

Riferimento pratica per Enfasi scarl: **RT_100503_18**

Enfasi_Ordine_100503_18

Firma Presidente Enfasi

Torino, 03/05/2010

**In riferimento al progetto ENERGENESIS MINILAB SOLARE
FOTOVOLTAICO E TERMICO sito in Via Pietro Giuria 1 (6° piano),
Torino**

**Oggetto: Collaudo dell'impianto fotovoltaico. Sessione di prova n° 4 – 29 Aprile 2010:
collaudo stringa con tecnologia policristallina, stringa a film sottile (micro-
amorfo) ed a tecnologia CIS.**

ENFASI – Energie rinnovabili e Risparmio energetico – società consortile a responsabilità limitata

C.F. e P.IVA: 100 385 800 14; Numero REA: To – 1100725 Capitale sociale: 40 000,00 Euro

sede operativa in Via Osasco 56 – 10141 Torino, tel. 011-3828700, fax 011-3825318

sede legale presso lo studio del ragioniere Francesco Mangiapane, Via Gorizia, 83 – 10136 Torino

Presidente e Direttore Tecnico: ing. Luca NESPOLI (cell. 334-581 6830)

sito internet: www.enfasi.org

posta elettronica: segreteria@enfasi.org

INTRODUZIONE

Le prove a scopo di collaudo dell'impianto in oggetto sono state eseguite in data 29/04/10.

In sintesi:

- la strumentazione di utilizzata è riassunta in Allegato A - Tabella A-1
- la legenda dei simboli è riportata in Allegato A - Tabella A-2
- l'incertezza delle misure effettuate è riportata in Allegato A – Tabella A-3
- le caratteristiche dell'impianto sono quelle riportate in Allegato B - Tabella B-1
- i controlli e le misure effettuate sono quelle riportate in Allegato B - Tabella B-2

Rispetto alle sessioni di misura precedenti, sono state effettuate le seguenti modifiche di configurazione dell'impianto:

- la stringa Wurth Solar (W) è costituita da 5 moduli di tipo CIS (aggiunta di n° 1 modulo)
- i moduli Helios Technology (di seguito HM e HP) sono stati collegati in serie ai moduli policristallini Energica (di seguito EP1 ed EP2) al fine di garantire una potenza di alimentazione sufficiente all'inverter ($225 \text{ Wp} \times 4 = 900 \text{ Wp}$)
- le misure relative ai moduli in Silicio micromorfo Inventux sono state eseguite esclusivamente sulle due stringhe A e B collegate in parallelo ($120 \text{ Wp} \times 8 = 960 \text{ Wp}$).

Per quanto riguarda invece la strumentazione utilizzata, per le misure di corrente sono state impiegate le pinze amperometriche HT9021 e 4010, rispettivamente in continua ed in alternata; per le misure di tensione direttamente quelle dell'inverter, anche per evitare contatti accidentali dell'operatore con parti in tensione.

I risultati numerici delle prove eseguite, distinti per ciascuna stringa, sono riportati in Allegato C – Tabella C-1.

1 VERIFICA DI EFFICIENZA DI CONVERSIONE ISTANTANEA DELL'IRRAGGIAMENTO IN ELETTRICITA'

Al fine di caratterizzare le stringhe in oggetto, è stata svolta un'analisi dell'effettiva efficienza di conversione da irraggiamento a potenza elettrica istantanea dei singoli moduli; ed è stato condotto un confronto con i valori nominali di potenza forniti da scheda tecnica.

In particolare i valori di potenza resa sono stati riferiti alla superficie dei moduli (senza correzione di temperatura) e quindi rapportati all'irraggiamento misurato, ottenendo così un'efficienza di conversione

della luce solare in elettricità: graficamente dunque questi sono rappresentati tramite punti sperimentali. È stato inoltre operato un raffronto con l'efficienza di conversione nominale, ottenuta rapportando la potenza nominale resa al metro quadro all'irraggiamento standard: graficamente essa è indicata come una retta orizzontale. In Allegato D è riportata l'elaborazione dei dati (Tabella D-1).

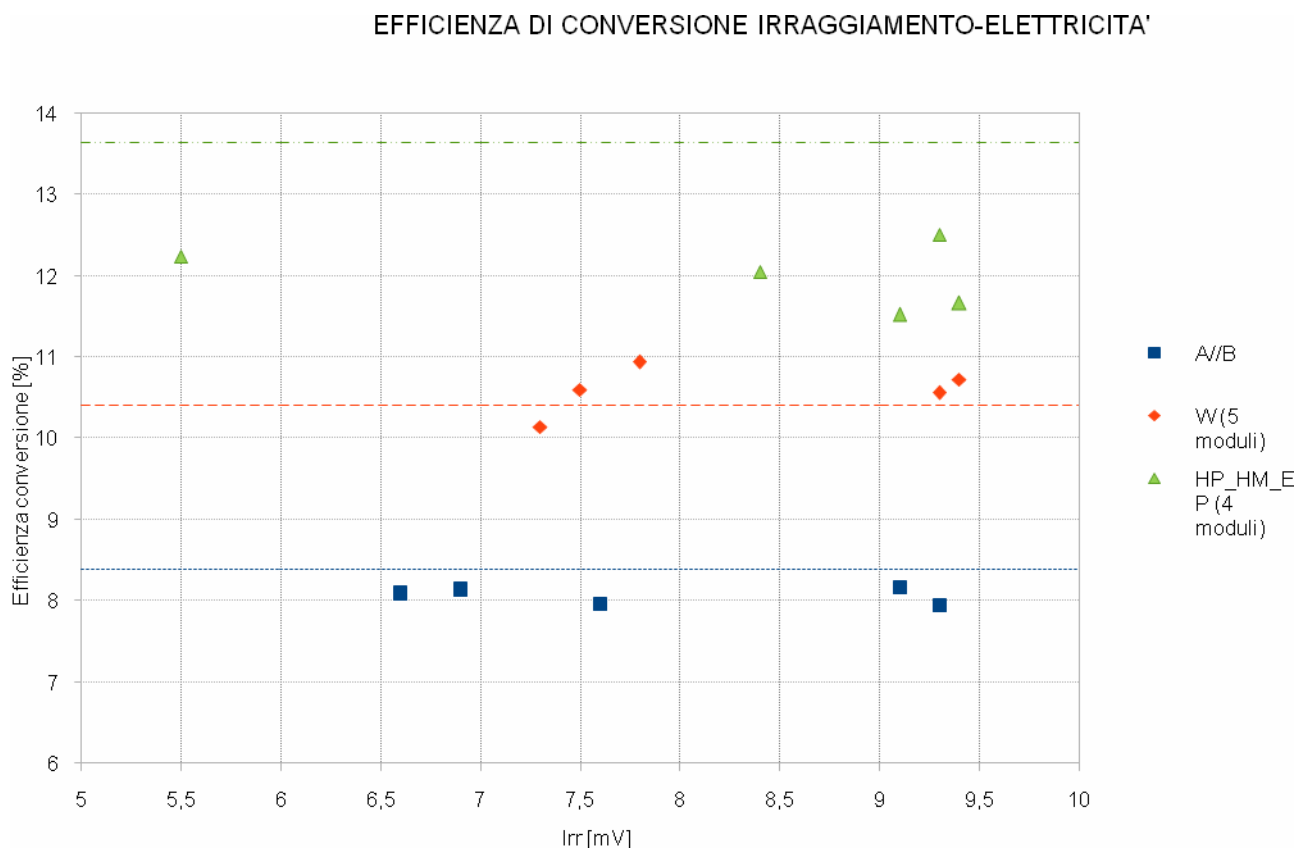


Figura 1: rappresentazione grafica dell'efficienza di conversione delle differenti tecnologie riferite ai singoli moduli e confrontate ai valori nominali

Il grafico evidenzia come i moduli con tecnologia CIS (W) ed i moduli in Silicio micromorfo (A/B) garantiscano efficienze di conversione prossime al valore nominale. I si attestano su valori inferiori di meno di un punto percentuale dal nominale.

Invece la stringa in Silicio policristallino presenta valori intorno al 12%, a fronte di un nominale 13,6 % (scostamento relativo del 10%).

2 VERIFICA DEI REQUISITI PRESTAZIONALI PER IL COLLAUDO (Ex. DM 18/07/05, n° 80)

La normativa italiana richiede le seguenti incertezza di misura:

- le misure di potenza devono essere effettuate con una precisione non inferiore al +/-2%
- le misure di irraggiamento con precisione non inferiore al +/- 3%.

La norma prescrive 3 verifiche di seguito svolte. Nei grafici rappresentati le rette indicano i valori minimi di soglia, ed i punti si riferiscono ai dati sperimentali. In Allegato D (Tabella D-2) è riportata l'elaborazione dei dati.

2.1 Verifica 1 – Verifica dell'efficienza minima dell'impianto su lato continua

La normativa italiana prevede che:

$$P_{dc} \geq \frac{0,85 \cdot P_{nom} \cdot I}{I_{stc}}$$

Poiché le temperature dei moduli erano superiori ai 40°, è stata adottata la correzione imposta da normativa CEI 82-25:2007-02, tale per cui

$$P_{dc} \geq \frac{(1 - P_{tpv} - 0,08) \cdot P_{nom} \cdot I}{I_{stc}}$$

Dove P_{tpv} indica le perdite termiche del generatore FV qualora la temperatura di lavoro dei moduli sia superiore ai 40°C.

La verifica è stata soddisfatta da tutte la stringhe, anche grazie alla correzione dovuta all'elevata temperatura dei moduli.

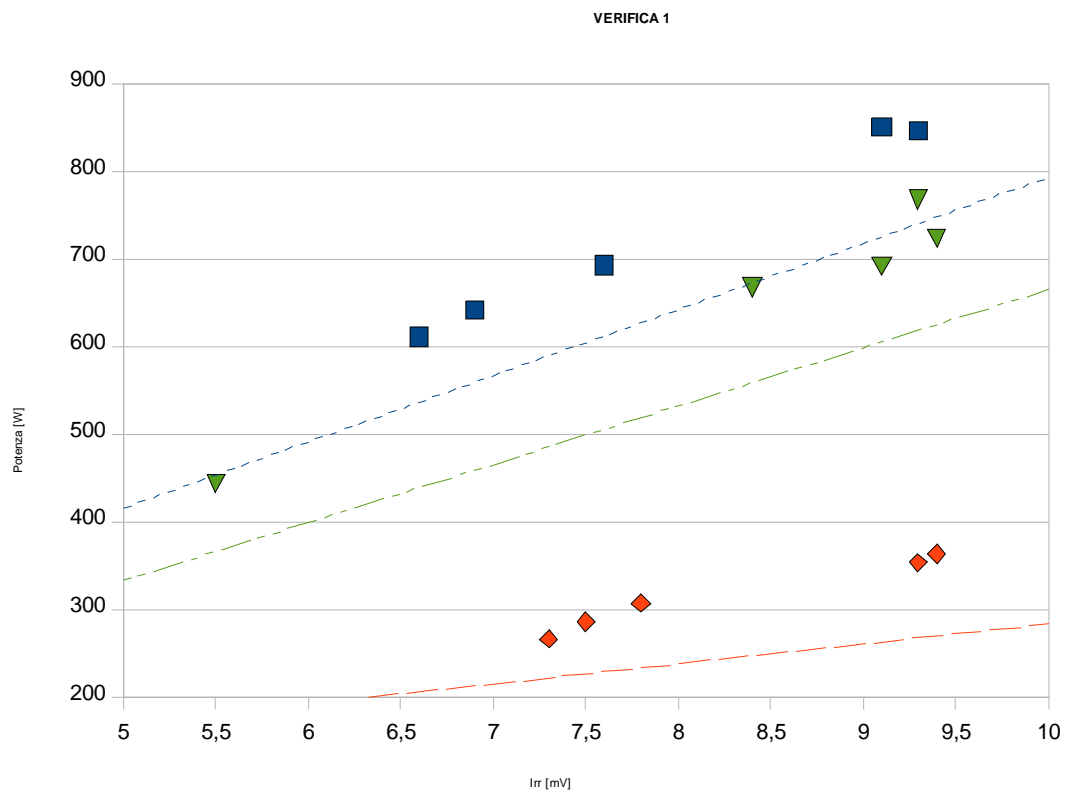


Figura 2: rappresentazione grafica dei risultati ottenuti dalla verifica 1

- Pdc Inventux
- ▼ Pdc HT
- Lim HT
- Regressione lineare per Lim HT
- ◆ Pdc Wurth
- Lim Wurth
- Regressione lineare per Lim Wurth
- Lim Inventux
- Regressione lineare per Lim Inventux

2.2 Verifica 2 - Verifica dell'efficienza minima di conversione dell'inverter

Questa verifica è da intendersi come riferita al buon funzionamento dell'inverter, infatti impone che

$$P_{ac} \geq 0,90 \cdot P_{dc}$$

Poiché nessuna delle stringhe la supera, è evidente che non ci sia un corretto accoppiamento moduli-inverter. Ciò è spiegabile dal fatto che il range di funzionamento ottimale dell'inverter ($P_{nom}=1800$ W, $P_{max}=1980$ W) risulta superiore a quello generato dalle stringhe stesse ($P_{max}=960$ W).

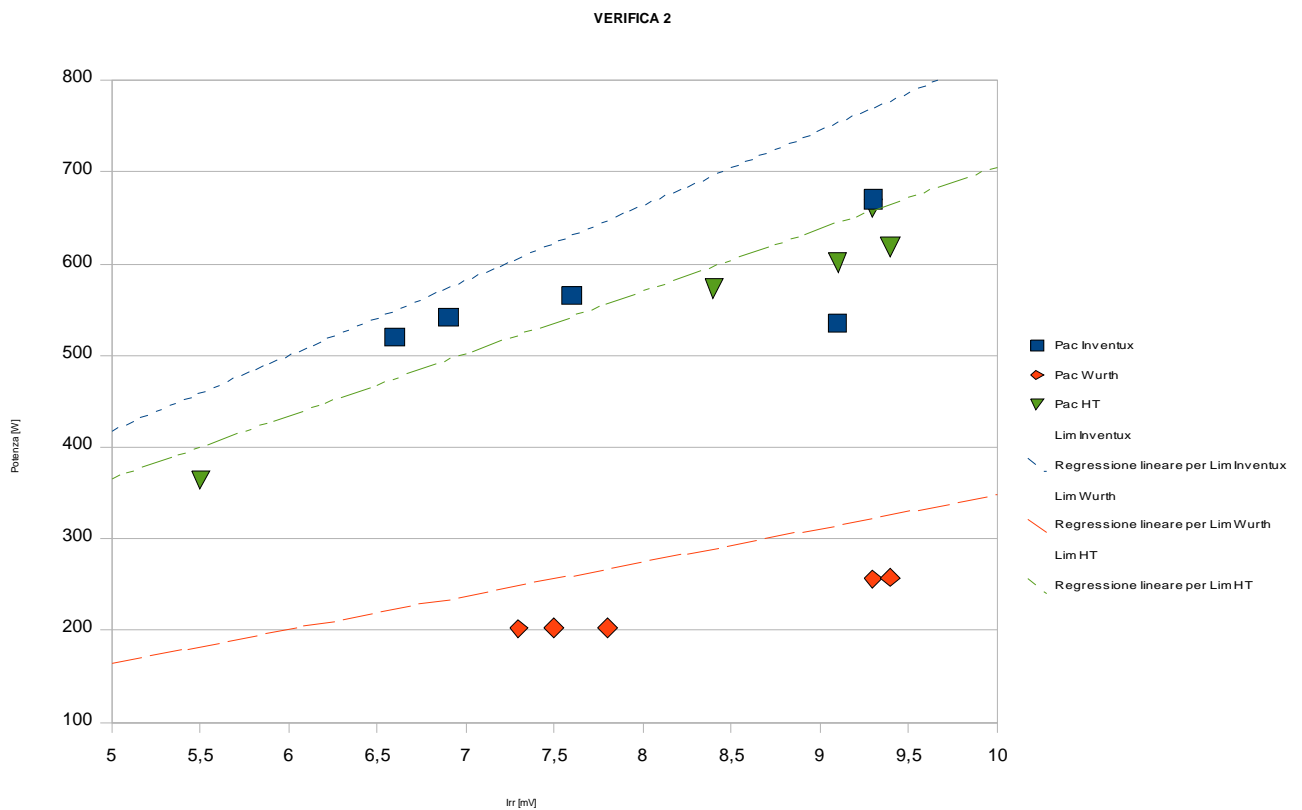


Figura 3: rappresentazione grafica dei risultati ottenuti dalla verifica 3

2.3 Verifica 3 - Verifica dell'efficienza minima dell'impianto

Quest'ultima verifica fa riferimento al buon funzionamento del sistema nel suo complesso ed è interpretabile come una conseguenza delle due precedenti; dà ancora una volta risultati positivi per tutte le tecnologie.

$$P_{ac} \geq \frac{0,75 \cdot P_{nom} \cdot I}{I_{stc}}$$

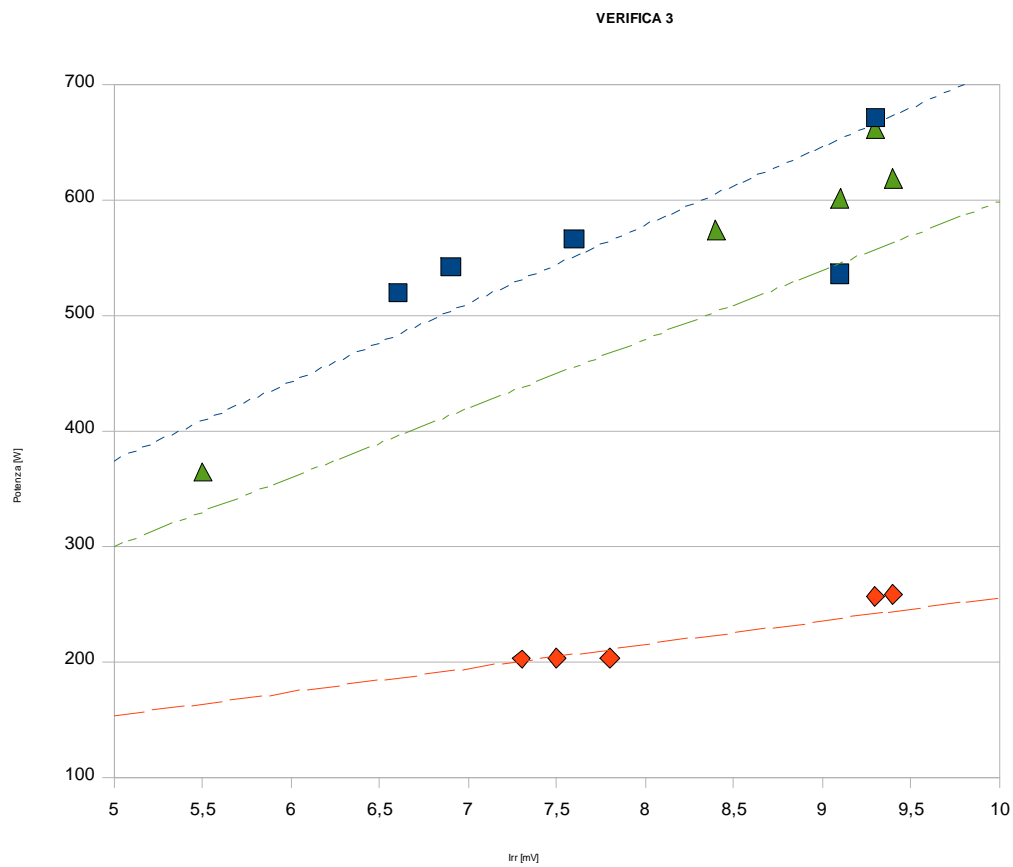


Figura 4: rappresentazione grafica dei risultati ottenuti dalla verifica 3

ALLEGATO A

Tabella A-1: Caratteristiche della strumentazione utilizzata

Strumento utilizzato	Grandezza fisica	Valore fondo scala	Incertezza nominale	Risoluzione
Multimetro digitale, mod. MS8200G, ditta GBC, CE-IEC 1010, cat II (n° serie 20010836681)	Temperatura	400 °C	± (1 % lettura + 3 digits)	1° C
	Corrente continua	10 A	± (2 % lettura + 10 digits)	0,01 A
	Corrente alternata	10 A	± (3 % lettura+ 10 digits)	0,01 A
	Tensione continua	1000 V	± (0,8 % lettura + 3 digit)	1 V
	Tensione continua	200 mV	± (0,5 % lettura + 1 digits)	0,1 mV
	Tensione alternata	700 V	± (1,2 % lettura + 5 digits)	1 V
Radiometro globale integrato all'impianto, mod. Lastem DPA047 (n° matricola 2518)	Irraggiamento solare	2000 W/m ²	± 5 W/m ² ± 3 % lettura	10 W/m ²
Inverter modulare per immissione in rete, ditta Würth Solar, mod. SolarSTAR a2000	Corrente continua	11 A	± 5 % lettura	0,1 A
	Corrente alternata	11 A	± 5 % lettura	0,1 A
	Tensione continua	600 V	± 2 % lettura	1 V
	Tensione alternata	300 V	± 2 % lettura	1 V
Pinza amperometrica, mod. HT 4010, (n° serie 09052719)	Corrente alternata	20 A	± (2,5 % lettura+ 4 digits)	0,01 A
	Tensione continua	600 V	± (2 % lettura + 2 digits)	1 V
	Tensione alternata	600 V	± (2,5 % lettura + 8 digits)	1 V
Pinza amperometrica, mod. HT 9021, (n° serie 090705460)	Corrente continua	60 A	± (2,2 % lettura + 10 digits)	0,01 A
	Corrente alternata	60 A	± (2,2 % lettura+ 12 digits)	0,01 A
	Tensione continua	600 V	± (1 % lettura + 3 digits)	0,1 V
	Tensione alternata	600 V	± (1 % lettura + 4 digits)	0,1 V

Tabella A- 2: Legenda simboli

Simbolo	Descrizione grandezza fisica associata al simbolo
Istc	Irraggiamento in condizioni standard (pari a 1000 W/m ²)
I	Irraggiamento sul piano medio dei moduli (misurato in W/m ²)
Pdc	Potenza in uscita generatore fotovoltaico (misurata in kW)
Pca	Potenza attiva in uscita convertitore (misurata in kW)
Pnom	Potenza nominale del generatore fotovoltaico riferita a singolo modulo
Vdc	Tensione misurata su singola stringa
Idc	Corrente misurata su singola stringa
Stringa A	4 moduli ditta Inventux
Stringa B	4 moduli ditta Inventux
Stringa W	5 moduli ditta Würth Solar
Stringa HM-HP-EP	2 moduli ditta Helios Technology + 2 moduli Energica

Si riporta di seguito la Tabella riassuntiva delle incertezze stimate per ognuno degli strumenti utilizzati.

Tabella A- 3: Incertezza delle misure effettuate

GRANDEZZE MISURATE	CAMPO DI MISURA		Incertezze HT 9021 [%]		Incertezze HT 4010 (f.s.=20 A; ris=0,01 A) [%]		Incertezze MULTIMETRO [%]		Incertezze INVERTER [%]	
I _{cc} [A]	1	8	22	3	-	-	22	3	15	5
V _{cc} [V]	30	360	2	1	9	3	11	2	6	2
I _{ca} [A]	1	6	22	4	9	3	20	5	15	5
V _{ca} [V]	220	225	4	4	2	2	3	3	4	2
I _{rr} [mV]	2	11	16	4	11	3	253	48	-	-

In conseguenza di quanto evidenziato sopra, è stato scelto di continuare ad utilizzare l'inverter per le letture di tensione e le pinze per le letture di corrente. In sintesi:

- Misure di TENSIONE CONTINUA E ALTERNATA: effettuate tramite inverter con incertezza stimata del 3%;
- Misure di CORRENTE CONTINUA: effettuate tramite pinza amperometrica HT9021 con incertezza sulla lettura variabile fra il 3 e l'8% al decrescere della lettura stessa;
- Misure di CORRENTE ALTERNATA: effettuate tramite pinza amperometrica HT4010 con incertezza sulla lettura variabile fra il 3 e il 6% al decrescere della lettura stessa;
- Misure di TEMPERATURA: effettuate tramite pinza amperometrica, con un'incertezza stimata al 12%;

- Misure di IRRAGGIAMENTO: tramite multimetro collegato a radiometro globale. L'incertezza del sistema di misura multimetro-sensore è stata stimata al 3%.

Inoltre, in seguito a prove di confronto tra le letture effettuate, è stato rilevato un offset sistematico di misura tra i valori di corrente riportati dall'inverter e dalla pinza amperometrica HT9021. Si riporta di seguito un confronto esemplificativo dei valori di corrente continua ottenuti utilizzando pinza ed inverter, a uguali condizioni al contorno.

Vdc da inverter [V]	Idc da inverter [A]	Idc da HT 9021 [A]
343	1,6	1,78
345,1	1,6	1,86
342,8	1,8	2,02
162,6	1,4	1,64
167	1,5	1,84
164,4	1,5	1,74

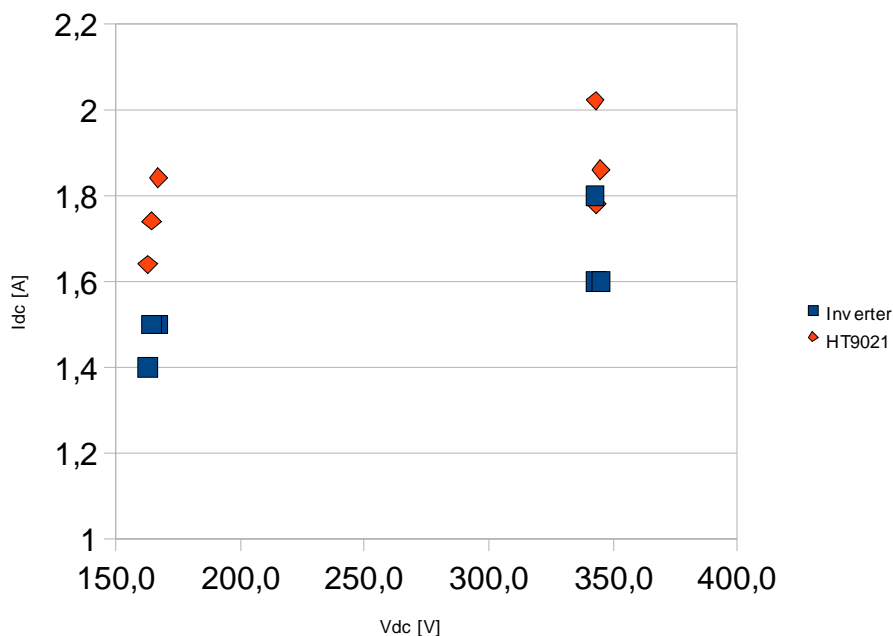


Figura A- 1 Rappresentazione dell'offset sistematico di misura tra Inverter e HT9021

ALLEGATO B

Tabella B-1: Caratteristiche dell'impianto oggetto di verifica

Caratteristica impianto	Descrizione corrispondente alla caratteristica
Localizzazione	Impianto installato su tetto piano, con orientamento Sud ad altezza media dal suolo pari a circa 20 m, appartenente ad edificio di 6 piani sito in Via Pietro Giuria 1, Torino
Descrizione dell'impianto	<p>Impianto sperimentale costituito da n[^] moduli, connessi su quattro stringhe secondo il seguente schema</p> <p>STRINGA A e STRINGA B: 4 moduli/stringa Inventux</p> <p>STRINGA W: 5 moduli Wurth Solar</p> <p>STRINGA HM_HP_EP: 4 moduli di cui 2 Helios Technology e 2 moduli Energica</p> <p>L'unico inverter presente può venire collegato esclusivamente ad una singola stringa alternativamente</p>
Potenza nominale del generatore fotovoltaico	<p>STRINGA A e STRINGA B: 4 moduli/stringa Inventux a potenza nominale 120 Wp</p> <p>STRINGA W: 5 moduli Wurth Solar a potenza nominale 75 Wp</p> <p>STRINGA HM_HP_EP: 4 moduli di cui 2 Helios Technology a potenza nominale 225 Wp e 2 moduli Energica a potenza nominale 225 Wp</p> <p>La potenza nominale massima si verifica tramite il collegamento in parallelo delle stringhe A e B e vale 960 Wp.</p>
Tipologia modulo fotovoltaico	<p>Ditta Inventux, mod. X 120 – in Silicio amorfo (film sottile)</p> <p>Ditta Wurth Solar, mod. WSG0037E075 – film sottile CIS</p> <p>Ditta Helios Technology, mod. HMA 225 e HMA 225P – rispettivamente in Silicio mono e poli cristallino</p> <p>Ditta Energica, mod. PRIMO60 – in silicio policristallino</p>
Tipologia convertitore	Ditta Wurth Solar, mod. SolarSTAR a2000 – senza trasformatore con protezioni di rete integrate

Tabella B-2: Controlli e misure effettuate in data 31/03/10, ai fini verifica tecnico-funzionale e certificazione ai sensi DM 28/07/05, n° 180

Controllo/misura	Esito / valore
Distinta materiali verso conformità	Favorevole
Progetto ed esecuzione impianto generale	Favorevole
Continuità elettrica impianto	Favorevole
Messa a terra di masse e scaricatori	Favorevole
Isolamento dei circuiti elettrici dalle masse	Favorevole
Funzionalità impianto in base a casistica operativa: accensione/spegnimento	Favorevole
Fascia oraria esecuzione misure	11.00 – 14.00
Temperatura ambiente (ombra)	31 ± 4 °C
Temperatura superficie inferiore dei moduli	60 ± 8 °C
Clima	Sereno, ventilato
Irraggiamento	970 – 1080 W/m ²

ALLEGATO C

Tabella C-1: Sintesi delle misure effettuate

	ORA	TEMP. ARIA [°C]	IRRAGGIAMENTO sul piano dei moduli 1[mV]=100[W/m2]	TEMPERATURA POSTERIORE MODULO [°C]	Idc [A]	Vdc [V]	Iac [A]	Vac [V]	Pac [W]	
A//B	11:20:00 AM	26,0	6,6	51,8	1,78 (1,6)	342,0-344,0	2,3	225,8-226,0		
	11:29:00 AM		6,9	55,6	1,86 (1,6)	343,3-347,0	2,4	225,7	539,0-549,0	
	11:45:00 AM		7,6	60,8	2,02 (1,8)	341,2-344,3	2,5	226,4	570,4-574,0	
	1:42:00 PM		9	60,8		325,4	2,78	228,4		
				9,3	60,8	2,60	325,4	2,94	228,1	
	1:57:00 PM	35,0	9,1	60,8	2,50-2,65	328,6-332,0	2,30-2,40	227,9-228,0		
W (5 moduli)	11:43:00 AM	26,0	7,3	54,0	1,64(1,4)	161,1-164,1	0,9	224,7	211,0-212,0	
	11:50:00 AM		7,8	58,1	1,84 (1,5)	165,0-169,0	0,9	225,2	224,0	
	11:55:00 AM		7,5	58,1	1,74 (1,5)	163,5-165,5	0,9	225,3-225,4	214,0-215,0	
	1:40:00 PM		9,3	67,5	2,10-2,20	164,0-165,0	1,13	226,6	264,0-266,0	
	1:55:00 PM		9,4	67,5	2,24	160,4-163,8	1,14	226,4		
HT_HM_EP (4 moduli)	12:30:00 PM	27,3	8,4	60,7	6,44-6,57	102,7	2,51	228,4-228,6	590,0	
	1:20:00 PM	33,2	9,1	62,3	6,89	100,4	2,64	227,7	582,0-591,0	
	1:30:00 PM		5,5	62,3	4,26	104,3	1,60	227,6		
				9,3	62,3	7,36	104,3	2,90	228,0	
	1:50:00 PM		9,4	62,3	7,55	95,8	2,71	228,2		

La riga A//B indica le misure effettuate collegando in parallelo le stringhe A e B; la riga W si riferisce ai moduli Würth; la riga HP_HM_EP indica invece la stringa costituita dai moduli Helios Technology ed Energica.

ALLEGATO D

Tabella D-1: Elaborazione dati relativi all'efficienza di conversione

	IRRAGGIAMENTO sul piano dei moduli 1[mV]=100[W/m2]	TEMPERATURA POSTERIORE MODULO [°C]	Pdc [W]	Pdc_nom [W]	Sup.stringa [m2]	Efficienza conversione singolo modulo [%]	Efficienza nominale conversione singolo modulo [%]
A/B	6,6	51,8	611	960	11,44	8,09	8,39
	6,9	55,6	642			8,13	8,39
	7,6	60,8	692			7,96	8,39
	9,3	60,8	846			7,95	8,39
	9,1	60,8	851			8,17	8,39
W (5 moduli)	7,3	54,0	267	375	3,6	10,15	10,42
	7,8	58,1	307			10,94	10,42
	7,5	58,1	286			10,6	10,42
	9,3	67,5	354			10,56	10,42
	9,4	67,5	363			10,73	10,42
HP_HM_EP (4 moduli)	8,4	60,7	668	900	6,6	12,06	13,64
	9,1	62,3	692			11,52	13,64
	5,5	62,3	444			12,25	13,64
	9,3	62,3	768			12,51	13,64
	9,4	62,3	723			11,66	13,64

Tabella D-2: Elaborazione dati relativi alle tre verifiche richieste da normativa

	IRRAGGIAMENTO sul piano dei moduli 1[mV]=100[W/m2]	TEMPERATURA POSTERIORE MODULO [°C]	Pdc_pinza [W]	Pdc_nom [W]	Pdc_corr [W] <u>VERIFICA 1</u>	Coeff corr	Pac_pinza [W]	Pac_lim_inv [W] <u>VERIFICA 2</u>	Pac_lim_tot [W] <u>VERIFICA 3</u>
A/B	6,6	51,8	611	960	540	0,85	520	549	486
	6,9	55,6	642		559	0,84	542	578	503
	7,6	60,8	692		606	0,83	566	623	545
	9,3	60,8	846		741	0,83	671	761	667
	9,1	60,8	851		726	0,83	536	765	653
W (5 moduli)	7,3	54,0	267	375	223	0,82	202	240	201
	7,8	58,1	307		234	0,80	203	277	211
	7,5	58,1	286		225	0,80	203	258	203
	9,3	67,5	354		267	0,77	256	318	241
	9,4	67,5	363		270	0,77	258	327	243
HP_HM_EP (4 moduli)	8,4	60,7	668	900	563	0,75	574	601	507
	9,1	62,3	692		604	0,74	601	623	543
	5,5	62,3	444		365	0,74	364	400	328
	9,3	62,3	768		617	0,74	661	691	555
	9,4	62,3	723		624	0,74	618	651	561

ALLEGATO D



Figura D-1: Fotografia dell'impianto