POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Energetica

Corso di Laurea Magistrale

in Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

Impianto di Teleriscaldamento a servizio della Città di Alessandria – Centrale Sud –

Studio di fattibilità tecnico economica dell'impianto di produzione di energia termica solare

Relatore

prof. Vittorio Verda

Tutor aziendale

Ing. Federico Mollo

Candidato

Alessia Astegiano

Marzo 2019

SOMMARIO

1 Introduzione 7

1.1 Il Gruppo Egea 7

1.2 Il progetto di Alessandria 7

1.3 L'obiettivo 15

2 Il teleriscaldamento 16

2.1 Cenni storici 16

2.2 Lo sviluppo 16

2.3 Economia e sicurezza 18

2.4 Impatto ambientale 19

2.5 Applicazione del solare termico nei sistemi di teleriscaldamento 22

2.5.1 Esempi di Teleriscaldamento solare in Europa 23

3 L'irraggiamento solare 25

3.1 Introduzione 25

3.2 Irraggiamento per la città di Alessandria 27

3.2.1 Database CLASSIC PVGIS 27

3.2.2 Database CLIMATE-SAF PVGIS 29

3.2.3 Database ARPA 31

3.2.4 Confronto 36

3.2.5 Valutazione oraria della radiazione solare partendo dal dato giornaliero 37

3.3 Studio dell'angolo di inclinazione ottimale 42

3.3.1 Valutazione teorica del dato di irraggiamento all'inclinazione ottimale .. 48

3.3.2 Valutazione del dato di irraggiamento all'inclinazione scelta 49

4 Collettori solari termici 54

4.1 Le caratteristiche 54

4.2 Tipologie di collettori 58

4.2.1 Pannelli piani vetrati 58

4.2.2 Collettori sottovuoto 59

4.2.3 Pannelli piani non vetrati 61

4.2.4 Pannelli ad aria 61
4.2.5 Solare termico a concentrazione 61
4.3 Confronto tra tecnologie dei pannelli solari 62
4.4 Vita media e durabilità 65
4.5 Certificazioni 66
4.6 Efficienza 67
4.7 Selezione del tipo di collettore solare 68
4.7.1 Confronto delle tipologie di pannello solare adatto alle condizioni di progetto 68
4.7.2 Temperature di utilizzo in impianti di teleriscaldamento 71
4.7.3 Simulazione tramite dati annuali 74
4.7.4 Simulazioni su input TLR di Alessandria stagionali 81
4.7.5 Modifica delle condizioni di uscita del fluido termovettore 85
4.8 Produzione termica e planimetria 91
4.9 Conclusioni 94
5 Normative e Direttive 95
5.1 Accordo di Parigi (Cop 21) 95
5.2 Conferenza delle parti sul clima (Cop 24) 95
5.3 Quadro per il Clima-Europa 2030 96
5.4 Certificati bianchi 96
5.5 Conto Termico 97
5.6 Normative 97
6 Incentivazione della produzione di energia termica da fonte rinnovabile 100
6.1 Conto Termico 100
6.1.1 Requisiti 100
6.1.2 Calcolo dell'incentivo 101
6.2 Certificati Bianchi 105
6.2.1 Obiettivi e requisiti 105
6.2.2 Valutazione 106
6.2.3 Cumulabilità 107

7 Business Plan 109
7.1 Descrizione del progetto 110
7.2 Input data 111
7.2.1 Ricavi 111
7.2.2 Costi di gestione 112
7.2.3 Leasing 112
7.2.4 Margine operativo Lordo (MOL) 112
7.2.5 Margine operativo Netto (MON) 112
7.2.6 Imposte 113
7.2.7 Flussi monetari 113
7.2.8 NPV 115
7.2.9 IRR 116
7.2.10 Pay-back time 116
7.2.11 La valutazione economica 116
7.3 Conclusioni 124
8 Impatto ambientale 125
8.1 Emissioni evitate 126
8.2 EU ETS 128
9 Lo scambiatore di calore 132
9.1 Lo scambiatore lato solare 132
9.1.1 Considerazioni progettuali 134
9.1.2 Il dimensionamento 135
9.2 Lo scambiatore lato utenza 138
9.2.1 Il dimensionamento 138
9.2.2 Il telecontrollo 138
10 Il layout dell'impianto solare termico 141
11 Conclusioni 145
Ringraziamenti 149
Figure 151
Equazioni 154
Tabelle 155
Bibliografia e sitografia 157

Appendice 159
Irraggiamento orario giornaliero..... 159
Calcolo declinazione, angolo solare, coefficienti: a, b, r Giorni: dal 1° al 31° 171
Funzionamento pannello sottovuoto..... 178
Business Plan- caso 1-pannello sottovuoto 194
Business Plan- caso 1- pannello piano 196

1 INTRODUZIONE

1.1 IL GRUPPO EGEA

Il gruppo Egea è nato nel 1956 ad alba come azienda attiva nel settore della distribuzione del gas metano. Oggi si occupa di produzione e vendita di energia elettrica, di gas naturale ed energia termica tramite teleriscaldamento, ciclo ambientale e servizio idrico integrato.

Nella Regione Piemonte, Egea è la seconda realtà del settore per fatturato e numero di dipendenti.

Per l'azienda riveste un ruolo di rilievo il teleriscaldamento. Nel 1986 sono iniziati i lavori per il progetto del teleriscaldamento della città di Alba, seguito negli anni 2006-2010 dalla realizzazione e gestione delle centrali di Fossano, Acqui Terme, Canale, Carmagnola, Piossasco, Cairo Montenotte. Negli ultimi anni (dal 2011) l'attività ha raggiunto le città oggi teleriscaldate di Nizza Monferrato, Bra e Alessandria.

1.2 IL PROGETTO DI ALESSANDRIA

La società Telenergia è nata da una collaborazione tra Egea Produzioni e Teleriscaldamento S.r.l. (al 90%) e AMAG S.p.A. (Azienda Multiutility Acqua Gas) (al 10%), con l'obiettivo di fornire un ampliamento alla rete di teleriscaldamento della città di Alessandria.

Il gruppo Egea è già partner di Alessandria Calore, società che si occupa della rete di TLR esistente al servizio del quartiere Cristo di Alessandria.

Il 29 maggio 2014 Egea Produzioni e Teleriscaldamento S.r.l. ha fornito tramite l'istituto del *Project Financing* la proposta per la realizzazione della rete di teleriscaldamento cittadino, divenendone nel febbraio seguente il soggetto promotore del progetto. Il 3 settembre 2015 il comune di Alessandria ha istituito il bando di gara per l'affidamento del progetto. Il 12 agosto 2016 Egea P.T. e AMAG

ne sono risultati i vincitori, fatto che porta nel dicembre seguente alla costituzione della società Telenergia.

Il progetto finale prevede la creazione di due centrali di cogenerazione:

- una a Nord, situata in una zona utilizzata dall'AMAG Ambiente per deposito rifiuti, nei pressi del cimitero cittadino
- una a Sud, ai margini del quartiere Europa (**Figura 1.2-1**, **Figura 1.2-2**)

Rispetto all'utilizzo di una sola grande centrale, come prevedeva originariamente il progetto, si è preferito dividere in due zone distinte con rispettiva centrale, per garantire maggiore affidabilità e garanzia in caso di manutenzione o malfunzionamento, tubazioni con diametro inferiore e una riduzione da 10 a 6 anni per la realizzazione.

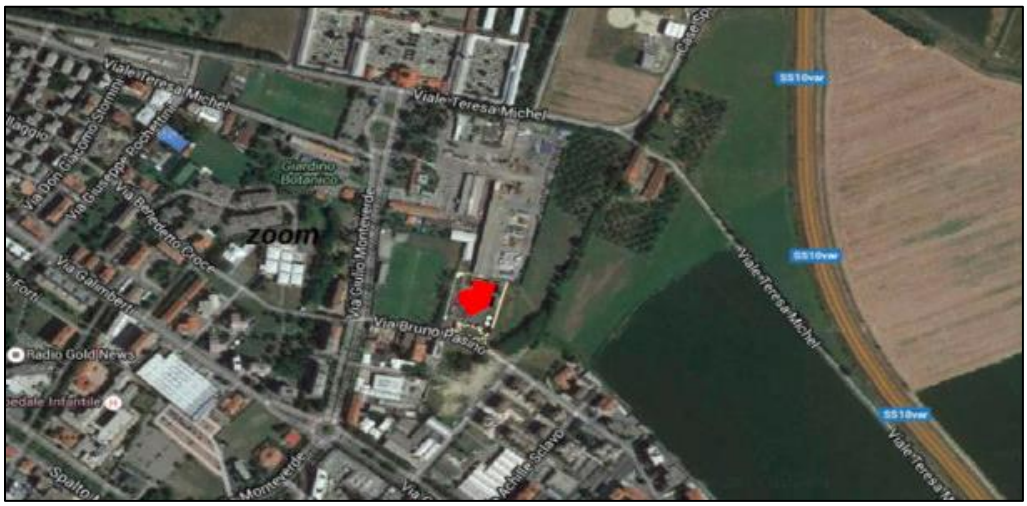


Figura 1.2-1.Collocazione Centrale Nord, FONTE: TELENERGIA

Figura 1.2-2. Collocazione Centrale Sud, FONTE: TELENERGIA

La potenza prevista a regime per la Centrale Sud è di 96 MW di potenza termica e di 10 MW di potenza elettrica, mentre per la Centrale Nord è di 49 MW e 9,5 MW rispettivamente. Il luogo dove sorgeranno le due centrali è stato selezionato secondo alcuni criteri:

- vicinanza all'utenza
- posizioni diametralmente opposte rispetto al centro abitativo, per facilitare i collegamenti
- allacciamento agevolato alle reti di distribuzione di gas e elettricità
- venti principali tali da facilitare la dispersione delle emissioni delle centrali verso aree non urbane.

La lunghezza della rete complessiva prevista è pari a 62 chilometri, per permettere l'allacciamento di 760 utenze. L'investimento totale è di circa 90 milioni di euro, suddivisi in 48 milioni per la rete e i restanti 42 per la realizzazione delle due Centrali. La convenzione, firmata con il Comune, è programmata per la durata di 45 anni.

Per ipotizzare la volumetria allacciata e, quindi, il potenziale dell'impianto del teleriscaldamento, è stato necessario un censimento rivolto alla futura utenza. La volumetria degli edifici di interesse risulta, una volta a regime, attestarsi intorno ai 6.440.000 m^3. A partire dai consumi reali delle ultime stagioni termiche è stato ipotizzato dall'azienda un fabbisogno pari a 33,3 kWh/m^3.

Cumulativamente è dunque attesa una richiesta termica pari a 200 GWh annui. La potenza termica a bocca di centrale deve tenere conto delle perdite dovute alla rete di distribuzione, perciò in condizioni di massimo carico sarà di 130 MW termici. La fonte di alimentazione principale è il metano, scelta normalmente effettuata in centrali di dimensioni simili. È stata stimata una riduzione del 16% di consumo di gas naturale grazie all'utilizzo di fonti rinnovabili: geotermia, solare termico, utilizzo di acqua di falda tramite pompe di calore, solare fotovoltaico.

La rete dell'impianto presenterà i seguenti elementi:

- una rete di trasporto dell'acqua calda, interrata nel suolo pubblico, che costituisce un circuito chiuso tramite le tubature di mandata e ritorno,
- una rete di distribuzione del calore, che collega la rete di trasporto agli edifici allacciati,
- sottocentrali di scambio termico tra la rete e l'edificio.

La rete prevede tubazioni di mandata in cui scorre acqua ad una temperatura massima di 95°C, e tubazioni di ritorno con acqua a una temperatura minima di 60°C. Questa rete ha il compito di alimentare le sottostazioni delle varie utenze.

La dorsale principale contempla, assieme alle diramazioni secondarie, la posa di 60 chilometri di tubazioni di diametro compreso tra 700 mm e 50 mm.

L'inizio dei lavori è previsto per marzo 2019 e vedrà la realizzazione, in primo luogo, della Centrale Sud.

La Centrale Sud (**Figura 1.2-5**, **Figura 1.2-6**) sarà così configurata:

- n.2 cogeneratori di potenza elettrica 4,4 MWe e potenza termica cogenerata di 4,3 MWt
- n.1 cogeneratore di potenza elettrica 1,2 MWe e potenza termica cogenerata di 1,2 MWt
- n.1 caldaia di potenza termica 8 MWt
- n.4 caldaie di potenza termica 18 MWt
- n.1 batteria di pompe di calore di potenza termica pari a 1,8 MWt
- n.1 impianto solare termico disposto sul tetto della centrale
- n.1 sistema di accumulo dell'acqua di teleriscaldamento (2 serbatoi di capacità 500 m^3 ciascuno)

Le sezioni di cogenerazione prevedono motori endotermici a gas metano, stesso combustibile utilizzato nelle tre caldaie del tipo "a tubi di fumo".

In **Figura 1.2-3** sono visibili i due serbatoi di forma circolare (in alto nella figura) utilizzati come accumuli, ciascuno di volumetria pari a 500 m^3, confinanti con la vasca di accumulo dell'acqua da pozzo, il locale gruppo elettrogeno e il locale tecnico per il gruppo antincendio. La tubazione interrata collega l'accumulo alla centrale vera e propria, formata da: centrale termica, sala quadri elettrici e area tecnica. Da questo prospetto sono visibili le 5 caldaie con annessi ventilatore e bruciatore. Lo spazio di forma rettangolare inclinato ospita l'area tecnica delle pompe di calore e la centrale di cogenerazione comprendente i due motori da 4,4 MW ed il motore da 1,2 MW.

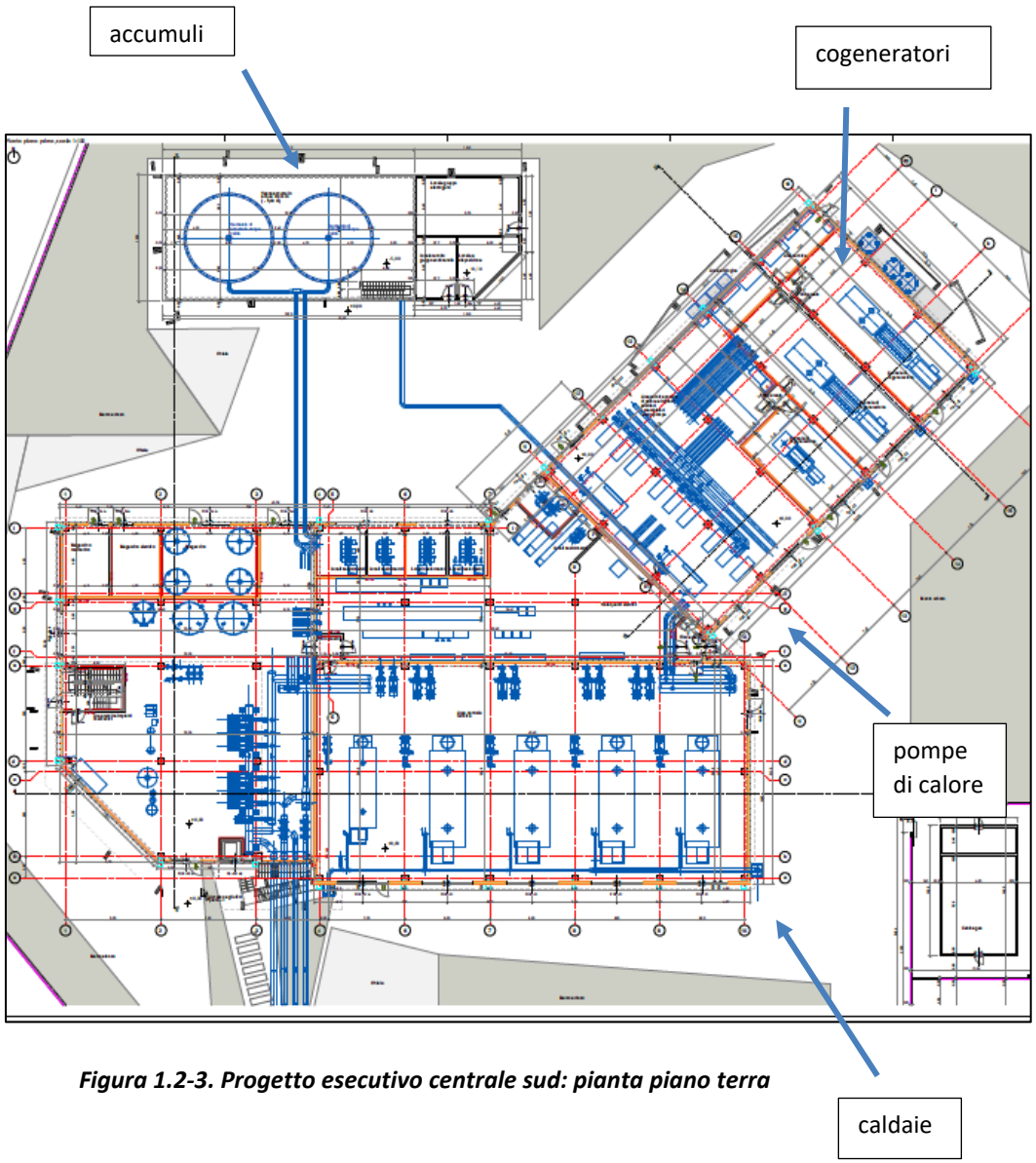


Figura 1.2-3. Progetto esecutivo centrale sud: pianta piano terra

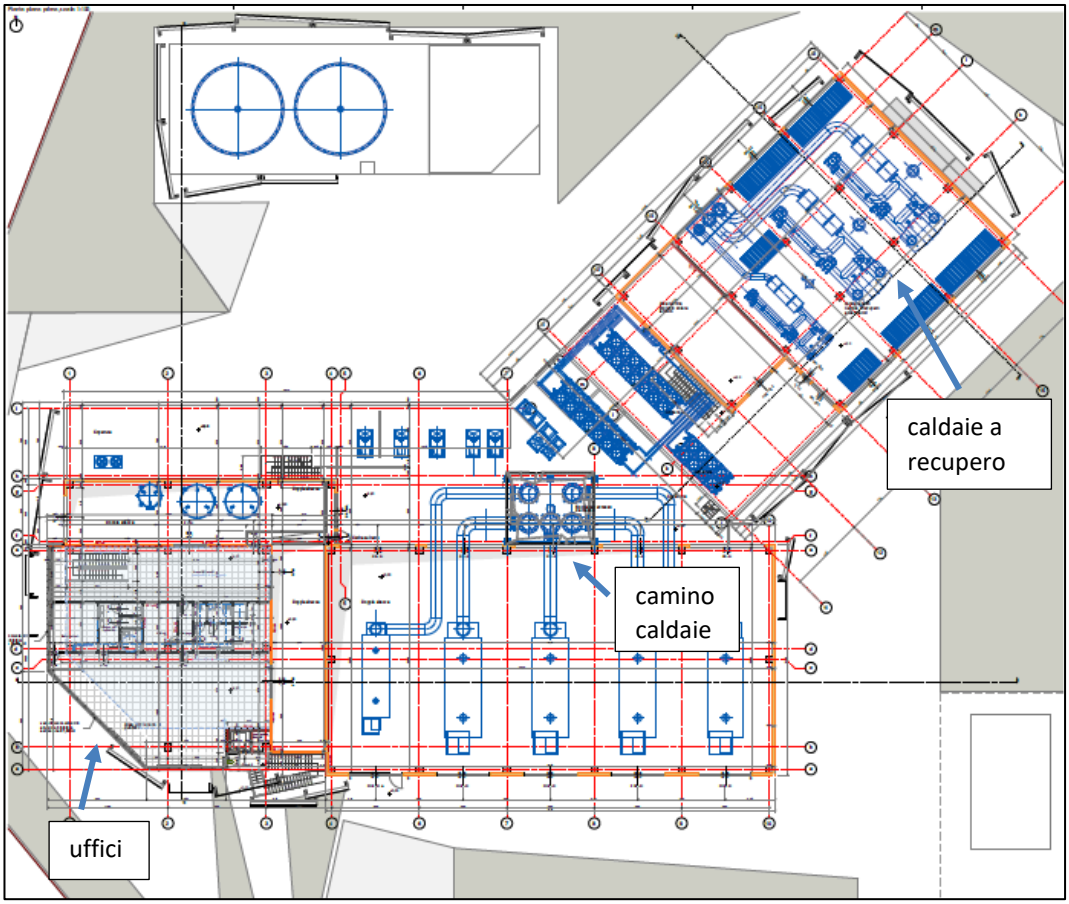


Figura 1.2-4. Progetto esecutivo centrale sud: pianta primo piano

Tramite il prospetto del primo piano, **Figura 1.2-4**, è evidenziato lo spazio adibito agli uffici, il camino relativo alle caldaie e le caldaie a recupero corrispondenti al gruppo dei cogeneratori.

Di seguito sono riportati i prospetti in direzione SUD e OVEST che permettono di visualizzare come effettivamente sarà la centrale una volta conclusa.

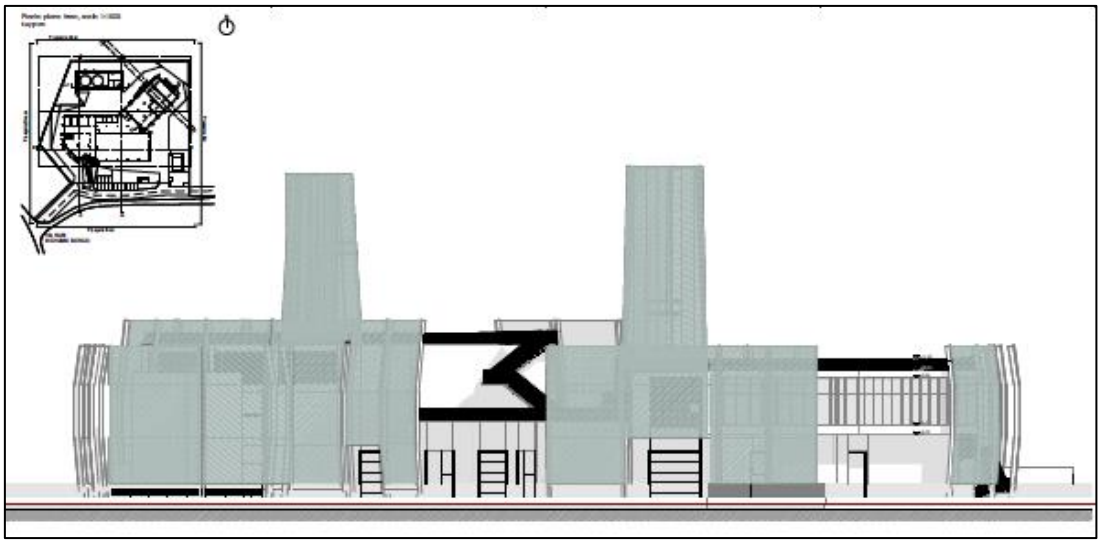


Figura 1.2-5. Progetto esecutivo centrale sud: prospetto SUD

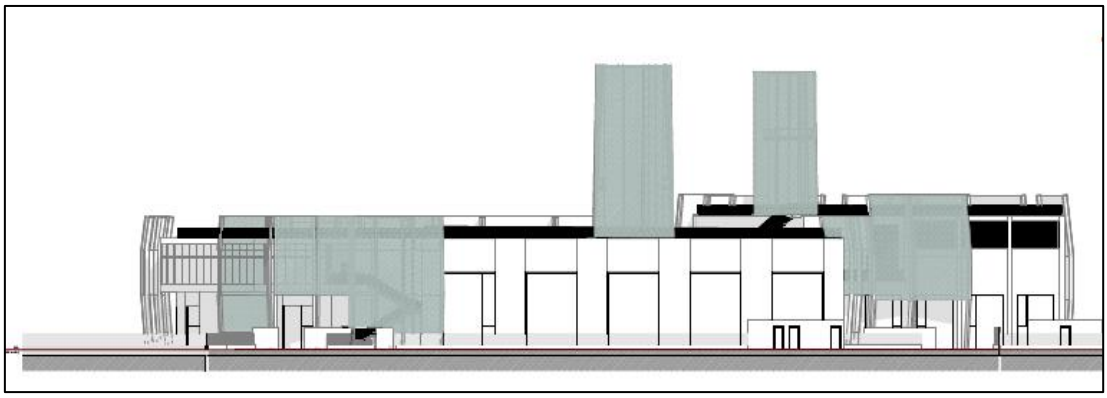


Figura 1.2-6. Progetto esecutivo centrale sud: prospetto OVEST

Per quanto riguarda il funzionamento, l'anno è stato diviso in due tranche per valutare il fabbisogno dell'utenza nel modo più aderente possibile alle reali richieste di energia termica: stagione termica invernale (15 ottobre - 15 aprile) e stagione termica estiva (15 aprile - 15ottobre). Durante la stagione termica invernale saranno in funzione le caldaie, i tre motori e le tre pompe di calore per soddisfare l'importante fabbisogno termico invernale. La stagione termica estiva non prevede necessità di riscaldamento per le utenze, perciò le caldaie resteranno praticamente sempre spente. Lavoreranno invece anche durante il periodo estivo i motori e le pompe di calore per soddisfare la richiesta di acqua calda sanitaria.

1.3 L'OBIETTIVO

È prevista l'installazione di un impianto solare termico sul tetto della Centrale Sud di Alessandria, con la funzione di riscaldare l'acqua della rete di ritorno del teleriscaldamento. L'area totale disponibile è di circa 1200 m^2, mentre la superficie effettivamente ricoperta da pannelli non supererà i 500 m^2.

La tesi in oggetto si propone l'obiettivo di fornirne lo studio preliminare, secondo il D.P.R. del 5 ottobre 2010, sviluppato tramite lo studio di fattibilità dal punto di vista tecnico ed economico della produzione di energia termica da fonte solare.

Pertanto, seguendo l'Art.17, lo studio definirà le caratteristiche sia qualitative sia funzionali dell'impianto solare termico. Evidenziando l'area impegnata per il progetto, si delineeranno le caratteristiche più indicative:

- Localizzazione dell'opera e contesto (studio delle condizioni metereologiche del sito, quali temperatura ed irraggiamento)
- Descrizione generale e sintetica dei lavori previsti
- Stima dell'investimento e analisi economica

In linea con l'Art.18 la relazione illustrativa si baserà su di un confronto fra le varie tecnologie, con l'obiettivo di evidenziare la soluzione progettuale più adatta scaturita dall'analisi tecnico-economica.

L'impatto ambientale verrà trattato (Art.20) in un apposito capitolo incentrato sulla mancata emissione da parte dell'impianto solare di anidride carbonica in atmosfera.

Gli elaborati presenti hanno l'obiettivo di presentare la planimetria generale, con la disposizione degli elementi e il layout progettuale, in linea con l'Art.21.

Il progetto sarà a base di gara per l'appalto dell'impianto.

2 IL TELERISCALDAMENTO

2.1 CENNI STORICI

Il teleriscaldamento è una tecnologia che consiste nella fornitura di energia termica veicolata da acqua, da una centrale posta al di fuori del centro abitato fino al punto di utilizzo (le abitazioni) per mezzo di una rete di tubi interrati e isolati termicamente. È una soluzione che, confrontata con i tradizionali sistemi di riscaldamento urbano, risulta essere molto dinamica.

Il primo sistema di teleriscaldamento è stato costruito a New York nel 1876, seguito da Amburgo nel 1893. In Italia ha tardato ad arrivare anche a causa delle condizioni climatiche, più miti rispetto ai Paesi nordici in cui questa tecnologia ha preso piede prima, ma anche per il processo di metanizzazione che ha interessato l'Italia settentrionale solo dagli anni '50 del XX sec.

Il teleriscaldamento ha infatti raggiunto il nostro Paese negli anni '70 con gli impianti di Modena (Quartiere Giardino 1971), Brescia (1972), Verona (Forte Procolo 1973), Reggio Emilia (Rete 1 e Pappagnocca 1979). Durante il ventennio successivo sono state sviluppate le reti di Roma, Alba, Cuneo, Cremona, Torino, Vicenza. Dagli anni '90 sono entrati in funzione i primi impianti per il teleriscaldamento a biomassa.[1] Oggi Torino, Brescia, Milano e Verona risultano essere le città italiane che sfruttano maggiormente il TLR.

2.2 LO SVILUPPO

Il principale aspetto che differenzia questa tecnologia dalle storicamente più utilizzate è riscontrabile nella distanza fisica che esiste tra il punto in cui il calore viene effettivamente prodotto (la centrale) e il punto in cui avviene l'utilizzo (gli edifici della città). La tradizionale caldaia posta in ogni condominio o unità immobiliare viene sostituita da uno scambiatore di calore, eliminando perciò i

[1] GSE, *Valutazione del potenziale nazionale di applicazione della cogenerazione ad alto rendimento e del teleriscaldamento efficiente*, 2015, www.gse.it

costi di manutenzione, sostituzione e i rischi associati alle caldaie. I costi di manutenzione delle sottocentrali, infatti, per semplicità impiantistica, risultano essere molto inferiori.

I principali vantaggi del teleriscaldamento (TLR) possono essere così sintetizzati:

- Il punto di emissione è uno solo e lontano dalle utenze
- La centrale è monitorata costantemente sia dall'azienda produttrice sia dall'ente regionale Arpa per la protezione ambientale, in materia di normative legate alla qualità dell'aria, del suolo e dell'inquinamento acustico
- L'efficienza della centrale è maggiore rispetto a quella della singola caldaia.

Nell'Annuario AIRU 2017 [2] si annoverano otto nuove reti che costituiscono il 9,6% della volumetria installata nel 2016 (1,2 milioni di metri cubi):

- Asiago (VI), alimentata da impianti a biomassa
- Rio Pusteria (BZ), alimentata da impianti a biomassa
- San Michele all'Adige (TN), alimentata da impianti a biomassa
- Vallarsa (TN), alimentata da impianti a biomassa
- Monteverdi Marittimo (PI), alimentata da impianti a geotermia
- Assisi (PG), alimentata da impianti a combustibili fossili
- Valtournenche (AO), alimentata da impianti a combustibili fossili
- Forlì Campus (FC), alimentata da impianti a combustibile fossili

La totale volumetria allacciata nel 2016 (**Figura 2.2-1**) si attesta intorno ai 12,5 milioni di metri cubi, con un trend analogo al quinquennio precedente (2011-2015). La SEN 2017 descrive la situazione del teleriscaldamento in Italia come in continuo aumento, con un margine di sviluppo di circa +30%.[3]

[2] AIRU, *Annuario AIRU 2017- Il Riscaldamento Urbano*, ed. Alkes, n. 63, dicembre 2017
[3] Ministero dello Sviluppo Economico, *SEN 2017*, 10 novembre 2017, pag.92

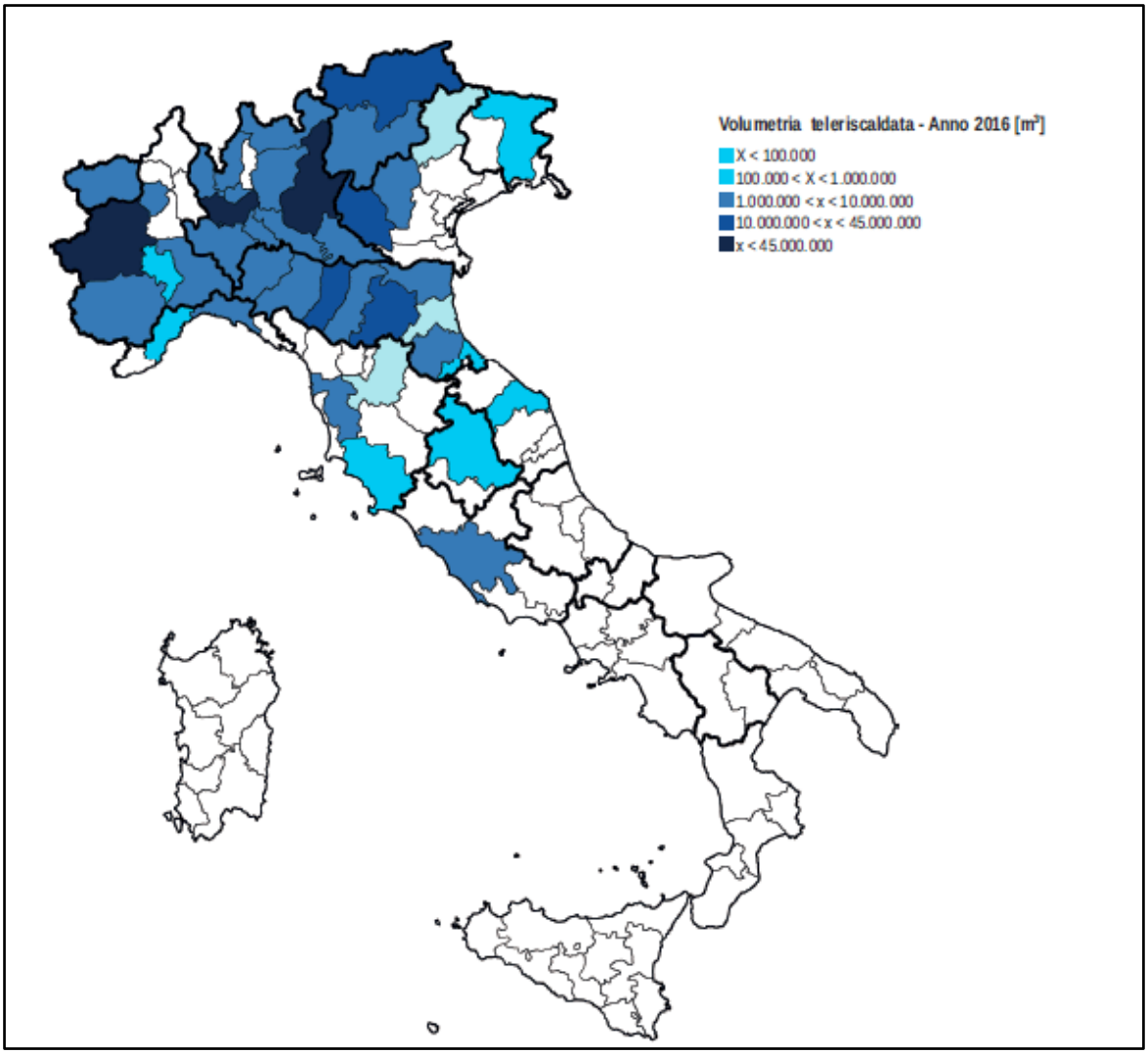


Figura 2.2-1. Volumetria teleriscaldata in Italia, anno 2016, FONTE: AIRU 2017

2.3 ECONOMIA E SICUREZZA

Le aziende che si occupano di teleriscaldamento in Italia attribuiscono al prodotto finale un prezzo equiparato a quello del calore ottenuto tramite gas naturale. Essendo questo il combustibile meno costoso, e aggiungendo i benefici economici derivati dall'assenza di manutenzione della caldaia e canna fumaria, il teleriscaldamento risulta di conseguenza essere un vettore energetico piuttosto vantaggioso. I costi di realizzazione della rete risultano invece molto elevati, ma vengono ammortizzati negli anni durante l'utilizzo.

La sostituzione della caldaia ha come conseguenza l'assenza di fiamma diretta e di combustibili sostituiti da acqua calda, entrambi risvolti positivi che vanno considerati nella valutazione dei rischi. Il riscaldamento del fluido termovettore avviene infatti lontano dall'edificio, nella centrale di cogenerazione.

2.4 IMPATTO AMBIENTALE

La volontà/necessità di slegarsi dalla dipendenza dal petrolio incontra la capacità di questi impianti di venire alimentati tramite diverse opzioni:[4]

- Cogenerazione: per il 50,73% in Italia
- Produzione semplice: per il 28,75%
- Fonti rinnovabili e di recupero: per il 20,48%
- Pompe di calore: per lo 0,04%

Il principale vantaggio che determina un minor impatto sull'ambiente è il risparmio di fonti energetiche di origine fossile, che deriva dall'utilizzo di fonti rinnovabili e di calore "di scarto", i quali influiscono, almeno in parte, nell'alimentazione della centrale.

In **Tabella 2.4-1** è possibile vedere un confronto percentuale tra le varie fonti utilizzate nel settore del riscaldamento in tre diversi anni. Rispetto al 1995 la quota FER (Fonti Energetiche Rinnovabili) ha avuto un significativo incremento grazie soprattutto al contributo dato dal calore di scarto recuperato e dalle bioenergie (gas di discarica). Anche gli RSU (Rifiuti Solidi Urbani) hanno subito un netto aumento, mentre il gas naturale rimane ancora la fonte principale.

[4]R. Battisti, *Impianti solari termici per reti di teleriscaldamento. Manuale di progettazione con analisi economica ed esempi di impianti*, Dario Flaccovio Ed., Palermo 2013, pag.13

	2016		2015		1995	
	1tep	%	tep	%	tep	%
Gas naturale	1.313.657	71,1	1.301.410	72,4	383.521	68,9
RSU (Rifiuti Solidi Urbani)	253.215	13,7	243.948	13,6	6.708	1,2
Bioenergie	171.147	9,3	149.490	8,3	0	0,0
Carbone	48.146	2,6	47.582	2,6	69.810	12,5
Gasolio e olio combustibile	1.531	0,1	1.159	0,1	79.726	14,3
Geotermia	24.102	1,3	23.651	1,3	4.472	0,8
Recupero da processo industriale	2.443	0,1	1.115	0,1	4.644	0,8
Solare	44	0,0	31	0,0	0	0,0
Energia primaria fossile da SEN	33.082	1,8	30.113	1,7	7.750	1,4
Totale fossile	**1.396.416**	**76,0**	**1.380.264**	**77,0**	**54.807**	**97,0**
Totale rinnovabile	**450.951**	**24,0**	**418.235**	**23,0**	**15.824**	**3,0**
Totale generale	1.847.367	100	1.798.499	100	556.631	100

Tabella 2.4-1. Fonti energetiche utilizzate nei sistemi di produzione di riscaldamento urbano in Italia, FONTE: AIRU 2017

Il risparmio in tonnellate equivalenti di petrolio si traduce in una mancata emissione di CO_2 in atmosfera. Ogni MWh prodotto libera nella combustione una quantità di energia pari a 0,187 tonnellate equivalenti di petrolio (TEP).[5]

Per valutare l'effettiva quantità di anidride carbonica non emessa in atmosfera è necessario considerare il "mix energetico", ovvero come viene prodotta l'energia in un dato Paese. Per l'Italia il fattore di conversione è 0,44, che sta ad indicare che per ogni MWh prodotto vengono emesse 0,44 tonnellate di CO_2.[6]

L'AIRU segnala che nel 2016 i sistemi di riscaldamento urbano in Italia hanno risparmiato l'utilizzo di 518.000 tep di energia primaria fossile.

[5] Autorità per l'energia elettrica e il gas*, Aggiornamento del fattore di conversione dei kWh in tonnellate equivalenti di petrolio connesso al meccanismo dei titoli di efficienza energetica*, Delibera EEN 3/08, 28 marzo 2008

[6] Enel, *Rapporto ambientale 2009*, 9 luglio 2009

Le singole caldaie emettono nel complesso della città maggiori emissioni rispetto alla centrale del teleriscaldamento. Esistono normative regionali ad hoc riguardanti questo tema, le quali obbligano la rete in costruzione a soddisfare requisiti sull'altezza del camino (che deve essere ovviamente maggiore di quella degli edifici che la circondano), catalizzatori o sistemi SCR (riduzione selettiva catalitica, per l'abbattimento degli NO_x) e il rispetto delle rigide norme sulle emissioni.

Per la regione Piemonte il Quadro Normativo Regionale di Riferimento per quanto riguarda i limiti emissivi prevede il rispetto delle seguenti norme:[7]

-D.G.R. n.46-11968 del 4 agosto 2009*, "Stralcio di piano per la tutela della qualità dell'aria e il riscaldamento ambientale e condizionamento"*

-D.D. n.52 del 12 marzo 2014*, "Metodologia per la misura, il campionamento delle emissioni di ossidi di azoto prodotte dagli impianti termici civili"*

-D.G.R. n. 29-3386 del 30 magio 2016*, "Attenuazione L-R- 43/2000. Disposizioni per la tutela dell'ambiente in materia di inquinamento atmosferico. Armonizzazione del PRQA con gli aggiornamenti del quadro normativo nazionale comunitario".*

[7] Ing. G.Zulli, *Impianti termici – Limiti emissivi della REGIONE PIEMONTE*, Vercelli, 10 maggio 2018, pag.9

Secondo la SEN 2017 (Strategia Energetica Nazionale) lo sviluppo del settore termico deve obbligatoriamente tenere conto delle emissioni, situazione che porta necessariamente all'interessamento di impianti ad alta qualità ambientale e ad alta efficienza. A questo fine si apre uno spiraglio per la tecnologia del solare termico, la quale è in grado di soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria di un edificio e di sistemi ibridi che la vedano accoppiata ad altri sistemi di produzione di calore senza l'emissione di inquinanti atmosferici. Un'interessante collaborazione risulta essere l'integrazione di questa tecnologia con la rete di teleriscaldamento.

La Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo definisce "teleriscaldamento efficiente" un sistema che utilizzi il 50% minimo di energia da fonte rinnovabile, il 50% di calore di scarto, il 75% di calore da cogenerazione o il 50% di una combinazione di queste alternative.

L'impianto del seguente studio rientra in questa categoria grazie all'utilizzo di motori cogenerativi, i quali soddisfano oltre il 50% della richiesta di calore e, in aggiunta, la quota di energia rinnovabile dell'impianto solare termico.

2.5 APPLICAZIONE DEL SOLARE TERMICO NEI SISTEMI DI TELERISCALDAMENTO

Nel documento SEN 2017 stipulato dal Ministero dello Sviluppo Economico e Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, si legge:

<<Il teleriscaldamento solare, come dimostrato dagli impianti già operativi all'estero, può diventare particolarmente interessante per reti di teleriscaldamento intelligenti e flessibili alimentate dai più fonti>> [8].

L'energia solare è il "combustibile" inesauribile e pulito su cui si basa il solare termico, risorsa ampiamente disponibile nel territorio italiano grazia alla sua collocazione geografica. La tecnologia di fondo è molto elementare: l'obiettivo è

[8]Ministero dello Sviluppo Economico, *SEN 2017*, 10 novembre 2017, pag.91

la conversione della radiazione solare in energia termica utilizzabile per il riscaldamento del fluido termovettore (in linea generale, acqua). Il solare termico è una tecnologia matura e affidabile, con una aspettativa di vita media non inferiore ai 20 anni.

Lo sviluppo dell'installazione del solare termico ha subìto negli ultimi anni un trend positivo nel nostro Paese, soprattutto in rapporto al riscaldamento dell'acqua calda sanitaria. Sebbene sia considerata sicura e sviluppata, questa tecnologia non ha ancora registrato una decisiva diminuzione dei costi, fattore che certamente influisce nel bilancio decisionale.

2.5.1 Esempi di Teleriscaldamento solare in Europa

2.5.1.1 Varese (Italia)[9]

A Varese, l'utility che si occupa della rete di teleriscaldamento ha installato un campo solare termico avente superficie captante pari a 990 m^2. Questo impianto si occupa del riscaldamento dell'acqua di reintegro, per sopperire alle perdite della rete. Con temperature di utilizzo decisamente basse (10°C in ingresso) il rendimento dei collettori risulta essere elevato. Questo permette di coprire l'1% del fabbisogno termico in inverno e circa il 3% d'estate.

2.5.1.2 Graz (Austria)[10]

L'Austria, assieme a Danimarca, Svezia e Germania, riveste un ruolo di leader nel settore solare termico. Un esempio lampante di questa tecnologia legata ai sistemi di teleriscaldamento è visibile nella città di Graz, che ospita un campo solare di 7.000 m^2. Le temperature operative di funzionamento (70°C-90°C) permettono l'immissione diretta nella rete di teleriscaldamento cittadina.

[9] *Teleriscaldamento solare a Varese*, www.qualenergia.it, 1/09/15
[10] *Un futuro splendente per il teleriscaldamento solare*, www.serviziarete.it, 20/04/18

2.5.1.3 Braedstrup (Danimarca)[11]

La Danimarca è al primo posto per installazione di collettori solari. Nella città di Braedstrup è stato installato nel 2013 un impianto solare termico avente campo solare di quasi 19.000 m^2 per un investimento totale di oltre 1.000.000 di euro.

2.5.1.4 Senftenberg (Germania)[12]

Nel 2016 sono stati installati a Senftenberg 8.3000 m^2 di collettori solari sottovuoto e 7.100 m^2 di collettori piani come collegamento all'esistente rete di teleriscaldamento. L'intero progetto, comprese le tubazioni di collegamento, è stato sviluppato in soli sei mesi. Durante l'estate, l'impianto riesce a riscaldare oltre 3.000 abitazioni senza integrazione della centrale tradizionale. Le temperature di funzionamento superano i 100° in inverno e raggiungono gli 85°C in estate.

[11] *Solar Heating District Plant, Denmark*, www.aalborgcsp.com
[12] *Germany: First record-size solar district heating plant*, www.solarthermalworld.org, 27/09/16

3 L'IRRAGGIAMENTO SOLARE

3.1 INTRODUZIONE

Il pianeta Terra riceve continuamente energia dal Sole sotto forma di radiazione elettromagnetica, la quale si traduce in luce e calore. Questa energia ha il pregio di essere abbondante e distribuita. Il Sole, infatti, posto a 150 milioni di chilometri dalla Terra, è una sfera di gas bollenti avente diametro di 1,39 x 10^9 m, al cui interno avvengono reazioni di fusione nucleare che raggiungono temperature di milioni di °C. Considerato come un corpo nero con una temperatura superficiale di 5777 K, emette radiazione comprendente l'ultravioletto, il visibile e l'infrarosso.

La radiazione colpisce la superficie terrestre con una intensità media di 170 W/m^2, ma la effettiva *quantità* di radiazione che raggiunge un luogo specifico dipende da innumerevoli fattori: la posizione geografica, il giorno dell'anno, le condizioni meteorologiche, l'ambiente circostante. La radiazione stessa non viene emessa dal Sole in modo omogeneo, ma dal punto di vista ingegneristico è comunque considerata costante. La variazione della distanza Terra-Sole è tenuta in conto grazie all'equazione:

$$G_{on} = G_0(1 + 0{,}33\cos\frac{360n}{365})$$

Equazione 3.1-1. Variazione della radiazione solare lungo l'anno

Dove G_{on} è la radiazione extra-terrestre perpendicolare al piano, *n* è il giorno dell'anno (da 1 per il 1° gennaio a 365 per il 31 dicembre) e G_0 è la costante solare (1367 W/m^2).

La radiazione solare che raggiunge la superficie terrestre senza venire deviata è detta componente diretta (G_b= *beam radiation*). La radiazione che subisce un cambio di direzione (*scattering*) crea la radiazione diffusa (G_d=*diffuse radiation*), mentre la somma delle due costituisce la radiazione totale (G= *total radiation*).

L'irradianza G è quindi la potenza per unità di area proveniente direttamente o indirettamente da Sole [W/m^2], mentre l'irraggiamento I rappresenta la corrispondente energia [kWh/m^2 o MJ/m^2][13].

La **Figura 3.1-1** mostra l'andamento dell'irraggiamento captato sulla superficie terrestre. Le latitudini più estreme (l'America del nord e l'Eurasia del nord, il sud dell'America Latina) presentano una radiazione incidente mediamente bassa, al di sotto dei 1.000 kWh/m^2 annuo. Le zone più favorite, con oltre 2.000 kWh/m^2 sono invece il continente africano per la quasi totalità, l'Oceania, l'America Centrale e la parte meridionale dell'Asia.

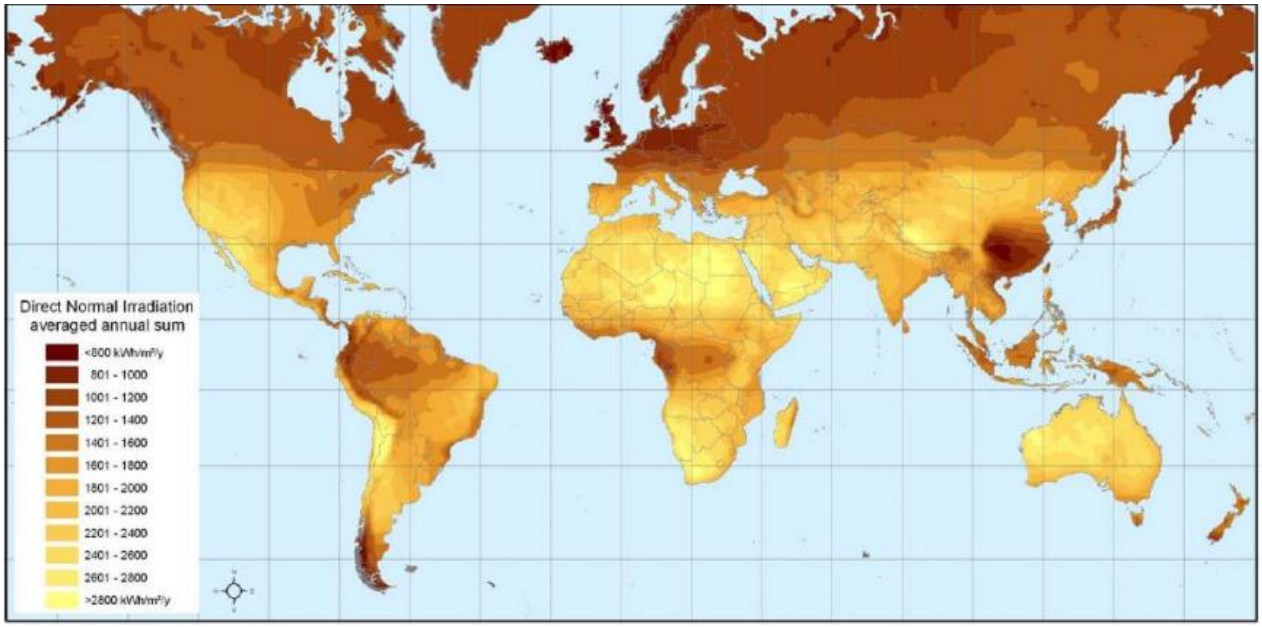


Figura 3.1-1. Irradiazione solare normale diretta (media annuale), FONTE: "Global Potential of Concentrating Solar Power", F. Trieb, C. Schillings, M. O 'Sullivan, T. Pregger, C. Hoyer-Klick

[13] NORMA UNI 10349: *Riscaldamento e Raffrescamento degli edifici*

3.2 IRRAGGIAMENTO PER LA CITTÀ DI ALESSANDRIA

Per valutare la fattibilità di un impianto solare è necessario disporre dei dati metereologici della località in esame: le condizioni atmosferiche, la temperatura media esterna, l'irraggiamento.

Per stimare la radiazione solare al suolo sono necessari sensori di grande precisione. Le misurazioni dovrebbero essere prodotte almeno ogni ora, calibrando di volta in volta gli strumenti e assicurandosi della manutenzione. Inoltre una serie di dati per essere considerata valida deve coprire un arco temporale di almeno dieci anni.

Il reperimento di tali dati si basa, in questo studio, su tre database:

- CLASSIC-PVGIS
- CLIMATE-SAF PVGIS
- ARPA

3.2.1 Database CLASSIC PVGIS

Il database Classic-PVGIS o PVGIS-3 fornisce dati ottenuti tramite misurazioni a terra con piranometro (566 stazioni totali in tutto il mondo). Questo strumento permette il rilevamento della radiazione globale su di un piano, utilizzando la capacità di una superficie scura di assorbire l'energia proveniente dal Sole e di una superficie chiara di riflettere. La differente temperatura delle due superfici viene misurata attraverso una termopila. La differenza di potenziale creata nella termopila dal ΔT permette di quantificare la radiazione globale incidente.

Per località prive di uno strumento di misurazione il software online PVGIS fornisce una stima ottenuta tramite interpolazione.

L'interpolazione porta inevitabilmente una imprecisione che può essere più o meno accentuata in rapporto alla distanza dalla stazione di rilevamento. Un'ulteriore approssimazione di questo database consiste nella generale sottostima dell'irraggiamento dovuta alle condizioni atmosferiche nella zona in cui

è posto lo strumento. Questo, infatti, perde di precisione se a contatto con polvere, brina o neve. La serie storica su cui si basa Classic-PVGIS risale al decennio 1981-1990, trascurando quindi i cambiamenti climatici, come l'assottigliamento dello strato di ozono nell'atmosfera terrestre, che hanno causato un incremento dell'irraggiamento al suolo nell'ultimo ventennio. È inevitabile quindi che questo database sottostimi il reale irraggiamento.

I dati di input richiesti dal software online PVGIS sono: il luogo in cui si desidera produrre la valutazione, il mese di interesse, l'inclinazione, l'orientamento, come mostrato in **Figura 3.2-1**. La località scelta è la zona di Alessandria a sud del quartiere Europa, dove sorgerà la centrale. È stato inserito come angolo di inclinazione 0° per permettere un confronto tra i tre database nelle stesse condizioni e orientamento 0° che rappresenta il Sud.

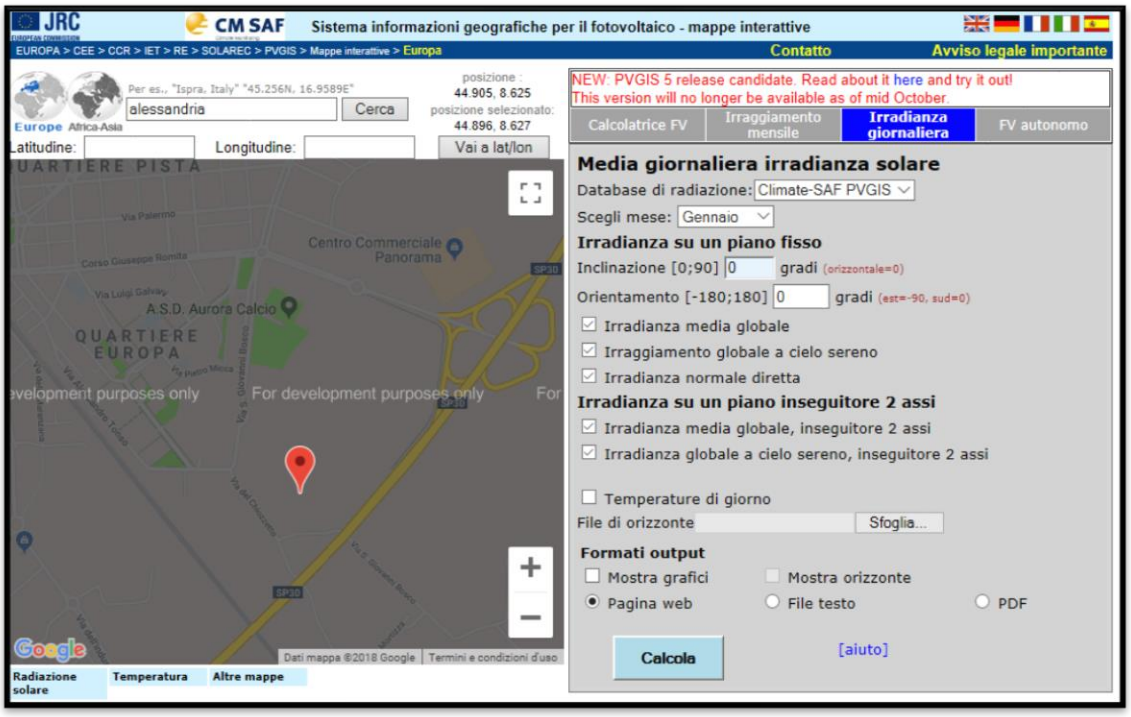


Figura 3.2-1.Software JRC-scelta del luogo

L'output del software è un valore di irraggiamento mensile e irradianza del giorno "tipo" di ogni mese valutato ogni quarto d'ora, dall'alba al tramonto. La **Figura 3.2-2** mostra l'andamento di questi valori mensili per l'intero anno.

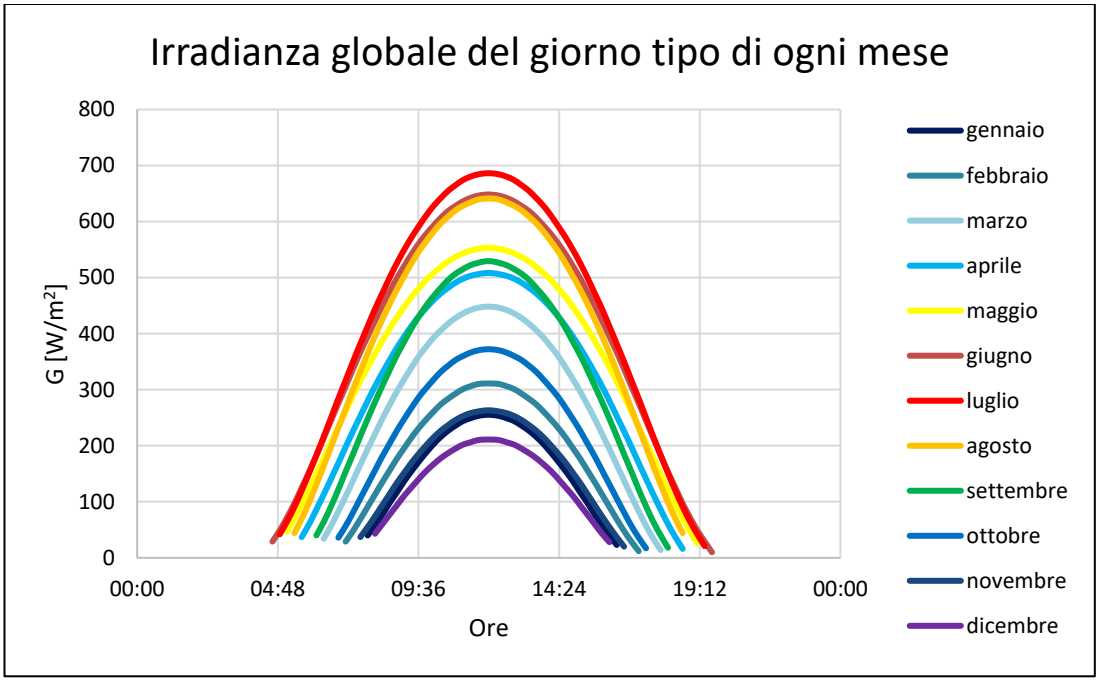


Figura 3.2-2. Irradianza globale presso la città di Alessandria, dati: CLASSIC PVGIS

3.2.2 Database CLIMATE-SAF PVGIS

Il software online PVGIS permette la scelta di un secondo database: il CLIMATE-SAF. Questa serie di dati si basa su rilevamenti satellitari grazie alla collaborazione con la *Satellite Application Facility on Climate Monitoring* (SAF CM). Le immagini vengono catturate ogni 15-30 minuti e sono disponibili per l'Europa e l'Asia: la copertura è da 0° N (l'Equatore) a 58°N e da 15° W fino a 35°E. La validazione dei dati avviene poi tramite il confronto con stazioni di misura a terra, la cui differenza percentuale supera difficilmente il 10%.[14] In Italia sono disponibili tre località aventi sottostazione: Ispra (VA), Milano e Roma. La serie storica in questo caso è di 12 anni (1998-2005 tramite i satelliti MFG, e dal 2006 al 2010 grazie ai satelliti

[14] Software PVGIS: re.jrc.ec.europa.eu

MSG). Questo database è più rappresentativo rispetto al Climate-PVGIS degli ultimi anni, non risente delle imprecisioni legate allo strumento a terra e presenta infatti un irraggiamento medio mensile più elevato. L'irradianza globale del giorno tipo di ogni mese è rappresentata in **Figura 3.2-3**.

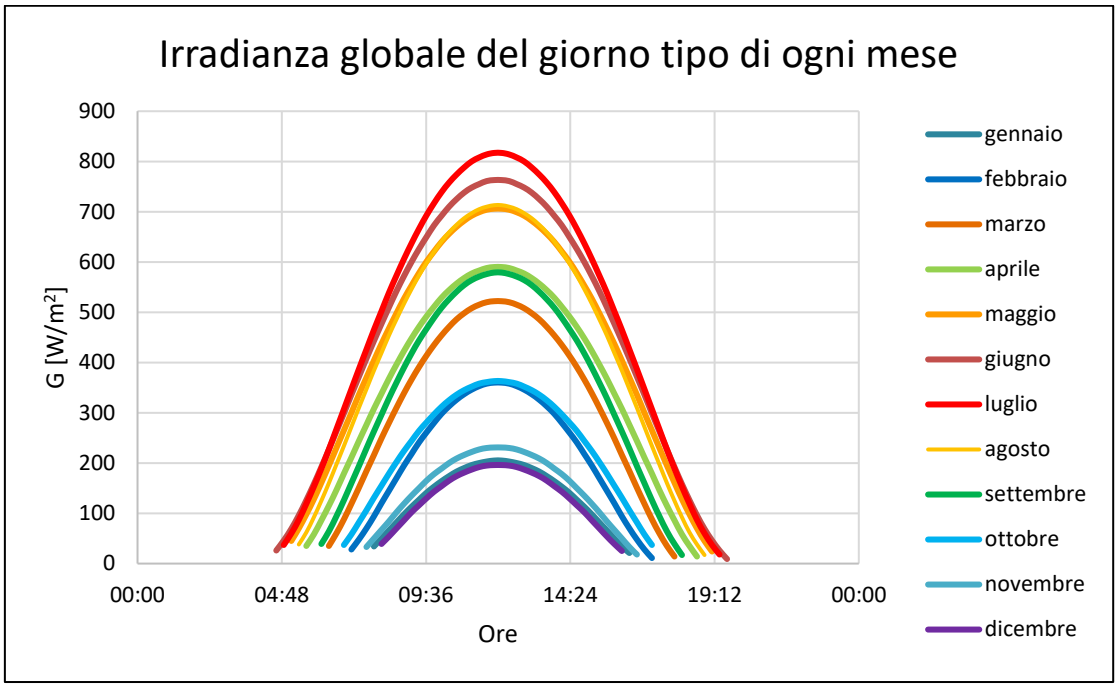


Figura 3.2-3. Irradianza globale presso la città di Alessandria, dati: CLIMATE SAF PVGIS

La radiazione globale segue il trend a campana come nel caso precedente. Il picco è registrato nel mese di luglio alle ore 12, e scema fino alle curve meno ripide di gennaio e dicembre, quasi indistinguibili.

Un fattore di cui si deve tenere conto e che influisce sul rendimento del pannello solare è la temperatura esterna, la quale tocca quasi i 30°C nella stagione estiva, e non supera i 10°C nei mesi più rigidi (gennaio, febbraio, dicembre), come mostrato in **Figura 3.2-4**.

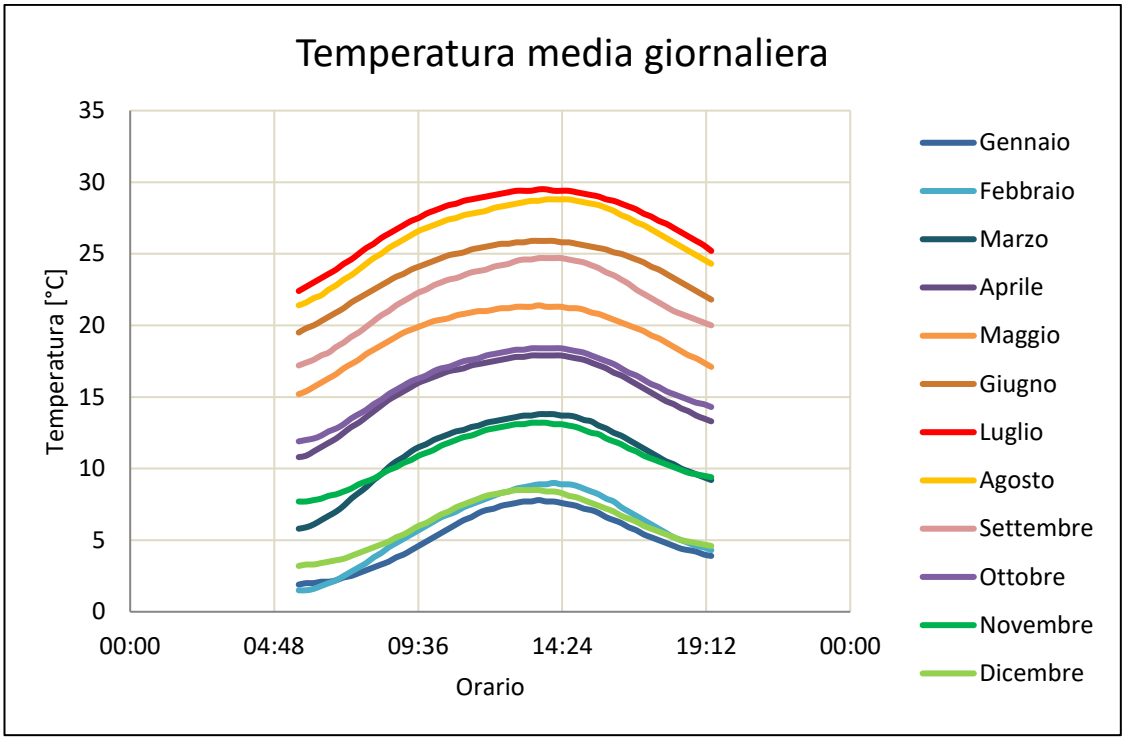


Figura 3.2-4. Temperatura media esterna città di Alessandria, dati: CLIMATE SAF PVGIS

3.2.3 Database ARPA

Tramite la Banca Dati Metereologica dell'Arpa[15] è stato possibile ottenere il valore della radiazione totale giornaliera per unità di superficie per un arco temporale di 28 anni (dal 1990 al 2018) misurata dalla stazione metereologica di Alessandria-Lobbi. La cittadina di Lobbi dista circa 8 chilometri in linea d'aria dalla centrale (**Figura 3.2-5**).

[15]Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale, annali metereologici: www.arpa.piemonte.it

Figura 3.2-5. Distanza in linea d'aria centrale di Alessandria-Lobbi, Google Maps

Tramite queste serie storica è stato ricavato un dato giornaliero medio di radiazione solare (vedere Appendice pag. 159) il cui andamento è mostrato in forma grafica in **Figura 3.2-6**.

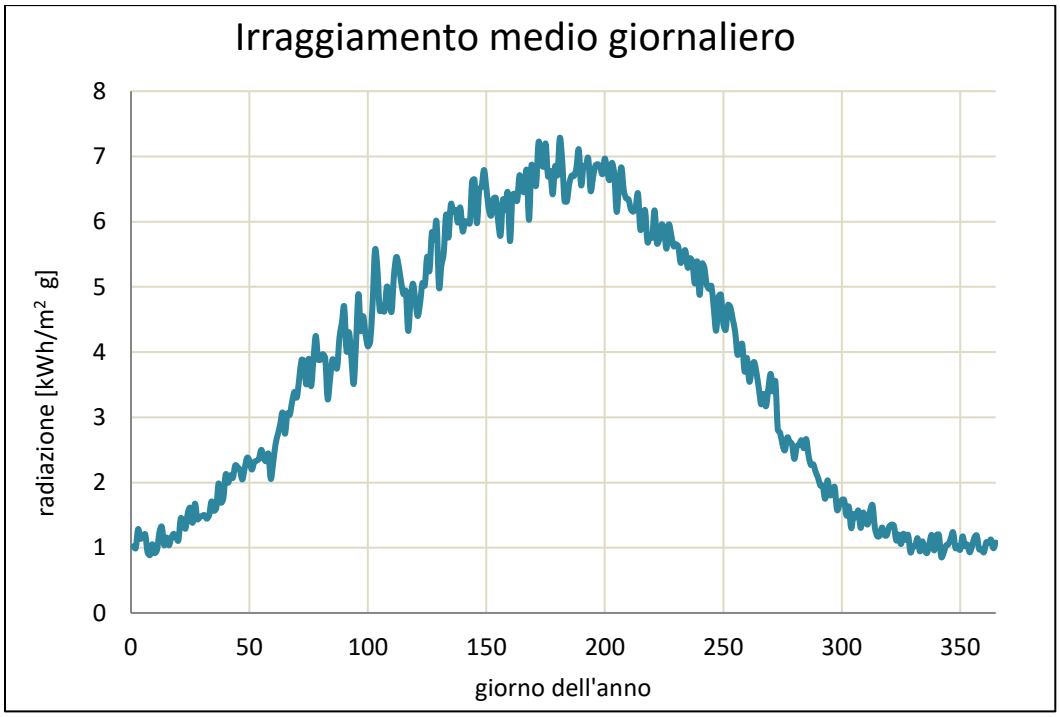


Figura 3.2-6. Andamento annuale radiazione città di Alessandria, dati ARPA

L'andamento della radiazione ricavata tramite i dati Arpa (**Figura 3.2-6**), rispetta quello di una simil-gaussiana avente il picco nei mesi estivi di giugno e luglio, e presenta maggiori irregolarità rispetto alla serie PVGIS poiché è il risultato di una media giornaliera anziché mensile.

La **Tabella 3.2-1** riassume i contenuti di questa valutazione, nella quale si trova riscontro della radiazione globale annua che si aggira intorno ai 1300 kWh/m^2 nel nord Italia, mentre la **Figura 3.2-7** e la **Figura 3.2-8** mostrano gli andamenti dell'irraggiamento così valutato rispettivamente del giorno tipo di ogni mese e globale mensile.

	Irraggiamento Valore medio giornaliero [kWh/m^2]	**Irraggiamento Valore totale mensile [kWh/m^2]**	
gennaio	1,23	38,25	
febbraio	2,07	58,15	
marzo	3,55	110,06	
aprile	4,67	140,06	
maggio	5,86	181,70	
giugno	6,53	196,01	
luglio	6,65	206,23	
agosto	5,65	175,19	
settembre	4,01	120,32	
ottobre	2,15	66,63	
novembre	1,26	37,83	
dicembre	1,05	32,51	
		somma totale	**kWh/m^2 annuali**
		1.362,96	

Tabella 3.2-1. Irraggiamento medio giornaliero e mensile, Dati: ARPA

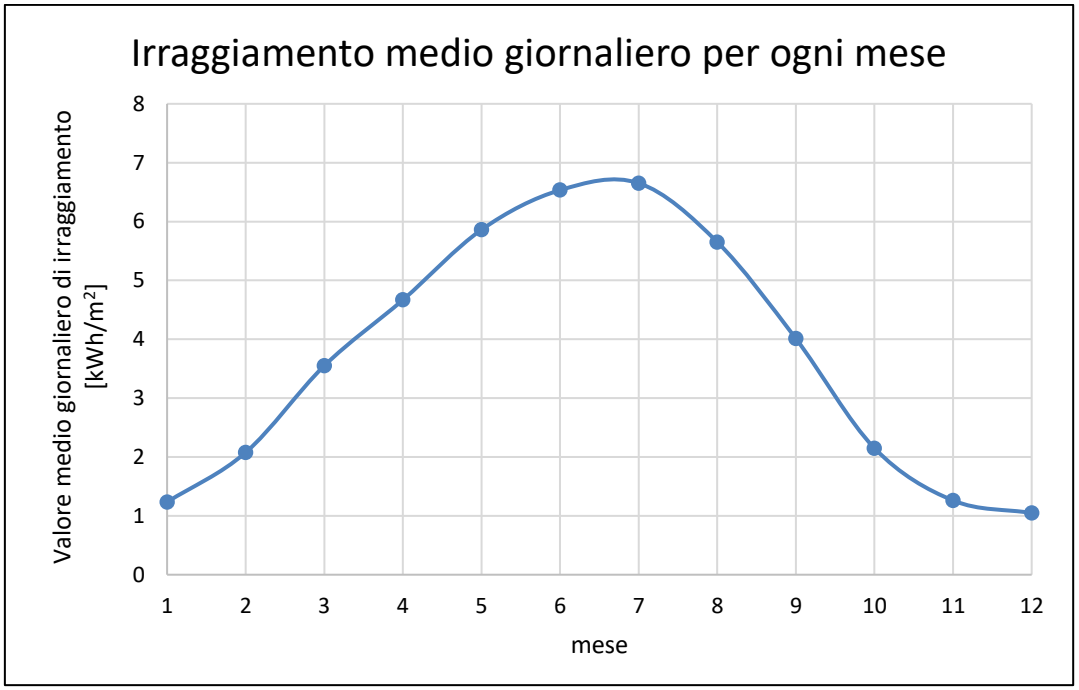


Figura 3.2-7. Valore medio di irraggiamento del giorno tipo di ogni mese, dati: ARPA

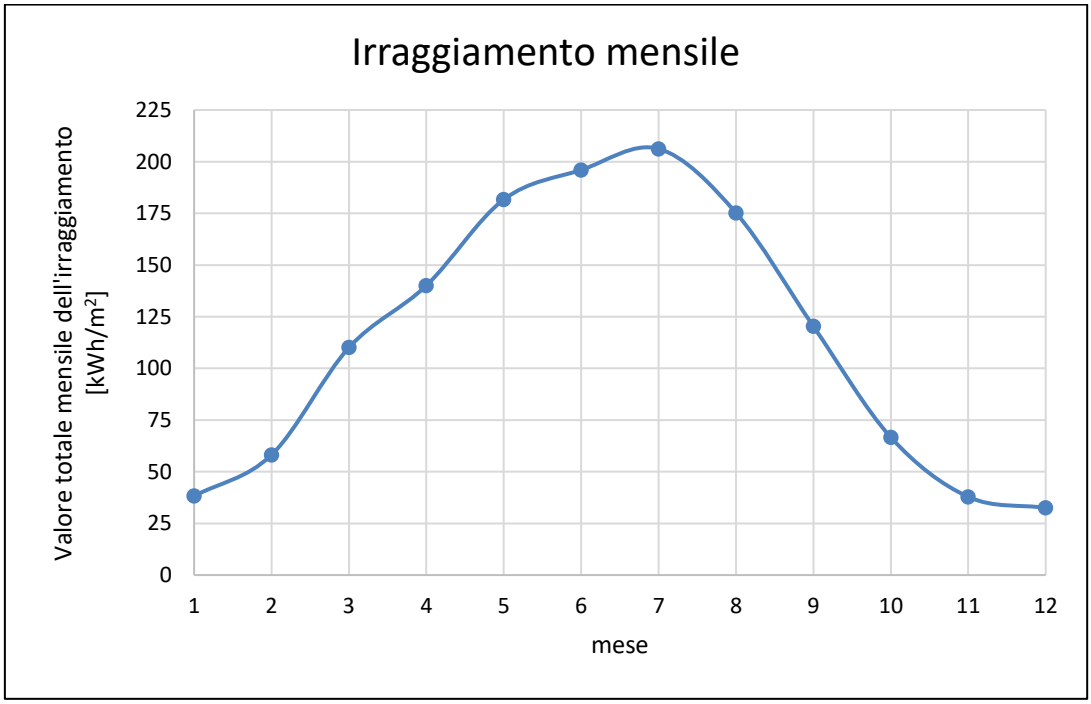


Figura 3.2-8. Irraggiamento mensile, dati: ARPA

Un discorso analogo può essere fatto per la temperatura: la serie storica ARPA fornisce la temperatura media giornaliera registrata dal 1990 ad oggi, dal quale è stato calcolato un valore giornaliero per l'intero anno:

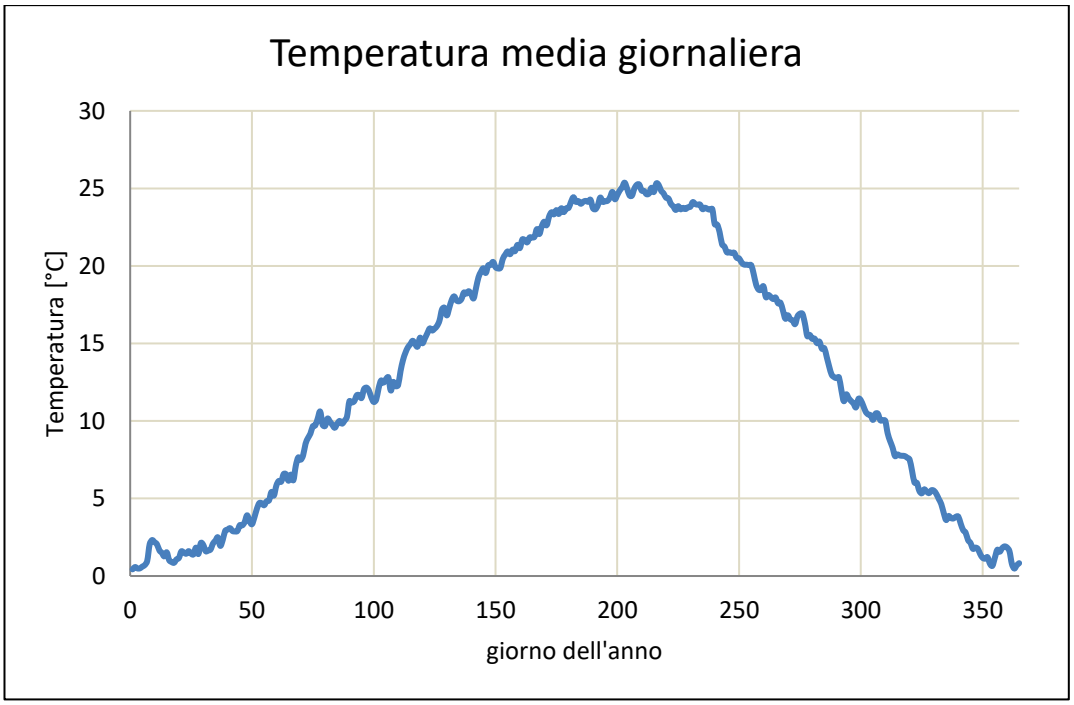


Figura 3.2-9. Temperatura media giornaliera, Dati: ARPA

3.2.4 Confronto

Partendo dalle tre serie di dati, valutate con una inclinazione di 0°, è possibile confrontare i valori medi dell'irraggiamento giornaliero di ogni mese.

	Irraggiamento giornaliero medio [kWh/m²]			**Differenza percentuale rispetto ai dati ARPA [%]**	
	ARPA	CLIMATE-SAF PVGIS	CLASSIC PVGIS	CLIMATE-SAF PVGIS	CLASSIC PVGIS
gennaio	1,23	1,19	1,46	-3,19	18,96
febbraio	2,07	2,28	2,02	9,93	-2,39
marzo	3,55	3,80	3,32	7,30	-6,47
aprile	4,66	4,82	4,27	3,32	-8,52
maggio	5,86	6,17	5,04	5,31	-13,93
giugno	6,53	6,80	5,96	4,14	-8,77
luglio	6,65	7,15	6,23	7,56	-6,38
agosto	5,65	5,96	5,53	5,55	-2,17
settembre	4,01	4,39	4,06	9,60	1,40
ottobre	2,14	2,51	2,55	16,79	18,80
novembre	1,26	1,40	1,59	11,64	26,38
dicembre	1,04	1,09	1,18	4,66	13,27
TOTALE	44,67	47,12	43,21	5,53	-3,22

Tabella 3.2-2. Confronto serie dati

Rispetto ai valori Arpa, quelli ottenuti con Classic-PVGIS risultano essere mediamente sottostimati, mentre i Climate-SAF PVGIS non si discostano più del 10%.

Il dato ARPA è stato misurato a 8 km di distanza dal sito della Centrale Sud, ed è frutto di una serie storica di misurazione giornaliera di 28 anni. La suddetta serie

storica sarà quindi utilizzata al fine di determinare la produzione media mensile attesa dell'impianto solare termico.

Il dato ottenuto a partire dalla serie Arpa comprende 365 valori: un valore medio totale per ogni giorno dell'anno. È necessario, partendo dal dato giornaliero, ottenere un valore di irraggiamento orario dall'alba al tramonto. Questo processo non permette di ottenere una valutazione esatta di come la radiazione solare vari durante il giorno, dato che dipende da innumerevoli fattori come la presenza o meno di nubi, o piogge intermittenti. Ovviamente non è possibile tenere conto e prevedere questo tipo di fenomeni in ogni circostanza dell'anno, ma il procedimento utilizzato in questo studio permette di ottenere una curva verosimile rispetto al reale irraggiamento orario.

Il metodo utilizzato in questo capitolo è basato sullo studio di *Benseman* e *Cook* (1969) [16].

3.2.5 Valutazione oraria della radiazione solare partendo dal dato giornaliero

Lo studio dal punto di vista statistico della variazione della radiazione solare sulla superficie terrestre (*Liu* e *Jordan*, 1960, *Hottel* e *Whillier*, 1958)[17] ha permesso di generare un coefficiente ***r*** che è definito come segue:

$$r = \frac{I_{oraria}}{I_{giornaliera}}$$

Equazione 3.2-1. Coefficiente r della radiazione oraria

[16] J.A. Duffie & W.A.Beckman, *Solar Engineering of thermal processes*, Hoboken (New Jersey), 2006, Terza edizione, pag. 81

[17] J.A. Duffie & W.A.Beckman, *Solar Engineering of thermal processes*, Hoboken (New Jersey), 2006, Terza edizione, pag. 82

Dove

- I_{oraria} è la radiazione solare valutata su un Δt= 1 h [kWh/m^2]
- $I_{giornaliera}$ è la radiazione solare giornaliera, valutata dall'alba al tramonto [kWh/m^2]

Le ore del giorno vengono valutate, in modo simmetrico, a partire dal punto di culminazione del Sole, ipotizzato costante a mezzogiorno.

Tramite la formula di Cooper è possibile stimare la declinazione terrestre di ogni giorno dell'anno (*n*):

$$\delta = 23{,}45 \sin(360 \frac{284 + n}{365})$$

Equazione 3.2-2. Declinazione terrestre giornaliera

Il risultato di questo calcolo è mostrato in **Figura 3.2-10**.

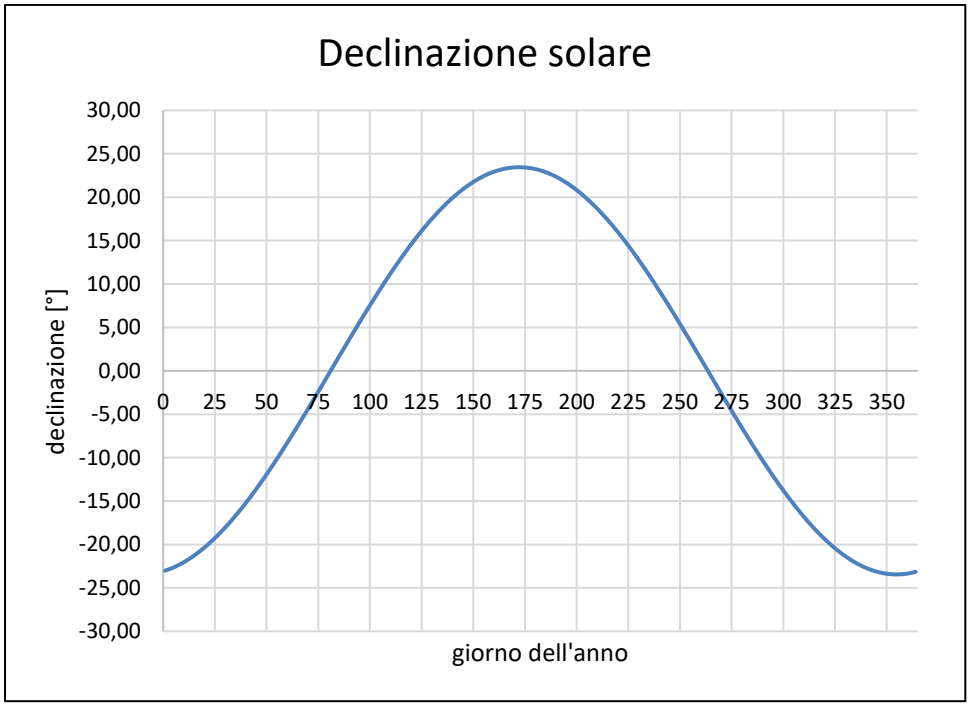


Figura 3.2-10. Declinazione solare nel corso dell'anno

A partire dalla declinazione è stato calcolato l'angolo solare al Tramonto [h] (*sunset hour angle*) tramite l'equazione:

$$\omega_{s=}\, arcos(-tan\phi tan\delta)$$

Equazione 3.2-3. Angolo solare al Tramonto [h]

Dove

- Φ è la latitudine del luogo: 44°54'33" N
- δ è la declinazione terrestre del giorno valutato

La durata del giorno è calcolata come:

$$Daylength\ in\ hours = \frac{2 \times \omega s}{15}$$

Equazione 3.2-4. Durata del giorno

In **Figura 3.2-11** è mostrata la variazione annuale di questo valore.

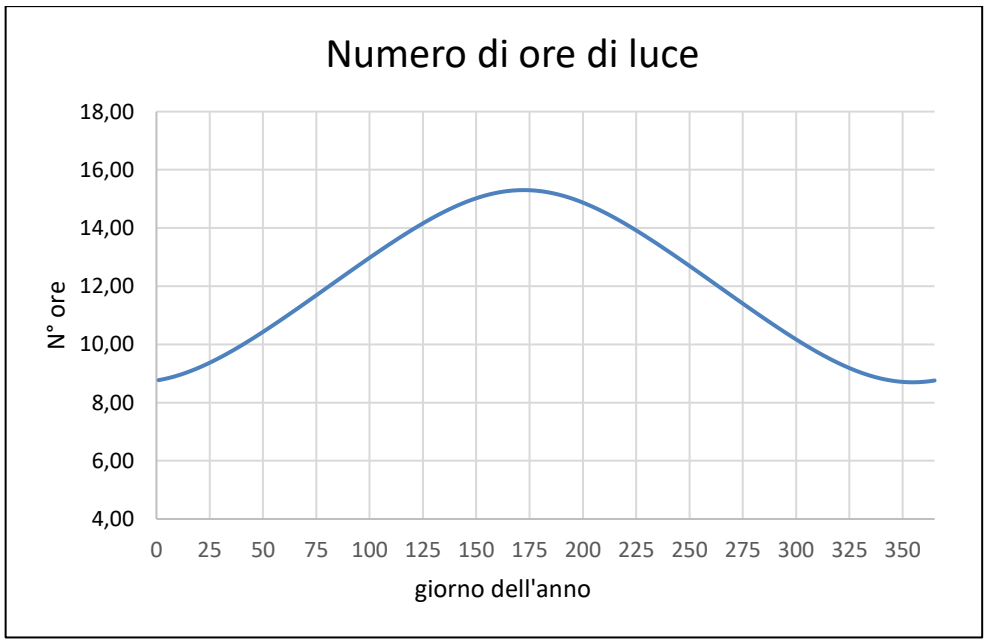


Figura 3.2-11. Numero di ore di luce solare durante l'anno

La rotazione della Terra è pari a 15° all'ora.

L'angolo orario ω è pertanto valutato a partire dalla culminazione (le ore 12:00) considerando ∓15° ogni ora (es. ore 13:00 equivale a +15°, ore 11:00 equivale a -15°).

Calcolati questi parametri per ogni giorno dell'anno dall'alba al tramonto, (vedere Appendice pag. 166), è possibile ricavare il parametro orario ***r*** tramite le equazioni di *Collares-Pereira* e *Rabl* (1979)[18]:

$$r = \frac{\pi}{24}(a + b\,cos\omega)\frac{cos\omega - cos\omega_s}{sin\omega_s - \frac{\pi\omega_s}{180}\,cos\omega_s}$$

Equazione 3.2-5. Calcolo del parametro r

Dove i coefficienti a e b sono calcolati come:

$$a = 0{,}409 + 0{,}5016\,\sin(\omega_s - 60)$$

$$b = 0{,}6609 - 0{,}4767\,\sin(\omega_s - 60)$$

Equazione 3.2-6. Calcolo dei parametri a e b

È possibile ottenere quindi una simil-gaussiana che rappresenti la variazione oraria della radiazione solare, avente un picco alla culminazione e una discesa fino a raggiungere l'asse delle ascisse all'alba e al tramonto.

In **Figura 3.2-12** è visibile questo andamento calcolato per il giorno 1 (primo gennaio) e in **Figura 3.2-13** il giorno 164° (13 giugno).

[18] J.A. Duffie & W.A.Beckman, *Solar Engineering of thermal processes*, Hoboken (New Jersey), 2006, Terza edizione, pag. 82-83

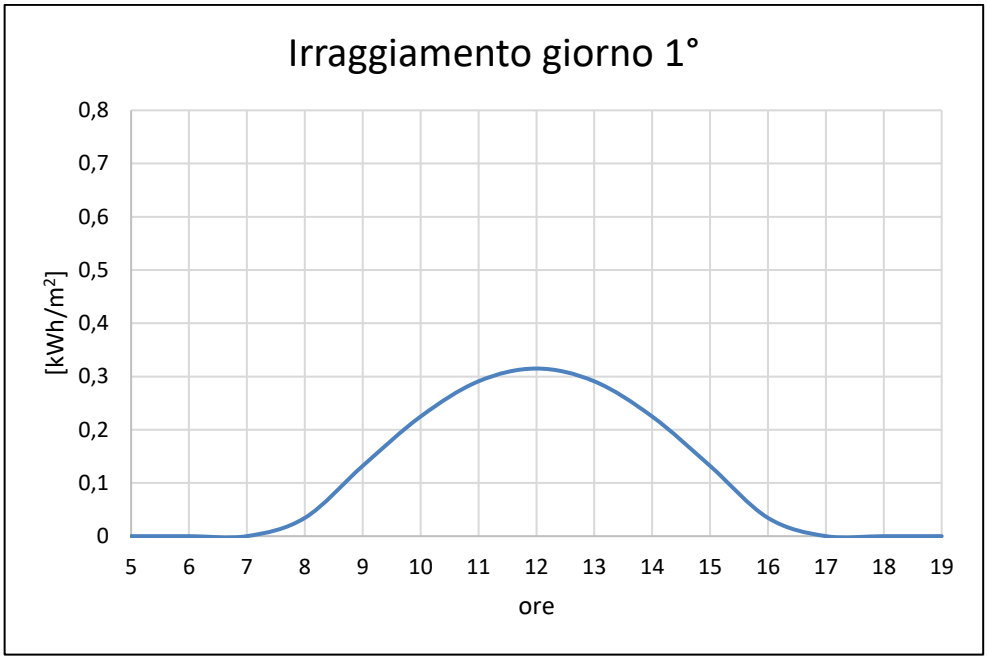


Figura 3.2-12. Irraggiamento giornaliero, 1° gennaio

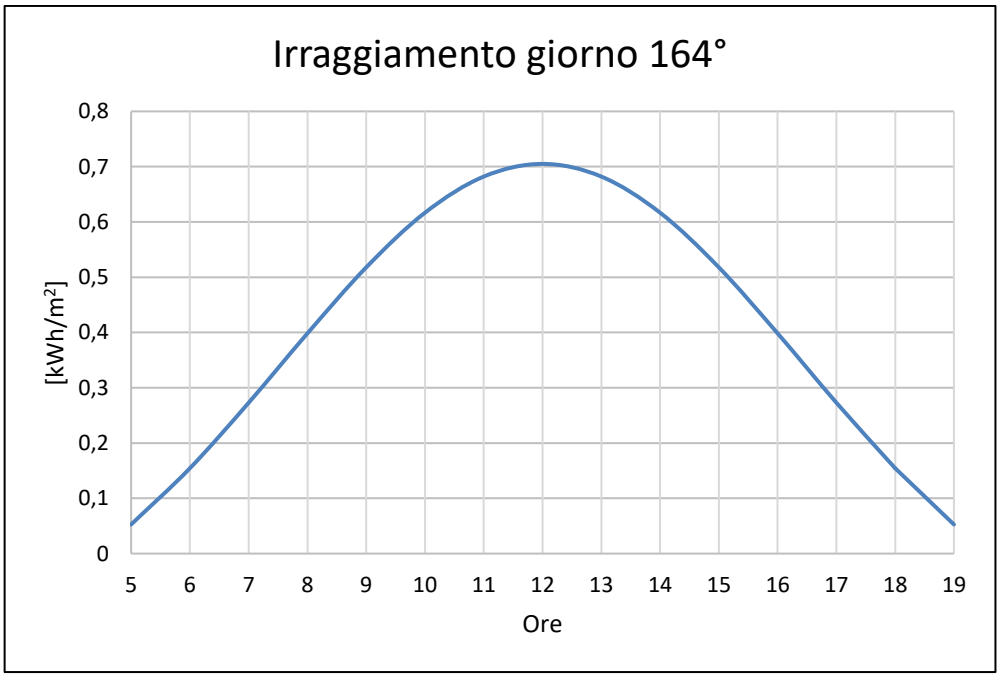


Figura 3.2-13. Irraggiamento giornaliero, 13 giugno

3.3 STUDIO DELL'ANGOLO DI INCLINAZIONE OTTIMALE

Data la distanza Terra-Sole, i raggi solari sono di norma considerati paralleli tra loro. L'irraggiamento captato dipenderà quindi dall'angolo α di incidenza tra la superficie orizzontale (il piano) e il raggio.

Se la radiazione colpisce perpendicolarmente la superficie l'energia captata è massima. Dal momento che nell'emisfero settentrionale questo non può avvenire a causa della latitudine, riveste un ruolo fondamentale l'inclinazione superficie-collettore (**Figura 3.3-1**)

Nei mesi estivi in cui la traiettoria solare è alta sull'orizzonte, l'angolazione non necessita di essere ripida, mentre nei mesi invernali l'inclinazione più decisa del pannello deve sopperire alla traiettoria solare che è più bassa sull'orizzonte. Per valutare l'inclinazione ottimale annua bisogna mediare tra le condizioni invernali e quelle estive (se l'impianto viene utilizzato durante tutto l'anno). Una valutazione normalmente accettata è quella di utilizzare il valore della latitudine del luogo in esame diminuito di 10°.

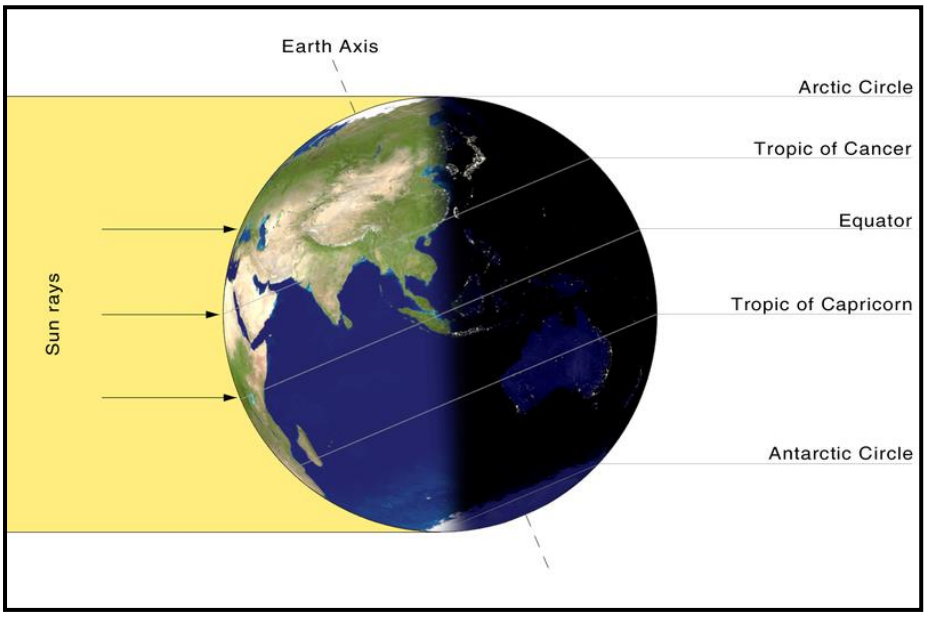


Figura 3.3-1. Inclinazione dell'asse terrestre, FONTE: Earth in the Solar System: eitssks.weebly.co

L'inclinazione del piano del collettore è un fattore che influisce sulla capacità del pannello di assorbire in maniera ottimale la radiazione incidente, come riassunto in **Tabella 3.3-1.**

PVGIS permette di tabellare l'irraggiamento a diverse angolazioni, così da poter valutare la più adatta all'obiettivo specifico, ovvero quello di massimizzare la produzione. I valori di irraggiamento così valutato (tramite il Database Climate-PVGIS, più preciso rispetto al Classic) verranno confrontati con i dati ottenuti dalla serie storica dell'Arpa, misurati invece su piano orizzontale.

	Radiazione solare giornaliera media [kWh/m^2]					
	ARPA	**CLIMATE-SAF PVGIS**	**CLIMATE-SAF PVGIS**	**CLIMATE-SAF PVGIS**	**CLIMATE-SAF PVGIS**	**CLIMATE-SAF PVGIS**
	α=0°	α=20°	α=25°	α=35°	α=40°	α=50°
gennaio	1,23	1,68	1,78	1,96	2,03	2,13
febbraio	2,07	3,11	3,28	3,55	3,66	3,79
marzo	3,55	4,64	4,79	5,00	5,06	5,09
aprile	4,66	5,32	5,38	5,40	5,36	5,19
maggio	5,86	6,40	6,37	6,22	6,09	5,71
giugno	6,53	6,86	6,78	6,53	6,34	5,87
luglio	6,65	7,32	7,26	7,02	6,83	6,35
agosto	5,65	6,45	6,49	6,44	6,36	6,07
settembre	4,01	5,19	5,33	5,48	5,52	5,47
ottobre	2,15	3,16	3,29	3,48	3,54	3,61
novembre	1,26	1,94	2,05	2,23	2,30	2,41
dicembre	1,05	1,65	1,77	1,96	2,05	2,17
TOTALE	44,67	53,72	54,57	55,27	55,14	53,86

Tabella 3.3-1. Radiazione incidente alle varie inclinazioni del pannello

Dalla **Figura 3.3-2** sono visibili gli andamenti della radiazione al suolo per ogni mese in funzione dell'angolo di inclinazione:

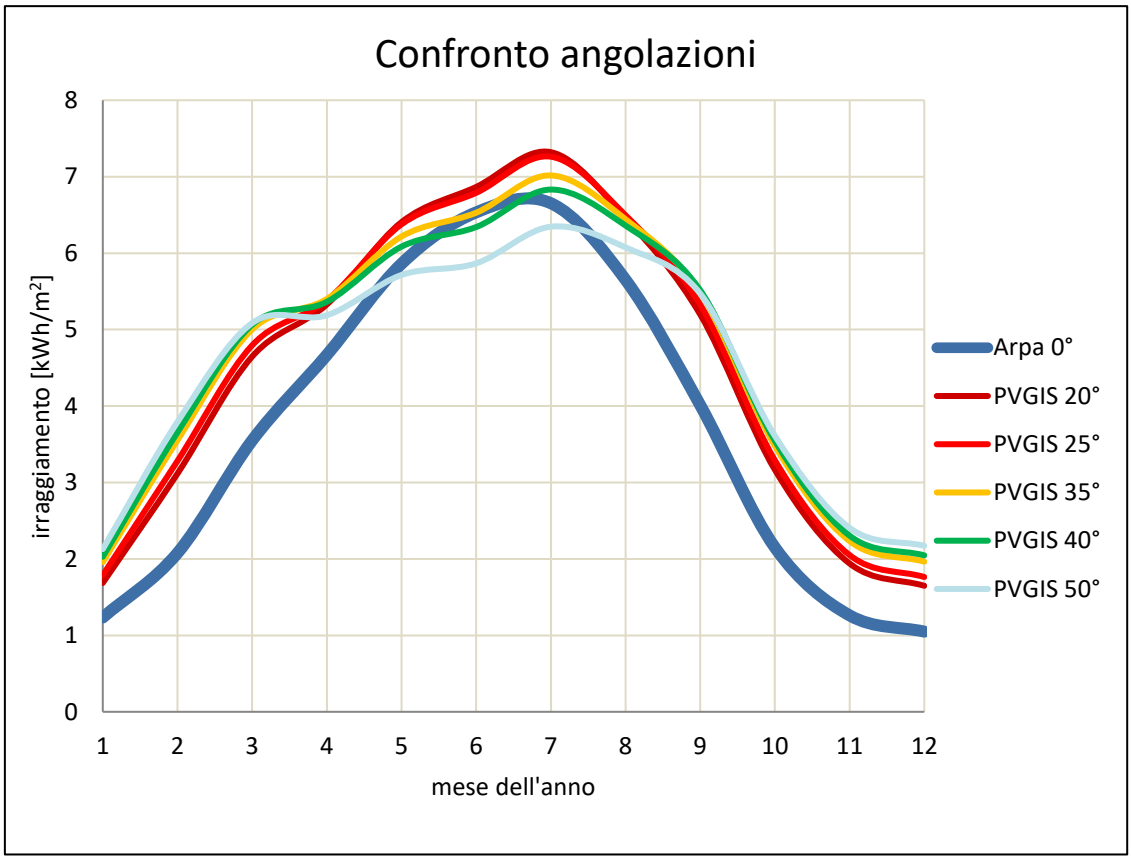


Figura 3.3-2. Confronto a diversi angoli di inclinazione

Le curve PVGIS mostrano scostamenti significativi esclusivamente nel periodo estivo.

La valutazione dell'angolo di progetto viene effettuata con l'obiettivo di massimizzare l'energia captata dal pannello. Per valutare questa quantità è necessario un confronto con l'energia termica totale prodotta dai motori, dalle caldaie e dalle pompe di calore installate in centrale[19].

L'angolo di inclinazione ottimale verrà perciò selezionato in rapporto al contributo che la radiazione solare è in grado di fornire rispetto alla produzione di calore da

[19] Primo nucleo installato

fonte tradizionale (**Tabella 3.3-2**) (dove I è l'irraggiamento incidente [kWh/m^2] moltiplicato per l'area lorda del campo solare (500 m^2)).

L'anno viene pertanto diviso in due sezioni aventi necessità di energia termica nettamente diverse:

- la stagione termica invernale: da ottobre ad aprile
- la stagione termica estiva: da maggio a settembre

	Stagione termica invernale: 2 motori + 3 caldaie + 3 pompe di calore	**Stagione termica estiva: 2 motori + 2 pompe di calore**
Energia termica totale in centrale [KWht]	**73.609.578**	**11.506.304**
I [kWh t]: PVGIS α=0°	483	879
I [kWh t]: PVGIS α=20°	651	987
I [kWh t]: PVGIS α=25°	675	987
I [kWh t]: PVGIS α=35°	713	970
I [kWh t]: PVGIS α=40°	725	953
I [kWh t]: PVGIS α=50°	737	902

Tabella 3.3-2. Energia termica complessiva prodotta dalla centrale (file aziendale) - Irraggiamento captato alle diverse angolazioni

Per agevolare il confronto si passa alla valutazione percentuale (contributo solare dato dalla radiazione captata/contributo globale della centrale):

Confronto in percentuale: Irraggiamento solare-en. termica centrale	**Stagione termica invernale: 2 motori + 3 caldaie + 3 pompe di calore**	**Stagione termica estiva: 2 motori + 2 pompe di calore**
PVGIS α=0°	0,33%	3,82%
PVGIS α=20°	0,44%	4,29%
PVGIS α=25°	0,46%	4,29%
PVGIS α=35°	0,48%	4,22%
PVGIS α=40°	0,49%	4,14%
PVGIS α=50°	0,50%	3,92%

Tabella 3.3-3. Energia termica complessiva prodotta dalla centrale (file aziendale) - Irraggiamento captato alle diverse angolazioni, confronto percentuale

La **Tabella 3.3-3** attesta una netta differenza di copertura nelle due stagioni delineate. La stagione termica estiva presenta una percentuale superiore, di circa il 4%, dai 20° ai 35°. Nella stagione termica invernale invece il risultato più favorevole non supera lo 0,5% con inclinazione 50°.

Il seguente grafico chiarisce meglio il range ottimale entro cui avverrà la valutazione (tratteggiato in rosso).

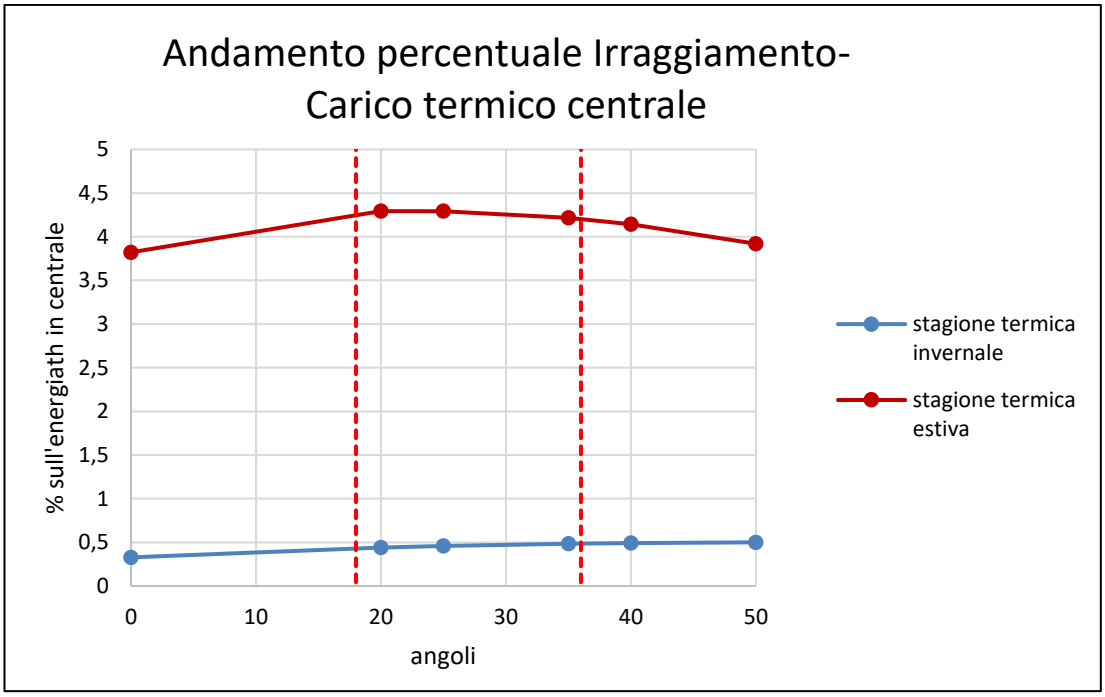


Figura 3.3-3. Energia termica complessiva prodotta dalla centrale-Irraggiamento captato alle diverse angolazioni, confronto percentuale

Tra 20° e 35° di inclinazione non si apprezzano significative variazioni nel contributo fornito dalla radiazione solare. Pertanto le successive analisi di produzione saranno effettuate con α=35°, convenzionalmente assunto come angolo di inclinazione standard.

3.3.1 Valutazione teorica del dato di irraggiamento all'inclinazione ottimale

La radiazione totale si divide in tre componenti: diffusa, diretta e riflessa. Per il caso in esame è trascurata, come di norma in applicazioni simili, la riflessa.

Con l'ipotesi di isotropia (*Liu e Jordan*, 1963), [20] la radiazione totale incidente su una superficie inclinata sotto forma di potenza è così definita:

$$I = I_b \, R_b \; + \; I_d \; (\frac{1 + cos\beta}{2})$$

Equazione 3.3-1. Radiazione totale

Dove

- I_b è la componente diretta (*beam*) [kWh/m^2]
- R_b è un fattore geometrico che dipende dall'inclinazione della superficie captante, ricavato come frazione tra la radiazione diretta sulla superficie orizzontale e la radiazione diretta su superficie inclinata, normalmente valutato su base mensile [-]
- I_d è la componente diffusa [kWh/m^2]
- β è l'angolo di *tilt*, l'inclinazione del pannello [°]

Nel caso di studio i dati Arpa sono stati misurati con angolo pari a 0°, mentre le valutazioni saranno fatte tramite una inclinazione pari a 35°.

Teoricamente il dato andrebbe così trattato:

$$I_{0^\circ} \; = I_{d,0^\circ} \; + \; I_{b,0^\circ}$$

Equazione 3.3-2. Componenti radiazione totale

[20] J.A. Duffie & W.A.Beckman, *Solar Engineering of thermal processes*, Hoboken (New Jersey), 2006, Terza edizione, pag.94

Partendo dal valore misurato sulla superficie orizzontale, le due componenti diretta e diffusa sono divise e moltiplicate per i rispettivi coefficienti per ottenere il dato all'inclinazione desiderata.

$$I_{35°} = I_{d,0°}\left(\frac{1+cos\beta}{2}\right) + I_{b,0°}\ R_b$$

Equazione 3.3-3. Radiazione valutata a 35°

Non disponendo del dato nelle sue due componenti, i due fattori moltiplicativi confluiranno in unico coefficiente empirico valutato su base mensile.

3.3.2 Valutazione del dato di irraggiamento all'inclinazione scelta

I dati della radiazione media giornaliera del database ARPA sono stati misurati con una inclinazione pari a 0°, cioè sulla superficie orizzontale. Questa configurazione non consente di massimizzare la produzione.

Per definire un valore più aderente alle condizioni dell'impianto in esame, dove i pannelli saranno inclinati di α=35°, i valori misurati dall'ARPA saranno moltiplicati per un coefficiente empirico K_i così definito:

$$K_i = \frac{\bar{I}_{PVGIS,\ \alpha=35°,\ i}}{\bar{I}_{PVGIS,\ \alpha=0°,\ i}} \quad \text{con } i\text{= 1, 2, …12}$$

Equazione 3.3-4. Coefficiente empirico K_i

Dove

- $\bar{I}_{PVGIS,\ \alpha=35°,i}$ è l'irraggiamento globale medio del mese i-esimo calcolato tramite il database CLIMATE-SAF PVGIS con inclinazione 35°, [kWh/m^2]
- $\bar{I}_{PVGIS,\ \alpha=0°,i}$ è l'irraggiamento globale medio del mese i-esimo calcolato sulla base del database CLIMATE-SAF PVGIS con inclinazione 0°, [kWh/m^2]
- $i = 1 = gennaio\ ; i = 2 = febbraio\ldots\ i = 12 = dicembre;$

	Valore CLIMATE-SAF α=0° [kWh/m²]	Valore CLIMATE-SAF, α=35° [kWh/m²]	coefficiente K_i [-]
gennaio	1,19	1,96	1,64
febbraio	2,28	3,55	1,56
marzo	3,81	5,00	1,31
aprile	4,82	5,40	1,12
maggio	6,17	6,22	1,01
giugno	6,80	6,53	0,96
luglio	7,16	7,02	0,98
agosto	5,97	6,44	1,08
settembre	4,39	5,49	1,25
ottobre	2,51	3,48	1,39
novembre	1,41	2,23	1,59
dicembre	1,10	1,96	1,79

Tabella 3.3-4. Calcolo del coefficiente K_i

Ricavato il coefficiente per ogni mese i-esimo (**Tabella 3.3-4**) i valori medi orari ottenuti dal database ARPA sono stati moltiplicati per il rispettivo valore K_i.

È stato così ottenuto una banca dati di partenza per il calcolo della produzione dei pannelli solari dell'impianto (in **Tabella 3.3-5** il resoconto mensile).

	coefficiente K_i [-]	I [kWh/m^2]
gennaio	1,64	62,74
febbraio	1,56	90,49
marzo	1,31	144,52
aprile	1,12	156,80
maggio	1,01	183,00
giugno	0,96	188,08
luglio	0,98	202,23
agosto	1,08	189,22
settembre	1,25	150,11
ottobre	1,39	92,35
novembre	1,59	60,01
dicembre	1,79	58,19

Tabella 3.3-5. Irraggiamento mensile valutato dai dati ARPA moltiplicati per il coefficiente K_i

Il dato orario giornaliero è presente nell'Appendice a pagina 159. In **Figura 3.3-4** è riassunto l'andamento giornaliero della radiazione valutato ogni 20 giorni.

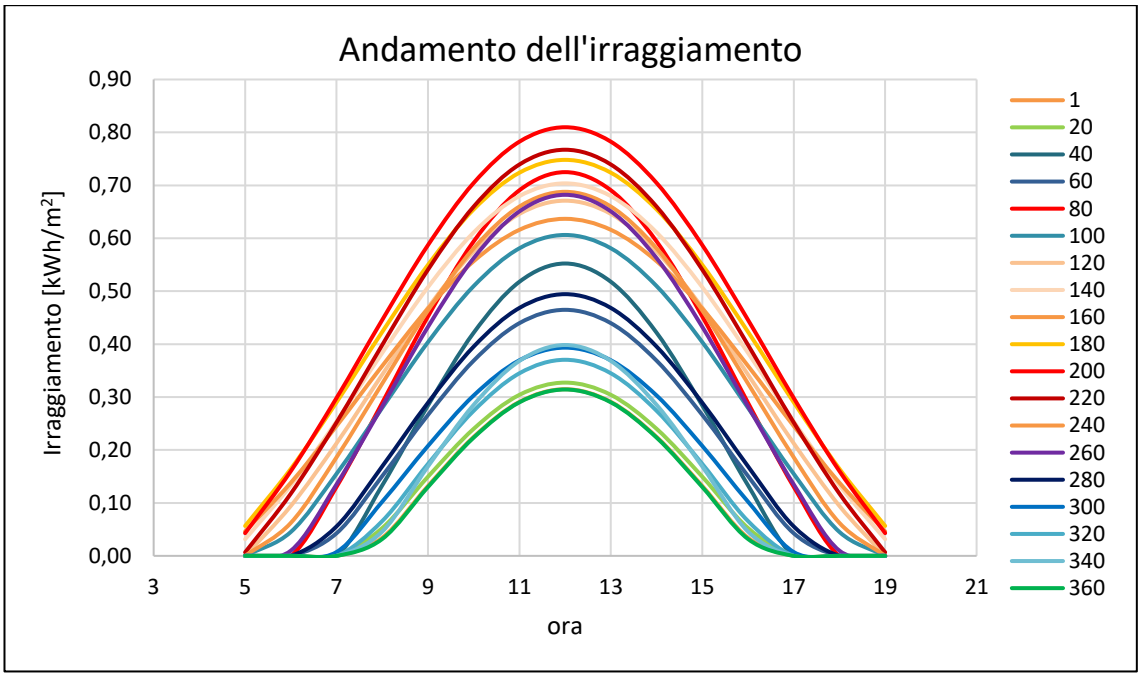


Figura 3.3-4. Andamento dell'irraggiamento con un intervallo di 20 giorni (dal giorno 1 al giorno 360)

È possibile sintetizzare i valori ricavati per ogni ora di luce dell'anno in una cumulata, avente come asse delle ascisse le ore da 1 a 4364, corrispondenti al totale di ore di luce nell'anno (all'incirca la metà delle totali 8760), e come ordinate i valori di irraggiamento orario, da 0,00 kWh a 0,85 kWh.

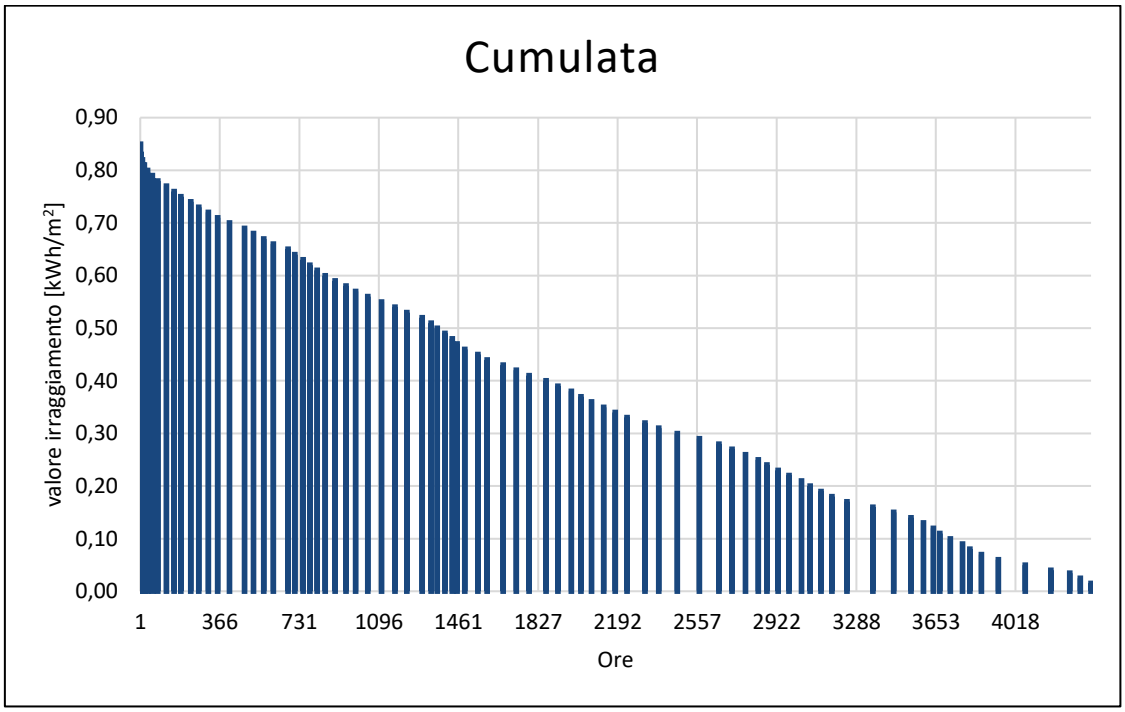


Figura 3.3-5. Cumulata-Ore di irraggiamento

La **Figura 3.3-5** fornisce quindi una indicazione sulla frequenza di un dato irraggiamento: il valore massimo (pari a 0,85 kWh/m^2) è fornito per una sola ora durante l'intero anno, mentre un valore minore come 0,20 kWh/m^2 per oltre 3.000 ore.

Per quanto riguarda la temperatura, il dato fornito dall'Arpa è una media giornaliera costante sulle 24 ore. Risulta pertanto molto inferiore alla reale temperatura a cui l'impianto viene utilizzato (comprendente le sole ore di luce).

La valutazione oraria necessaria è stata ricavata quindi tramite il software PVGIS alle diverse ore di interesse (**Tabella 3.3-6**).

	Temperatura oraria [°C]											
Ore	**gen**	**feb**	**marz**	**apr**	**mag**	**giu**	**lugl**	**ago**	**set**	**ott**	**nov**	**dic**
5	2,0	1,5	5,9	10,8	15,2	19,6	22,5	21,5	17,3	12,0	7,7	3,3
6	2,1	1,7	6,2	11,2	16,0	20,1	23,0	21,9	17,7	12,2	7,9	3,4
7	2,5	2,6	7,5	12,5	17,0	21,3	24,3	23,2	18,9	13,2	8,5	3,8
8	3,1	3,9	9,2	14,1	18,3	22,5	25,7	24,7	20,4	14,5	9,4	4,6
9	4,1	5,2	10,9	15,5	19,5	23,7	27,0	26,1	21,8	15,8	10,4	5,5
10	5,3	6,4	12,0	16,4	20,3	24,5	28,0	27,0	22,8	16,8	11,4	6,6
11	6,4	7,3	12,8	17,1	20,8	25,2	28,7	27,7	23,5	17,5	12,2	7,6
12	7,3	8,2	13,3	17,5	21,1	25,6	29,2	28,2	24,1	18,0	12,8	8,3
13	7,8	8,8	13,7	17,9	21,3	25,8	29,4	28,6	24,6	18,4	13,2	8,6
14	7,8	9,0	13,8	17,9	21,3	25,9	29,5	28,8	24,8	18,5	13,2	8,4
15	7,3	8,7	13,5	17,6	21,1	25,7	29,2	28,7	24,4	18,2	12,8	7,9
16	6,5	7,7	12,6	16,8	20,5	25,2	28,7	28,0	23,5	17,3	12,0	7,1
17	5,5	6,5	11,4	15,6	19,6	24,4	27,9	27,0	22,3	16,3	11,0	6,1
18	4,7	5,3	10,3	14,5	18,5	23,4	26,8	25,8	21,1	15,3	10,1	5,3
19	4,1	4,5	9,5	13,6	17,4	22,1	25,6	24,7	20,2	14,5	9,6	4,7

Tabella 3.3-6. Database temperature, FONTE: PVGIS

4 COLLETTORI SOLARI TERMICI

4.1 LE CARATTERISTICHE

Il collettore solare, o pannello, costituisce il fulcro dell'impianto solare termico.
Esso permette di trasformare l'energia proveniente dal Sole in energia termica utilizzata per riscaldare il fluido termovettore.
Questo fluido influisce sull'intero funzionamento dell'impianto solare poiché determina la massima temperatura raggiungibile.

I principali aspetti che influenzano la scelta di un fluido termovettore possono essere così sintetizzati:

- L'ebollizione/la solidificazione in caso di raggiungimento di temperature molto alte/basse
- La pressione di esercizio
- Le interazioni chimiche e fisiche con i materiali utilizzati nell'impianto
- Le conseguenze sull'ambiente in caso di dispersione involontaria
- Il costo
- Lo smaltimento a fine vita.

La soluzione più utilizzata è quella di acqua diluita con glicole propilenico come antigelo. Questa soluzione viene venduta premiscelata, ma col passare degli anni perde le proprietà di antigelo e anticorrosione. È quindi indicato sostituire il fluido ogni tre/quattro anni.

Il collettore si basa sul principio dell'effetto serra: l'obiettivo è la captazione della radiazione incidente limitando il più possibile l'effetto del re-irraggiamento.
L'energia solare (sotto forma di radiazione) raggiunge la piastra (componente essenziale del collettore, di cui si parlerà nello specifico nel sottocapitolo successivo) con una lunghezza d'onda inferiore ai 3 μm. Questa superficie

assorbente si trova ad una temperatura minore di quella del Sole, perciò emette radiazioni ad una lunghezza d'onda maggiore rispetto a quelle ricevute (zona dell'infrarosso). Sopra alla piastra è quindi applicata una lastra vetrata che ha l'obiettivo di imprigionare all'interno del sistema la radiazione. Questo è possibile grazie alla sua opacità nei confronti delle radiazioni dell'infrarosso termico (radiazione emessa) e trasparente alla radiazione solare (radiazione ricevuta).

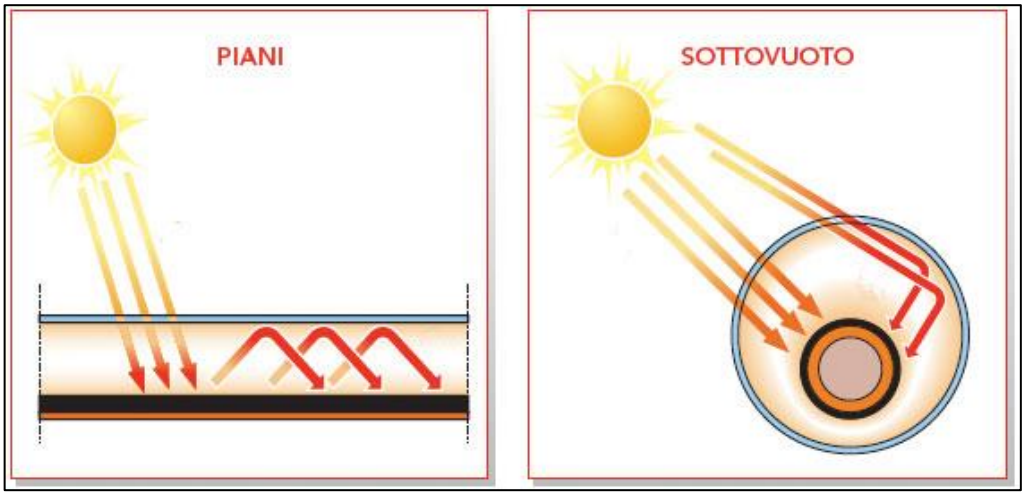


Figura 4.1-1. Effetto serra nei pannelli solari Save Energy

È necessario che un buon collettore abbia un sistema di captazione che presenti due proprietà in particolare:

- elevato assorbimento
- bassa emissività.

Con emissività si intende la frazione di energia che viene irraggiata da un materiale rispetto a quella irraggiata da un corpo nero considerato alla stessa temperatura. L'assorbimento è la capacità di carpire la radiazione incidente in forma di energia.

Gli scambi termici a cui il collettore è sottoposto sono di tre tipi:

- conduzione
- convezione
- irraggiamento.

Lo scambio termico conduttivo ha come *driving force* la differenza di temperatura tra due corpi. Il calore viene trasmesso dalla zona a temperatura maggiore (T1) verso la zona a temperatura minore (T2) e può essere descritto dal postulato di Fourier (caso di parete piana e isotropa, condizioni stazionarie senza generazione di calore):

$$q_{cond} = \lambda \times \frac{(T1 \ - \ T2\,)}{L}$$

Equazione 4.1-1. Scambio conduttivo

Dove:

- λ è la conducibilità termica [W/mK]
- L è lo spessore del materiale [m]

La convezione interessa lo scambio termico tra un corpo ed un fluido, posti a temperatura differente che può essere quantificato attraverso la relazione empirica:

$$q_{conv} = h \times (T_p - T_\infty)$$

Equazione 4.1-2. Scambio convettivo

Dove:

- q_{conv} è il flusso di calore [W/m^2]
- T_p è la temperatura della superficie [K]
- T∞ è la temperatura del fluido [K]
- h è il coefficiente convettivo [W/m^2/K].

L'irraggiamento è lo scambio di energia attraverso onde elettromagnetiche. La legge di Stefan-Boltzmann definisce l'energia emessa da un corpo nero in funzione della propria temperatura:

$$q_{irr} = \sigma_0 \times T^4$$

Equazione 4.1-3. Scambio termico dovuto all'irraggiamento per un corpo nero

Dove:

- σ_0 è la costante di Planck pari a 5,67 x 10^{-8} [W/m^2/K^4]
- T è la temperatura del corpo [K]

Per i corpi non neri si tiene conto della minore emissività tramite un coefficiente a <1:

$$q_{irr} = a \times \sigma_0 \times T^4$$

Equazione 4.1-4. Scambio termico dovuto all'irraggiamento per un corpo non nero

4.2 TIPOLOGIE DI COLLETTORI

Verranno ora descritte e valutate le varie tipologie di collettori in commercio.

4.2.1 Pannelli piani vetrati

La tecnologia dei collettori solari piani vetrati è la più diffusa in Europa.

Il pannello piano è costituito da una piastra captante formata da materiali metallici come il rame, l'alluminio e l'acciaio, i quali sono scelti per agevolare lo scambio termico, ma anche per la loro resistenza alla corrosione e la bassa inerzia per incentivare l'avviamento.

Investita dalla radiazione solare, la piastra aumenta la propria temperatura, fenomeno che consente il trasferimento di calore al fluido passante nei tubi saldati sulla piastra stessa.

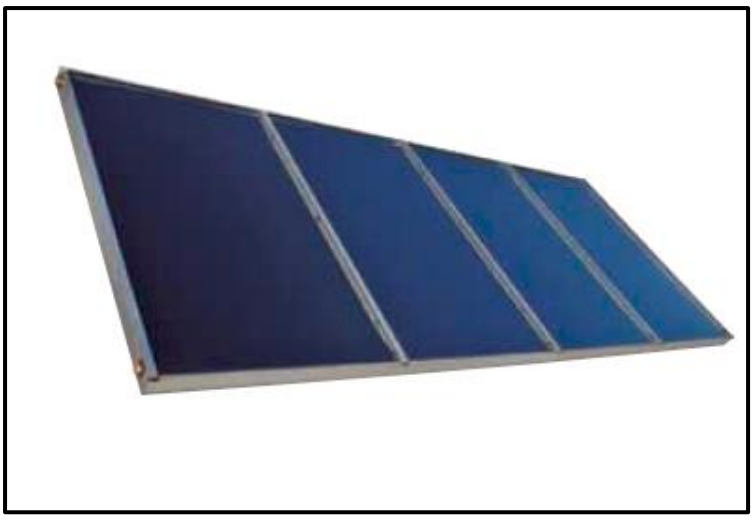


Figura 4.2-1. pannello piano vetrato Viessmann Vitosol 200-F

La piastra captante può essere ricoperta da una vernice selettiva che ne migliori la capacità di assorbimento per le lunghezze d'onda tipiche della radiazione solare. Dal momento che le perdite termiche rivestono grande importanza in un sistema il cui obiettivo è quello di rilasciare minore calore possibile, sui lati del collettore e posteriormente è applicato uno strato isolante (poliuretano, lana di roccia, lana di vetro) per limitare la conduzione. Il collettore presenta inoltre una copertura vetrata, che può essere singola o doppia, trasparente per la radiazione solare e

opaca per la radiazione emessa dall'assorbitore. La presenza del vetro limita le perdite per convezione ma comporta perdite di tipo ottico, che aumentano ulteriormente con l'applicazione del secondo vetro. Per questo motivo spesso la seconda lastra di vetro viene sostituita da un foglio isolante trasparente TIM (*transparent insulation material*). Il vetro è inoltre temprato per proteggere il collettore dagli agenti naturali come vento, grandine, neve. L'ultimo elemento che compone questo tipo di pannelli è l'involucro di contenimento, il quale protegge gli altri costituenti e limita ulteriormente le dispersioni termiche.

Nei dimensionamenti e nelle schede tecniche viene considerata la superficie del collettore; è doveroso quindi fare una distinzione tra i vari tipi di aree:

- la superficie della piastra viene definita superficie "*assorbente*",
- la lastra vetrata/copertura trasparente si chiama superficie "*aperta*",
- la totale area del pannello è la superficie "*lorda*" (comprendente anche la cornice esterna).

Questi pannelli sono i più utilizzati in ambito civile sia per la loro affidabilità (sono da anni sul mercato), sia per i costi contenuti (circa 350-400 €/m^2). Sono utilizzati principalmente per produrre acqua calda sanitaria e possono raggiungere i 90-95°C, sebbene le temperature ottimali di lavoro si attestino intorno ai 65°C (oltre i quali i rendimenti iniziano a scendere). In linea generale presentano rendimenti inferiori rispetto ai pannelli con tubi sottovuoto.

4.2.2 Collettori sottovuoto

Questa tipologia di collettori è costituita da una serie di tubi in vetro sottovuoto collegati in parallelo, all'interno dei quali sono posti gli assorbitori. Tale tecnologia risulta essere molto più sofisticata di quella a collettori piani e ciò si traduce in prestazioni mediamente più elevate. La captazione della radiazione è favorita dal sistema di tubi coassiali in vetro, la cui forma cilindrica aiuta l'esposizione, entro il quale viene fatto il vuoto, così da ottenere ottime caratteristiche di assorbimento e contenuta riflessione. Questa tecnologia risulta quindi essere molto efficiente anche in zone con temperature esterne rigide.

Figura 4.2-2. Pannello a tubi sottovuoto Vitosol 222-T

Si può ottenere acqua fino a 120°C, caratteristica che permette al pannello di essere utilizzato anche in campi industriali e agricoli o per *cooling system*. D'altra parte in caso di stagnazione si rischia di raggiungere i 250°C, temperatura che deteriora le guarnizioni e riduce la vita utile del collettore. Il più grande freno di questa tecnologia risulta essere il costo (all'incirca 800-900 €/m^2).

Le tre tipologie principali dei tubi sottovuoto sono:

a) *Vacuum tube*: questo tipo di collettori non è efficiente come i *flat plate* quando si lavora a basse temperature di ingresso del fluido termovettore a causa delle perdite ottiche, ma è di gran lunga superiore oltre i 100°C e con basso irraggiamento.

b) *Heat pipe* (tubi di calore): presenta una coppia concentrica di tubi; il più interno è riempito con un alcol avente bassa temperatura di evaporazione che quindi, sotto effetto della radiazione solare, condensa cedendo calore al fluido termovettore posto nel tubo esterno. L'alcol quindi si raffredda, ricondensa e riscende al fondo del tubo.

c) *Sydney tubes*: detti anche tubi in tubi o *U-tube,* presentano una tubazione ad U ed un riflettore al di sotto del collettore per aumentare la radiazione captata.

4.2.3 Pannelli piani non vetrati

I pannelli non vetrati sono privi di una copertura protettiva, per questo sono anche detti "scoperti". Sono semplici dal punto di vista impiantistico ed economici, ma questo risulta essere il loro unico pregio. Essendo costituiti da un materiale plastico (PVC) l'assorbimento è favorito esclusivamente dal colore scuro dei pannelli. Per questo motivo il loro utilizzo è riservato ai mesi estivi ed il loro principale impiego è legato al riscaldamento delle piscine, in cui non c'è necessità di accumulo poiché riscaldano direttamente l'acqua che viene poi utilizzata in vasca. Dal momento che la temperatura massima raggiungibile è intorno ai 40°C, temperatura troppo bassa per l'eventuale utilizzo legato al teleriscaldamento, questa tecnologia non verrà presa in considerazione nei prossimi confronti.

4.2.4 Pannelli ad aria

I pannelli ad aria sono poco diffusi in Italia. Simili ai pannelli formati da collettori piani, la differenza sostanziale risiede nel diverso fluido termovettore: l'aria. L'assorbitore è una piastra metallica sopra cui scorre il fluido che viene così riscaldato. Vengono principalmente utilizzati per riscaldare gli ambienti ed essiccare prodotti agricoli. Il vantaggio fondamentale è la mancanza delle problematiche tipiche degli altri tipi di collettori: le perdite, il gelo, le incrostazioni. D'altra parte l'efficienza è molto bassa a causa delle proprietà termofisiche dell'aria. Anche questa tecnologia non rispetta i requisiti minimi di temperatura ed efficienza richiesti per il caso in studio; non verrà quindi studiata nello specifico.

4.2.5 Solare termico a concentrazione

La tecnologia del CSP (*Concentrated Solar Power*) permette di trasformare l'energia solare in energia elettrica, tramite concentrazione ottica e conseguenti cicli termodinamici. Utilizza esclusivamente la radiazione diretta e permette l'accumulo e lo stoccaggio di energia, ma non è attuabile in impianti di piccole dimensioni. Inoltre, dipendendo dalla presenza di radiazione solare, non è possibile una erogazione del servizio continua. Il fluido termovettore usato, per le temperature raggiunte (quasi 400°C), non può essere acqua: generalmente viene

utilizzato un olio sintetico. Per questa serie di ragioni anche questa tecnologia non può venir valutata nel progetto.

4.3 CONFRONTO TRA TECNOLOGIE DEI PANNELLI SOLARI

Il confronto e la successiva scelta verranno effettuati tramite le due seguenti tecnologie: il collettore piano vetrato ed il collettore a tubi sottovuoto. In primo luogo sono state confrontate le caratteristiche generali di ciascuno: costi generici, schede tecniche.

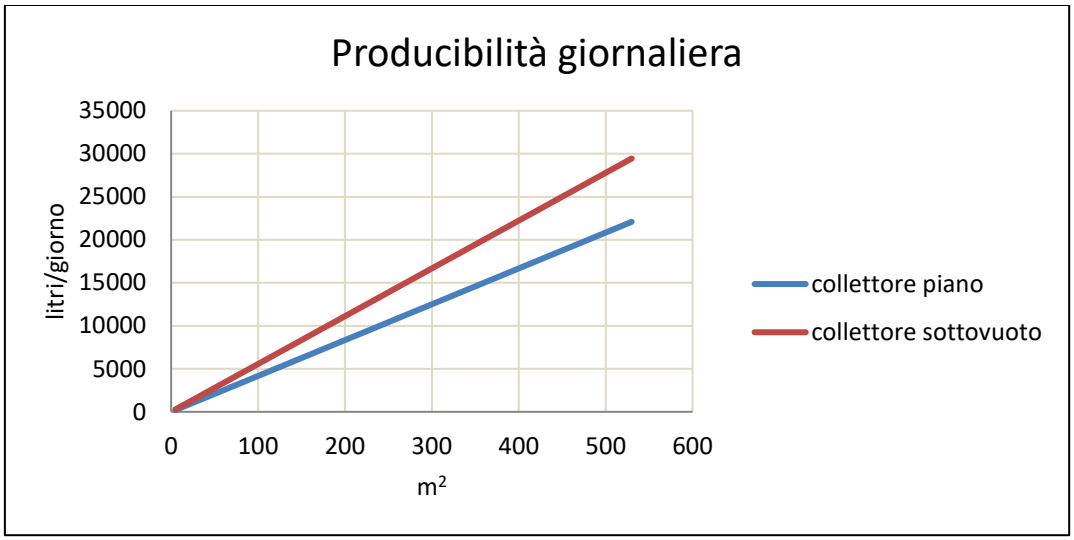


Figura 4.3-1. Produzione in litri giornalieri valutati all'unità di superficie

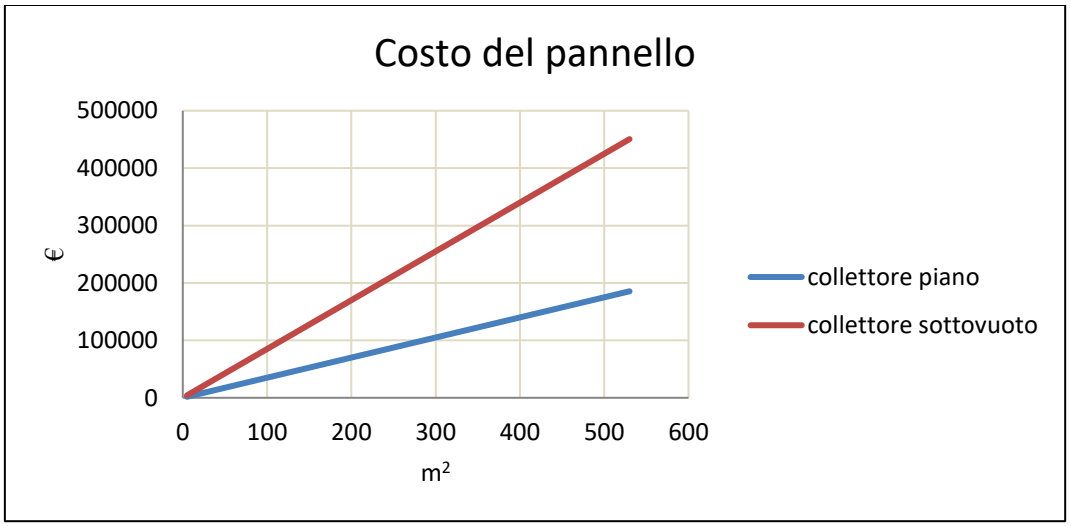


Figura 4.3-2. Costo del pannello per unità di superficie

Utilizzando dati di costo e produzione valutati per l'unità di superficie[21], i due grafici sovrastanti forniscono una valutazione generica (**Figura 4.3-1**,**Figura 4.3-2**).

I collettori sottovuoto hanno un costo elevato che dista considerevolmente da quello dei pannelli piani e la producibilità mantiene questo trend, sebbene in modo meno evidente.

Utilizzando un approccio diverso, è possibile confrontare le due tecnologie soffermandosi su alcuni coefficienti in particolare forniti tramite scheda tecnica:

- η_0, efficienza ottica: il massimo rendimento del collettore in condizioni ideali (trascurando quindi le perdite termiche) [-];
- a_1, a_2 parametri di perdita termica [$W/m^2/K$], [$W/m^2/K^2$];

In linea generale i due coefficienti di perdita indicano quanto l'efficienza del collettore risenta dell'aumentare del ΔT tra fluido termovettore e ambiente esterno. L'efficienza ottica è invece un parametro puramente teorico che descrive una situazione di totale assenza di trasmissione di calore verso l'esterno. È chiaro quindi che un buon collettore debba presentare un rendimento ottico elevato e i parametri di perdita termica contenuti.

Al variare delle temperature di funzionamento il risultato del confronto si modifica. Lontani dalle condizioni di funzionamento *standard* il ruolo dei parametri di perdita termica assume una importanza decisiva.

Come esempio viene allegata la scheda tecnica di un collettore[22].

[21]Energie Rinnovabili ed Efficienza Energetica Nextville, *Solare termico, valutazioni economiche*, www.nextville.it

[22] Atag Italia, *Solare termico*, www.atagitalia.com

Collettore solare piano JODO

		JODO 200	JODO 250
DIMENSIONI	mm	2060x1010x90	2060x1280x90
SUPERFICIE LORDA	m^2	2,07	2,61
SUPERFICIE NETTA DI CAPTAZIONE	m^2	1,8	2,32
PRESSIONE MAX	bar	7	7
FATTORE DI CONVERSIONE	η0	0,740	
COEFF. DI PERDITA TERMICA (A1)	W/m^2K	3,9	
COEFF. DI PERDITA TERMICA (A2)	W/m^2K	0,013	
CONTENUTO LIQUIDO	lt	1,7	2,7
TEMPERATURA DI RISTAGNO	°C	142	142
ASSORBIMENTO	%	95	95
EMISSIONE	%	5	5
PESO A VUOTO	Kg	41	48
PORTATA	l/min	0,3 - 0,7	0,3 - 0,7
INCLINAZIONE COLLETTORE	°	20 - 75	20 - 75
GRADO DI PROTEZIONE		IPX4	

Figura 4.3-3. Scheda tecnica pannello piano vetrato JODO

Collettore solare sottovuoto JODO

		JODOVHP20	JODOVHP25	JODOVHP30
DIMENSIONI	mm	2030x1720x150	2030x2110x150	2030x2500x150
NUMERO TUBI		20	25	30
SUP. LORDA	m^2	2,8	3,5	4,2
SUP. APERTURA	m^2	1,8	2,3	2,7
SUP. ASSORBIMENTO	m^2	1,6	2	2,5
FATTORE DI CONVERSIONE	η0	0,734	0,734	0,734
COEFF. DI PERDITA TERMICA (A1)	W/m^2K	1,529	1,529	1,529
COEFF. DI PERDITA TERMICA (A2)	W/m^2K	0,0166	0,0166	0,0166
CAPACITA' TERMICA	KJ/Km^2	15,6	15,6	15,6
CONTENUTO D'ACQUA	lt	1,6	2,0	2,3
PORTATA	lt/min	0,8	0,8	0,8
TEMPERATURA DI STAGNAZIONE	°C	200	200	200
INCLINAZIONE MINIMA	°	20	20	20
INCLINAZIONE MASSIMA	°	55	55	55
PESO A VUOTO	Kg	70	88	106
PRESSIONE MAX	bar	10	10	10

Figura 4.3-4. Scheda tecnica pannello sottovuoto JODO

Focalizzando l'attenzione esclusivamente sui parametri appena descritti, i rendimenti ottici non sembrano variare particolarmente tra le due tecnologie, mentre i parametri di perdita termica del sottovuoto mostrano un valore decisamente migliore.

Dopo la comparazione di diverse schede tecniche questo trend viene confermato globalmente (**Tabella 4.3-1**)

	Collettore piano			**Collettore sottovuoto**		
	η0	a1 [W/m^{2}K]	a2 [W/m^{2}K^2]	η0	a1 [W/m^{2}K]	a2 [W/m^{2}K^2]
JODO	0,740	3,900	0,013	0,734	1,529	0,016
BERETTA	0,798	4,270	0,003	0,641	1,059	0,004
VIESSMANN	0,793	3,950	0,012	0,766	1,420	0,005
WESTEN	0,789	3,830	0,011	0,605	0,850	0,010
ARISTON	0,738	4,000	0,012	0,821	2,824	0,005

Tabella 4.3-1.Confronto dei parametri tra tipologie collettori divisi per casa produttrice

4.4 VITA MEDIA E DURABILITÀ

La vita media di un impianto solare termico è di circa 25 anni. La sua affidabilità è uno dei motivi principali per cui questa tecnologia ha potuto svilupparsi e diffondersi. Necessari per soddisfare questo tipo di aspettative risultano essere i lavori di manutenzione, che possono essere sintetizzare in: pulizia dei vetri, controllo della concentrazione dell'antigelo e del suo ph. Questi programmi di manutenzione non sono particolarmente onerosi ma necessari per non rendere vani gli investimenti iniziali. Senza controlli periodici o non puntuali la vita si riduce mediamente a 15 anni.

Anche ad un semplice controllo visivo possono rivelarsi chiare problematiche riguardanti i collettori. Le principali sono la deformazione della piastra assorbente (visibile poiché rende la linea della piastra ondulata), e la presenza di condensa sulla copertura in vetro, le quali causano una perdita di efficienza non trascurabile. Le attrezzatture collegate (valvole, saldature, pompe) necessitano invece di controlli più specifici a causa della temperatura molto elevata di lavoro. Ulteriori controlli fondamentali riguardano la portata di fluido termovettore e la pressione all'interno del circuito primario, le quali non devono discostarsi da quelle di progetto. La verifica sulla percentuale di glicole nella miscela antigelo, che

costituisce il fluido termovettore, e il rispettivo ph si aggiunge all'elenco di procedure atte a ottenere un corretto funzionamento. I costi di manutenzione variano da impianto a impianto ma in linea indicativa possono essere considerati attorno al 2% dell'investimento iniziale. [23]

La garanzia sul pannello solare termico è normalmente di 5 anni sul prodotto, e le compagnie assicurative offrono spesso polizze per salvaguardare l'impianto da danni dovuti a fenomeni atmosferici e vandalici.

4.5 CERTIFICAZIONI

Dal 2001 esiste una certificazione univoca per l'Unione Europea del marchio *Solar Keymark* voluto dall'ESTIF (Federazione Europea Industria Solare Termico). I requisiti richiesti dall'UE sono nella forma *standard CEN* (Comitato Europeo di Normazione) e seguono la norma EN 12975-1/2. Definiscono un livello minimo di accettabilità in materia di rendimenti, qualità e prestazioni, mentre la certificazione *Keymark* è volontaria e simbolo di alta qualità. Il Comitato *Ecolabel-Ecoaudit* è un organismo che assegna un marchio di qualità ecologica, ed è un sistema volontario a cui le aziende ricorrono per ottenere una certificazione di eccellenza ambientale legata all'intera vita del prodotto (consumo di energia, inquinamento, gestione dei rifiuti). Il Comitato segue i regolamenti CEE n. 880/92 e n. 1836/93 del Consiglio ed il decreto del Ministro dell'Ambiente del 2 agosto 1995, n. 413.[24]

[23]R. Battisti, *Solare termico, errori da evitare e manutenzione*, www.qualenergia.it, 20/08/2014
[24] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, *Comitato per l'Ecolabel e l'Ecoaudit*, www.minambiente.it, 9/07/2018

4.6 EFFICIENZA

L'efficienza di un pannello solare termico non è una costante fornita dalla scheda tecnica per un dato collettore ma è legata alle condizioni di lavoro.

I parametri necessari al calcolo sono:

- temperatura di esercizio del pannello
- temperatura ambiente
- intensità della radiazione solare incidente.

L'espressione dell'efficienza del collettore solare si può calcolare analiticamente tramite una relazione del tipo:

$$\eta = \eta_0 - a_1 * \frac{\Delta T}{G} - a_2 * \frac{\Delta T^2}{G} \quad [-]$$

Equazione 4.6-1. Rendimento del collettore solare

Dove:

- G è la radiazione solare [W/m^2],
- ΔT è la differenza fra tra la temperatura media del pannello, calcolata come temperatura media tra ingresso e uscita $\frac{T_i + T_u}{2}$, e la temperatura esterna [K],
- a_1 e a_2 costanti caratteristiche del pannello ricavate sperimentalmente [W/m^2K], [W/m^2K^2],
- η_0 è il rendimento ottico [-].

4.7 SELEZIONE DEL TIPO DI COLLETTORE SOLARE

La selezione della tecnologia più adatta all'impianto di teleriscaldamento della città di Alessandria viene effettuata con l'obiettivo di trovare il miglior compromesso tecnico-economico.

Pertanto di seguito verranno analizzati:

1. Il rendimento dei pannelli
2. La temperatura di uscita dal collettore solare
3. La variazione sulle condizioni di progetto

4.7.1 Confronto delle tipologie di pannello solare adatto alle condizioni di progetto

Visti i limiti, i pro e i contro delle tipologie di collettore solare, la scelta effettiva avverrà tramite un confronto tecnico ed economico tra le due tecnologie più diffuse sul mercato: il collettore piano vetrato ed il collettore a tubi sottovuoto.

Una casa produttrice leader nel settore ha proposto per l'impianto in esame due modelli in particolare: un collettore a tubi sottovuoto ed un collettore piano vetrato.

Entrambi i modelli presentano certificato *Solar Keymark* ed *Ecoaudit*. Inoltre il collettore a tubi sottovuoto è dotato di *ThermProtect*, sistema brevettato di protezione alle alte temperature. Questa casa produttrice utilizza vetri puri in silicio, con una ottima caratteristica di bassa riflessione perché privi di ferro, e meandri in rame, il materiale più efficiente come conduttore.

Utilizzando una radiazione G media valutata in caso estivo e in caso invernale ed i coefficienti riportati nella scheda tecnica è stato possibile ricavare l'andamento del rendimento al variare della differenza di temperatura tra fluido e ambiente esterno (tra 0 K che corrisponde alla situazione di rendimento ottico, cioè assenza di perdite termiche, fino a 70 K).

Estate		Inverno	
G medio [W/m^2]	618	G medio [W/m^2]	245

Tabella 4.7-1. Irradianza media

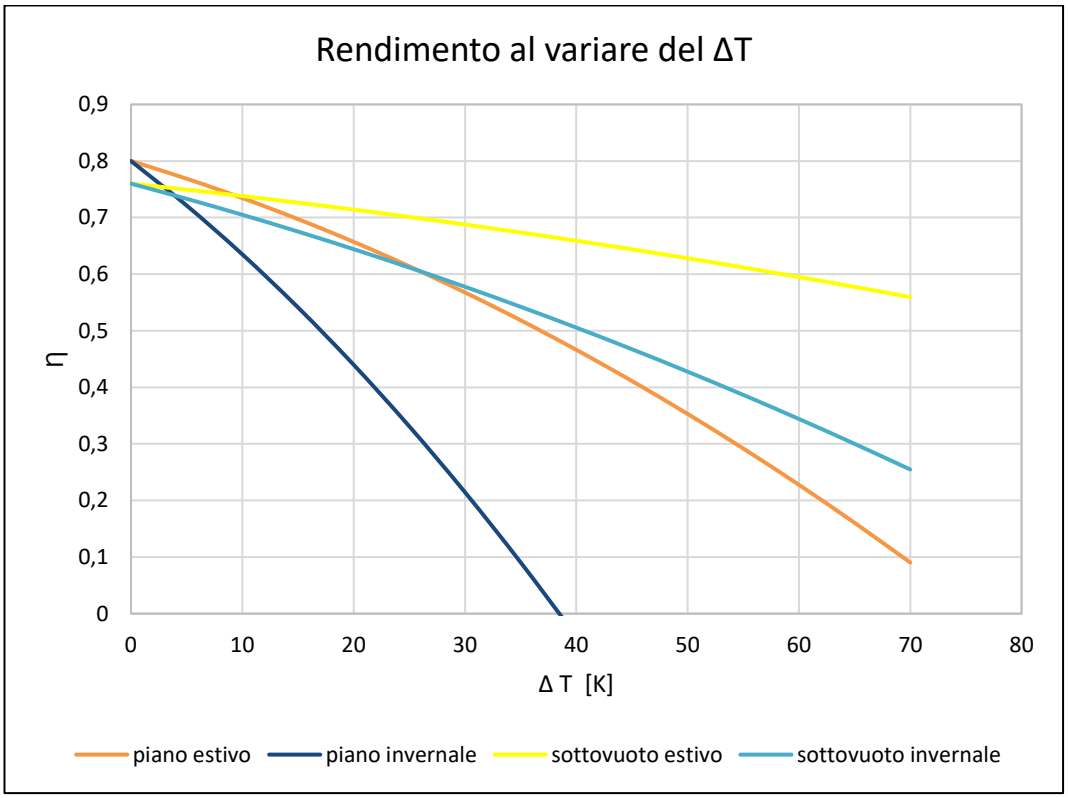


Figura 4.7-1. Rendimento dei pannelli piani vetrati e a tubi sottovuoto nelle due diverse stagioni

Il pannello piano vetrato presenta un rendimento ottico migliore dovuto alla geometria del collettore, ma i coefficienti di perdita termica di primo e secondo grado sono nettamente superiori rispetto al collettore a tubi sottovuoto. Per questo motivo è prevedibile un comportamento migliore del collettore sottovuoto nei mesi invernali, dove le temperature più rigide aumentano le dispersioni termiche.

Verrà valutata la capacità del pannello di lavorare a diverse condizioni ipotizzate, seguendo tre step:

1. Condizione annuale: temperature costanti imposte sull'intero anno
2. Differenziazione delle condizioni tra stagione termica invernale ed estiva
3. Variazione della temperatura in uscita

Le condizioni iniziali di progetto utilizzate per questa parte di studio sono le seguenti:

- Irraggiamento medio giornaliero, valutato tramite la serie storica Arpa, i cui valori sono stati scalati mediante il coefficiente K_i per tenere conto dell'angolo di inclinazione del pannello pari a α=35° (**Tabella 3.3-5**).
- Irraggiamento orario calcolata tramite il coefficiente r (vedere Appendice pag. 174) dall'alba al tramonto. Come esempio segue il valore calcolato per il primo giorno dell'anno (1° Gennaio).

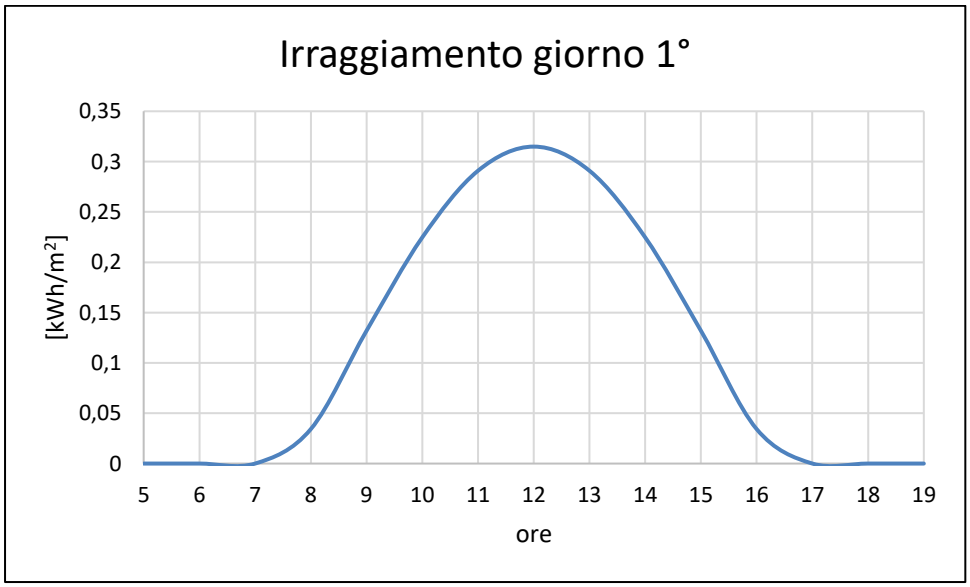


Figura 4.7-2. Irradianza oraria 1° gennaio

- La centrale alimenta la rete di TLR tramite il circuito di mandata, una volta ceduto il calore il vettore termico rientra in centrale ad una temperatura nettamente inferiore. L'impianto solare termico si inserisce in questa rete riscaldando l'acqua del circuito di ritorno e innalzando la temperatura in modo tale da permettere una immissione diretta (tramite scambiatore poiché l'acqua glicolata utilizzata come fluido termovettore non è spendibile nel circuito del TLR) sul circuito di mandata. In questa simulazione non rientra pertanto lo studio dell'accumulo.

Nella valutazione di fattibilità che viene eseguita in questo capitolo l'obiettivo è monitorare la funzionalità del collettore alle temperature desiderate al fine di delineare una tecnologia vincente fra le due proposte. Saranno pertanto imposte una temperatura di mandata e una di ritorno. Le temperature della rete di teleriscaldamento sono state ipotizzate rimanendo fedeli ad impianti di TLR esistenti.

4.7.2 Temperature di utilizzo in impianti di teleriscaldamento

L'azienda ha all'attivo, tra gli altri, due impianti di teleriscaldamento nelle città di Alba e Bra funzionanti rispettivamente dal 1987 e dal 2013.

La temperatura dell'acqua di mandata e ritorno è monitorata 24 ore su 24; è stato quindi possibile ottenere un database di valori per due mesi considerati "caratteristici" per la stagione termica invernale (gennaio) ed estiva(luglio).

Come esempio viene presentato l'andamento nei due mesi (le prime 200 ore) della temperatura di mandata e ritorno relativa alla centrale della città di Bra.

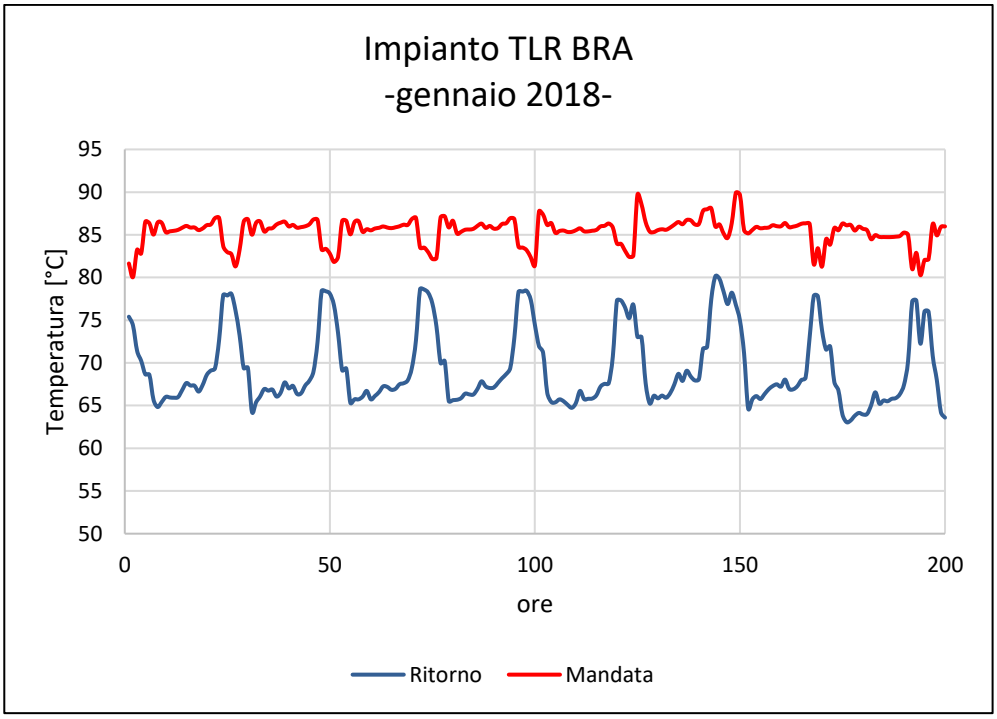


Figura 4.7-3. Temperatura di mandata e ritorno dell'impianto di teleriscaldamento di Bra-gennaio 2018

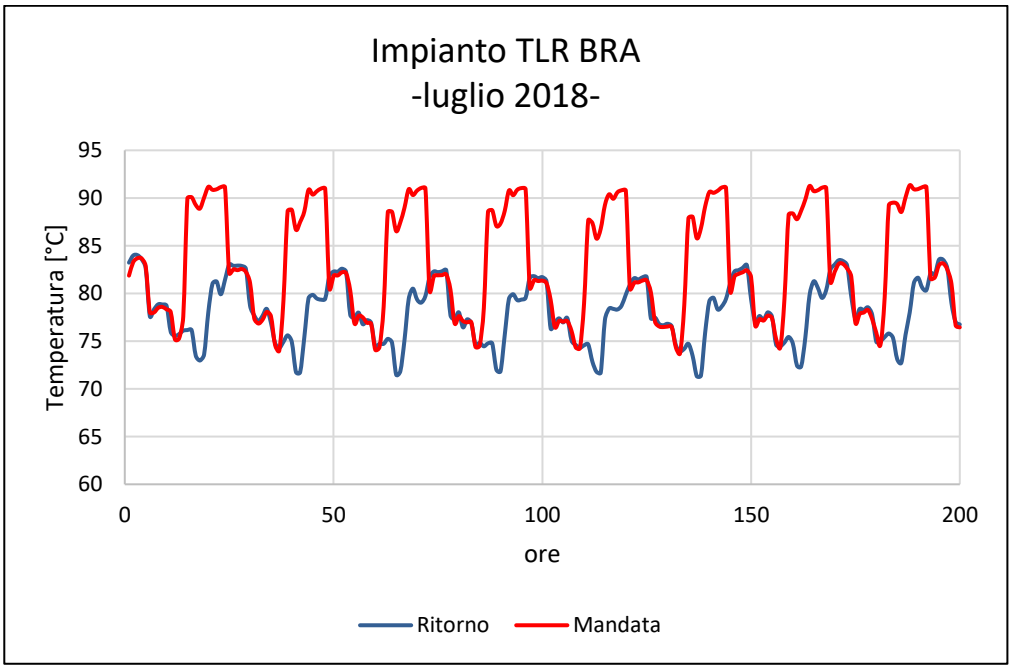


Figura 4.7-4. Temperatura di mandata e ritorno dell'impianto di teleriscaldamento di Bra-luglio 2018

La temperatura varia in rapporto all'utilizzo dell'utenza, seguendo uno schema che, generalmente, si ripete con un periodo di 24 ore.

Questo andamento viene raggiunto una volta che l'impianto lavora a regime, con le utenze allacciate da tempo.

È pertanto difficile prevedere una temperatura di utilizzo in una centrale non ancora in funzione, come quella del caso in esame. I valori varieranno in maniera consistente i primi tempi, pertanto una possibilità consiste nell'ipotizzarli seguendo i casi reali appena descritti.

Nella **Tabella 4.7-2** sono riassunti i dati della temperatura media delle sole ore di luce, poiché il caso in esame prevede il funzionamento del pannello esclusivamente dall'alba al tramonto, pertanto le temperature raggiunte nel periodo notturno non rientrano nell'interesse della simulazione.

	Temperatura media [°C]	
	Mandata	Ritorno
Bra- luglio 2018	81,74	76,49
Alba - luglio 2018	73,19	63,72
Bra- gennaio 2018	85,76	66,45
Alba - gennaio 2018	89,09	66,87

media annuale	82,44	67,38
media estiva	77,46	70,11
media invernale	87,42	66,66

Tabella 4.7-2. Temperature di mandata e ritorno degli impianti esistenti di Bra e Alba

Risultati accettabili per la simulazione:

- Temperature annuali: 82°C-63°C
- Temperatura estiva (stagione termica estiva): 80°C-70°C
- Temperatura invernale (stagione termica invernale): 90°C-65°C

4.7.3 Simulazione tramite dati annuali

Verranno pertanto utilizzati i seguenti dati di progetto ipotizzati seguendo i valori della **Tabella 4.7-2**:

A) Temperatura fluido in ingresso al pannello pari alla temperatura di ritorno della rete di teleriscaldamento depurata dalla perdita dovuta allo scambiatore:

a) $T_{ritorno\ TLR}$ = 63,00°C

b) $T_{ingresso\ collettore}$ =68,00 °C

a) $T_{ingresso\ TLR}$ = 82,00 °C

b) $T_{uscita\ collettore}$ =87,00 °C

B) Valori di a_1, a_2, η_0 da scheda tecnica, riassunti in **Tabella 4.7-3**

Piano vetrato		**Sottovuoto**	
Tm [K]	350	Tm [K]	350
η_0	0,80	η_0	0,76
a_1 [W/m^2/K]	3,67	a_1 [W/m^2/K]	1,28
a_2 [W/m^2/K^2]	0,037	a_2 [W/m^2/K^2]	0,007

Tabella 4.7-3. Dati da scheda tecnica

In **Tabella 4.7-4** si riportano i valori di produzione energetica valutata sull'unità di superficie nei vari mesi dell'anno ottenuti tramite le condizioni imposte:

$$Produzione\ \left[\frac{kWh}{m^2}\right] = \eta_{collettore}\ [-] * Irraggiamento\ \left[\frac{kWh}{m^2}\right]$$

	Piano	Sottovuoto
	Produzione [kWh/m^2]	
gennaio	0,00	18,84
febbraio	0,91	37,89
marzo	17,47	72,84
aprile	25,38	84,28
maggio	38,10	97,89
giugno	52,02	111,60
luglio	65,48	120,18
agosto	59,35	111,08
settembre	34,58	83,56
ottobre	2,96	38,06
novembre	0,00	19,44
dicembre	0,00	16,10

Tabella 4.7-4. Produzione mensile dei pannelli per unità di superficie, T_ritorno TLR=63°C, T_mandata TLR=82°

Con riferimento alla **Figura 4.7-5**, il pannello piano presenta un rendimento che assume valori negativo nei mesi invernali, poiché la formula del rendimento non presenta limiti inferiori. Questo comportamento è sinonimo di un funzionamento del collettore opposto rispetto a quello desiderato: in queste condizioni di ΔT se le pompe continuassero ad operare, sarebbe il pannello stesso a cedere energia termica all'ambiente esterno. Nella realtà il software di gestione disattiva il funzionamento delle pompe che gestiscono la circolazione del fluido all'intero dell'impianto solare, che risulta quindi disattivato. Posto quindi il rendimento pari

a zero, ne consegue una produzione nulla nei mesi di gennaio, febbraio e dicembre (**Tabella 4.7-4**).

Nei seguenti grafici è mostrato il rendimento annuale e la produzione dei due collettori, con evidenziato in tratteggio il periodo estivo.

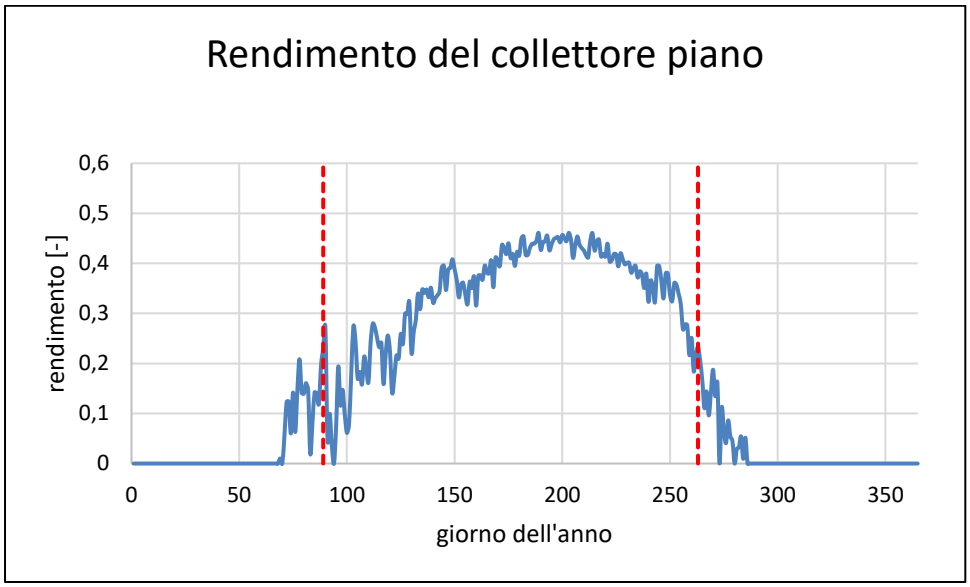


Figura 4.7-5. Rendimento collettore piano durante l'anno

Il collettore piano non è in grado di produrre, nelle condizioni di lavoro imposte, durante i mesi più rigidi, come si può vedere dalla **Figura 4.7-5** e **Figura 4.7-6**. Nel tratto estivo (quello compreso fra le linee tratteggiate) si ha un incremento di produttività il cui andamento rispecchia la curva a campana della radiazione incidente.

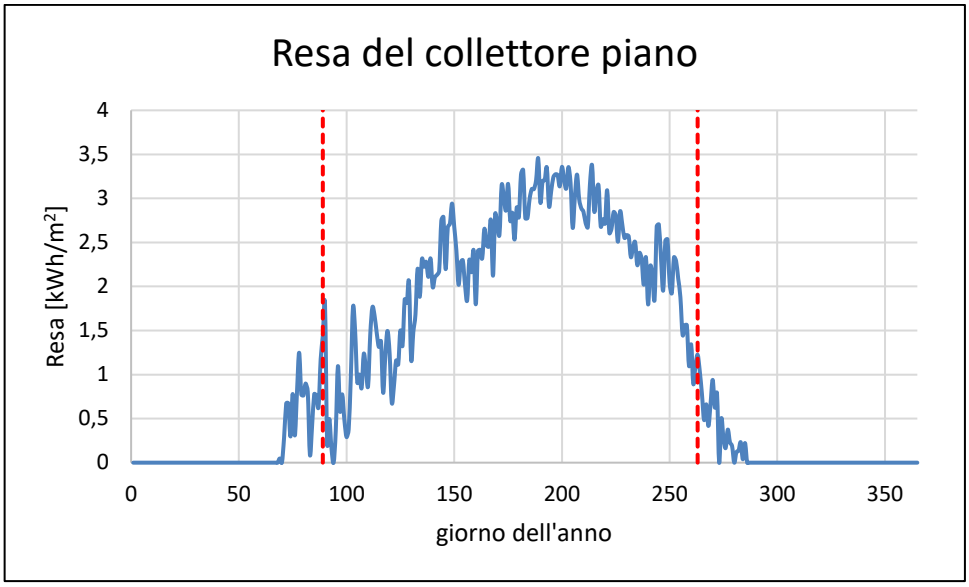


Figura 4.7-6. Resa del collettore piano durante l'anno

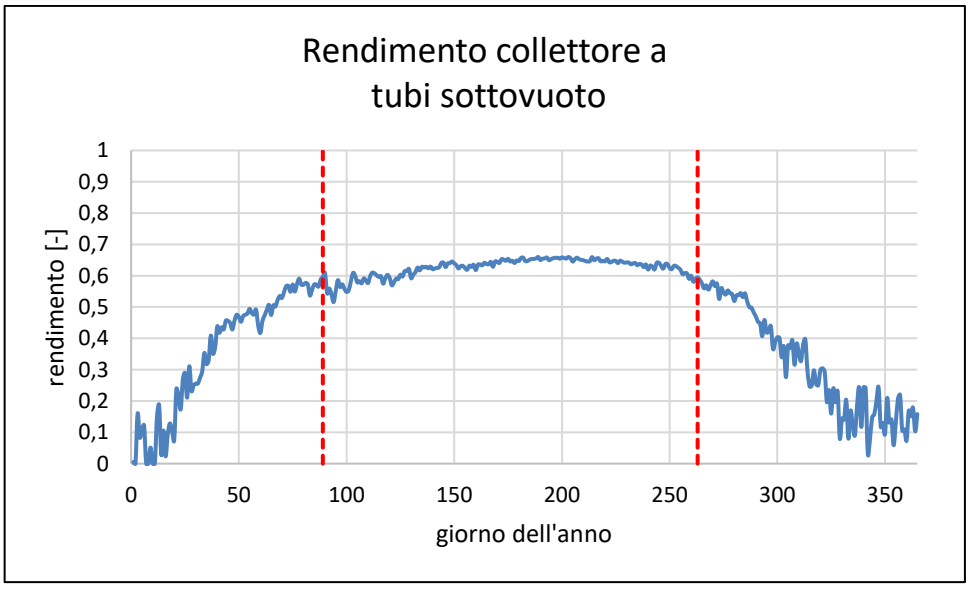


Figura 4.7-7. Rendimento collettore a tubi sottovuoto durante l'anno

Il collettore a tubi sottovuoto ha una curva sia del rendimento che della produttività più omogena. Tranne in alcuni giorni particolarmente rigidi, questa tecnologia riesce a lavorare alle condizioni imposte e a produrre energia termica (in Appendice a pag.183 il calcolo orario giornaliero).

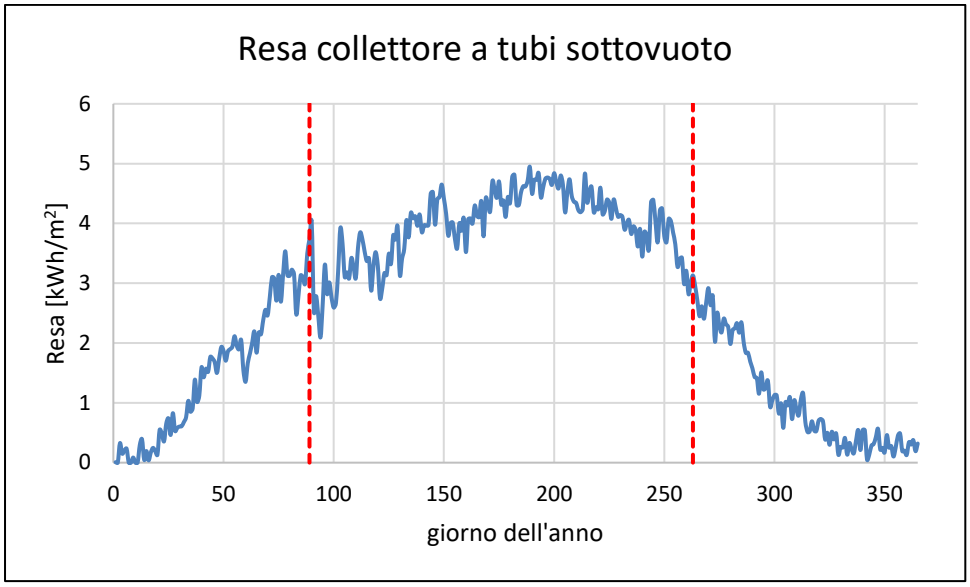


Figura 4.7-8. Resa collettore a tubi sottovuoto

Valutando i giorni in cui il collettore effettivamente è in grado di riscaldare il fluido (**Figura 4.7-9**) è possibile affermare che nel periodo estivo non sussistono grandi differenze, mentre nel periodo invernale il collettore piano non è in grado di fornire alcun contributo.

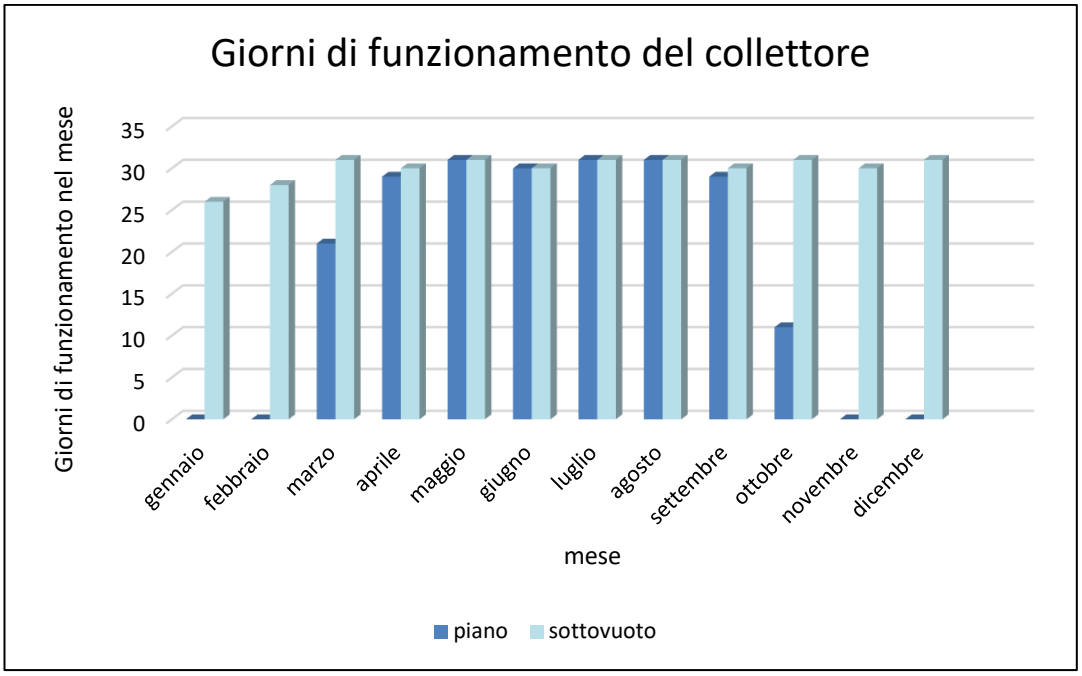


Figura 4.7-9. Giorni di funzionamento dei collettori, valutazioni mensili

4.7.3.1 Confronto tramite ricircolazione

Il metodo utilizzato per il calcolo della produttività si basa sulla definizione di rendimento di un pannello solare. Tramite i dati caratteristici da scheda tecnica (rendimento ottico e coefficienti di perdita termica di primo e secondo grado) ed imponendo temperature di funzionamento di input e output, è stato possibile ottenere un rendimento del collettore per ogni ora di luce (dall'alba al tramonto) per l'intero anno. Avendo ricavato (Capitolo 3.2.5) l'irraggiamento orario nel medesimo range (ogni ora dall'alba al tramonto) è stato quindi possibile ottenere la rispettiva produzione oraria [kWh/m^2]. Moltiplicando questo valore per la corrispondente area assorbente disponibile è stata ricavata la resa effettiva [kWh].

Questo metodo, per limitare le complicazioni della simulazione, non tiene conto della possibilità della ricircolazione, ma permette di valutare una produzione utile oraria per il confronto tra le tecnologie e per il successivo calcolo nel business plan del tempo di ritorno dell'investimento.

Per un tipico giorno invernale (15 gennaio) è stata quindi calcolata la possibilità di un ricircolo, per ottenere una stima dell'errore compiuto con il metodo utilizzato

nella situazione più gravosa. Poiché nella stagione estiva il collettore è quasi sempre in grado di produrre e perciò risulta superflua la ricircolazione, la scelta del giorno è ricaduta sulla stagione termica invernale, durante la quale le rigide temperature esterne difficilmente permettono una produzione termica notevole.

Per ogni ora in cui l'impianto solare non è in grado di produrre energia termica è stata imposta la più alta temperatura possibile che permettesse il funzionamento del collettore, analizzando una seguente ricircolazione ciclica fino ad ottenere la temperatura di output desiderata.

La **Tabella 4.7-5** mostra i risultati ottenuti tramite il collettore a tubi sottovuoto nella condizione di temperature costanti richieste dalla rete di TRL durante l'anno.

giorno 15/01	
Resa senza ricircolo [kWh/m^2]	0,52
Resa con ricircolo [kWh/m^2]	0,54
differenza percentuale %	4

Tabella 4.7-5. Calcolo dell'errore nella sottostima della produzione

Il risultato della valutazione mostra una differenza del 4% tra le due simulazioni. Considerando il fatto che durante la stagione non termica l'errore tende a zero (poiché non si ha necessità di ricircolazione) e l'obiettivo della simulazione, la sottostima della produzione risulta essere accettabile.

4.7.4 Simulazioni su input TLR di Alessandria stagionali

Lo studio prosegue dividendo l'anno tra condizione estiva (15 Aprile, 15 Ottobre) ed invernale (15 Ottobre, 15 Aprile), avendo le due sezioni condizioni diverse sia per richiesta di energia termica sia per irraggiamento incidente. Si valutano pertanto le temperature di mandata e di ritorno della rete di TLR nelle due stagioni (2° step).

Durante la stagione termica invernale nei primi anni di funzionamento, la Centrale Sud di Alessandria avrà a disposizione per soddisfare il fabbisogno di energia termica richiesto dalle utenze per riscaldamento e acqua calda sanitaria il contributo di produzione di:

- N.2 Caldaie (8 MWt)
- N.1 Caldaia (18 MWt)
- N.2 Motori (4.500 kWt)
- N.1 Motore (1.200 kWt)
- N.3 Pompe di calore (612 kWt ciascuna)

Nei mesi estivi la richiesta termica sarà limitata quasi esclusivamente all'acqua calda sanitaria, perciò la centrale si avvarrà unicamente di:

- N.1 Motore (4.500 kWt)
- N.1 Motore (1.200 kWt)
- N.2 Pompe di calore (612 kWt ciascuna)

Le caldaie rimarranno spente ad eccezione della prima metà di aprile e della seconda metà di ottobre. In termini di produzione energetica la regola operativa della centrale, come da progetto per il primo nucleo installato, è descritta in **Tabella 4.7-6**.

PROD. TERMICA [kWht]	Caldaia 1	Caldaia 2	Caldaia 3	Motore 1	Motore 2	Pompa di C. 1	Pompa di C. 2	Pompa di C. 3
	8 MWt	18 MWt	8 MWt	4335 MWt	1226 MWt	612 MWt	612 MWt	612 MWt
Gennaio	4.216.818	7.296.729	1.292.720	3.218	901	447	338	0
Febbraio	3.927.049	4.733.624	318.242	3.009	796	422	335	0
Marzo	3.723.045	1.873.624	7.086	3.144	534	446	284	7
Aprile	1.411.658	209.339	3.429	2.668	404	371	198	8
Maggio	0	0	0	1.953	58	254	60	0
Giugno	0	0	0	1.957	10	245	34	0
Luglio	0	0	0	2.003	233	83	10	0
Agosto	0	0	0	1.945	101	218	34	0
Settembre	0	0	0	1.900	99	219	40	0
Ottobre	877.552	41.143	1.247.869	1.830	630	296	182	2
Novembre	3.582.090	1.766.604	6.857	3.121	882	438	291	0
Dicembre	4.216.000	7.096.831	1.072.463	3.216	874	450	316	0
TOTALE [kWht]	21.954.213	23.017.893	2.704.454	31.040	5.532	3.994	2.190	17

Tabella 4.7-6. Produzione totale centrale senza contributo solare termico, file aziendale

Il calore prodotto dall'impianto solare è direttamente inviato nella rete di mandata del TLR attraverso uno scambiatore posto tra i due circuiti (solare-rete). In questo studio non si valuta quindi l'utilizzo di un accumulo intermedio, anche se nella realtà l'impianto ne farà uso per questioni di sicurezza. Si considera l'impianto solare posto in parallelo con la centrale.

Sono imposte quindi le seguenti condizioni:

A) **Ipotesi Invernale**:

temperatura di ritorno del circuito di teleriscaldamento= 65,0°C

temperatura ingresso collettore= 67,0°C

temperatura uscita collettore=92,6°C

temperatura di mandata nel circuito di teleriscaldamento=90,0°

B) **Ipotesi Estiva**:

temperatura di ritorno del circuito di teleriscaldamento= 70,0°C

temperatura ingresso collettore= 72,0°C

temperatura uscita collettore=82,0°C

temperatura di mandata nel circuito di teleriscaldamento=80,0°

Da questi dati di progetto sono stati ottenuti i seguenti risultati:

	Sottovuoto	
	Giorni di funzionamento	**produzione [kWh/m^2]**
gennaio	31	18,72
febbraio	28	37,74
marzo	31	72,65
aprile	30	85,73
maggio	31	99,43
giugno	30	113,24
luglio	31	121,78
agosto	31	112,53
settembre	30	81,01
ottobre	31	40,72
novembre	30	20,26
dicembre	31	16,93

Stagione termica estiva

Tabella 4.7-7. Giorni di funzionamento e produzione per il collettore sottovuoto

Stagione termica invernale: T_ritorno TLR=65°, T_mandata TLR=90°

Stagione non estiva: T_ritorno TLR=70°, T_mandata TLR=80°

	Piano	
	Giorni di funzionamento	**produzione [kWh/m²]**
gennaio	0	0,00
febbraio	17	0,82
marzo	30	17,11
aprile	30	28,62
maggio	31	41,77
giugno	30	56,21
luglio	31	69,55
agosto	31	63,41
settembre	30	36,60
ottobre	20	3,81
novembre	0	0,00
dicembre	0	0,00

Stagione termica estiva

Tabella 4.7-8 . Giorni di funzionamento e produzione per il collettore piano

Stagione termica invernale: T_ritorno TLR=65°, T_mandata TLR=90°

Stagione termica estiva: T_ritorno TLR=70°, T_mandata TLR=80°

Questo studio evidenzia il problema della produzione durante il periodo invernale (particolarmente visibile per il caso del collettore piano). Una temperatura di uscita imposta così alta durante la stagione termica invernale si traduce in un calo di produzione di energia. Per questo motivo lo studio seguente si pone l'obiettivo di valutare come varia la resa del pannello imponendo temperature di uscita del fluido minori.

4.7.5 Modifica delle condizioni di uscita del fluido termovettore

Il terzo step dello studio è volto a diminuire la temperatura richiesta in uscita dal collettore per poter valutare come l'efficienza ne verrà modificata. Il fluido sarà poi riscaldato ulteriormente all'interno della centrale per raggiungere la temperatura necessaria all'immissione nella rete di teleriscaldamento.

La temperatura di ingresso al collettore è 60°C, mentre la temperatura di uscita è stata imposta pari a:

- 64°C
- 68°C
- 71°C
- 75°C
- 79°C
- 85°C

I giorni di funzionamento annuali in percentuale, valutati al variare della temperatura di uscita, seguono un trend simile per i due collettori (vedi **Figura 4.7-10**). Partendo dal picco massimo coincidente alla minore temperatura di uscita del fluido (64°C) si ha un calo lineare con l'aumentare di questa.

Il collettore sottovuoto mantiene per ogni ΔT una percentuale di giorni di funzionamento nettamente superiore rispetto al collettore piano. Questo trend è motivato dal molto limitato funzionamento del collettore piano in fase invernale, valore che va a influire drasticamente sulla media annuale.

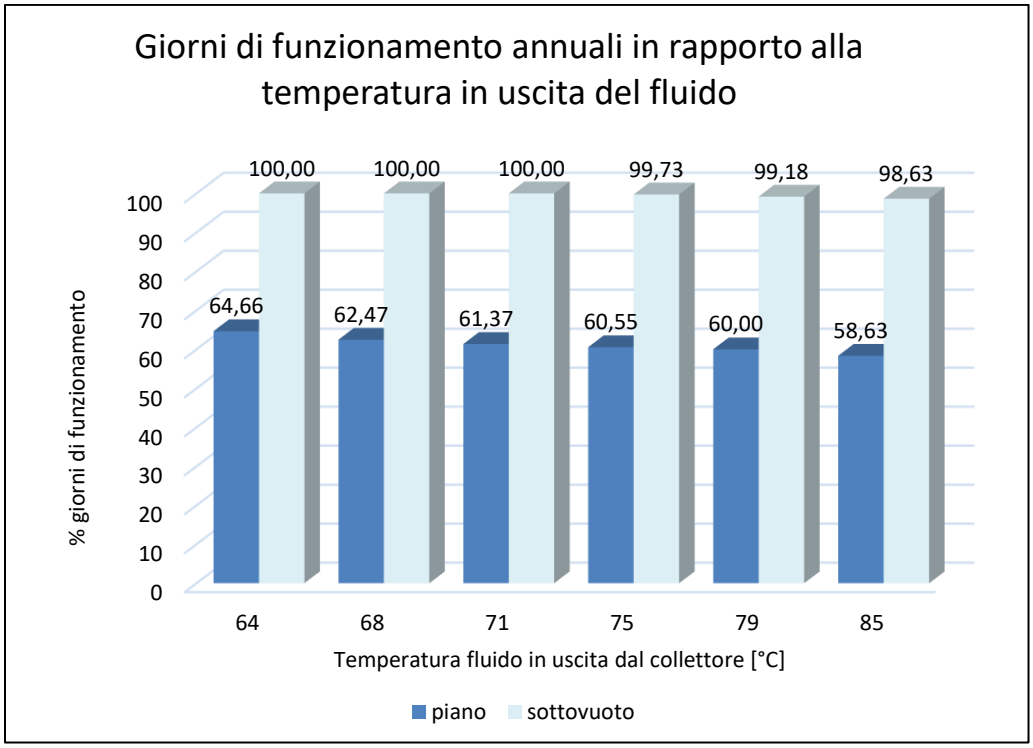


Figura 4.7-10. Giorni di funzionamento annuali dei collettori al variare della temperatura di uscita del fluido

Il periodo estivo è interessato da una irradianza media più elevata, che si traduce in un numero maggiore di giorni di funzionamento. Essendo l'irraggiamento nei mesi invernali limitato, anche un collettore avente un ottimo rendimento non potrà portare ad una resa notevole. È interessante vedere come le percentuali di funzionamento, mostrate in **Figura 4.7-11**, varino focalizzando l'attenzione solo sull'intervallo marzo-ottobre, detto "estivo".

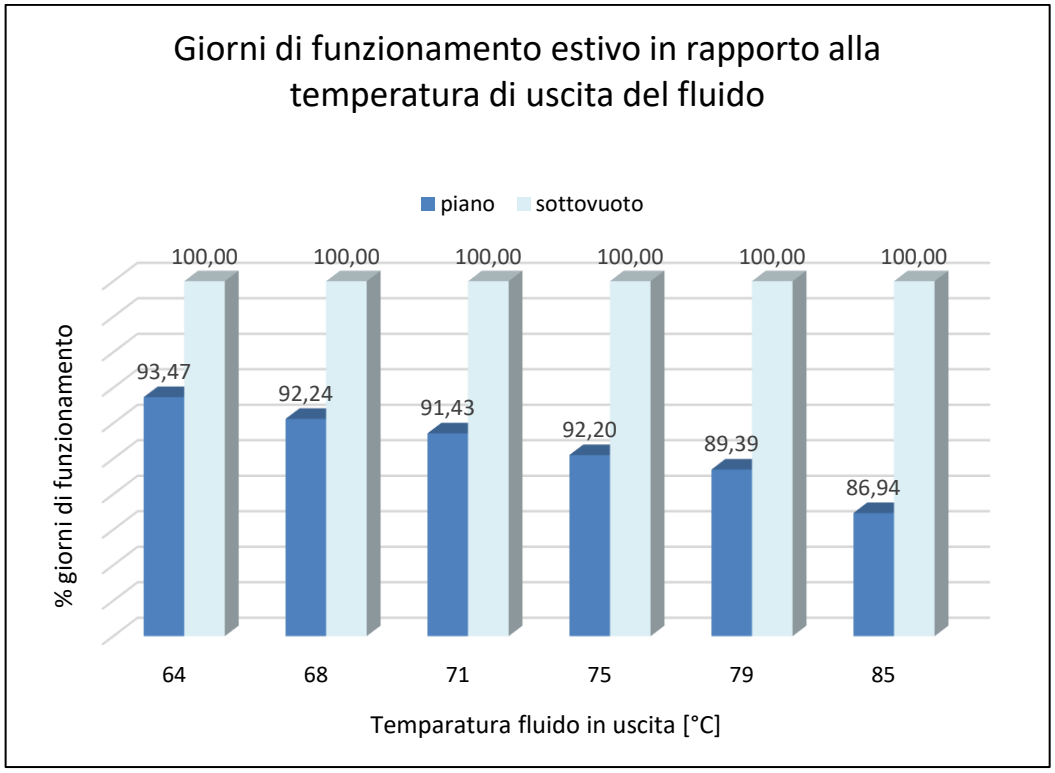


Figura 4.7-11. Giorni di funzionamento del periodo estivo dei collettori al variare della temperatura di uscita del fluido

Come emerge dal grafico riassuntivo (**Figura 4.7-11**), le percentuali risultano alte, con una media superiore al 90%. Il collettore piano nel periodo estivo riesce a contribuire per la quasi totalità, sebbene mantenga una tendenza a calare con l'aumentare della temperatura in uscita del fluido termovettore imposta.

La **Figura 4.7-12** mostra come la produzione estiva del pannello influisca sulla resa totale.

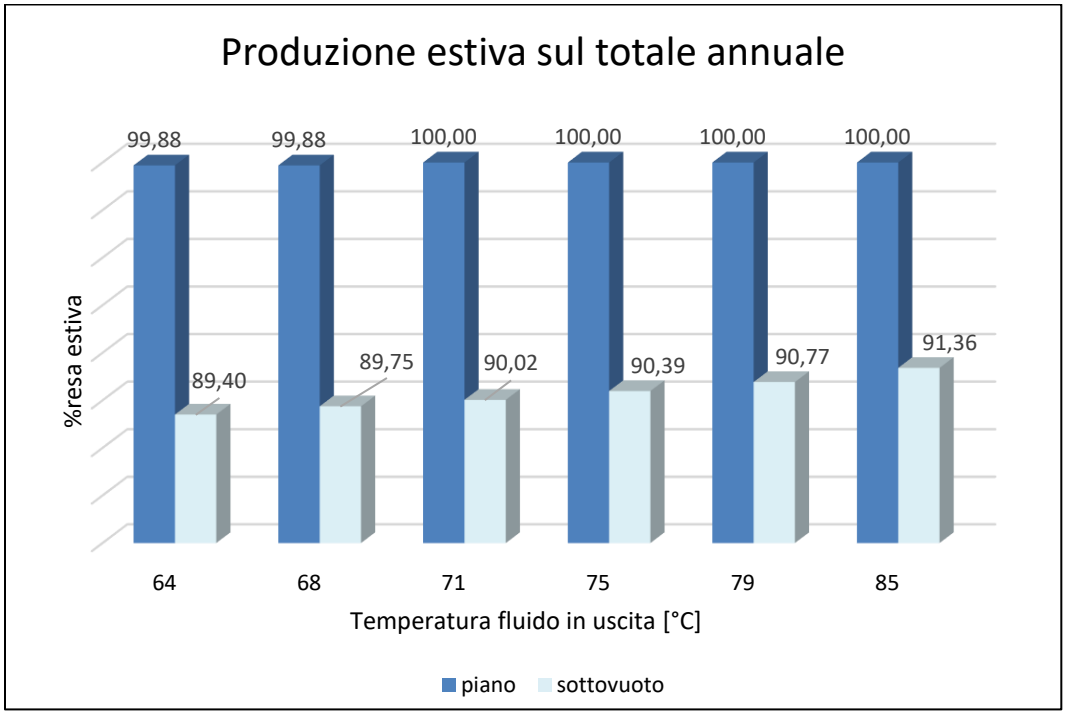


Figura 4.7-12. Resa estiva sul totale annuale per i due collettori

Il collettore piano produce quasi il 100% della sua resa durante il periodo estivo, mentre il collettore a tubi sottovuoto, riuscendo a dare un contributo non trascurabile anche nel periodo invernale, ha una resa estiva sul totale molto minore.

La produzione mensile in rapporto alla temperatura di uscita del fluido dal collettore è mostrata in **Tabella 4.7-9**, **Tabella 4.7-10** e **Tabella 4.7-11** rispettivamente valutata sull'anno, sul periodo estivo e sul periodo invernale.

FUNZIONAMENTO ANNUALE				
T uscita del fluido [°C]	**Giorni di funzionamento collettore**		**Produzione collettore [kWh/m²]**	
	piano	**sottovuoto**	**piano**	**sottovuoto**
64	236	365	568,86	1000,76
68	228	365	537,59	986,81
71	224	365	514,13	976,20
75	221	364	482,79	961,91
79	219	362	451,48	947,48
85	213	360	404,06	925,57

Tabella 4.7-9. Giorni di funzionamento e produzione annuali

FUNZIONAMENTO ESTIVO				
T uscita del fluido [°C]	**Giorni di funzionamento collettore**		**Produzione collettore [kWh/m²]**	
	piano	**sottovuoto**	**piano**	**sottovuoto**
64	229	245	568,16	894,70
68	226	245	537,43	885,65
71	224	245	514,13	878,76
75	221	245	482,79	869,45
79	219	245	451,48	860,04
85	213	245	404,06	845,63

Tabella 4.7-10. Giorni di funzionamento e produzione estivi

FUNZIONAMENTO INVERNALE				
T uscita del fluido [°C]	**Giorni di funzionamento collettore**		**Produzione collettore [kWh/m^2]**	
	piano	**sottovuoto**	**piano**	**sottovuoto**
64	7	120	0,70	106,06
68	2	120	0,16	101,16
71	0	120	0,00	97,44
75	0	119	0,00	92,46
79	0	117	0,00	87,44
85	0	115	0,00	79,94

Tabella 4.7-11. Giorni di funzionamento e produzione invernali

4.8 PRODUZIONE TERMICA E PLANIMETRIA

Il tetto della centrale copre complessivamente una superficie di 1.382 m^2. Grazie alle dimensioni da scheda tecnica e alle indicazioni del fornitore, è stato possibile ipotizzare uno schema di posizionamento dei pannelli.

Il pannello piano vetrato ha una superficie lorda di 2,51 m^2, corrispondente a 2,32 m^2 di superficie assorbente. L'altezza e la lunghezza del collettore sono rispettivamente 1070 mm e 2380 mm. In linea con le indicazioni della casa produttrice, sono state disposte serie da 4 pannelli per permettere la manutenzione. La distanza di ombreggiamento tra le file è stata calcolata pari a 2,95 m. Ne consegue una copertura di 149 pannelli piani vetrati per una superficie globale assorbente di 345 m^2 ed una superficie lorda di 374 m^2.

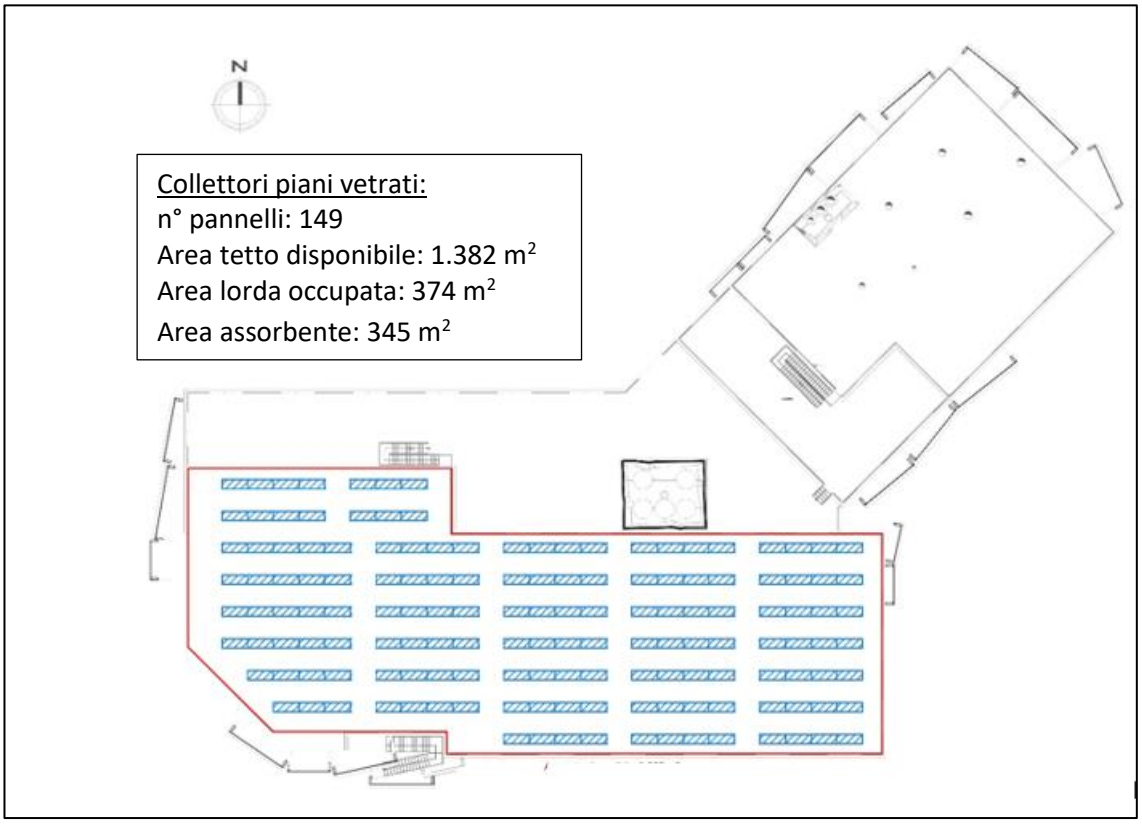


Figura 4.8-1. Schema disposizione collettori piani

Il collettore sottovuoto ha una superficie lorda di 2,69 m^2 e una superficie di assorbimento di 1,63 m^2. L'altezza e la lunghezza sono rispettivamente pari a 1173 mm e 2244 mm. Questa tipologia di pannello non necessita di spazio tra i collettori per questioni di manutenzione, poiché la distanza calcolata per l'ombreggiamento (3,28 m [25]) è sufficiente per permettere la pulizia e la sostituzione del singolo tubo sottovuoto, il quale può essere svitato senza manomettere l'intera fila di collettori. Ne consegue la disposizione di 166 pannelli sottovuoto per una superficie lorda di 446 m^2 ed un'area totale di assorbimento di 270 m^2.

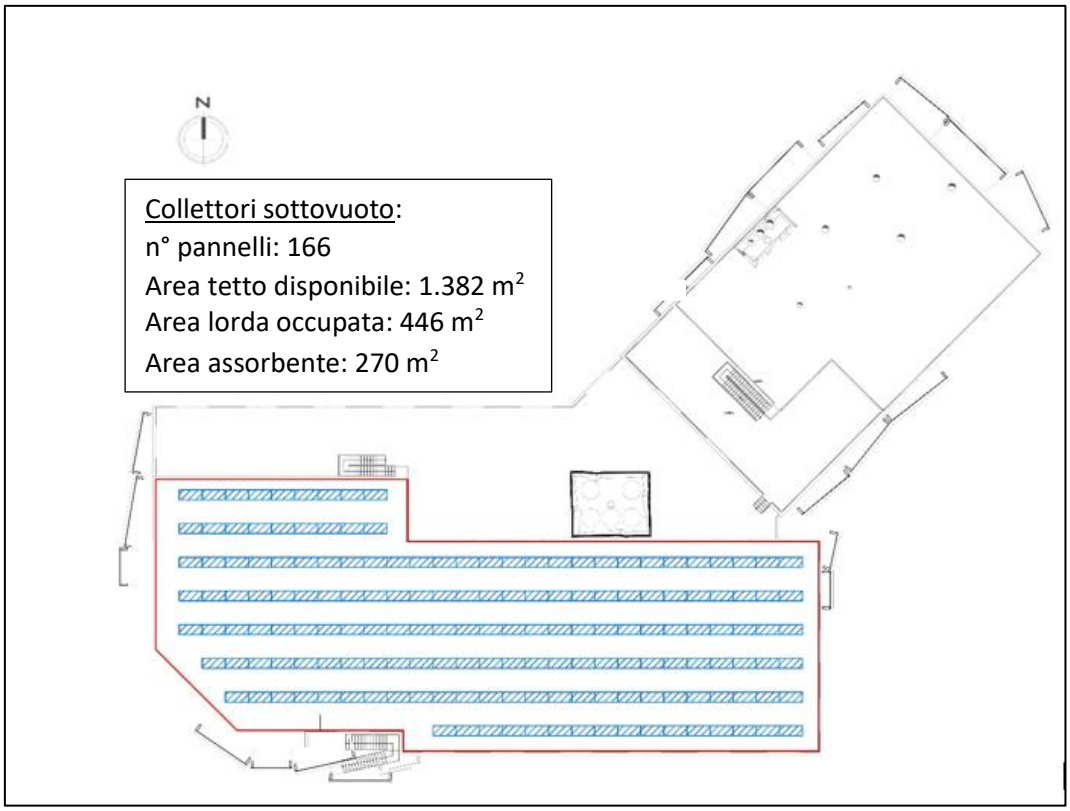


Figura 4.8-2. Schema disposizione collettori sottovuoto

[25] Calcolata nello specifico nel Capitolo 10.

Le rispettive produzioni valutate tramite le aree appena delineate, risultano essere, con le ipotesi di lavoro definite “annuali” e “stagionali”:

	Condizione annuale	
	Produzione collettore piano [kWh]	**Produzione collettore sottovuoto [kWh]**
gennaio	0	5.088
febbraio	311	10.229
marzo	5.941	19.666
aprile	8.630	22.756
maggio	12.956	26.431
giugno	17.687	30.132
luglio	22.262	32.448
agosto	20.180	29.991
settembre	11.757	22.561
ottobre	1.007	10.276
novembre	0	5.248
dicembre	0	4348
Totale [kWh/anno]	100.729	219.172

Tabella 4.8-1. Produzione collettori solari- condizione annuale

	Condizione: stagioni termiche	
	Produzione collettore piano [kWh]	**Produzione collettore sottovuoto [kWh]**
gennaio	0	5.054
febbraio	277	10.191
marzo	5.817	19.615
aprile	9.730	23.148
maggio	14.203	26.845
giugno	19.112	30.576
luglio	23.648	32.882
agosto	21.558	30.382
settembre	12.444	21.872
ottobre	1.294	10.994
novembre	0	5.471
dicembre	0	4.572
Totale [kWh/anno]	108.084	221.603

Tabella 4.8-2. Produzione collettori solari- condizione: stagioni termiche

4.9 CONCLUSIONI

Al termine delle valutazioni fatte è possibile trarre alcune importanti conclusioni:

1. Esiste una differenza sostanziale tra la produzione resa dal pannello sottovuoto e dal pannello piano alle diverse condizioni. In linea generale il collettore a tubi sottovuoto dimostra di essere più efficiente (+45%) e capace di soddisfare le condizioni imposte anche in periodo invernale.

2. Riducendo la temperatura richiesta in uscita dal collettore non si nota un beneficio consistente in termini di energia termica resa. Pertanto nelle valutazioni successive saranno mantenute le temperature adatte alla immissione diretta nella rete di teleriscaldamento.

3. La decisione definitiva su quale tecnologia adottare avverrà in seguito alla stesura dei rispettivi business plan, poiché uno studio esclusivamente tecnico non fornisce informazioni sufficienti.

5 NORMATIVE E DIRETTIVE

Gli impianti solari, nell'ambito della produzione energetica da fonte rinnovabile, sono regolati da una serie di accordi, norme e direttive ratificate dal Ministero, dall'UE e dalle Nazioni Unite. Questo capitolo si propone di delineare le principali fra queste grazie alle quali si è potuto realizzare e sviluppare la tecnologia del solare termico.

5.1 ACCORDO DI PARIGI (COP 21)

Durante la conferenza sul clima nel dicembre 2015, detta anche COP 21, è stato firmato da 195 Paesi il primo accordo mondiale vincolante sul cambiamento climatico. L'obiettivo principale si basa sul tentativo di limitare il surriscaldamento globale a 2°C rispetto ai livelli pre-industriali. L'Unione Europea ha ratificato l'obiettivo, tra gli altri, di ridurre le emissioni del 40% entro il 2030. Le tecnologie legate alle risorse rinnovabili trovano in questo contesto una spinta allo sviluppo.

5.2 CONFERENZA DELLE PARTI SUL CLIMA (COP 24)

Tenutasi a dicembre 2018 in Polonia, a Katowice, la COP 24 ha ratificato le modalità entro cui gli stati membri dovranno tenere fede agli impegni presi per la riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra. È stato pertanto firmato il *Rulebook,* un regolamento che rende di fatto operativi gli accordi intrapresi durante la COP 21. Si è definito inoltre il 2020 come l'anno in cui gli oltre 200 stati firmatari presenteranno piani per la salvaguardia del clima più rigidi.

5.3 QUADRO PER IL CLIMA-EUROPA 2030

L'Unione Europea ha fissato una serie di traguardi da raggiungere entro il 2030 nel campo della sostenibilità e in linea con quanto deciso durante l'Accordo di Parigi. Si possono sintetizzare in tre macro obiettivi:

- -40% delle emissioni di gas serra (rispetto al 1990)
- Almeno il 27% di energie rinnovabili nel quadro di consumo energetico del 2030
- Efficienza energetica +27% [26] rispetto allo scenario tendenziale del 2007[27]

5.4 CERTIFICATI BIANCHI

I Titoli di Efficienza Energetica o Certificati Bianchi sono stati istituiti dal Decreto Ministeriale del 20 luglio 2004. Certificano il risparmio realizzato tramite efficientamento energetico: per ogni tonnellata equivalente di petrolio (TEP) risparmiata viene rilasciato un Certificato, che può essere acquistato e rivenduto. Questo meccanismo interessa aziende che distribuiscono energia sotto forma di elettricità o gas naturale a più di 50.000 clienti. Dal 2017 il sistema di incentivazione fissa obiettivi che l'azienda deve realizzare con lavori volti a massimizzare le prestazioni in campo energetico all'interno della rete oppure acquistando titoli di altri soggetti. Il Certificato ha valenza per l'intera vita utile del progetto e varia tra i 3 e i 10 anni. I Titoli di Efficienza Energetica sono regolati dalle norme D.M. 11 gennaio 2017, D.M. Sviluppo Economico 28/11/2012, D.M. Attività Produttive 20/07/04.

[26] Commissione Europea, *Strategie ed obiettivi climatici*, ec.europa.eu
[27] Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea, Direttiva 2012/27/CE, 25 Ottobre 2012

5.5 CONTO TERMICO

Il Conto Termico 2.0 è un incentivo per l'incremento dell'efficienza energetica e produzione di energia (termica) da fonte rinnovabile. Ne possono beneficiare enti pubblici, imprese e privati. Il Decreto MISE 16/02/16[28] e l'Allegato DM 16/02/16 definiscono questa risorsa. Il responsabile della gestione è il GSE (Gestore dei Servizi Energetici).

5.6 NORMATIVE

UNI è la sigla dell'Ente Nazionale di Unificazione, il quale ha il compito di elaborare le norme tecniche relative a tutti i settori industriali. Il rispettivo ente su scala europea è il CEN, acronimo di *Comité Europeen de Normalisation*, le cui norme presentano il prefisso EN. Su scala mondiale si utilizza la sigla ISO, la quale indica che la norma è valida a livello mondiale secondo le direttive dell'organizzazione internazionale per la standardizzazione.

Di seguito sono state riportate le principali norme seguite in campo solare termico.[29]

UNI EN 12975-1:2011

"Impianti solari termici e loro componenti - Collettori solari - Parte 1: Requisiti generali".

La norma verifica i requisiti meccanici, di durabilità e sicurezza dei collettori solari termici, esclusi quelli a concentrazione. Fornisce inoltre i criteri di valutazione di tali caratteristiche.

UNI EN 12975-2:2006

"Impianti solari termici e loro componenti - Collettori solari - Parte 2: Metodi di prova".

[28] Ministero dello Sviluppo Economico*, Decreto 16 febbraio 2016*
[29] Ente italiano di normazione, store.uni.com

La norma specifica i metodi di prova per la valutazione delle caratteristiche descritte nella norma corrispondente parte 1.

UNI EN 12976-1:2017

"Impianti solari termici e loro componenti - Impianti prefabbricati - Parte 1: Requisiti generali".

La norma descrive le caratteristiche che sono necessarie ad un impianto solare termico prefabbricato: sicurezza, affidabilità, durabilità.

UNI EN 12976-2:2017

"Impianti solari termici e loro componenti - Impianti prefabbricati - Parte 2: Metodi di prova".

La seconda parte della norma illustra i metodi di validazione delle capacità e competenze descritte nella parte 1.

UNI EN 12977:2018

"Impianti solari termici e loro componenti- Impianti assemblati su specifica".

Si divide in cinque sezioni:

1° parte: Requisiti generali per collettori solari ad acqua e sistemi combinati

2°parte: Metodi di prova per collettori solari ad acqua e sistemi combinati

3°parte: Metodi di prova della prestazione per serbatoi di stoccaggio degli scaldacqua solari

4°parte: Metodi di prova per le prestazioni di accumuli solari combinati

5°parte: Metodi di prova della prestazione per sistemi di regolazione.

UNI EN ISO 9488:2001

"Energia solare – Vocabolario".

La norma specifica la terminologia di base utilizzata nel campo dell'energia solare.

UNI 8937:1987

"Collettori solari piani ad aria. Determinazione del rendimento termico".

La norma definisce i criteri tramite i quali si definisce il rendimento in un collettore piano avente come fluido termovettore aria.

UNI EN 15316-4-3:2018

"*Prestazione energetica degli edifici - Metodo per il calcolo delle richieste di energia e delle efficienze del sistema - Parte 4-3: Sistemi di generazione, sistemi solari termici e fotovoltaici, Moduli M3-8-3, M8-8-3, M11-8-3".*

La norma illustra i dati di input da utilizzare per la valutazione delle prestazioni, i metodi adoperati riferiti al loro limite di applicabilità e i dati in output.

UNI/TS 11300-4:2016

"Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria".

La specifica tecnica considera sottosistemi per produrre energia elettrica/termica da fonti rinnovabili come impianti solari termici e fotovoltaici, generatori a biomasse, pompe di calore, cogeneratori.

6 INCENTIVAZIONE DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA DA FONTE RINNOVABILE

Gli impianti solari termici possono beneficiare di una serie di sussidi volti all'efficienza energetica. I principali sono gli incentivi previsti dal Conto Termico ed i Certificati Bianchi. In questo capitolo verrà visto nel dettaglio quali pratiche sono attuabili nel caso in esame.

6.1 CONTO TERMICO

6.1.1 Requisiti

In conformità con il decreto ministeriale del 16 Febbraio 2016, per aziende pubbliche e private che intendono installare impianti solari termici *"per la produzione di acqua calda sanitaria o integrazione di climatizzazione invernale, solar cooling, produzione di energia termica per processi produttivi o immissione in reti di teleriscaldamento*" esistono misure di incentivazione, delineate nel Conto Termico, che possono variare dal 45% al 65% dell'investimento iniziale.

Nel caso in studio sarà tenuto conto delle direttive previste dal caso di "campi solari asserviti a reti di teleriscaldamento"[30], avendo superficie lorda inferiore a 2500 m^2.

In accordo con l'Allegato II del Decreto, i collettori che sono stati oggetto di studio nel Capitolo 4 sono in possesso della certificazione *Keymark*. Presentano inoltre una produzione annuale maggiore di quella richiesta (300 kWht/m^2 per i collettori piani e 400 kWht/m^2 per quelli sottovuoto nella località di riferimento di Würzburg). Gli accessori e componenti elettrici hanno una garanzia di almeno 2 anni ed il collettore di 5. L'installazione dei collettori e delle tubazioni deve essere eseguita secondo i manuali di installazione dei relativi componenti.

[30] Gestore dei Servizi Energetici*, Conto termico:Interventi incentivabili*, www.gse.it

6.1.2 Calcolo dell'incentivo

L'incentivo annuo per gli impianti solar termici è valutato tramite una formula in funzione dell'energia termica prodotta annualmente (media e stimata), della superficie lorda del collettore e da un coefficiente specifico di valorizzazione dell'energia, avente unità di misura €/kWht.

$$I_{a\,\mathrm{tot}} = C_i * Q_u * S_l$$

Equazione 6.1-1. Calcolo dell'incentivo, FONTE: GSE

Dove:

- $I_{a,tot}$= incentivo annuo =rata annua [€]
- S_L= superficie lorda dell'impianto [m^2] (ottenuto tramite la moltiplicazione del numero di collettore per la superficie lorda del collettore stesso)
- C_i= coefficiente di valorizzazione dell'energia termica prodotta (definito tramite una tabella ad hoc nel Decreto)
- Q_u= energia termica prodotta per unità di superficie lorda [kWht/m^2]

Nel caso in esame i collettori studiati sono del tipo piano e sottovuoto, perciò l'energia termica deve venire così definita:

$$\mathrm{Q}_u = \frac{\mathrm{Q}_{\mathrm{col}}}{\mathrm{A}_{\mathrm{g}}}$$

Equazione 6.1-2. Definizione dell'energia per il calcolo dell'incentivo, FONTE: GSE

Dove:

- A_g= area lorda del collettore singolo riportata dalla certificazione *Solar Keymark*
- Q_{col} =energia termica prodotta annualmente nella località di Würzburg, riportata dalla certificazione *Solar Keymark*, scegliendo la temperatura media di funzionamento tramite l'apposita tabella del Decreto.

I coefficienti sono così ricavati:

[Tabella 17 – Allegato II – Valori di C_i - DM 16.02.16]					
Tipologia di intervento	**C_i incentivo annuo in €/kWh$_t$ in funzione della superficie S_l del campo solare espressa in m^2**				
	$S_l \leq 12$	**$12 < S_l \leq 50$**	**$50 < S_l \leq 200$**	**$200 < S_l \leq 500$**	**$S_l \geq 500$**
Impianti solari termici per produzione di a.c.s.	0,35	0,32	0,10	0,09	0,08
Impianti solari termici per la produzione di a.c.s e riscaldamento ambiente anche per la produzione di calore di processo a bassa temperatura o asserviti a reti di teleriscaldamento	0,36	0,33	0,11	0,10	0,09
Impianti solari termici con sistema di *solar cooling*	0,43	0,39	0,13	0,12	0,11
Impianti solari termici a concentrazione anche per la produzione di calore di processo o asserviti a reti di teleriscaldamento	0,38	0,35	0,12	0,11	0,10
Impianti solari termici a concentrazione con sistema di *solar cooling*	0,43	0,40	0,15	0,13	0,12

Tabella 6.1-1. Coefficiente Ci di valorizzazione dell'energia termica prodotta: FONTE: DM 16/02/16

Dalla tabella dedicata si ricava il coefficiente C_i=0.10.

[Tabella 18 – Allegato II – T_m di funzionamento - DM 16.02.16]	
Applicazione a cui è destinato il calore prodotto	**T_m - Temperatura media di funzionamento**
Produzione di acqua calda sanitaria	50 °C
Produzione combinata di a.c.s. e riscaldamento ambiente	
Produzione di calore di processo a bassa temperatura	75 °C
Solar cooling a bassa temperatura	
Produzione di calore di processo a media temperatura	150 °C
Solar cooling a media temperatura	

Tabella 6.1-2. Temperatura media di funzionamento: FONTE: DM 16/02/16

La temperatura rispetto alla quale viene letto il dato di produzione dal certificato *Solar Keymark* è T_m=50°C dovendo produrre acqua calda sanitaria e riscaldamento ambienti.

La valutazione dell'incentivo nel caso del collettore piano e del sottovuoto è così ricavato:

PIANO		
A_g	2,51	m^2
Q_{col}	963,00	kWh/collettore
Q_u	383,66	kWh/m^2
C_i	0,10	€/kWht
Sl	374,00	m^2
I_a	14.348,88	€

Tabella 6.1-3.Calcolo dell'incentivo per il collettore piano

SOTTOVUOTO		
A_g	2,67	m^2
Q_{col}	1132,00	kWh/collettore
Q_u	423,97	kWh/m^2
C_i	0,10	€/kWht
Sl	446,00	m^2
I_a	18.909,06	€

Tabella 6.1-4 Calcolo dell'incentivo per il collettore sottovuoto

Il Decreto Legislativo prevede tramite una tabella apposita il numero di anni per cui l'incentivo viene fornito. Per il caso "*Installazione di collettori solari termici, anche abbinati sistemi di solar cooling, con superficie solare lorda superiore a 50 m^2 e inferiore o uguale a 2500 m^2*" la durata prevista dell'incentivo è 5 anni (**Tabella 6.1-5**, **Tabella 6.1-6**). Le rate sono annuali e costanti e l'ammontare totale della somma non può superare il 65% delle spese sostenute totali.

Collettore piano		
I_a totale	66.316	€

Tabella 6.1-5. Incentivo totale sui 5 anni per il collettore piano

Collettore sottovuoto		
I_a totale	94.545	€

Tabella 6.1-6. Incentivo totale sui 5 anni per il collettore sottovuoto

6.2 CERTIFICATI BIANCHI

6.2.1 Obiettivi e requisiti

Secondo l'Articolo 4 del Decreto Ministeriale dell'11 gennaio 2017[31] nel periodo 2017-2020 attraverso il meccanismo dei Certificati Bianchi si desidera raggiungere una serie di traguardi:

- -7,14 milioni di TEP di energia primaria nel 2017
- -8,32 milioni di TEP di energia primaria del 2018
- -9,71 milioni di TEP di energia primaria nel 2019
- -11,9 milioni di TEP di energia primaria nel 2020

Questi risultati possono essere tradotti in un numero di Certificati Bianchi riferiti agli usi finali di energia elettrica:

- 2,39 milioni di Certificati Bianchi da conseguire nell'anno 2017
- 2,49 milioni nel 2018
- 2,77 milioni nel 2019
- 3,17 milioni nel 2020.

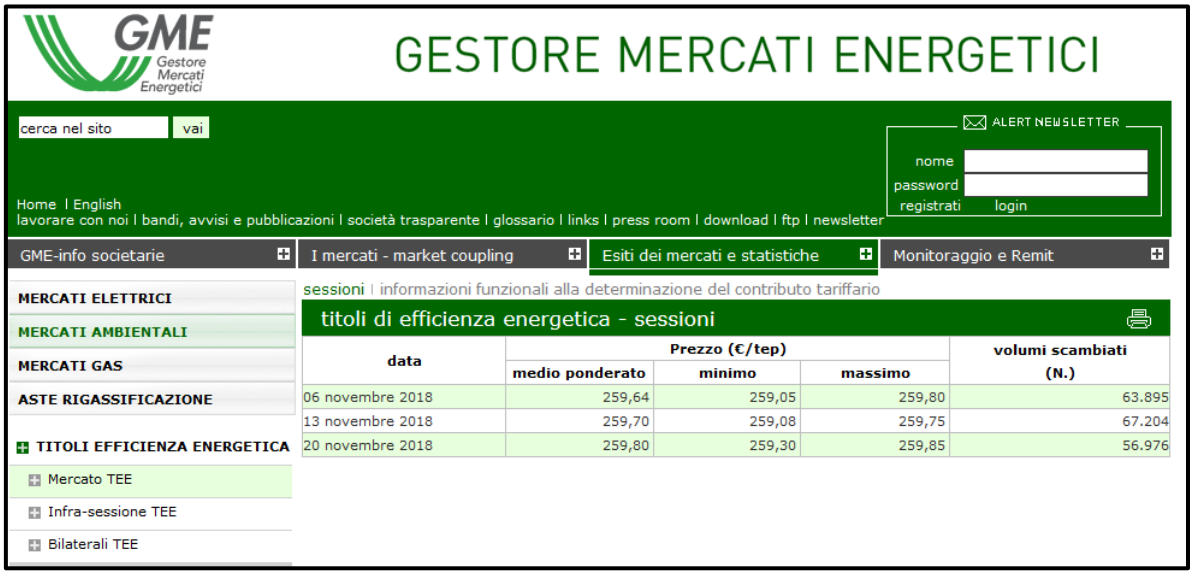
Il caso di studio rientra nel punto 4 dell'Articolo 6:

"*I progetti che prevedano l'impiego di fonti rinnovabili per usi non elettrici sono ammessi esclusivamente in relazione alla loro capacità di incremento dell'efficienza energetica e […] alla capacità di generare risparmi energetici addizionali in termini di energia primaria totale o non rinnovabile*".

Ad ogni TEP risparmiato corrisponde un Certificato Bianco per la durata totale di 10 anni (nel caso in esame). I soggetti vincolati che non riescono a raggiungere la quota obbligata di risparmio legata all'efficientamento energetico possono acquistare i Certificati/TEE (Titoli di Efficienza Energetica).

[31] Ministero dello Sviluppo Economico, Decreto 11 gennaio 2017

Il prezzo dei certificati non è fisso ma varia grazie alla domanda-offerta del mercato.



data	Prezzo (€/tep)			volumi scambiati (N.)
	medio ponderato	minimo	massimo	
06 novembre 2018	259,64	259,05	259,80	63.895
13 novembre 2018	259,70	259,08	259,75	67.204
20 novembre 2018	259,80	259,30	259,85	56.976

Tabella 6.2-1. Variazione del prezzo dei Certificati Bianchi-Novembre 2018, FONTE: GSE

6.2.2 Valutazione

È possibile effettuare una stima[32] riferita al caso in esame utilizzando come esempio le ipotesi di temperatura annuali:

	sottovuoto	**piani**
totale kWh	219.173	100.729

totale TEP = n° Certificati Bianchi	18,8	8,6

Tabella 6.2-2 Valutazione Certificati Bianchi per i due pannelli

[32] 1 kWh=8,59e-5 TEP

Determinando sul mese di novembre un valore medio di vendita pari a 259,71 €/tep è riscontrabile il seguente valore di vendita sul mercato:

	sottovuoto	**piani**
Valore di vendita [€]	4.894	2.249

Tabella 6.2-3. Valore in euro totali TEE

Il valore ricavato è da considerare in un arco di 10 anni.

6.2.3 Cumulabilità

I Certificati Bianchi non sono cumulabili con altre tipologie di incentivo statale per il medesimo progetto (Conto Termico).

I cogeneratori dell'impianto della Centrale Sud hanno diritto ad un CB specifico, detto CB CAR (Cogenerazione ad Alto Rendimento) secondo le direttive date dalla D.M. del 5/9/11.

Dal momento che l'impianto solare ricopre una percentuale limitata nel complesso della centrale (**Tabella 3.3-2**), i cogeneratori avranno una produzione certamente superiore (**Tabella 6.2-4**) che si tradurrà in un numero più elevato di TEE.

Nella seguente tabella sono mostrati valori reali di produzione termica dei motori cogenerativi e una valutazione di resa del pannello solare termico piano e sottovuoto valutato con range di temperatura "annuale".

La produzione dei collettori è stata affiancata per ricavare una valutazione puramente indicativa del loro contributo quasi trascurabile rispetto ai cogeneratori.

	Motore 1	Motore 2				
	4335 kWt	1226 kWt	Piani	Sottovuoto	Piani-motori	Sottov-motori
	Eth [kWht]	Eth [kWht]	Eth [kWht]	Eth [kWht]	%	%
Gennaio	3.218.367	901.285	0	5.087	0,00	0,12
Febbraio	3.009.806	796.365	310	10.229	0,01	0,27
Marzo	3.144.365	534.324	5.940	19.665	0,16	0,53
Aprile	1.456.359	236.259	8.629	22.755	0,51	1,34
Maggio	1.953.812	58.590	12.955	26.430	0,64	1,31
Giugno	1.957.032	10.509	17.687	30.131	0,90	1,53
Luglio	2.003.189	233.465	22.262	32.448	1,00	1,45
Agosto	1.945.534	101.799	20.180	29.991	0,99	1,46
Settembre	1.900.023	99.831	11.756	22.560	0,59	1,13
Ottobre	1.664.640	469.614	1.006	10.275	0,05	0,48
Novembre	3.121.200	882.720	0	5.248	0,00	0,13
Dicembre	3216305	874138	0	4.348	0,00	0,11
TOTALE	31.046.910	5.532.460	100.729	219.172	0,28	0,60

Tabella 6.2-4. Produzione termica motori e impianto solare

7 BUSINESS PLAN

L'investimento è l'utilizzo di risorse impiegate con lo scopo di ottenere un beneficio nel futuro. Le risorse in questione non comprendono esclusivamente flussi monetari, ma anche l'utilizzo di personale specializzato e la valutazione della durata del progetto.

Il lasso di tempo tra l'inizio dell'investimento e l'effettivo rientro delle spese viene definito *pay-back time*; la stima di questo periodo è uno degli obiettivi del business plan (BP). I benefici attesi non sono certi all'atto della redazione del BP: è essenziale quindi inserire un fattore di rischio all'interno del calcolo che varia in relazione all'investimento.

Prima di intraprendere una valutazione economica è necessario definire una serie di parametri che risulteranno essenziali nella valutazione del business plan:

- NPV, il *NET PRESENT VALUE* è la somma di tutti i flussi monetari valutati al tempo iniziale. Perché un investimento sia vantaggioso deve presentare un NPV positivo.
- IRR, *INTERNAL RATE OF RETURN*, è il tasso a cui l'NPV di progetto risulta essere pari a zero. Un investimento deve presentare un IRR maggiore del costo del capitale per essere considerato conveniente.
- *PAY-BACK TIME*, il tempo in cui i flussi monetari cumulati risultano pari a zero. Deve necessariamente essere minore della vita media/durata del progetto.

7.1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'azienda intende installare un impianto solare termico sul tetto della centrale della rete di teleriscaldamento di Alessandria. La centrale verrà costruita a partire da Marzo 2019, e i primi allacciamenti verranno effettuati nel corso della seguente stagione termica (ottobre 2019). Di conseguenza l'impianto solare entrerà in esercizio a partire dal 2020.

L'area occupata dall'impianto solare è di 446 m^2 in relazione ai collettori sottovuoto e di 345 m^2 per i collettori piani.

La tipologia di collettore da utilizzare verrà scelto a seguito dell'analisi economica costi-benefici di questo capitolo.

Oltre ai già citati pannelli, l'azienda produttrice ha fornito un preventivo comprendente i seguenti accessori:

- Struttura di appoggio per il montaggio
- Kit di guaine ad immersione
- Tubazioni flessibili
- Kit di allacciamento
- Centraline di controllo
- Sfiato
- Sensore-cellula fotovoltaica
- Valvole di sicurezza
- Vaso di espansione
- Fluido termovettore
- Separatore di micro bolle
- Regolazione elettronica a temperatura differenziale
- Sensore temperatura bollitore
- Messa in funzione
- Trasporto del materiale

Verrà presentato un business plan per entrambi i tipi di collettori nelle condizioni delineate nel Capitolo 4.7.2, scelte come ipotesi di lavoro iniziali:

1. Circuito annuale temperature lato TLR: 63°-82°
2. Circuito invernale 65°-90° ed estivo 70°-80°

Di cui è stata fornita la valutazione della produzione di energia termica nel capitolo 4.7.1.

7.2 INPUT DATA

L'impianto è considerato in esercizio da gennaio 2020 per una durata di 25 anni.

7.2.1 Ricavi

I ricavi sono calcolati a partire dalla produzione di energia termica valorizzata a 87 €/MWh, dato fornito dall'Ufficio Commerciale dell'azienda. Questo valore subisce un tasso di inflazione dell'1,5% l'anno secondo previsione aziendale, e in linea con altri business plan del settore e quotato al di sotto del 2%. A questi utili è sommato l'incentivo annuale, non inflazionato, calcolato tramite le direttive del Conto Termico (Capitolo 6) e attivo per i primi cinque anni di attività dell'impianto.

- Produzione termica pannello piano (temperature annuali): 100.729,5 kWh
  Produzione termica pannello piano (temperature stagionali): 108.083 kWh
- Produzione termica pannello sottovuoto (temperature annuali): 219.172,60 kWh
  Produzione termica pannello sottovuoto (temperature stagionali): 221.602 kWh
- Incentivo Conto Termico pannello piano (per 5 anni): 13.236 €
- Incentivo Conto Termico pannello sottovuoto (5 anni): 18.909 €

7.2.2 Costi di gestione

La manutenzione dell'impianto è di grande rilevanza poiché un controllo approssimativo dei pannelli può portare ad un prematuro malfunzionamento. Il collettore sottovuoto, in particolare l'*heat pipe*, necessita di una più accurata gestione a causa della sua struttura delicata. Per questo motivo i costi di manutenzione di questa tecnologia sono stati ipotizzati più alti (3.500 € contro i 2.500 € del piano). L'assicurazione e gli oneri operativi sono stati valutati pari a 1.500 € sulla base di preventivi disponibili.

7.2.3 Leasing

Per il collettore sottovuoto l'azienda ha ricevuto un preventivo della fornitura dell'impianto solare (collettori + accessori) pari a 194.000 €. La posa costa 34.000 €, a cui si aggiungono 10.000 € di imprevisti. Si procede quindi ad un contratto di *leasing* dal 2019 per i successivi 12 anni. Sono state fissate 12 rate annuali per un totale di 144 rate. L'importo totale è il costo dell'impianto valutato con un tasso pari al 3% secondo indagine di mercato interna. Il 40% della somma iniziale è assunto come rata di anticipo.

Per il collettore piano il preventivo risulta essere di 120.000 € e la posa di 28.000 €. La differenza nel costo della posa risiede nel fatto che il collettore sottovuoto richiede più attenzione nell'essere maneggiato e assemblato in loco, e di conseguenza maggiori costi di manodopera.

7.2.4 Margine operativo Lordo (MOL)

Il MOL è un indice di redditività calcolato come differenza fra ricavi dell'anno *n* ed i costi di gestione e la quota leasing. Questa voce esprime la capacità di una azienda di generare reddito operativo. Spesso il MOL è sostituito dall'omonimo inglese EBITDA: *Earning before interest, taxes, depreciation and amortization.*

7.2.5 Margine operativo Netto (MON)

Il MON è il margine operativo lordo privato dalla quota destinata agli accantonamenti, qui valutati pari a zero perché ipotizzato un pagamento tramite leasing.

7.2.6 Imposte

L'IRES (Imposta Reddito delle Società) è una imposta calcolata annualmente in base al reddito definita dal decreto legislativo n. 344/2003. Dal 2017 è passata dal 27,5% al 24%, in base alla Legge di Bilancio 2017.

L'IRAP è l'Imposta Regionale sulle Attività Produttive per finanziare il Servizio Sanitario Nazionale. L'assoggettamento a questa tassa è definito dall'articolo 2 del D. Lgs. 446/1997. È stabilita come ordinaria al 3,9%, con una variazione fino ad un punto percentuale regione per regione. Per la Regione Piemonte è fissata al 3,9%.

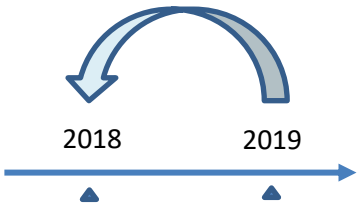
I debiti tributari comprendono l'Iva, l'Ires, l'Irap, le imposte di fabbricazione, le imposte sostitutive, le ritenute sui redditi di lavoro e i debiti.

7.2.7 Flussi monetari

In un business plan i flussi monetari possono essere sommati tra loro esclusivamente se riferiti allo stesso anno. Per ovviare a questo problema, si utilizza una semplice formula finanziaria per attualizzare i flussi di cassa.

Esempio:

$$Cash\ flow\ @\ (2018) = Cash\ flow\ @\ (2019)\ \cdot (1+i)^{-1}$$



Dove *i* è il costo del capitale (= *discount rate*).

Come di norma nelle valutazioni di investimenti, il costo del capitale è imposto pari al WACC.

Il WACC (*Weighted Average Cost of Capital*) è il costo medio ponderato del capitale di una impresa. Indica il tasso di rendimento minimo richiesto da parte del fornitore della risorsa (il capitale). È quindi una valutazione del rischio che l'azienda affronta in relazione all'investimento.

La formula del WACC è la seguente:

$$WACC = K_e \frac{E}{D+E} + K_d \frac{D}{D+E}$$

Equazione 7.2-1. Definizione del WACC

Dove

- K_e è il costo dell'Equity/patrimonio proprio [%]
- E è il patrimonio netto [€]
- D è l'indebitamento [€]
- K_d è il costo del debito [%]

Il K_e, costo dell'*equity*, tiene conto di due componenti: il rischio specifico dell'investimento, che varia in funziona del caso in esame, e il rischio sistematico, il quale dipende dall'evoluzione dell'economia. Come limite inferiore, K_e deve essere uguale al rischio sistematico (R_f = *risk free*), ma comunemente l'investitore si aspetta un costo dell'*equity* di questo tipo:

$$K_e = R_f + premio$$

Equazione 7.2-2. Definizione del costo dell'Equity

Il "premio" è la differenza tra il rendimento atteso del mercato e il rendimento di una attività *risk free*:

$$premio = R_f + \beta(R_m - R_f)$$

Equazione 7.2-3. Definizione del "premio"

Dove

- R_f è il rendimento attesa da una attività priva di rischio
- R_m è il rendimento atteso dal mercato
- β è la sensitività dello specifico investimento atteso dalla impresa.

Il rendimento *risk free* viene calcolato tramite il rendimento dei titoli di stato di un paese economicamente stabile. Per l'Italia si utilizza l'indice *benchmark* [33] che utilizza come dato il rendimento lordo dei titoli di stato. Il coefficiente β indica di quanto varia il rendimento del titolo relativo all'investimento rispetto al rendimento del mercato.

Il costo del debito K_d determina quanto l'impresa sostenga l'investimento attingendo a capitali di terzi. È funzione del tasso di interesse che l'azienda paga su fondi presi in prestito.

Nel caso in esame il WACC è imposto al 5% in conformità con i parametri aziendali relativi a simili investimenti.

7.2.8 NPV

Il *Net Present Value*, in italiano VAN (valore attuale netto), è la somma di tutti i flussi monetari traslati all'anno corrente. Al termine della valutazione, l'investimento risulterà accettabile esclusivamente se il valore dell'NPV sarà positivo.

$$NPV = -I + \sum_{t=1}^{N} \frac{B_t}{(1+i)^t}$$

Equazione 7.2-4. Definizione NPV

Dove

- I è il valore dell'investimento iniziale
- B_t è il flusso monetario dell'anno t-esimo da inizio investimento
- N è il numero di anni totali in cui l'investimento viene valutato
- *i* è il *discount rate*

Per ottenere una previsione a lungo termine, nel calcolo del VAN il leasing è equiparato ad un mutuo come da prassi aziendale. Il primo anno di attività

[33] Borsa Italiana*, Indice Benchmark*, www.borsaitaliana.it, 13/4/2007

prevede l'esborso per il totale degli investimenti, a cui verranno sommati di anno in anno i margini operativi attualizzati e rettificati per il canone di leasing.

7.2.9 IRR

L'*Internal Rate of Return* è il tasso relativo al costo del capitale (*discount rate*), *i*, tale da rendere l'NPV pari a zero.

$$-I + \sum_{t=1}^{N} \frac{B_t}{(1+i)^t} = 0$$

Equazione 7.2-5. Definizione IRR

7.2.10 Pay-back time

Il PBT è il tempo di recupero del capitale investito, valutato come instante τ in cui i flussi monetari negativi (in uscita) equivalgono algebricamente a quelli positivi (in ingresso).

$$-I + \sum_{t=1}^{\tau} \frac{B_t}{(1+i)^t} = 0$$

Equazione 7.2-6. Definizione PBT

7.2.11 La valutazione economica

Sono stati valutati due diversi business plan per ciascuna tecnologia di collettore, secondo i seguenti casi:

Caso 1. Condizione annuale: T ritorno TLR=63°C; T mandata TLR=82°C

Caso 2. Stagione termica: T ritorno TLR=65°C; T mandata TLR=90°C

Stagione non termica: T ritorno TLR=70°C; T mandata TLR=80°C

COLLETTORE SOTTOVUOTO, CASO 1.

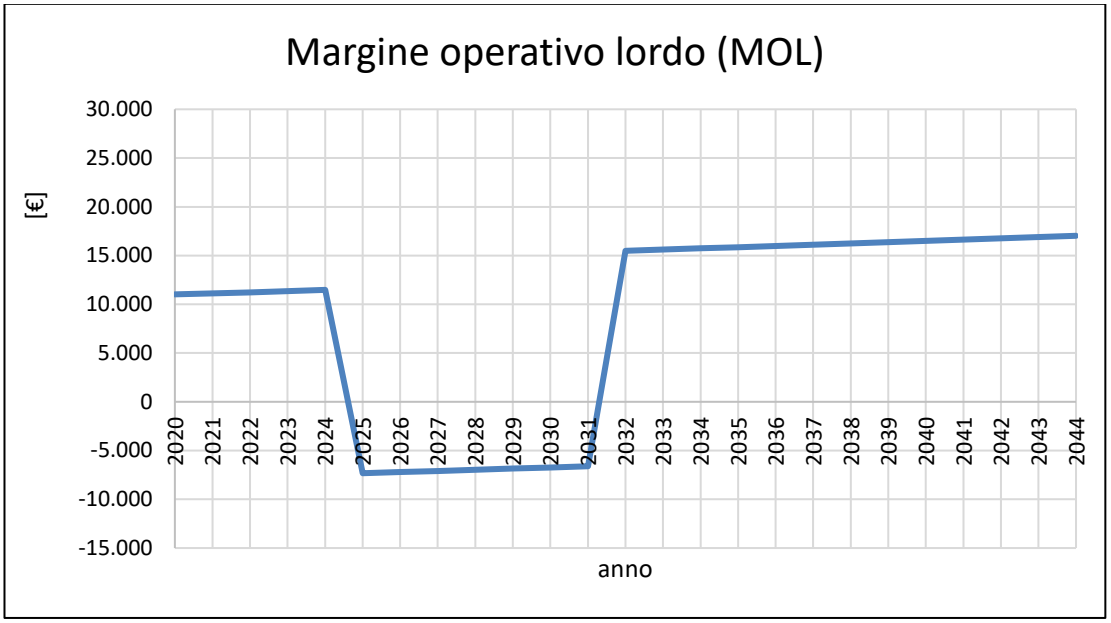


Figura 7.2-1. Margine operativo Lordo collettore sottovuoto caso 1

La flessione in negativo allo scadere del 5° anno è dovuta al termine dell'incentivo del Conto Termico, mentre la flessione in positivo al 2031 è relativa alla conclusione del pagamento dei canoni di leasing (iniziato 12 anni prima).

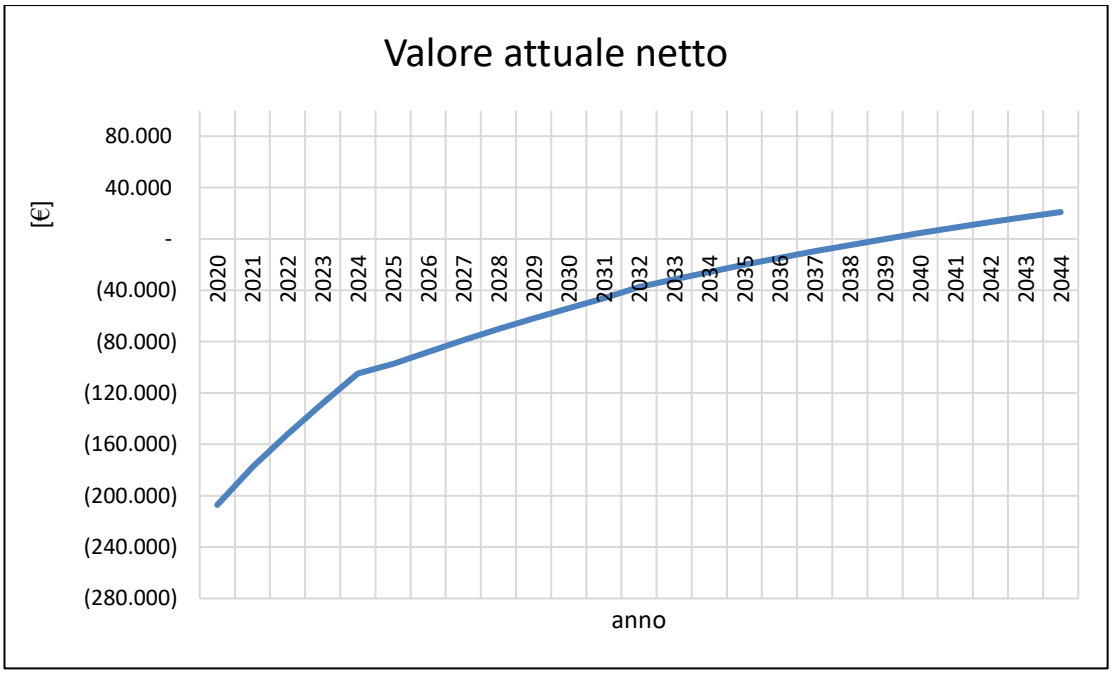


Figura 7.2-2. Flusso monetario cumulato collettore sottovuoto caso 1

Come anticipato nel sottocapitolo relativo all'NPV, in **Figura 7.2-2** è visibile la variazione dei flussi totali entranti e uscenti attualizzati. Nel primo anno è imposto il costo totale della iniziativa, a cui viene sommato algebricamente il MOL rettificato per i canoni di leasing. L'intersezione del flusso così definito con l'asse delle ascisse (relativo al tempo) individua l'anno del rientro dell'investimento: il *pay-back time*.

Gli output della simulazione sono riassunti in **Tabella 7.2-1**.

RISULTATI SIMULAZIONE INIZIATIVA		
IRR INIZIATIVA	%	6,28%
NPV	€	20.912
PBT (da entrata in esercizio)	anni	20

Tabella 7.2-1. Risultato simulazione collettore sottovuoto caso 1

La **Tabella 7.2-1** riassuntiva mostra che al termine della valutazione (anno 2044) l'investimento è caratterizzato da un *Net Present Value* di 20.000 € e un *Internal Rate of Return* poco al di sotto del 7%. Valutando adeguate manutenzioni si ipotizza di garantire l'esercizio dell'impianto per oltre 25 anni.

COLLETTORE SOTTOVUOTO, CASO 2.

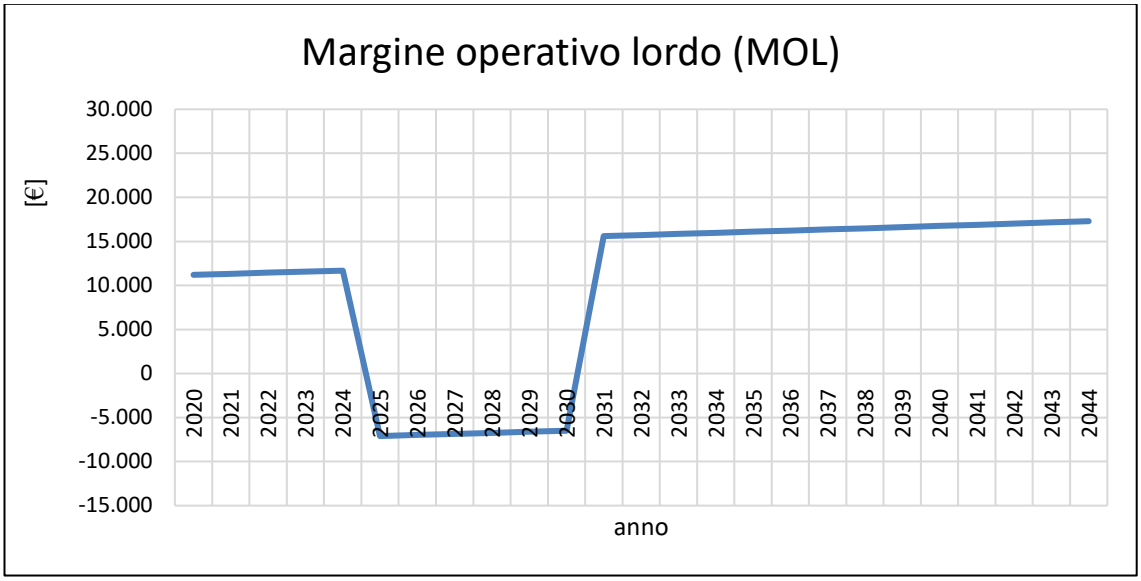


Figura 7.2-3. Margine operativo lordo collettore sottovuoto caso 2

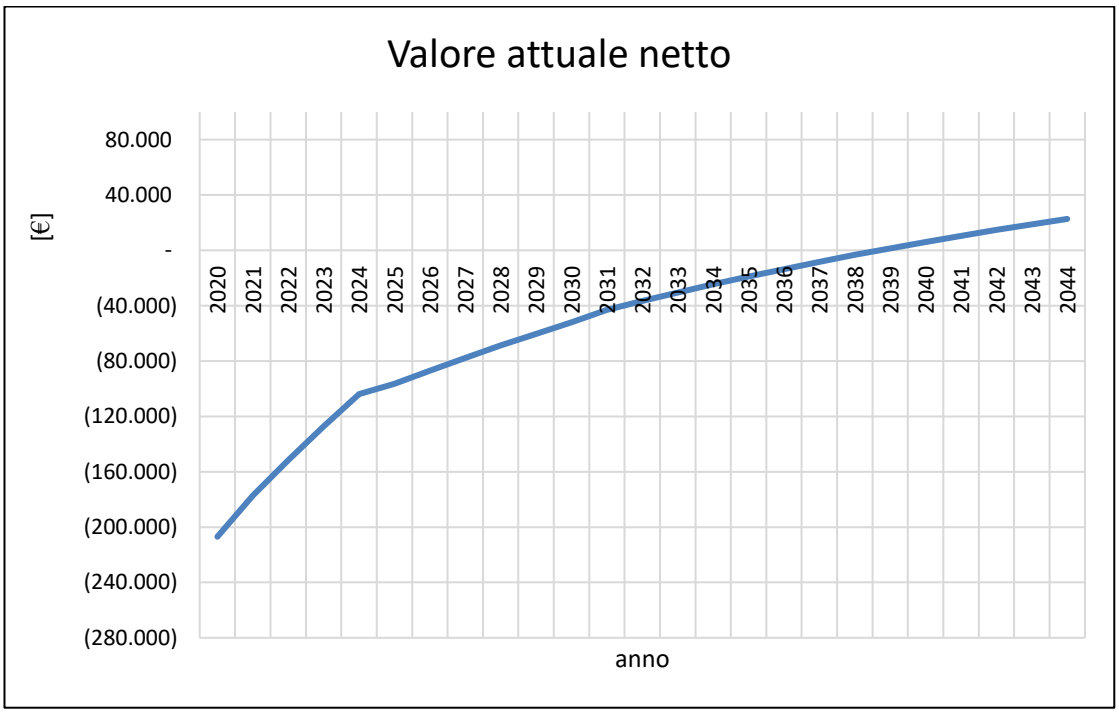


Figura 7.2-4. Flusso monetario cumulato collettore sottovuoto caso 2

I trend dei due grafici (**Figura 7.2-3**, **Figura 7.2-4**) sono del tutto simili alla precedente valutazione. Si possono infatti notare lo scadere dell'incentivo al quinto anno (flessione negativa), il termine della rata del leasing (al dodicesimo

anno) nella **Figura 7.2-3** relativa al MOL e il pagamento dell'investimento inziale in **Figura 7.2-4**.

RISULTATI SIMULAZIONE INIZIATIVA		
IRR INIZIATIVA	%	6,39%
NPV	€	22.696
PBT (da entrata in esercizio)	anni	19

Tabella 7.2-2. Risultato simulazione collettore sottovuoto caso 2

Anche il secondo caso del collettore sottovuoto produce risultati positivi, mostrando un NPV superiore ai 20.000 € e un rientro in 19 anni.

COLLETTORE PIANO, CASO 1.

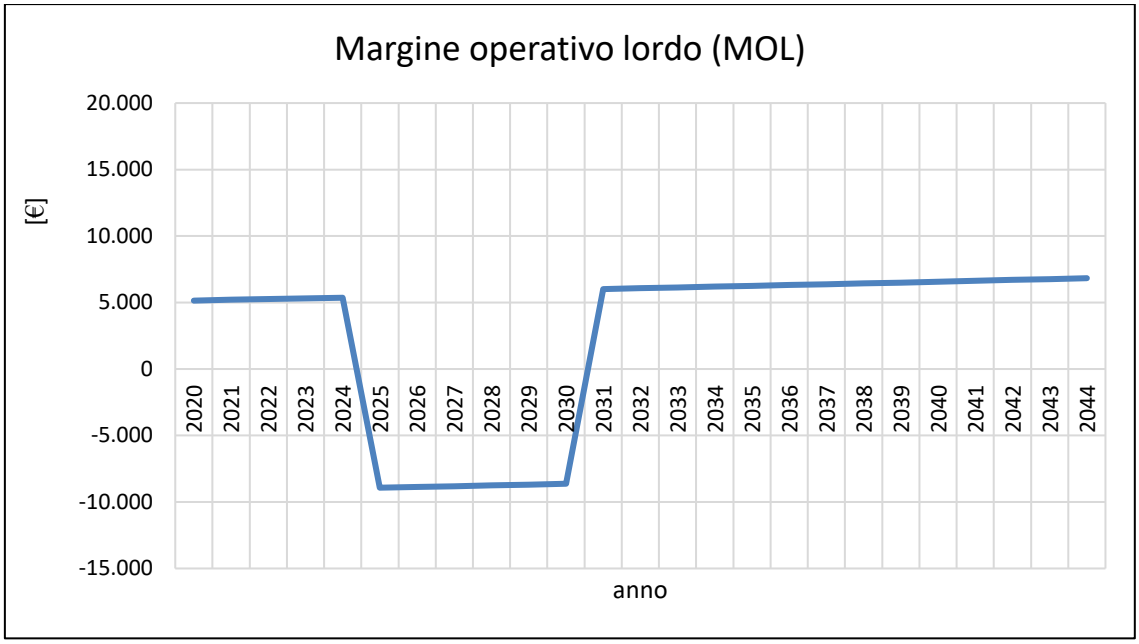


Figura 7.2-5. Margine operativo lordo collettore piano caso 1

Il trend del MOL (**Figura 7.2-5**) mantiene l'andamento visto nei casi precedenti, essendo la struttura degli incentivi e della rateizzazione del leasing la medesima,

seppur meno favorevole. Al termine della simulazione, infatti, il margine operativo lordo del caso 1 del collettore piano mostra un valore di circa un quarto rispetto al corrispettivo caso del collettore sottovuoto, a causa della minor produzione che si traduce in una minor vendita di energia termica.

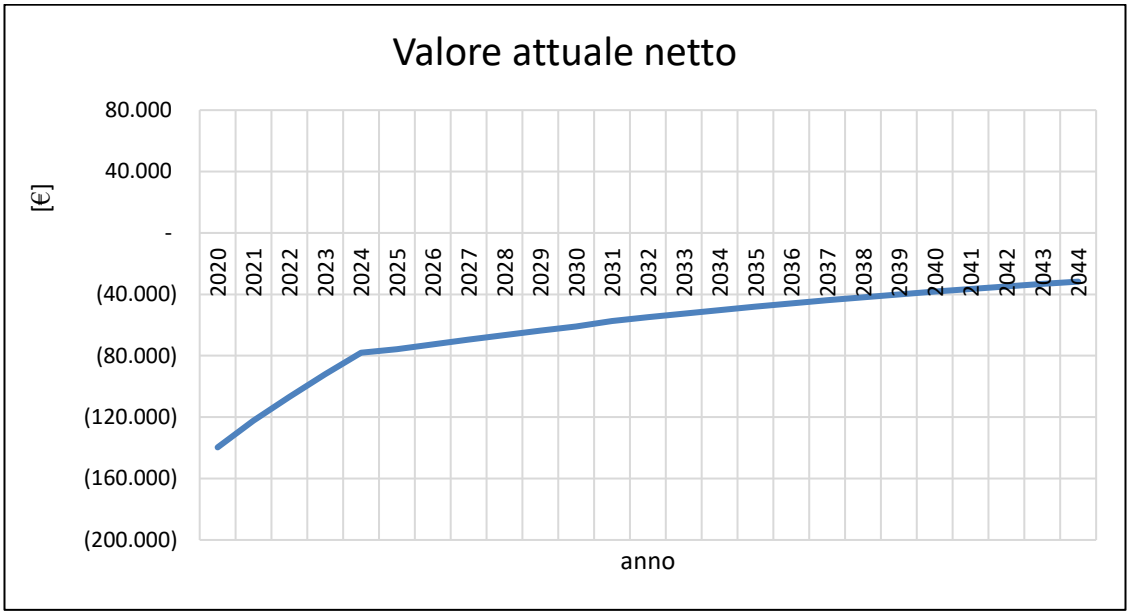


Figura 7.2-6. Flusso monetario cumulato collettore piano caso 1

Il valore attuale netto (**Figura 7.2-6**) si attesta su valori negativi per l'intera simulazione. Il *pay-back time* non viene pertanto raggiunto entro il 2045, ipotizzato come fine vita del pannello.

RISULTATI SIMULAZIONE INIZIATIVA		
IRR INIZIATIVA	%	1,61%
NPV	€	-31.716
PBT (da entrata in esercizio)	anni	Oltre il 2045

Tabella 7.2-3. Risultato simulazione collettore piano caso 1

La valutazione economica con il pannello piano mostra risultati decisamente meno favorevoli (**Tabella 7.2-3**) rispetto alle precedenti.

Le massicce dimensioni dell'impianto portano l'investimento iniziale ad essere oneroso, ma la produzione legata a questa tecnologia non permette un rientro nei costi dell'investimento in un tempo utile. L'NPV al termine del 2045 è negativo e ne consegue un PBT che supera la vita dell'impianto.

COLLETTORE PIANO, CASO 2.

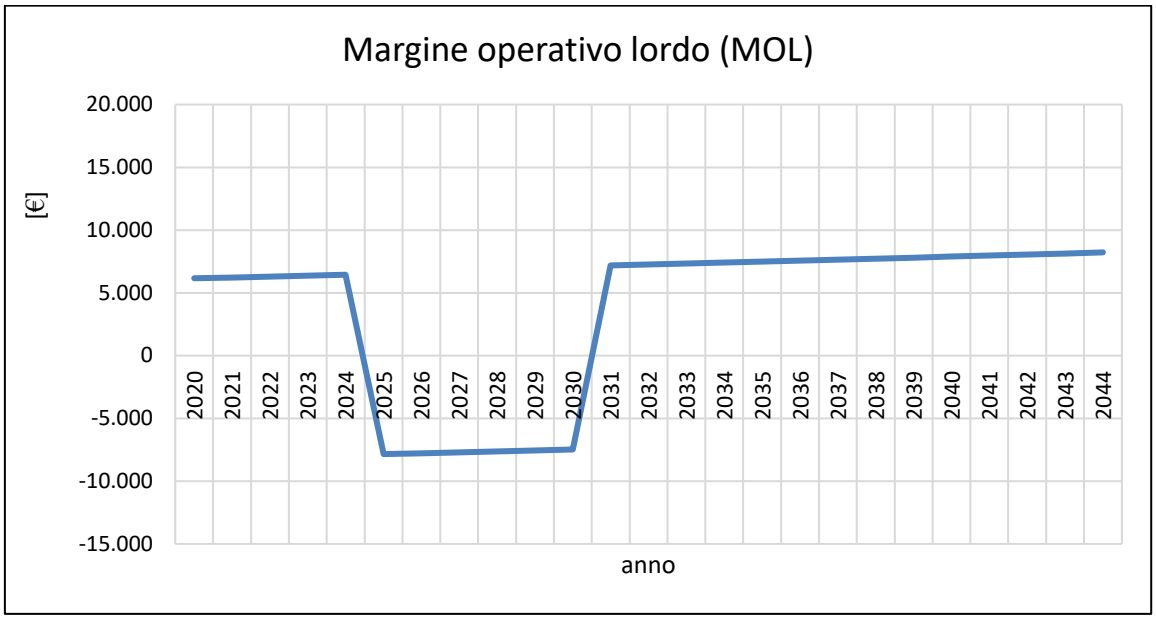


Figura 7.2-7. Margine operativo lordo collettore piano caso 2

Il margine operativo lordo ha lo stesso andamento dei casi precedenti, in linea con il caso 1 della simulazione con i collettori piani.

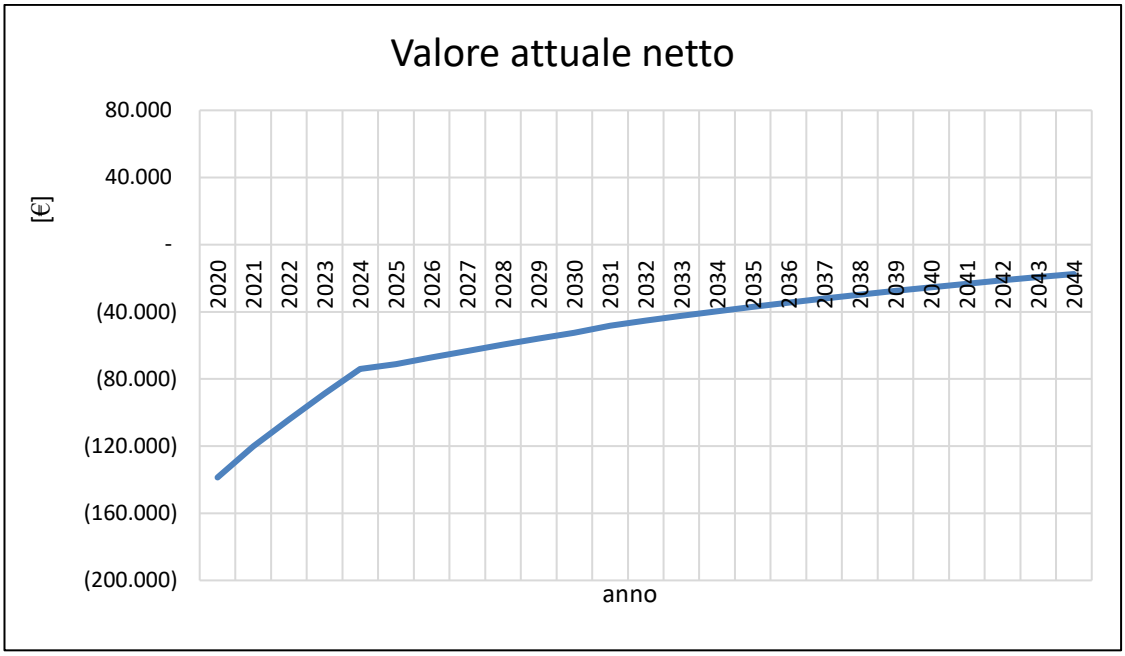


Figura 7.2-8. Flusso monetario cumulato collettore piano caso 2

Nella **Figura 7.2-8** il trend del valore attuale netto del caso 2 relativo ai collettori piani mostra un andamento negativo, seppur in crescita, durante l'intera simulazione.

RISULTATI SIMULAZIONE INIZIATIVA		
IRR INIZIATIVA	%	3,21%
NPV	€	-17.502
PBP (da entrata in esercizio)	anni	Oltre il 2045

Tabella 7.2-4. Risultato simulazione collettore piano caso 2

Anche il secondo business plan del collettore piano non risulta essere soddisfacente: l'NPV è negativo e il PBT supera la vita media stimata del pannello.

7.3 CONCLUSIONI

L'impianto con il collettore di tipo piano non raggiunge il *pay-back time* entro il termine della vita utile del pannello (25 anni). La motivazione risiede nell'investimento iniziale che risulta molto oneroso, in relazione al ricavo derivante dall'energia termica venduta nettamente inferiore a quella del collettore sottovuoto. La tecnologia del collettore piano è nata infatti per il settore domestico, con l'obiettivo di riscaldare acqua calda sanitaria. Imponendo una temperatura nettamente superiore a quella di normale utilizzo (che è circa 45°C) il risultato è un calo del rendimento che si traduce in un calo di produzione.

I risultati delle simulazioni mostrano un NPV negativo, condizione non accettabile per un investimento. L'IRR dei casi 1 e 2 si attesta intorno al 2-3%, indice di un rischio considerevole di non rientro delle spese, come dimostra chiaramente il PBT (**Tabella 7.2-3**, **Tabella 7.2-4**) che eccede la vita media dell'impianto.

Il collettore sottovuoto presenta un investimento più oneroso, ma gode di caratteristiche che ne permettono l'utilizzo con temperature esterne più rigide grazie alle basse dispersioni e a rendimenti mediamente più elevati.

Il tempo di ritorno dell'impianto con collettore sottovuoto è pari a 19-20 anni, (**Tabella 7.2-1**, **Tabella 7.2-2**). Dal ventesimo anno di utilizzo perciò l'impianto produce energia termica in utile. L'IRR si attesta in entrambi i casi attorno al 6-7% e l'NPV è positivo (circa 20.000€).

Al netto delle valutazioni prodotte la scelta ricade sulla tecnologia del pannello solare a tubi sottovuoto per motivazioni sia tecnologiche (maggiore produzione) sia economiche (rientro dell'investimento).

8 IMPATTO AMBIENTALE

A partire dal 2001 sono stati registrati 16 dei 17 anni più caldi degli ultimi 200 anni[34]. La temperatura media misurata sulla superficie terrestre ha subìto un incremento percentuale negli ultimi cento anni con un trend che sembra aumentare ancora (**Figura 8-1**).

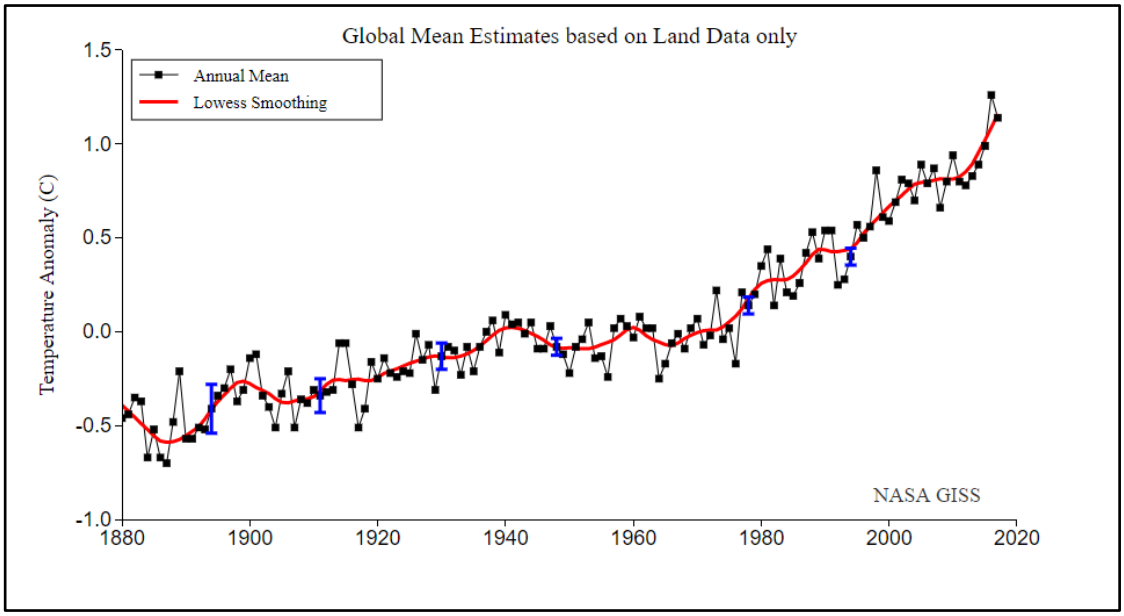


Figura 8-1. Temperatura media superficie terrestre, FONTE: NASA GISS

L'utilizzo di combustibili fossili è considerato uno delle cause principali di questo aumento secondo l'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). La concentrazione di CO_2 in atmosfera ha raggiunto +38% dal 1750[35], confronto possibile grazie all'utilizzo di carotaggi. La presenza massiccia di questo gas, di cui la concentrazione oggi è pari a 390 ppm, innesca il cosiddetto effetto serra, trattenendo la radiazione solare e causando un innalzamento della temperatura. Se le emissioni non subiranno un netto arresto, secondo il *Climate Action Tracker*, è possibile che nel 2100 le temperature raggiungano +3,4° rispetto al dato attuale.

[34] National Aeronautics and Space Administration, *Surface Temperature*, www.giss.nasa.gov
[35] World Meteorological Organization, *GreenHouse Gas Bulletin*, public.wmo.int, 2017

Una reazione a questo scenario risiede nell'utilizzo di fonti di natura rinnovabile, a basso impatto di emissioni.

L'Unione Europea ha definito il pacchetto Clima-Energia (Capitolo 5.3), che prevede una serie di obiettivi da raggiungere entro il 2030:

- Riduzione dei gas ad effetto serra del 40% rispetto al 1990
- Aumento dell'efficienza energetica del 27%
- 27% del fabbisogno energetico nazionale di rinnovabili

La tecnologia del solare termico non produce emissioni di gas ad effetto serra e può quindi essere considerata una soluzione ecosostenibile ed uno strumento per il raggiungimento degli obiettivi europei.

8.1 EMISSIONI EVITATE

Tramite la produzione di energia termica valutata nel Capitolo 4.7.1 con la tecnologia valutata vincente e l'ipotesi annuale, è possibile determinare la quota di anidride carbonica che sarebbe emessa se l'impianto solare fosse sostituito con una caldaia a gas naturale.

	Unità di misura utilizzata per consumo di combustibile	**Fattore di emissione (tCO2/unità di misura quantità)**	**Coefficiente di ossidazione**	**PCI [GJ/1000Stdm^3]**
Gas naturale	TJ	55,897	1	35,134

Tabella 8.1-1. Valori di emissione vettori energetici, FONTE: Monitoraggio Ministero dell'Ambiente

Grazie alla **Tabella 8.1-1** è possibile ricavare i seguenti dati:

Produzione annuale [kWh/anno]	219.172
Produzione annuale [TJ/anno]	0,79
Emissioni [tCO_2/anno]	44,10

Tabella 8.1-2. Emissioni evitate di CO2

Le emissioni evitate grazie all'installazione dell'impianto solare risultano essere di oltre 40 tonnellate di CO_2 all'anno.

8.2 EU ETS

In Europa esiste un sistema denominato “Sistema Europeo di Scambio di Quote di Emissione”.

Si tratta di uno strumento attuato in seguito alle direttive del Protocollo di Kyoto (2005), accordo internazionale volto a contrastare il riscaldamento globale. Il principale obiettivo riguarda la diminuzione delle emissioni globali di gas ad effetto serra. I gas climalteranti che hanno subito restrizioni sono:

- CO_2, anidride carbonica
- CH_4, metano
- N_2O, protossido di azoto
- HFC, idrofluorocarburi
- PFC, perfluorocarburi
- SF6, esafluoruro di zolfo

Ad ognuno di questi gas è stato associato un coefficiente GWP, *Global Warming Potential*.

Il GWP indica quanto una sostanza abbia effetto di gas serra in rapporto alla CO_2, a cui è assegnato 1. Questo coefficiente è convenzionalmente definito su un intervallo di tempo pari a 100 anni.

Gas	**GWP (100 anni)**
CO_2	1
CH_4	21
N_2O	310
HFC-23	310
HFC-143a	3.800
CF_4	6.500
C_2F_6	9.200
SF_6	23.900

Tabella 8.2-1. GWP gas ad effetto serra, FONTE: IPCC (1996)

Come visibile dalla **Tabella 8.2-1**, gli altri gas climalteranti presentano un GWP maggiore rispetto all'anidride carbonica, tuttavia attualmente la CO_2 è quello che influisce maggiormente all'effetto serra (per oltre il 55%)[36].

Per questo motivo è stato istituito un regolamento che limita il livello complessivo delle emissioni nei settori industriali, ma permette al tempo stesso di acquistare e vendere quote (di CO_2) secondo le necessità.

La direttiva ETS, entrata in vigore dal 1° gennaio 2005, regola le emissioni di impianti di grandi dimensioni e ne determina le autorizzazioni in materia di diffusione di gas a effetto serra. L'impianto deve infatti monitorare le proprie emissioni e definire il corrispettivo in quote:

$$1\ ton\ CO_2\ eq = 1\ quota$$

Ad ogni impianto, in relazione alle caratteristiche specifiche, è assegnato dall'*European Union Emissions Trading Scheme* (EU ETS) un numero di quote gratuite, oltre le quali l'azienda deve compensare con l'acquisto di quote europee (*European Union Allowances*) o disponibili sul mercato.

I gestori degli impianti possono quindi comprare le quote o investire in tecnologie a più basso impatto ambientale.

Esistono aste europee per l'assegnazione delle quote, gestite tramite piattaforme ad hoc:

- La CAP2, utilizzata a livello europeo da 25 Stati (tra cui l'Italia)
- La EEX-DE, per la Germania
- La ICE- UK, per il Regno Unito

[36]Rete Clima, *Protocollo di Kyoto, l'accordo internazionaleper contrastare il cambiamento climatico*, www.reteclima.it

Il costo della quota varia sul mercato con un trend in aumento nell'ultimo anno:

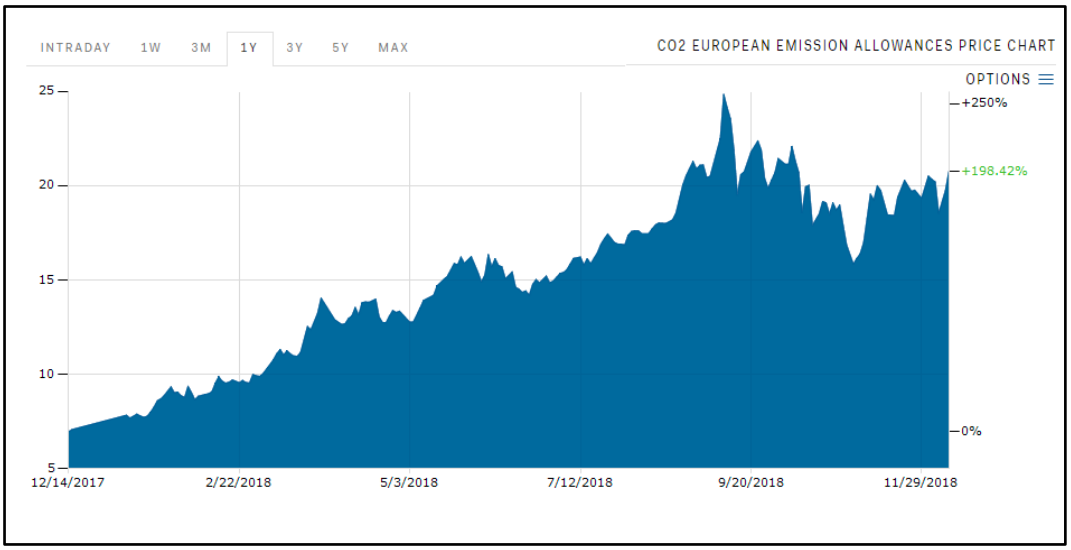


Figura 8.2-1. Prezzo quota CO2 (dicembre 2017-novembre2018), FONTE: MARKETS INSIDER

La media del mese di Novembre 2018 è pari a 19,87 € a quota. Tramite queste valutazioni è possibile stimare un risparmio di quote da acquistare grazie all'impianto solare (con la tecnologia vincente e le ipotesi annuali):

Produzione annuale [kWh/anno]	219.172
Produzione annuale [TJ/anno]	0,79
Emissioni [tCO_2/anno]	44,10

N° quote	44,10
Prezzo totale [€]	876

Totale emissioni in 25 anni [tCO_2]	1.102
Totale quote ETS risparmiate in 25 anni [€]	21.906

Tabella 8.2-2. Quote ETS valutate per il caso in esame

Il prezzo è stato cristallizzato al medio attuale del mese di novembre 2018.

Si registra quindi un risparmio sull'acquisto delle quote in 25 anni di attività di oltre 20.000€.

9 LO SCAMBIATORE DI CALORE

Gli scambiatori di calore utilizzati nell'ambito del teleriscaldamento sono, generalmente, della tipologia "a piastre". Sono costituiti da una serie di lamiere sovrapposte e parallele tra loro. Forate alle estremità, tramite appositi canali permettono lo scambio di energia termica tra due fluidi senza effettivo contatto.

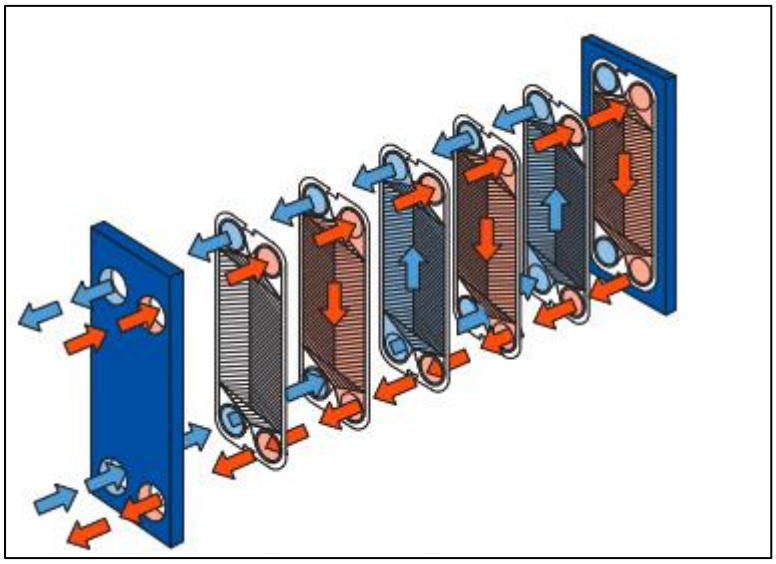


Figura 9-1. Resa grafica del principio di scambio termico nello scambiatore di calore a piastre. FONTE: ALFA LAVAL

9.1 LO SCAMBIATORE LATO SOLARE

Il fluido riscaldato dall'impianto solare confluirà in uno scambiatore di calore per permettere l'innalzamento della temperatura di ritorno del TLR.

Le variabili utilizzate nel dimensionamento di uno scambiatore sono cinque, scelte tra i seguenti parametri:

- Temperatura di ingresso lato Primario [°C]
- Temperatura di uscita lato Primario [°C]
- Temperatura di ingresso lato Secondario [°C]
- Temperatura di uscita lato Secondario [°C]
- Portata lato Primario [kg/s]

- Portata lato Secondario [kg/s]
- Potenza scambiata [kW]

Nel caso in esame sono note ed imposte le temperature in ingresso e uscita di entrambi i fluidi, acqua glicolata per il lato solare (Primario) e acqua addolcita (considerata per semplicità acqua pura) per il lato della rete (Secondario).

Lo scambiatore va dimensionato nella condizione di massimo lavoro, perciò verrà calcolata la portata relativa alla massima potenza ottenuta dall'impianto solare. Questa condizione è ottenuta (con le ipotesi definite "annuali" nel Capitolo 4.7 e con la tecnologia risultata vincente) il 2 Agosto tra le ore 11 e le 12.

Tramite il calore specifico dell'acqua glicolata (miscela al 30%) è possibile ottenere i seguenti risultati:

Cp @ 30%, 71°C [J/kgK]	Potenza massima [kWh]	Portata [kg/s]	Densità [kg/m^3]	Portata [l/s]
3807	282,35	3,46	1044	3,31

Tabella 9.1-1. Calcolo della portata massima dell'impianto solare

Il software di calcolo per il dimensionamento dello scambiatore richiede inoltre la definizione delle perdite di carico, le quali vengono generalmente imposte sulla rete pari a 20 kPa. La temperatura massima di esercizio, lato solare, è, da scheda tecnica, pari a 130°C.

9.1.1 Considerazioni progettuali

Lo scambiatore viene comunemente sovradimensionato per permettere un riscontro alla flessibilità della rete.

Le ipotesi di temperatura utilizzate in questo studio sono il risultato di una media di valori che nella realtà non sono costanti. La richiesta di potenza termica varia infatti di ora in ora, con una ovvia conseguenza sulla temperatura di ritorno: lo scambiatore deve quindi essere in grado di lavorare in condizioni diverse da quelle standard di progetto.

Un eccessivo sovradimensionamento costringe però la valvola di apertura a modulare il fluido in ingresso allo scambiatore, frazionandolo. Le principali criticità legate a questo fenomeno sono le maggiori dispersioni termiche e inoltre un costo non in linea con il reale utilizzo.

Il sottodimensionamento ha conseguenze più gravi dal punto di vista tecnico, poiché non permette il riscaldamento dell'utenza.

9.1.2 Il dimensionamento

Grazie al software di dimensionamento dell'Alfa Laval è stato possibile delineare le caratteristiche dello scambiatore adatto alle esigenze di questo studio.

TL6-BFM			
		Lato caldo	Lato freddo
Fluido	-	30,0% Eth.glycol	acqua
Densità	kg/m^3	1.018,00	975,70
Calore specifico	kJ/kgK	3,85	4,19
Portata volumetrica	m^3/h	12,30	11,70
Temperatura di ingresso	°C	87	63
Temperatura di uscita	°C	68	82
Perdita di carico	kPa	23,40	19,60
Calore scambiato	kW	**254**	
Differenza media logaritmica (LMTD)	K	5,0	
Coeff. di scambio termico di servizio	W/m^{2}K	3.769	
Superficie di scambio termico	m^2	13,50	
Fattore di sporcamento (x 10000)	m^{2}K/W	0,72	
Margine di sovradimensionamento	%	37	
Direzione relativa dei fluidi		Controcorrente	
Numero totale piastre	No.	55	
Numero di piastre effettivo di scambio	No.	53	
Numero di passaggi	No.	1	
Pressione di progetto	bar	10,00	10,00
Pressione di collaudo	bar	14,30	14,30
Temperatura di progetto	°C	110,00	110,00
Peso vuoto	kg	249	
Peso esercizio	kg	271	
Volume liquido	dm^3	11,50	11,50
Prezzo	€	**2.622**	

Tabella 9.1-2. Specifica tecnica scambiatore di calore a piastre

Il modello ottenuto come output della simulazione è un TL6, uno scambiatore a piastre guarnizionate. Le piastre utilizzate (tipologia BFM) risultano essere piuttosto alte, permettendo così un elevato scambio termico (***Tabella 9.1-2***).

La LMTD (differenza media logaritmica di temperatura) è cosi definita:

$$\Delta TML = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{\log \frac{\Delta T1}{\Delta T2}}$$

Equazione 9.1-1. Differenza media di temperatura logaritmica

Dove i ΔT1,2 rappresentano la differenza di temperatura rispettivamente in ingresso e in uscita dallo scambiatore.

Il "fattore di sporcamento" è un indice che riveste grande importanza quando si tratta di acqua del teleriscaldamento, la quale presenta impurità che col tempo possono creare problemi di sedimentazione. Questa tipologia di scambiatore vanta un coefficiente di scambio termico molto alto, che si traduce in una riduzione dell'ingombro totale. Le dimensioni sono:

- Lunghezza totale: 615 mm
- Larghezza totale: 320 mm
- Altezza totale: 1264 mm.

Il layout con le dimensioni reali delle piastre e dello scambiatore completo è visibile in **Figura 9.1-1.**

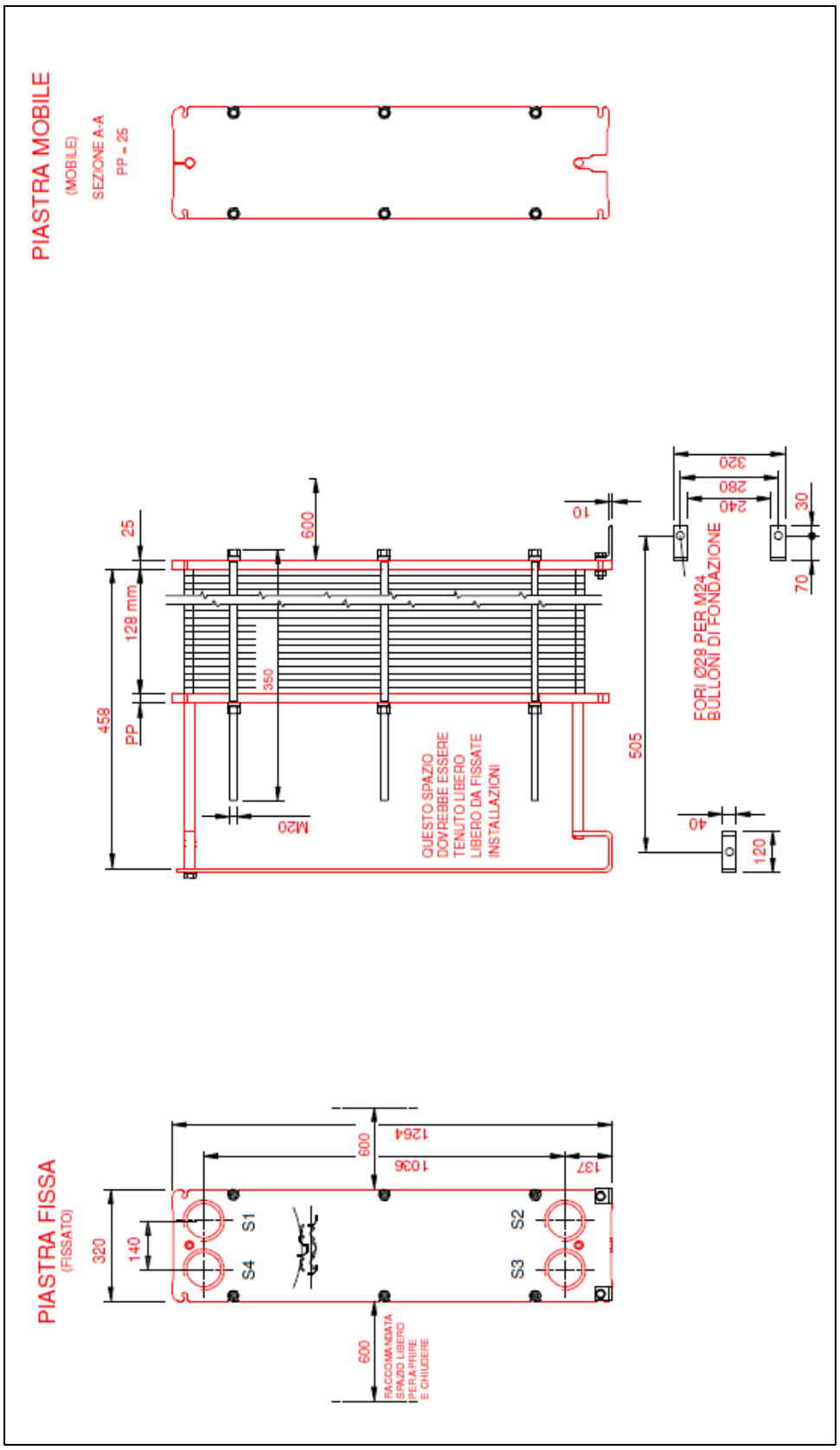


Figura 9.1-1. Layout scambiatore di calore TL6-BFM (quote in mm)

9.2 LO SCAMBIATORE LATO UTENZA

9.2.1 Il dimensionamento

L'acqua riscaldata percorre una rete interrata di tubazioni coibentate detta circuito primario. L'elemento di collegamento tra la rete e le utenze è lo scambiatore, il quale permette il trasferimento di energia termica fino ai radiatori/pannelli radianti installati nelle abitazioni.

L'utilizzo dello scambiatore permette di dividere i due circuiti in modo da evitare problemi legati alle diverse pressioni di esercizio, ma anche di ottenere temperature differenti nelle due reti. È inoltre utilizzato come contabilizzatore del calore erogato.

Anche in questo campo, la tipologia utilizzata è quella dello scambiatore a piastre.

Il sistema del teleriscaldamento subentra di norma in realtà già autonomamente riscaldate, è necessario perciò, per ogni utenza allacciata, sostituire la caldaia esistente con uno scambiatore.

In linea generale, il tecnico addetto al dimensionamento segue una serie di regole pratiche:

- In un edificio esistente, una caldaia viene sostituita con uno scambiatore di pari potenza,
- In un edificio nuovo, si procede valutando per ogni alloggio un corrispettivo di 10 kW per il riscaldamento e 2/3 kW per l'acqua calda sanitaria. Ponendosi in una condizione cautelativa, lo scambiatore è dimensionato valutando un fabbisogno di 15 kW per ogni alloggio del condominio allacciato.

9.2.2 Il telecontrollo

Tramite il software *Flower* l'Ufficio Tecnico dell'azienda supervisiona e monitora le condizioni operative degli scambiatori di calore collegati alle utenze. Questa coordinazione viene definita "telecontrollo" e si basa sulla ricezione e lettura di

dati a distanza (monitoraggio) e la seguente modifica in caso di necessità (regolazione).

Gli strumenti che permettono questo controllo sono:

- La sonda esterna, la quale registra la temperatura dell'ambiente esterno
- La valvola, tramite la cui apertura e chiusura si regolano le portate inviate allo scambiatore dalla rete di mandata
- La centralina, che invia le informazioni di controllo.

È definito a priori un ΔT che leghi la temperatura esterna alla condizione dell'acqua di mandata. Registrata tramite la sonda la temperatura dell'ambiente esterno in un dato istante, è ottenuta la conseguente condizione di immissione.

$$\Delta T - T_{esterna} = T_{immissione}$$

Equazione 9.2-1. Regolazione temperatura di immissione

Nella condizione di studio, il ΔT è posto pari a 65°C. Ciò significa che, registrata una temperatura esterna di -15°C, la rete debba inviare acqua a 80°C.

Raggiunta la temperatura di *set point* nell'ambiente riscaldato, la quale può essere definita dall'utente o preimpostata, la valvola si chiude. Nel momento in cui la condizione non è più soddisfatta la valvola viene aperta nuovamente, con una percentuale di apertura legata alla necessità di calore richiesto.

Come esempio viene proposta la condizione di un condomino allacciato ad una rete esistente di proprietà dell'azienda.

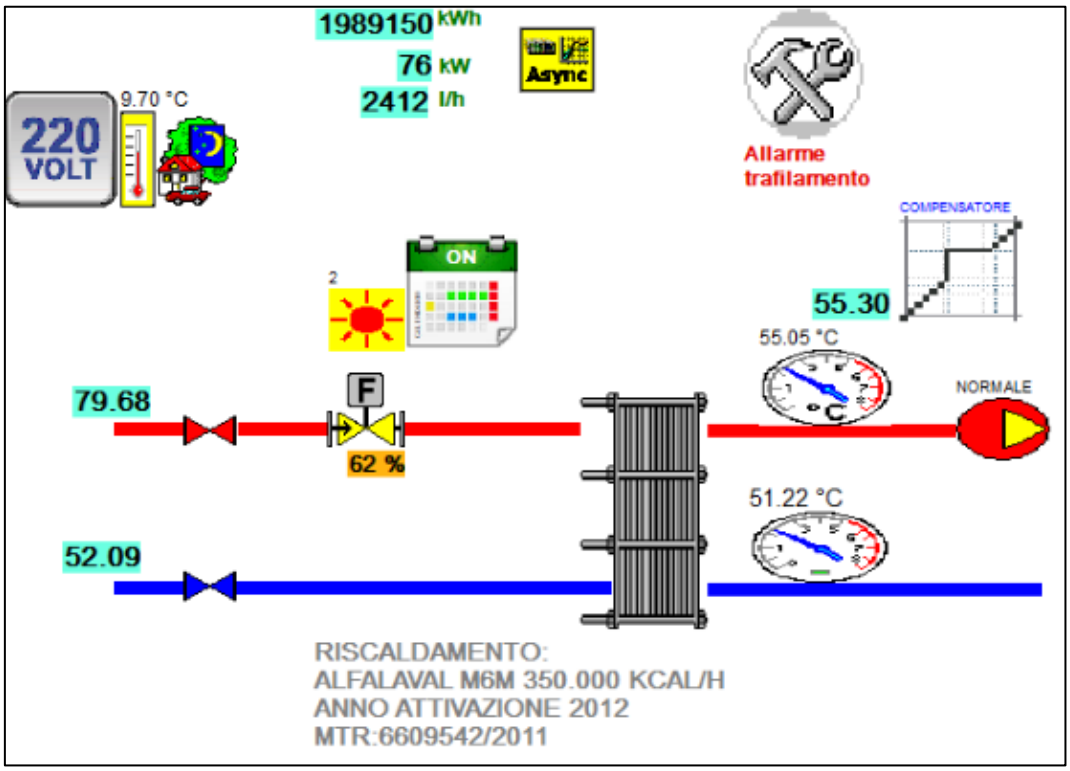


Figura 9.2-1. Configurazione software Flower, allacciamento condominio V., data: 18/01/19 ore 16:08

La sonda esterna segna una temperatura di 9,7°C. Per ottenere la temperatura di set point è necessario quindi immettere acqua a

$$65°C - 9{,}7°C = 55{,}3°C$$

Per ottenere tale temperatura di immissione la valvola viene aperta del 62%, permettendo l'ingresso del fluido termovettore del circuito primario, il quale ovviamente si deve trovare ad una temperatura maggiore (79,68°C) per poter soddisfare le richieste globali di energia termica nella rete in ogni condizione.

10 IL LAYOUT DELL'IMPIANTO SOLARE TERMICO

L'elaborato grafico ha l'obiettivo di mostrare una prima e generale disposizione degli elementi presi in considerazione durante la simulazione. Essendo parte dello studio preliminare, non prevede dimensionamento degli elementi al di fuori dei collettori solari.

La tecnologia più adatta è risultata essere il pannello sottovuoto, il quale verrà disposto sul tetto della centrale con una inclinazione pari a 35°.

È necessario calcolare una distanza da rispettare tra le file di pannelli per limitare il fenomeno dell'ombreggiamento.

La distanza di posa minima è funziona della geometria del pannello, e può essere definita come segue[37]:

α [°]	distanza [m]
30	h*2,6
45	h*3,2

Tabella 10-1. Calcolo distanza minima tra i pannelli

Dove h è la lunghezza del pannello.

Per evitare il rischio dell'"effetto vela" causato dall'azione del vento su di un'area verticale, il pannello verrà posizionato, come di norma, in orizzontale. È stato infatti verificato che la disposizione in orizzontale o in verticale si traduca nello stesso numero di pannelli posizionabili.

Per il caso in esame si utilizza pertanto la formula:

$$d = h * 2{,}8$$

Equazione 10-1. Distanza tra le file di pannelli

con h=1,173 m, la distanza d è pari a 3,28 m, la quale permette una posa di 166 pannelli (**Figura 10-1**).

[37] E. Fabrizio, *Corso per certificatori energetici-Solare termico*, Cuneo 2016

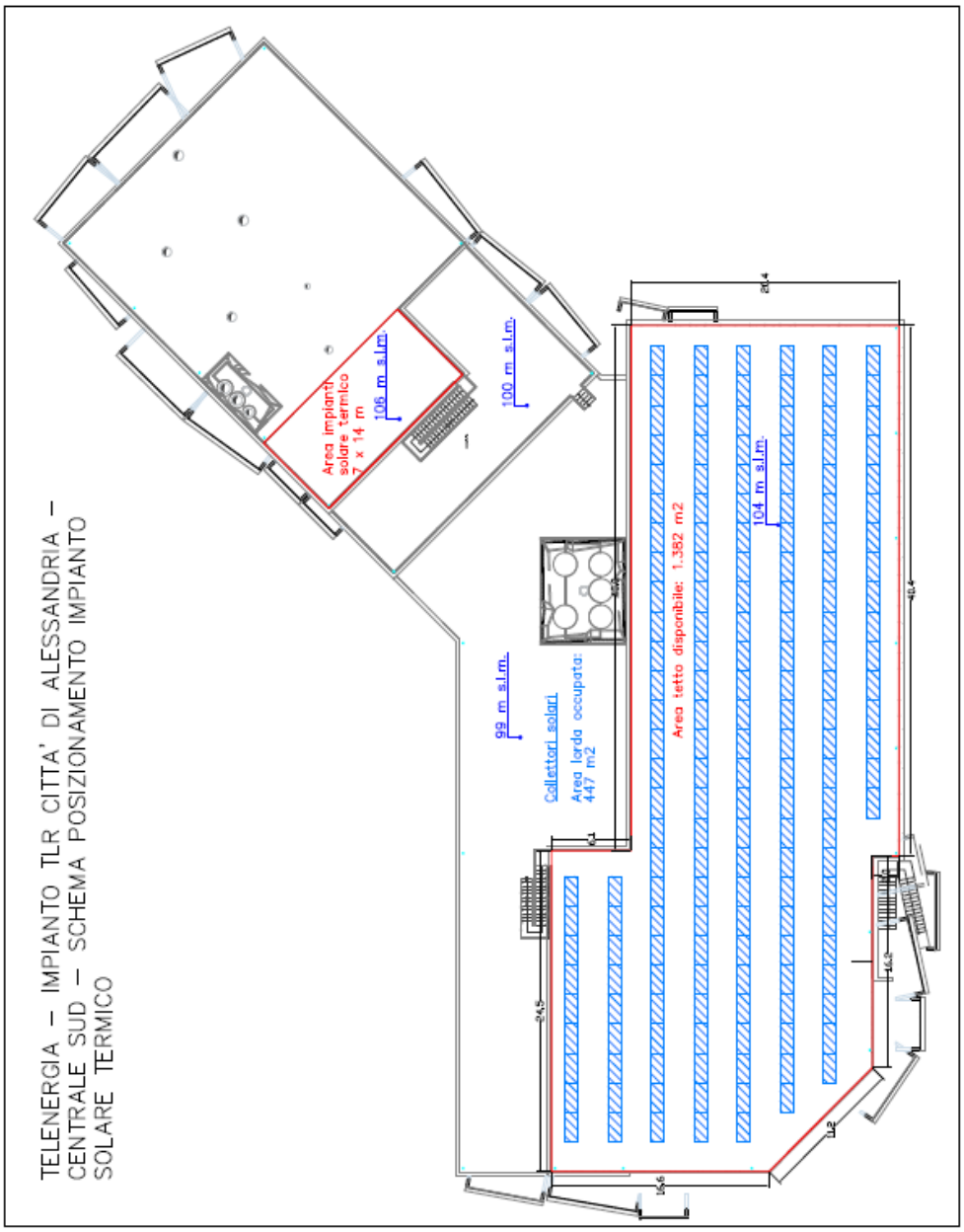


Figura 10-1. Schema posizionamento pannelli solari

Il layout dell'impianto (**Figura 10-2**) definisce il collegamento tra i principali elementi previsti, quali:

- Lo scambiatore di calore, che è stato dimensionato nel capitolo 9.1.2
- Un serbatoio di accumulo di acqua glicolata con la funzione di sicurezza
- Il campo solare.

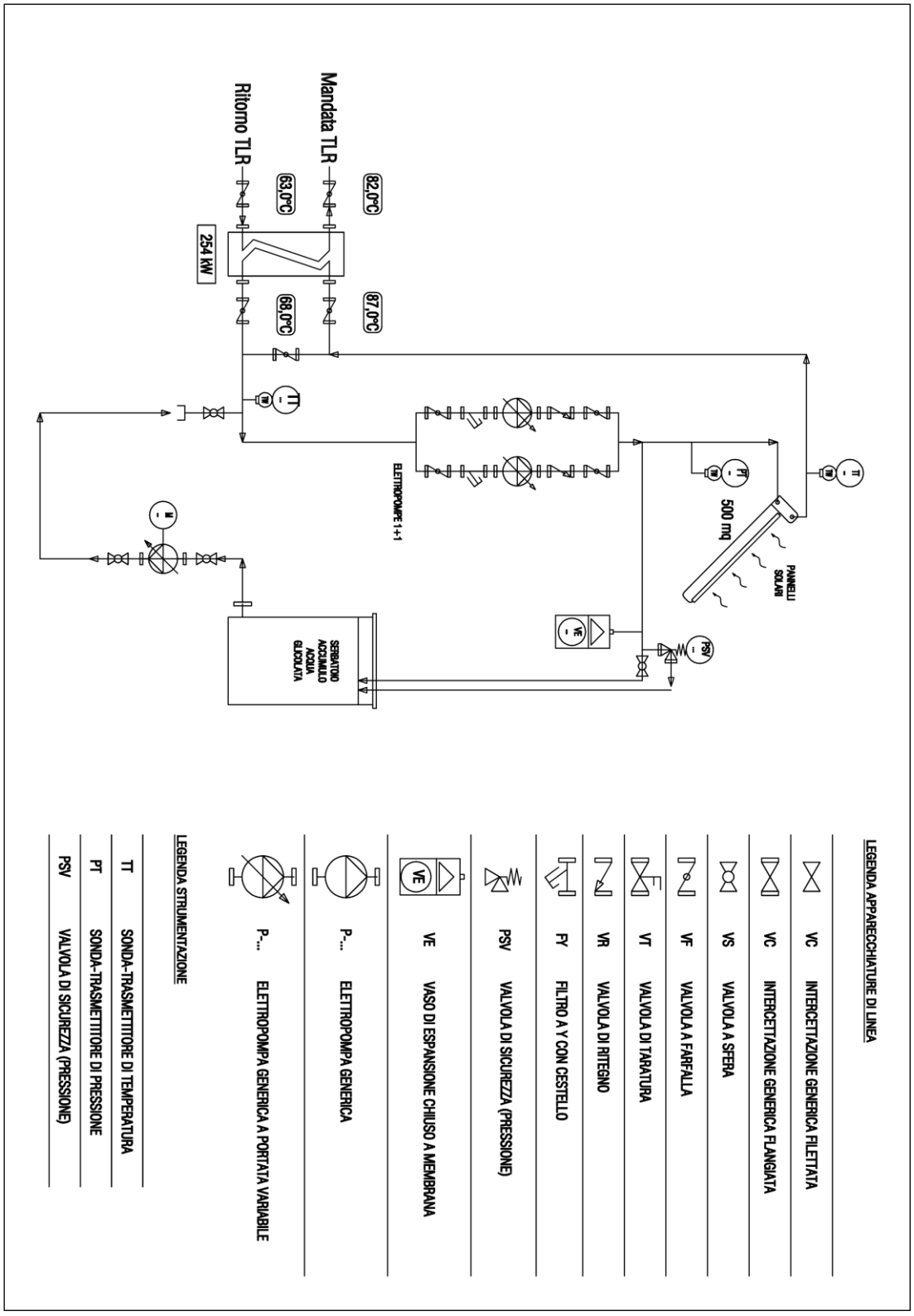


Figura 10-2. Layout impianto solare termico

La sonda trasmettitore di temperatura (TT) registra la temperatura del fluido termovettore, permettendo di regolare il flusso ed il ricircolo se necessario. Le elettropompe a portata variabile sono poste in parallelo per una questione di ridondanza nella sicurezza. Sono precedute e seguite da una valvola a farfalla utilizzata come regolatore ed intercettatore, la quale permette di deviare il flusso nel tratto parallelo consentendo la manutenzione della pompa. Segue un filtro a Y per evitare intasamenti che causerebbero problemi tecnici nella pompa. La valvola di ritegno impedisce al fluido di percorrere il tratto di circuito nel senso opposto a quello desiderato. La sonda-trasmettitore di pressione consente il controllo della portata grazie al rispettivo valore di pressione. Il vaso di espansione permette di contenere le repentine variazioni di pressione, dilatandosi all'occorrenza. In caso ci fosse la necessità di svuotare completamente il circuito, la valvola a sfera a valle della valvola di sicurezza si apre permettendo di scaricare nel serbatoio di accumulo. Il serbatoio ha inoltre la funzione di reintegrare il fluido termovettore in caso di perdita e riveste un ruolo di sicurezza, poiché permette di scaricare l'acqua del circuito in caso di sovrapressioni non bilanciate dal vaso di espansione. La funzione standard di stratificazione e di accumulo del calore risulta in questo caso particolare non necessaria, poiché l'impianto solare nella condizione ottimale consente di produrre una quantità di energia trascurabile rispetto a quella utilizzata dall'utenza. Pertanto, raggiunta la temperatura necessaria all'immissione, anche grazie al ricircolo, il fluido è immesso direttamente in rete grazie allo scambiatore di calore. Non esistendo la possibilità di avere un surplus di energia termica, neanche nella condizione estiva più favorevole, l'esigenza di avere un accumulo di questo tipo risulta non necessaria.

11 CONCLUSIONI

Lo studio in questione si è proposto l'obiettivo di costituire una valutazione di carattere tecnico ed economico su cui basare la gara che verrà indetta da Telenergia per l'affidamenti dei lavori riguardanti l'impianto solare termico.

L'analisi dell'irraggiamento nella città di Alessandria, la quale ospiterà la centrale, ha permesso di ottenere un database di valori orari per ogni giorno dell'anno, dall'alba al tramonto. Un confronto fra i dati ottenuti alle varie inclinazioni (da 0° a 50°) ha evidenziato un range di angoli ottimali tra i 25° e i 35° che ottimizzano la radiazione captata.

La successiva valutazione fra le tecnologie di pannelli solari ha visto emergere le due tipologie più diffuse: il collettore solare piano e il collettore a tubi sottovuoto.

Tramite le schede tecniche e le temperature imposte dalla rete di teleriscaldamento, il calcolo dei rendimenti ha dimostrato la superiorità di produzione annuale del collettore a tubi sottovuoto, in grado di lavorare anche nei mesi invernali laddove il collettore piano non è stato in grado di dare contributo.

L'analisi tecnica ha evidenziato le migliori caratteristiche del collettore a tubi sottovuoto le quali si adattano alle condizioni di lavoro ipotizzate. Essendo necessario accostare a questa valutazione una di carattere economico, sono stati presi in considerazione gli incentivi relativi agli impianti di questo tipo. I certificati bianchi, per una questione di non cumulabilità con l'incentivo fornito dal Conto Termico, sono da escludere. Il Conto Termico richiede una serie di requisiti per essere concesso, i quali sono soddisfatti dalle due tecnologie tra cui avviene il confronto.

Il business plan evidenzia un rientro del costo dell'investimento del collettore sottovuoto in circa 20 anni, mentre per tutta la durata della simulazione (fino al 2045) il collettore piano non riesce a raggiungere il *pay-back time*.

Globalmente è quindi possibile definire la tecnologia del collettore a tubi sottovuoto come favorita nel caso di un collegamento in parallelo con l'impianto di teleriscaldamento.

Grazie all'utilizzo di questo impianto si è calcolata una mancata emissione di CO_2 pari a oltre 40 tonnellate all'anno, le quali si traducono inoltre in un risparmio di quote di emissione EU ETS per un valore di circa 21.000 € per i seguenti 25 anni.

I dati chiave ottenuti dallo studio risultano pertanto i seguenti:

- Collettore a tubi sottovuoto
- Inclinazione pari a 35° sul piano orizzontale
- Superficie globale di copertura: 1.382 m^2
- Superficie lorda occupata dai collettori: 446 m^2
- Superficie assorbente: 270 m^2
- Produzione con ipotesi stagionale: 221.603 kWh (820 kWh/m^2)
- Confronto con la produzione in centrale:

	Totale produzione		
	Centrale	**Solare**	
	[kWht]	[kWht]	%
Gennaio	17.665.822	5.054	0,03
Febbraio	13.393.280	10.190	0,08
Marzo	9.768.646	19.615	0,20
Aprile	5.089.409	23.147	0,45
Maggio	2.287.468	26.845	1,17
Giugno	2.209.740	30.575	1,38
Luglio	2.268.686	32.881	1,45
Agosto	2.250.659	30.381	1,35
Settembre	2.213.242	21.871	0,99
Ottobre	5.011.665	10.994	0,22
Novembre	1.0049.912	5.471	0,05
Dicembre	17.186.979	4.572	0,03
TOTALE	89.395.509	221.602	0,25

Tabella 11-1. Confronto produzioni

- L'investimento complessivo è pari a 238.000 €.

RINGRAZIAMENTI

Il termine di questo capitolo della mia vita offre l'occasione di ringraziare in modo ufficiale tutte quelle persone senza le quali, oggi, difficilmente potrei trovarmi qui.

Il più doveroso dei ringraziamenti va ai miei genitori, i quali mi hanno sempre lasciato la libertà di scegliere in ogni frangente della mia vita e mi hanno supportato anche quando non comprendevano a pieno le mie decisioni. Grazie per avermi permesso di essere oggi qui e di aver gioito con me ad ogni risultato.

Grazie ai miei fratelli, presenza costante e sempre sopra le righe, per le risate e il supporto emotivo (e fisico) di ogni giorno. Grazie anche al mio fratello acquisito Fabio, per gli stessi motivi.

Grazie ad Ale, per aver sempre creduto ciecamente in me, più di quanto io stessa non abbia mai fatto.

Grazie a tutti i miei amici[38], i quali mi hanno insegnato che la distanza non scalfisce in alcun modo i rapporti veri.

Grazie ai miei compagni di studio, di lezione, di vita per aver lottato e riso con me ogni giorno per cinque lunghi, tremendi e meravigliosi anni. In particolare grazie a Giorgia e Andrea, con cui sono stata "più tempo che con me stessa".

Un ringraziamento speciale a tutto l'Ufficio Tecnico dell'Egea, per l'incredibile aiuto, la gentilezza e la disponibilità oltre ogni aspettativa.

[38] Robi, Mara, Simo, Anto, Bert, Ali, Simo B., Gian, Lolli, Dabbo, Gege… e sicuramente avrò dimenticato qualcuno, non me ne vogliate

FIGURE

Figura 1.2-1.Collocazione Centrale Nord, FONTE: TELENERGIA 8
Figura 1.2-2. Collocazione Centrale Sud, FONTE: TELENERGIA 9
Figura 1.2-3. Progetto esecutivo centrale sud: pianta piano terra 12
Figura 1.2-4. Progetto esecutivo centrale sud: pianta primo piano 13
Figura 1.2-5. Progetto esecutivo centrale sud: prospetto SUD 14
Figura 1.2-6. Progetto esecutivo centrale sud: prospetto OVEST 14
Figura 2.2-1. Volumetria teleriscaldata in Italia, anno 2016, FONTE: AIRU 2017 18
Figura 3.1-1. Irradiazione solare normale diretta (media annuale), FONTE: "Global Potential of Concentrating Solar Power", F. Trieb, C. Schillings, M. O 'Sullivan, T. Pregger, C. Hoyer-Klick 26
Figura 3.2-1.Software JRC-scelta del luogo 28
Figura 3.2-2. Irradianza globale presso la città di Alessandria, dati: CLASSIC PVGIS 29
Figura 3.2-3. Irradianza globale presso la città di Alessandria, dati: CLIMATE SAF PVGIS 30
Figura 3.2-4. Temperatura media esterna città di Alessandria, dati: CLIMATE SAF PVGIS 31
Figura 3.2-5. Distanza in linea d'aria centrale di Alessandria-Lobbi, Google Maps 32
Figura 3.2-6. Andamento annuale radiazione città di Alessandria, dati ARPA 32
Figura 3.2-7. Valore medio di irraggiamento del giorno tipo di ogni mese, dati: ARPA 34
Figura 3.2-8. Irraggiamento mensile, dati: ARPA 34
Figura 3.2-9. Temperatura media giornaliera, Dati: ARPA 35
Figura 3.2-10. Declinazione solare nel corso dell'anno 38
Figura 3.2-11. Numero di ore di luce solare durante l'anno 39
Figura 3.2-12. Irraggiamento giornaliero, 1° gennaio 41
Figura 3.2-13. Irraggiamento giornaliero, 13 giugno 41
Figura 3.3-1. Inclinazione dell'asse terrestre, FONTE: Earth in the Solar System: eitssks.weebly.co 42
Figura 3.3-2. Confronto a diversi angoli di inclinazione 44
Figura 3.3-3. Energia termica complessiva prodotta dalla centrale-Irraggiamento captato alle diverse angolazioni, confronto percentuale 47

Figura 3.3-4. Andamento dell'irraggiamento con un intervallo di 20 giorni (dal giorno 1 al giorno 360) 51
Figura 3.3-5. Cumulata-Ore di irraggiamento 52
Figura 4.1-1. Effetto serra nei pannelli solari Save Energy 55
Figura 4.2-1. pannello piano vetrato Viessmann Vitosol 200-F 58
Figura 4.2-2. Pannello a tubi sottovuoto Vitosol 222-T 60
Figura 4.3-1. Produzione in litri giornalieri valutati all'unità di superficie 62
Figura 4.3-2. Costo del pannello per unità di superficie 62
Figura 4.3-3. Scheda tecnica pannello piano vetrato JODO 64
Figura 4.3-4. Scheda tecnica pannello sottovuoto JODO 64
Figura 4.7-1. Rendimento dei pannelli piani vetrati e a tubi sottovuoto nelle due diverse stagioni 69
Figura 4.7-2. Irradianza oraria 1° gennaio 70
Figura 4.7-3. Temperatura di mandata e ritorno dell'impianto di teleriscaldamento di Bra-gennaio 2018 72
Figura 4.7-4. Temperatura di mandata e ritorno dell'impianto di teleriscaldamento di Bra-luglio 2018 72
Figura 4.7-5. Rendimento collettore piano durante l'anno 76
Figura 4.7-6. Resa del collettore piano durante l'anno 77
Figura 4.7-7. Rendimento collettore a tubi sottovuoto durante l'anno 77
Figura 4.7-8. Resa collettore a tubi sottovuoto 78
Figura 4.7-9. Giorni di funzionamento dei collettori, valutazioni mensili 79
Figura 4.7-10. Giorni di funzionamento annuali dei collettori al variare della temperatura di uscita del fluido 86
Figura 4.7-11. Giorni di funzionamento del periodo estivo dei collettori al variare della temperatura di uscita del fluido 87
Figura 4.7-12. Resa estiva sul totale annuale per i due collettori 88
Figura 4.8-1. Schema disposizione collettori piani 91
Figura 4.8-2. Schema disposizione collettori sottovuoto 92
Figura 7.2-1. Margine operativo Lordo collettore sottovuoto caso 1 117
Figura 7.2-2. Flusso monetario cumulato collettore sottovuoto caso 1 117
Figura 7.2-3. Margine operativo lordo collettore sottovuoto caso 2 119
Figura 7.2-4. Flusso monetario cumulato collettore sottovuoto caso 2 119

Figura 7.2-5. Margine operativo lordo collettore piano caso 1 120
Figura 7.2-6. Flusso monetario cumulato collettore piano caso 1 121
Figura 7.2-7. Margine operativo lordo collettore piano caso 2 122
Figura 7.2-8. Flusso monetario cumulato collettore piano caso 2 123
Figura 8-1. Temperatura media superficie terrestre, FONTE: NASA GISS 125
Figura 8.2-1. Prezzo quota CO2 (dicembre 2017-novembre2018), FONTE: MARKETS INSIDER 130
Figura 9-1. Resa grafica del principio di scambio termico nello scambiatore di calore a piastre. FONTE: ALFA LAVAL 132
Figura 9.1-1. Layout scambiatore di calore TL6-BFM (quote in mm) 137
Figura 9.2-1. Configurazione software Flower, allacciamento condominio V., data: 18/01/19 ore 16:08 140
Figura 10-1. Schema posizionamento pannelli solari 142
Figura 10-2. Layout impianto solare termico 143

EQUAZIONI

Equazione 3.1-1. Variazione della radiazione solare lungo l'anno 25
Equazione 3.2-1. Coefficiente r della radiazione oraria 37
Equazione 3.2-2. Declinazione terrestre giornaliera 38
Equazione 3.2-3. Angolo solare al Tramonto [h] 39
Equazione 3.2-4. Durata del giorno 39
Equazione 3.2-5. Calcolo del parametro r 40
Equazione 3.2-6. Calcolo dei parametri a e b 40
Equazione 3.3-1. Radiazione totale 48
Equazione 3.3-2. Componenti radiazione totale 48
Equazione 3.3-3. Radiazione valutata a 35° 49
Equazione 3.3-4. Coefficiente empirico Ki 49
Equazione 4.1-1. Scambio conduttivo 56
Equazione 4.1-2. Scambio convettivo 56
Equazione 4.1-3. Scambio termico dovuto all'irraggiamento per un corpo nero 56
Equazione 4.1-4. Scambio termico dovuto all'irraggiamento per un corpo non nero ... 57
Equazione 4.6-1. Rendimento del collettore solare 67
Equazione 6.1-1. Calcolo dell'incentivo, FONTE: GSE 101
Equazione 6.1-2. Definizione dell'energia per il calcolo dell'incentivo, FONTE: GSE 101
Equazione 7.2-1. Definizione del WACC 114
Equazione 7.2-2. Definizione del costo dell'Equity 114
Equazione 7.2-3. Definizione del "premio" 114
Equazione 7.2-4. Definizione NPV 115
Equazione 7.2-5. Definizione IRR 116
Equazione 7.2-6. Definizione PBT 116
Equazione 9.1-1. Differenza media di temperatura logaritmica 136
Equazione 9.2-1. Regolazione temperatura di immissione 139
Equazione 10-1. Distanza tra le file di pannelli 141

TABELLE

Tabella 2.4-1. Fonti energetiche utilizzate nei sistemi di produzione di riscaldamento urbano in Italia, FONTE: AIRU 2017 20
Tabella 3.2-1. Irraggiamento medio giornaliero e mensile, Dati: ARPA 33
Tabella 3.2-2. Confronto serie dati 36
Tabella 3.3-1. Radiazione incidente alle varie inclinazioni del pannello 43
Tabella 3.3-2. Energia termica complessiva prodotta dalla centrale (file aziendale) - Irraggiamento captato alle diverse angolazioni 45
Tabella 3.3-3. Energia termica complessiva prodotta dalla centrale (file aziendale) - Irraggiamento captato alle diverse angolazioni, confronto percentuale 46
Tabella 3.3-4. Calcolo del coefficiente K_i 50
Tabella 3.3-5. Irraggiamento mensile valutato dai dati ARPA moltiplicati per il coefficiente K_i 51
Tabella 3.3-6. Database temperature, FONTE: PVGIS 53
Tabella 4.3-1.Confronto dei parametri tra tipologie collettori divisi per casa produttrice 65
Tabella 4.7-1. Irradianza media 69
Tabella 4.7-2. Temperature di mandata e ritorno degli impianti esistenti di Bra e Alba 73
Tabella 4.7-3. Dati da scheda tecnica 74
Tabella 4.7-4. Produzione mensile dei pannelli per unità di superficie, T_ritorno TLR=63°C, T_mandata TLR=85° 75
Tabella 4.7-5. Calcolo dell'errore nella sottostima della produzione 80
Tabella 4.7-6. Produzione totale centrale senza contributo solare termico, file aziendale 82
Tabella 4.7-7. Giorni di funzionamento e produzione per il collettore sottovuoto 83
Tabella 4.7-8 . Giorni di funzionamento e produzione per il collettore piano 84
Tabella 4.7-9. Giorni di funzionamento e produzione annuali 89
Tabella 4.7-10. Giorni di funzionamento e produzione estivi 89
Tabella 4.7-11. Giorni di funzionamento e produzione invernali 90
Tabella 4.8-1. Produzione collettori solari- condizione annuale 93
Tabella 4.8-2. Produzione collettori solari- condizione: stagioni termiche 93

Tabella 6.1-1. Coefficiente Ci di valorizzazione dell'energia termica prodotta: FONTE: DM 16/02/16 ..... *102*
Tabella 6.1-2. Temperatura media di funzionamento: FONTE: DM 16/02/16 ..... *102*
Tabella 6.1-3.Calcolo dell'incentivo per il collettore piano *103*
Tabella 6.1-4 Calcolo dell'incentivo per il collettore sottovuoto *103*
Tabella 6.1-5. Incentivo totale sui 5 anni per il collettore piano *104*
Tabella 6.1-6. Incentivo totale sui 5 anni per il collettore sottovuoto *104*
Tabella 6.2-1. Variazione del prezzo dei Certificati Bianchi-Novembre 2018, FONTE: GSE *106*
Tabella 6.2-2 Valutazione Certificati Bianchi per i due pannelli *106*
Tabella 6.2-3. Valore in euro totali TEE *107*
Tabella 6.2-4. Produzione termica motori e impianto solare *108*
Tabella 7.2-1. Risultato simulazione collettore sottovuoto caso 1 ..... *118*
Tabella 7.2-2. Risultato simulazione collettore sottovuoto caso 2 ..... *120*
Tabella 7.2-3. Risultato simulazione collettore piano caso 1 ..... *121*
Tabella 7.2-4. Risultato simulazione collettore piano caso 2 ..... *123*
Tabella 8.1-1. Valori di emissione vettori energetici, FONTE: Monitoraggio Ministero dell'Ambiente *126*
Tabella 8.1-2. Emissioni evitate di CO2 ..... *127*
Tabella 8.2-1. GWP gas ad effetto serra, FONTE: IPCC (1996) *128*
Tabella 8.2-2. Quote ETS valutate per il caso in esame *130*
Tabella 9.1-1. Calcolo della portata massima dell'impianto solare *133*
Tabella 9.1-2. Specifica tecnica scambiatore di calore a piastre *135*
Tabella 10-1. Calcolo distanza minima tra i pannelli *141*
Tabella 11-1. Confronto produzioni *146*

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- ✓ Alfa Laval (Casa produttrice): www.alfalaval.it
- ✓ Amarc DHS (Casa produttrice): www.amarcdhs.it
- ✓ Arpa Piemonte: www.arpa.piemonte.it
- ✓ Borsa Italiana: www.borsaitaliana.it
- ✓ Energie Rinnovabili ed Efficienza Energetica Nextville: www.nextville.it
- ✓ *Germany: First record-size solar district heating plant*, www.solarthermalworld.org, 27/09/16
- ✓ GSE (Gestore dei Servizi Energetici): www.gse.it
- ✓ *Il Riscaldamento Urbano*- anno XXXII n. 63-Annuario AIRU 2017, editrice Alkes
- ✓ J. A. Duffie & W. A. Beckman, *Solar Engineering of thermal processes,* (2006), Hoboken (New Jersey) Terza edizione, John Wiley and Sons
- ✓ Jodo (Casa produttrice): www.atagitalia.com
- ✓ Legambiente: www.legambiente.it
- ✓ M. Mariotti, *Energia Solare termica,* (2009), unirc.it
- ✓ Ministero dell'Ambiente: www.minambiente.it
- ✓ R. Battisti, *Impianti solari termici per reti di teleriscaldamento. Manuale di progettazione con analisi economica ed esempi di impianti*, (2013), Palermo, Dario Flaccovio Editore
- ✓ R. Battisti, *Quanto mi rende un collettore solare termico?,* 25 marzo 2015, qualenergia.it

- ✓ S. Caproni, *Con le Rinnovabili meno petrolio consumato e meno CO2 prodotta. Calcoliamo la quantità.,* 8 febbraio 2012, newsenergia.com
- ✓ S. Kumar Rajput, *Solar Energy – Fundamentals, Design, Modelling and Applications, (2017)*, Northern India Textile Research Association, ResearchGate
- ✓ Schede tecniche per certificazioni energetiche solare termico: www.la-certificazione-energetica.net
- ✓ Software online PVGIS: re.jrc.europa.ue/pvgis
- ✓ *Solar Heating District Plant, Denmark*, www.aalborgcsp.com
- ✓ Temperatura superficie terrestre: data.giss.nasa.gov
- ✓ Ufficio Energia e Clima di Legambiente, *Comuni Rinnovabili 2017*, *Sole, vento, acqua, terra, biomasse. Lo scenario della generazione distribuita nel territorio italiano,* (2017), GF Pubblicità
- ✓ *Un futuro splendente per il teleriscaldamento solare*, www.serviziarete.it, 20/04/18
- ✓ Viessmann (Casa produttrice): www.viessmann.it

APPENDICE

IRRAGGIAMENTO ORARIO GIORNALIERO

Ore	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Giorno	Irraggiamento orario [kWh/m^2]														
1	0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	0,22	0,29	0,31	0,29	0,22	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	0,22	0,28	0,31	0,28	0,22	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,04	0,17	0,28	0,36	0,39	0,36	0,28	0,17	0,04	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,04	0,15	0,25	0,32	0,35	0,32	0,25	0,15	0,04	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,04	0,15	0,26	0,33	0,36	0,33	0,26	0,15	0,04	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,04	0,16	0,26	0,34	0,37	0,34	0,26	0,16	0,04	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,03	0,12	0,20	0,26	0,28	0,26	0,20	0,12	0,03	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,03	0,12	0,19	0,25	0,27	0,25	0,19	0,12	0,03	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,04	0,14	0,23	0,30	0,32	0,30	0,23	0,14	0,04	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,04	0,12	0,20	0,26	0,28	0,26	0,20	0,12	0,04	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,04	0,13	0,21	0,27	0,29	0,27	0,21	0,13	0,04	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,05	0,16	0,27	0,35	0,37	0,35	0,27	0,16	0,05	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,05	0,17	0,29	0,37	0,40	0,37	0,29	0,17	0,05	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,04	0,14	0,23	0,29	0,31	0,29	0,23	0,14	0,04	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,05	0,15	0,25	0,32	0,35	0,32	0,25	0,15	0,05	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,05	0,14	0,23	0,29	0,31	0,29	0,23	0,14	0,05	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,05	0,15	0,25	0,32	0,34	0,32	0,25	0,15	0,05	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,06	0,16	0,26	0,33	0,36	0,33	0,26	0,16	0,06	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,05	0,16	0,25	0,32	0,34	0,32	0,25	0,16	0,05	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,05	0,15	0,24	0,30	0,33	0,30	0,24	0,15	0,05	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,07	0,20	0,31	0,40	0,43	0,40	0,31	0,20	0,07	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,07	0,19	0,30	0,38	0,41	0,38	0,30	0,19	0,07	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,06	0,18	0,28	0,35	0,38	0,35	0,28	0,18	0,06	0,00	0,00	0,00

24	0,00	0,00	0,00	0,08	0,21	0,33	0,42	0,45	0,42	0,33	0,21	0,08	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,08	0,22	0,35	0,43	0,47	0,43	0,35	0,22	0,08	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,07	0,19	0,30	0,37	0,40	0,37	0,30	0,19	0,07	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,09	0,23	0,36	0,45	0,48	0,45	0,36	0,23	0,09	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,08	0,20	0,31	0,38	0,41	0,38	0,31	0,20	0,08	0,00	0,00	0,00
29	0,00	0,00	0,00	0,08	0,20	0,31	0,39	0,42	0,39	0,31	0,20	0,08	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,08	0,21	0,32	0,40	0,42	0,40	0,32	0,21	0,08	0,00	0,00	0,00
31	0,00	0,00	0,00	0,09	0,21	0,32	0,40	0,43	0,40	0,32	0,21	0,09	0,00	0,00	0,00
32	0,00	0,00	0,00	0,08	0,19	0,29	0,36	0,39	0,36	0,29	0,19	0,08	0,00	0,00	0,00
33	0,00	0,00	0,00	0,09	0,20	0,30	0,38	0,40	0,38	0,30	0,20	0,09	0,00	0,00	0,00
34	0,00	0,00	0,00	0,10	0,23	0,34	0,43	0,46	0,43	0,34	0,23	0,10	0,00	0,00	0,00
35	0,00	0,00	0,00	0,09	0,21	0,31	0,39	0,42	0,39	0,31	0,21	0,09	0,00	0,00	0,00
36	0,00	0,00	0,00	0,10	0,21	0,32	0,40	0,42	0,40	0,32	0,21	0,10	0,00	0,00	0,00
37	0,00	0,00	0,00	0,12	0,26	0,40	0,49	0,52	0,49	0,40	0,26	0,12	0,00	0,00	0,00
38	0,00	0,00	0,00	0,10	0,23	0,34	0,42	0,44	0,42	0,34	0,23	0,10	0,00	0,00	0,00
39	0,00	0,00	0,00	0,11	0,24	0,35	0,43	0,46	0,43	0,35	0,24	0,11	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,13	0,28	0,42	0,52	0,55	0,52	0,42	0,28	0,13	0,00	0,00	0,00
41	0,00	0,00	0,00	0,13	0,27	0,40	0,48	0,52	0,48	0,40	0,27	0,13	0,00	0,00	0,00
42	0,00	0,00	0,00	0,14	0,28	0,42	0,51	0,54	0,51	0,42	0,28	0,14	0,00	0,00	0,00
43	0,00	0,00	0,01	0,14	0,28	0,41	0,50	0,53	0,50	0,41	0,28	0,14	0,01	0,00	0,00
44	0,00	0,00	0,01	0,15	0,30	0,45	0,54	0,58	0,54	0,45	0,30	0,15	0,01	0,00	0,00
45	0,00	0,00	0,01	0,15	0,30	0,44	0,54	0,57	0,54	0,44	0,30	0,15	0,01	0,00	0,00
46	0,00	0,00	0,01	0,15	0,30	0,43	0,52	0,55	0,52	0,43	0,30	0,15	0,01	0,00	0,00
47	0,00	0,00	0,02	0,14	0,28	0,40	0,49	0,52	0,49	0,40	0,28	0,14	0,02	0,00	0,00
48	0,00	0,00	0,02	0,15	0,30	0,43	0,53	0,56	0,53	0,43	0,30	0,15	0,02	0,00	0,00
49	0,00	0,00	0,02	0,17	0,32	0,46	0,56	0,60	0,56	0,46	0,32	0,17	0,02	0,00	0,00
50	0,00	0,00	0,03	0,17	0,32	0,45	0,55	0,58	0,55	0,45	0,32	0,17	0,03	0,00	0,00
51	0,00	0,00	0,03	0,16	0,30	0,43	0,51	0,55	0,51	0,43	0,30	0,16	0,03	0,00	0,00
52	0,00	0,00	0,03	0,17	0,31	0,45	0,54	0,57	0,54	0,45	0,31	0,17	0,03	0,00	0,00
53	0,00	0,00	0,03	0,17	0,32	0,45	0,54	0,57	0,54	0,45	0,32	0,17	0,03	0,00	0,00
54	0,00	0,00	0,04	0,17	0,32	0,46	0,55	0,58	0,55	0,46	0,32	0,17	0,04	0,00	0,00
55	0,00	0,00	0,04	0,19	0,34	0,48	0,58	0,61	0,58	0,48	0,34	0,19	0,04	0,00	0,00

56	0,00	0,00	0,04	0,18	0,32	0,46	0,55	0,58	0,55	0,46	0,32	0,18	0,04	0,00	0,00
57	0,00	0,00	0,04	0,18	0,32	0,45	0,53	0,56	0,53	0,45	0,32	0,18	0,04	0,00	0,00
58	0,00	0,00	0,05	0,19	0,33	0,47	0,56	0,59	0,56	0,47	0,33	0,19	0,05	0,00	0,00
59	0,00	0,00	0,04	0,16	0,28	0,39	0,47	0,49	0,47	0,39	0,28	0,16	0,04	0,00	0,00
60	0,00	0,00	0,04	0,15	0,27	0,37	0,44	0,46	0,44	0,37	0,27	0,15	0,04	0,00	0,00
61	0,00	0,00	0,05	0,17	0,30	0,41	0,49	0,52	0,49	0,41	0,30	0,17	0,05	0,00	0,00
62	0,00	0,00	0,06	0,18	0,32	0,44	0,52	0,55	0,52	0,44	0,32	0,18	0,06	0,00	0,00
63	0,00	0,00	0,06	0,19	0,34	0,46	0,55	0,58	0,55	0,46	0,34	0,19	0,06	0,00	0,00
64	0,00	0,00	0,07	0,21	0,36	0,49	0,58	0,61	0,58	0,49	0,36	0,21	0,07	0,00	0,00
65	0,00	0,00	0,06	0,19	0,32	0,44	0,52	0,54	0,52	0,44	0,32	0,19	0,06	0,00	0,00
66	0,00	0,00	0,07	0,21	0,36	0,48	0,57	0,60	0,57	0,48	0,36	0,21	0,07	0,00	0,00
67	0,00	0,00	0,07	0,21	0,35	0,48	0,57	0,60	0,57	0,48	0,35	0,21	0,07	0,00	0,00
68	0,00	0,00	0,08	0,23	0,38	0,51	0,60	0,63	0,60	0,51	0,38	0,23	0,08	0,00	0,00
69	0,00	0,00	0,09	0,24	0,39	0,53	0,63	0,66	0,63	0,53	0,39	0,24	0,09	0,00	0,00
70	0,00	0,00	0,09	0,23	0,38	0,52	0,61	0,64	0,61	0,52	0,38	0,23	0,09	0,00	0,00
71	0,00	0,00	0,10	0,25	0,42	0,56	0,66	0,69	0,66	0,56	0,42	0,25	0,10	0,00	0,00
72	0,00	0,00	0,11	0,28	0,45	0,61	0,71	0,75	0,71	0,61	0,45	0,28	0,11	0,00	0,00
73	0,00	0,00	0,11	0,28	0,45	0,60	0,70	0,74	0,70	0,60	0,45	0,28	0,11	0,00	0,00
74	0,00	0,00	0,10	0,25	0,41	0,54	0,64	0,67	0,64	0,54	0,41	0,25	0,10	0,00	0,00
75	0,00	0,00	0,12	0,28	0,45	0,60	0,71	0,74	0,71	0,60	0,45	0,28	0,12	0,00	0,00
76	0,00	0,00	0,11	0,25	0,40	0,54	0,63	0,66	0,63	0,54	0,40	0,25	0,11	0,00	0,00
77	0,00	0,00	0,12	0,28	0,45	0,60	0,70	0,73	0,70	0,60	0,45	0,28	0,12	0,00	0,00
78	0,00	0,00	0,14	0,31	0,49	0,65	0,76	0,80	0,76	0,65	0,49	0,31	0,14	0,00	0,00
79	0,00	0,00	0,13	0,29	0,45	0,60	0,69	0,73	0,69	0,60	0,45	0,29	0,13	0,00	0,00
80	0,00	0,00	0,13	0,29	0,45	0,59	0,69	0,72	0,69	0,59	0,45	0,29	0,13	0,00	0,00
81	0,00	0,00	0,14	0,30	0,46	0,61	0,70	0,74	0,70	0,61	0,46	0,30	0,14	0,00	0,00
82	0,00	0,00	0,14	0,29	0,45	0,59	0,69	0,72	0,69	0,59	0,45	0,29	0,14	0,00	0,00
83	0,00	0,00	0,12	0,25	0,38	0,50	0,58	0,61	0,58	0,50	0,38	0,25	0,12	0,00	0,00
84	0,00	0,01	0,13	0,27	0,42	0,54	0,63	0,66	0,63	0,54	0,42	0,27	0,13	0,01	0,00
85	0,00	0,01	0,14	0,30	0,45	0,59	0,68	0,71	0,68	0,59	0,45	0,30	0,14	0,01	0,00
86	0,00	0,01	0,14	0,30	0,45	0,58	0,67	0,70	0,67	0,58	0,45	0,30	0,14	0,01	0,00
87	0,00	0,02	0,14	0,29	0,44	0,57	0,65	0,68	0,65	0,57	0,44	0,29	0,14	0,02	0,00

88	0,00	0,02	0,16	0,33	0,49	0,63	0,73	0,77	0,73	0,63	0,49	0,33	0,16	0,02	0,00
89	0,00	0,03	0,17	0,34	0,52	0,67	0,77	0,80	0,77	0,67	0,52	0,34	0,17	0,03	0,00
90	0,00	0,03	0,19	0,37	0,55	0,70	0,81	0,85	0,81	0,70	0,55	0,37	0,19	0,03	0,00
91	0,00	0,02	0,14	0,27	0,40	0,51	0,59	0,61	0,59	0,51	0,40	0,27	0,14	0,02	0,00
92	0,00	0,03	0,15	0,29	0,43	0,55	0,63	0,66	0,63	0,55	0,43	0,29	0,15	0,03	0,00
93	0,00	0,03	0,14	0,26	0,39	0,50	0,57	0,60	0,57	0,50	0,39	0,26	0,14	0,03	0,00
94	0,00	0,03	0,12	0,24	0,35	0,44	0,51	0,53	0,51	0,44	0,35	0,24	0,12	0,03	0,00
95	0,00	0,03	0,15	0,28	0,41	0,52	0,60	0,62	0,60	0,52	0,41	0,28	0,15	0,03	0,00
96	0,00	0,04	0,18	0,33	0,48	0,62	0,70	0,74	0,70	0,62	0,48	0,33	0,18	0,04	0,00
97	0,00	0,04	0,16	0,29	0,43	0,54	0,62	0,65	0,62	0,54	0,43	0,29	0,16	0,04	0,00
98	0,00	0,05	0,17	0,31	0,45	0,57	0,65	0,68	0,65	0,57	0,45	0,31	0,17	0,05	0,00
99	0,00	0,05	0,16	0,29	0,42	0,53	0,61	0,64	0,61	0,53	0,42	0,29	0,16	0,05	0,00
100	0,00	0,05	0,16	0,28	0,40	0,51	0,58	0,61	0,58	0,51	0,40	0,28	0,16	0,05	0,00
101	0,00	0,05	0,16	0,29	0,41	0,52	0,59	0,62	0,59	0,52	0,41	0,29	0,16	0,05	0,00
102	0,00	0,06	0,18	0,33	0,47	0,59	0,67	0,70	0,67	0,59	0,47	0,33	0,18	0,06	0,00
103	0,00	0,07	0,22	0,38	0,55	0,69	0,78	0,82	0,78	0,69	0,55	0,38	0,22	0,07	0,00
104	0,00	0,07	0,21	0,36	0,52	0,65	0,74	0,77	0,74	0,65	0,52	0,36	0,21	0,07	0,00
105	0,00	0,06	0,18	0,32	0,46	0,57	0,65	0,68	0,65	0,57	0,46	0,32	0,18	0,06	0,00
106	0,00	0,07	0,19	0,33	0,47	0,58	0,66	0,69	0,66	0,58	0,47	0,33	0,19	0,07	0,00
107	0,00	0,07	0,19	0,32	0,46	0,57	0,64	0,67	0,64	0,57	0,46	0,32	0,19	0,07	0,00
108	0,00	0,07	0,20	0,35	0,49	0,61	0,69	0,72	0,69	0,61	0,49	0,35	0,20	0,07	0,00
109	0,00	0,07	0,20	0,34	0,48	0,59	0,67	0,70	0,67	0,59	0,48	0,34	0,20	0,07	0,00
110	0,00	0,07	0,19	0,32	0,45	0,56	0,64	0,66	0,64	0,56	0,45	0,32	0,19	0,07	0,00
111	0,00	0,08	0,22	0,36	0,51	0,63	0,71	0,74	0,71	0,63	0,51	0,36	0,22	0,08	0,00
112	0,00	0,09	0,23	0,38	0,54	0,66	0,75	0,78	0,75	0,66	0,54	0,38	0,23	0,09	0,00
113	0,00	0,09	0,23	0,38	0,52	0,65	0,73	0,76	0,73	0,65	0,52	0,38	0,23	0,09	0,00
114	0,00	0,09	0,22	0,36	0,50	0,62	0,69	0,72	0,69	0,62	0,50	0,36	0,22	0,09	0,00
115	0,00	0,09	0,21	0,35	0,48	0,59	0,67	0,69	0,67	0,59	0,48	0,35	0,21	0,09	0,00
116	0,00	0,09	0,21	0,35	0,48	0,60	0,67	0,70	0,67	0,60	0,48	0,35	0,21	0,09	0,00
117	0,00	0,08	0,19	0,31	0,42	0,52	0,59	0,61	0,59	0,52	0,42	0,31	0,19	0,08	0,00
118	0,00	0,09	0,21	0,34	0,47	0,58	0,65	0,67	0,65	0,58	0,47	0,34	0,21	0,09	0,00
119	0,00	0,10	0,22	0,36	0,49	0,61	0,68	0,71	0,68	0,61	0,49	0,36	0,22	0,10	0,00

120	0,00	0,09	0,21	0,34	0,47	0,58	0,65	0,67	0,65	0,58	0,47	0,34	0,21	0,09	0,00
121	0,00	0,08	0,18	0,29	0,40	0,49	0,55	0,57	0,55	0,49	0,40	0,29	0,18	0,08	0,00
122	0,00	0,09	0,19	0,31	0,42	0,51	0,57	0,59	0,57	0,51	0,42	0,31	0,19	0,09	0,00
123	0,00	0,09	0,20	0,33	0,44	0,54	0,61	0,63	0,61	0,54	0,44	0,33	0,20	0,09	0,00
124	0,00	0,09	0,20	0,32	0,44	0,54	0,60	0,62	0,60	0,54	0,44	0,32	0,20	0,09	0,00
125	0,01	0,10	0,22	0,35	0,48	0,58	0,65	0,68	0,65	0,58	0,48	0,35	0,22	0,10	0,01
126	0,01	0,10	0,22	0,34	0,46	0,56	0,63	0,65	0,63	0,56	0,46	0,34	0,22	0,10	0,01
127	0,01	0,12	0,24	0,38	0,51	0,62	0,69	0,72	0,69	0,62	0,51	0,38	0,24	0,12	0,01
128	0,01	0,11	0,24	0,37	0,50	0,61	0,68	0,71	0,68	0,61	0,50	0,37	0,24	0,11	0,01
129	0,01	0,12	0,25	0,39	0,52	0,64	0,71	0,74	0,71	0,64	0,52	0,39	0,25	0,12	0,01
130	0,01	0,10	0,21	0,32	0,44	0,53	0,59	0,61	0,59	0,53	0,44	0,32	0,21	0,10	0,01
131	0,02	0,11	0,22	0,35	0,46	0,56	0,63	0,65	0,63	0,56	0,46	0,35	0,22	0,11	0,02
132	0,02	0,12	0,23	0,36	0,48	0,58	0,65	0,67	0,65	0,58	0,48	0,36	0,23	0,12	0,02
133	0,02	0,13	0,26	0,40	0,53	0,64	0,72	0,74	0,72	0,64	0,53	0,40	0,26	0,13	0,02
134	0,02	0,12	0,24	0,38	0,50	0,61	0,68	0,70	0,68	0,61	0,50	0,38	0,24	0,12	0,02
135	0,03	0,14	0,27	0,41	0,55	0,66	0,73	0,76	0,73	0,66	0,55	0,41	0,27	0,14	0,03
136	0,03	0,14	0,26	0,40	0,53	0,65	0,72	0,75	0,72	0,65	0,53	0,40	0,26	0,14	0,03
137	0,03	0,14	0,27	0,40	0,54	0,65	0,72	0,75	0,72	0,65	0,54	0,40	0,27	0,14	0,03
138	0,03	0,13	0,26	0,39	0,52	0,63	0,70	0,72	0,70	0,63	0,52	0,39	0,26	0,13	0,03
139	0,03	0,14	0,27	0,41	0,54	0,65	0,72	0,75	0,72	0,65	0,54	0,41	0,27	0,14	0,03
140	0,03	0,13	0,25	0,38	0,51	0,61	0,68	0,70	0,68	0,61	0,51	0,38	0,25	0,13	0,03
141	0,03	0,14	0,26	0,39	0,52	0,63	0,70	0,72	0,70	0,63	0,52	0,39	0,26	0,14	0,03
142	0,03	0,14	0,26	0,39	0,52	0,62	0,69	0,72	0,69	0,62	0,52	0,39	0,26	0,14	0,03
143	0,04	0,14	0,26	0,39	0,52	0,62	0,69	0,71	0,69	0,62	0,52	0,39	0,26	0,14	0,04
144	0,04	0,16	0,29	0,43	0,57	0,69	0,76	0,79	0,76	0,69	0,57	0,43	0,29	0,16	0,04
145	0,04	0,16	0,29	0,44	0,57	0,69	0,77	0,79	0,77	0,69	0,57	0,44	0,29	0,16	0,04
146	0,04	0,14	0,26	0,39	0,52	0,62	0,69	0,71	0,69	0,62	0,52	0,39	0,26	0,14	0,04
147	0,04	0,16	0,29	0,43	0,56	0,67	0,75	0,77	0,75	0,67	0,56	0,43	0,29	0,16	0,04
148	0,05	0,16	0,29	0,43	0,56	0,68	0,75	0,78	0,75	0,68	0,56	0,43	0,29	0,16	0,05
149	0,05	0,16	0,30	0,45	0,59	0,70	0,78	0,81	0,78	0,70	0,59	0,45	0,30	0,16	0,05
150	0,05	0,16	0,29	0,43	0,56	0,67	0,75	0,77	0,75	0,67	0,56	0,43	0,29	0,16	0,05
151	0,05	0,15	0,28	0,41	0,53	0,64	0,71	0,73	0,71	0,64	0,53	0,41	0,28	0,15	0,05

152	0,04	0,14	0,26	0,38	0,50	0,60	0,66	0,69	0,66	0,60	0,50	0,38	0,26	0,14	0,04
153	0,05	0,15	0,27	0,40	0,52	0,62	0,69	0,71	0,69	0,62	0,52	0,40	0,27	0,15	0,05
154	0,05	0,15	0,27	0,40	0,52	0,62	0,69	0,71	0,69	0,62	0,52	0,40	0,27	0,15	0,05
155	0,05	0,14	0,26	0,38	0,49	0,59	0,65	0,67	0,65	0,59	0,49	0,38	0,26	0,14	0,05
156	0,04	0,14	0,25	0,36	0,48	0,57	0,63	0,65	0,63	0,57	0,48	0,36	0,25	0,14	0,04
157	0,05	0,15	0,27	0,40	0,52	0,62	0,69	0,71	0,69	0,62	0,52	0,40	0,27	0,15	0,05
158	0,05	0,15	0,27	0,39	0,51	0,60	0,67	0,69	0,67	0,60	0,51	0,39	0,27	0,15	0,05
159	0,05	0,16	0,28	0,41	0,53	0,63	0,70	0,72	0,70	0,63	0,53	0,41	0,28	0,16	0,05
160	0,05	0,14	0,25	0,36	0,47	0,56	0,62	0,64	0,62	0,56	0,47	0,36	0,25	0,14	0,05
161	0,05	0,16	0,28	0,40	0,52	0,63	0,69	0,72	0,69	0,63	0,52	0,40	0,28	0,16	0,05
162	0,05	0,16	0,28	0,41	0,53	0,63	0,69	0,72	0,69	0,63	0,53	0,41	0,28	0,16	0,05
163	0,05	0,15	0,27	0,40	0,52	0,62	0,68	0,70	0,68	0,62	0,52	0,40	0,27	0,15	0,05
164	0,06	0,16	0,29	0,42	0,55	0,65	0,72	0,75	0,72	0,65	0,55	0,42	0,29	0,16	0,06
165	0,05	0,16	0,28	0,41	0,53	0,63	0,70	0,72	0,70	0,63	0,53	0,41	0,28	0,16	0,05
166	0,05	0,16	0,28	0,41	0,53	0,63	0,70	0,72	0,70	0,63	0,53	0,41	0,28	0,16	0,05
167	0,06	0,17	0,29	0,43	0,56	0,66	0,73	0,76	0,73	0,66	0,56	0,43	0,29	0,17	0,06
168	0,05	0,15	0,26	0,38	0,49	0,59	0,65	0,67	0,65	0,59	0,49	0,38	0,26	0,15	0,05
169	0,06	0,17	0,30	0,43	0,56	0,67	0,74	0,76	0,74	0,67	0,56	0,43	0,30	0,17	0,06
170	0,06	0,17	0,29	0,42	0,55	0,65	0,72	0,75	0,72	0,65	0,55	0,42	0,29	0,17	0,06
171	0,06	0,16	0,28	0,41	0,54	0,64	0,71	0,73	0,71	0,64	0,54	0,41	0,28	0,16	0,06
172	0,06	0,18	0,31	0,45	0,59	0,70	0,78	0,80	0,78	0,70	0,59	0,45	0,31	0,18	0,06
173	0,06	0,17	0,30	0,44	0,58	0,68	0,76	0,78	0,76	0,68	0,58	0,44	0,30	0,17	0,06
174	0,06	0,17	0,30	0,43	0,56	0,67	0,74	0,76	0,74	0,67	0,56	0,43	0,30	0,17	0,06
175	0,06	0,18	0,31	0,45	0,59	0,70	0,77	0,80	0,77	0,70	0,59	0,45	0,31	0,18	0,06
176	0,06	0,16	0,29	0,42	0,55	0,65	0,72	0,74	0,72	0,65	0,55	0,42	0,29	0,16	0,06
177	0,06	0,17	0,29	0,43	0,55	0,66	0,73	0,75	0,73	0,66	0,55	0,43	0,29	0,17	0,06
178	0,05	0,16	0,28	0,40	0,53	0,63	0,69	0,71	0,69	0,63	0,53	0,40	0,28	0,16	0,05
179	0,06	0,17	0,30	0,43	0,56	0,67	0,74	0,76	0,74	0,67	0,56	0,43	0,30	0,17	0,06
180	0,06	0,16	0,29	0,42	0,55	0,65	0,72	0,75	0,72	0,65	0,55	0,42	0,29	0,16	0,06
181	0,06	0,18	0,31	0,46	0,60	0,71	0,79	0,81	0,79	0,71	0,60	0,46	0,31	0,18	0,06
182	0,06	0,17	0,31	0,45	0,58	0,69	0,76	0,79	0,76	0,69	0,58	0,45	0,31	0,17	0,06
183	0,05	0,16	0,28	0,41	0,53	0,63	0,70	0,72	0,70	0,63	0,53	0,41	0,28	0,16	0,05

184	0,05	0,16	0,28	0,41	0,53	0,63	0,70	0,72	0,70	0,63	0,53	0,41	0,28	0,16	0,05
185	0,05	0,16	0,29	0,42	0,55	0,66	0,73	0,75	0,73	0,66	0,55	0,42	0,29	0,16	0,05
186	0,05	0,17	0,29	0,43	0,56	0,67	0,74	0,77	0,74	0,67	0,56	0,43	0,29	0,17	0,05
187	0,05	0,16	0,29	0,43	0,56	0,67	0,74	0,77	0,74	0,67	0,56	0,43	0,29	0,16	0,05
188	0,05	0,17	0,30	0,44	0,57	0,68	0,76	0,78	0,76	0,68	0,57	0,44	0,30	0,17	0,05
189	0,06	0,17	0,31	0,46	0,60	0,71	0,79	0,81	0,79	0,71	0,60	0,46	0,31	0,17	0,06
190	0,05	0,16	0,29	0,42	0,55	0,66	0,73	0,75	0,73	0,66	0,55	0,42	0,29	0,16	0,05
191	0,05	0,17	0,30	0,44	0,57	0,69	0,76	0,79	0,76	0,69	0,57	0,44	0,30	0,17	0,05
192	0,05	0,16	0,30	0,44	0,57	0,69	0,76	0,79	0,76	0,69	0,57	0,44	0,30	0,16	0,05
193	0,05	0,17	0,30	0,45	0,59	0,70	0,78	0,80	0,78	0,70	0,59	0,45	0,30	0,17	0,05
194	0,05	0,15	0,28	0,42	0,54	0,65	0,72	0,75	0,72	0,65	0,54	0,42	0,28	0,15	0,05
195	0,05	0,16	0,29	0,43	0,56	0,67	0,74	0,77	0,74	0,67	0,56	0,43	0,29	0,16	0,05
196	0,05	0,16	0,30	0,44	0,58	0,69	0,77	0,79	0,77	0,69	0,58	0,44	0,30	0,16	0,05
197	0,05	0,16	0,30	0,44	0,58	0,69	0,77	0,80	0,77	0,69	0,58	0,44	0,30	0,16	0,05
198	0,04	0,16	0,29	0,44	0,58	0,69	0,77	0,79	0,77	0,69	0,58	0,44	0,29	0,16	0,04
199	0,04	0,16	0,29	0,43	0,57	0,68	0,75	0,78	0,75	0,68	0,57	0,43	0,29	0,16	0,04
200	0,04	0,16	0,30	0,45	0,59	0,70	0,78	0,81	0,78	0,70	0,59	0,45	0,30	0,16	0,04
201	0,04	0,15	0,29	0,43	0,57	0,69	0,76	0,79	0,76	0,69	0,57	0,43	0,29	0,15	0,04
202	0,04	0,15	0,28	0,42	0,56	0,67	0,75	0,77	0,75	0,67	0,56	0,42	0,28	0,15	0,04
203	0,04	0,16	0,29	0,44	0,58	0,70	0,78	0,81	0,78	0,70	0,58	0,44	0,29	0,16	0,04
204	0,04	0,15	0,28	0,43	0,57	0,68	0,76	0,79	0,76	0,68	0,57	0,43	0,28	0,15	0,04
205	0,03	0,14	0,26	0,39	0,52	0,63	0,70	0,72	0,70	0,63	0,52	0,39	0,26	0,14	0,03
206	0,03	0,14	0,28	0,42	0,56	0,67	0,74	0,77	0,74	0,67	0,56	0,42	0,28	0,14	0,03
207	0,03	0,15	0,29	0,44	0,58	0,70	0,78	0,80	0,78	0,70	0,58	0,44	0,29	0,15	0,03
208	0,03	0,14	0,27	0,41	0,55	0,66	0,74	0,76	0,74	0,66	0,55	0,41	0,27	0,14	0,03
209	0,03	0,14	0,26	0,40	0,54	0,65	0,72	0,75	0,72	0,65	0,54	0,40	0,26	0,14	0,03
210	0,02	0,13	0,26	0,40	0,54	0,65	0,72	0,75	0,72	0,65	0,54	0,40	0,26	0,13	0,02
211	0,02	0,13	0,26	0,39	0,52	0,64	0,71	0,73	0,71	0,64	0,52	0,39	0,26	0,13	0,02
212	0,02	0,13	0,25	0,39	0,52	0,63	0,71	0,73	0,71	0,63	0,52	0,39	0,25	0,13	0,02
213	0,02	0,14	0,28	0,43	0,58	0,70	0,79	0,82	0,79	0,70	0,58	0,43	0,28	0,14	0,02
214	0,02	0,14	0,29	0,45	0,60	0,73	0,82	0,85	0,82	0,73	0,60	0,45	0,29	0,14	0,02
215	0,02	0,13	0,26	0,41	0,55	0,67	0,75	0,77	0,75	0,67	0,55	0,41	0,26	0,13	0,02

216	0,02	0,13	0,27	0,42	0,57	0,69	0,77	0,80	0,77	0,69	0,57	0,42	0,27	0,13	0,02
217	0,01	0,13	0,27	0,43	0,58	0,70	0,79	0,82	0,79	0,70	0,58	0,43	0,27	0,13	0,01
218	0,01	0,12	0,25	0,39	0,53	0,65	0,73	0,75	0,73	0,65	0,53	0,39	0,25	0,12	0,01
219	0,01	0,12	0,25	0,40	0,54	0,66	0,74	0,77	0,74	0,66	0,54	0,40	0,25	0,12	0,01
220	0,01	0,12	0,25	0,40	0,54	0,66	0,74	0,77	0,74	0,66	0,54	0,40	0,25	0,12	0,01
221	0,00	0,12	0,27	0,43	0,58	0,71	0,79	0,83	0,79	0,71	0,58	0,43	0,27	0,12	0,00
222	0,00	0,11	0,25	0,39	0,53	0,65	0,73	0,76	0,73	0,65	0,53	0,39	0,25	0,11	0,00
223	0,00	0,11	0,25	0,40	0,54	0,66	0,74	0,77	0,74	0,66	0,54	0,40	0,25	0,11	0,00
224	0,00	0,11	0,26	0,41	0,56	0,69	0,77	0,80	0,77	0,69	0,56	0,41	0,26	0,11	0,00
225	0,00	0,11	0,25	0,41	0,56	0,68	0,77	0,80	0,77	0,68	0,56	0,41	0,25	0,11	0,00
226	0,00	0,10	0,24	0,38	0,53	0,65	0,73	0,76	0,73	0,65	0,53	0,38	0,24	0,10	0,00
227	0,00	0,11	0,25	0,41	0,56	0,69	0,78	0,81	0,78	0,69	0,56	0,41	0,25	0,11	0,00
228	0,00	0,10	0,24	0,40	0,55	0,67	0,76	0,79	0,76	0,67	0,55	0,40	0,24	0,10	0,00
229	0,00	0,10	0,23	0,38	0,53	0,66	0,74	0,77	0,74	0,66	0,53	0,38	0,23	0,10	0,00
230	0,00	0,10	0,23	0,39	0,53	0,66	0,74	0,77	0,74	0,66	0,53	0,39	0,23	0,10	0,00
231	0,00	0,09	0,23	0,38	0,53	0,66	0,74	0,77	0,74	0,66	0,53	0,38	0,23	0,09	0,00
232	0,00	0,09	0,22	0,36	0,51	0,63	0,71	0,74	0,71	0,63	0,51	0,36	0,22	0,09	0,00
233	0,00	0,09	0,22	0,37	0,52	0,65	0,73	0,76	0,73	0,65	0,52	0,37	0,22	0,09	0,00
234	0,00	0,09	0,22	0,38	0,53	0,65	0,74	0,77	0,74	0,65	0,53	0,38	0,22	0,09	0,00
235	0,00	0,08	0,21	0,36	0,50	0,62	0,71	0,74	0,71	0,62	0,50	0,36	0,21	0,08	0,00
236	0,00	0,08	0,21	0,37	0,52	0,64	0,73	0,76	0,73	0,64	0,52	0,37	0,21	0,08	0,00
237	0,00	0,08	0,21	0,36	0,51	0,64	0,72	0,75	0,72	0,64	0,51	0,36	0,21	0,08	0,00
238	0,00	0,07	0,20	0,34	0,48	0,60	0,68	0,71	0,68	0,60	0,48	0,34	0,20	0,07	0,00
239	0,00	0,07	0,21	0,36	0,51	0,64	0,73	0,76	0,73	0,64	0,51	0,36	0,21	0,07	0,00
240	0,00	0,06	0,19	0,33	0,46	0,58	0,66	0,69	0,66	0,58	0,46	0,33	0,19	0,06	0,00
241	0,00	0,07	0,20	0,36	0,51	0,64	0,73	0,76	0,73	0,64	0,51	0,36	0,20	0,07	0,00
242	0,00	0,06	0,20	0,35	0,50	0,63	0,72	0,75	0,72	0,63	0,50	0,35	0,20	0,06	0,00
243	0,00	0,06	0,19	0,33	0,48	0,60	0,69	0,72	0,69	0,60	0,48	0,33	0,19	0,06	0,00
244	0,00	0,06	0,21	0,38	0,55	0,69	0,79	0,82	0,79	0,69	0,55	0,38	0,21	0,06	0,00
245	0,00	0,06	0,21	0,38	0,55	0,70	0,80	0,83	0,80	0,70	0,55	0,38	0,21	0,06	0,00
246	0,00	0,05	0,19	0,35	0,51	0,65	0,74	0,77	0,74	0,65	0,51	0,35	0,19	0,05	0,00
247	0,00	0,05	0,18	0,33	0,48	0,60	0,69	0,72	0,69	0,60	0,48	0,33	0,18	0,05	0,00

248	0,00	0,05	0,20	0,37	0,53	0,68	0,78	0,81	0,78	0,68	0,53	0,37	0,20	0,05	0,00
249	0,00	0,05	0,20	0,37	0,54	0,68	0,78	0,82	0,78	0,68	0,54	0,37	0,20	0,05	0,00
250	0,00	0,04	0,18	0,33	0,49	0,62	0,71	0,75	0,71	0,62	0,49	0,33	0,18	0,04	0,00
251	0,00	0,04	0,17	0,32	0,48	0,61	0,70	0,73	0,70	0,61	0,48	0,32	0,17	0,04	0,00
252	0,00	0,04	0,18	0,35	0,52	0,67	0,77	0,80	0,77	0,67	0,52	0,35	0,18	0,04	0,00
253	0,00	0,03	0,18	0,35	0,52	0,66	0,76	0,80	0,76	0,66	0,52	0,35	0,18	0,03	0,00
254	0,00	0,03	0,17	0,33	0,50	0,64	0,73	0,77	0,73	0,64	0,50	0,33	0,17	0,03	0,00
255	0,00	0,03	0,16	0,32	0,48	0,61	0,71	0,74	0,71	0,61	0,48	0,32	0,16	0,03	0,00
256	0,00	0,02	0,15	0,29	0,44	0,56	0,65	0,68	0,65	0,56	0,44	0,29	0,15	0,02	0,00
257	0,00	0,02	0,15	0,30	0,45	0,59	0,68	0,71	0,68	0,59	0,45	0,30	0,15	0,02	0,00
258	0,00	0,02	0,15	0,30	0,46	0,59	0,68	0,71	0,68	0,59	0,46	0,30	0,15	0,02	0,00
259	0,00	0,01	0,13	0,27	0,41	0,53	0,61	0,64	0,61	0,53	0,41	0,27	0,13	0,01	0,00
260	0,00	0,01	0,14	0,28	0,43	0,56	0,65	0,68	0,65	0,56	0,43	0,28	0,14	0,01	0,00
261	0,00	0,01	0,12	0,26	0,39	0,51	0,59	0,62	0,59	0,51	0,39	0,26	0,12	0,01	0,00
262	0,00	0,00	0,12	0,27	0,41	0,54	0,62	0,66	0,62	0,54	0,41	0,27	0,12	0,00	0,00
263	0,00	0,00	0,13	0,27	0,43	0,56	0,65	0,68	0,65	0,56	0,43	0,27	0,13	0,00	0,00
264	0,00	0,00	0,12	0,26	0,41	0,54	0,62	0,65	0,62	0,54	0,41	0,26	0,12	0,00	0,00
265	0,00	0,00	0,11	0,24	0,38	0,50	0,58	0,61	0,58	0,50	0,38	0,24	0,11	0,00	0,00
266	0,00	0,00	0,10	0,22	0,35	0,47	0,54	0,57	0,54	0,47	0,35	0,22	0,10	0,00	0,00
267	0,00	0,00	0,10	0,23	0,37	0,49	0,57	0,60	0,57	0,49	0,37	0,23	0,10	0,00	0,00
268	0,00	0,00	0,09	0,22	0,35	0,46	0,54	0,57	0,54	0,46	0,35	0,22	0,09	0,00	0,00
269	0,00	0,00	0,10	0,24	0,38	0,50	0,59	0,62	0,59	0,50	0,38	0,24	0,10	0,00	0,00
270	0,00	0,00	0,10	0,25	0,41	0,54	0,63	0,66	0,63	0,54	0,41	0,25	0,10	0,00	0,00
271	0,00	0,00	0,09	0,23	0,38	0,50	0,59	0,62	0,59	0,50	0,38	0,23	0,09	0,00	0,00
272	0,00	0,00	0,10	0,24	0,39	0,52	0,62	0,65	0,62	0,52	0,39	0,24	0,10	0,00	0,00
273	0,00	0,00	0,07	0,19	0,31	0,42	0,49	0,52	0,49	0,42	0,31	0,19	0,07	0,00	0,00
274	0,00	0,00	0,08	0,21	0,34	0,46	0,54	0,56	0,54	0,46	0,34	0,21	0,08	0,00	0,00
275	0,00	0,00	0,07	0,19	0,32	0,43	0,50	0,53	0,50	0,43	0,32	0,19	0,07	0,00	0,00
276	0,00	0,00	0,07	0,18	0,31	0,41	0,49	0,51	0,49	0,41	0,31	0,18	0,07	0,00	0,00
277	0,00	0,00	0,07	0,20	0,33	0,45	0,53	0,56	0,53	0,45	0,33	0,20	0,07	0,00	0,00
278	0,00	0,00	0,07	0,19	0,32	0,44	0,52	0,55	0,52	0,44	0,32	0,19	0,07	0,00	0,00
279	0,00	0,00	0,06	0,19	0,32	0,43	0,51	0,54	0,51	0,43	0,32	0,19	0,06	0,00	0,00

280	0,00	0,00	0,06	0,17	0,29	0,40	0,47	0,49	0,47	0,40	0,29	0,17	0,06	0,00	0,00
281	0,00	0,00	0,06	0,18	0,31	0,43	0,51	0,54	0,51	0,43	0,31	0,18	0,06	0,00	0,00
282	0,00	0,00	0,06	0,18	0,32	0,43	0,52	0,54	0,52	0,43	0,32	0,18	0,06	0,00	0,00
283	0,00	0,00	0,06	0,19	0,32	0,45	0,53	0,56	0,53	0,45	0,32	0,19	0,06	0,00	0,00
284	0,00	0,00	0,05	0,18	0,31	0,43	0,51	0,54	0,51	0,43	0,31	0,18	0,05	0,00	0,00
285	0,00	0,00	0,05	0,18	0,33	0,45	0,54	0,57	0,54	0,45	0,33	0,18	0,05	0,00	0,00
286	0,00	0,00	0,04	0,16	0,29	0,41	0,49	0,52	0,49	0,41	0,29	0,16	0,04	0,00	0,00
287	0,00	0,00	0,04	0,15	0,28	0,39	0,46	0,49	0,46	0,39	0,28	0,15	0,04	0,00	0,00
288	0,00	0,00	0,04	0,15	0,28	0,39	0,47	0,49	0,47	0,39	0,28	0,15	0,04	0,00	0,00
289	0,00	0,00	0,03	0,14	0,26	0,37	0,44	0,47	0,44	0,37	0,26	0,14	0,03	0,00	0,00
290	0,00	0,00	0,03	0,14	0,25	0,35	0,43	0,45	0,43	0,35	0,25	0,14	0,03	0,00	0,00
291	0,00	0,00	0,03	0,13	0,24	0,34	0,40	0,43	0,40	0,34	0,24	0,13	0,03	0,00	0,00
292	0,00	0,00	0,02	0,13	0,24	0,34	0,40	0,43	0,40	0,34	0,24	0,13	0,02	0,00	0,00
293	0,00	0,00	0,02	0,11	0,21	0,30	0,36	0,39	0,36	0,30	0,21	0,11	0,02	0,00	0,00
294	0,00	0,00	0,02	0,13	0,25	0,35	0,42	0,45	0,42	0,35	0,25	0,13	0,02	0,00	0,00
295	0,00	0,00	0,02	0,11	0,22	0,31	0,38	0,40	0,38	0,31	0,22	0,11	0,02	0,00	0,00
296	0,00	0,00	0,02	0,11	0,22	0,32	0,38	0,41	0,38	0,32	0,22	0,11	0,02	0,00	0,00
297	0,00	0,00	0,01	0,12	0,23	0,34	0,41	0,43	0,41	0,34	0,23	0,12	0,01	0,00	0,00
298	0,00	0,00	0,01	0,10	0,19	0,28	0,34	0,36	0,34	0,28	0,19	0,10	0,01	0,00	0,00
299	0,00	0,00	0,01	0,10	0,20	0,29	0,35	0,37	0,35	0,29	0,20	0,10	0,01	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,01	0,10	0,21	0,30	0,37	0,39	0,37	0,30	0,21	0,10	0,01	0,00	0,00
301	0,00	0,00	0,01	0,10	0,21	0,30	0,37	0,40	0,37	0,30	0,21	0,10	0,01	0,00	0,00
302	0,00	0,00	0,00	0,09	0,18	0,26	0,32	0,34	0,32	0,26	0,18	0,09	0,00	0,00	0,00
303	0,00	0,00	0,00	0,09	0,19	0,29	0,35	0,38	0,35	0,29	0,19	0,09	0,00	0,00	0,00
304	0,00	0,00	0,00	0,07	0,15	0,23	0,28	0,30	0,28	0,23	0,15	0,07	0,00	0,00	0,00
305	0,00	0,00	0,00	0,10	0,21	0,31	0,38	0,40	0,38	0,31	0,21	0,10	0,00	0,00	0,00
306	0,00	0,00	0,00	0,09	0,20	0,30	0,37	0,39	0,37	0,30	0,20	0,09	0,00	0,00	0,00
307	0,00	0,00	0,00	0,10	0,21	0,32	0,39	0,42	0,39	0,32	0,21	0,10	0,00	0,00	0,00
308	0,00	0,00	0,00	0,08	0,18	0,27	0,33	0,35	0,33	0,27	0,18	0,08	0,00	0,00	0,00
309	0,00	0,00	0,00	0,09	0,21	0,31	0,39	0,41	0,39	0,31	0,21	0,09	0,00	0,00	0,00
310	0,00	0,00	0,00	0,08	0,19	0,29	0,36	0,38	0,36	0,29	0,19	0,08	0,00	0,00	0,00
311	0,00	0,00	0,00	0,08	0,18	0,28	0,35	0,37	0,35	0,28	0,18	0,08	0,00	0,00	0,00

312	0,00	0,00	0,00	0,09	0,21	0,32	0,40	0,43	0,40	0,32	0,21	0,09	0,00	0,00	0,00
313	0,00	0,00	0,00	0,09	0,22	0,34	0,42	0,45	0,42	0,34	0,22	0,09	0,00	0,00	0,00
314	0,00	0,00	0,00	0,07	0,17	0,27	0,33	0,36	0,33	0,27	0,17	0,07	0,00	0,00	0,00
315	0,00	0,00	0,00	0,06	0,16	0,24	0,30	0,32	0,30	0,24	0,16	0,06	0,00	0,00	0,00
316	0,00	0,00	0,00	0,06	0,16	0,24	0,31	0,33	0,31	0,24	0,16	0,06	0,00	0,00	0,00
317	0,00	0,00	0,00	0,07	0,17	0,27	0,34	0,36	0,34	0,27	0,17	0,07	0,00	0,00	0,00
318	0,00	0,00	0,00	0,06	0,16	0,25	0,31	0,33	0,31	0,25	0,16	0,06	0,00	0,00	0,00
319	0,00	0,00	0,00	0,06	0,16	0,25	0,31	0,33	0,31	0,25	0,16	0,06	0,00	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,07	0,17	0,27	0,34	0,37	0,34	0,27	0,17	0,07	0,00	0,00	0,00
321	0,00	0,00	0,00	0,07	0,18	0,28	0,35	0,38	0,35	0,28	0,18	0,07	0,00	0,00	0,00
322	0,00	0,00	0,00	0,06	0,18	0,28	0,35	0,38	0,35	0,28	0,18	0,06	0,00	0,00	0,00
323	0,00	0,00	0,00	0,05	0,15	0,23	0,29	0,31	0,29	0,23	0,15	0,05	0,00	0,00	0,00
324	0,00	0,00	0,00	0,06	0,16	0,25	0,32	0,34	0,32	0,25	0,16	0,06	0,00	0,00	0,00
325	0,00	0,00	0,00	0,05	0,14	0,22	0,28	0,30	0,28	0,22	0,14	0,05	0,00	0,00	0,00
326	0,00	0,00	0,00	0,05	0,16	0,25	0,32	0,35	0,32	0,25	0,16	0,05	0,00	0,00	0,00
327	0,00	0,00	0,00	0,05	0,14	0,23	0,30	0,32	0,30	0,23	0,14	0,05	0,00	0,00	0,00
328	0,00	0,00	0,00	0,05	0,15	0,25	0,32	0,34	0,32	0,25	0,15	0,05	0,00	0,00	0,00
329	0,00	0,00	0,00	0,04	0,12	0,20	0,25	0,27	0,25	0,20	0,12	0,04	0,00	0,00	0,00
330	0,00	0,00	0,00	0,04	0,13	0,22	0,28	0,30	0,28	0,22	0,13	0,04	0,00	0,00	0,00
331	0,00	0,00	0,00	0,04	0,13	0,22	0,28	0,30	0,28	0,22	0,13	0,04	0,00	0,00	0,00
332	0,00	0,00	0,00	0,05	0,15	0,24	0,31	0,33	0,31	0,24	0,15	0,05	0,00	0,00	0,00
333	0,00	0,00	0,00	0,04	0,12	0,20	0,25	0,28	0,25	0,20	0,12	0,04	0,00	0,00	0,00
334	0,00	0,00	0,00	0,04	0,14	0,23	0,30	0,32	0,30	0,23	0,14	0,04	0,00	0,00	0,00
335	0,00	0,00	0,00	0,04	0,14	0,23	0,30	0,32	0,30	0,23	0,14	0,04	0,00	0,00	0,00
336	0,00	0,00	0,00	0,04	0,13	0,22	0,28	0,30	0,28	0,22	0,13	0,04	0,00	0,00	0,00
337	0,00	0,00	0,00	0,04	0,15	0,26	0,33	0,36	0,33	0,26	0,15	0,04	0,00	0,00	0,00
338	0,00	0,00	0,00	0,05	0,17	0,29	0,37	0,40	0,37	0,29	0,17	0,05	0,00	0,00	0,00
339	0,00	0,00	0,00	0,04	0,14	0,23	0,30	0,32	0,30	0,23	0,14	0,04	0,00	0,00	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,05	0,17	0,29	0,37	0,40	0,37	0,29	0,17	0,05	0,00	0,00	0,00
341	0,00	0,00	0,00	0,05	0,17	0,29	0,37	0,40	0,37	0,29	0,17	0,05	0,00	0,00	0,00
342	0,00	0,00	0,00	0,03	0,12	0,21	0,27	0,29	0,27	0,21	0,12	0,03	0,00	0,00	0,00
343	0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	0,22	0,29	0,31	0,29	0,22	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00

344	0,00	0,00	0,00	0,04	0,15	0,25	0,32	0,35	0,32	0,25	0,15	0,04	0,00	0,00	0,00
345	0,00	0,00	0,00	0,04	0,15	0,25	0,33	0,35	0,33	0,25	0,15	0,04	0,00	0,00	0,00
346	0,00	0,00	0,00	0,04	0,16	0,27	0,35	0,38	0,35	0,27	0,16	0,04	0,00	0,00	0,00
347	0,00	0,00	0,00	0,04	0,17	0,30	0,39	0,42	0,39	0,30	0,17	0,04	0,00	0,00	0,00
348	0,00	0,00	0,00	0,03	0,14	0,24	0,31	0,34	0,31	0,24	0,14	0,03	0,00	0,00	0,00
349	0,00	0,00	0,00	0,04	0,14	0,25	0,32	0,34	0,32	0,25	0,14	0,04	0,00	0,00	0,00
350	0,00	0,00	0,00	0,03	0,14	0,23	0,30	0,33	0,30	0,23	0,14	0,03	0,00	0,00	0,00
351	0,00	0,00	0,00	0,04	0,16	0,28	0,37	0,40	0,37	0,28	0,16	0,04	0,00	0,00	0,00
352	0,00	0,00	0,00	0,03	0,14	0,25	0,32	0,35	0,32	0,25	0,14	0,03	0,00	0,00	0,00
353	0,00	0,00	0,00	0,04	0,15	0,25	0,33	0,36	0,33	0,25	0,15	0,04	0,00	0,00	0,00
354	0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	0,22	0,29	0,31	0,29	0,22	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00
355	0,00	0,00	0,00	0,03	0,14	0,25	0,32	0,35	0,32	0,25	0,14	0,03	0,00	0,00	0,00
356	0,00	0,00	0,00	0,04	0,16	0,28	0,36	0,39	0,36	0,28	0,16	0,04	0,00	0,00	0,00
357	0,00	0,00	0,00	0,04	0,17	0,29	0,37	0,40	0,37	0,29	0,17	0,04	0,00	0,00	0,00
358	0,00	0,00	0,00	0,03	0,14	0,23	0,30	0,33	0,30	0,23	0,14	0,03	0,00	0,00	0,00
359	0,00	0,00	0,00	0,03	0,14	0,24	0,31	0,33	0,31	0,24	0,14	0,03	0,00	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,03	0,13	0,22	0,29	0,31	0,29	0,22	0,13	0,03	0,00	0,00	0,00
361	0,00	0,00	0,00	0,04	0,15	0,26	0,34	0,37	0,34	0,26	0,15	0,04	0,00	0,00	0,00
362	0,00	0,00	0,00	0,04	0,15	0,26	0,33	0,36	0,33	0,26	0,15	0,04	0,00	0,00	0,00
363	0,00	0,00	0,00	0,04	0,16	0,27	0,35	0,38	0,35	0,27	0,16	0,04	0,00	0,00	0,00
364	0,00	0,00	0,00	0,04	0,14	0,24	0,31	0,33	0,31	0,24	0,14	0,04	0,00	0,00	0,00
365	0,00	0,00	0,00	0,04	0,15	0,26	0,34	0,36	0,34	0,26	0,15	0,04	0,00	0,00	0,00

CALCOLO DECLINAZIONE, ANGOLO SOLARE, COEFFICIENTI: A, B, R

GIORNI: DAL 1° AL 31°

Giorno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Declinazione [°]	-23,0	-22,9	-22,8	-22,7	-22,6	-22,5	-22,4	-22,3	-22,1	-22,0
Angolo Solare ωs [°]	65,7	65,8	66,0	66,1	66,2	66,3	66,5	66,6	66,8	66,9
N daylight	8,77	8,78	8,80	8,82	8,83	8,85	8,87	8,89	8,91	8,93
Alba [h]	7,61	7,61	7,60	7,59	7,58	7,58	7,57	7,56	7,55	7,53
Tramonto [h]	16,3	16,3	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4
I giornaliera [kWh/m^2]	1,68	1,63	2,11	1,87	1,94	1,98	1,52	1,45	1,73	1,51
coeff. a	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47
coeff. b	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,60	0,60
ore	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
angolo orario	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75
r	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I oraria [kWh/m^2]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
angolo orario	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60
r	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
I oraria [kWh/m^2]	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04
ore	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
angolo orario	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45
r	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
I oraria [kWh/m^2]	0,13	0,13	0,17	0,15	0,15	0,16	0,12	0,12	0,14	0,12
ore	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
angolo orario	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30

r	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
I oraria [kWh/m²]	0,22	0,22	0,28	0,25	0,26	0,26	0,20	0,19	0,23	0,20
ore	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
angolo orario	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15
r	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
I oraria [kWh/m²]	0,29	0,28	0,36	0,32	0,33	0,34	0,26	0,25	0,30	0,26
ore	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
angolo orario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
r	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,18
I oraria [kWh/m²]	0,31	0,31	0,39	0,35	0,36	0,37	0,28	0,27	0,32	0,28
ore	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
angolo orario	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
r	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
I oraria [kWh/m²]	0,29	0,28	0,36	0,32	0,33	0,34	0,26	0,25	0,30	0,26
ore	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
angolo orario	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
r	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
I oraria [kWh/m²]	0,22	0,22	0,28	0,25	0,26	0,26	0,20	0,19	0,23	0,20
ore	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
angolo orario	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
r	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
I oraria [kWh/m²]	0,13	0,13	0,17	0,15	0,15	0,16	0,12	0,12	0,14	0,12
ore	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
angolo orario	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
r	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
I oraria [kWh/m²]	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04
ore	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
angolo orario	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75

r	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giorno	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Declinazione [°]	-21,9	-21,7	-21,6	-21,4	-21,2	-21,1	-20,9	-20,7	-20,5	-20,3
Angolo Solare ωs [°]	67,1	67,3	67,5	67,7	67,9	68,1	68,3	68,5	68,7	69,0
N daylight	8,95	8,98	9,00	9,03	9,06	9,08	9,11	9,14	9,17	9,20
Alba [h]	7,52	7,51	7,50	7,49	7,47	7,46	7,44	7,43	7,41	7,40
Tramonto [h]	16,4	16,4	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,6
I giornaliera [kWh/m²]	1,59	2,03	2,17	1,70	1,90	1,70	1,88	1,99	1,91	1,82
coeff. a	0,47	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,49	0,49
coeff. b	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59
ore	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
angolo orario	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75
r	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
angolo orario	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60
r	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
I oraria [kWh/m²]	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05
ore	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
angolo orario	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45
r	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
I oraria [kWh/m²]	0,13	0,16	0,17	0,14	0,15	0,14	0,15	0,16	0,16	0,15
ore	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
angolo orario	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30

r	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
I oraria [kWh/m²]	0,21	0,27	0,29	0,23	0,25	0,23	0,25	0,26	0,25	0,24
ore	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
angolo orario	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15
r	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
I oraria [kWh/m²]	0,27	0,35	0,37	0,29	0,32	0,29	0,32	0,33	0,32	0,30
ore	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
angolo orario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
r	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
I oraria [kWh/m²]	0,29	0,37	0,40	0,31	0,35	0,31	0,34	0,36	0,34	0,33
ore	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
angolo orario	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
r	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
I oraria [kWh/m²]	0,27	0,35	0,37	0,29	0,32	0,29	0,32	0,33	0,32	0,30
ore	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
angolo orario	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
r	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
I oraria [kWh/m²]	0,21	0,27	0,29	0,23	0,25	0,23	0,25	0,26	0,25	0,24
ore	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
angolo orario	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
r	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
I oraria [kWh/m²]	0,13	0,16	0,17	0,14	0,15	0,14	0,15	0,16	0,16	0,15
ore	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
angolo orario	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
r	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
I oraria [kWh/m²]	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05
ore	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
angolo orario	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75

r	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Giorno	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**
Declinazione [°]	-20,1	-19,9	-19,7	-19,4	-19,2	-19,0	-18,7	-18,5	-18,3	-18,0	-17,7
Angolo Solare ωs [°]	69,2	69,5	69,7	70,0	70,2	70,5	70,8	71,0	71,3	71,6	71,9
N daylight	9,23	9,27	9,30	9,34	9,37	9,41	9,44	9,48	9,52	9,56	9,59
Alba [h]	7,38	7,37	7,35	7,33	7,31	7,30	7,28	7,26	7,24	7,22	7,20
Tramonto [h]	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,8
I giornaliera [kWh/m²]	2,38	2,30	2,12	2,52	2,64	2,27	2,75	2,36	2,41	2,44	2,46
coeff. a	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51
coeff. b	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,57	0,57	0,57	0,57	0,56	0,56
ore	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
angolo orario	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75	-75
r	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
angolo orario	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60	-60
r	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
I oraria [kWh/m²]	0,07	0,07	0,06	0,08	0,08	0,07	0,09	0,08	0,08	0,08	0,09
ore	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
angolo orario	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45	-45
r	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
I oraria [kWh/m²]	0,20	0,19	0,18	0,21	0,22	0,19	0,23	0,20	0,20	0,21	0,21
ore	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
angolo orario	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30

r	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
I oraria [kWh/m²]	0,31	0,30	0,28	0,33	0,35	0,30	0,36	0,31	0,31	0,32	0,32
ore	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
angolo orario	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15	-15
r	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
I oraria [kWh/m²]	0,40	0,38	0,35	0,42	0,43	0,37	0,45	0,38	0,39	0,40	0,40
ore	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
angolo orario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
r	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17
I oraria [kWh/m²]	0,43	0,41	0,38	0,45	0,47	0,40	0,48	0,41	0,42	0,42	0,43
ore	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
angolo orario	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
r	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
I oraria [kWh/m²]	0,40	0,38	0,35	0,42	0,43	0,37	0,45	0,38	0,39	0,40	0,40
ore	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
angolo orario	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
r	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
I oraria [kWh/m²]	0,31	0,30	0,28	0,33	0,35	0,30	0,36	0,31	0,31	0,32	0,32
ore	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
angolo orario	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
r	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
I oraria [kWh/m²]	0,20	0,19	0,18	0,21	0,22	0,19	0,23	0,20	0,20	0,21	0,21
ore	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
angolo orario	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
r	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
I oraria [kWh/m²]	0,07	0,07	0,06	0,08	0,08	0,07	0,09	0,08	0,08	0,08	0,09
ore	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
angolo orario	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75

r	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I oraria [kWh/m^2]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FUNZIONAMENTO PANNELLO SOTTOVUOTO

1° Gennaio-31 Gennaio

Range temperature TLR=65°-90°

Giorno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ore	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
T [°C]	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
I oraria [kWh/m^2]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m2]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	1	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Resa [kWh/m^2] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m^2]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
T [°C]	2,1	2	2,1	2,1	2,1	2,1	2	2,1	2,1	2,1
I oraria [kWh/m^2]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m^2]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	1	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Resa [kWh/m^2] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m^2]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
T [°C]	2,5	3	2,5	2,5	2,5	2,5	3	2,5	2,5	2,5
I oraria [kWh/m^2]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m^2]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	1	0,76	0,76	0,76	0,76	1	0,76	0,76	0,76

Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
T [°C]	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
I oraria [kWh/m²]	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04
G [W/m²]	34,2	33,7	44,3	39,9	42,0	43,6	34,2	33,3	40,3	35,8
X= deltaT/G	2,15	2,18	1,66	1,84	1,75	1,68	2,15	2,21	1,82	2,05
rendimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
T [°C]	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
I oraria [kWh/m²]	0,13	0,13	0,17	0,15	0,15	0,16	0,12	0,12	0,14	0,12
G [W/m²]	131	128	166	147	153	156	121	115	138	120
X= deltaT/G	0,55	0,56	0,44	0,49	0,47	0,46	0,60	0,63	0,53	0,60
rendimento	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resa [W/m²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
T [°C]	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
I oraria [kWh/m²]	0,22	0,22	0,28	0,25	0,26	0,26	0,20	0,19	0,23	0,20
G [W/m²]	224,72	218,11	282,08	250,10	258,71	263,99	203,08	194,00	230,30	200,66
X= deltaT/G	0,32	0,33	0,25	0,29	0,28	0,27	0,35	0,37	0,31	0,36
rendimento	0,20	0,18	0,31	0,25	0,27	0,28	0,14	0,11	0,21	0,13

Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,04	0,04	0,09	0,06	0,07	0,07	0,03	0,02	0,05	0,03
Resa [W/m²]	43,92	38,89	87,51	63,21	69,75	73,76	27,47	20,57	48,15	25,63
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
T [°C]	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
I oraria [kWh/m²]	0,29	0,28	0,36	0,32	0,33	0,34	0,26	0,25	0,30	0,26
G [W/m²]	290,90	282,14	364,60	323,01	333,83	340,32	261,54	249,59	295,97	257,60
X= deltaT/G	0,24	0,25	0,19	0,22	0,21	0,21	0,27	0,28	0,24	0,27
rendimento	0,33	0,32	0,42	0,37	0,39	0,39	0,28	0,26	0,34	0,28
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,10	0,09	0,15	0,12	0,13	0,13	0,07	0,07	0,10	0,07
Resa [W/m²]	96	90	152	121	129	134	74	65	100	71
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
T [°C]	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
I oraria [kWh/m²]	0,31	0,31	0,39	0,35	0,36	0,37	0,28	0,27	0,32	0,28
G [W/m²]	314	305	394	349	361	367	282	269	319	278
X= deltaT/G	0,22	0,23	0,18	0,20	0,19	0,19	0,25	0,26	0,22	0,25
rendimento	0,37	0,36	0,45	0,41	0,42	0,43	0,33	0,31	0,38	0,32
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,12	0,11	0,18	0,14	0,15	0,16	0,09	0,08	0,12	0,09
Resa [W/m²]	116,96	109,71	177,46	143,20	152,03	157,29	92,51	82,63	120,65	89,08
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
T [°C]	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
I oraria [KWh/m2]	0,29	0,28	0,36	0,32	0,33	0,34	0,26	0,25	0,30	0,26
G [W/m²]	290	282	364	323	333	340	261	249	295	257
X= deltaT/G	0,24	0,24	0,19	0,21	0,21	0,20	0,26	0,28	0,23	0,27
rendimento	0,34	0,33	0,43	0,38	0,40	0,40	0,30	0,27	0,35	0,29

Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,10	0,09	0,16	0,12	0,13	0,14	0,08	0,07	0,10	0,07
Resa [W/m²]	99	93	155	124	132	137	77	68	103	74
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
T [°C]	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
I oraria [kWh/m²]	0,22	0,22	0,28	0,25	0,26	0,26	0,20	0,19	0,23	0,20
G [W/m²]	224	218	282	250	258	263	203	194	230	200
X= deltaT/G	0,31	0,32	0,24	0,28	0,27	0,26	0,34	0,35	0,30	0,34
rendimento	0,22	0,20	0,33	0,28	0,29	0,30	0,16	0,14	0,23	0,16
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,05	0,04	0,09	0,07	0,08	0,08	0,03	0,03	0,05	0,03
Resa [W/m²]	49,5	44,5	93,1	68,8	75,4	79,4	33,1	26,2	53,8	31,2
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
T [°C]	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
I oraria [kWh/m²]	0,13	0,13	0,17	0,15	0,15	0,16	0,12	0,12	0,14	0,12
G [W/m²]	131	128	166	147	153	156	121	115	138	120
X= deltaT/G	0,53	0,54	0,42	0,47	0,45	0,44	0,57	0,60	0,50	0,57
rendimento	0	0	0,02	0	0	0	0	0	0	0
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	4,11	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
ore	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
T [°C]	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
I oraria [kWh/m²]	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04
G [W/m²]	34,2	33,7	44,3	39,9	42,0	43,6	34,2	33,3	40,3	35,8
X= deltaT/G	2,05	2,08	1,58	1,75	1,67	1,61	2,05	2,11	1,74	1,96
rendimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
T [°C]	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
T [°C]	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
T [°C]	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76

Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa totale [kWh/m²]	0,40	0,37	0,67	0,52	0,55	0,58	0,30	0,23	0,42	0,29
Giorno	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
ore	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
T [°C]	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	1	0,76	0,76	0,76	0,76	1	0,76	0,76	0,76
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
T [°C]	2,1	2	2,1	2,1	2,1	2,1	2	2,1	2,1	2,1
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	1	0,76	0,76	0,76	0,76	1	0,76	0,76	0,76
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
T [°C]	2,5	3	2,5	2,5	2,5	2,5	3	2,5	2,5	2,5
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

rendimento	0,76	1	0,76	0,76	0,76	0,76	1	0,76	0,76	0,76
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	8	8	8,00	8,00	8	8	8	8,00	8,00	8,00
T [°C]	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
I oraria [kWh/m²]	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05
G [W/m²]	38,5	50,1	54,6	43,7	49,7	45,4	51,2	55,2	54,0	52,6
X= deltaT/G	1,91	1,47	1,35	1,68	1,48	1,62	1,43	1,33	1,36	1,40
rendimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
T [°C]	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
I oraria [kWh/m²]	0,13	0,16	0,17	0,14	0,15	0,14	0,15	0,16	0,16	0,15
G [W/m²]	127	163	174	137	153	138	153	162	156	149
X= deltaT/G	0,57	0,44	0,41	0,53	0,47	0,53	0,47	0,45	0,46	0,48
rendimento	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resa [W/m²]	0,00	0,00	3,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Funziona	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
ore	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
T [°C]	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
I oraria [kWh/m²]	0,21	0,27	0,29	0,23	0,25	0,23	0,25	0,26	0,25	0,24
G [W/m²]	211	269	287	226	251	225	248	262	251	240
X= deltaT/G	0,34	0,26	0,25	0,32	0,28	0,32	0,29	0,27	0,28	0,30
rendimento	0,16	0,29	0,32	0,20	0,26	0,20	0,25	0,28	0,26	0,23

Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,03	0,08	0,09	0,04	0,06	0,04	0,06	0,07	0,06	0,06
Resa [W/m²]	33,8	78,1	92,0	44,8	64,2	44,1	62,3	72,8	64,4	55,5
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
T [°C]	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
I oraria [kWh/m²]	0,27	0,35	0,37	0,29	0,32	0,29	0,32	0,33	0,32	0,30
G [W/m²]	271	345	368	288	320	286	316	333	319	304
X= deltaT/G	0,26	0,20	0,19	0,24	0,22	0,24	0,22	0,21	0,22	0,23
rendimento	0,30	0,40	0,42	0,33	0,37	0,33	0,37	0,39	0,37	0,35
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,08	0,14	0,16	0,10	0,12	0,09	0,12	0,13	0,12	0,11
Resa [W/m²]	81	138	155	95	119	93	116	129	118	106
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
T [°C]	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
I oraria [kWh/m²]	0,29	0,37	0,40	0,31	0,35	0,31	0,34	0,36	0,34	0,33
G [W/m²]	292	372	397	311	345	309	341	359	343	327
X= deltaT/G	0,24	0,19	0,17	0,22	0,20	0,22	0,20	0,19	0,20	0,21
rendimento	0,34	0,43	0,45	0,37	0,41	0,36	0,40	0,42	0,40	0,39
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,10	0,16	0,18	0,11	0,14	0,11	0,14	0,15	0,14	0,13
Resa [W/m²]	100	161	179	114	140	112	136	150	139	126
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
T [°C]	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
I oraria [kWh/m²]	0,27	0,35	0,37	0,29	0,32	0,29	0,32	0,33	0,32	0,30
G [W/m²]	271	345	368	288	320	286	316	333	319	304
X= deltaT/G	0,25	0,20	0,19	0,24	0,21	0,24	0,22	0,21	0,22	0,23
rendimento	0,31	0,41	0,43	0,34	0,38	0,34	0,38	0,40	0,38	0,36

Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,08	0,14	0,16	0,10	0,12	0,10	0,12	0,13	0,12	0,11
Resa [W/m²]	84	141	158	98	122	96	119	132	121	109
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
T [°C]	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
I oraria [kWh/m²]	0,21	0,27	0,29	0,23	0,25	0,23	0,25	0,26	0,25	0,24
G [W/m²]	211	269	287	226	251	225	248	262	251	240
X= deltaT/G	0,33	0,26	0,24	0,30	0,27	0,31	0,28	0,26	0,27	0,29
rendimento	0,19	0,31	0,34	0,22	0,28	0,22	0,27	0,30	0,28	0,26
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,04	0,08	0,10	0,05	0,07	0,05	0,07	0,08	0,07	0,06
Resa [W/m²]	39	83	97	50	69	49	67	78	70	61
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
T [°C]	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
I oraria [kWh/m²]	0,13	0,16	0,17	0,14	0,15	0,14	0,15	0,16	0,16	0,15
G [W/m²]	127	163	174	137	153	138	153	162	156	149
X= deltaT/G	0,54	0,42	0,40	0,50	0,45	0,50	0,45	0,43	0,44	0,46
rendimento	0	0,01	0,06	0	0	0	0	0,01	0	0
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0,00	0,01	0	0	0	0	0,00	0	0
Resa [W/m²]	0	1,7	10,5	0	0	0	0	1,0	0	0
Funziona	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
ore	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
T [°C]	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
I oraria [kWh/m²]	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05
G [W/m²]	38	50	54	43	49	45	51	55	54	52
X= deltaT/G	1,82	1,40	1,28	1,60	1,41	1,54	1,37	1,27	1,30	1,33
rendimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
T [°C]	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
T [°C]	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
T [°C]	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [[W/m2]]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76

Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Resa totale [kWh/m²]	0,34	0,60	0,69	0,40	0,51	0,39	0,50	0,56	0,51	0,46	
Giorno	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**
ore	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
T [°C]	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	1	0,76	0,76	0,76	0,76	1	0,76	0,76	0,76	0,76
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
T [°C]	2,1	2	2,1	2,1	2,1	2,1	2	2,1	2,1	2,1	2,1
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	1	0,76	0,76	0,76	0,76	1	0,76	0,76	0,76	0,76
Resa [kWh/m2] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
T [°C]	2,5	3	2,5	2,5	2,5	2,5	3	2,5	2,5	2,5	2,5
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

rendimento	0,76	1	0,76	0,76	0,76	0,76	1	0,76	0,76	0,76	0,76
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
T [°C]	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
I oraria [kWh/m²]	0,07	0,07	0,06	0,08	0,08	0,07	0,09	0,08	0,08	0,08	0,09
G [W/m²]	70,0	68,9	64,8	78,4	83,8	73,1	90,4	78,9	81,9	84,5	86,6
X= deltaT/G	1,05	1,07	1,13	0,94	0,88	1,00	0,81	0,93	0,90	0,87	0,85
rendimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
T [°C]	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
I oraria [kWh/m²]	0,20	0,19	0,18	0,21	0,22	0,19	0,23	0,20	0,20	0,21	0,21
G [W/m²]	195	189	175	208	219	188	229	197	201	205	207
X= deltaT/G	0,37	0,38	0,41	0,35	0,33	0,38	0,32	0,37	0,36	0,35	0,35
rendimento	0,10	0,08	0,02	0,14	0,17	0,07	0,20	0,10	0,12	0,13	0,13
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,02	0,01	0,00	0,03	0,04	0,01	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03
Resa [W/m²]	19,0	14,4	3,6	29,1	37,2	13,8	44,9	20,4	23,8	26,3	27,9
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
T [°C]	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
I oraria [kWh/m²]	0,31	0,30	0,28	0,33	0,35	0,30	0,36	0,31	0,31	0,32	0,32
G [W/m²]	312	302	278	330	345	295	358	307	312	316	318
X= deltaT/G	0,23	0,24	0,26	0,22	0,21	0,24	0,20	0,23	0,23	0,23	0,22
rendimento	0,35	0,34	0,30	0,38	0,39	0,33	0,41	0,35	0,35	0,36	0,36

Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,11	0,10	0,08	0,12	0,14	0,10	0,15	0,11	0,11	0,11	0,12
Resa [W/m²]	110	102	84	124	135	98	145	106	110	113	115
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
T [°C]	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
I oraria [kWh/m²]	0,40	0,38	0,35	0,42	0,43	0,37	0,45	0,38	0,39	0,40	0,40
G [W/m²]	395	381	350	415	434	371	449	384	391	395	397
X= deltaT/G	0,18	0,18	0,20	0,17	0,16	0,19	0,16	0,18	0,18	0,18	0,18
rendimento	0,45	0,43	0,41	0,46	0,47	0,43	0,48	0,44	0,44	0,45	0,45
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,18	0,17	0,14	0,19	0,21	0,16	0,22	0,17	0,17	0,18	0,18
Resa [W/m²]	176	165	142	191	206	158	217	167	172	176	177
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
T [°C]	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
I oraria [kWh/m²]	0,43	0,41	0,38	0,45	0,47	0,40	0,48	0,41	0,42	0,42	0,43
G [W/m²]	425	410	377	446	466	398	482	412	419	423	425
X= deltaT/G	0,16	0,17	0,18	0,16	0,15	0,17	0,14	0,17	0,17	0,16	0,16
rendimento	0,47	0,46	0,44	0,49	0,50	0,45	0,51	0,46	0,47	0,47	0,47
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,20	0,19	0,16	0,22	0,23	0,18	0,24	0,19	0,20	0,20	0,20
Resa [W/m²]	201	189	164	217	232	180	244	191	196	199	200
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
T [°C]	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
I oraria [kWh/m²]	0,40	0,38	0,35	0,42	0,43	0,37	0,45	0,38	0,39	0,40	0,40
G [W/m²]	395	381	350	415	434	371	449	384	391	395	397
X= deltaT/G	0,17	0,18	0,20	0,17	0,16	0,19	0,15	0,18	0,18	0,17	0,17
rendimento	0,45	0,44	0,41	0,47	0,48	0,43	0,49	0,44	0,45	0,45	0,45

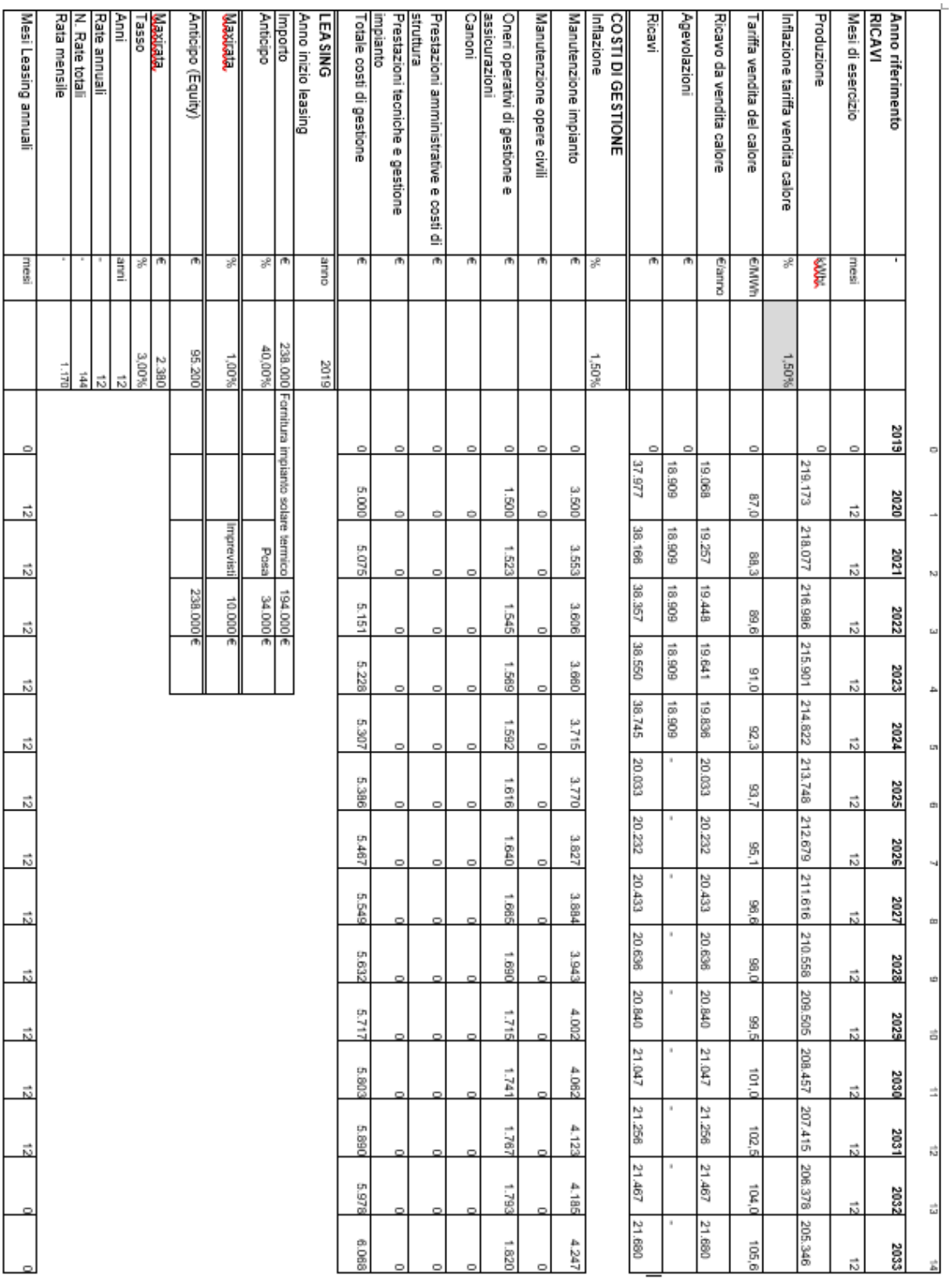
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,18	0,17	0,15	0,19	0,21	0,16	0,22	0,17	0,18	0,18	0,18
Resa [W/m²]	179	168	145	194	209	161	220	170	176	179	180
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
T [°C]	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
I oraria [kWh/m²]	0,31	0,30	0,28	0,33	0,35	0,30	0,36	0,31	0,31	0,32	0,32
G [W/m²]	312	302	278	330	345	295	358	307	312	316	318
X= deltaT/G	0,22	0,23	0,25	0,21	0,20	0,23	0,19	0,22	0,22	0,22	0,22
rendimento	0,37	0,36	0,32	0,39	0,41	0,35	0,42	0,37	0,37	0,38	0,38
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,12	0,11	0,09	0,13	0,14	0,10	0,15	0,11	0,12	0,12	0,12
Resa [W/m²]	116	108	90	129	141	103	151	112	116	119	121
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
T [°C]	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3
I oraria [kWh/m²]	0,20	0,19	0,18	0,21	0,22	0,19	0,23	0,20	0,20	0,21	0,21
G [W/m²]	195	189	175	208	219	188	229	197	201	205	207
X= deltaT/G	0,35	0,37	0,40	0,33	0,32	0,37	0,30	0,35	0,34	0,34	0,33
rendimento	0,13	0,11	0,06	0,17	0,20	0,11	0,23	0,14	0,15	0,16	0,17
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0,03	0,02	0,01	0,04	0,04	0,02	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04
Resa [W/m²]	26,2	21,7	10,8	36,3	44,5	21,0	52,2	27,7	31,1	33,6	35,2
Funziona	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ore	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
T [°C]	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
I oraria [kWh/m²]	0,07	0,07	0,06	0,08	0,08	0,07	0,09	0,08	0,08	0,08	0,09
G [W/m²]	70,0	68,9	64,8	78,4	83,8	73,1	90,4	78,9	81,3	84,5	86,6
X= deltaT/G	1,00	1,02	1,08	0,89	0,84	0,96	0,78	0,89	0,86	0,83	0,81
rendimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
T [°C]	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
T [°C]	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Resa [kWh/m²] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ore	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
T [°C]	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
I oraria [kWh/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G [W/m²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X= deltaT/G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
rendimento	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76

Resa [kWh/m^2] (I*rendim)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa [W/m^2]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Funziona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resa totale [kWh/m^2]	0,83	0,77	0,64	0,92	1,00	0,73	1,07	0,79	0,82	0,84	0,85

BUSINESS PLAN- CASO 1-PANNELLO SOTTOVUOTO

Dal 1° al 15° anno



Anno riferimento	-	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
RICAVI																
Mesi di esercizio	mesi	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Produzione	kWh	0	219.173	218.077	216.986	215.901	214.822	213.748	212.679	211.616	210.558	209.505	208.457	207.415	206.378	205.346
Inflazione tariffa vendita calore	%	1,50%														
Tariffa vendita del calore	€/MWh	0	87,0	88,3	89,6	91,0	92,3	93,7	95,1	96,6	98,0	99,5	101,0	102,5	104,0	105,6
Ricavo da vendita calore	€/anno	19.068	19.257	19.448	19.641	19.836	20.033	20.232	20.433	20.636	20.840	21.047	21.256	21.467	21.680	
Agevolazioni	€	0	18.909	18.909	18.909	18.909	18.909	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ricavi	€	0	37.977	38.166	38.357	38.550	38.745	20.033	20.232	20.433	20.636	20.840	21.047	21.256	21.467	21.680
COSTI DI GESTIONE																
Inflazione	%	1,50%														
Manutenzione impianto	€	0	3.500	3.553	3.606	3.660	3.715	3.770	3.827	3.884	3.943	4.002	4.062	4.123	4.185	4.247
Manutenzione opere civili	€	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oneri operativi di gestione e assicurazioni	€	0	1.500	1.523	1.545	1.569	1.592	1.616	1.640	1.665	1.690	1.715	1.741	1.767	1.793	1.820
Canoni	€	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prestazioni amministrative e costi di struttura	€	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prestazioni tecniche e gestione impianto	€	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale costi di gestione	€	0	5.000	5.075	5.151	5.228	5.307	5.386	5.467	5.549	5.632	5.717	5.803	5.890	5.978	6.068
LEASING																
Anno inizio leasing	anno	2019														
Importo	€	238.000	Fornitura impianto solare termico													
Anticipo	%	40,00%		Posa												
	€			194.000	€											
	€			34.000	€											
Maxirata	%	1,00%			Imprevisti											
	€				10.000	€										
Anticipo (Equity)	€	95.200				238.000	€									
Maxirata	€	2.380														
Tasso	%	3,00%														
Anni	anni	12														
Rate annuali	-	12														
N. Rate totali	-	144														
Rata mensile	-	1.170														
Mesi Leasing annuali	mesi		0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0

Quota anticipo Leasing	€		0	7.933	7.933	7.933	7.933	7.933	7.933	7.933	7.933	7.933	7.933	7.933	7.933	0	0
Accantonamenti a fondi e utilizzi	€		0	14.040	14.040	14.040	14.040	14.040	14.040	14.040	14.040	14.040	14.040	14.040	14.040	0	0
Importo complessivo Leasing	€	263.680																
MOL (Margine operativo lordo)	€		-	11.004	11.118	11.233	11.349	11.465	-7.327	-7.208	-7.090	-6.970	-6.850	-6.729	-6.607	15.489	15.612
Accantonamenti	€			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MON (Margine operativo netto)	€			11.004	11.118	11.233	11.349	11.465	-7.327	-7.208	-7.090	-6.970	-6.850	-6.729	-6.607	15.489	15.612
IMPOSTE	€																	
IRAP 3.9% - IRES 24%	€		-	3.070	3.102	3.134	3.166	3.199	-	-	-	-	-	-	-	4.321	4.356
Debiti tributari	€		-	3.070	3.102	3.134	3.166	3.199	-	-	-	-	-	-	-	4.321	4.356
Saldo			-	-	31	31	31	32	32	-	-	-	-	-	-	-	43
Anticipo			-	-	3.039	3.071	3.103	3.135	3.167	-	-	-	-	-	-	-	4.278
Imposte tributarie			-	-	-	-3.040	-3.071	-3.103	-3.135	-	-	-	-	-	-	-	-4.235
Utile netto	€		-	11.004	11.118	8.193	8.277	8.362	-10.461	-7.208	-7.090	-6.970	-6.850	-6.729	-6.607	15.489	11.377
FLUSSI MONETARI INIZIATIVA WACC	%	5,00%																
Flusso monetario da attività di esercizio	€		0	30.837	30.951	28.026	28.111	28.196	9.372	12.625	12.744	12.863	12.984	13.105	13.226	15.489	11.377
Flusso monetario da attività di investimento	€		0	-238.000													
Flusso monetario operativo (moneta corrente)	€		-	-207.163	30.951	28.026	28.111	28.196	9.372	12.625	12.744	12.863	12.984	13.105	13.226	15.489	11.377
Flusso monetario operativo (attualizzato)	€		-	-207.163	29.477	25.421	24.263	23.197	7.343	9.421	9.057	8.706	8.369	8.045	7.733	8.625	6.034
Flusso monetario operativo cumulato	€		-	-207.163	-177.685	-152.265	-127.982	-104.785	-97.442	-88.021	-78.964	-70.258	-61.889	-53.843	-46.110	-37.485	-31.452
RISULTATI SIMULAZIONE INIZIATIVA																		
IRR INIZIIATIVA	**%**	**6,28%**																
NPV	**€**	**20.912**																
PBP (da entrata in esercizio)	**anni**	**20**																

BUSINESS PLAN- CASO 1- PANNELLO PIANO

Dal 1° al 15° anno

			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Anno riferimento	-		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
RICAVI																	
Mesi di esercizio	mesi		0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Produzione	kWht		0	102.211	101.904	101.598	101.294	100.990	100.687	100.385	100.084	99.783	99.484	99.186	98.888	98.591	98.296
Inflazione tariffa vendita calore	%	1,50%															
Tariffa vendita del calore	€/MWh		0	87,0	88,3	89,6	91,0	92,3	93,7	95,1	96,6	98,0	99,5	101,0	102,5	104,0	105,6
Ricavo da vendita calore	€/anno		8.892	8.999	9.106	9.215	9.325	9.437	9.550	9.664	9.779	9.896	10.014	10.134	10.255	10.378	
Agevolazioni	€		0	14.349	14.349	14.349	14.349	14.349	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ricavi	€		0	23.241	23.348	23.455	23.564	23.674	9.437	9.550	9.664	9.779	9.896	10.014	10.134	10.255	10.378
COSTI DI GESTIONE																	
Inflazione	%	1,50%															
Manutenzione impianto	€		0	2.000	2.030	2.060	2.091	2.123	2.155	2.187	2.220	2.253	2.287	2.321	2.356	2.391	2.427
Manutenzione opere civili	€		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oneri operativi di gestione e assicurazioni	€		0	1.500	1.523	1.545	1.569	1.592	1.616	1.640	1.665	1.690	1.715	1.741	1.767	1.793	1.820
Canoni	€		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prestazioni amministrative e costi di struttura	€		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prestazioni tecniche e gestione impianto	€		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale costi di gestione	€		0	3.500	3.553	3.606	3.660	3.715	3.770	3.827	3.884	3.943	4.002	4.062	4.123	4.185	4.247
LEASING	anno	2019															
Anno inizio leasing																	
Importo	€	158.000	Fornitura impianto solare termico	120.000 €													
Anticipo	%	40,00%	Posa	28.000 €													
Maxirata	%	1,00%	Imprevisti	10.000 €													
Anticipo (Equity)	€	63.200	158.000 €														
Maxirata	€	1.580															
Tasso	%	3,00%															
Anni	anni	12															
Rate annuali	-	12															

N. Rate totali	-	144																	
Rata mensile	-	777																	
Mesi Leasing annuali	mesi		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	
Quota anticipo Leasing	€		5.267	5.267	5.267	5.267	5.267	5.267	5.267	5.267	5.267	5.267	5.267	5.267	5.267	0	0	0	
Accantonamenti a fondi e utilizzi	€		9.324	9.324	9.324	9.324	9.324	9.324	9.324	9.324	9.324	9.324	9.324	9.324	9.324	0	0	0	
Importo complessivo Leasing	€	175.088																	
MOL (Margine operativo lordo)	€		-14.591	5.151	5.204	5.259	5.313	5.369	-8.924	-8.868	-8.811	-8.754	-8.696	-8.638	6.011	6.071	6.131		
Accantonamenti	€			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MON (Margine operativo netto)	€			5.151	5.204	5.259	5.313	5.369	-8.924	-8.868	-8.811	-8.754	-8.696	-8.638	6.011	6.071	6.131		
IMPOSTE	€																		
IRAP 3.9% - IRES 24%	€		-	1.437	1.452	1.467	1.482	1.498	-	-	-	-	-	-	1.677	1.694	1.710		
Debiti tributari	€		-	1.437	1.452	1.467	1.482	1.498	-	-	-	-	-	-	1.677	1.694	1.710		
Saldo	€		-	-	14	15	15	15	15	-	-	-	-	-	-	17	17		
Anticipo	€		-	-	1.423	1.437	1.452	1.468	1.483	-	-	-	-	-	-	1.660	1.677		
Imposte tributarie	€		-	-	-	-1.423	-1.438	-1.453	-1.468	-	-	-	-	-	-	-1.644	-1.660		
Utile netto	€		-	5.151	5.204	3.836	3.876	3.916	-10.392	-8.868	-8.811	-8.754	-8.696	-8.638	6.011	4.427	4.471		
FLUSSI MONETARI INIZIATIVA																			
WACC	%	5,00%	0	18.317	18.371	17.002	17.042	17.083	2.774	4.299	4.355	4.413	4.470	4.529	6.011	4.427	4.471		
Flusso monetario da attività di esercizio	€																		
Flusso monetario da attività di investimento	€		0	-158.000															
Flusso monetario operativo (moneta corrente)	€		0	-139.683	18.371	17.002	17.042	17.083	2.774	4.299	4.355	4.413	4.470	4.529	6.011	4.427	4.471		
Flusso monetario operativo (attualizzato)	€		0	-139.683	17.496	15.422	14.722	14.054	2.174	3.208	3.095	2.987	2.882	2.780	3.515	2.465	2.371		
Flusso monetario operativo cumulato	€		-	-139.683	-122.187	-106.765	-92.043	-77.989	-75.816	-72.608	-69.513	-66.526	-63.645	-60.864	-57.350	-54.884	-52.514		
RISULTATI SIMULAZIONE INIZIATIVA																			
IRR INIZIIATIVA	**%**	**1,61%**																	
NPV	**€**	**-31.716**																	
PBP (da entrata in esercizio)	**anni**	**Oltre il 2045**																	