
Ottimizzazione di un impianto fotovoltaico

ing. Francesco Castellotti
Dottore di Ricerca in Fisica Tecnica



tel/FAX 045/8781495

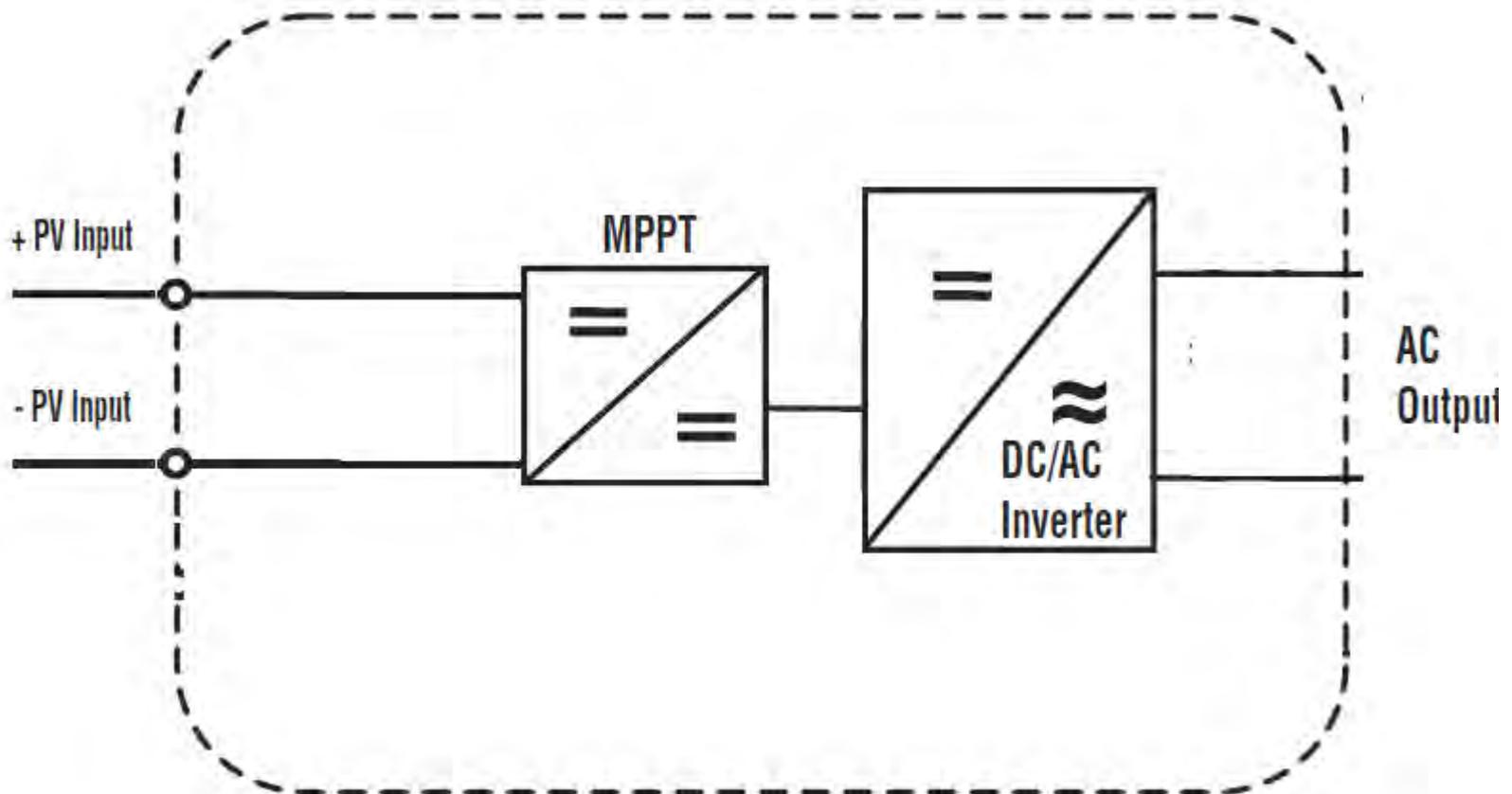
web www.3f-engineering.it **e-mail** info@3f-engineering.it

Ottimizzazione di un impianto FV

- Inverter multi-string
- Ottimizzatori di potenza
- Conversione distribuita

Inverter di stringa

inseguitore di potenza (MPPT) singolo



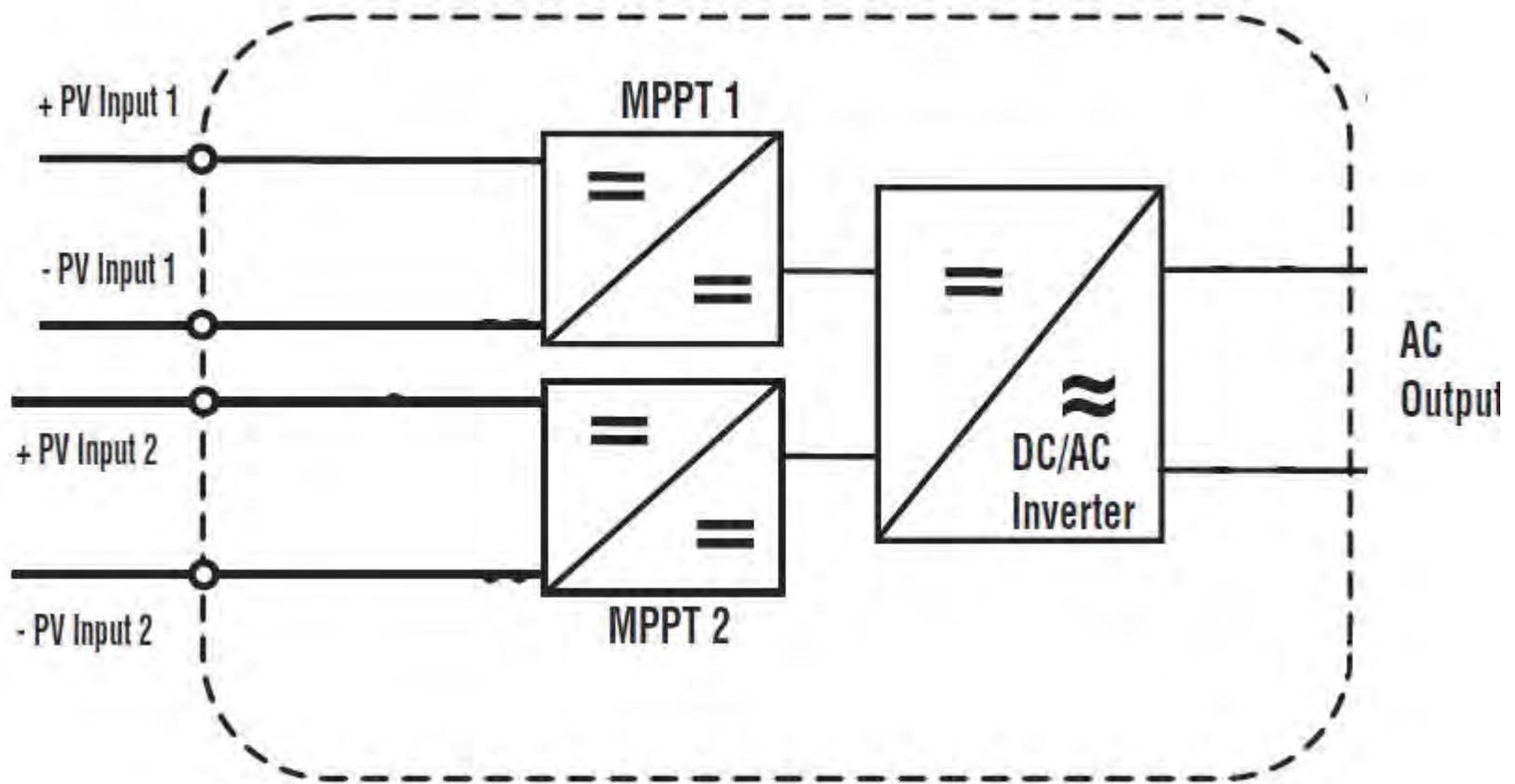
MPPT singolo con campo FV multi-stringa

Vincoli progettuali:

- utilizzo di moduli uguali
- medesima lunghezza di stringa
- medesimo orientamento e inclinazione

Inverter multi-string

inseguitore di potenza (MPPT) doppio



MPPT doppio con campo FV multi-stringa

Possibilità progettuali:

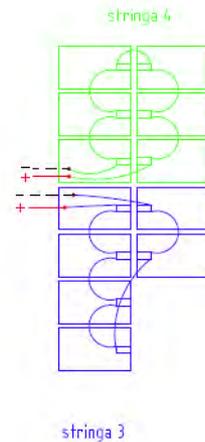
- utilizzo di moduli diversi sulle 2 stringhe
- lunghezza diversa delle 2 stringhe
- campo FV su orientato e inclinato in 2 modi

MPPT doppio con campo FV multi-stringa

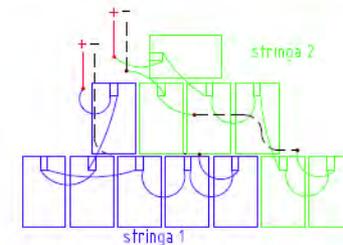
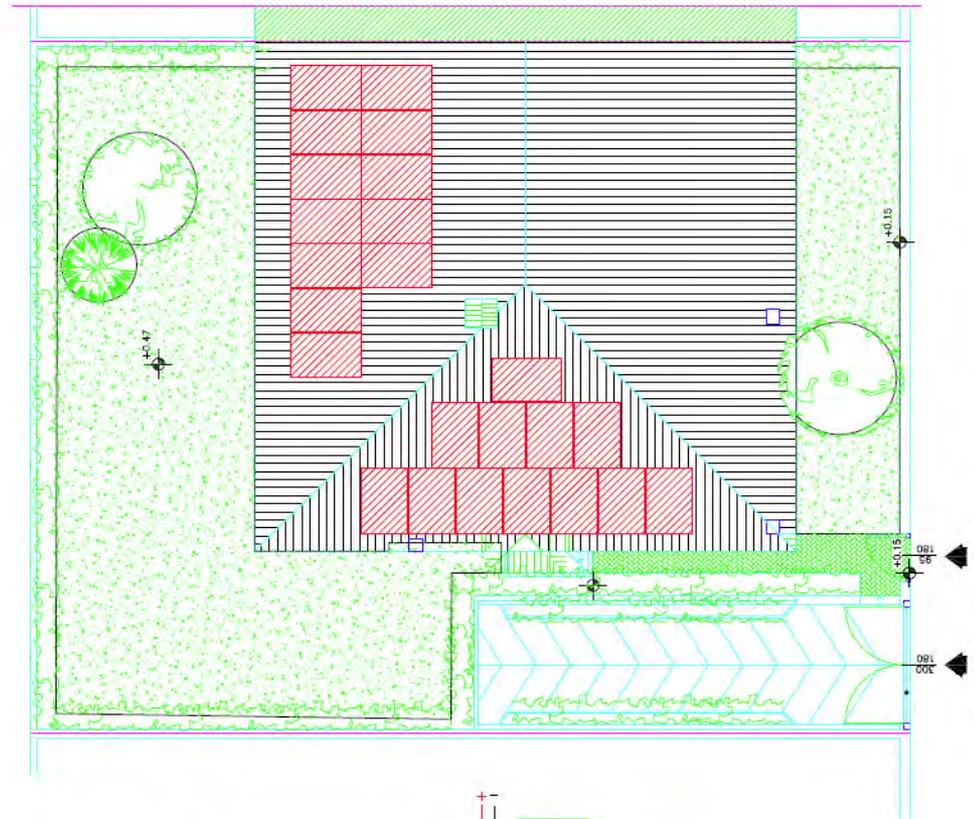


Tetto inclinato su più falde

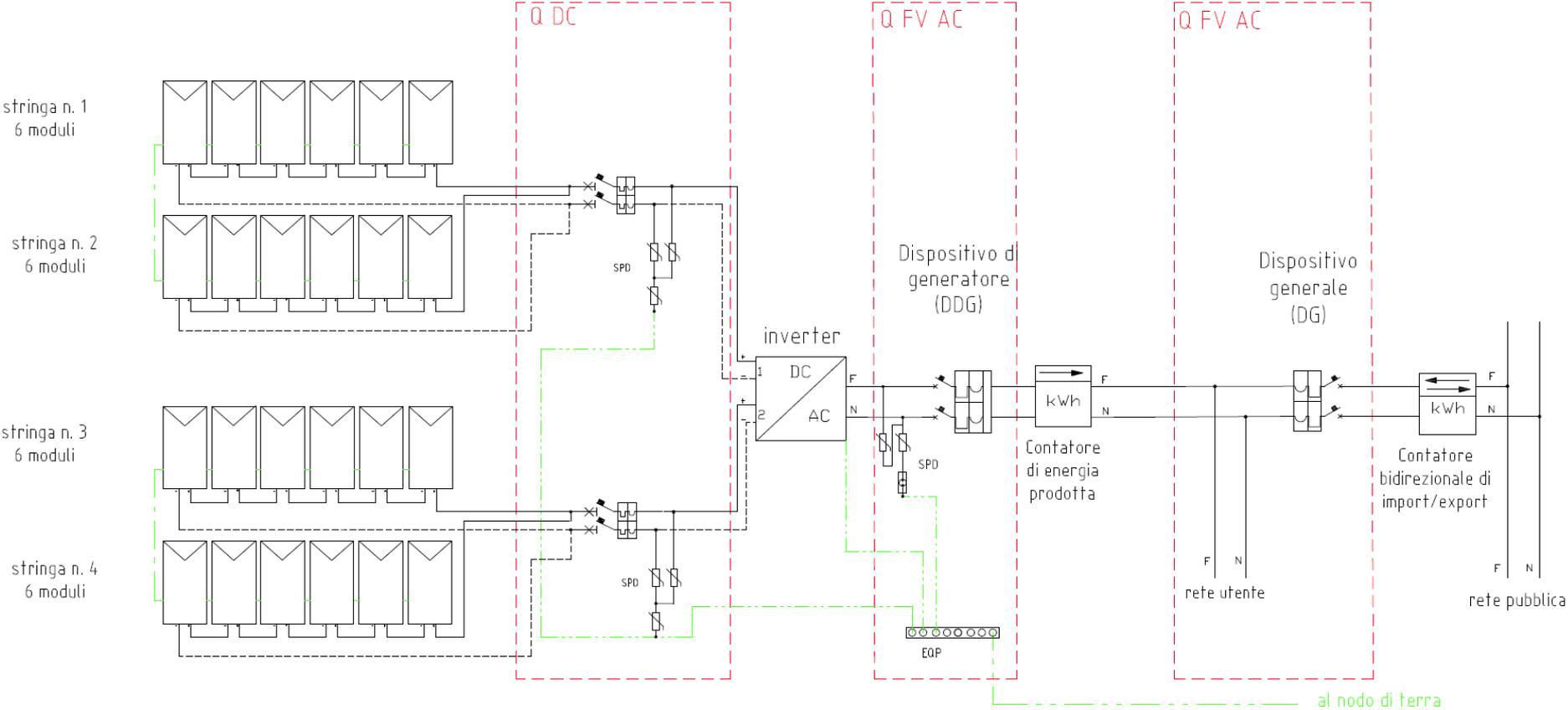
MPPT doppio con campo FV multi-stringa



Potenza modulo: 230 Wp
Lunghezza stringa: 6 moduli
Nr. stringhe: 4
 $P=5,52$ kWp



MPPT doppio con campo FV multi-stringa

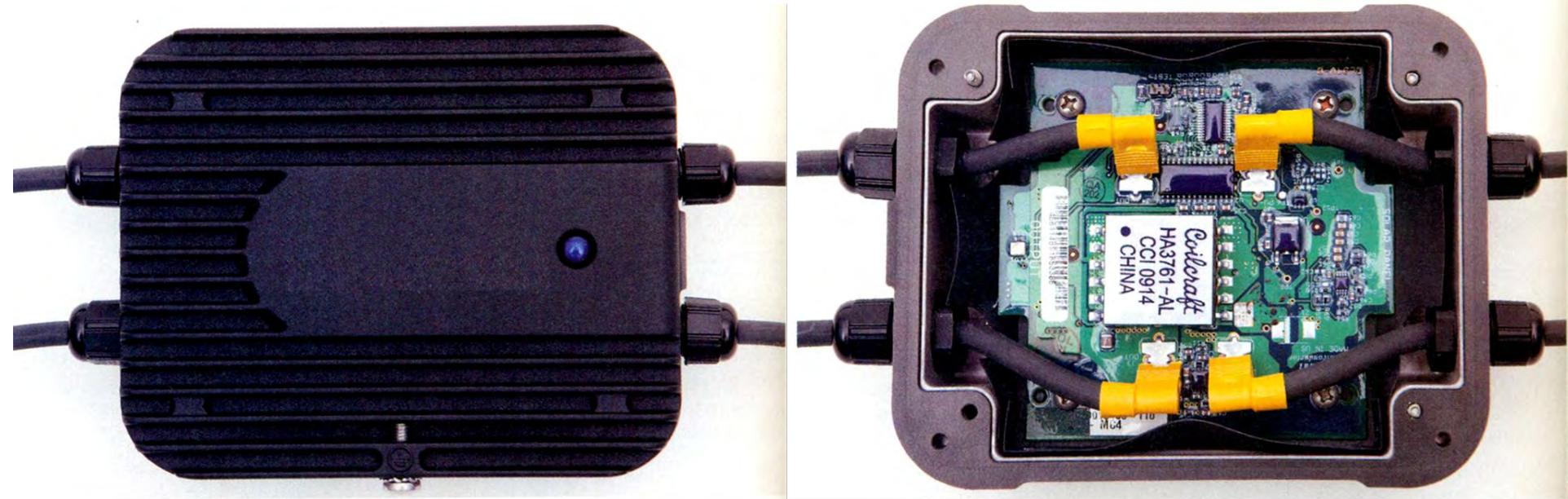


MPPT doppio con campo FV multi-stringa

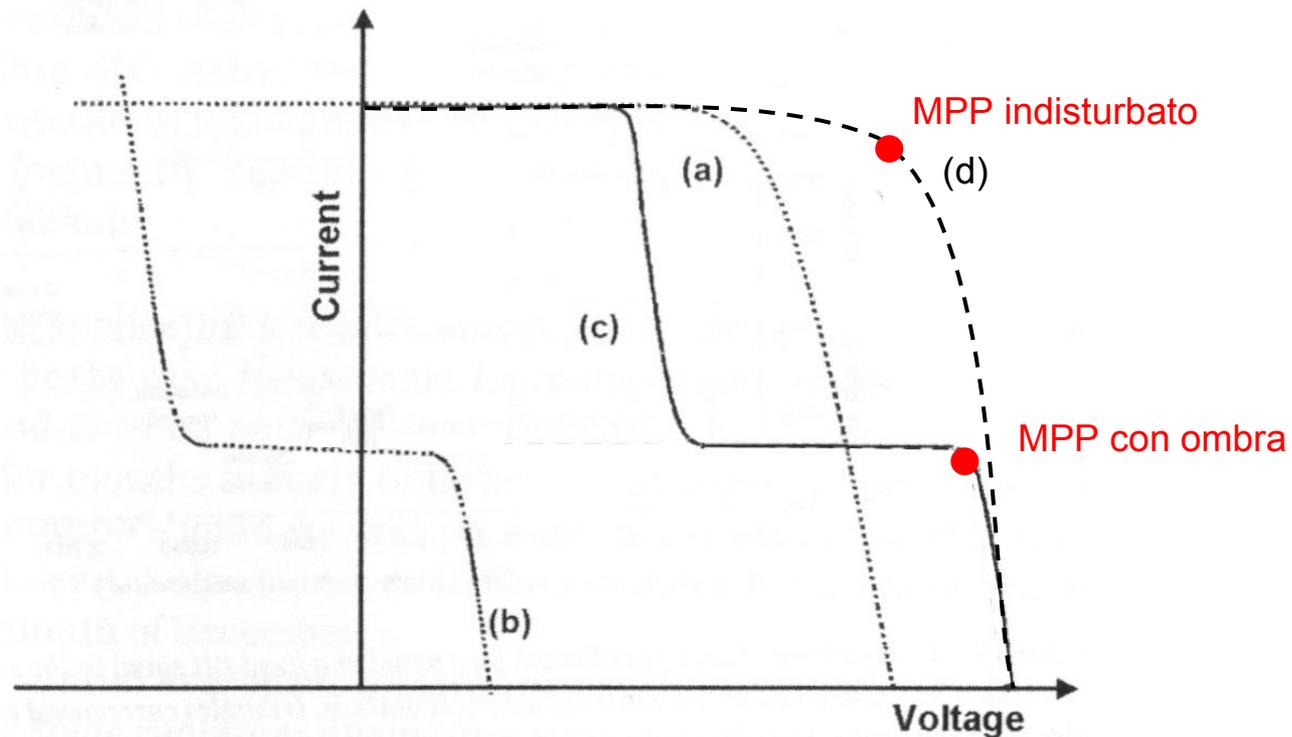
PARAMETRI DI INGRESSO			
Potenza nominale DC [kW]	3,12	3,75	4,38
Potenza DC massima raccomandata [kW]	3,5	4,15	4,82
Intervallo di tensione di funzionamento [V]	0,7xVstart - 580 (360 nominale)		
Intervallo di tensione per operaz. MPPT a piena potenza (carico simmetrico) [V]	156-530	120-530	140-530
Intervallo di tensione per operaz. MPPT a piena potenza (carico asimmetrico) [V]	200-530 (@ 2kW) / 112-530 (@ 1,12kW)	190-530 (@ 3kW) / 90-530 (@ 0,75kW)	190-530 (@ 3kW) / 90-530 (@ 1,38kW)
Tensione massima assoluta [V]	600		
Tensione di attivazione (Vstart)	200 nominale (selezionabile da 120Vdc-350Vdc, indipendentemente per ciascun canale)		
Numero di MPPT indipendenti	2		
Potenza massima di ingresso per ciascun MPPT [kW]	2	3	
Numero di ingressi DC	2 (1 per ciascun MPPT)		3 (2 per MPPT1, 1 per MPPT2)
Corrente massima di ingresso per ciascun MPPT [A]	10 (12,5 corto circuito)	16 (20 corto circuito)	

Ottimizzatore di potenza

- MPPT a bordo del modulo
- Individualità di ciascun modulo
- Elettronica di potenza distribuita



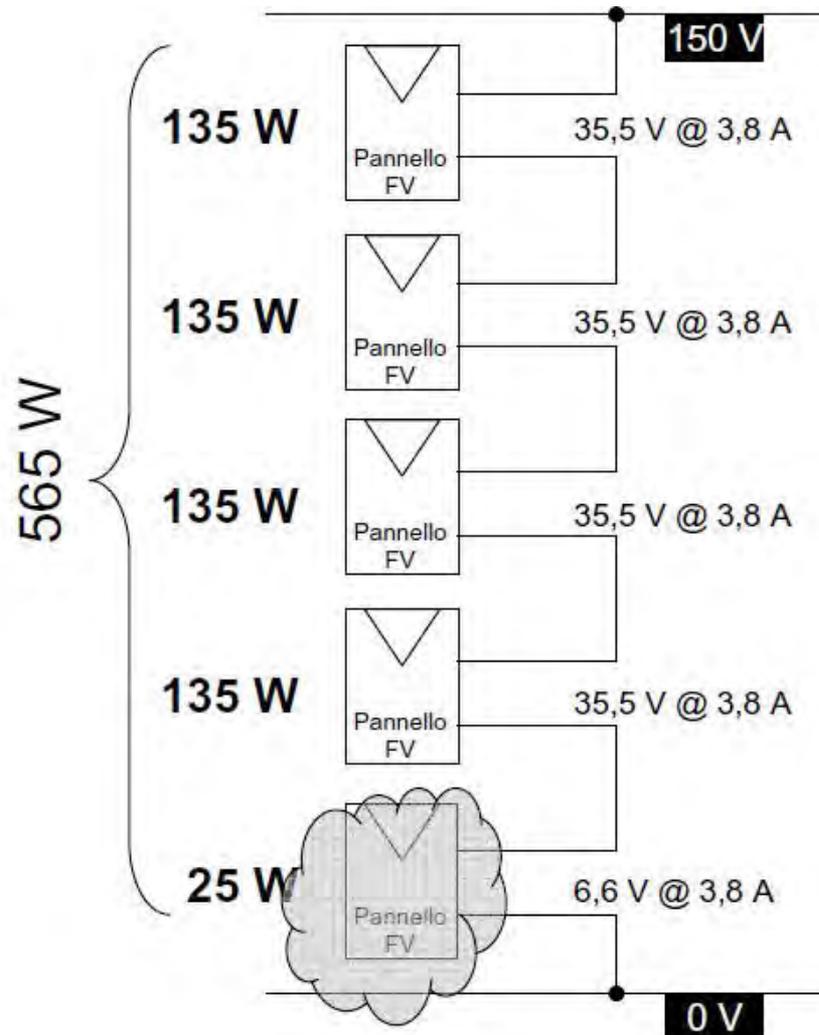
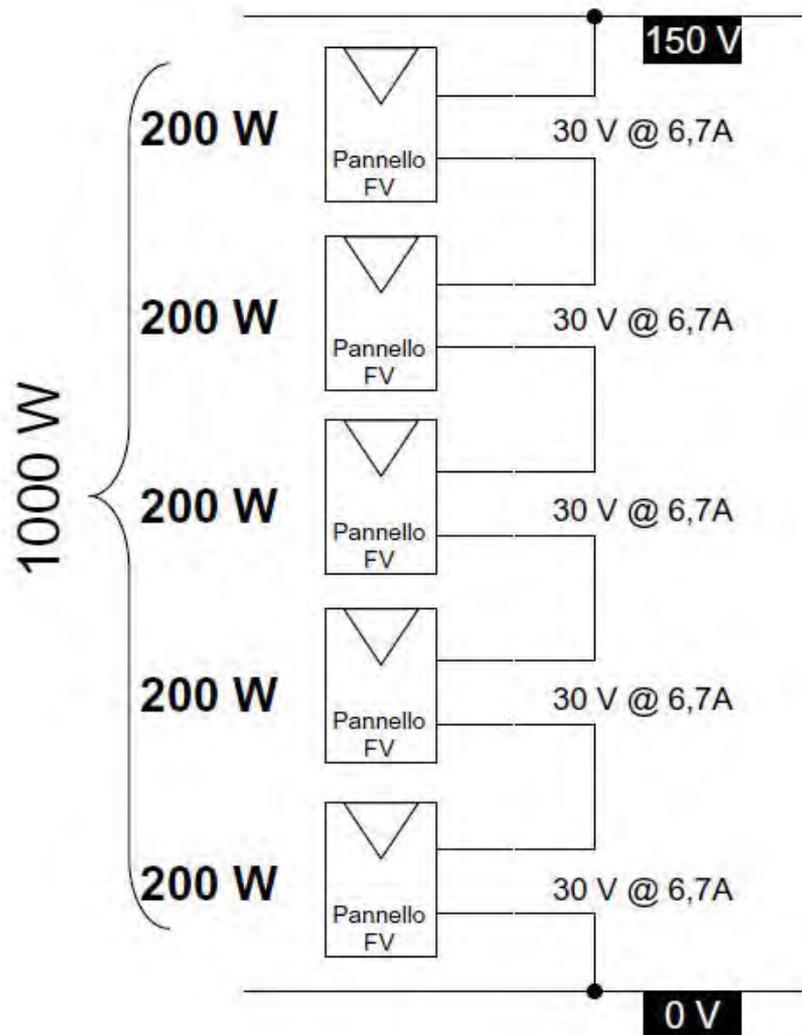
Il problema da risolvere



Ombreggiamento parziale di una stringa di 5 moduli:

- (a) 4 moduli al sole
- (b) 1 modulo in ombra con diodo di by-pass
- (c) serie dei 5 moduli parzialmente in ombra
- (d) serie dei 5 moduli al sole

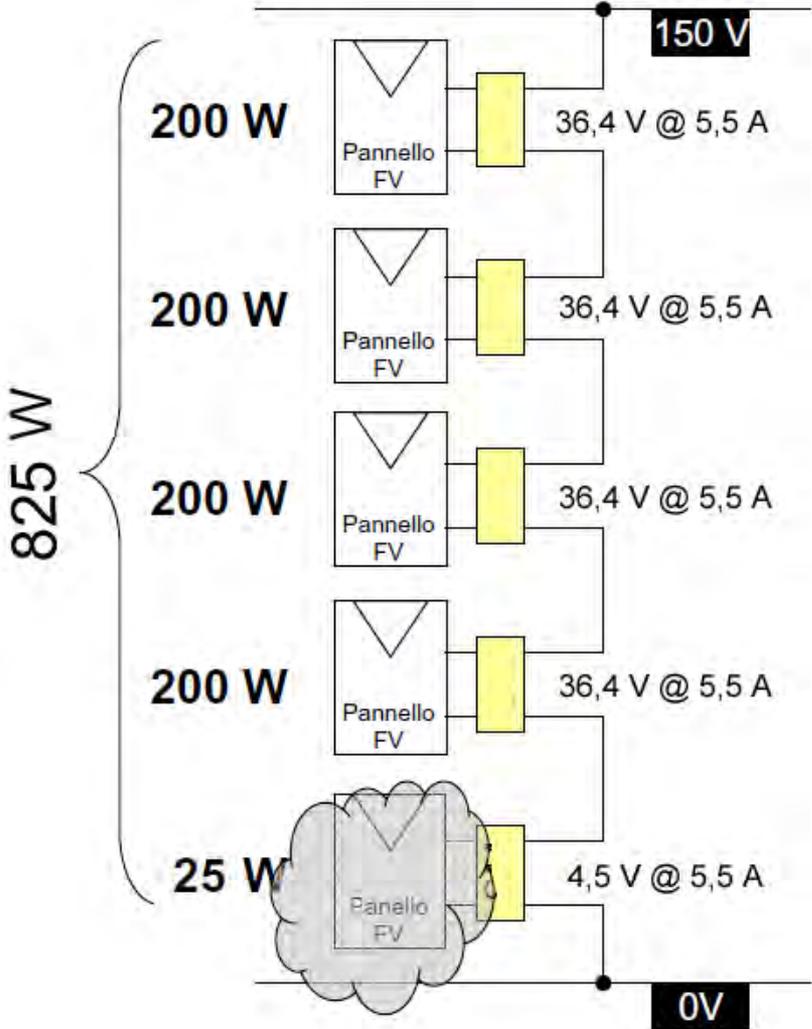
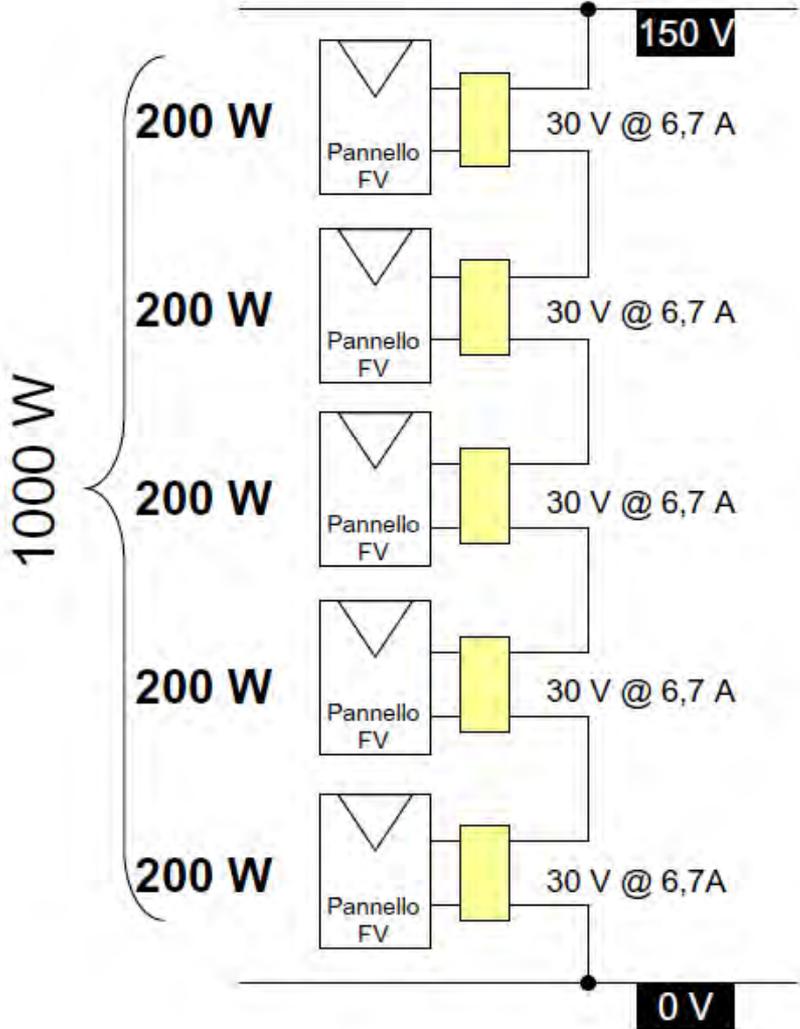
Il problema da risolvere



Ombra = 20%

Perdita di produzione = 435 W (44%)

La soluzione



Ombra = 20%

Perdita di produzione = 175 W (18%)

Il gioco vale la candela?

Simbolo	Parametro	Min	Tipico	Max
V_{SYS}	Tensione di Stringa del Sistema UL			600 Vdc
	Tensione di Stringa del Sistema CE			1000 Vdc
V_{MPP}	Tensione MPP del Modulo FV	15 Vdc	28 Vdc	40 Vdc
I_{MPP}	Corrente di MPP del Modulo FV			8,5A
P_{MPP}	Potenza del Modulo FV	5W		230W
V_{OC}	Tensione a Circuito Aperto del Modulo FV			50 Vdc
$I_{SC (OCP)}$	Corrente di Corto Circuito del Modulo FV			
	Soglia Della Protezione da Sovracorrente	9,2A		10,4A
V_{OUT}	Tensione di Uscita	0 Vdc		43 Vdc
I_{OUT}	Corrente di Uscita	0A		8,5A
η	Efficienza		98,5%	
T_A	Temperatura Operativa	-40°C		70°C

Vantaggi

Riduzione delle perdite di mismatch:

- ombreggiamento localizzato
- irraggiamento disuniforme
- tolleranza sulla potenza del modulo ($\pm 3\%$)
- invecchiamento disuniforme dei moduli
- sporco o detriti localizzati
- orientamenti diversi sui moduli di stringa

Possibilità progettuali

- stringhe di lunghezza diversa
- sostituzione di un singolo modulo

Svantaggi

- efficienza
- costo
- affidabilità

Costo e efficienza

- Costo: circa 100 €/pz + IVA
- Impianto FV 3 kW_p, 15 moduli da 200 W_p
- Extra-costo per ottimizzatori potenza: 1500 € + IVA
- Produzione da ottimizzare: 3300 kWh/anno
- recupero produzione (netto) richiesto: 277 kWh/anno (+8%)
- recupero produzione (lordo) richiesto: +9,5%

- Con il costo attuale e senza particolari problemi di ombreggiamento il gioco non vale la candela.
- Il costo di parità per un recupero pari ad almeno la propria perdita (1,5%) e la perdita di mismatch per tolleranza di potenza (3%) è 36 €/pz.

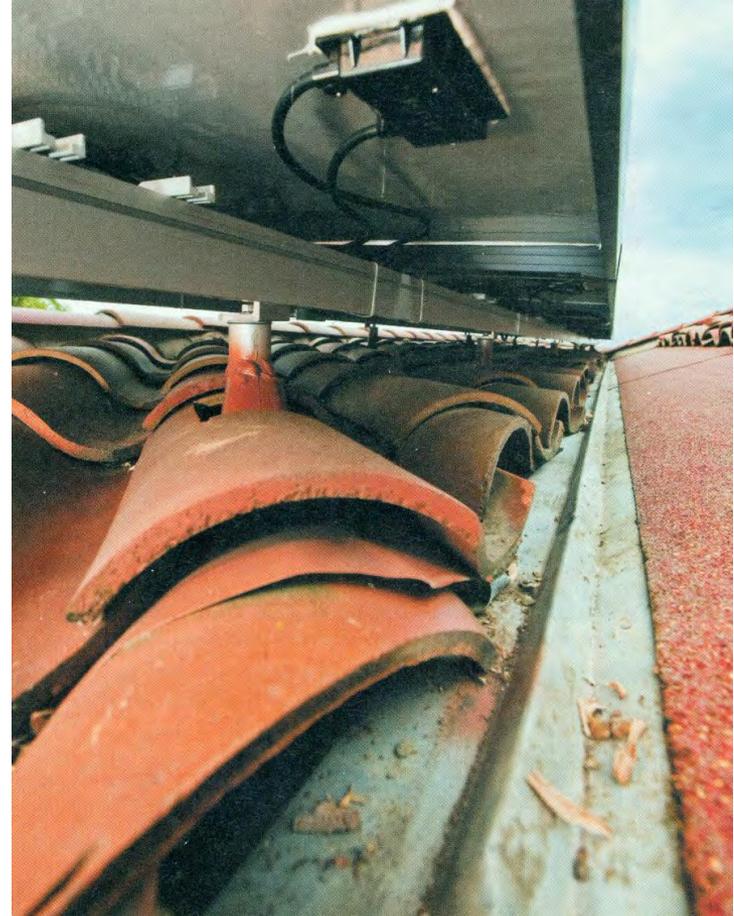
Affidabilità

- L'aggiunta di un componente elettronico aumento il rischio di guasto: il concetto stesso dell'elettronica di potenza distribuita è d'ostacolo a se stesso.
- La frequenza probabile tra un guasto e il successivo corrisponde al concetto di MTBF (Mean Time Between Failures), un tempo che per un produttore di ottimizzatori di potenza è pari a 725 anni.
- Per un impianto di piccola taglia con meno di 50 moduli (e ottimizzatori), ciò potrebbe tradursi nell'attesa del primo guasto a un apparecchio prevedibilmente dopo 30 anni
- Per impianti di grande taglia con 725 moduli (e ottimizzatori), il tempo medio tra una riparazione e l'altra potrebbe ridursi ad appena un paio d'anni.

Conversione distribuita

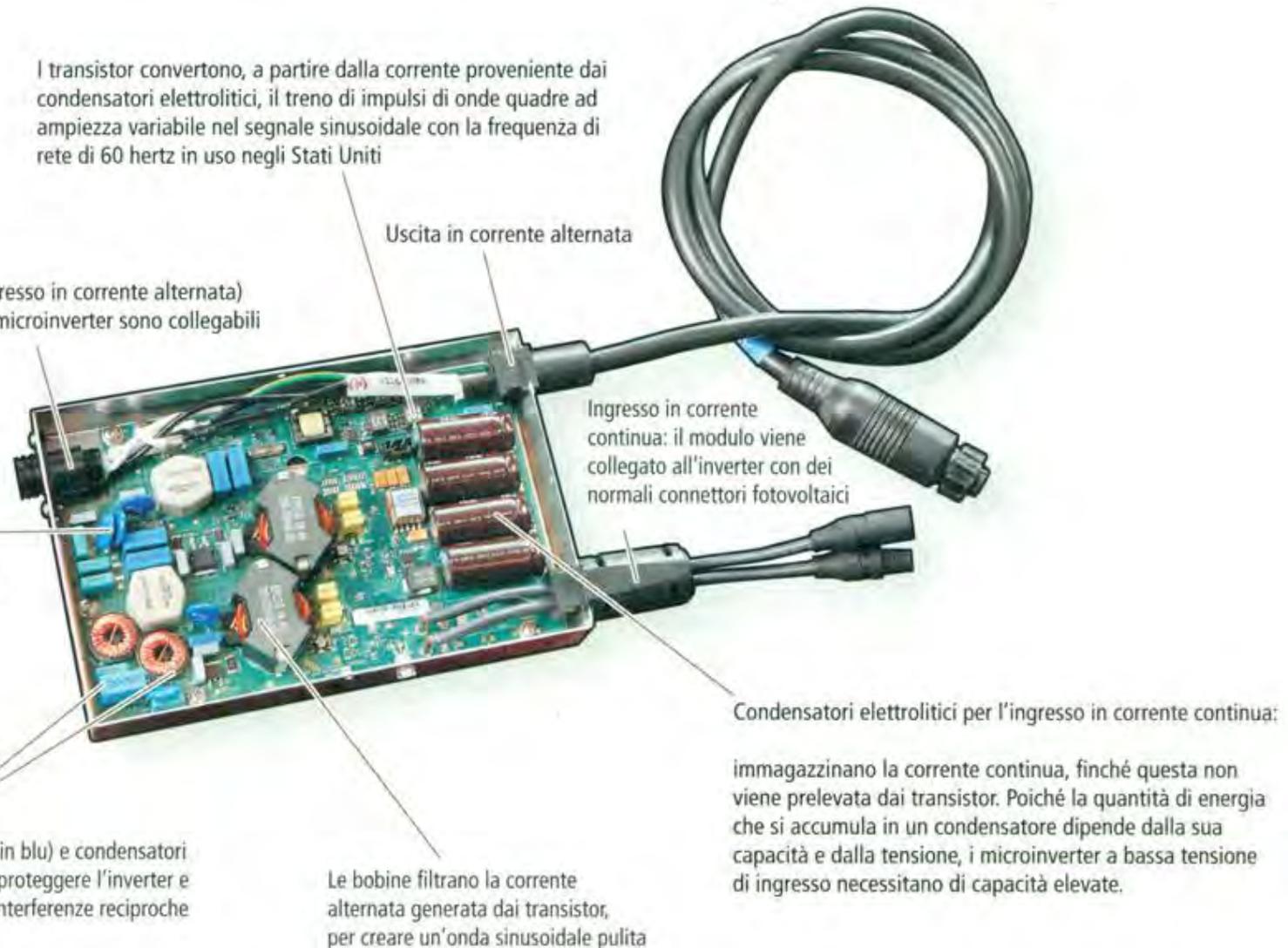
- A metà degli anni '90, i micro-inverter che in un impianto trasformano perifericamente la corrente continua in alternata erano popolari.
- L'efficienza del prodotto capostipite era circa il 92%, ma un numero elevato di apparecchi si guastò a pochi mesi dall'installazione.
- La crescita costante delle dimensioni dei moduli e degli impianti richiesti dal mercato non fu controbilanciata dalla domanda parallela di microinverter e a uscirne vincenti furono così gli inverter di stringa, più flessibili e relativamente più convenienti, almeno in rapporto alla potenza.
- Con il loro strascico di alti tassi di guasto e bassa efficienza sono quasi scomparsi dal mercato: oggi sembra esserci un rinnovato interesse.

Micro-inverter



Micro-inverter

I transistor convertono, a partire dalla corrente proveniente dai condensatori elettrolitici, il treno di impulsi di onde quadre ad ampiezza variabile nel segnale sinusoidale con la frequenza di rete di 60 hertz in uso negli Stati Uniti



Uscita in corrente alternata

Connettore (ingresso in corrente alternata) tramite cui più microinverter sono collegabili in parallelo

Ingresso in corrente continua: il modulo viene collegato all'inverter con dei normali connettori fotovoltaici

I varistori (resistenze dipendenti dalla tensione) proteggono contro le sovratensioni

Condensatori elettrolitici per l'ingresso in corrente continua:

immagazzinano la corrente continua, finché questa non viene prelevata dai transistor. Poiché la quantità di energia che si accumula in un condensatore dipende dalla sua capacità e dalla tensione, i microinverter a bassa tensione di ingresso necessitano di capacità elevate.

Bobine di induttanza (in blu) e condensatori agiscono da filtro per proteggere l'inverter e la rete elettrica dalle interferenze reciproche

Le bobine filtrano la corrente alternata generata dai transistor, per creare un'onda sinusoidale pulita

Micro-inverter

- Negli ultimi anni alcune nuove aziende, ma anche produttori di inverter di stringa o centrali, si sono posti l'obiettivo di riportare sul mercato i microinverter.
- I moderni micro-inverter sono adatti a moduli da 200 W di potenza in uscita, con un'efficienza del 95% e una garanzia di 15 anni.
- L'affidabilità è ancora l'ostacolo che i prodotti emergenti devono superare oggi.

Vantaggi

- Il vantaggio immediato è che il modulo diventa autosufficiente, produce corrente alternata, ed è più facile da installare anche per il dilettante.
- Il microinverter non blocca l'intera stringa in caso di guasto.
- In presenza di incendio rappresentano un pericolo minore.
- Permettono un monitoraggio accurato di ciascun singolo modulo
- Offrono gli stessi vantaggi degli ottimizzatori di potenza, in quanto il punto di massima potenza (MPP) viene individuato in modo indipendente per ciascun singolo modulo.

Svantaggi

- Più componenti significa più guasti
- Surriscaldamento da perdita conversione e indiretto dal modulo
- Manutenzione difficile
- Prezzo ancora elevato (0,7 €/W)

Caso studio

- Impianto FV da 11,52 kW_p
- Utente: capannone artigianato
- Consumo: 15.000 kWh/anno
- Installazione: su tetto con cupolini in fibrocemento e travi a Y

Caso studio



Input progettuali:

- disciplina di SSP
- impianto integrato

L'integrazione architettonica

Laminati FV in aderenza al cupolino

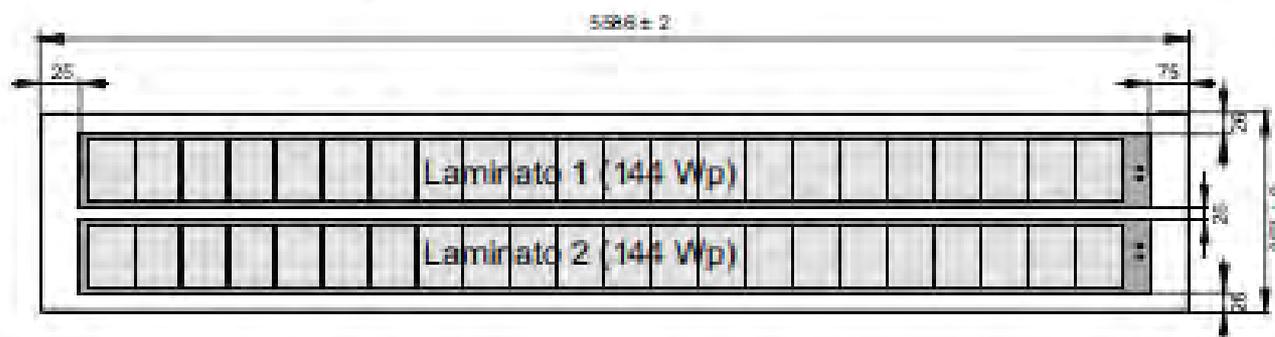
288 Wp



Sistema di copertura fotovoltaica per tetti industriali o tetti di grandi dimensioni

L'integrazione architettonica

Con riserva di modifiche tecniche ed errori, ultimo aggiornamento: 01/2010



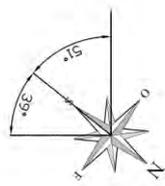
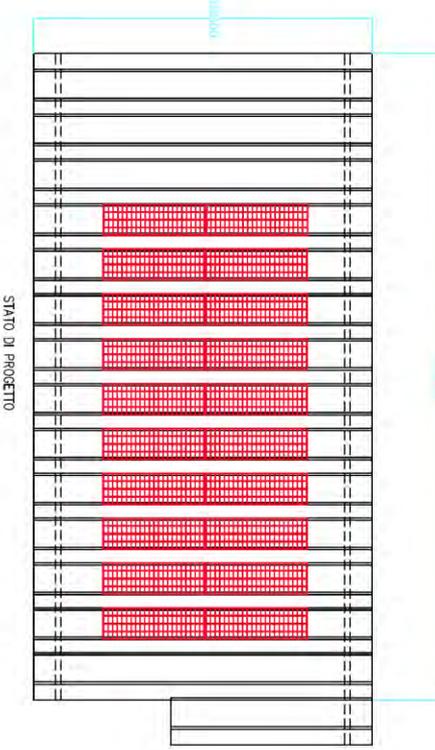
Classe di isolamento II

IEC
IEC 61646

IEC
IEC 61730

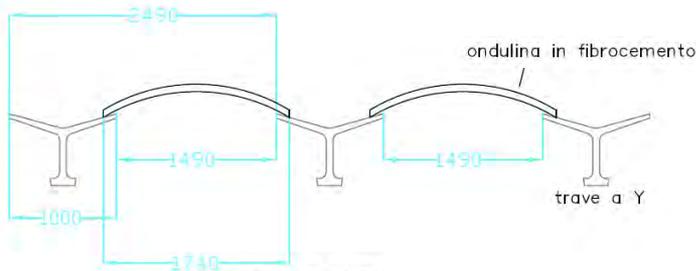
L'integrazione architettonica

80 laminati FV

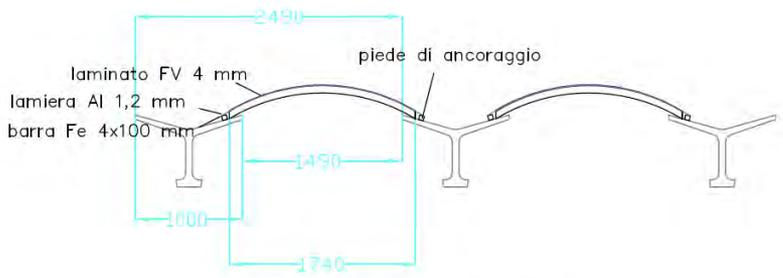


PARTICOLARE SEZIONE COPERTURA

SCALA 1:50



STATO DI FATTO

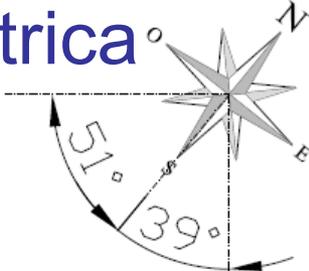


STATO DI PROGETTO

Perdite di mismatch

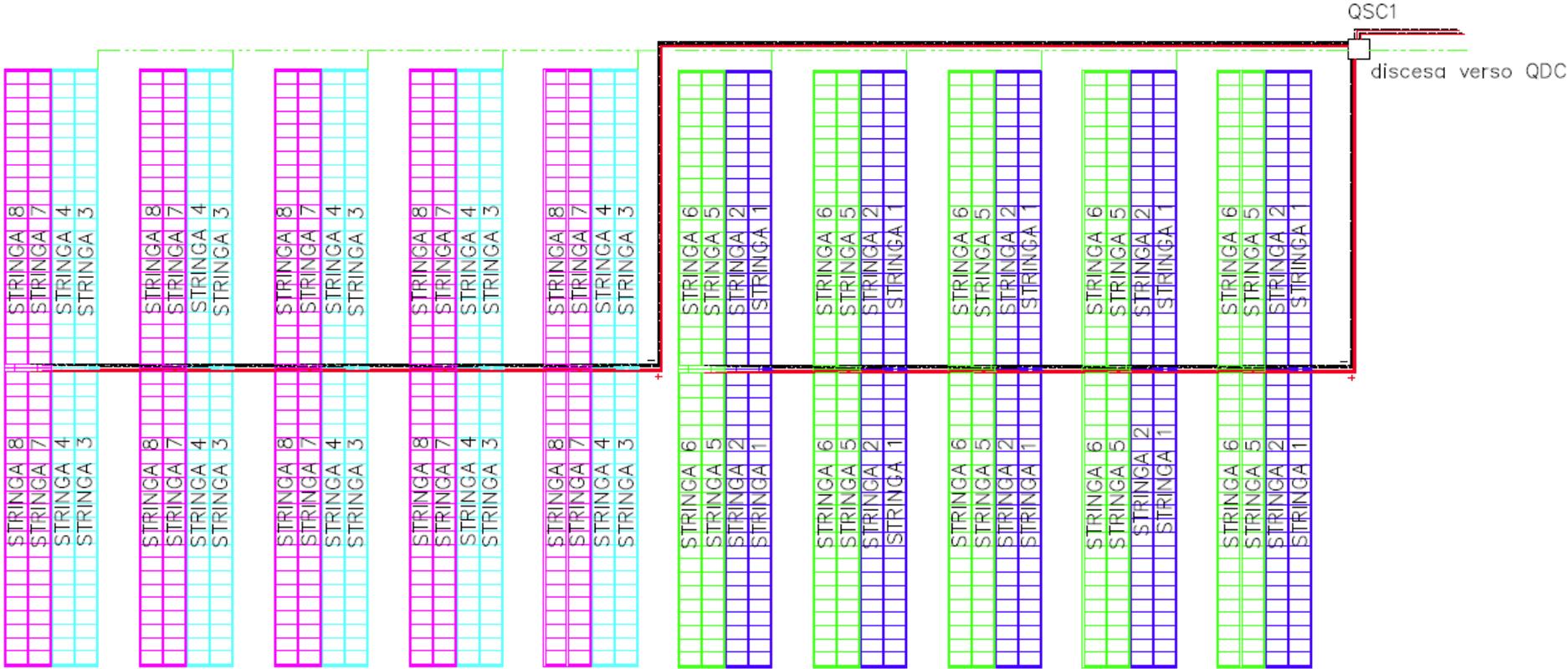
- 4 orientamenti diversi
- compromesso tra costo impianto e perdite di mismatch
- inverter di stringa con trasformatore (no multi-string)
- nr. 2 inverter
 - orientamento NE
 - orientamento SO

Connessione elettrica

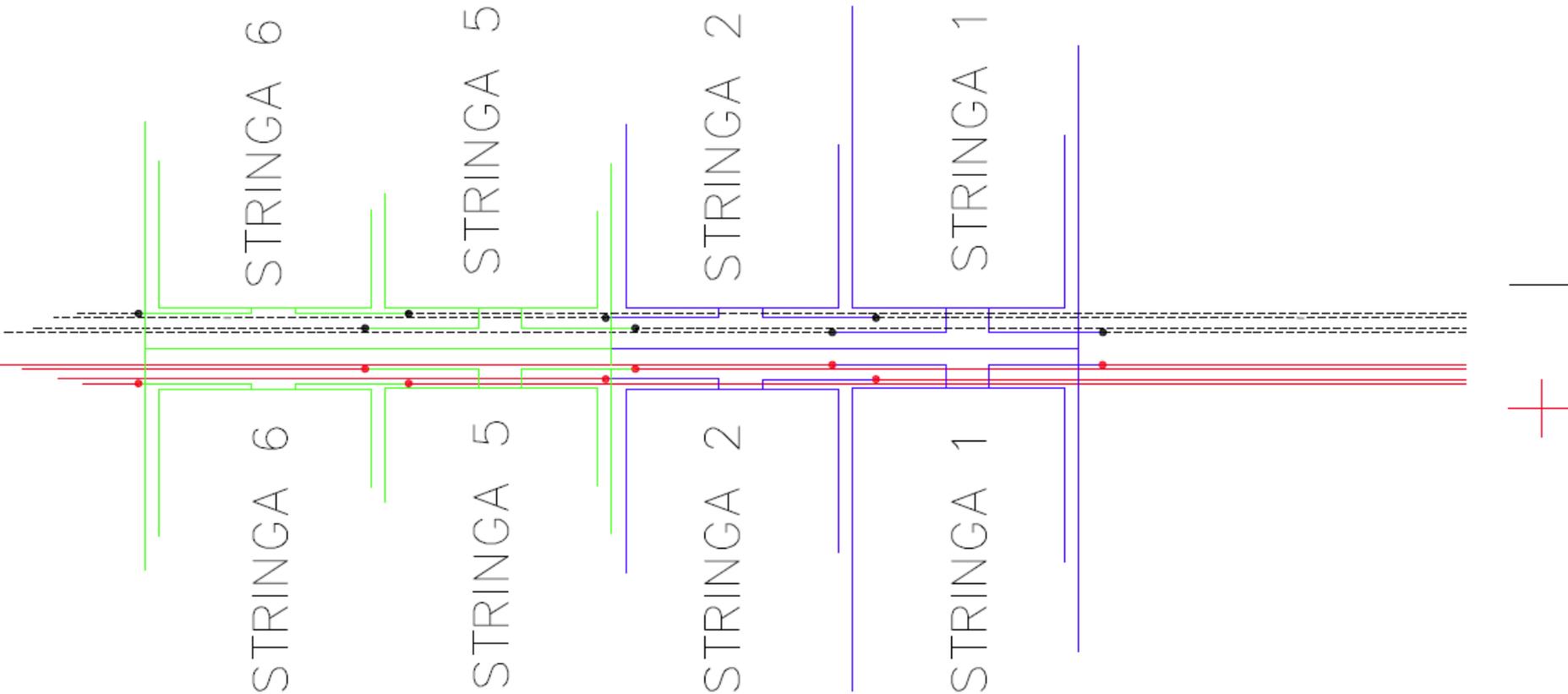


Sotto-campo 2
Sotto-campo 4

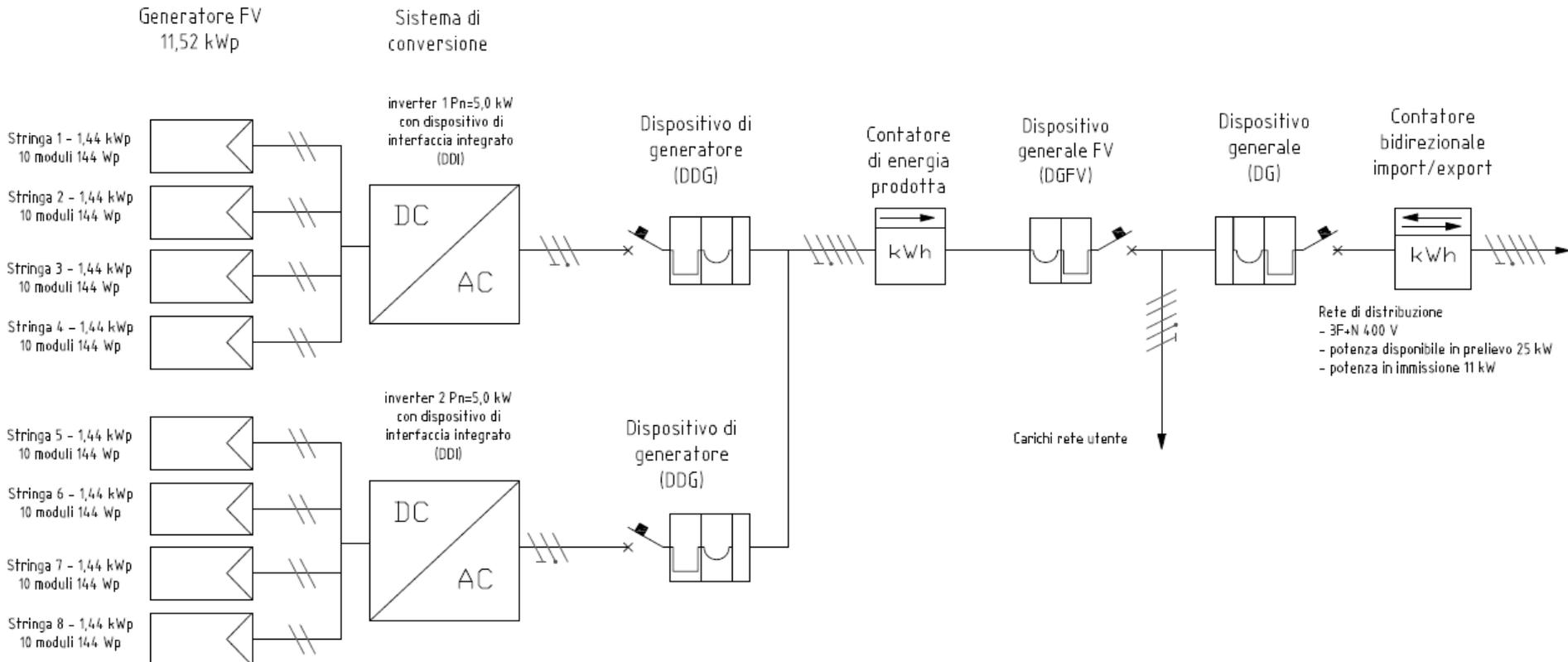
Sotto-campo 1
Sotto-campo 3



Connessione elettrica: dettaglio



Schema unifilare



Schema multifilare

