

Sistemi e Inverter FV: Normative

Requisiti Normativi per Sistemi Fotovoltaici Connessi alla Rete

- Criteri per la connessione alla rete elettrica a Bassa Tensione
- Protezioni (dispositivi e funzioni)
- Criteri di Sicurezza (installazione/componenti)



Normative dei Sistemi Fotovoltaici Connessi alla Rete

Sistemi "GRID-CONNECTED"

Nonostante i tentativi di armonizzazione da parte degli Enti Europei (CENELEC), ciascun paese ha sviluppato i propri standard e normative → specialmente nei paesi dove sono presenti sistemi di incentivazione (tipo Conto Energia) .

Questa sezione raccoglie le normative più importanti in vigore nei paesi europei e negli USA con i requisiti specifici che impattano sulla progettazione e le caratteristiche degli inverter

USA

UL1741:

Sicurezza, EMC e specifiche funzionalità legate alla connessione in rete.
Conformità certificata da un Ente Accreditato (UL/CSA)

CEC (California):

Certifica l'efficienza degli inverter con validità per la determinazione del contributo.
Il Test e i dati devono essere certificati da un Ente Accreditato (UL/CSA)

NEC (National Electric Code): Fornisce linee guida per le installazioni FV in tema di sicurezza. Può avere un impatto notevole sul progetto e costruzione degli inverter (vedi NEC2005)



Normative dei Sistemi Fotovoltaici Connessi alla Rete

- Germania, VDE0126:** Sicurezza, EMC e funzioni di interfaccia rete. Conformità ratificata da un ente accreditato
- Italia, ENEL DK5940:** Sicurezza, EMC e funzioni di interfaccia rete. Conformità ratificata da un ente accreditato
- Spagna, Real Decreto:** Sicurezza, EMC e funzioni di interfaccia rete. Auto-certificazione del costruttore.
- EURO EFFICIENZA (EU):** Rating di efficienza simile al CEC, ma valutato in punti di funzionamento differenti

Requisiti specifici per la connessione alla rete in base a regolamenti nazionali → Implicazioni sul progetto degli inverter FV
 La tabella riassume i più importanti requisiti che riguardano la configurazione di uscita degli inverter in Europa.

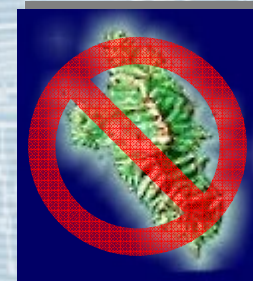
Requisito Base	Germania VDE0126	Italia ENEL DK5940	Spagna Real Decreto
Sistema 1F / 3F	1F fino a 4.6KW 3F oltre 4.6KW	1F fino a 6KW 3F oltre 6KW	1F fino a 5KW 3F oltre 5KW
Trasformatore di Isolamento	Non richiesto (raccomandato oltre i 100KW)	Obbligatorio oltre i 20KW	Raccomandato oltre i 100KW
BT (230/380Vac) MT (10KVac - 30KVac)	BT fino a 100KW; Da definire oltre i 100KW	BT fino a 50KW (75KW) MT oltre i 75KW	Come in Germania. Da concordare con il gestore locale



Normative dei Sistemi Fotovoltaici Connessi alla Rete

CRITERIO BASE: sistema di protezione "anti-isola"

- ✓ Il funzionamento isolato di una porzione della rete elettrica pubblica non è permesso. In caso di interruzione della rete (intenzionale o meno), il sistema fotovoltaico deve rilevare la condizione di funzionamento in "isola" e immediatamente interrompere il funzionamento.
- ✓ Questo meccanismo di sorveglianza e protezione è noto come protezione "anti-islanding"



PERCHE' non è tollerato il funzionamento in "isola"

- Rischio di fulminazione degli operatori che intervengono su linee che credono inattive!!!
- Rischio di danni alle apparecchiature degli utenti collegati a quella porzione di rete interessata dal fenomeno di "islanding", a causa del funzionamento incontrollato del sistema FV e potenzialmente al di fuori delle condizioni limite di tensione e frequenza.
- Danni alle apparecchiature se il ripristino della rete non è sincronizzato all'inverter



Normative dei Sistemi Fotovoltaici Connessi alla Rete

Protezione di "Anti-Islanding"

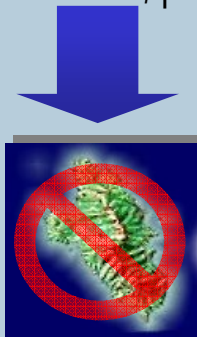
- ❑ Germania e USA sono i paesi precursori che hanno spinto per l'introduzione di requisiti specifici atti a prevenire i fenomeni di "islanding" e per lo sviluppo di metodi di verifica e approvazione delle protezioni di "anti-islanding" implementate sugli inverter.

Germania accetta 3 metodi alternativi e richiede un max. ritardo di intervento di 5 sec:

- Controllo della terna 3-fase → spegnimento nel caso in cui almeno una delle fasi esce dalla finestra di tolleranza
- Variazione della impedenza di rete $> 1\Omega$ (metodo dell'impulso)
- Carico risonante ($Q>2$) accordato alla frequenza di rete e con componente resistiva uguale a quella dell'impedenza di uscita dell'inverter.

USA L'anti-islanding si basa solamente sul metodo "c" ($Q>1$), ma con un max. ritardo di intervento di 2 sec

AURORA: utilizziamo il metodo "c" - del carico risonante, per mantenere uniformità nelle versioni commercializzate.



Normative dei Sistemi Fotovoltaici Connessi alla Rete

CRITERIO BASE: protezioni & sicurezza

Disconnessione AUTOMATICA e TEMPESTIVA dalla rete in caso di:

- Il generatore FV produce perturbazioni alla rete (protezione della "qualità" della rete)
- Qualsiasi malfunzionamento della rete locale a cui è collegato l'impianto
- Apertura intenzionale o indesiderata (automatica) dei dispositivi di protezione/limitazione di rete
- Alimentazione della rete pubblica da parte del generatore FV dopo interruzione di servizio ("Anti-Islanding")
- Guasti o anomalie della rete pubblica



Dispositivo di Protezione di Interfaccia: dispositivo di disconnessione automatica generalmente integrato nell'inverter che disconnette il generatore FV dalla rete entro un tempo limite di intervento nel caso in cui sia rilevata una o più delle condizioni anomale descritte sopra



Normative dei Sistemi Fotovoltaici Connessi alla Rete

CRITERIO BASE: protezioni & sicurezza

Dispositivo di Protezione di Interfaccia: requisiti di base e deviazioni nazionali nei vari paesi

➤ In ogni paese sono definiti i requisiti di protezione base in termini di un limite massimo e minimo della tensione e frequenza di rete che sono consentiti durante il funzionamento del sistema FV. Se uno di questi parametri esce dalla finestra consentita l'inverter deve interrompere la connessione alla rete entro un tempo limite prefissato.

Parametro Rete	Paese	Germania (230Vac/50Hz)		Italia (230Vac/50Hz)		Spagna (230Vac/50Hz)		USA (240Vac/60Hz "split")	
		Soglia	T-intervento	Soglia	T-intervento	Soglia	T-intervento	Soglia	T-intervento
Max. Tensione (% of Vnom)	Limite	115%	0,2 s	120%	0,1 s	110%	Non specif.	110% (120)	1 s (0,16)
	Aurora	113%	0,16 s	118%	0,06 s	108%	1,8 s	108% (118)	0,9 s (0,12)
Min. Tensione (% of Vnom)	Limite	80%	0,2 s	80%	0,2 s	85%	Non specif.	88% (50)	2 s (0,16)
	Aurora	82%	0,16 s	82%	0,16s	87%	1,8 s	90% (55)	1,8 s (0,12)
Max. Frequenza (Hz)	Limite	50,2	0,2 s	50,3 ⁽¹⁾	Al + presto	51	Non specif.	60,5	0,16 s
	Aurora	50,18	0,16 s	50,28	0,06	50,95	0,06	60,42	0,12 s
Min. Frequenza (Hz)	Limite	47,5	0,2 s	49,7 ⁽¹⁾	Al + presto	49	Non specif.	59,3	0,16 s
	Aurora	47,52	0,16 s	49,72	0,06	49,05	0,06	59,38	0,12 s
Anti Islanding		Si	5 sec (4)	No (dF/dT in casi speciali)		no		Si	2 sec (2)
Ritardo di ri-connezione		20 sec		20 sec		60 sec		5 min!!	

Nota: (1) Aumenta a ± 1 Hz in casi speciali e salvo consenso di Enel Distribuzione



Normative dei Sistemi Fotovoltaici Connessi alla Rete

CRITERIO BASE: "Isolamento Galvanico" e iniezione di Corrente Continua in Rete

- Quando l'inverter/sistema è dotato di trasformatore di isolamento a bassa frequenza (50/60Hz) la rete è intrinsecamente protetta da eventuali correnti continue residue prodotte dal generatore FV in condizioni di guasto.
- Gli inverter transformer-less sono tollerati (sebbene dovrebbero essere preferiti per gli ovvi vantaggi di efficienza!) ma devono limitare la componente continua della corrente iniettata in rete in accordo ai requisiti specifici nazionali. Inoltre in molti paesi è richiesta una protezione dedicata, che arresta il processo di conversione e disconnette l'inverter dalla rete nel caso in cui siano superati i limiti consentiti

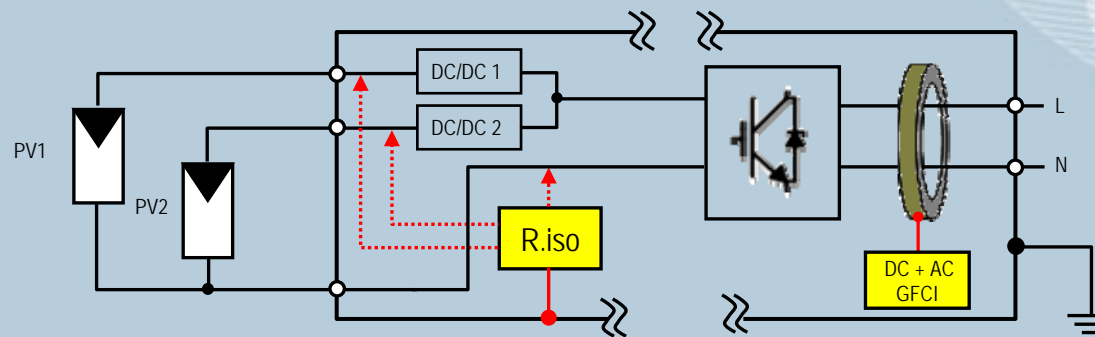
Requisito	Germania VDE 0126	Italia DK 5940, CEI 11-20	Spagna RD 1663 / 2000	USA UL 1741
Isolamento Galvanico a Bassa Frequenza	Non richiesto (ma raccomandato >100kWp)	Obbligatorio > 20kWp	Non richiesto (ma raccomandato >100kWp)	No obbligo (per gli stati che aderiscono al NEC 2005)
Limite iniezione corrente DC	< 0,5% di Inom	< 0,5% of Inom	Non specificato (è accettata la VDE0126)	< 0,5% of Inom
Protezione contro iniezione corrente DC in caso di guasto	SI (entro 200msec) limite @ 1A _{DC}	SI limite @ 0,5% of Inom	Non specificato (è accettata la VDE0126)	Non specificato (è accettata la VDE0126)
Comportamento di Aurora in condizioni normali	I _{dc} < 0,3% Inom	I _{dc} < 0,3% Inom	I _{dc} < 0,3% Inom	I _{dc} < 0,3% Inom



Normative dei Sistemi Fotovoltaici Connessi alla Rete

CRITERIO BASE: Corrente di Dispersione a Terra (Guasto a Terra) & misura R-iso

- La VDE in Germania è il precursore della sicurezza sul lato DC dei sistemi Fotovoltaici
 - I requisiti sono più restrittivi per i sistemi transformer-less, in quanto in questo caso la tensione di rete AC si sovrappone alla componente continua presente ai capi del generatore fotovoltaico (array)
 - Nei sistemi "transformer-less" il sistema non è "immune" al primo guasto verso terra!! Per questo motivo la norma VDE0126 richiede un sistema di protezione equivalente ad un interruttore differenziale avanzato.
- 1) Monitoraggio in tempo reale della corrente di dispersione a terra (componente AC + DC!!!) con un sofisticato "profilo" di protezione dinamica. (interruttore differenziale avanzato)
 - 2) Misura preventiva (prima della connessione in rete) della resistenza di isolamento verso terra del generatore FV (R.iso). La connessione alla rete avviene solo se la R.iso eccede un limite minimo predefinito
 - 3) Ridondanza: ogni misura deve essere effettuata e controllata da 2 CPU separate, ognuna delle quali controlla un dispositivo di protezione di interfaccia separato (relay). Il sistema deve disconnettersi non solo al superamento di un limite massimo rilevato dalla singola CPU, ma anche in caso di incongruenza nel confronto dei risultati delle 2 CPU



Normative dei Sistemi Fotovoltaici Connessi alla Rete

Corrente di Dispersione a Terra (Guasto a Terra) & misura R-iso: limiti e caratteristiche

- La resistenza di isolamento R.iso deve essere misurata prima della connessione alla rete (misura della resistenza in dc) e il limite è proporzionale al livello di tensione a vuoto dell'array.
- Corrente di dispersione → insieme ad un limite "statico" assoluto di 300mA il circuito di lettura deve essere in grado di rilevare variazioni rapide pari a 30mA/sec, in quanto potenzialmente prodotte da personale della manutenzione esposto al rischio di folgorazione perché entrato in contatto con pannelli fotovoltaici in perdita!!

Parametro	Limiti della VDE 0126	Tempo di intervento (VDE 0126)	AURORA (tutte le versioni!!)
Corrente di dispersione (AC + DC)	$I_{disp} < 300 \text{ mA}$	< 300 ms	$I_{disp} < 200 \text{ mA}$
Corrente di dispersione (AC + DC) Transitori rapidi	$\Delta I_{disp} = 30 \text{ mA / sec}$	< 300 ms	Conforme
	$\Delta I_{disp} = 60 \text{ mA / sec}$	< 150 ms	
	$\Delta I_{disp} = 150 \text{ mA / sec}$	< 40 ms	
Resistenza di isolamento R-iso dei pannelli (prima della connessione)	$\geq 1 \text{ k}\Omega/\text{V}$ (ma $\geq 500 \text{ k}\Omega$)	nessuna connessione alla rete se inferiore al limite	> 1M Ω

- La corrente di dispersione indotta dall'accoppiamento capacitivo dell'array verso terra non è trascurabile, specialmente nella stagione umida. Si raccomanda pertanto l'uso di interruttori differenziali con $I_d=300\text{mA}$ al fine di evitare scatti intempestivi e indesiderati e conseguenti perdite di produttività.
- **TUTTE LE VARIANTI NAZIONALI DI AURORA (Incl. IT, ES & US) integrano questa funzione di sicurezza!!!**



Normative dei Sistemi Fotovoltaici Connessi alla Rete

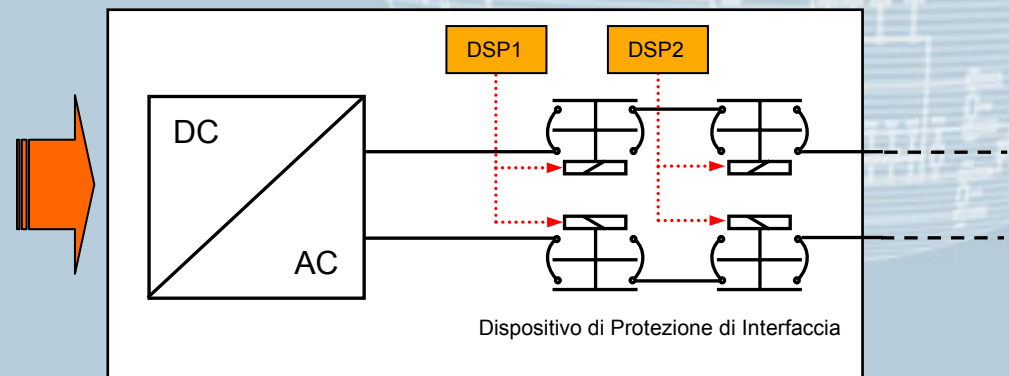
❑ CARATTERISTICHE DEL DISPOSITIVO E PROTEZIONE DI INTERFACCIA DI RETE :

- Integrato nell'inverter è in genere composto da una combinazione di relè elettromeccanici e circuiti di lettura e protezione con livelli di soglia e tempi di intervento "certificati".
- In Italia l'organo di interruzione deve essere a "sicurezza intrinseca": con bobina del relè alimentata direttamente dalla rete. In caso di guasto o assenza rete questo assicura l'apertura del dispositivo e separazione dalla rete.
- Gli inverter Aurora incorporano 4 relè (vedi schema sotto) al fine di assicurare non solo la SICUREZZA INTRINSECA, ma anche la RIDONDANZA (in accordo allo standard più restrittivo VDE 0126)

RIDONDANZA

Ogni coppia di relè è controllata da due circuiti di lettura/protezione separati e indipendenti (DSP1 e DSP2, in accordo alla VDE 0126)

AURORA verifica lo stato di isolamento di ogni relè PRIMA di abilitare la connessione alla rete

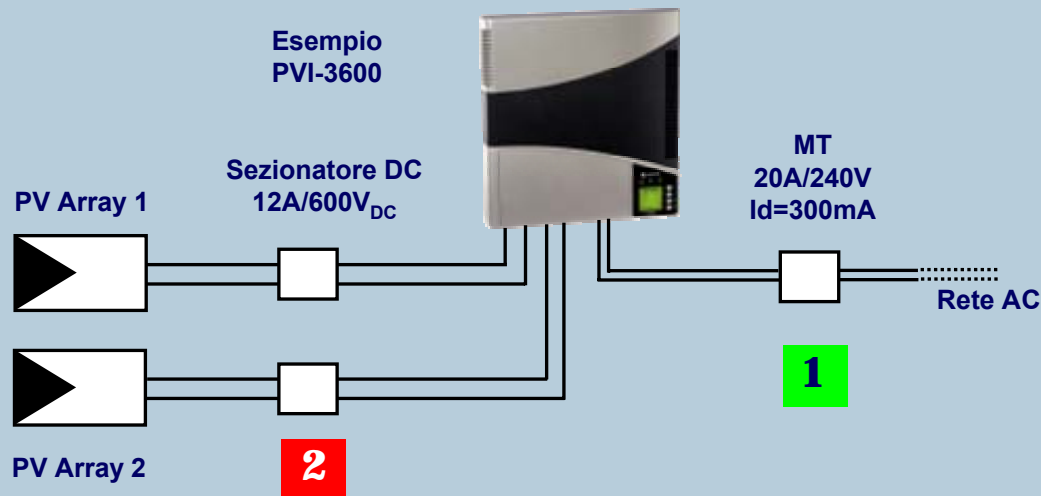


MAGNETEK AURORA 3,6kW

Normative dei Sistemi Fotovoltaici Connessi alla Rete

□ Sezionamento DC & AC – raccomandazioni e criteri di selezione dei componenti

- Un campo fotovoltaico sviluppa *tensioni pericolose, fino a 600Vdc*.
- Per evitare rischi di folgorazione ad utilizzatori/installatori durante il servizio e la manutenzione (scariche e bruciature dovute all'arco) e danni all'inverter *un dispositivo di manovra/sezionatore è sempre richiesto sul lato c.c. del circuito.*



Prima di ogni intervento sul lato DC, seguire la sequenza di disconnessione raccomandata:

- (1) Aprire il lato AC (interruttore MT)
- (2) Aprire il lato DC, agendo sul sezionatore

Taglia suggerita	PVI-2000	PVI-3600	PVI-6000
Sezionatore DC (per canale)	12A/600Vdc	12A/600Vdc	20A/600Vdc
Sezionatore AC	12 A	20 A	32 A
Differenziale	300 mA	300 mA	300 mA

