

PTC project

Parabolic
Trough
Concentrator

Analisi teorica e test condotta su prototipi
di concentratori solari parabolici assiali
per processi industriali

Abstract tesi di laurea

Il tema della crisi energetica e dell'impatto ambientale entra quotidianamente nelle nostre case attraverso ogni mezzo di comunicazione. Ormai non si parla d'altro: energia nucleare, diminuzione delle scorte di combustibile fossile, riciclaggio di materie prime, cambiamenti climatici, scelte energetiche, fonti rinnovabili, eco sostenibilità... Tutti ne sentono parlare, molti pensano di saperne abbastanza, ma in realtà, sono pochi quelli che cercano di contribuire attivamente alla soluzione del problema. Nonostante le numerose teorie e gli incentivi governativi forniti a sostegno delle rinnovabili, la gente continua ad assistere passivamente alle condizioni imposte dai padroni dell' "oro nero" mostrando, solo negli ultimi anni, una leggera sensibilizzazione verso tali soluzioni. Ogni giorno si viene "bombardati" da pareri di esperti che prospettano un futuro più roseo grazie ad un piccolo ma immediato sforzo individuale.

Cosa impedisce alla società di imporre un radicale cambiamento? Probabilmente l'utilizzo di combustibili fossili sui quali si basa la società moderna, è una realtà radicata nella nostra mente, basti pensare al progresso ottenuto finora, ma occorre non sottovalutare il timore nei nuovi investimenti che, soprattutto nei periodi di scarso ottimismo economico, "taglia le gambe" a tutte le potenziali soluzioni che, seppur interessanti, sono tuttavia economicamente rischiose.

Anche la disinformazione è un aspetto da non sottovalutare: mentre tutti sanno che l'energia solare è sicuramente la più promettente tra le fonti rinnovabili in termini di possibili applicazioni in un futuro a breve termine, pochi conoscono il reale sfruttamento di tale energia in applicazioni industriali; infatti, se negli ultimi anni l'industria fotovoltaica ha segnato il passo in tema di energie rinnovabili, scarsa importanza è stata data alle tecnologie solari per la produzione di calore, soprattutto in ambito industriale. Attualmente, infatti, il calore destinato ai processi industriali viene prodotto mediante lo sfruttamento delle fonti fossili per via del fatto che le tecnologie rinnovabili esistenti non permettono, nella maggior parte dei casi, il raggiungimento di temperature operative, attestata generalmente oltre i 100°C, necessarie alla maggior parte dei processi industriali: ne consegue una spesa economica per l'azienda, relativa al costo del combustibile ed un danno ambientale causato dalle emissioni nocive connesse. L'interesse verso una produzione sostenibile, pertanto, sta quindi diventando il driver negli investimenti industriali, e

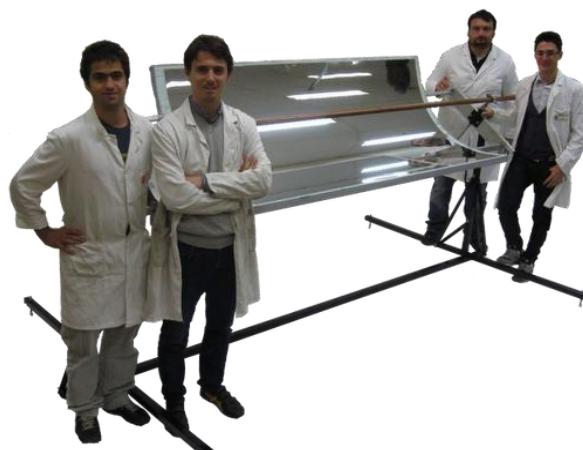


Figura 1: Modulo riflettore assieme al team di progetto

probabilmente, lo sarà sempre di più in futuro: l'obiettivo sarà quello di rispondere, a tale domanda, mediante una tecnologia solare interessante, totalmente sostenibile sul piano ambientale e conveniente sul piano economico così da potenziare lo sviluppo delle energie rinnovabili nel settore termico e dell'efficienza energetica.

Partendo dall'osservazione della vastità e della diffusione territoriale della richiesta energetica dell'industria di processo, il progetto descritto in questo lavoro di tesi e svolto in collaborazione con il Dipartimento di Energetica dell'Università Politecnica delle Marche, prende in considerazione la tecnologia del solare a concentrazione e la propone come contributo alla soluzione della domanda termica dell'industria. L'obiettivo è quello di proporre, in tempi ragionevoli, la tecnologia del solare a concentrazione in tutti quei processi industriali che, attualmente, sono ancora legati all'utilizzo delle fonti fossili. Aprire l'offerta solare ai processi industriali significa produrre calore oltre i 100°C svincolandosi dall'utilizzo dei combustibili fossili ed aprendo così le porte al settore del solare termodinamico su piccola scala.

La necessità di produrre risultati applicabili in breve tempo suggerisce un approccio molto pratico al problema supportato, tuttavia, dalla formulazione di modelli ottici e termici volti a descrivere con accuratezza il comportamento e a fornire indicazioni interessanti sull'efficienza complessiva. L'indagine sperimentale, infine, diventa necessaria come strumento di validazione dei risultati teorici raggiunti e come riscontro pratico di problematiche difficilmente osservabili per vie teoriche. La ricerca ha, quindi, un obiettivo molto ambizioso: giungere alla realizzazione di un concentratore solare specificatamente progettato per fornire calore ai processi industriali, con un costo contenuto che permetta il recupero dell'investimento in un tempo inferiore ai 10 anni senza

l'ausilio di incentivi governativi specifici per tale tecnologia. I passi attraverso cui impostare il lavoro sono ben chiari:

- Analisi della domanda energetica nell'industria di processo
- Realizzazione di un prototipo funzionale presso l'Università Politecnica delle Marche
- Realizzazione di un impianto di test conforme allo standard ASHRAE 93/2010
- Studio di fattibilità su un caso-tipo per l'applicazione di un concentratore solare in un industria di processo
- Costruzione del singolo modulo completo
- Realizzazione di un impianto pilota presso uno stabilimento produttivo

CALORE SOLARE PER PROCESSI INDUSTRIALI

I collettori solari termici, funzionanti a temperature superiori a 250°C, possono lavorare con valori eccellenti di efficienza. Il calore prodotto a questa temperatura è richiesto in molti processi industriali: generazione di vapore, lavaggio, essiccazione, distillazione, pastorizzazione, etc... Un'eventuale distribuzione, su larga scala, determinerebbe una forte riduzione del costo di tale tecnologia accompagnata ad una buona convenienza economica dell'investimento. Diversi arrays di collettori possono essere integrati con gli impianti già esistenti, collocati al di sopra di tetti industriali oppure installati in aree specifiche dedicate, ove disponibili¹.

Attualmente il calore richiesto viene generalmente prodotto tramite combustione di idrocarburi fossili. Le stime disponibili indicano che circa il 28% della richiesta totale di energia primaria è dovuta a consumi termici dell'industria, in genere, con temperature inferiori a 300°C². Facendo riferimento solo al contesto italiano, il consumo annuo di gas naturale per applicazioni industriali è pari a circa 18 000 milioni di Sm³/anno³. A fronte di questa domanda, dai rapporti più recenti, emerge l'esistenza, nel mondo, di alcune decine di centrali attive che producono energia termica per usi di processo con una potenza cumulativa di circa 25 MW termici⁴. Diversa è la situazione per quel che riguarda la potenza solare complessivamente installata nel mondo, che nel 2006 viene stimata pari a circa 118 GW termici⁵; dal confronto tra queste stime riportate, emerge che quasi tutta questa potenza è installata in applicazioni civili. Se è vero che il solare può essere visto come risposta alle attuali richieste di energia termica dei processi industriali, è anche vero che la temperatura alla quale tale energia è richiesta, rappresenta il criterio di scelta tra le diverse tecnologie solari utilizzabili.

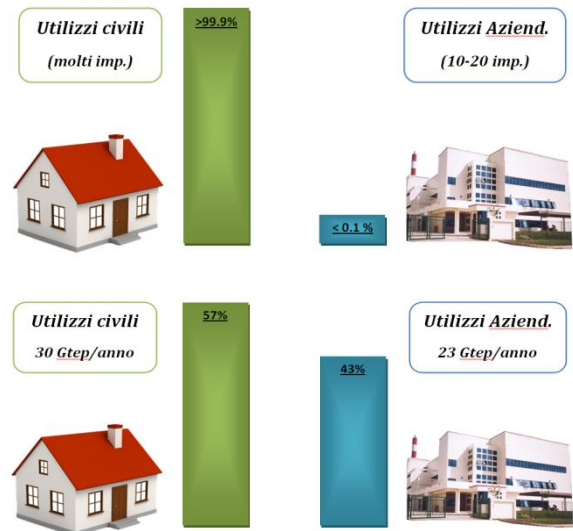


Figura 2: Mercato del solare termico in Italia

La temperatura, dunque, diventa uno strumento di selezione tra le diverse possibilità, suggerisce quale soluzione è più conveniente utilizzare e chiarisce la disponibilità, o meno, di eventuali soluzioni tecnologiche in commercio per il range termico d'interesse. L'intervallo che, complessivamente, occorre coprire nel settore industriale è quello che va da 30 °C fino ad oltre 600°C. Tuttavia non è possibile, o non conveniente, coprire tutto l'intervallo termico richiesto: salendo sopra 280 - 300°C, sono necessari accorgimenti significativi che complicano gli impianti e aumentano notevolmente i costi mentre al di sotto di 80 - 100°C si subisce la concorrenza dei sistemi solari termici tradizionali. Se per il calore a bassa temperatura (inferiore a 80°C) l'offerta commerciale è molto ampia è differenziata, sopra questo limite essa diventa praticamente nulla; pertanto, anche stringendo il potenziale mercato, la domanda termica resta comunque notevolmente ampia. Lavorare in un intervallo compreso tra 100 e 200°C, significa coinvolgere una potenzialità di circa 4 Gtep soddisfabili con centinaia di milioni di m² di dispositivi solari captanti.

Esempio della richiesta termica in alcuni processi industriali

Settore industriale	Processo	T [°C]
Industria alimentare	Essiccazione	30 - 90
	Pastorizzazione	80 - 110
	Bollitura	95 - 105
	Sterilizzazione	140 - 150
Industria tessile	Cottura	100 - 250
	Lavaggio a caldo	40 - 80
	Tintura	60 - 100
Industria Chimica	Asciugatura	100 - 160
	Bollitura	95 - 105
	Distillazione	110 - 300
	Relazioni chimiche	120 - 80
Industria Termoplastica	Stampaggio	180 - 200
	Cottura	150 - 160
Tutti i settori	Pre-riscaldamento	30 - 100

¹ European commission, Directorate general, Energy and transport
² Eurostat, dati 2004
³ Ministero delle attività produttive, Direzione Generale per l'Energia e le risorse Minerarie, anno 2006
⁴ European Solar Thermal Industry Federation, "Key Issues for Renewable Heat in Europe" (K4RES-H)
⁵ Weiss V., Bergman I., Faninger G., Solar Heat Worldwide - Markets and Contribution to Energy Supply 2005, International Energy Agency 2007

Il progetto, nelle sue battute iniziali, entra nel merito dalla realizzazione di prototipi funzionanti di concentratori solari, con l'obiettivo di ottenere un riscontro sperimentale misurandone l'efficienza. Come aspetto interessante del "field test", viene contemporaneamente definito il modello teorico, termico ed ottico, del concentratore per poterne modellare le performances, noti i dati metereologici delle località di installazione e le caratteristiche dell'impianto servito. La struttura scelta per il riflettore parabolico, è in materiale composito formato da una matrice di plastica in polistirene estruso (di basso costo ed ampiamente diffusa come isolante nell'edilizia) contenuta in due gusci di fibra di vetro e resina epossidica necessari per conferire la giusta rigidità al riflettore. Il primo passo consiste nella realizzazione della struttura parabolica dello stampo che ospita e forgia la matrice in vetroresina. Il supporto così realizzato mostra eccellenti proprietà strutturali unite a grande rigidità, straordinaria leggerezza e costi contenuti⁶. Il primo prototipo ottenuto presenta dimensioni modeste (2050 mm x 880 mm) ed è adatto per essere ospitato sopra il tetto di un edificio industriale. I bassi costi di realizzazione e la scelta di soluzioni progettuali semplici consentono il completamento rapido del primo riflettore che viene equipaggiato con un opportuno telaio in alluminio ancorato mediante collegamenti smontabili (viti e rivettature).

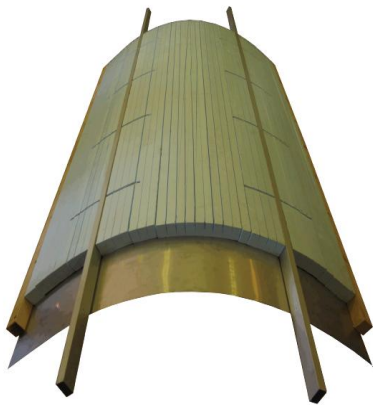


Figura 3: Stampo per la realizzazione del modulo parabolico

Si valuta, successivamente, la qualità della geometria parabolica mediante test ottici condotti con laser a bassa potenza.

La realizzazione del primo prototipo di PTC mette in evidenza molti aspetti interessanti della soluzione realizzata ma, tuttavia, fornisce importanti indicazioni dei limiti su cui è indispensabile agire. Il fattore più stringente è legato alla temperatura del fluido termovettore non adatta all'utenza termica definita: la necessità di voler preferire moduli di dimensione contenuta, trasportabili con maggiore facilità e a

costi contenuti suggerisce, nel primo prototipo, la realizzazione di moduli che tuttavia presentano un'aria captante non sufficiente al raggiungimento dei livelli termici prefissati. Si decide, pertanto, di incrementare l'area captante, a parità di ricevitore, con conseguente incremento del fattore di concentrazione.

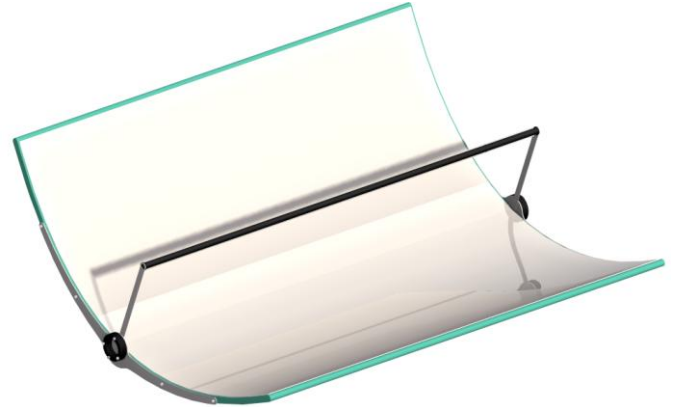


Figura 4: Modello CAD 3D: reingegnerizzazione concentratore

Segue, pertanto, una seconda fase di reingegnerizzazione del concentratore; si fa tesoro delle problematiche ottenute e sulla base di queste, si guida la progettazione del secondo prototipo verso soluzioni migliorative. Su questo modulo sono basati i progetti elaborati per il circuito di test termico; prove ottiche sono già in corso per verificare la geometria.

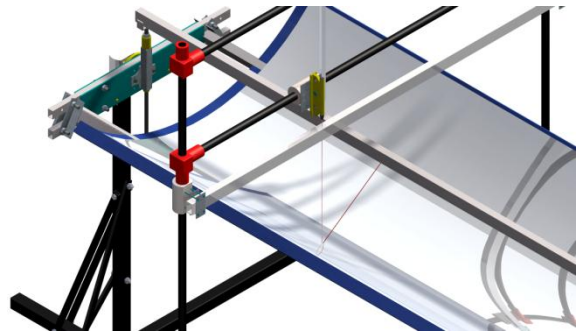


Figura 5: Modello CAD 3D: prove ottiche con laser a bassa potenza

L'obiettivo finale dei test è quello di ottenere una curva di efficienza del concentratore che ne descriva le performances al variare delle condizioni radiative esterne; il test dovrà essere conforme allo Standard ASHRAE (il più rigido a livello internazionale).

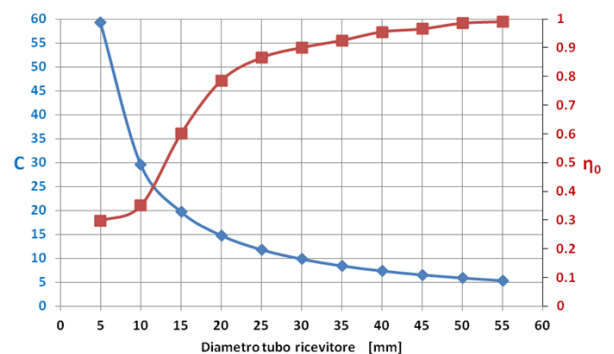


Figura 6: Curva di efficienza ottica e di concentrazione

⁶ A. Valan Arasu, T. Sornakuram, Design, manufacture and testing of fiberglass reinforced parabolic trough for parabolic trough solar collectors, Solar Energy 81 (2007) 1273–1279



Affinché un concentratore solare possa funzionare è necessario che la superficie di apertura sia, istante per istante, disposta verso i raggi solari. È necessario, pertanto, disporre il sistema di un dispositivo, definito inseguitore solare, atto a correggere la posizione del concentratore in modo tale da adattarla alla posizione apparente del sole. Inoltre, affinché si possa definire l'efficienza del concentratore, è necessario monitorare ed acquisire tutti i parametri d'interesse. A tal fine occorre equipaggiare il prototipo sia di un sistema di movimentazione, dedito a correggere la posizione del sole istante per istante, che di un sistema di acquisizione necessario ad acquisire e monitorare le grandezze sensibili. La necessità di dover mantenere istantaneamente l'allineamento tra il fuoco e l'asse del ricevitore, accompagnata alla volontà di massimizzare l'efficienza e l'economicità della soluzione, suggerisce un approccio di tipo astronomico, indubbiamente più complesso e costoso, ma necessario per tali applicazioni. Esso è, inoltre, basato su un sistema di movimentazione attivo, ad anello chiuso, e con inseguimento monoassiale di rotolio. Il flusso logico di controllo è il seguente:

- Il computer calcola la posizione istantanea apparente del sole mediante un algoritmo implementato in "LabView"
- Gli output di controllo elaborati dal controllore, vengono inviati all'inverter che rappresenta l'elettronica di potenza trifase per il motore scelto
- L'inverter permette il funzionamento del motore il quale mette in rotazione, per mezzo di opportuni riduttori meccanici, l'asse del concentratore a cui è collegato l'encoder
- L'encoder assoluto fornisce un feedback sulla posizione effettiva raggiunta

Segue una fase di collaudo volta a verificare il corretto allineamento e dunque l'affidabilità del sistema implementato. La determinazione dell'efficienza di un collettore è indispensabile in quanto, stabilire le sue prestazioni, consente di avere indicazioni sulla bontà del processo tecnologico seguito, una conseguente stima dell'output energetico del sistema ed un confronto con altri collettori in commercio. La determinazione delle performance termiche del concentratore è possibile mediante una procedura di test descritta da normative riconosciute a livello internazionale: lo standard Ashrae 93-2010 "Methods of Testing the Thermal Performance of Solar Collectors". Il testo chiarisce i requisiti e le procedura per stabilire le performance termiche in regime stazionario, la costante di tempo del concentratore e la variazione dell'efficienza in funzione dell'angolo di incidenza, ovvero l'angolo che il raggio solare diretto forma con la normale al piano di apertura. In particolare, sarà necessario determinare i seguenti parametri:

- Efficienza termica
- Costante di tempo del collettore

- Incident angle modifier
- Acceptance angle

Pertanto uno step fondamentale nell'analisi dei concentratori solari parabolici assiali consiste principalmente nella realizzazione dell'impianto di test conforme, come osservabile seguentemente:

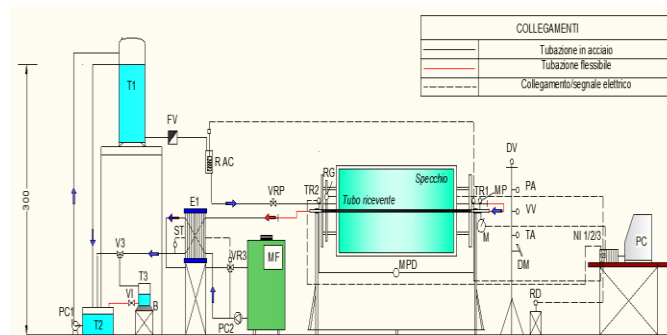


Figura 7: Impianto di test conforme secondo lo standard ASHRAE

ANALISI OTTICA, TERMICA E STRUTTURALE

L'approccio teorico al problema ha l'obiettivo di cercare formulazioni matematiche che consentano di interpretare i dati sperimentali raccolti in modo tale da capire la bontà del prodotto realizzato, le sue reali potenzialità e gli eventuali limiti su cui intervenire. L'indagine teorica viene portata avanti mediante la formulazione sia di un modello ottico, che possa spiegare come gli errori ottici intervengano sull'efficienza complessiva, sia di un modello termico che analizzi, invece, quanta energia solare concentrata viene effettivamente trasferita al fluido termovettore. L'analisi ottica viene impostata come analisi di tutti i fenomeni decurtativi che inevitabilmente intervengono compromettendo il rendimento ottico del riflettore^{7,8} ma non fornisce alcuna indicazione su come tale energia viene trasferita al fluido termovettore. La necessità di dover studiare anche i meccanismi che intervengono in tal senso suggerisce un approccio teorico all'analisi termica^{9,10,11} con l'obiettivo di stimare, per via indiretta, il rendimento termico del sistema.

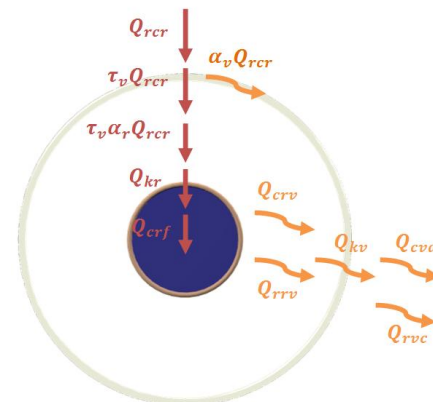


Figura 8: Bilancio delle potenze termiche, entranti ed uscenti, dal tubo ricevitore

⁷ Jeter MS. Geometrical effects on the performance of trough collectors, *Solar Energy* 1983; 30:109-13
⁸ Guven HM, Bannerot RB. Derivation of universal error parameters for comprehensive optical analysis of parabolic troughs. *Proceedings of the ASME-ISES Solar Energy Conference*, Knoxville; 1985. p. 168-74
⁹ Y.A. Cengel, *Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer*, McGraw-Hill, 2 edition, 2008
¹⁰ J.A. Du_e, W.A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, 3 edition, 2006
¹¹ R. Forristall, *Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver*, Technical Report NREL/TP-550-34169, National Renewable Energy Laboratory, 1617 ColeBoulevard, Golden, Colorado, 80401-3393, 2003.

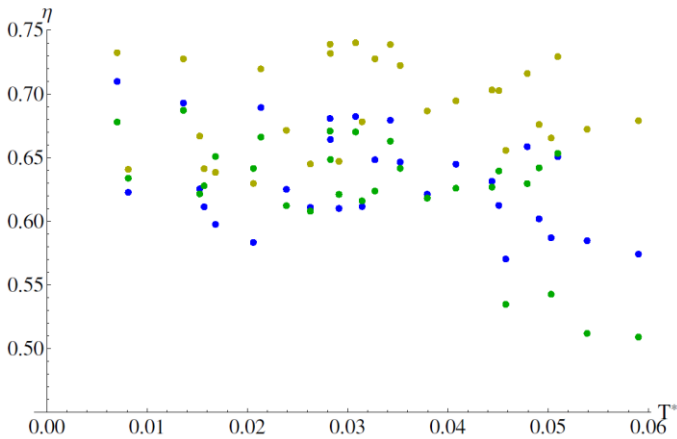


Figura 9: Efficienza globale (in blue), ottica (in giallo) e sperimentale (in verde) in funzione di T^*

Appare evidente che la stima combinata del rendimento ottico e del rendimento termico consentono, mediante algoritmi implementati in Wolfram Mathematica®, di determinare l'efficienza complessiva del concentratore.

L'output di tali algoritmi è utilizzato per studiare il comportamento teorico del concentratore al variare delle temperature operative, per quantificare i parametri di efficienza e per confrontare i dati sperimentali acquisiti con quelli teorici raggiunti.

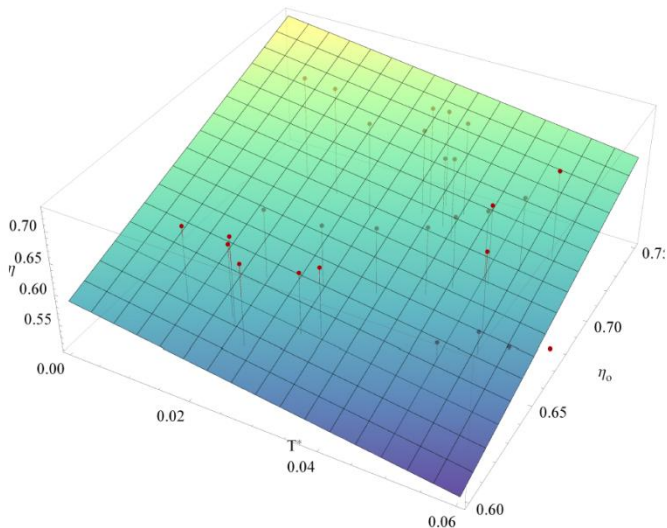


Figura 10: Ulteriore rappresentazione dell'efficienza in funzione di T^*

Parallelamente si è sviluppato uno studio per verificare gli effetti del vento e quelli legati agli stress termici. L'analisi ha riguardato in particolare i seguenti aspetti:

- Verifica strutturale del modulo sottoposto al vento
- Calcolo della perdita di prestazione (defocus) indotta dalla deformazione per effetto del vento
- Calcolo della perdita di prestazione indotta dalla deformazione per effetto della temperatura.

Il risultato delle analisi precedenti è stato utilizzato come punto di partenza per la valutazione del defocus. La mappa che segue mostra quanto si sposta il raggio riflesso da ciascuna zona del

pannello rispetto alla situazione senza sollecitazione; minore è la rigidità strutturale, maggiore è lo spostamento e maggiore è la perdita di efficienza: questo giustifica la volontà di ricercare una soluzione strutturale con buon compromesso tra rigidità e leggerezza. Gli effetti termici, invece, sono risultati ragionevolmente trascurabili.

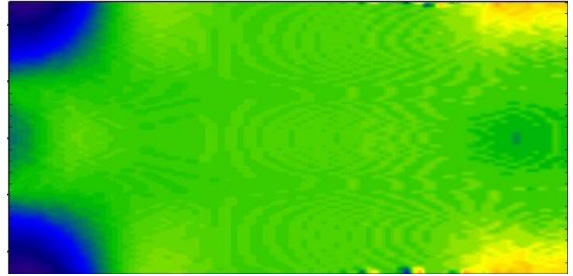


Figura 11: Rappresentazione del defocus con vento a 3m/s

ANALISI TECNICO – ECONOMICA DI UN CASO TIPO

L'analisi di un caso tipo è l'attività preliminare per realizzare un impianto sperimentale presso uno stabilimento.

In particolare è necessario eseguire una:

- Quantificazione dell'energia annualmente prodotta dall'impianto
- Parametrizzazione del "risparmio" in funzione della totale lunghezza dei moduli installati
- Analisi dei costi, del risparmio e calcolo del rientro dell'investimento

Sulla base di uno studio di alcune realtà esistenti è stata definita un'utenza simulata, ma strettamente connessa al caso reale, che ha le seguenti caratteristiche:

Turni di lavoro

- Lunedì – Venerdì: 24 ore al giorno
- Sabato e Domenica: Chiuso
- Tre settimane di fermo impianto durante l'estate
- Una settimana di fermo impianto a Natale

Caratteristiche stabilimento e reti di distribuzione olio diatermico:

1. Riscaldamento circuito1 (presse)
2. Riscaldamento circuito2 (forni)
3. Mantenimento in temperatura di serbatoi
4. Utilizzi vari per riscaldamento interno

Tali utenze sono soddisfatte attraverso due reti di olio diatermico collegate ad altrettante centrali termiche; le prime due utenze sono servite dalla centrale "WEST", mentre le ultime due sono servite dalla centrale "EAST". Lo stabilimento si estende su due edifici interconnessi da una struttura a "ponte", fornendo così ampia superficie per l'eventuale installazione di concentratori solari.

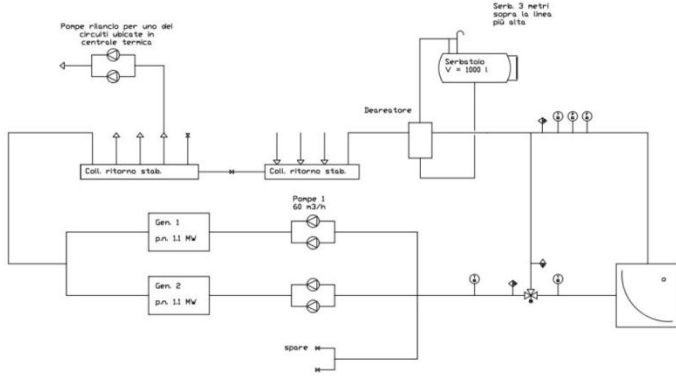


Figura 5: Schema semplificato della modalità di connessione dell'impianto solare all'impianto esistente

Centrale termica:

I circuiti dell'olio all'interno delle centrali sono costituiti in entrambi i casi da due collettori, uno di mandata e uno di ritorno. La centrale termica è costituita da una caldaia tradizionale a metano da 1000 kW e le temperature in gioco, tra mandata e ritorno, sono rispettivamente 195 e 165 °C. Il fluido di lavoro è olio diatermico. Dopo aver definito le utenze e le modalità di esercizio si è proseguito nel proporre uno schema di installazione; la scelta di utilizzare l'impianto solare come preriscaldatore è suggerita dalla semplicità progettuale che è possibile realizzare con tale soluzione. L'analisi ha fornito un tempo di rientro dell'investimento nell'ordine dei 10 anni nonostante la definizione delle voci di costo sia ancora incerta. Gli avanzamenti del lavoro confermano l'attendibilità di tali considerazioni; la scelta delle soluzioni progettuali è mirata al contenimento del Pay Back Period dell'investimento che potrebbe essere drasticamente contenuto nel caso in cui, anche la tecnologia del solare termodinamico di piccola taglia, fosse beneficiaria di incentivi statali così come attualmente avviene per l'eolico ed il fotovoltaico.

NOTE CONCLUSIVE

La presente tesi di laurea scaturisce dall'esperienza maturata durante l'attività di tirocinio condotta presso il dipartimento di Energetica dell'Università Politecnica delle Marche. Il titolo "Analisi teorica e test su prototipi di concentratori solari parabolici assiali per processi industriali" illustra il tema trattato e le procedure seguite nella stesura della tesi. Il presente elaborato, nato dalla volontà di approfondire teoricamente il comportamento dei concentratori solari parabolici assiali PTC, si pone, tuttavia, un preciso obiettivo: prendere in considerazione la tecnologia della concentrazione solare per proporla come contributo, parziale o totale, alla soluzione della domanda termica dell'industria a prezzi concorrenziali. In tal modo il beneficio che ne si trae è anche ambientale, per via della riduzione di inquinanti derivanti dalla combustione di idrocarburi, oltre che tecnico-economico.

Il lavoro svolto e le attività descritte sono parti di un progetto ancora in pieno svolgimento; se è vero che alcuni risultati sono già stati prodotti, è ancor più vero che la maggior parte delle informazioni vanno verificate con test su prototipo attualmente in fase di svolgimento.

Tuttavia i primi risultati mostrano prospettive interessanti, soprattutto perché fanno intravedere la possibilità di una fonte rinnovabile che si auto sostiene sul piano economico diversamente da altre fonti che, come il fotovoltaico o l'eolico, possono contare su cospicui incentivi statali.

Attualmente parte degli sforzi sono indirizzati verso la progettazione del secondo prototipo: la filosofia costruttiva rimane la stessa ma le dimensioni sono raddoppiate rispetto al primo prototipo. L'obiettivo, infatti, è quello di riscaldare il fluido termovettore fino a 200°C circa e per farlo è necessario un deciso incremento del fattore di concentrazione. Il nuovo concentratore adotta sistemi di ancoraggio più robusti tali da limitare l'influenza degli effetti di bordo e di eventuali ombreggiamenti non desiderati. Il contenimento dei costi rimane sempre il parametro fondamentale su cui basare la progettazione e la filosofia tecnologica, adottata nelle prototipizzazioni, mostra prospettive di sviluppo molto interessanti sia in termini tecnici che economici.

L'altra cospicua parte degli sforzi è indirizzata verso la realizzazione dell'impianto di test conforme alle normative più rigide: esso è in grado di caratterizzare efficacemente il comportamento termo-fluidodinamico del concentratore e fornisce un feedback interessante su eventuali installazioni future.

Come attività correlata al tema principale, nasce:

- Partecipazione al concorso "Accade Domani2", il venture capital dalla fondazione "Italia Futura" presenziata da Luca Cordero di Montezemolo: il progetto viene premiato aggiudicandosi il primo posto tra oltre 200 partecipanti
- Partecipazione al concorso "E-Capital 2010" con formulazione di relativo business plan: il progetto raggiunge le battute finali del concorso senza vincerlo
- Relazione di ricerca premiata con il riconoscimento "F.Sardus" dal distretto 2090 del Rotary International
- Articolo scientifico, in attesa di pubblicazione, inviato alla rivista internazionale "Solar Energy" ed intitolato: "Mathematical Modeling of a Prototype of Parabolic Trough Solar Collector (2011)"
- Premio di laurea GSE 2011, conferito dal Comitato Leonardo – Italian Quality Commetee, inerente lo "Sviluppo scientifico e tecnologico delle fonti rinnovabili in Italia"