro, che ha una sensibilità allo spettro solare più stretto dei piranometri.