

Progettazione e costruzione di specchi piani mobili per impianto termico solare

Giacomo Burani, Nicholas Gianotti, Arthur Jaques

*Lavoro di maturità in fisica, anno 2017-2018, sotto la supervisione del
prof. Nicolas Cretton*

Liceo Lugano 2



INDICE:

1	Introduzione	3
2	Estratto	4
3	Didascalia.....	5
4	Energie rinnovabili	6
	4.1. Collettori solari	
	4.2. Eliostati	
	4.3. Applicazioni	
5	Progetto e obiettivi	10
6	Costruzione	13
	6.1. Specchi	
	6.2. Struttura e collegamenti meccanici	
	6.3. Motori	
	6.4. Sensori di luce	
	6.5. Elettronica	
7	Misurazioni e resa	23
8	Difficoltà	24
9	Conclusioni	26
10	Fonti.....	27
	10.1. Spunti	
	10.2. Sitografia	
	10.3. Bibliografia	
	10.4. Fonti immagini	

1 INTRODUZIONE

Nell'ultimo biennio del percorso liceale, gli allievi sono tenuti a scegliere un progetto da presentare alla fine dell'anno assieme agli esami di maturità, chiamato lavoro di maturità. Fra le varie possibilità presentate dai diversi professori era presente quella del prof. Cretton, il quale ci proponeva un progetto di ingegneria meccanica orientato verso la pratica. Abbiamo scelto questo lavoro di maturità, in quanto unisce temi che ci appassionano quali energie rinnovabili, efficienza energetica, tecnologia; inoltre in esso convergono materie che ci piacciono e che intendiamo approfondire, ossia fisica, matematica e ingegneria.

2 ESTRATTO

Il nostro progetto prevede la realizzazione di un impianto motorizzato di specchi che hanno lo scopo di riflettere i raggi solari su un impianto di pannelli termici, aumentandone la resa. Questi specchi sfruttano dei sensori di luce per convogliare la luce sempre nello stesso punto (seguendo sempre la stessa direttrice). La maggiore difficoltà incontrata consiste nel fornire agli specchi due assi di rotazione indipendenti, in modo che questi possano ruotare nelle due direzioni senza che un movimento intralci l'altro: gran parte del tempo impiegato per la progettazione è stato dedicato a risolvere questo problema nel modo più economico possibile, in termini di tempo, peso, spazio e prezzo.

Il lavoro è stato suddiviso in una parte teorica di progettazione, una parte pratica di costruzione dei pezzi in officina e "lavoro sul campo", una fase di test per osservare la precisione dell'impianto (e operare in caso di imprecisione i dovuti aggiustamenti) e valutare l'efficienza dell'impianto, e una parte finale di scrittura.

3 DIDASCALIA

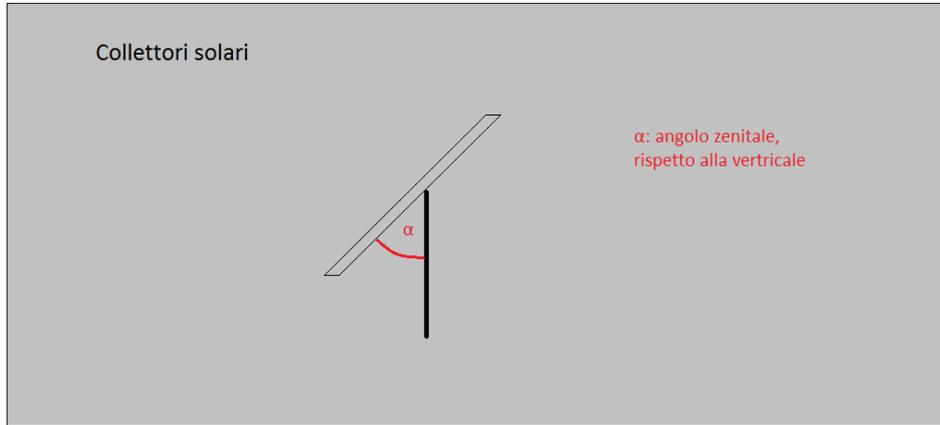


Figura 1a: definizione dell'angolo zenitale, vista dal lato, sullo sfondo i collettori solari.

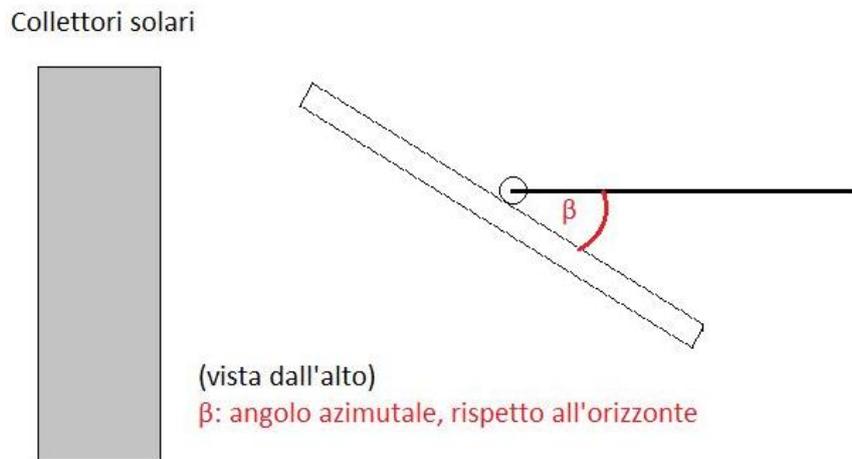


Figura 1b: definizione dell'angolo azimutale, vista dall'alto, sul lato i collettori solari.

4 ENERGIE RINNOVABILI

Negli ultimi decenni si parla sempre di più delle energie rinnovabili, le quali sono al momento la soluzione più sostenibile da un punto di vista ecologico e anche economico, poiché il continuo progresso tecnologico ha reso e continua a rendere i metodi che sfruttano risorse rinnovabili come acqua, vento, Sole, biogas, etc. sempre più efficienti ed economici.

Le energie rinnovabili stanno lentamente sostituendo le fonti di energia fossile e nucleare che, fino ad ora, sono state i metodi di approvvigionamento energetico più utilizzati in tutto il mondo.

Il lento declino dell'energia fossile è causato dalla sua scarsa ecosostenibilità, in quanto il petrolio impiega milioni di anni per rigenerarsi e rilascia grandi quantità di CO₂ nell'atmosfera.

Anche l'energia nucleare ha un pesante impatto ambientale, sia per quanto riguarda la difficoltà nell'estrarre gli elementi radioattivi, sia per l'impossibilità di smaltire le scorie radioattive. Questa fonte comporta inoltre un alto rischio per la popolazione e l'ambiente in caso d'incidenti imprevedibili, come quelli avvenuti a Černobyl' (nel 1986) e Fukushima (nel 2011).

Oggi siamo a conoscenza di molti metodi per produrre energia pulita: fotovoltaico, eolico, idroelettrico, solare termico e biogas sono i principali metodi utilizzati. I privati utilizzano per lo più il fotovoltaico perché i pannelli possono essere comodamente collocati sul tetto della propria abitazione ed i costi degli impianti non sono spropositati. Essi convertono la radiazione solare in energia elettrica, che può essere utilizzata nel privato per illuminare, per alimentare gli elettrodomestici o riscaldare alimentando una pompa di calore, oppure può essere venduta a società elettriche. Un altro metodo utilizzato dai privati è lo sfruttamento dell'energia termica presente nella radiazione solare, che viene poi utilizzata per scaldare la casa o l'acqua sanitaria. Per quanto riguarda l'eolico invece, viene principalmente sfruttato da società elettriche o dallo stato, in quanto un privato può avere in giardino o sul tetto solo piccole pale eoliche, che fanno rumore e i cui prezzi di manutenzione sono piuttosto elevati. Lo stesso vale per l'idroelettrico, mentre ci sono alcune grandi fattorie molto all'avanguardia che sfruttano il biogas.

4.1 COLLETTORI SOLARI

I collettori solari, comunemente noti come pannelli solari termici, sono dei dispositivi che assorbono le radiazioni solari in energia termica attraverso il riscaldamento di un fluido passante all'interno di un tubo trasparente, solitamente di vetro. Nel nostro caso si tratta di tubi sottovuoto, ciò consente una resa migliore in condizioni di scarso irraggiamento e di basse temperature, che, in inverno, prevalgono alle nostre latitudini. I collettori si compongono di più parti, una delle quali è un antigelo, che mette in relazione il fluido riscaldato all'interno dei tubi e l'acqua della casa utilizzata per il riscaldamento o per l'acqua calda sanitaria.

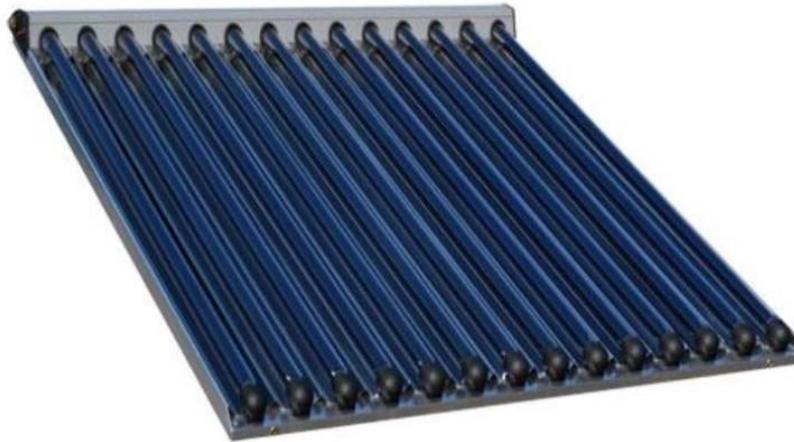


Figura 2: collettori solari termici, si può ottenere acqua calda per uso sanitario e di riscaldamento.

4.2 ELIOSTATI

Un eliostato è un insieme di uno o più specchi che, solitamente controllati da un mini processore, riflettono la luce ricevuta dal Sole sempre nello stesso punto. Questo va distinto dai *sun tracker*, dispositivi programmati per seguire il movimento apparente (in quanto dato in realtà dalla rotazione terrestre) del Sole nel cielo, perché, mentre i *sun tracker* si muovono alla velocità angolare del Sole, un eliostato ruota ad una dimezzata.

Per controllare il movimento dei motori che aggiustano le inclinazioni di un eliostato, si può optare per due soluzioni: utilizzare degli appositi sensori di luce o

programmare il movimento tramite un piccolo computer che calcoli il moto apparente del Sole nel cielo. La seconda soluzione è di gran lunga la più usata per impianti su larga scala, sebbene la venga anche utilizzata per piccoli progetti come il nostro.

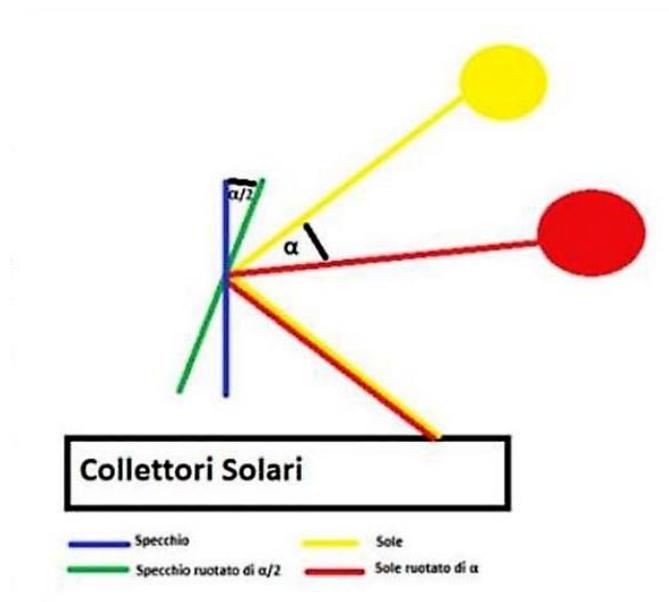


Figura 3: Illustrazione di come la velocità angolare di un eliostato debba essere la metà della velocità angolare del Sole. La linea blu rappresenta la posizione iniziale dello specchio, quella verde la posizione dello specchio dopo aver ruotato di $\alpha/2$. Il pallino giallo è il Sole, il pallino rosso è il Sole dopo un certo lasso di tempo, ruotato di α . Le linee rossa e gialla rappresentano la direzione dell'irradiazione solare e la conseguente riflessione.

4.3 APPLICAZIONI



Figura 4: Impianto Noor, a Ouarzazate, in Marocco. Si tratta di gronde paraboliche.

Un esempio di applicazione dei collettori solari su grande scala è l'impianto Noor, a Ouarzazate nella parte marocchina del deserto del Sahara, particolarmente adatto allo scopo in quanto molto esposto all'irraggiamento solare. L'impianto sarà ultimato nel 2018 e avrà una potenza massima di 580 Megawatt, sufficiente a soddisfare il fabbisogno energetico di un milione di abitazioni.

Una parte dell'impianto è costituita da specchi parabolici (o gronde paraboliche) che riflettono la luce solare su molti diversi collettori solari (vedi figura 5a). Un'altra parte dell'impianto sfrutta invece un sistema più moderno: tutti gli specchi puntano verso una torre che funge da unico grande pannello solare (vedi figura 5b).



Figura 5a: Noor II, a Ouarzazate in Marocco. Si tratta di gronde paraboliche



Figura 5b: Noor III, a Ouarzazate, in Marocco. Si tratta di tanti specchi che convogliano la luce in un unico punto.

5 PROGETTO E OBIETTIVI

Come premesso (vedi “Estratto”), il nostro lavoro consiste nel rendere mobili una serie di 7 specchi, posati sul terreno in fila parallelamente a una serie di pannelli solari, in modo che la totalità della luce riflessa dagli specchi arrivi ai collettori solari posti di fianco. Questi specchi sono stati collegati fra loro da due sbarre orizzontali, che li mantengono costantemente rivolti tutti nella stessa direzione. Le due sbarre, una posta lateralmente gli specchi e l'altra sul loro lato inferiore, vengono mosse da due motori e permettono ad ogni specchio di riflettere sempre nella stessa zona (che noi, ovviamente, abbiamo scelto all'interno dell'area ricoperta dai collettori solari). Il risultato ottenuto non è un impianto eliostatico nel senso stretto del termine, in quanto gli specchi non riflettono tutti verso la stessa area, ma ciascuno verso una sua area specifica; si tratta piuttosto di una serie di eliostati.



Figura 6: foto dell'impianto ultimato. Si notino le riflessioni degli specchi sui pannelli solari termici.

Il nostro impianto, sebbene progettato per una situazione ben specifica (dettagliata in seguito), potrebbe essere in teoria utilizzato anche in altri luoghi: infatti, la distanza tra i singoli specchi non è fissa, e la direzione di riflessione può essere cambiata a piacimento: dipende solamente dalla direzione verso cui i sensori sono rivolti. Gli angoli massimi e minimi di inclinazione restano però fissi.

Gli obiettivi con cui siamo partiti erano i seguenti: la riflessione doveva restare sempre all'interno della superficie ricoperta dai collettori, per il periodo dell'anno che ci interessava; utilizzare solamente due motori, mettendo in serie gli specchi, in modo da ridurre considerevolmente i costi (se avessimo deciso di fare 7 eliostati indipendenti, ce ne sarebbero serviti 14, 2 per specchio); affidarci a dei sensori per controllare i motori.

Per dare un'idea del contesto specifico per cui il nostro impianto è stato progettato, di seguito elenchiamo alcuni dati sul luogo e il periodo dell'anno in cui esso viene messo in funzione, e le condizioni iniziali che tali dati implicano.

La struttura si trova Gaggio presso l'abitazione privata del professor Cretton. La casa si trova a ovest rispetto ai collettori solari e insieme ad altri edifici e alberi impediscono al Sole di illuminare i pannelli dopo un certo orario (che varia a seconda

del mese). I pannelli sono rivolti verso est, coprono un'area di circa 9 metri quadri e sono quasi perpendicolari al terreno (circa 75°). Ai piedi dei pannelli solari e ad est rispetto agli stessi, vi è un corridoio largo circa 190 cm in cui abbiamo posizionato gli specchi, i quali nella posizione di partenza sono rivolti verso sud. Il nostro impianto è risultato alla fine di gran lunga più preciso di quanto fosse richiesto, il che lo renderebbe adatto a condizioni di utilizzo anche più rigide (area dei pannelli meno estesa, maggiore distanza tra specchi e pannelli).

L'impianto di specchi dovrà essere in funzione solamente da novembre a marzo, che sono i mesi in cui serve energia termica per riscaldare la casa. Al di fuori di questo intervallo temporale l'impianto verrà smontato. Questa richiesta ci ha portati a sviluppare una struttura facilmente smontabile e ricomponibile (riteniamo che una mezza giornata di lavoro sia più che sufficiente) e leggera.

Grazie ad un grafico che mostra la posizione del Sole durante i mesi in cui il nostro impianto dovrà funzionare, abbiamo calcolato gli angoli azimutali e zenitali che gli specchi devono essere in grado di coprire.

Estensione zenitale = 25° (attenzione: questo non è il massimo grado di inclinazione, ma la differenza tra la posizione più inclinata e quella meno inclinata. Essendo stata scelta una riflessione direzionata leggermente verso l'alto, l'angolo di massima inclinazione degli specchi è maggiore di 25 gradi).

Estensione azimutale = 50° (non ricavabile da nessun grafico, in quanto notevolmente

ristretto dalla presenza di alberi e case che già a partire dalle 15/16 fanno ombra agli specchi). L'estensione zenitale si può calcolare dimezzando l'angolo zenitale massimo indicato nel *Grafico 1*.

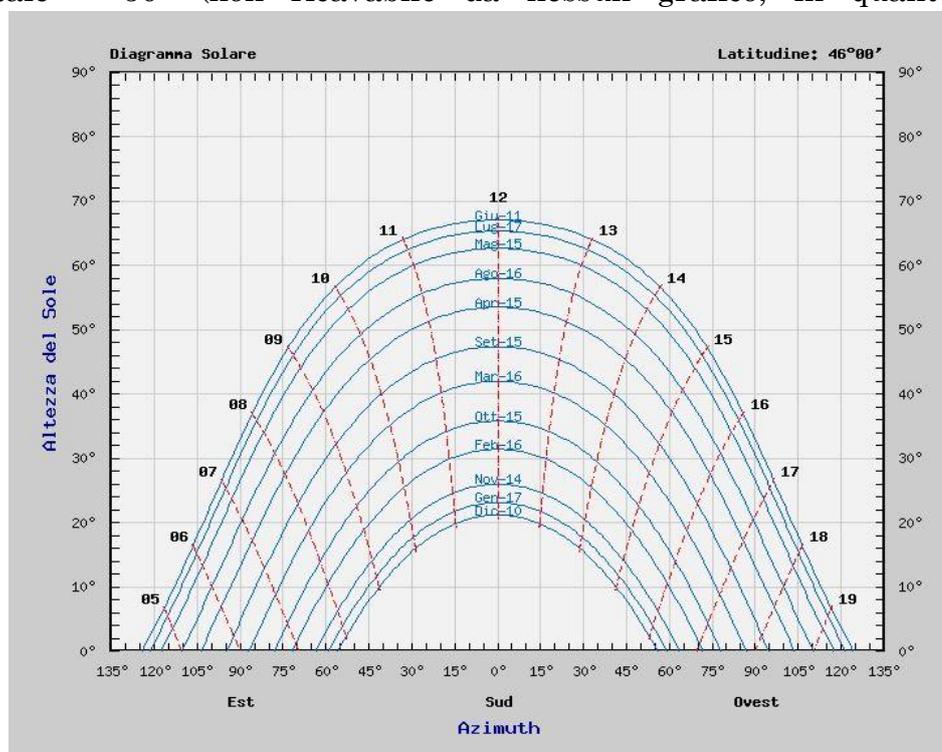


Grafico 1: in verticale viene riportato l'angolo di elevazione del Sole sopra l'orizzonte in funzione dell'angolo azimutale rispetto al Su



Figura 7: i 7 specchi si trovano in primo piano. In secondo piano si vedono i pannelli solari termici.

6 COSTRUZIONE

6.1 SPECCHI



Figura 8: Il retro di due dei sette specchi del nostro impianto, fissati sulla solida struttura metallica sottostante e collegati da una sbarra a sinistra per l'asse azimutale e una sotto per l'asse zenitale (in seguito l'abbiamo spostata a sinistra del centro dello specchio). Sulla destra, si intravedono i pannelli solari temici verso cui gli specchi devono riflettere i raggi solari. Per farsi un'idea dell'orientazione, in questa fotografia i pannelli solari puntano verso est; gli specchi sono girati di circa 45 gradi in senso orario rispetto alla loro posizione iniziale.

Gli specchi che abbiamo utilizzato sono stati costruiti in un lavoro di maturità precedente (Apolloni D. e Tognoli L., 2014) tramite l'applicazione di una pellicola adesiva avente un ottimo albedo su una struttura di alluminio molto leggera e resistente. Poiché i nostri specchi non potevano essere ancorati al terreno bensì dovevano essere mobili, necessitavano di una struttura più forte, in modo da resistere ad intemperie naturali quali pioggia, neve e vento. Perciò abbiamo applicato dei supporti in alluminio sul retro per rendere il tutto più resistente, mantenendo comunque un peso accettabile.

Gli specchi devono poter ruotare su due assi in modo indipendente. Abbiamo ideato delle scatole metalliche (sempre di alluminio, scelto come materiale principale in quanto leggero, relativamente resistente e non ossidabile) all'interno delle quali passano un tubo ed una vite, il primo orizzontalmente mentre la seconda verticalmente. L'attrito tra la scatoletta e il tubo è sufficientemente basso da permettere la rotazione di quest'ultimo all'interno della scatola senza troppa resistenza, grazie alla leggerezza dello specchio; ciò ci ha inoltre permesso di risparmiare sull'acquisto di costosi cuscinetti per la rotazione. La vite verticale è stata attaccata alle fondamenta (vedi prossimo capitolo) e permette alla scatola di girarvi attorno (per coprire l'angolo azimutale), mentre al tubo orizzontale (che

permette di regolare l'angolo zenitale), in grado di girare su se stesso all'interno della scatola, viene attaccato lo specchio.

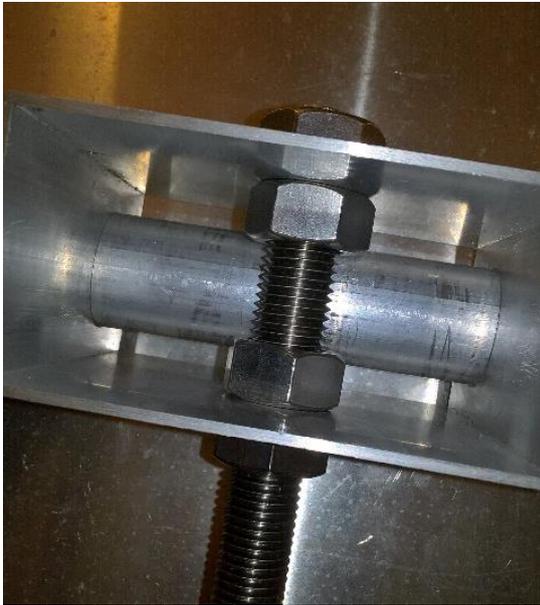


Figura 9b: L'attacco della sbarra cilindrica ai profili quadrati dello specchio che sono stati aggiunti per rinforzare gli specchi.

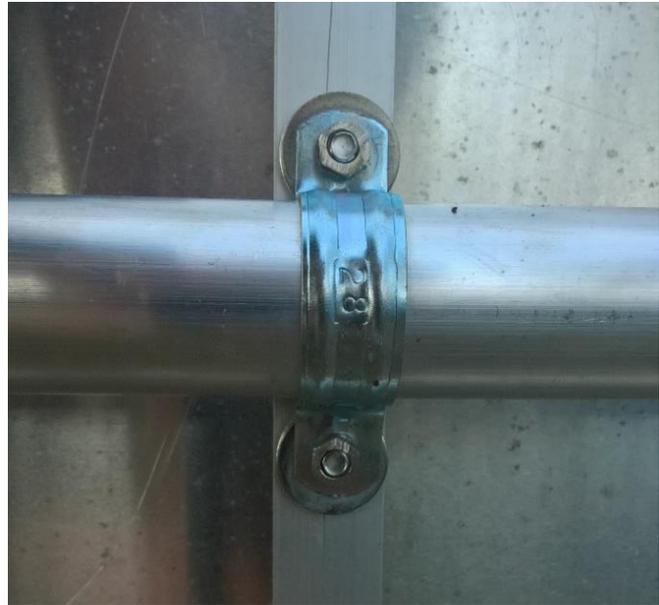


Figura 9a: Dettaglio della scatola metallica: la vite verticale è fissa al suolo, ma la larghezza del buco nella scatola le permette di girarle attorno. Il tubo orizzontale può anch'esso ruotare all'interno della scatola.

Con questo sistema abbiamo creato un movimento primario, la rotazione azimutale (parallela al suolo), sul quale è stato aggiunto un movimento secondario (in quanto montato sul primo, e quindi da esso dipendente), vale a dire l'inclinazione zenitale (che varia a seconda dell'altezza del Sole nel cielo).

6.2 STRUTTURA E COLLEGAMENTI MECCANICI



Figura 10: La "colonna vertebrale"; fissaggio delle vertebre, a destra a un muretto e a sinistra a un paletto ancorato nel terreno.

Il primo passo da compiere era creare delle solide fondamenta per il nostro impianto. Queste si compongono di una colonna vertebrale lunga 6 metri e di 5 vertebre che la tengono ancorata al terreno e danno stabilità a tutta la costruzione. Le vertebre sono fissate da un lato tramite un palo piantato nel terreno e dall'altro a un muretto (vedi *Figura 10*). I profili a L usati per le fondamenta sono stati riciclati dallo smantellamento di un palo ad alta tensione dell'elettricità, questo ha permesso di avere pezzi molto solidi, inossidabili e senza costi. Gli specchi sono stati fissati sul pezzo centrale.

Poiché dotare di due motori ogni singolo specchio era troppo costoso abbiamo collegato tutti gli specchi mediante due sbarre da tre metri messe in serie sia sotto che sul lato degli specchi, attaccate ad essi tramite testine rotanti (*rod ends, Figura 11a*). Le sbarre sono state collegate tra loro mediante delle fascette con due viti (vedi *Figura 11b*).



Figura 11a: Rod end (testa a snodo).



Figura 11b: unione di due sbarre di collegamento.

Poiché l'angolo azimutale da coprire è molto grande (gli specchi sono in grado di coprire circa 60 gradi) avevamo bisogno di sfruttare tutta la mobilità del cuscinetto del rod ends. Per questo motivo abbiamo attaccato il rod ends su un cilindro e poi sul lato dello specchio, in modo da avere un angolo di circa 30 gradi tra lo specchio e il rod ends e sfruttarne al massimo la capacità di inclinazione. Così facendo, quando lo specchio è in posizione iniziale (con la sbarra di collegamento perpendicolare ad esso) la testina è inclinata; quando lo specchio ha girato di 30 gradi, essa è dritta; poi si inclina dall'altra parte. Per quanto riguarda la parte inferiore dello specchio, non abbiamo utilizzato il cilindro perché non serviva un angolo così ampio e perché non c'era molto spazio. Abbiamo invece attaccato la testina a snodo direttamente sul lato inferiore dello specchio lasciando i dadi leggermente allentati in modo da permettere di aumentare leggermente l'angolo d'inclinazione.



Figura 12: Il collegamento, tramite rod end, di specchio e sbarra di collegamento: a sinistra, quello inferiore; a destra, quello laterale, con il cilindro che permette l'inclinazione del rod end.

6.3 MOTORI

I motori che abbiamo utilizzato sono degli attuatori lineari che si distinguono dai motori elettrici convenzionali, in quanto convertono il moto circolare di quest'ultimi in un moto rettilineo. Questa conversione avviene mediante la rotazione di una vite, la quale rotando segue dei filamenti e si sposta linearmente. Abbiamo utilizzato questa tipologia di motore perché avevamo bisogno di un allungamento lineare. Infatti abbiamo posto i motori (*Figure 13 e 14*) in modo tale che tirassero o spingessero le lunghe sbarre che collegano gli specchi in serie (vedi par. 6.2). Il motore che si occupa del movimento zenitale ha una capacità estensiva di soli 20 cm e una capacità di torchio molto più elevata di quanto servirebbe; questo per evitare che il motore sia eccessivamente sotto sforzo e si rovini. Il secondo motore, che regola l'angolo azimutale, necessita invece una capacità di allungamento maggiore poiché deve essere in grado di fare girare gli specchi di 50°, vale a dire la metà dell'angolo

massimo coperto dal Sole tra alba e tramonto nel periodo (ottobre-marzo) e luogo (Gaggio, Bioggio) che ci interessano. Semplici relazioni trigonometriche ci hanno portati a calcolare un allungamento necessario di almeno 50 cm; per essere sicuri, abbiamo acquistato un attuatore che garantisse un allungamento di 60 cm. In questo caso era richiesta una capacità di torchio minore rispetto all'altro caso, ma per ovvie ragioni in genere vengono prodotti motori in cui maggiore è l'allungamento, maggiore è la forza che questo può esercitare.

Il motore che si occupa dell'asse zenitale è stato attaccato al primo specchio, sul suo lato superiore, in modo che accorciandosi, inclini lo specchio; questo, inclinandosi, sposta la sbarra di collegamento in avanti trascinando gli altri specchi e inclinandoli. Abbiamo deciso di posizionare il motore sul primo specchio (quello a sud), con lo scopo di tirare la sbarra. Se l'avessimo spinta (anziché tirarla), essa si sarebbe piegata a causa del peso di tutti gli specchi. Tirandola invece il problema non sussiste. Per poter caricare tutto il peso sul primo specchio (siccome è quello che viene tirato) dovevamo essere certi che questo reggesse senza piegarsi; abbiamo perciò rinforzato la sua struttura posteriore con ulteriori profili a L e quadrati.



Figura 13: Il motore che si occupa dell'inclinazione zenitale, si noti il rinforzo verde sulla parte superiore dello specchio.

Il motore che si occupa dell'asse azimutale è stato invece posto in fondo, in modo che fosse più vicino ai sensori e all'intera elettronica. Abbiamo dovuto fissarlo a

un'altezza uguale a quella della sbarra che spinge, perché altrimenti il peso stesso dell'attuatore l'avrebbe tirata verso il basso e inclinato in modo sbagliato gli specchi. Per sopraelevarlo abbiamo semplicemente fissato verticalmente un profilo metallico a una "vertebra" della struttura, al quale il motore è stato attaccato, in modo che potesse ruotare attorno a un asse verticale ma non attorno a uno orizzontale. Questo attuatore, al contrario del primo, spinge la sbarra di collegamento e non uno specchio.



Figura 14: L'attuatore del movimento azimutale. Questo è sopraelevato e può muoversi solo orizzontalmente (in modo parallelo al suolo).

6.4 SENSORI DI LUCE

Per permettere agli specchi di seguire il moto del Sole, dovevamo collegare quest'ultimi a dei sensori di luce che permettessero ai motori di far girare gli specchi. L'utilizzo di un solo sensore che si occupasse di entrambi i movimenti (rotazione e inclinazione) risultava troppo difficile per motivi che chiariremo in seguito. Perciò abbiamo optato per due sensori indipendenti.

Ogni sensore consiste in due pannelli solari montati diametralmente opposti e con la stessa inclinazione. Quando il sensore è perfettamente perpendicolare al Sole, i pannelli ricevono la stessa quantità di luce. Nel momento in cui il Sole si muove, un pannello viene maggiormente illuminato rispetto all'altro. Perciò con l'ausilio dei motori si provvede a riassetare il sensore in modo che ritorni perpendicolare al Sole.

Analizzando bene una simulazione di movimento, ci siamo accorti che per far sì che gli specchi convogliassero la luce sempre nello stesso punto, per ogni angolo α compiuto dallo specchio, il sensore avrebbe dovuto ruotare di 2α (vedi *figura 3*). Era chiaro che i sensori non potessero essere fissati sugli specchi, per questo motivo abbiamo pensato di mettere il sensore su una scatola di alluminio simile a quella usata per gli specchi. L'abbiamo collegata agli specchi in modo che facesse lo stesso movimento azimutale e, mediante un sistema d'ingranaggi (una rotella dentata che gira attorno a un'altra), abbiamo permesso di raddoppiare l'angolo di movimento del sensore rispetto a quello degli specchi.



Figura 15: Il sensore del movimento azimutale (in nero, visto da sopra), montato sul sistema di rotelline dentate che raddoppia il movimento degli specchi. Si noti il meccanismo a rotelline dentate per raddoppiare la velocità angolare.

Il sensore che rilevava la posizione azimutale del Sole ha dato risultati soddisfacenti fin dal primo test. Il sensore incaricato di seguire gli spostamenti del Sole sull'asse zenitale era stato da noi progettato con lo stesso sistema di ingranaggi sulla stessa scatola dell'altro sensore. Non abbiamo tenuto conto però del fatto che la nostra nuova scatola che portava i sensori girava con gli specchi e quindi non permetteva mai al secondo sensore (zenitale) di essere puntato sul Sole. Per questo motivo abbiamo dovuto abbandonare parte del progetto e collocare il sensore in qualche altro posto.

Per ricollocare il sensore zenitale abbiamo notato che i nostri specchi dovevano riflettere la luce in un punto fisso. Perciò abbiamo posizionato il sensore in modo fisso davanti ai pannelli termici in modo che fosse illuminato dalla luce riflessa da uno specchio e non più direttamente dal Sole. In questo modo abbiamo potuto mantenere il sensore in una posizione fissa, regolata da noi in modo che tutta la luce riflessa dagli specchi andasse a finire sui collettori solari. Il sensore così posto infatti segnala eventuali squilibri dati da un'inclinazione sbagliata dello specchio: se quest'ultimo è troppo inclinato, il sensore riceve più luce da sotto e segnala lo squilibrio all'elettronica (che provvede segnalando al motore zenitale di allungarsi), mentre se non lo è abbastanza, la soluzione è l'esatto opposto (l'accorciamento del motore).



Figura 16a e 16b: A sinistra, il sistema sensore+processore acquistato; a destra, il sensore (fisso) che si occupa dell'angolo zenitale. Come si può notare, questo è piazzato molto vicino allo specchio di cui capta la riflessione (per una motivazione di questa decisione, si veda il paragrafo 7).

Perché usare dei sensori?

Per controllare il movimento di un eliostato esistono due diverse soluzioni: l'utilizzo di appositi sensori di luce, che segnalano a un processore elettronico, programmato per attivare i motori in caso di una posizione sbagliata, eventuali errori nell'inclinazione; o l'utilizzo di equazioni matematiche che permettono di calcolare, date longitudine e latitudine, la posizione del Sole ad ogni momento del giorno (e programmare l'elettronica affinché gli specchi si muovano di conseguenza). Le due soluzioni hanno diversi vantaggi e svantaggi: se l'utilizzo di equazioni è più preciso, optare per la soluzione con sensori permette di utilizzare l'eliostato in luoghi diversi senza dover modificare il programma, ed evita errori di calcolo. Il più grande problema dei sensori è il fatto che numerosi imprevisti possono impedirne il corretto funzionamento: l'ombra di un albero che lo copre e falsi i risultati, una fonte di luce diversa dal Sole che modifica la loro illuminazione,... . Per questi motivi e per ragioni economiche la maggior parte degli eliostati in circolazione al giorno d'oggi fanno uso delle equazioni della posizione del Sole (il movimento è quindi pre-programmato).

Il loro impiego implicava una difficoltà maggiore dal punto di vista meccanico (dovevamo trovare il modo di far muovere i sensori al doppio della velocità con cui si muovevano gli specchi, come insegna la fisica ottica); allo stesso tempo però evitavamo di dovere costruire un circuito e programmare un hardware, essendo le nostre conoscenze informatiche piuttosto ridotte.

6.5 ELETTRONICA

Lo scambio di informazioni tra sensori e motori viene gestito da un apparecchio che abbiamo acquistato, il quale è in grado di leggere le informazioni date dal sensore e in base a queste far muovere il motore. La realizzazione da parte nostra di questo apparecchio avrebbe richiesto un approfondimento in campo elettrotecnico, per il circuito, e informatico, per la programmazione, che non avremmo avuto il tempo di fare.

Il sistema di controllo acquistato è stato però modificato per adattarlo alle nostre esigenze. Infatti, tale apparecchio è stato costruito per controllare un *sun tracker*, vale a dire un pannello fotovoltaico che segue il Sole, in modo da ricevere costantemente i raggi solari con un'inclinazione normale (perpendicolare) al piano dello specchio. Il nostro progetto però, come sopra suggerito, prevedeva la realizzazione di un *eliostato*, vale a dire uno specchio (nel nostro caso, una serie di specchi) che rifletta sempre nello stesso punto, e che non è quindi mai orientato completamente verso il Sole. Questo obiettivo ha quindi richiesto un posizionamento dei sensori diverso da quello previsto dai costruttori: invece di essere fissati direttamente sugli specchi, sono staccati da questi ultimi (per i dettagli tecnici, si legga il paragrafo 6.4). Da notare che la nostra esigenza di avere un sensore che si occupi di ogni movimento ha richiesto una piccola manipolazione dei cavi, i quali collegavano i pannelli fotovoltaici, che compongono i sensori, al microprocessore. Il programma informatico non è stato modificato.

Per una foto dell'hardware elettronico, si veda la figura 16 a.

7 MISURAZIONI E RESA

Ci vuole molto tempo per poter fare dei calcoli sulla resa, perché ciò presuppone che l'impianto sia ultimato e funzionante, inoltre è importante avere le condizioni climatiche ideali, ovvero: cielo sereno e buon irraggiamento solare. Il calcolo della resa viene fatto controllando quanto i pannelli solari producono senza il nostro impianto eliostatico e quanto con esso. Per una maggiore precisione sarebbe opportuno calcolare la resa su più misurazioni in modo da ridurre il margine di errore dovuto alle non identiche condizioni climatiche, ma siccome tali misurazioni sono difficili e richiedono precise condizioni metereologiche, ne abbiamo realizzate poche (ottenendo, ovviamente, scarsa sicurezza statistica).

A questo link (che conduce a una cartella condivisa Dropbox) abbiamo pubblicato alcuni time-lapse (video di una lunga durata che mostrano l'evoluzione temporale, in seguito compressi per permetterne la visualizzazione in pochi minuti) in cui si può vedere il lavoro giornaliero dell'impianto:

<https://www.dropbox.com/sh/ljjhl2opvmszhlG/AABc2FkqYqF2UsnHcki-IOLja?dl=0>



Figura 17: L'impianto ultimato: si notino le riflessioni.

8 DIFFICOLTÀ

La maggiore difficoltà è stata la posizione dei sensori e come farli muovere. Inizialmente abbiamo costruito una struttura simile a quella degli specchi e l'abbiamo posizionata in serie dietro di essi. La scatola della nuova struttura era munita di un braccio di 80 cm che usciva lateralmente, parallelamente agli altri specchi ed era collegata ad essi tramite la lunga sbarra laterale (vedi 6.3). In questo modo la scatola poteva ruotare insieme agli specchi. Con l'aggiunta di un sistema di rotelle dentate siamo stati in grado di raddoppiare il movimento degli specchi in modo da mantenere un sensore (azimutale) sempre orientato verso il Sole. Successivamente abbiamo aggiunto un braccio di 25 cm (distanza dal centro alla parte inferiore dello specchio) collegato con la sbarra inferiore (vedi 5.3), in modo che anch'esso compiesse lo stesso movimento (zenitale) degli specchi. Con un altro sistema di rotelle, identico al precedente abbiamo raddoppiato l'angolo degli specchi in modo che il sensore puntasse sempre verso il Sole. Il problema del movimento zenitale è che il secondo sensore, essendo collegato agli specchi per sapere come essi sono orientati, esegue lo stesso identico moto azimutale di questi ultimi. Di conseguenza non sarà mai orientato verso il Sole come noi vorremmo perché, lo scopo degli specchi non è quello di puntare verso il Sole, bensì rifletterne la luce in un punto. Inoltre un altro problema riscontrato riguardante il sensore dell'angolo zenitale, era che non inclinandosi solamente ma anche ruotando, l'angolo che comunicava ai motori risultava sbagliato e, di conseguenza, la riflessione che ne derivava risultava imprecisa. Abbiamo provato ad ovviare a questo problema attaccando il sensore alla sbarra d'alluminio in diverse posizioni e con diverse inclinazioni ma il problema sussisteva.

In seguito abbiamo provato a mettere un sensore fisso davanti ad uno specchio, con un'inclinazione scelta da noi, in modo che ricevesse la riflessione degli specchi (vedi 6.4). Questo metodo ovviava al problema descritto sopra ma ne creava, nella sua versione iniziale, un altro. Verso la fine della giornata, per ragioni a noi oscure (un'ipotesi è la luce diffusa presente al tramonto), il sensore segnala un costante squilibrio: il pannellino solare Nord (quello superiore) riceve più luce di quello Sud. L'elettronica segnala quindi al motore zenitale di accorciarsi, e quest'ultimo lo fa fino al suo massimo: nella versione iniziale del nostro progetto, questo massimo era tale da fare in modo che lo specchio, alla mattina, non riflettesse alcuna luce sul sensore (ma tutto più in alto a causa della sua esagerata inclinazione), che non poteva quindi segnalare correttamente i movimenti da fare. Il problema è stato risolto permettendo al motore di inclinare gli specchi fino a un angolo non troppo ampio (circa 60°), e avvicinando il sensore fisso allo specchio di cui capta la riflessione.

Durante i test è sorto un problema con i motori, dopo pochi giorni un motore ha infatti smesso completamente di funzionare e abbiamo dovuto sostituirlo. La causa del mal funzionamento non è chiara, probabilmente la centralina continuava a dare indicazioni al motore anche se quest'ultimo era al culmine dell'estensione, ciò potrebbe avere danneggiato l'attuatore.

Un altro problema con l'attuatore è sorto a fine ottobre. Verso le 14.45 (ora legale), quindi quando il Sole cominciava ad essere nascosto da degli edifici ad ovest, l'attuatore andava a piegare la sbarra che congiunge gli specchi e che riguarda



l'angolo azimutale. Questo perché ci siamo accorti che nel modo in cui avevamo attaccato i due motori, i movimenti provocati da essi andavano in qualche modo a contrastarsi. Il primo motore (movimento zenitale) spingeva in direzione Nord-Sud, ed era attaccato a sinistra rispetto all'asse di rotazione centrale, e causava un movimento in senso orario. Il secondo motore (angolo zenitale), era invece attaccato a destra dell'asse di rotazione centrale e causava, oltre all'inclinazione, un movimento non voluto in senso antiorario. Il contrasto fra il movimento causato dal primo motore e quello causato dal secondo era la causa della piegatura della sbarra. Questo problema è stato risolto spostando la sbarra inferiore più a sinistra.

Figura 18: Un disastroso imprevisto.

9 CONCLUSIONI

Il principale scopo del lavoro era prettamente pratico, ed è stato pienamente raggiunto: l'impianto si è rivelato relativamente economico, è facile da smontare, e fa ciò che deve fare. Le riflessioni degli specchi sono infatti sempre totalmente all'interno dell'area ricoperta dai pannelli (la precisione degli eliostati è sorprendentemente molto più grande di quanto serva), e la sovrapposizione delle riflessioni dei diversi specchi è minima. Il tutto si dimostra resistente alle condizioni atmosferiche che può dover affrontare: non viene danneggiato né dalla pioggia, né dal vento, né dalla neve, né dal freddo.

Gli imprevisti e i vari problemi che abbiamo dovuto affrontare sono stati di un'entità molto maggiore di quanto avremmo potuto immaginare. È un peccato non essere riusciti a terminare il lavoro pratico ancora prima, cosa che ci avrebbe permesso un maggior numero di misure della resa energetica.

L'unica nota negativa è costituita dal fatto che non siamo riusciti a costruire i sensori e a programmare noi stessi il sistema elettronico. Ci siamo in subito resi conto di essere partiti con obiettivi un po' troppo ambiziosi, e abbiamo scelto di affidarci a un sistema già fatto; con il senno di poi, si è trattato di una decisione lungimirante e di cui non ci pentiamo affatto.

Sebbene il nostro progetto sia circoscritto a una situazione pratico-geografica molto precisa, e sia di conseguenza poco trasferibile in altri ambienti e situazioni, riteniamo di aver avuto alcune idee originali (o, perlomeno, che non abbiamo trovato in nessun altro impianto eliostatico) che potrebbero servire da spunto per progetti simili.

Siamo molto soddisfatti del risultato ottenuto e, malgrado la grande quantità di tempo investita, riteniamo che sia valsa la pena portare a termine il progetto. È stata un'esperienza molto utile da un punto di vista organizzativo, che ci ha permesso di imparare a collaborare e a spartirci il lavoro all'interno del gruppo, in modo da essere il più efficienti possibile.

10 FONTI

10.1 SPUNTI

<http://heliotrack.com/>

10.2 SITOGRAFIA

https://it.wikipedia.org/wiki/Pannello_solare_termico

https://it.wikipedia.org/wiki/Centrale_solare_di_Ouarzazate

<http://edition.cnn.com/2016/02/08/africa/ouarzazate-morocco-solar-plant/index.html>

Solar Nova, pubblicato il 14/07/2014, consultato il 17/10/2017,

<https://www.youtube.com/watch?v=ku57jzX-AgA&t=89s>

10.3 BIBLIOGRAFIA

M. R. Abdelsalam, A. M. Bassiuny, A. A. Amin. *Development of Dual Axis Heliostat and Testing its Effect on Solar Collector*, apparso in *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, volume 2, aprile 2013.

Apolloni D. e Tognola L., *Effetti sulla resa energetica di un collettore lineare di Fresnel applicato a un collettore solare sottovuoto*, lavoro di maturità realizzato nel 2014, http://www.nicolascretton.ch/LM/LAM_Leonardo_Davide_2015.pdf

Johnson D., *Heliostat Lighting*, pubblicato il 14/07/2016, consultato il 30/06/2017, <http://www.redrok.com/heliolighting.htm>

Timothy Kiptui Kangogo, Karanja S. Kabini (2015). *A Review of Heliostat Technologies used in Concentrated Solar Power Plants*.

Kosuke Aiuchi, Kazuo Yoshida, Masaki Onozaki, Yukuo Katayama, Minoru Nakamura, Katsushige Nakamura (2005). *Sensor-controlled heliostat with an equatorial mount*. Disponibile su www.sciencedirect.com. Ultima consultazione: 24.04.2017.

Parke P., *World's largest concentrated solar plant switches on in the Sahara*, per CNN, pubblicato l'8 febbraio 2016, consultato il 15/07/2017.

10.4 FONTI IMMAGINI

Premessa: le immagini qui sotto non menzionate sono foto scattate da noi o immagini da noi create con GeoGebra o con Paint.

Figura 2: www.studiobioenergy.it

Figura 4: www.focus.it

Figura 5a: www.focus.it

Figura 5b: www.helioscsp.com

Figura 11a: www.aliexpress.com

Figura 16a: www.ebay.com

Grafico1: www.solaritaly.enea.it