



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE



Pagina 1 di 2

Centro Ricerche Trisaia

"Laboratorio di Qualificazione Collettori e Sistemi Solari"
S.S. 106 Jonica Km 419.500 – 75026 Rotondella (MT)

COPIA CONFORME

Trisaia, li 16 SET. 2016

Prot. ENEA/2016/ 42753 /DTE-BBC

Spett.le SONDAG Energy Srl
Via Ungaretti n. 3
97100 – Ragusa (RG)

Oggetto: Attestazione di conformità ai requisiti del Decreto Interministeriale 16 febbraio 2016
(Conto Termico 2.0).

Tipologia	Collettore solare termico a concentrazione del tipo a fuoco puntuale
Prodotto	SONDAG
Modelli	Diamond SKY 50
Costruttore	SONDAG Energy Srl Via Ungaretti n. 3 – 97100 – Ragusa (RG) Tel: 0932.643170 - Fax: 0932.254458

Il collettore solare di cui sopra è stato oggetto di valutazioni della resa termica a partire da prove sperimentali eseguite in campo presso il sito di installazione del componente. Tali valutazioni hanno consentito di determinare i valori di produttività termica per il collettore in oggetto, come da dati riportati nella scheda allegata alla presente attestazione che ne costituisce parte integrante.

Pertanto, visti gli esiti delle prove effettuate e sulla base dei valori di producibilità specifica ottenuti, con la presente **si attesta** che il collettore in oggetto rispetta i requisiti previsti dall'Allegato I, par. 2.3, lettere c) ed h) del Decreto Interministeriale 16 febbraio 2016.

Vincenzo Sabatelli
(Responsabile di prova)

Giacobbe Braccio
(Responsabile laboratorio)

Si rilascia il presente documento per gli usi consentiti dalla legislazione vigente.
Modifiche al prodotto, successive alla data di rilascio della presente attestazione, potrebbero invalidare l'esito riportato e richiedere nuove valutazioni.
La presente attestazione è composta da complessive 2 pagine e può essere riprodotta solo in copia conforme all'originale.

Identificazione del collettore	Costruttore		SONDAG Energy S.r.l.									
	Marchio		SONDAG®									
	Modello		Diamond SKY 50									
Caratteristiche del collettore												
Tipo di collettore		Collettore solare a concentrazione del tipo a fuoco puntuale										
Sistema di inseguimento		A doppio asse		Geometria del riflettore					82 specchi lineari su superficie parabolica			
Area lorda (A _L)		49.94 m²		Lunghezza totale					6.30 m			
Superficie riflettente (A _S)		49.20 m²		Larghezza totale					8.95 m			
Area di apertura (A _a)		47.80 m²		Altezza totale					6.50 m			
Area dell'assorbitore		0.16 m²		Distanza focale					5.55 m			
Pressione operativa massima		8 bar		Temperatura operativa massima					130 °C			
Test di efficienza termica												
Metodo di test		Outdoor - in stato stazionario secondo ISO 9806:2013 - par. 20 Modello del collettore: $\eta = \eta_0 \cdot K_{gl} - a_1 \cdot (T_m - T_a) / DNI - a_2 \cdot (T_m - T_a)^2 / DNI$										
Fluido utilizzato		Acqua		Portata media di test					0.273 kg/s			
Temperatura fluido durante il test		20 ÷ 80 °C		Valore medio della DNI					828 W/m²			
Potenza di picco (DNI = 1000 W/m²)		35.5 kW _p										
Parametri della curva di efficienza		Area di apertura		Area lorda					Unità di misura			
Efficienza ottica del collettore η_0		0.742		0.710					-			
Coefficiente di perdita termica a_1		0.441		0.422					W/(m²K)			
Coefficiente di perdita termica a_2		0.001		0.001					W/(m²K²)			
Modificatore dell'angolo di incidenza (IAM)		θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
IAM longitudinale		$K_{\theta L}$	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IAM trasversale		$K_{\theta T}$	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Produzione termica del collettore												
Località		ATENE		Latitudine					38.0 °N			
				Longitudine					23.7 °E			
Inseguimento		Bi-assiale										
Energia termica prodotta in un anno		Produzione energetica annuale alla temperatura T _m : $Q_{sol} = \sum_{h=1}^{8760} [A_a \cdot (\eta_{0,Aa} \cdot K_{gl} \cdot K_{\theta T} \cdot DNI - a_{1,Aa} \cdot (T_m - T_a) - a_{2,Aa} \cdot (T_m - T_a)^2) \cdot 3600]$ $\eta_{0,Aa}$ $a_{1,Aa}$ $a_{2,Aa}$ Parametri della curva di efficienza riferiti all'area di apertura $K_{\theta T}$ $K_{\theta L}$ Valori medi orari dell'IAM Q_{sol} Produttività termica calcolata sommando i soli valori orari positivi										
				DNI kWh/m²		T _a [°C]		Q _{sol} (kWh per collettore)				
								T _m = 50°C		T _m = 75°C		T _m = 150°C
Anno		1730		18.4				59008		56805		49351
Produttività per unità di superficie				Area di riferimento m²		Q _u = Q _{sol} / A _L (kWh/m²)						
								T _m = 50°C		T _m = 75°C		T _m = 150°C
		Area lorda A _L		49.94				1182		1137		988
Documenti di riferimento		Relazione Tecnica n. RT.2016.COL.190.1 del 12.09.2016 rilasciata da ENEA-CR Trisaia										
Annotazioni		I risultati riportati sopra si riferiscono ai test condotti in campo sul collettore SONDAG – Diamond SKY 50. I parametri della curva di efficienza sono riferiti alla radiazione solare diretta (DNI).										



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile
Centro Ricerche TRISAIA

Laboratorio di qualificazione collettori e sistemi solari

S.S. 106 Jonica Km 419.500 – 75026 Rotondella (MT)

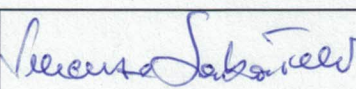
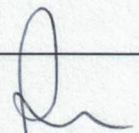
Pagina 1 di 18

RELAZIONE TECNICA

n. *RT.2016.COL.190.1*

Tipologia	Collettore solare termico a concentrazione del tipo a fuoco puntuale
Prodotto	SONDAG
Modello	Diamond SKY 50
Costruttore	SONDAG Energy Srl Via Ungaretti n. 3 97100 – Ragusa (RG) Tel: 0932.643170 - Fax: 0932.254458

N° di riferimento collettore: 190

0	12.09.2016	V. Sabatelli A. Bruno D. Marano C. Copeta	 V. Sabatelli (Resp. di Prova)	 G. Braccio (Resp. Laboratorio)
Rev.	Data	Redazione	Convalida	Approvazione

I risultati riportati nella presente Relazione Tecnica si riferiscono esclusivamente al componente descritto nella presente relazione tecnica. La riproduzione del seguente documento è ammessa in copia conforme all'originale. La riproduzione parziale è consentita solo a seguito di autorizzazione scritta del *Laboratorio di Qualificazione Collettori e Sistemi Solari* del Centro Ricerche ENEA di Trisaia.

Sommario

SOMMARIO	2
1. PREMESSA.....	3
2. CARATTERISTICHE DEL COMPONENTE.....	4
2.1. COSTRUTTORE	4
2.2. INFORMAZIONI GENERALI SUL COMPONENTE.....	4
2.3. CARATTERISTICHE DEL SISTEMA OTTICO DI CONCENTRAZIONE	4
2.4. CARATTERISTICHE DEL RICEVITORE	5
2.4.1. Assorbitore.....	6
2.4.2. Copertura.....	6
2.4.3. Isolamento termico e struttura.....	6
2.5. FLUIDO DI TRASFERIMENTO DEL CALORE.....	6
2.6. LIMITAZIONI	6
2.7. DOTAZIONI DI SICUREZZA	6
SCHEMA DEL COLLETTORE	8
2.8. FOTO DEL COLLETTORE IN PROVA.....	9
3. PRESTAZIONI TERMICHE.....	10
3.1. METODO UTILIZZATO PER LA STIMA DELLA CURVA DI EFFICIENZA	10
3.2. CONDIZIONI DI TEST	10
3.3. RISULTATI DEI TEST	12
3.3.1. Osservazioni preliminari	12
3.3.2. Dati sperimentali	13
3.4. MODIFICATORE DELL'ANGOLO DI INCIDENZA (IAM)	14
3.4.1. Aspetti generali.....	14
3.5. POTENZA TERMICA DEL COLLETTORE.....	16
3.6. CURVA DI EFFICIENZA BASATA SULL'AREA DI APERTURA E SULLA TEMPERATURA MEDIA DEL FLUIDO TERMO-VETTORE	17
SIMBOLOGIA	18

1. Premessa

I risultati riportati nella presente relazione tecnica si riferiscono agli esiti delle prove in campo eseguite presso il sito di installazione del produttore (ubicato presso la zona industriale di Ragusa), nel periodo dal 21 al 23 Giugno 2016, finalizzate alla caratterizzazione energetica del concentratore a fuoco puntuale con inseguimento bi-assiale dalla ditta SONDAG – modello *Diamond SKY 50*.

Tali risultati sono stati ottenuti attraverso una procedura di valutazione che si è articolata nelle seguenti fasi:

- *Analisi ottica del sistema di concentrazione:* in tale fase, attraverso l'utilizzo anche di tecniche di ray-tracing, è stata valutata preliminarmente la potenza radiante assorbita dal ricevitore in corrispondenza di un flusso solare di 1000 W/m^2 , con raggi diretti parallelamente all'asse ottico del concentratore.
- *Determinazione sperimentale delle prestazioni termiche del collettore:* in tale fase sono state condotte misure in campo delle grandezze meteo-climatiche e termo-fluidodinamiche in condizioni di stato stazionario.
- *Determinazione della curva di efficienza:* in quest'ultima fase è stata determinata la curva di efficienza in stato stazionario, attraverso un processo di calcolo che ha permesso di ricondurre i valori sperimentali, ottenuti in condizioni non sempre perfettamente stazionarie, a quelli equivalenti alle condizioni di picco ($\text{DNI} = 1000 \text{ W/m}^2$).

Gli esiti riportati nella presente relazione tecnica hanno permesso di ottenere i coefficienti caratteristici della curva di efficienza per il collettore in oggetto, che sono stati utilizzati per il calcolo delle producibilità termiche necessarie alla verifica del rispetto dei requisiti previsti dall'Allegato I, par. 2.3, lettere c) ed h) del Decreto Interministeriale 16 febbraio 2016.

2. Caratteristiche del componente

2.1. Costruttore

Costruttore:	SONDAG Energy Srl
Indirizzo:	Via Ungaretti n. 3 97100 - Ragusa (RG)
Telefono:	0932.643170
Fax:	0932.254458

2.2. Informazioni generali sul componente

Tipologia:	<i>Concentratore del tipo a fuoco puntuale con sistema di inseguimento a doppio asse</i>		
Marchio:	SONDAG		
Modello:	Diamond SKY 50		
Collettore sottoposto a test:	n. 1 modulo Diamond SKY 50		
Ingombro totale stimato (lung x larg x alt):	6.30 x 8.95 x 6.50	m	
Area lorda ¹ :	49.94	m ²	
Superficie specchiata ² :	49.20	m ²	
Area di apertura ³ :	47.80	m ²	
Area dell'assorbitore ⁴ :	0.16	m ²	
Peso a vuoto (esclusi di specchi):	~2200	kg	
Contenuto di fluido (riferito al solo ricevitore):	-	litri	

2.3. Caratteristiche del sistema ottico di concentrazione

Geometria del riflettore:	Concentratore parabolico puntuale di forma come da figura riportata sotto		
Distanza focale:	5.55	m	
Numero specchi:	82		
Disposizione:	41 file, ciascuna composta da 2 specchi		
Dimensioni del singolo specchio (lung x larg):	3000 x 200	mm	
Forma:	Specchi lineari su superficie parabolica		
Materiale riflettente:	Vetro riflettente		
Spessore:	1	mm	
Coefficiente di riflessione (ρ):	-		
Ingombro massimo di manovra:	$\phi_{\max}$: 11 m - $h_{\max}$: 6.5 m		

¹ Per *area lorda* si intende l'area complessiva occupata dal sistema ottico di riflessione

² Per *superficie specchiata* si intende l'area complessiva della superficie riflettente degli specchi primari

³ Per *area di apertura* si intende la proiezione della superficie riflettente su piano ortogonale all'asse ottico di concentrazione, al netto dell'ombreggiamento causato dal ricevitore

⁴ Per *area dell'assorbitore* si intende la superficie del ricevitore investita dalla radiazione concentrata

Sistema di inseguimento:

Gruppo di movimentazione bi-assiale

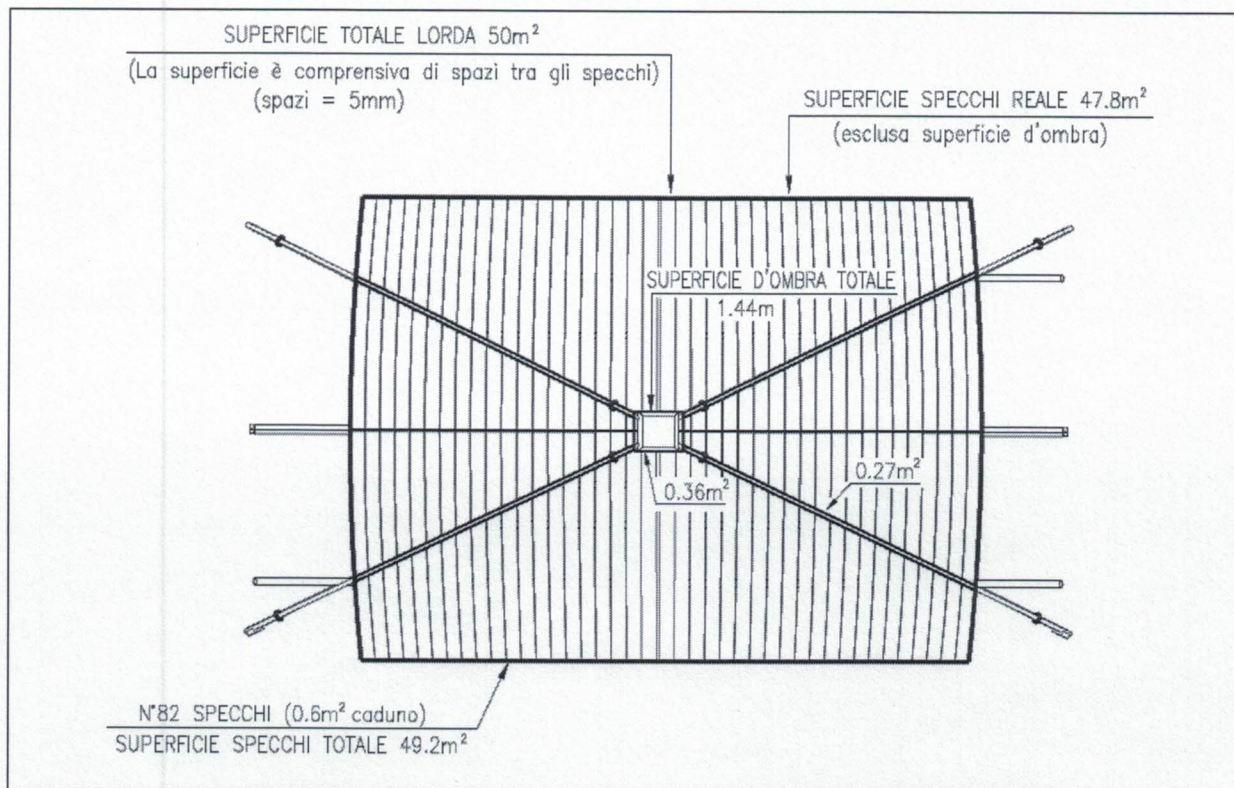


Figura 1: Vista frontale del sistema ottico di concentrazione

2.4. Caratteristiche del ricevitore

Tipologia:

Vedi foto e schemi riportati sotto

Dimensioni complessive del ricevitore (Lung x Larg):

665 x 540 mm

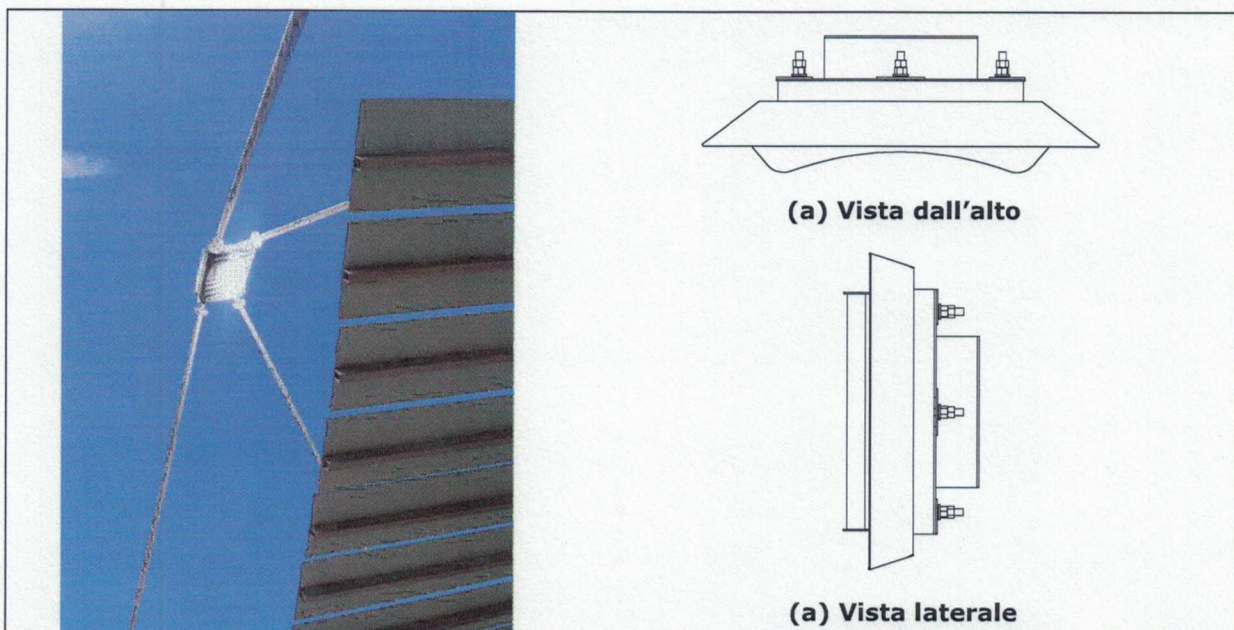


Figura 2: Foto e viste laterali del ricevitore

2.4.1. Assorbitore

Materiale dell'assorbitore:	Acciaio Inox AISI 410
Trattamento superficiale / Coating:	Strato selettivo
Coefficiente di assorbimento (α):	-
Coefficiente di emissione (ε):	-
Peso a vuoto dell'assorbitore:	- kg
Tipo di costruzione:	-

2.4.2. Copertura

Numero di coperture:	<i>nessuna</i>
Materiale copertura:	-
Spessore della copertura:	- mm
Coefficiente di trasmissione (τ):	-

2.4.3. Isolamento termico e struttura

Isolamento termico:	-
Spessore dell'isolamento:	- mm
Materiale della struttura:	Acciaio al carbonio
Materiale sigillante:	-

2.5. Fluido di trasferimento del calore

Tipo:

- ☒ Acqua
☐ Olio diatermico
☐ Glicole
☐ Altro (specificare): ***

Specifiche aggiuntive:

Fluidi utilizzabili in alternativa:

nessuna
olio diatermico

2.6. Limitazioni

Pressione operativa massima:	8 bar
Temperatura operativa massima:	130 °C

2.7. Dotazioni di sicurezza

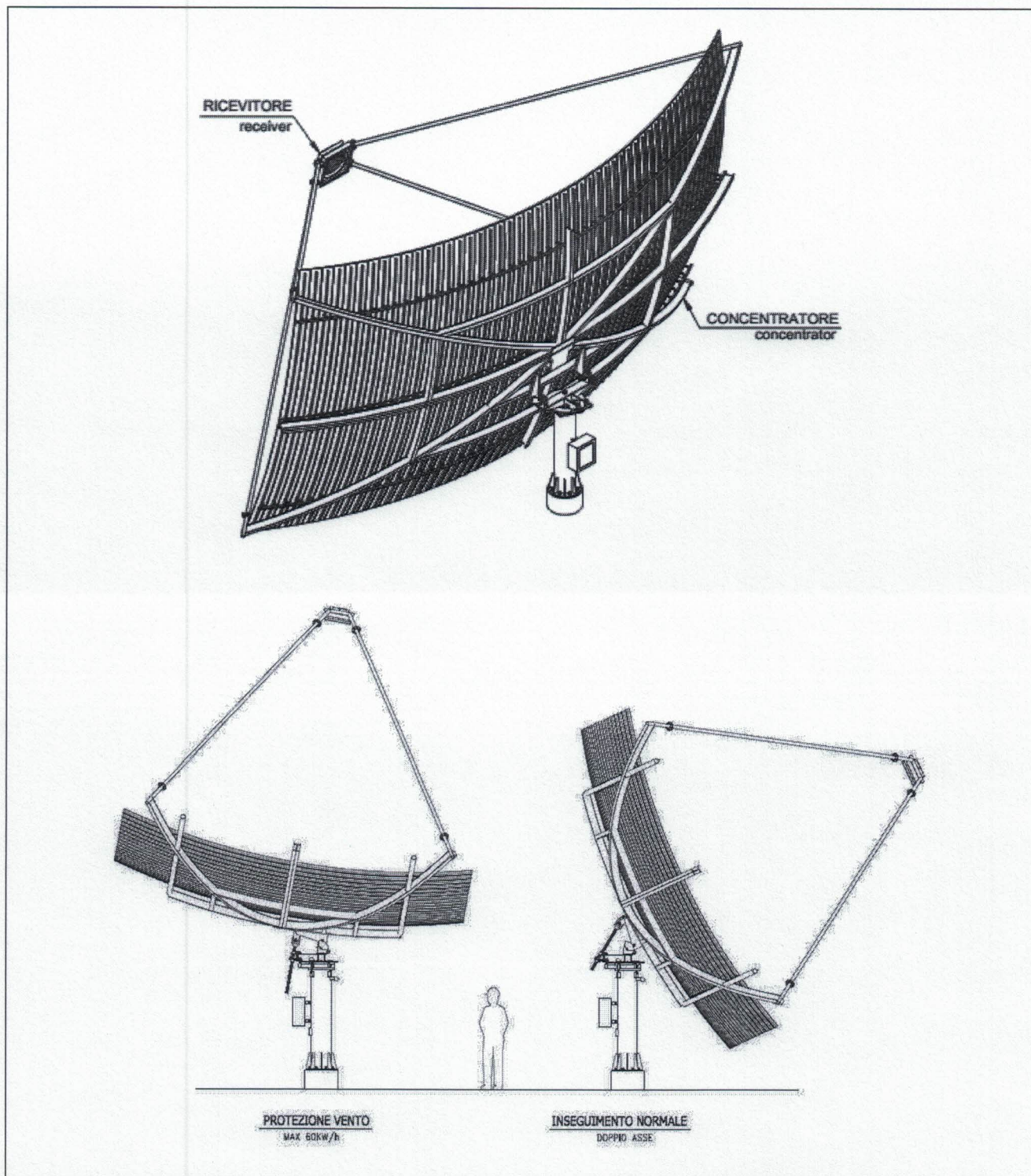
Il concentratore *SONDAG mod. Diamond SKY 50*, è dotato dei seguenti sistemi di sicurezza che, quando intervengono, portano il concentratore in posizione di sicurezza (vedi schema del collettore riportato al paragrafo successivo) evitando che la radiazione solare venga concentrata sul ricevitore:

- Protezione in caso di guasto del circuito elettrico di alimentazione (gruppo UPS + batterie tampone)
- Protezione contro le sovra-pressioni (pressostato di sicurezza)
- Protezione contro il surriscaldamento (termostato di sicurezza con sonda di temperatura posizionata sul ricevitore)
- Protezione contro l'assenza di flusso (flussostato di sicurezza che interviene in caso di assenza di flusso sulla mandata del circuito primario)
- Protezione al carico da vento (anemometro che misura la velocità del vento nelle immediate vicinanze del concentratore – soglia di velocità impostata: 60 km/h)

Tali sistemi di protezione sono stati riscontrati durante la fase di verifica in campo e ne è stata constatata la relativa efficacia.

2.8. Schema del collettore

Di seguito si riportano le viste assonometriche e in sezione del collettore *SONDAG – mod. Diamond SKY 50*, come da disegni tecnici forniti dal costruttore.



**Figura 3: Schema del collettore e relative viste laterali
in condizioni operative e di sicurezza**

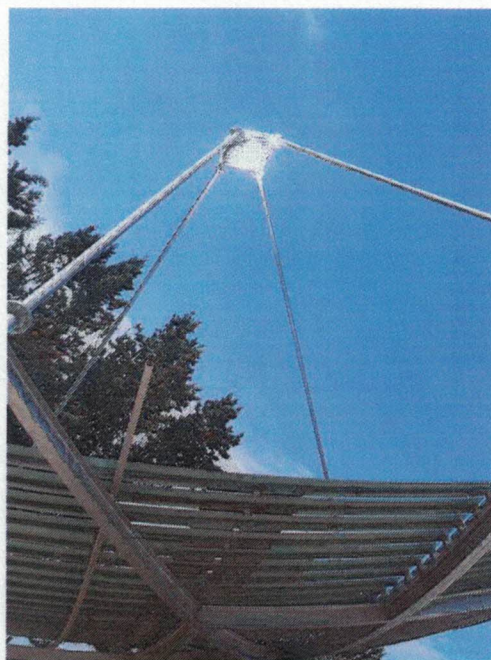
2.9. Foto del collettore in prova



(a) Vista complessiva del collettore durante le attività di prova



(b) Vista laterale del collettore durante le attività di prova



(c) Dettaglio del ricevitore durante la fase operativa

Figura 4: Foto del collettore durante le prove eseguite presso il sito di installazione

3. Prestazioni termiche

3.1. Metodo utilizzato per la stima della curva di efficienza

In generale l'efficienza termica in stato stazionario di un collettore a concentrazione è esprimibile dalla seguente relazione matematica:

$$\eta = IAM_L \cdot IAM_T \cdot \eta_0 + a_1 \frac{T_m - T_a}{DNI} + a_2 \frac{(T_m - T_a)^2}{DNI} \quad \text{con} \quad T_m = \frac{T_i + T_e}{2}$$

dove:

- DNI è la radiazione solare diretta che incide sul piano di apertura del collettore (W/m^2)
 T_i è la temperatura del fluido in ingresso al collettore ($^{\circ}C$)
 T_e è la temperatura del fluido in uscita dal collettore ($^{\circ}C$)
 T_a è la temperatura ambiente ($^{\circ}C$)

Il coefficiente η_0 rappresenta l'efficienza di picco del collettore (intesa come l'efficienza in assenza di perdite termiche), corrispondente a radiazione solare diretta ortogonale alla superficie di apertura del collettore; mentre i coefficienti a_1 e a_2 rappresentano i parametri che descrivono le perdite termiche del collettore in funzione della temperatura media operativa. I termini relativi all'IAM (*Incident Angle Modifier*) descrivono invece l'influenza sulle performance energetiche del collettore dovute all'angolo di incidenza della radiazione solare diretta che, nel caso specifico, si mantiene costantemente pari a zero con conseguente valore dell'IAM sempre pari ad 1, a meno di effetti dovuti ad errori di puntamento del sistema di inseguimento bi-assiale.

Pertanto, dato che l'efficienza, ottenuta in condizioni reali di funzionamento, si riferisce a situazioni in cui la DNI è sempre ortogonale al piano di apertura del collettore, non è stato necessario introdurre alcun fattore correttivo dipendente dalle proprietà ottiche e geometriche del sistema, che di fatto sono ricomprese nel valore di η_0 determinato sperimentalmente.

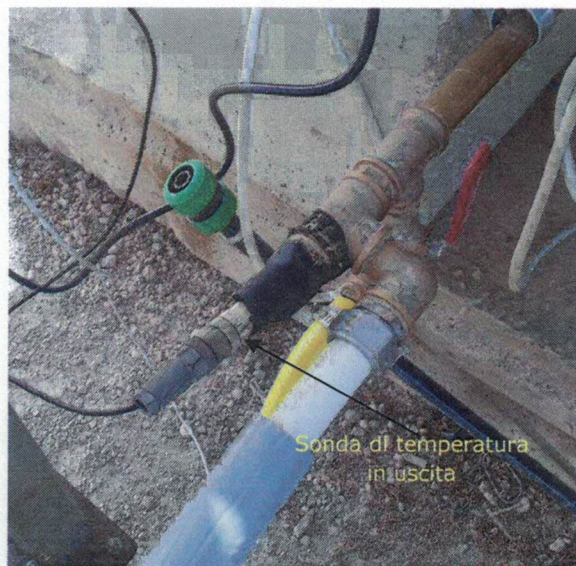
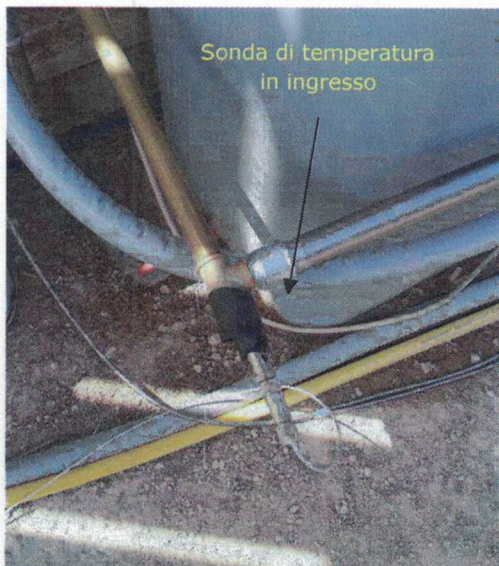
3.2. Condizioni di test

1) Sito e condizioni medie di test

Periodo di prova:	21-23 Giugno 2016
Località:	Ragusa
Latitudine:	36.902 °N
Longitudine:	14.699 °E
Inclinazione ed azimut:	Sistema ad inseguimento bi-assiale
Radiazione solare:	828 W/m^2 (valore medio della DNI durante il periodo di prova)
Temperatura ambiente:	25.7 °C (valore medio registrato durante il periodo di prova)
Portata media di test:	0.273 kg/s
Tipo di fluido utilizzato:	Acqua

2) Monitoraggio delle temperature e della portata

Il test di efficienza termica è stato eseguito monitorando le temperature di ingresso e di uscita al collettore in corrispondenza dei punti indicati nelle foto seguenti e con l'ausilio di termo-resistenze *PT100 a 4 fili - classe A*, installate dall'ENEA.



**Dettaglio dei punti di rilevamento della temperatura in ingresso ed uscita
posti alla base del collettore in prova**

Le foto seguenti mostrano invece parte del circuito termo-idraulico implementato dal costruttore per la regolazione dei parametri di processo e lo stoccaggio dell'energia termica prodotta. Per la misura della portata è stato utilizzato un *Flussimetro ad ultrasuoni "clamp-on" della FLUXUS® – mod. F601 Energy*, anch'esso installato dall'ENEA.



**Foto del circuito termo-idraulico annesso al sistema
in prova**



**Dettaglio del misuratore di portata ad
ultrasuoni montato sul tubo di mandata del
collettore in prova**

3) Monitoraggio dei parametri climatici

Per quanto riguarda il monitoraggio della radiazione solare captata dal collettore in test, trattandosi di un concentratore con sistema ad inseguimento bi-assiale, sono state monitorate la radiazione solare globale e diffusa su piano orizzontale (G e G_{diff}) e la radiazione diretta (DNI) con l'ausilio di un inseguitore solare della *Kipp&Zonen* – mod. *Solys2*, installato dall'ENEA.

Infine, per quanto riguarda la temperatura ambiente, questa è stata monitorata mediante un sensore termo-igrometrico della *Vaisala* – mod. *HMP45A*, anch'esso installato dall'ENEA.



Foto con riportata l'ubicazione dell'inseguitore solare utilizzato
per il monitoraggio della radiazione solare diretta (DNI)

3.3. Risultati dei test

3.3.1. Osservazioni preliminari

I dati sperimentali rilevati si riferiscono ad acquisizioni in stato stazionario eseguite in diverse giornate di prova, durante le quali la temperatura è stata fatta variare da un minimo di circa 20°C fino ad un massimo di circa 80°C. Le particolari condizioni meteo-climatiche riscontrate durante la fase di test e le caratteristiche dell'impianto di utilizzazione e stoccaggio del calore prodotto, non hanno permesso di rilevare punti sperimentali a temperature superiori ai valori indicati sopra. Inoltre, per consentire un adeguato incremento della temperatura di mandata al collettore è stata variata la portata di prova da un valore di riferimento di circa 0.273 kg/s (impostato in

corrispondenza delle prove effettuate a temperatura di mandata costante) ad un valore di circa 0.114 kg/s durante le prove in cui è stata incrementata la temperatura di mandata mediante l'apposito circuito idraulico implementato dal costruttore per consentire l'esecuzione dei test.

Relativamente alla radiazione solare diretta (DNI), questa è stata monitorata costantemente nell'arco delle diverse giornate di prova.

Ciò premesso, i dati e le curve riportate nei paragrafi successivi si riferiscono al collettore testato nelle condizioni sopra esposte.

3.3.2. Dati sperimentali

Le tabelle seguenti riportano i dati rilevati sperimentalmente e quelli da essi calcolati durante il periodo di prova nelle condizioni riportate al paragrafo precedente.

I dati di tabella 1 si riferiscono ad acquisizioni effettuate ogni 10 sec e mediate sul minuto.

Tabella 1 – Dati rilevati sperimentalmente

Punto	DNI [W/m ²]	T _a [°C]	T _i [°C]	T _e [°C]	T _e -T _i [°C]	m [kg/s]
1	873	27.3	19.9	43.9	24.0	0.268
2	875	27.0	20.0	43.8	23.9	0.268
3	876	27.0	20.0	43.8	23.8	0.268
4	876	27.4	20.0	43.8	23.8	0.269
5	876	27.6	20.0	44.0	24.0	0.269
6	878	27.8	20.0	44.1	24.1	0.269
7	877	28.0	20.0	44.1	24.1	0.268
8	877	27.8	20.0	44.1	24.2	0.269
9	877	27.4	20.0	44.2	24.2	0.269
10	875	27.0	20.3	44.3	23.9	0.269
11	877	27.4	27.0	81.5	54.5	0.113
12	878	27.2	27.0	81.9	55.0	0.114
13	879	27.2	27.0	82.5	55.5	0.113
14	880	27.4	27.1	82.5	55.4	0.114
15	880	27.5	27.2	82.6	55.5	0.113
16	877	27.4	27.2	83.1	55.9	0.113
17	874	27.3	27.2	82.9	55.7	0.113
18	870	27.0	27.3	82.4	55.0	0.113
19	865	27.0	27.4	82.3	54.9	0.113
20	863	27.0	27.4	82.1	54.8	0.113
21	776	23.8	78.9	100.3	21.4	0.281
22	779	23.6	79.0	101.0	22.0	0.281
23	779	23.5	79.0	101.2	22.3	0.281
24	779	23.4	78.9	101.3	22.4	0.282
25	749	23.7	35.6	90.7	55.1	0.113
26	754	23.5	35.6	90.4	54.7	0.113
27	765	23.3	35.6	90.2	54.6	0.114
28	766	23.5	35.6	90.3	54.6	0.114
29	767	23.6	35.7	90.3	54.7	0.114
30	766	23.6	35.7	90.4	54.7	0.114
31	764	23.5	35.7	90.5	54.8	0.115
32	759	23.4	35.7	90.8	55.1	0.115

I dati riportati in tabella 2 rappresentano invece i dati derivati dalle misure in stato stazionario effettuate in campo. I valori di efficienza termica η , calcolati rispetto all'area lorda, si riferiscono alla condizione di incidenza normale della radiazione solare diretta (DNI).

Tabella 2 – Dati calcolati

Punto	T_m [°C]	C_p [J/kgK]	Q_{utile} [W]	$(T_m - T_a)/DNI$ [-]	η [-]
1	31.93	4178.60	26872	0.00526	0.709
2	31.89	4178.60	26762	0.00557	0.704
3	31.85	4178.60	26665	0.00557	0.701
4	31.86	4178.60	26763	0.00515	0.704
5	31.96	4178.59	27030	0.00504	0.711
6	32.02	4178.59	27053	0.00486	0.710
7	32.03	4178.59	27075	0.00461	0.711
8	32.06	4178.59	27153	0.00489	0.713
9	32.06	4178.59	27171	0.00530	0.713
10	32.30	4178.59	26924	0.00604	0.708
11	54.25	4183.03	25806	0.03064	0.684
12	54.46	4183.10	26163	0.03101	0.692
13	54.73	4183.19	26320	0.03130	0.695
14	54.81	4183.22	26284	0.03115	0.694
15	54.89	4183.25	26291	0.03110	0.694
16	55.10	4183.32	26439	0.03161	0.701
17	55.05	4183.30	26333	0.03170	0.700
18	54.85	4183.24	26113	0.03203	0.697
19	54.84	4183.23	26001	0.03220	0.698
20	54.75	4183.20	25934	0.03213	0.698
21	89.60	4204.89	25306	0.08479	0.653
22	89.98	4205.26	25937	0.08521	0.667
23	90.11	4205.39	26328	0.08542	0.676
24	90.07	4205.35	26588	0.08554	0.683
25	63.13	4186.56	26154	0.05266	0.699
26	62.99	4186.50	26009	0.05233	0.690
27	62.92	4186.46	25945	0.05172	0.679
28	62.96	4186.48	26103	0.05155	0.682
29	63.00	4186.50	26136	0.05142	0.683
30	63.02	4186.51	26146	0.05150	0.684
31	63.10	4186.55	26285	0.05190	0.689
32	63.25	4186.62	26486	0.05250	0.699

3.4. Modificatore dell'angolo di incidenza (IAM)

3.4.1. Aspetti generali

Il modificatore dell'angolo di incidenza (IAM) è un fattore correttivo da applicare all'efficienza ottica per tener conto dell'influenza dell'angolo di incidenza della radiazione solare sulle performance energetiche del collettore.

In generale l'efficienza ottica per un collettore a concentrazione, ad un dato angolo di incidenza della radiazione solare, è data dalla seguente espressione:

$$\eta_{opt} = \rho(\tau\alpha)_{eff} \gamma_{\theta} (1 - A_f \tan(\theta)) \cos(\theta)$$

dove:

- θ angolo di incidenza che i raggi solari formano rispetto alla normale al piano di apertura
- ρ riflettanza media della superficie riflettente
- $(\tau\alpha)_{eff}$ prodotto trasmittanza-assorbanza effettiva del ricevitore all'angolo θ
- γ_{θ} fattore di intercettazione all'angolo θ , definito come la frazione di raggi incidenti sulla superficie di apertura che raggiungono il ricevitore
- A_f fattore correttivo che tiene conto delle caratteristiche geometriche del concentratore

Ci sono diversi fattori che in generale influenzano il valore dell'efficienza ottica al variare dell'angolo di incidenza θ . Tali fattori includono: la dipendenza angolare sia del prodotto trasmittanza-assorbanza del ricevitore che del fattore di intercettazione che diminuiscono all'aumentare dell'angolo con cui la radiazione solare diretta incide sulla superficie di apertura del concentratore; la geometria del collettore; le varie imperfezioni che caratterizzano un concentratore reale rispetto al caso ideale.

L'insieme di tali fattori contribuisce alla definizione del modificatore dell'angolo di incidenza $K(\theta)$, la cui espressione è in generale data dalla seguente relazione:

$$\eta_{opt} = K(\theta) [\rho(\tau\alpha)_n \gamma_0]$$

dove:

- $(\tau\alpha)_n$ prodotto trasmittanza-assorbanza per incidenza normale
- γ_0 fattore di intercettazione per incidenza normale

Nel caso specifico del collettore *SONDAG – mod. Diamond SKY 50*, trattandosi di un collettore a fuoco puntuale con sistema di inseguimento bi-assiale, il modificatore dell'angolo di incidenza (IAM) si mantiene costantemente pari ad 1 per cui, a meno di errori di tracking dovuti al sistema di puntamento, in ogni istante vale la seguente espressione:

$$K(\theta) = 1$$

dove θ è l'angolo di incidenza che i raggi solari formano con la normale al piano di apertura del collettore.

3.5. Potenza termica del collettore

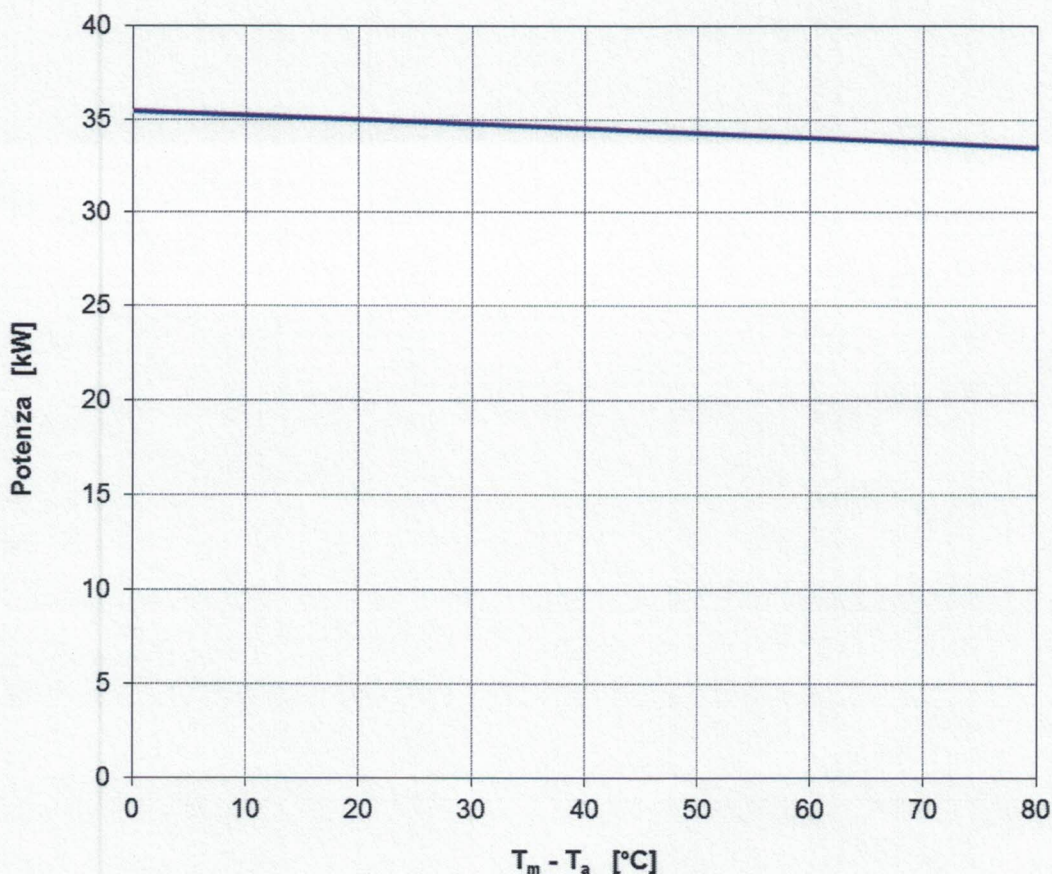
Potenza di picco (DNI = 1000 W/m²) del collettore:

35.46 kW_{peak}

Tabella 4 - Potenza termica del collettore [kW]

$T_m - T_a$ [K]	Radiazione diretta (DNI)		
	400 W/m ²	700 W/m ²	1000 W/m ²
0	14.18	24.82	35.46
20	13.74	24.38	35.02
40	13.26	23.90	34.53
60	12.74	23.38	34.01
80	12.18	22.81	33.45
N.B. I valori riportati si riferiscono al caso di radiazione solare diretta con incidenza normale.			

Il grafico seguente mostra l'andamento della potenza termica in uscita dal collettore, in corrispondenza di un valore della radiazione solare diretta (DNI) pari a 1000 W/m² con incidenza normale.



3.6. Curva di efficienza basata sull'area lorda e di apertura e sulla temperatura media del fluido termo-vettore

L'efficienza è definita come: $\eta = \frac{Q_{utile}}{A \cdot DNI}$

Portata media di fluido:

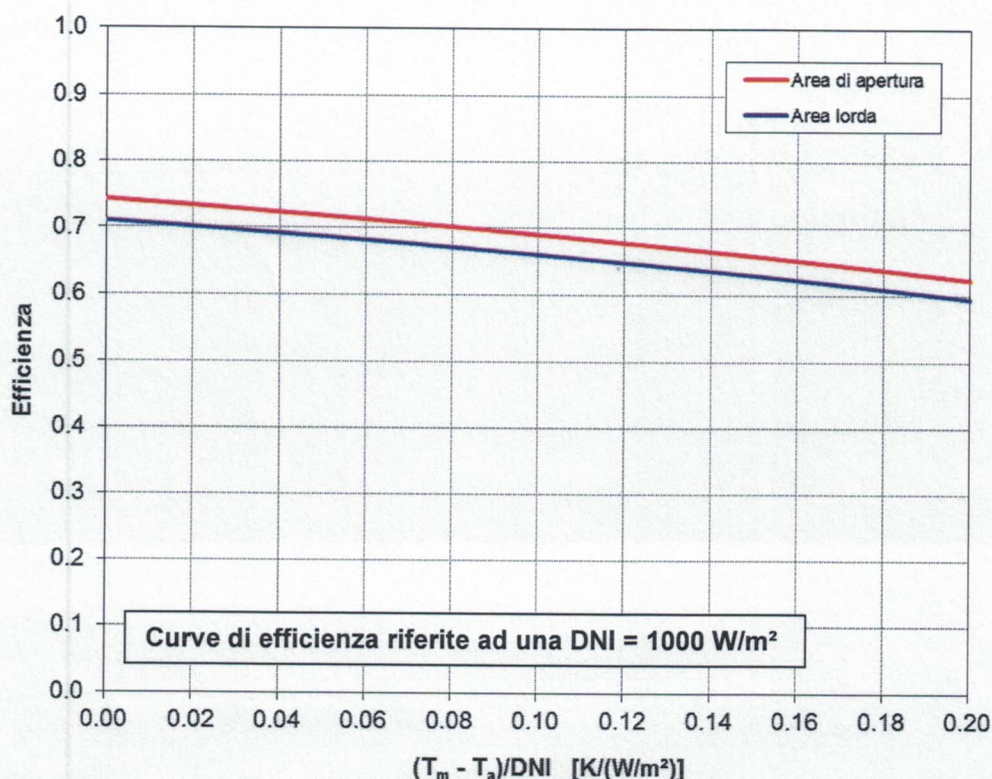
0.273 kg/s

Area lorda:

49.94 m²

Area di apertura:

47.80 m²



Curva di regressione multi-lineare: $\eta = \eta_0 - a_1 \frac{T_m - T_a}{DNI} - a_2 \frac{(T_m - T_a)^2}{DNI}$

Valori dei parametri (*) valutati rispetto all'area di apertura e all'area lorda ed ottenuti con una regressione multi-lineare:

	Regressione multi-lineare		
	Area di apertura	Area lorda	Unità di misura
η_0	0.742	0.710	-
a_1	0.441	0.422	W m ⁻² K ⁻¹
a_2	0.001	0.001	W m ⁻² K ⁻²

(*) - Tali valori hanno validità nel solo campo di temperature considerato (20 - 80 °C)

Simbologia

Simbolo	Descrizione	Unità di misura
A_a	Area di apertura	m^2
a_1	Costante algebrica	W/m^2K
a_2	Costante algebrica	W/m^2K^2
α	Assorbanza del tubo ricevitore	-
ρ	Riflettanza degli specchi primari	-
τ	Trasmittanza del vetro di copertura del tubo ricevitore	-
θ	Angolo di incidenza della radiazione solare diretta	deg
η	Efficienza	-
IAM_{long}	Modificatore dell'angolo di incidenza longitudinale	-
IAM_{trasv}	Modificatore dell'angolo di incidenza trasversale	-
G	Radiazione solare globale	W/m^2
G_{diff}	Radiazione solare diffusa	W/m^2
DNI	Radiazione solare diretta	W/m^2
T_a	Temperatura ambiente	$^{\circ}C$
T_i	Temperatura in ingresso del fluido termo-vettore	$^{\circ}C$
T_u	Temperatura in uscita del fluido termo-vettore	$^{\circ}C$
T_m	Temperatura media del fluido termo-vettore	$^{\circ}C$
T^*	$(T_m - T_a)/DNI$	$^{\circ}C\ m^2/W$
Q_{utile}	Potenza termica utile estratta dal fluido termo-vettore	W