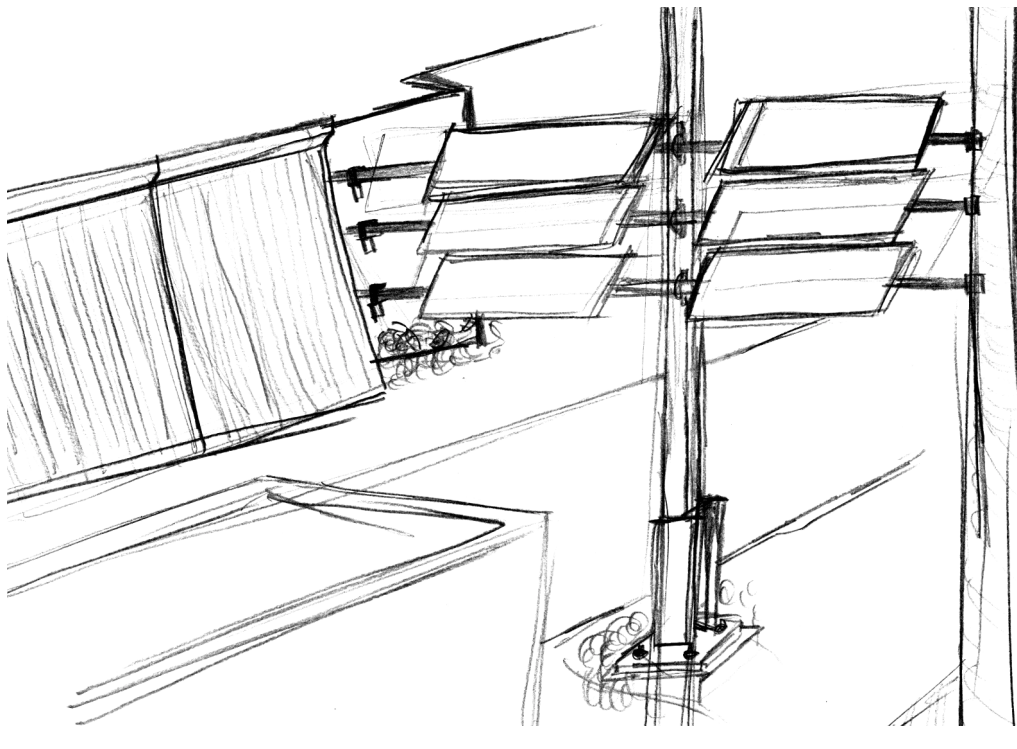


ELIOSTATI UNIDIMENSIONALI PER COLLETTORI SOLARI



Victor Telazzi, Tsubasa Fabbri
4H

Docente Responsabile: Nicolas Cretton
Liceo Lugano 2
Anno scolastico 2017-2018

Indice

1	Introduzione	1
1.1	Presentazione del lavoro	1
1.2	La questione ecologica	1
2	Tipi di impianti solari	4
2.1	L'impianto solare fotovoltaico	4
2.2	Il collettore solare termico	5
2.3	L'impianto solare termodinamico e l'eliostato	7
3	Costruzione dell'impianto	11
3.1	Rinforzo degli specchi	11
3.2	Pilastro centrale e posizionamento	12
3.3	Impianto elettronico e sensore	15
4	Osservazioni e risultati	18
5	Conclusioni e ringraziamenti	22
6	Fonti	23

Introduzione

” *Solar power is clean, renewable and cost effective, but it needs time to develop*

— J. D. Hayworth

1.1 Presentazione del lavoro

Il nostro lavoro di maturità in fisica include aspetti legati all'ingegneria e alle energie rinnovabili. Questa è stata l'opportunità che abbiamo avuto per sperimentare in prima persona ciò che significa progettare, costruire e testare un impianto di eliostati, dal momento che l'interesse nel proseguire il nostro percorso scolastico verte verso studi di ingegneria meccanica. Un fattore che ha influenzato la scelta è stato la nostra curiosità nei confronti delle energie rinnovabili e la responsabilità che verso la nostra generazione e quelle future.

Questo lavoro consiste principalmente nella motorizzazione di tre grandi riflettori semimobili esistenti nel giardino dell'abitazione del professore e frutto di un precedente lavoro di diploma [1]. Si tratta di specchi fissi che riflettono la luce solare verso un esistente impianto di collettori solari termici. Il nostro intervento tende a fare girare gli specchi automaticamente per riflettere la luce sempre sui collettori termici in funzione dell'evoluzione della posizione del Sole. Il progetto si articola su quattro punti: rinforzo degli specchi esistenti e installazione di nuovi, rinforzo della struttura portante, sistemazione degli specchi e installazione di un sistema di automazione per la gestione dell'impianto.

1.2 La questione ecologica

Negli ultimi anni l'attenzione dei vari governi e degli addetti ai lavori nei confronti delle energie rinnovabili è cresciuto sempre di più. Gli effetti dannosi e nocivi dovuti all'uso di combustibili fossili, su cui tuttora si basa la maggior parte dell'energia necessaria prodotta, sono ormai conosciuti nella loro drammaticità. Surriscaldamento globale dovuto all'effetto serra, emissione nell'ambiente di sostanze inquinanti e nocive per la salute di tutto le specie viventi e in grado di alterare il clima, inducono a reagire e a prendere provvedimenti per invertire

la tendenza nel tentativo di migliorare l'attuale stato del pianeta e garantire un futuro alle prossime generazioni.

Le energie non rinnovabili e il modo in cui vengono da noi utilizzate sono un problema tanto dal punto di vista economico-sociale, in quanto solo pochi paesi possiedono petrolio, carbone e metano, e che possono imporre il prezzo di vendita sul mercato, quanto da quello ambientale e climatico, per le conseguenze che abbiamo esposto sopra. Uno dei parametri che danno un'idea del peggioramento delle condizioni climatiche e del surriscaldamento globale è la concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera. Nel grafico (a) dell'immagine 1.1 riportato di seguito è possibile valutare l'incremento nel periodo compreso tra il 2005 e l'inizio del 2018.

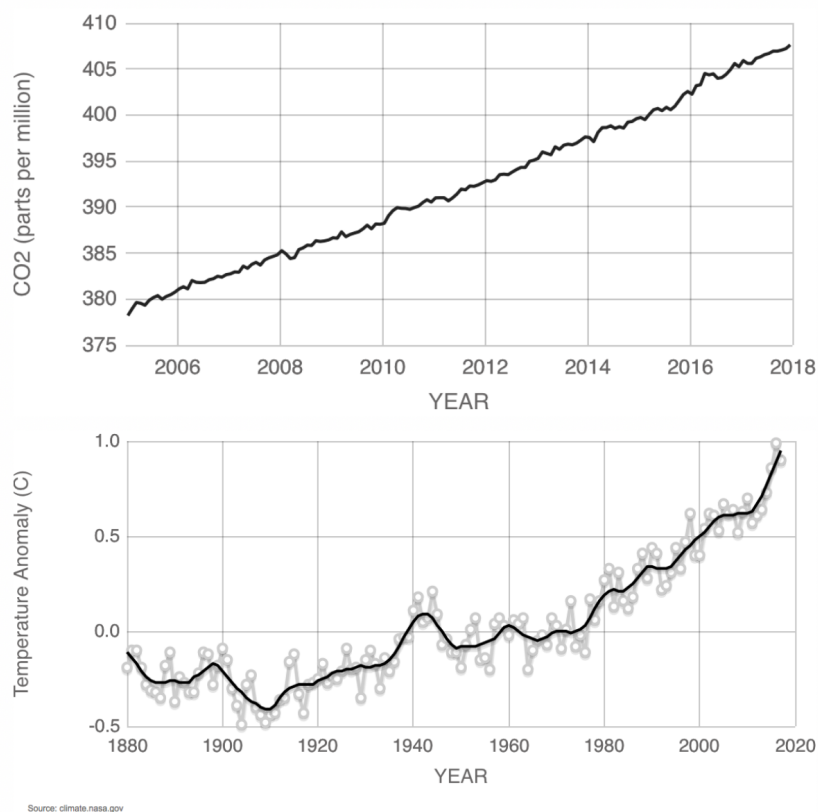


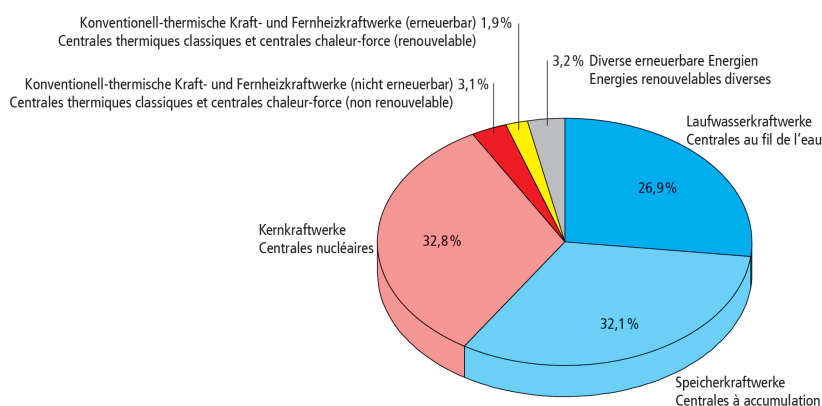
Fig. 1.1: (a) Grafico che rappresenta l'aumento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera, dal 2005 ad oggi. (b) Grafico che rappresenta il cambiamento della temperatura terrestre dal 1880 ad oggi.

Alcuni studi riportano un aumento della temperatura terrestre a partire dalla fine dell'ottocento ad oggi, come è possibile vedere nell'immagine 1.1 (b). Un simile innalzamento avvenuto in tempi così brevi non può essere un fenomeno della natura e sta a testimoniare che la vera causa sono le attività umane [2]. L'incremento dei gas serra diossido di carbonio (CO₂), metano (CH₄) e altri, è dovuto principalmente al comportamento che l'uomo ha sviluppato a partire dalla rivoluzione industriale nel XVIII secolo. La nascita della fabbrica e della macchina

a vapore hanno aperto il cammino alle generazioni future, le quali hanno impostato il proprio progresso su una tecnologia basata sull'uso di combustibili fossili, ignorando il loro impatto ambientale. Parallelamente anche le deforestazioni avvenute principalmente in Asia, in Africa e in Sud America hanno contribuito al surriscaldamento e al peggioramento del clima a seguito di una diminuzione della vegetazione e dei processi di fotosintesi ad essa connessi [3].

La produzione di energia è sicuramente uno dei tanti processi umani che minaccia l'ecosistema basandosi, come detto, su energie non rinnovabili. L'inversione di tendenza in atto porta all'impiego e alla diffusione, nelle nuove abitazioni, di impianti ecosostenibili come le termopompe, i collettori termici e pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica. Attualmente, a livello mondiale, ben l'85% dell'elettricità consumata è ancora prodotta usando combustibili fossili [4]. La situazione è decisamente migliore in Svizzera in quanto la produzione di energia elettrica tramite fonti rinnovabili supera il 50% del totale, come illustrato nel grafico sottostante.

Stromproduktion der Schweiz im Jahre 2016 nach Kraftwerkkategorien, in %
Production de l'électricité de la Suisse en 2016 par catégories de centrales, en %



Quelle: BFE, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2016 (Fig. 1)
Source: OFEN, Statistique suisse de l'électricité 2016 (Fig. 1)

Fig. 1.2: La produzione di elettricità in Svizzera nel 2016 suddivisa in tipi di centrale.

Tipi di impianti solari

2.1 L'impianto solare fotovoltaico

Il funzionamento dei dispositivi fotovoltaici si basa sulle capacità di alcuni materiali di convertire l'energia della radiazione solare in energia elettrica in corrente continua. L'esposizione all'irraggiamento solare permette di creare un flusso di elettroni che viene sfruttato dai fotosensori (importanti nel nostro caso perché permettono di individuare la posizione del sole), dalle fotoresistenze e, in scala maggiore, dagli impianti che generano elettricità. Tale flusso di elettroni si genera poiché grazie alla radiazione elettromagnetica viene ceduta l'energia agli elettroni presenti sugli orbitali più esterni del materiale che viene investito. Gli elettroni sono così liberi di allontanarsi, dato che passano dal loro stato di equilibrio atomico ad uno stato di eccitazione. Tuttavia questa è un'approssimazione intuitiva: in realtà le energie in gioco seguono le teorie quantistiche in cui elettroni e fotoni hanno qualità di onde elettromagnetiche, molto più complesse.

Esistono principalmente due tipi di impianti fotovoltaici. Il primo è l'impianto a isola, così definito perché isolato dalla rete (chiamato anche offgrid). Vengono usati per alimentare piccole utenze, come lampioni, cartelli stradali, economie domestiche, ecc. Sono provvisti di batterie di accumulo che garantiscono la fornitura di energia anche in mancanza di irraggiamento solare. Il secondo è l'impianto connesso alla rete (chiamato anche grid connected), il quale viene impiegato per sistemi di piccole (fino a 20kWp¹), medie (tra i 20 e i 50kWp) o grandi dimensioni (maggiore di 50kWp). I pannelli fotovoltaici possono avere un'efficienza che varia tra l'8% (nel caso di silicio amorfo), 15% (celle in silicio policristallino) fino ad una percentuale di circa 21% (celle in silicio monocristallino).

Un impianto offgrid si compone di:

- Pannelli fotovoltaici
- Accumulatori
- Centralina di regolazione
- Inverter (dispositivo che trasforma la corrente continua in alternata)

¹kWp (Kilowatt Picco): unità di misura non riconosciuta dal sistema internazionale che indica la potenza erogata da una cella fotovoltaica [18].

Un impianto grid connected si compone di:

- Pannelli fotovoltaici
- Doppio contatore (gestisce la corrente in entrata e in uscita)
- Inverter (dispositivo che trasforma la corrente continua in alternata) [5]

Concludendo, l'impianto fotovoltaico produce energia elettrica nel luogo in cui viene consumata, riducendo o annullando il quantitativo di elettricità prelevato dalla rete. Ha dei benefici ambientali in quanto l'energia che produce non fa capo a fonti convenzionali (energie non rinnovabili). Inoltre, da pochi anni anche gli impianti grid connected possono includere degli accumulatori di elettricità [6].

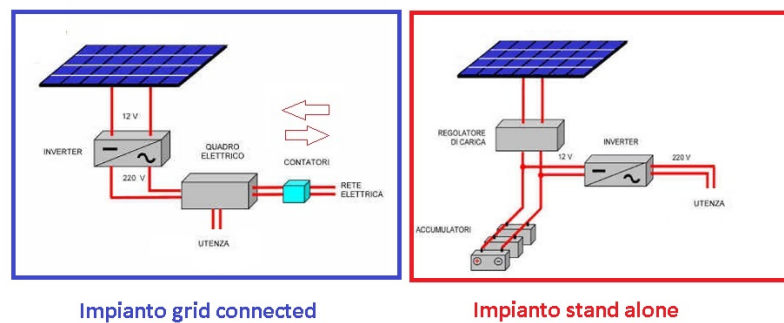


Fig. 2.1: Schemi di principio dei due tipi di impianti fotovoltaici.

2.2 Il collettore solare termico

L'impianto solare termico, così come quello fotovoltaico descritto al paragrafo precedente, utilizza la radiazione solare quale fonte di energia che viene, in questo caso, trasformata in calore e non in corrente elettrica. Quindi, un collettore solare termico tramite il calore ottenuto, riscalda l'acqua, sia quella per uso sanitario che quella necessaria per il riscaldamento degli edifici. Gli impianti solari termici sostituiscono oppure integrano le caldaie solitamente alimentate a gas o a olio combustibile. Consentono quindi un risparmio economico legato al fatto che non è necessario ricorrere a fonti energetiche di tipo tradizionale come, per esempio, i combustibili fossili o l'energia elettrica. Non va poi dimenticata la benefica riduzione di sostanze inquinanti, i cosiddetti prodotti della combustione tipici degli impianti tradizionali, non immesse in ambiente.

Lo scambio di energia termica tra il collettore solare e il serbatoio di accumulo dell'acqua necessaria per gli usi abitativi (acqua sanitaria e impianto di riscaldamento) può avvenire per il tramite di un circuito secondario che funge da scambiatore di calore e che mette in comunicazione i pannelli assorbitori con il serbatoio (circuito chiuso), oppure l'acqua del serbatoio di accumulo passa direttamente nei pannelli assorbitori senza usufruire di un circuito intermedio (circuito aperto, uso meno frequente). Solitamente, per garantire lo scambio termico, nei circuiti chiusi si usa il glicole propilenico quale fluido termo conduttore.

Esso è antigelo, anticorrosivo e non tossico per l'uomo [8]. In alcuni casi viene impiegato del gas in sostituzione al glicole.

Le unità principali che costituiscono un impianto solare termico sono: uno o più collettori (possono essere pannelli assorbitori, lastre di rame, ecc.) che cedono il calore solare al fluido contenuto nel circuito intermedio che sfocia nello scambiatore di calore (serpentina) installato nel serbatoio di accumulo dell'acqua calda.

Si distinguono i due principali tipi di impianti seguenti:

- **Impianto a circolazione naturale**

L'impianto solare termico a circolazione naturale è la forma meno complessa e più economica, in quanto necessita solo ed esclusivamente dell'energia fornita dal Sole. Nei tubi del collettore solare passa il glicole propilenico che, esposto alle radiazioni solari, si riscalda, diviene più leggero riduce la sua densità e sale per convezione (effetto termosifone) verso il serbatoio. Qui cede il calore accumulato all'acqua contenuta nel serbatoio. Trattandosi di circolazione naturale, è indispensabile che il serbatoio di accumulo si trovi in posizione rialzata rispetto al collettore (figura 2.2).

Un impianto del genere è solitamente utilizzato in zone temperate, dove le temperature non compromettono la solidificazione dell'acqua. L'acqua nel serbatoio viene utilizzata sia per il riscaldamento delle abitazioni (più del 10% dei casi) e sia per il rifornimento di acqua calda sanitaria (al di sopra dell'80% dei casi) [9].

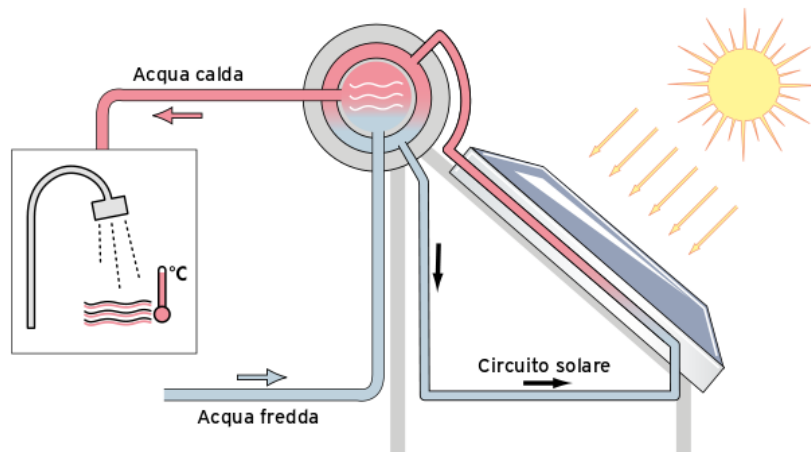


Fig. 2.2: Schema di un impianto a circolazione naturale.

- **Impianto a circolazione forzata**

Questo tipo di impianto è chiamato a circolazione forzata perché il flusso del fluido termovettore all'interno del sistema non scorre naturalmente come nel caso precedente, ma necessita di una pompa di circolazione. Per questo motivo l'impianto a circolazione forzata non è totalmente autonomo

ma richiede dell'energia proveniente dalla rete elettrica per l'alimentazione della pompa.

Come è possibile vedere sulla figura 2.3, il serbatoio d'acqua è attraversato, nella maggior parte dei casi, da due diverse serpentine: la prima è quella collegata ai collettori solari; è in questo circuito che la pompa è indispensabile, in modo che il liquido fluisca solo ed esclusivamente in una direzione. Se l'apporto energetico proveniente dal circuito solare è insufficiente (cattivo tempo), oppure si verifica un elevato consumo, il collettore potrebbe non essere in grado di garantire il necessario quantitativo di acqua calda; per questa ragione gli impianti sono spesso integrati da una seconda serpentina collegata a sistemi ausiliari tradizionali di riscaldamento dell'acqua nell'accumulatore (ad esempio nafta, gas, termopompa o camino ad acqua) [10].

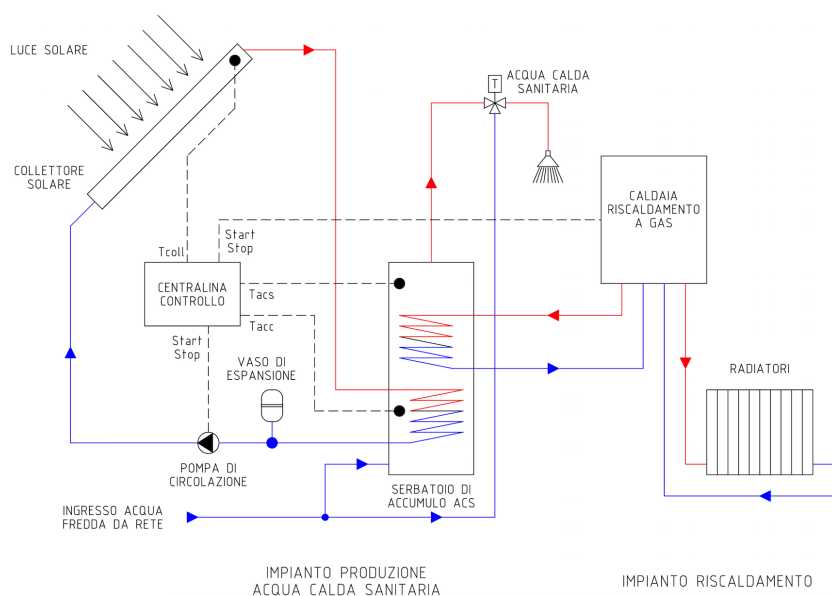


Fig. 2.3: Schema di un impianto a circolazione forzata.

2.3 L'impianto solare termodinamico e l'eliostato

Come detto prima, vi sono pure impianti di dimensioni maggiori dedicati all'uso collettivo che si suddividono in: impianti termodinamici a media e ad alta temperatura. Questi sistemi vengono principalmente utilizzati per la produzione di grandi quantità di energia elettrica che viene immessa nella rete elettrica [11].

L'impianto solare termodinamico ad alta temperatura, conosciuto pure come centrale solare a concentrazione, è una centrale che produce energia termica ed elettrica sfruttando le radiazioni provenienti dal sole. Esso consiste principalmente nell'utilizzo di specchi per riflettere i raggi solari verso un ricevitore. Questi impianti possiedono numerosi vantaggi, tra cui i contenuti costi di manutenzione e un elevato rendimento. Non è nemmeno da trascurare il fatto che l'impianto

non produce sostanze chimiche dannose, cosa che rende l'impatto ambientale della struttura praticamente nullo.

Per questo tipo di centrale sono indispensabili tre principali elementi come si può vedere nell'immagine sottostante: i riflettori (chiamati pure eliostati), il ricevitore (chiamato anche generatore) e l'accumulatore. Questo tipo di impianto necessita di un clima preferibilmente arido e secco, dal momento che maggiori sono le giornate di sole, migliore sarà il rendimento della centrale e maggiore sarà il bilancio della produzione annuale di elettricità.

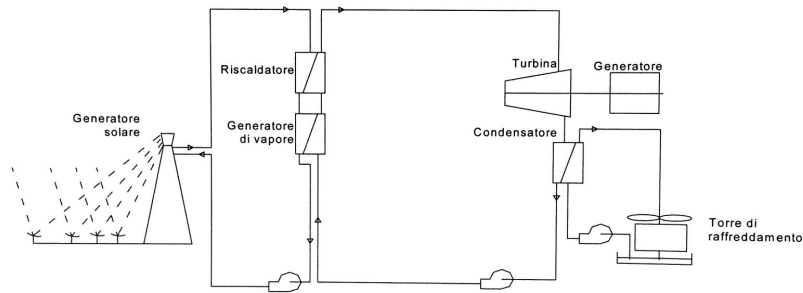


Fig. 2.4: Schema di un impianto termodinamico.

L'eliostato, opportunamente servoassistito da un impianto di tracking (inseguimento del Sole, la parte più costosa del sistema), segue il percorso del Sole durante tutto l'arco della giornata. Gli specchi impiegati nelle centrali elettriche e negli impianti termodinamici servono a riflettere la luce al ricevitore, nel quale avviene la conversione energetica. Gli specchi solitamente sono costituiti da una lamina di metallo piana su cui viene applicato uno strato di vetro. Il ricevitore ha il compito di convertire l'energia luminosa della radiazione solare in energia termica e di trasmetterla ad un fluido termovettore. Bisogna prestare attenzione alle perdite per convezione ed irraggiamento e alle elevate temperature alle quali è sottoposto. Il ricevitore è solitamente costituito da una serie di tubi all'interno dei quali scorre il fluido da riscaldare. Tale fluido può essere costituito da un eutettico² di sali oppure da aria. Usando l'aria si possono generare flussi con i quali raffreddare le zone sottoposte alla radiazione solare. I due fluidi cedono la loro energia ad un generatore di vapore che viene fatto espandere in una turbina per generare elettricità. Esistono impianti in cui l'aria surriscaldata (fino a 700°C) viene fatta direttamente espandere nella turbina. Da notare che l'aria, pur essendo un cattivo conduttore termico, si fa apprezzare per le sue caratteristiche di non corrosività, non infiammabilità e per la sua facile reperibilità. È importante che l'accumulazione dell'energia sia ottimizzata. L'accumulatore è indispensabile nei momenti in cui l'irraggiamento solare diminuisce, ad esempio durante giornate nuvolose, oppure durante le ore notturne. In entrambi i casi l'impianto deve essere in grado di fornire energia in modo costante e continuativo. Una

²Eutettico: miscuglio di sostanze che presenta un punto di fusione o di evaporazione maggiore, rispettivamente minore, di quello delle singole sostanze [12].

delle tecnologie utilizzate è lo stoccaggio termico in enormi serbatoi, nei quali sono presenti sali liquefatti [7], mentre prosegue lo sviluppo di nuove batterie domestiche (ad esempio le nuove tecnologie Tesla [13]).

(a) Impianti a parabola

L'impianto a concentrazione parabolica lineare (immagine 2.6) consiste in specchi dalla struttura parabolica che ruotano su un solo asse e concentrano i raggi solari nel tubo ricevitore situato nel punto focale della parabola, all'interno del quale scorre il fluido termovettore. Negli impianti di prima generazione veniva impiegato un particolare olio chiamato diatermico il quale permetteva di raggiungere temperature di circa 400° . In quelli successivi si è passati all'uso di una particolare miscela di Sali fusi che consentono di raggiungere una temperatura più elevata attorno ai 550°C , permettendo all'impianto di ottenere un maggiore rendimento. Un altro tipo di impianto in cui viene sfruttata la forma parabolica è l'impianto a Dish-Stirling, chiamato anche concentratore parabolico ad inseguimento biassiale, il quale riflette i raggi solari su di un ricevitore posto sopra di esso. Tale ricevitore è equipaggiato da un particolare motore "Stirling" a combustione esterna. Il principio su cui si basa il suo funzionamento è quello di riscaldare un gas (solitamente elio o diidrogeno) contenuto in un circuito chiuso, la cui espansione e contrazione genera energia meccanica, con la quale si può produrre energia elettrica. L'impianto Dish-Stirling viene collegato direttamente ai cavi elettrici che portano l'energia in abitazioni o strutture industriali. Questo sistema raggiunge ottimi rendimenti ma è costoso; si usa per piccole potenze in zone isolate [14].



Fig. 2.5: Centrale solare a concentrazione parabolica, compagnia "Acciona", Sudafrica.

(b) Specchi lineari a riflettore Fresnel

Un altro tipo di centrale termodinamica sfruttano il principio della lente di fresnel per la concentrazione dei raggi solari al ricevitore (figura 6.2). Questa lente fu inventata dall'ingegnere francese Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), il quale cercò di modificare una classica lente per alleggerirla e diminuirne le dimensioni. Gli specchi garantiscono la concentrazione dei raggi solari paralleli all'asse di simmetria sul fuoco, nel quale vengono poi posizionati il collettore o il ricevitore. Gli specchi sono in grado di muoversi solamente sull'asse azimutale e inseguono il movimento del Sole lungo tutto l'arco della giornata. Il ricevitore a differenza dei primi due impianti non è sottovuoto, anche se dentro di esso scorre comunque il fluido termovettore. L'impianto è noto per i prezzi ridotti, rispetto all'impianto lineare parabolico, ma necessita comunque di superfici ampie.



Fig. 2.6: Esempio di centrale ad impianto Fresnel.

(c) Torre di energia solare

In questo tipo di centrale gli specchi riflettenti sono piatti e indipendenti l'uno dall'altro. Questi hanno il compito di aggiornare la propria posizione in base a quella del Sole e di concentrare i raggi solari su un grande ricevitore posto su una torre posizionata davanti agli specchi. Il fluido termovettore in questo caso si trova sulla torre e raggiunge temperature elevatissime. Come fluidi vengono spesso adoperati i sali fusi o talvolta pure l'acqua. Sulla torre è inoltre presente una caldaia, nella quale vengono fatte passare le serpentine in cui scorre il fluido che verrà trasformato in vapore surriscaldato, utilizzato per muovere la turbina collegata all'alternatore, il quale trasformerà l'energia cinetica della turbina in elettricità sottoforma di corrente alternata. Il fluido ritorna poi nel serbatoio d'accumulo dove viene raffreddato e immesso di nuovo nel ciclo produttivo [15].

Costruzione dell'impianto

Il nostro lavoro riproduce un impianto ad eliostati, il cui scopo è quello di muovere delle lastre metalliche riflettenti solamente nella direzione zenitale, indirizzando così i raggi solari sui tubi sottovuoto dei collettori solari termici. Questo sistema consente di aumentare la resa energetica, grazie alla maggior quantità di raggi solari che vengono riflessi sulla superficie dei collettori nell'arco della giornata, il che si traduce in un incremento della produzione di acqua calda sanitaria per l'abitazione. Come anticipato nei precedenti capitoli, la struttura base degli eliostati deriva da un precedente lavoro di maturità [1] che prevedeva il movimento manuale degli specchi. Il loro orientamento verticale non seguiva in automatico il sole sull'arco della giornata ma veniva via via aggiornato manualmente in modo tale da essere collocato nella posizione che massimizzasse la riflessione sui collettori (angolo zenitale medio).



Fig. 3.1: Impianto originale.

3.1 Rinforzo degli specchi

Il primo passo è stato quello di modificare i tre specchi esistenti e di installarne 3 nuovi. I tre specchi del precedente lavoro di maturità sono stati rimossi dalla loro posizione originale, ridimensionati e rinforzati. Gli specchi che misuravano 2,0 m in lunghezza sono stati accorciati di mezzo metro mentre la larghezza è rimasta invariata (figura 3.2). Successivamente sono stati irrobustiti lateralmente e posteriormente, ciascuno con due aste di alluminio dalla sezione quadrata, per supportare l'aggancio alle sbarre, e altre due dalla sezione ad L. L'aggiunta

di questo leggero scheletro ha permesso di garantire una maggiore stabilità e resistenza allo scopo di evitare che possano piegarsi riflettano la luce nel punto sbagliato. Tuttavia, dal momento che il nostro progetto necessitava sei specchi, abbiamo provveduto a costruirne altri tre partendo da lamine di alluminio già tagliate, alle quali è stato in seguito applicato uno strato di pellicola riflettente adesiva di tipo Mylar¹ come sugli altri. Anche essi sono stati rinforzati. La superficie totale riflettente è ora di 4,50m².



Fig. 3.2: A destra gli specchi del LAM precedente, al centro la lastra riflettente tagliata (1,5 m per 0,5 m) e a sinistra il risultato finale degli specchi rinforzati.

3.2 Pilastro centrale e posizionamento

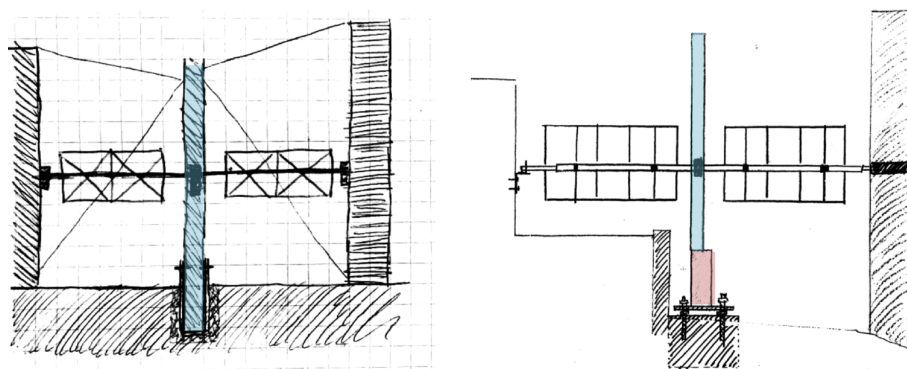


Fig. 3.3: Schizzi del progetto iniziale (sinistra) e di quanto eseguito (destra).

¹Il polietilene tereftalato, comunemente chiamata PET per le bottiglie o Mylar per le pellicole, è una molecola chimica che viene sfruttata in svariate applicazioni per via delle sue proprietà chimico-fisiche (riflessione, isolamento, ecc...) [16].

Per mantenere la stabilità della struttura portante è stato necessario costruire una fondazione per il pilastro centrale in acciaio. L'idea iniziale di scavare un buco largo e profondo almeno 1,0 m (figura 3.3) e di riempirlo di cemento lasciando uno risparmio per infilarci il palo, è stata scartata in quanto non avrebbe permesso di calibrare la posizione del palo per garantirne la verticalità. Abbiamo quindi deciso di scavare e di gettare una fondazione in calcestruzzo, rinforzato da una gabbia di ferro d'armatura. Dalla fondazione sono state lasciate spuntare quattro tirafondi a cui è stata fissata una piastra in acciaio su cui è stato saldato un profilato ad H in acciaio con funzione di pilastro. Il fissaggio della piastra con viti e bulloni ha permesso di regolare, agendo su dadi e controdadi, e garantire la perpendicolarità del montante centrale in acciaio costituito da un profilo ad L, fissato al sottostante profilo ad H.



Fig. 3.4: Sequenza di foto che illustra il processo di costruzione base del pilastro.

Gli specchi sono stati fissati alle sbarre in alluminio a sezione circolare tramite dei cavallotti di fissaggio², la cui funzione è quella di regolare l'inclinazione degli specchi in modo che riflettano la luce sui collettori. L'idea iniziale era quella di utilizzare tre sbarre, ciascuna lunga 3,50 m che sostenessero due specchi ognuna. Queste sbarre sarebbero state sostenute da degli elementi che avrebbero comodamente favorito il montaggio e lo smontaggio degli specchi. La soluzione scelta è stata, però, quella di usare degli elementi diversi per ognuno dei tre punti di sostegno: sul lato del muro sono stati assemblati dei sostegni a Z (figura 3.5). Questi permettono un semplice smontaggio e rimontaggio del sistema. Per costruirli abbiamo utilizzato due elementi d'appoggio ad angolo retto, uno in acciaio e uno in alluminio, e li abbiamo fissati tra loro con un dado e un bullone. Al centro, come sostegno in appoggio sul montante, è stato utilizzato un cuscinetto ricoperto da alluminio, per proteggerlo dalla pioggia, al quale è stato aggiunto un elemento (che abbiamo chiamato "correttore di angolazione") che permette di regolare liberamente l'angolo di attacco al pilastro (immagine 3.4). Per l'ultimo appoggio sono stati riutilizzate gli elementi del progetto precedente, attaccati al palo di legno con delle fascette idrauliche in alluminio. Questi elementi sono stati forati in modo da poter infilare le sbarre.

²Cavallotto: tondino metallico piegato ad U, utilizzato per congiungere due pezzi di una struttura che devono stare saldamente fermi e a contatto; detto anche cambretta [17].

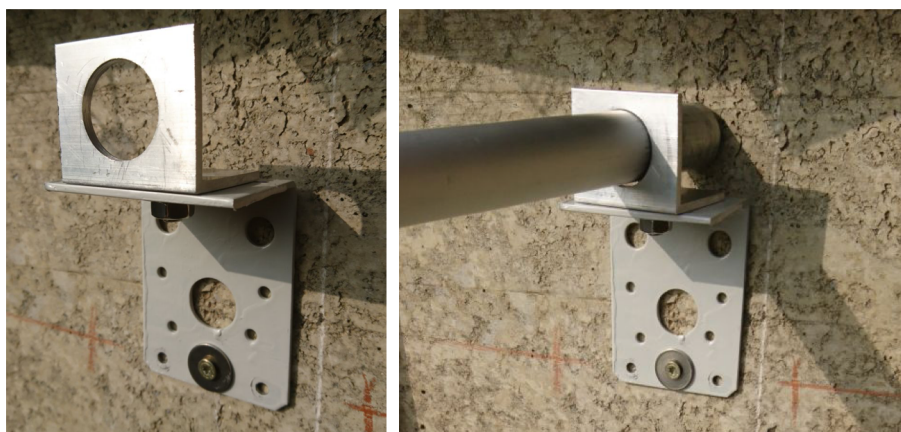


Fig. 3.5: Sostegni laterali a Z sul muro (sostegno sinistro).



Fig. 3.6: Sostegno intermedio sul palo centrale: il correttore di angolazione in alto a sinistra, il cuscinetto in alto a destra.



Fig. 3.7: Sostegno laterale sul palo in legno (sostegno destro).

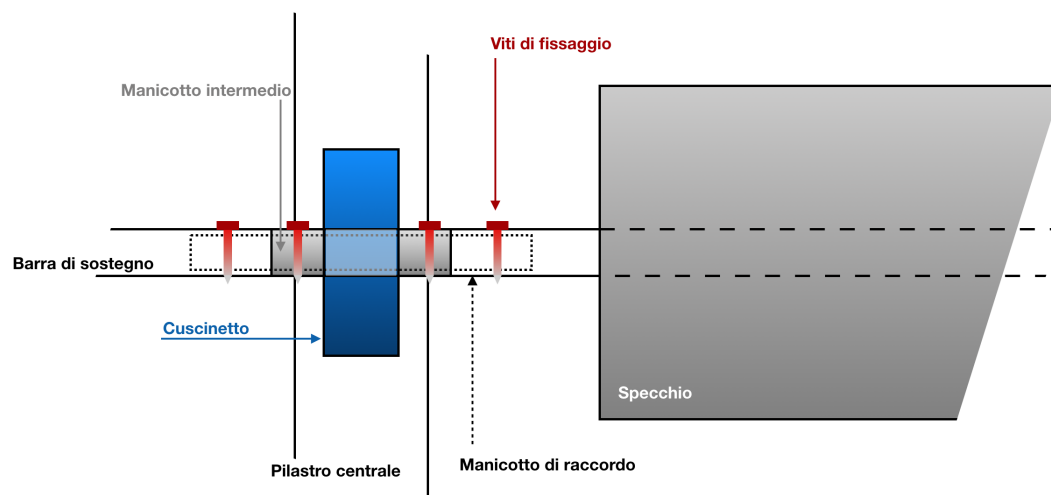


Fig. 3.8: Schema che illustra la struttura della sbarra centrale suddivisa.

Per poter utilizzare i cuscinetti come punto d'appoggio intermedio abbiamo dovuto frammentare le sbarre lunghe 3,25 m. La sbarra è stata suddivisa in tre parti, due lunghe circa 1,50 m che sostengono gli specchi, e una centrale di circa 0,25 m che passa all'interno del cuscinetto. Questa modifica è stata apportata perché il diametro del cuscinetto era identico al diametro della sbarra, di conseguenza sarebbe stato necessario levigare sul tornio l'intero segmento per poterlo infilare nel cuscinetto. In questo modo abbiamo dovuto levigare solamente il frammento lungo 0,25 m. Questa modifica si è tuttavia rivelata utile poiché ha reso più semplice lo smontaggio degli specchi. Per collegare tra loro i tre elementi di cui sono composte le sbarre, sono stati posati dei manicotti di raccordo, infilati nell'anima. L'unione tra sbarre e i manicotti è assicurata da viti di fissaggio. La figura 3.8 illustra la situazione.

3.3 Impianto elettronico e sensore



Fig. 3.9: Foto del sensore di luce; al centro la foto che illustra il collegamento tra l'asta verticale, i profili in alluminio, gli ingranaggi e il sensore.



Fig. 3.10: Collegamento tra il centro di rotazione degli specchi e l'asta del motore per il movimento degli specchi.

Il sensore di luce a una dimensione è stato installato su un elemento a L in alluminio fissati sul pilastro centrale, sopra la terza coppia di specchi (figura 3.9). Per collegare il sensore all'asta che collega i tre specchi (figura 3.10), abbiamo utilizzato un secondo elemento in alluminio a sezione quadrata, due profili a L, un "rod end" e due ingranaggi.

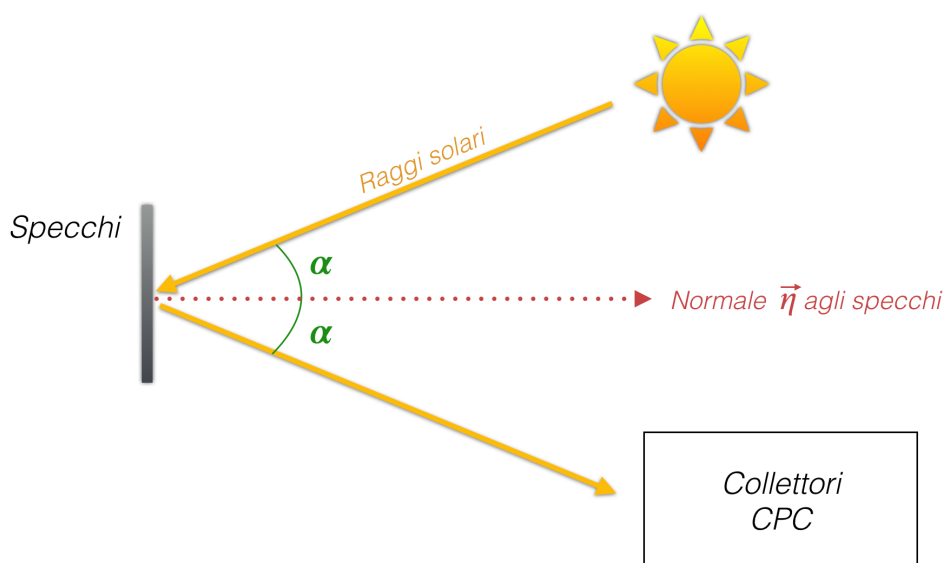


Fig. 3.11: Schema che espone il concetto base per la riflessione.

Innanzitutto l'estremità posteriore del profilato a sezione quadrata è stata collegata all'asta tramite un profilo a L in acciaio inossidabile, sul quale è stato poi attaccato il rod end, che collega l'asta al sensore. Sull'altra estremità sono stati fatti due buchi per collocare i due ingranaggi. L'ingranaggio all'estremità si differenzia dal primo poiché è fisso e segue il movimento dell'asta. L'altro

ingranaggio è invece attaccato ad un altro profilo a L su cui è posto il sensore. Il funzionamento è semplice: il motore muove l'asta in acciaio alla quale sono collegati il rod end del sensore e quelli degli specchi: questo fa muovere verticalmente l'elemento a sezione quadrata. Automaticamente il movimento viene trasmesso al sensore grazie agli ingranaggi. Gli ingranaggi sono la parte fondamentale del movimento automatico degli specchi in funzione della posizione del sole. Dal momento che il nostro scopo è quello di riflettere la luce del Sole sui collettori termici, il movimento angolare degli specchi deve essere la metà di quello del sensore e, siccome la riflessione avviene quando l'angolo di incidenza è lo stesso dell'angolo di riflessione, la normale allo specchio deve sempre coincidere con la bisettrice dell'angolo totale tra raggi incidenti e raggi riflessi (figura 3.11).

Il sensore è collegato alla centralina elettronica, che è stata posta sotto la prima fila di specchi all'interno di una scatoletta fissata sul pilastro centrale in modo da proteggerla dall'acqua, mentre il motore è stato installato dietro al palo centrale, approssimativamente allo stesso livello dell'elettronica. Il motore è stato collegato alla sbarra di collegamento con un golfare cavallotto in acciaio. Si tratta di un motore con movimento unidimensionale che permette l'allungamento e l'accorciamento di un perno. Per evitare che forzi, andando oltre le proprie estensioni massime e minime, sono stati inclusi dei limit switch magnetici (figura 3.12), placchette che delimitano tramite i due fine corsa il movimento desiderato: appena entrano in contatto mandano un segnale all'elettronica per bloccare il motore ed evitare che si bruci.



Fig. 3.12: L'elettronica (sinistra) e il motore (destra).

Osservazioni e risultati



Fig. 4.1: Primo test dell'impianto (23.01.2018).



Fig. 4.2: Secondo test dell'impianto (04.02.2018).

Questi sono dei fermo-immagine presi dai timelapse che sono stati fatti in modo da verificare il funzionamento dell'impianto durante la giornata. Come è possibile vedere nelle prime due immagini della figura 4.1, inizialmente la riflessione cadeva in modo abbastanza preciso sui collettori, ma con il passare del tempo questa tendeva a spostarsi verso l'alto, fuoriuscendo completamente dall'area desiderata verso il finale. Abbiamo identificato le possibili ragioni di questo problema e le abbiamo risolte. Il primo passo è stato quello di spostare l'asta che collega gli specchi e il sensore in modo che il motore rimanesse in una posizione più centrale. Il secondo è stato quello di modificare la parte meccanica del sensore, eliminando dei problemi legati alla posizione degli ingranaggi. In seguito a tutte queste modifiche abbiamo dovuto adattare nuovamente l'inclinazione degli specchi. Le correzioni apportate hanno inciso positivamente sull'impianto, giacché nel timelapse successivo i problemi riscontrati precedentemente non si sono più ripresenti (figura 4.2), infatti le riflessioni cadevano sempre sui collettori dall'inizio della giornata fino alle ultime ore di esposizione al sole, raggiungendo così l'obiettivo di questo lavoro.

Per mancanza di tempo finale le misurazioni quantitative legate alla produzione di acqua calda sanitaria in più non sono state effettuate.



Fig. 4.3: Impianto finito.



Fig. 4.4: Impianto finito.

Conclusioni e ringraziamenti

Sin da quando abbiamo iniziato a fare questo lavoro di maturità, i nostri obiettivi erano quelli di creare un impianto ben funzionante che soddisfacesse i requisiti richiesti. L'impianto doveva essere facile da montare e smontare, ma soprattutto doveva essere meccanizzato unidimensionalmente per cercare di ottenere una resa migliore rispetto all'impianto del lavoro precedente. Sebbene non siamo riusciti a concluderlo fino a misurarne dei dati per valutare la bontà del nostro lavoro e l'effettivo aumento della resa, ci riteniamo soddisfatti del lavoro fatto dal momento che il sistema funziona.

Giunti alla fine del nostro lavoro, vorremmo ringraziare tutte le persone che hanno reso possibile la realizzazione del nostro progetto. Vorremmo ringraziare prima di tutto il Professor Nicolas Cretton per averci dato l'opportunità di partecipare a questo progetto e di realizzare l'impianto. Vorremmo ringraziarlo anche per il suo appoggio e la sua disponibilità durante tutto il periodo della progettazione e della costruzione dell'impianto. Vorremmo anche ringraziare Fabiano Mattei per averci seguito ed aiutato durante la prima parte di questo progetto.

Fonti

Referenze

- [1] Destefani, Populov, *LAM 2014: Specchi piani verticali semimobili per collettori solari CPC*, (01.02.2018)
http://www.nicolascretton.ch/LM/LAM_Riccardo_Dimitri_2015.pdf/
- [2] Informazione ambiente, *Surriscaldamento Globale*, (31.11.2017)
<https://www.informazioneambiente.it/surriscaldamento-globale/>
- [3] Wikipedia, *Riscaldamento globale*, (22.11.2017)
https://it.wikipedia.org/wiki/Riscaldamento_globale#Cause/
- [4] Focus, *Cresce la produzione di energia elettrica, Cause*, (22.11.2017)
<https://www.focus.it/scienza/energia/cresce-la-produzione-di-energia-elettrica-petrolio-carbone-gas-e-rinnovabili-nel-2015/>
- [5] Albanesi.it, *Energia fotovoltaica*, (22.11.2017)
https://www.albanesi.it/inchieste/energia_fotovoltaica.htm/
- [6] Solar Quotes, *Solar battery storage comparison table*, (12.01.2018)
<https://www.solarquotes.com.au/battery-storage/comparison-table/>
- [7] Andrea Bortolozzi, *Le energie rinnovabili*, Hoepli, Milano, 2006
- [8] Wikipedia, *Glicole propilenico*, (28.11.2017)
https://it.wikipedia.org/wiki/Glicole_propilenico/
- [9] Wikipedia, *Pannello solare termico*, (22.11.2017)
https://it.wikipedia.org/wiki/Pannello_solare_termico/
- [10] Nextville, *Solare Termico, Sistemi a circolazione forzata*, (28.12.2017)
http://www.nextville.it/Tipologie_impiantistiche/693/Sistemi_a_circolazione_forzata/
- [11] Wikipedia (en), *Solar thermal energy*, (29.12.2017)
https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_thermal_energy/

- [12] Treccani, *Eutettico*, (02.01.2018)
<http://www.treccani.it/enciclopedia/eutettico/>
- [13] Tesla, *Powerwall*, (05.02.2018)
https://www.tesla.com/it_CH/powerwall/
- [14] Wikipedia, *Solar-powered Stirling engine*, (29.12.2017)
https://en.wikipedia.org/wiki/Solar-powered_Stirling_engine/
- [15] Wikipedia, *Impianto solare termico*, (29.12.2017)
https://it.wikipedia.org/wiki/Impianto_solare_termodinamico/
- [16] Wikipedia, *Polietilene tereftalato*, (19.10.2017)
https://it.wikipedia.org/wiki/Polietilene_tereftalato/
- [17] Treccani, *Cavallotto*, (24.11.2017)
<http://www.treccani.it/vocabolario/cavallotto/>
- [18] Wikipedia, *Kilowatt picco*, (02.01.2018)
https://it.wikipedia.org/wiki/Kilowatt_picco/

Crediti per le immagini

- Copertina: Disegno nostro.
- Fig 1.1 (a): <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>
- Fig 1.1 (b): <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
- Fig 1.2: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=fr&name=fr_125976193.pdf
- Fig 2.1: <http://biblus.acca.it/wp-content/uploads/2017/04/Grid-connected-e-stand-aloneFotovoltaico-1.jpg>
- Fig 2.2: <https://www.demshop.it/image/data/PANNELLI%20SOLARI/schema-a-circolazione-naturale.png>
- Fig 2.3: http://www.helionica.com/Bilder/solare_termico_quanto_costa_gas.jpg
- Fig 2.4: Andrea Bartolozzi, 2005, Le energie rinnovabili, Hoepli, Milano (p.160, figura 5.3).
- Fig 2.5: <http://helioscsp.com/wp-content/uploads/2015/10/Acciona-termosolar1.jpg>
- Fig 2.6: <http://www.cspfsolar.com/wp/wp-content/uploads/2014/07/pilota-csp-noto-3.jpg>
- Fig 3.1: http://www.nicolascrétton.ch/LM/LAM_Riccardo_Dimitri_2015.pdf
- Fig 3.2: Foto nostra.
- Fig 3.3: Disegni nostri.
- Fig 3.4: Foto nostre.
- Fig 3.5: Foto nostre.
- Fig 3.5: Foto nostre, <http://www.kentso.fi/pictures/ucp206ina.jpg>
- Fig 3.7: Foto nostra.
- Fig 3.8: Schema nostro.
- Fig 3.9: Foto nostra.
- Fig 3.10: Schema nostro.
- Fig 3.11: Foto nostre.
- Fig 3.12: Foto nostre.
- Fig 4.1: Foto nostre.
- Fig 4.2: Foto nostre.
- Fig 4.3: Foto nostra.
- Fig 4.4: Foto nostra.