

PROF. DR. NICOLAS CRETTON

Costruzione di un concentratore solare a forma parabolica a pilotaggio automatico per uso domestico

Lavoro di Maturità

Canonica Roberto 4D & Olivieri Enea 4F

Anno scolastico 2014-2015

Liceo Lugano 2

Sommario

Capitolo 1: Abstract.....	2
Capitolo 2: Introduzione.....	3
2.1 Tecnologie esistenti basate sulla concentrazione solare	5
Capitolo 3: Riflessioni generali sul tema dell'energia	13
Capitolo 4: Arduino	17
4.1 Il linguaggio informatico di Arduino.....	18
4.2 Modifiche apportate al programma.....	18
4.2.1 Il sensore della temperatura	19
Capitolo 5: Costruzione del ricevitore del disco parabolico.....	24
5.1 Il primo ricevitore	24
5.1.1 Problemi legati al primo ricevitore.....	26
5.2 Il nuovo ricevitore	26
5.2.1 La costruzione	28
5.2.2 Il fissaggio	31
5.2.3 Nuove caratteristiche e vantaggi	35
Capitolo 6: Studio del movimento della parabola	36
6.1 Struttura di sostegno della parabola.....	37
6.2 Motore 1.....	44
6.2.1 Movimento della parabola in funzione del motore 1	46
6.3 Motore 2.....	47
6.3.1 Movimento della parabola in funzione del motore 2	48
6.4 Conclusioni sul movimento della parabola	50
Capitolo 7: Conclusioni.....	52
Capitolo 8: Ringraziamenti	54
Capitolo 9: Bibliografia, sitografia e referenze.....	55
9.1 Documenti	55
9.2 Sitografia delle immagini.....	55
9.3 Referenze delle immagini.....	57
9.4 Referenze	59

Capitolo 1: Abstract

Il nostro lavoro di maturità si situa nel contesto delle energie rinnovabili, tema di grande attualità e che suscita in noi profondo interesse. Dalla nostra prospettiva ci appare come un'opportunità; un progetto nel quale vengono a combinarsi e a coesistere diversi ambiti della fisica, permettendoci di acquisire nozioni di carattere generale, ma contemporaneamente di valore fondamentale.

Il nostro progetto, proposto dal professore Nicolas Cretton, è la costruzione di un concentratore solare a forma di antenna parabolica. Questo lavoro era stato cominciato precedentemente come altro lavoro di maturità, ma purtroppo il gruppo non era riuscito a finirlo. Per tale ragione abbiamo deciso di soffermarci su questo progetto.

Dopo l'introduzione, riguardante la nostra scelta del progetto e le conoscenze basilari su concentratori solari e una breve riflessione inerente la produzione di energia elettrica nel nostro continente, inizieremo a descrivere i problemi e le avversità da noi affrontati durante la realizzazione del nostro lavoro.

A febbraio, cioè all'inizio dell'anno dedicato al lavoro di maturità, dal progetto precedente ci è stato fornito tutto il codice per il sistema d'inseguimento e il circuito elettrico sviluppati negli anni passati, allo scopo di trovare ed effettuare migliorie sia per quanto riguarda la parte informatica, sia per la parte elettrica.

La seconda fase consiste nella costruzione del nuovo ricevitore della parabola. In seguito, dopo aver montato la struttura provvisoria, abbiamo provato tutti i meccanismi e osservato i movimenti estremi che la parabola riusciva a compiere.

Il nostro documento termina con le conclusioni, in cui analizziamo gli obiettivi che ci eravamo prefissati, con i ringraziamenti e, infine, con le nostre fonti d'ispirazione per il lavoro.

Capitolo 2: Introduzione

Il nostro progetto consiste nel terminare la costruzione di un concentratore solare a disco parabolico, in inglese "solar dish", ad inseguimento automatico, il quale ha come funzione la concentrazione dei raggi solari diretti sulla parabola in un ricevitore posizionato nel fuoco della parabola allo scopo di ottenere acqua per riscaldamento per uso domestico.

Questo lavoro di maturità è stato proposto dal professor Nicolas Cretton, in quanto non era riuscito a terminarlo alcuni anni fa con altri studenti.¹ Per questa ragione ci è stata offerta la possibilità di concludere il progetto, in quanto accantonare un lavoro inconcluso non è né utile né professionale.

Questo progetto ci ha sin da subito interessato e motivato. Infatti questa scelta ci ha permesso non solo di acquisire conoscenze teoriche, ma anche di svilupparne i concetti in un modello pratico.

Il surriscaldamento climatico terrestre negli ultimi 50 anni si è fatto importante, ed è per questo che negli ultimi decenni abbiamo assistito all'aumento di aziende che si occupano di energie rinnovabili, le quali permettono di rallentare notevolmente questo aumento di temperatura globale dovuto alle emissioni di CO₂.

Un esempio nel nostro cantone è l'azienda svizzera Airlight Energy SA con sede a Biasca (fig. 1 e 2) [1], la quale si sta tuttora ritagliando un ruolo importante nel quadro dell'energia solare e in modo particolare nel settore dei concentratori solari.

Dalla sua fondazione avvenuta nel 2007, sono stati sviluppati vari progetti importanti nel campo dell'energia solare, come per esempio la struttura ad Ait Baha, in Marocco (fig 1). Questo parco solare è stato il primo grande progetto di Airlight Energy SA, una sorta di progetto pilota, e permette di risparmiare 800 tonnellate di CO₂ all'anno, generate dallo stabilimento dell'azienda italiana Italcementi Group, quinta produttrice a livello mondiale di cemento [2].

Inoltre, l'azienda svizzera ha partecipato e parteciperà come espositore a varie conferenze e esposizioni internazionali i cui temi riguardano le energie rinnovabili sostenibili portando esempi e testimonianze di strutture e progetti da lei realizzati.²

¹ Gli studenti che hanno lavorato precedentemente a questo progetto sono Janina Kick, Giada Cassis, Chiara Knecht e Matteo Nicoli e hanno elaborato il lavoro di maturità "Concentratore solare parabolico ad inseguimento automatico". "http://www.nicolascretton.ch/LM/LAM_Knecht_Kick_Cassis_Nicoli.pdf".

² Airlight Energy SA ha partecipato, per esempio, alla 6^a conferenza mondiale per la conversione dell'energia solare tenutasi a Kyoto, The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6), e nel 2016 parteciperà al "World Future Energy Summit (WFES)" ad Abu Dhabi come unica azienda elvetica [1].



Figura 1: Concentratore solare a forma di gronda ad Ait Baha, Marocco. Date le sue enormi dimensioni (215,5 m di lunghezza e una superficie riflettente corrispondente a 2053,3 m²), la struttura è in grado di sviluppare picchi di potenza termica di 1,3 MW. Fonte: [A].

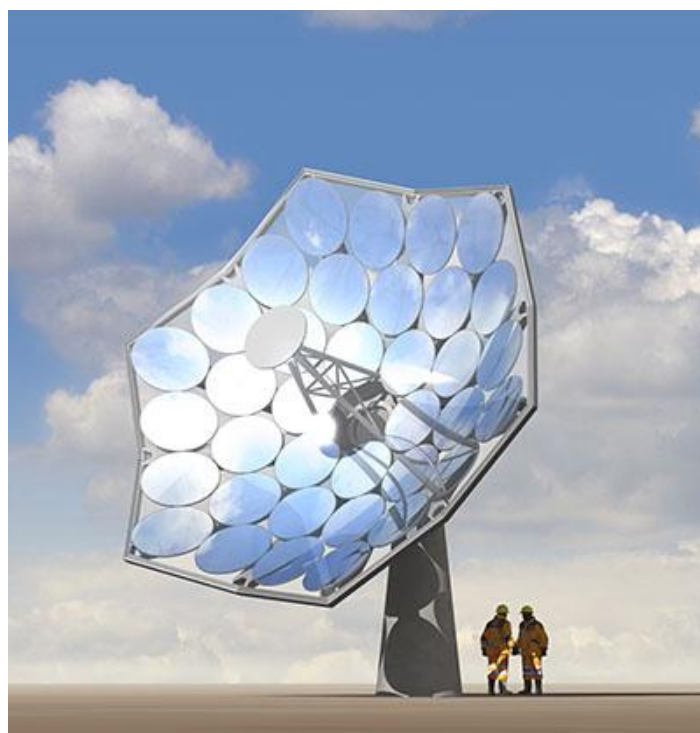


Figura 2: Concentratore fotovoltaico (HCPVT: High Concentration PhotoVoltaic Thermal) simile a un "solar dish", denominato a causa della sua forma "Sunflower", capace di sviluppare una potenza di 12 kW (elettrica) oppure una potenza di 21 kW (termica) attraverso una superficie riflettente pari a 40 m². Fonte: [B], [1].

Il fatto che fosse una tecnica poco usata ci ha portato molto interesse e curiosità. Inoltre, la lettura del lavoro svolto precedentemente dai nostri colleghi e i consigli proposti dal nostro professore ci hanno permesso di inserirci bene nella costruzione del concentratore.

Di conseguenza abbiamo attinto da internet le informazioni inerenti progetti simili,³ ma, soprattutto, abbiamo usato il nostro ingegno per risolvere problemi e difficoltà che nessuno avrebbe immaginato dopo la progettazione del lavoro.

³ Documento preso in considerazione "SOLAR Thermal Power Generation", elaborato dal Dr. K. S. Reddy in collaborazione con l'istituto indiano di tecnologia, dipartimento di ingegneria meccanica, e pubblicato in data 28 aprile 2008. Visualizzabile sul sito internet ["www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890407002440"](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890407002440).

Difatti in svariate occasioni abbiamo costruito i pezzi in base al materiale che avevamo a disposizione in officina, dato che in molte situazioni la componente necessaria non esisteva. Questo lavoro ci ha permesso, didatticamente, di acquisire conoscenze relative alla fase di progettazione e di realizzazione dei pezzi.

2.1 Tecnologie esistenti basate sulla concentrazione solare

Un concentratore solare è una struttura, nel nostro caso a forma di parabola, costruita in modo da raccogliere tutti i raggi che colpiscono la struttura e permettere il successivo concentrazione in un unico punto, che coincide con il fuoco della struttura. Si possono distinguere due tipologie di concentratori solari, CSP (Concentrating Solar Power), ossia concentratori che permettono di convertire direttamente l'energia solare in energia termica, e CPV (Concentrating PhotoVoltaic), strutture che permettono la trasformazione diretta dell'energia solare in energia elettrica mediante l'utilizzo di pannelli fotovoltaici. Il vantaggio della prima tipologia è evidente. Infatti l'energia termica può essere conservata in luoghi e strutture isolate termicamente e successivamente detta energia può essere convertita in energia elettrica, sfruttando cicli termodinamici, come il ciclo di Rankine o di Stirling.⁴

Per esempio, Airlight Energy sfrutta il ciclo di Rankine per produrre energia anche di notte, poiché conserva l'energia termica sovrapprodotta e la conserva in silos isolati termicamente nella sua struttura in Marocco, ad Ait Baha (vedi fig. 1).

Questa costruzione vanta 3 concentratori lineari di 215 m di lunghezza, i quali in un anno dovrebbero produrre circa 2'390 MWh di elettricità, si tratta di una stima basata sui primi mesi di test, in quanto non è ancora passato un anno dall'inaugurazione. Questa energia elettrica soddisferebbero il fabbisogno di circa 400-450 abitazioni svizzere che consumano una media di 7'000 kWh all'anno.⁵

Con questo genere di infrastruttura si riescono a catturare i raggi solari in modo da riuscire a estrarne il calore e l'energia che contengono senza avere troppi sprechi di riflessione. Infatti superfici riflettenti quali, ad esempio il mylar, sono in grado di riflettere fino al 90% dei raggi solari, assorbendo di conseguenza la differenza.

⁴ Per maggiori informazioni sui due cicli :

- Rankine: "<http://www.solartronenergy.com/applications/electricity-organic-rankine-engine-with-solar-concentrator/>". Airlight Energy CSP: "<http://www.airlightenergy.com/new-dimensions-in-trough-technology>".
- Stirling: "<http://www.solartronenergy.com/applications/electricity-stirling-engine-with-solar-concentrator/>". Envirodish: "<http://www.solarthermalpower.it/documenti/2011%2009%2015%20Manutenzione%20%20Stirling%20-%20Armanasco%20-%20Brignoli%20-%20Rossetti%20%20RSE.pdf>".

⁵ Stima fatta partendo dai consumi delle nostre famiglie dello scorso anno.

Attualmente esistono quattro principali tipi di strutture capaci di concentrare l'energia solare, due con una componente parabolica, come vedremo nel punto 1 e 2, e due con degli specchi piatti, rispettivamente al punto 3 e 4. Di seguito illustriamo le principali caratteristiche, i vantaggi e un'applicazione pratica di suddette strutture:

1. **Disco parabolico:** Il disco parabolico (fig. 3)⁶ [3] è il più classico ed efficace dei concentratori, dato che è anche quello che possiede la resa maggiore tra tutti (fig. 8), circa l'80% (greenreport.it, 2014) [4]. Purtroppo è difficile da realizzare, in quanto costruire una struttura a forma di paraboloide non è semplice e può rappresentare una spesa non indifferente. Noi stiamo realizzando un oggetto simile perché abbiamo avuto la fortuna, sia noi, sia il gruppo, che ci ha preceduti, di trovare una parabola satellitaria abbastanza grande di seconda mano in Ticino a un costo relativamente basso. Inoltre, la capacità di muoversi seguendo due assi e quindi di essere in grado di approssimare con maggiore precisione il movimento apparente del sole, permette al concentratore di essere molto performante.



Figura 3: Il generatore EnviroDish realizzato nel 2006 presso la sede della fornace Solare di Odeillo (SPA) è un ottimo esempio di paraboloide solare. Questo impianto, utilizzando il ciclo di Stirling, con i suoi 56 m² di superficie raggiunge una potenza elettrica massima di 9,5 kW. Fonte: [C].

⁶ L'immagine riportata rappresenta un concentratore solare, il quale trasforma direttamente l'energia termica solare in energia elettrica, mediante l'utilizzo di un motore basato sul ciclo di Stirling. Prendendo una radiazione solare pari a 1000 W/m² si può assumere che questo generatore è in grado di sviluppare una potenza termica approssimativa di 56'000 W. Per trovare il rendimento del paraboloide solare abbiamo adoperato questa formula:.

$$P_{elet} = P_{term} * \eta$$

- P_{elet} rappresenta la potenza elettrica che il generatore è in grado di sviluppare.
- P_{term} è il valore della potenza termica raccolta dal disco solare.
- η indica il valore dell'efficienza del generatore solare.

Mettendo in relazione l'efficienza si ottiene $\eta = \frac{P_{elet}}{P_{term}} = \frac{9500}{56000} \cong 0,17 = 17\%$, nonostante il valore sembra basso per essere un ciclo di Stirling, molti parabolidi solare utilizzando questo ciclo termodinamico, definiti "Dish Stirling", raggiungono valori di rendimento attorno al 24% [3].

2. **Collettori parabolici lineari:** I collettori parabolici lineari (fig. 4 e 5) sono la versione semplificata del disco parabolico. Infatti questa struttura, visto che possiede la forma parabolica solo su un asse può solo approssimare l'angolo zenitale del sole. In questo modo i costi e le difficoltà di funzionamento diminuiscono, ma diminuisce anche il rendimento.



Figura 4: Collettore parabolico lineare in costruzione. Dato che questa struttura non segue l'angolo azimutale del sole, il fuoco del collettore è continuamente in movimento, ma questo moto si traduce come una traslazione sulla retta davanti allo specchio parabolico, la quale rappresenta il ricevitore del collettore parabolico. Fonte: [D].



Figura 5: Il concentratore Andasol 1 in fase di costruzione realizzato a Guadix, nella provincia di Granada (SPA) è un impianto costituito da 156 schiere di collettori parabolici lineari, che raggiungono una superficie di 510'120 m² con una potenza di 49,9 MW (fig.4). Fonte: Ecoapplicazioni.it, www.cleanenergyactionproject.com e ener-coop.es. Fonte: [E],[F].

3. **Sistema a torre:** Il sistema a torre (fig. 6) sfrutta il principio del disco parabolico, in quanto possiede idealmente un ricevitore unico e puntiforme, ma differisce nella struttura di riflessione della radiazione solare, la quale non è data da una parabola, bensì da un numero molto elevato di specchi piani denominati "heliostats", in italiano eliostati, poiché inseguono autonomamente il movimento apparente del sole, mediante piccole correzioni del loro puntamento [5].

Questi si muovono su due assi seguendo il movimento apparente del sole e riflettendo tutta la luce in un ricevitore posto su una torre costruita al centro di una circonferenza formata dagli specchi piani.

Assieme al disco parabolico è la tecnologia che permette il miglior rendimento (fig. 8), ma rispetto alla parabola ha un costo minore, dato che gli specchi piani sono molto più comodi da costruire e da pulire.



Figura 6; L'impianto Ivanpah (California) rappresenta magnificamente l'imponenza di questa tecnologia. Grazie ai suoi 14.2 km² e a una potenza di 377 MW netti (392 MW totali) riesce a fornire energia a 140'000 abitazioni. Fonte: [G].

4. **Collettori lineari a lente Fresnel:** Questa struttura (fig. 7) è sicuramente il sistema che comporta una minore spesa economica rispetto agli altri concentratori, ma anche quello che possiede la resa inferiore (fig. 8).

La concentrazione è basata su specchi piani, i quali cercano, di approssimare la forma parabolica dei collettori lineari. Inoltre gli specchi hanno la capacità di roteare seguendo un solo asse e utilizzano lo stesso principio degli specchi piani della torre, ossia piccole correzioni autonome ("heliostats") [5], in modo di mantenere il punto focale sempre nella stessa posizione. Viene ridotta la difficoltà di costruzione, ma di conseguenza la percentuale di concentrazione dei raggi diminuisce di circa il 20-30% rispetto ai collettori parabolici lineari (tab. 1).



Figura 7: L' impianto costruito dalla AUSRA in New South Wales, Australia, è capace di sviluppare una potenza di 9,3 MW grazie una superficie riflettente di 18'500 m² ed è un esempio calzante di collettori lineari a lente Fresnel. Infatti, nell'immagine si può vedere la diversa angolatura degli specchi piani e il ricevitore in alto, simile ai collettori parabolici lineari. Fonte: [H], [I].

Il grafico sottostante permette una visione rapida e precisa dei vari rendimenti dei concentratori solari termici. Si può ben vedere che nessuno di questi sistemi è in grado di raggiungere una resa pari al 100%, cionondimeno i CSP possono essere molto performanti, sviluppando grandi quantità di energia termica.

Efficiency Potential of CSP Systems

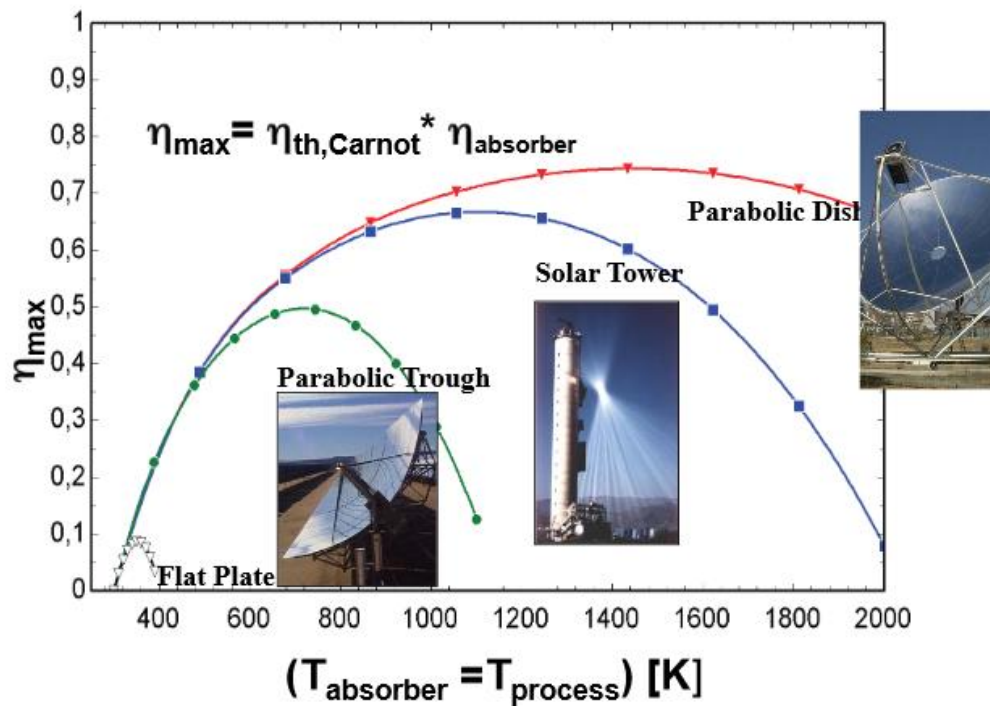


Figura 8: Questa figura estratta dal documento "Parabolic Trough, Linear Fresnel, Power Tower" elaborato dal Dr.-Ing. Robert Pitz-Paal, descrive i rendimenti dei vari sistemi CSP. Fonte [L].

Per riassumere sinteticamente ciò che abbiamo spiegato precedentemente, proponiamo un'immagine schematica e didattica (fig. 9), rappresentante le quattro varianti di concentratori solari con le loro componenti principali, e una tabella (tab. 1) confrontante le varie tecnologie [6].

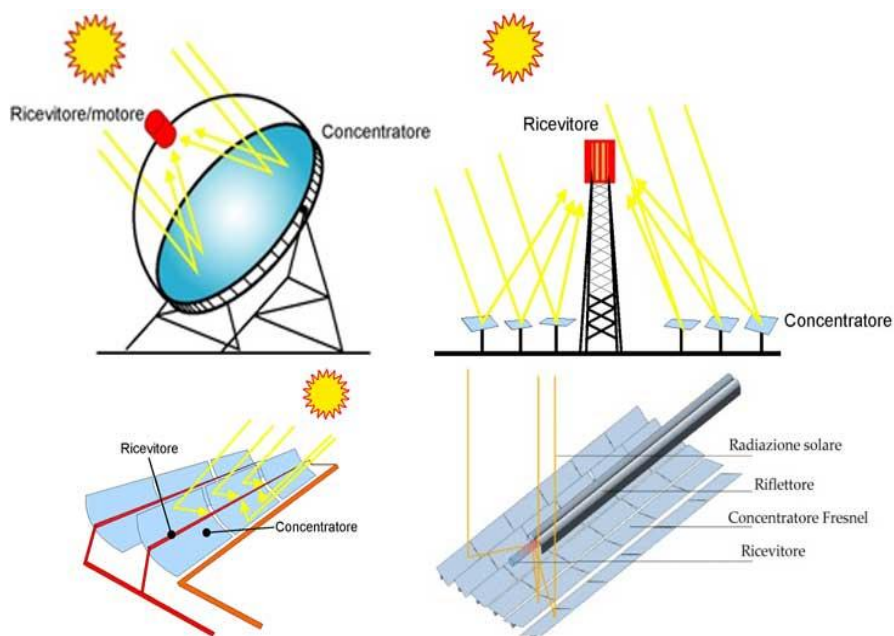


Figura 9: Questa ultima immagine rappresenta i 4 sistemi descritti precedentemente, in maniera molto schematica e didattica. Fonte: [M].

Tecnologia	Punta-mento	Concentrazione	Prestazioni	Costo tenden-ziale
Dischi parabolici	2 assi	Fino a 1000	Elevate	Alto
Torre centrale	2 assi	Fino a 1000	Elevate	Medio
Parabolici lineari	1 asse	Fino a 100	Medie	Medio
Fresnel lineari	1 asse	70 - 80	Basse	Basso

Tabella 1: Confronto tra le diverse tecnologie solari. Fonte: [N].

Capitolo 3: Riflessioni generali sul tema dell'energia

L'energia è fondamentale nel mondo, il sole irradia continuamente il globo sviluppando una potenza termica indispensabile all'ecosistema della Terra (se si ponesse la superficie terrestre perpendicolare ai raggi solari arriverebbero circa 174 milioni di GW totali) [7]. La potenza della radiazione solare è enorme, ma distribuita su una superficie altrettanto grande, per tale ragione è difficile da concentrare. Alle nostre latitudini la potenza solare raggiunge valori attorno a 1'000 Watt/m² [8] della superficie terrestre. Questo valore aumenta sempre di più nell'avvicinarsi all'equatore, al quale il valore tende a raggiungere picchi anche superiori i 1'350 W/m², poiché si raggiunge, durante lo zenit, la perpendicolarità con i raggi solari.⁷

Dopo queste considerazioni di carattere generale sull'energia solare, ci concentriamo brevemente sulla produzione di elettricità dapprima in Europa e in seguito in Svizzera, per vedere quanto viene sfruttata l'energia solare.

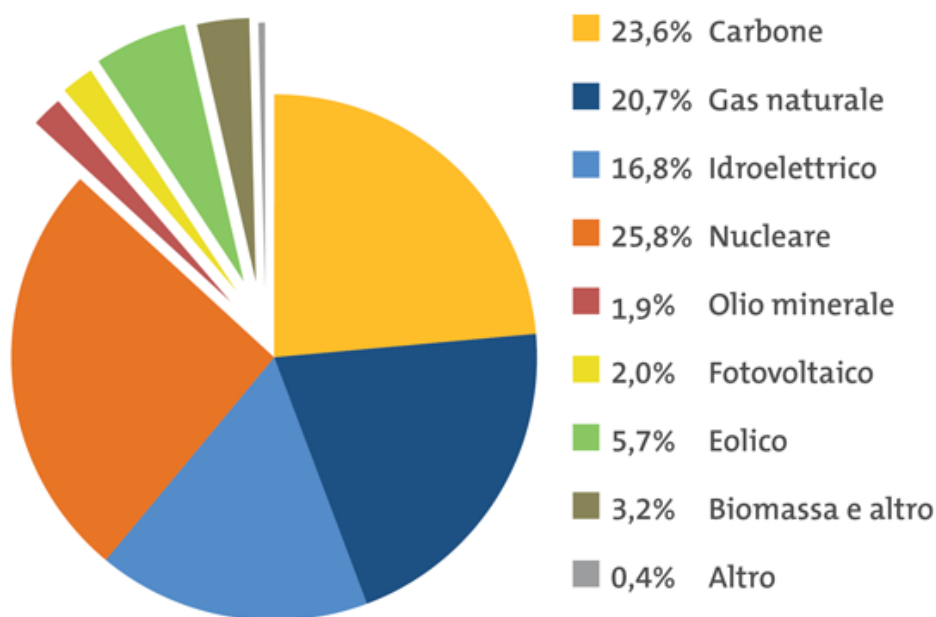


Figura 10: Produzione di energia elettrica in Europa nell'anno 2012 suddivisa per fonti energetiche. Fonte: [O].

Dal grafico riportato sopra (fig. 10) si può notare come le fonti rinnovabili si stanno sviluppando in Europa, cominciando a ritagliarsi una posizione nella produzione di energia elettrica. Ciononostante le risorse fossili e fissili comandano ancora imponendosi sulla competitività delle fonti pulite, ma ciò che più sconcerta è il fatto che il 23,6% dell'energia elettrica viene ricavata dal carbone. Il carbone è una tecnologia superata e molto inquinante, in Europa l'emissione di

⁷ Valore generale della radiazione solare durante le condizioni meteo ideali (cielo sereno) e nel momento in cui il sole si trova allo zenit.

diossido di carbonio (CO₂) derivante dalle centrali termoelettriche a carbone ammonta a 850 milioni di tonnellate, circa un quarto della produzione totale di anidride carbonica europea, e assieme all'emissione nell'atmosfera di altre sostanze dannose (polveri fini, ossidi di zolfo, ossidi di azoto, mercurio e arsenico) possono provocare addirittura la morte prematura di soggetti esposti costantemente agli influssi nocivi delle centrali a carbone [9]. Non è accettabile che l'Europa con il suo alto livello di sviluppo possa ancora permettersi di sfruttare questa risorsa risalente alla prima rivoluzione industriale.

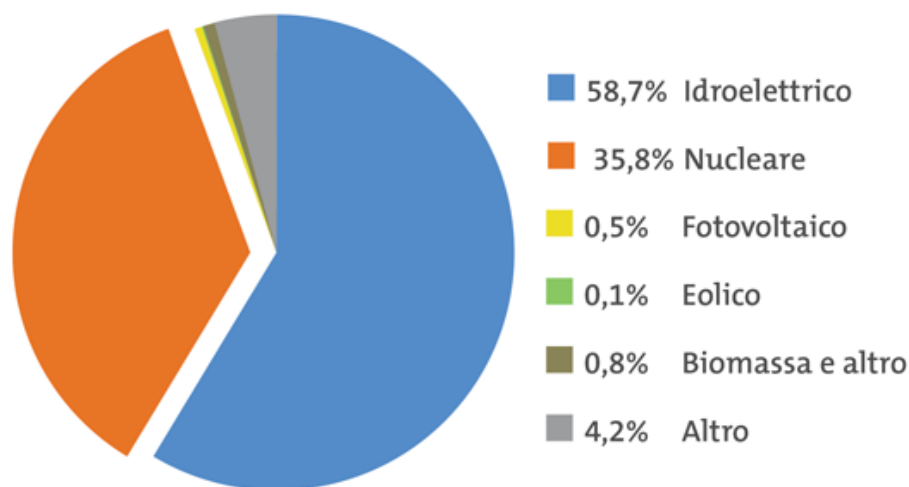


Figura 11: Produzione di energia elettrica in Svizzera nell'anno 2012 suddivisa per fonti energetiche. Fonte: [P].

Questo secondo grafico (fig. 11) indica la produzione di energia elettrica in Svizzera. La situazione elvetica appare più ecologica rispetto a quella europea, poiché le risorse fossili sono assenti. Questo è probabilmente dovuto al fatto che il suolo svizzero non possiede giacimenti carboniferi o di gas naturali. Le centrali idroelettriche dominano nel settore e nonostante il 35,8% dell'elettricità viene generata dalle centrali nucleari, la Svizzera, dopo la catastrofe di Fukushima, ha deciso di abbandonare progressivamente la strada del materiale fissile (atomico) e di conseguenza sviluppare ulteriormente le energie rinnovabili. Questa scelta speriamo sia di buon auspicio anche per gli altri paesi europei tuttora dipendenti dal nucleare come la Francia (circa il 73 % dell'energia elettrica prodotta da questo paese è di fonte nucleare [10]).

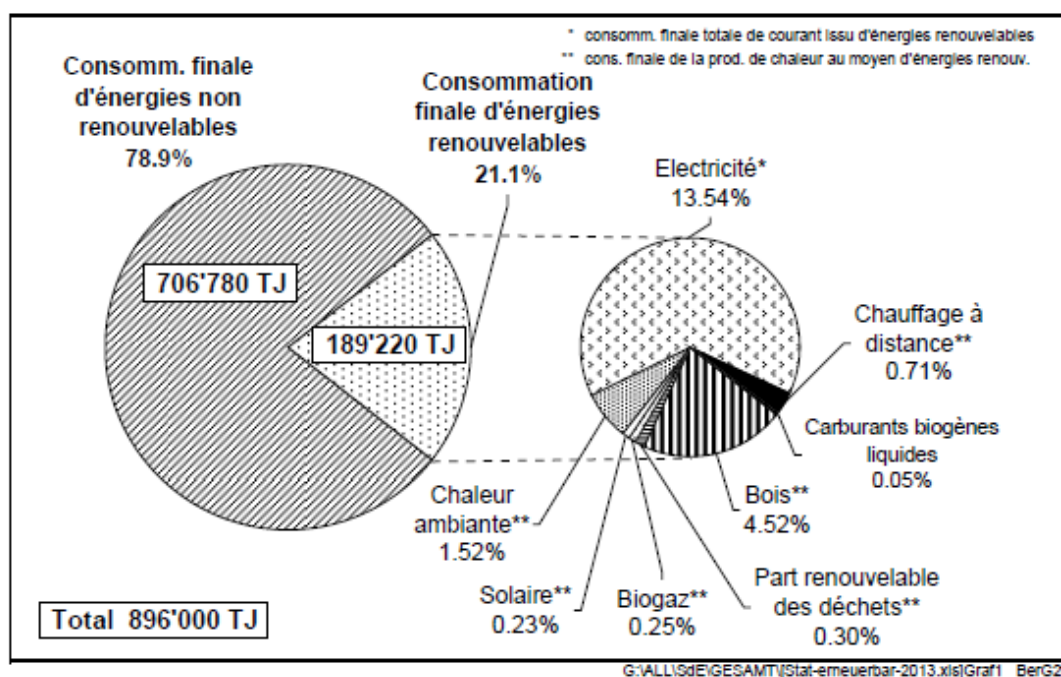


Figura 12: Questo grafico mette in relazione le varie componenti energetiche svizzere, ponendo l'accento sull'energia rinnovabili, in rapporto al consumo finale di energia. Fonte: [Q].

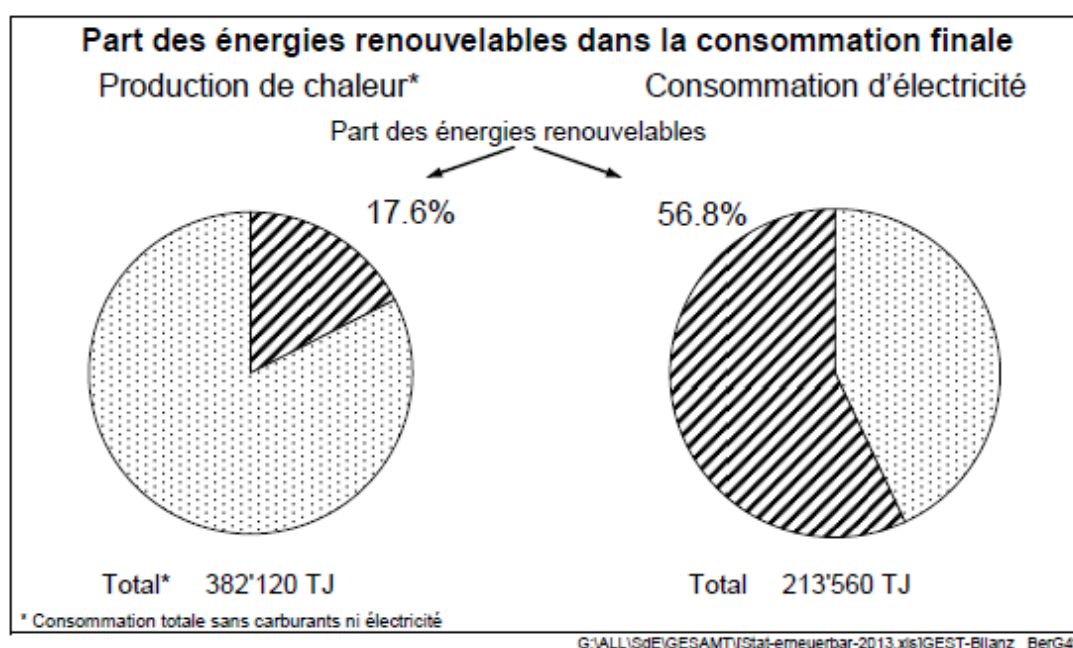


Figura 13: Questo secondo grafico divide la consumazione finale di energia elvetica in produzione di calore e nel consumo di elettricità. Fonte: [R].

I due grafici riportati sopra (fig. 12 e 13) illustrano in maniera più specifica la situazione energetica elvetica. Infatti da questi immagini si può facilmente notare che la Svizzera si trova in una buona posizione in rapporto al suo utilizzo delle energie ecosostenibili, ciononostante la produzione di calore svizzero appartiene a oltre l'80% alle energie non rinnovabili. Da questo dato

si può capire che dobbiamo limitare la nostra produzione di calore o perlomeno trovare delle soluzioni energetiche maggiormente sostenibili dal punto di vista ecologico.

Nella speranza che il nostro paese nei prossimi decenni diventi un modello da seguire per tutta l'Europa e augurandoci che sviluppi ulteriormente l'energia solare, che ha purtroppo un ruolo troppo marginale nonostante abbia un potenziale smisurato, abbiamo apportato delle modifiche a questa semplice antenna parabolica convertendola in un concentratore solare, concepito allo scopo di ottenere acqua calda per uso domestico. Con questo progetto vogliamo dimostrare come l'energia solare può essere utile e vantaggiosa.

Capitolo 4: Arduino

Il nostro concentratore solare segue autonomamente il movimento apparente del sole nell'arco della giornata. Questa interessante e duttile caratteristica è permessa da Arduino.

Arduino è una scheda hardware e costituisce il "cervello" della nostra parabola, in quanto, tramite la lettura dati del sensore della luce, essa governerà il movimento del concentratore. La scheda elettronica è la versione Arduino Uno (fig. 14) e offre i requisiti ideali per il nostro progetto. Infatti grazie ai PIN disposti sulla scheda (14 PIN Out/Input e 6 PIN Input analogici), i quali possono essere Output o Input, permettendo, nel primo caso, la circolazione di elettricità oppure, nel secondo caso, la ricezione dei dati dei sensori sottoforma di corrente elettrica se i PIN fossero impostati come Input.

Arduino Uno dispone di un microcontrollore architettato a 8 bit, nel quale è racchiusa la memoria flash, indispensabile, poiché permette il salvataggio del codice informatico e la sua lettura anche in assenza del collegamento con il computer via USB.

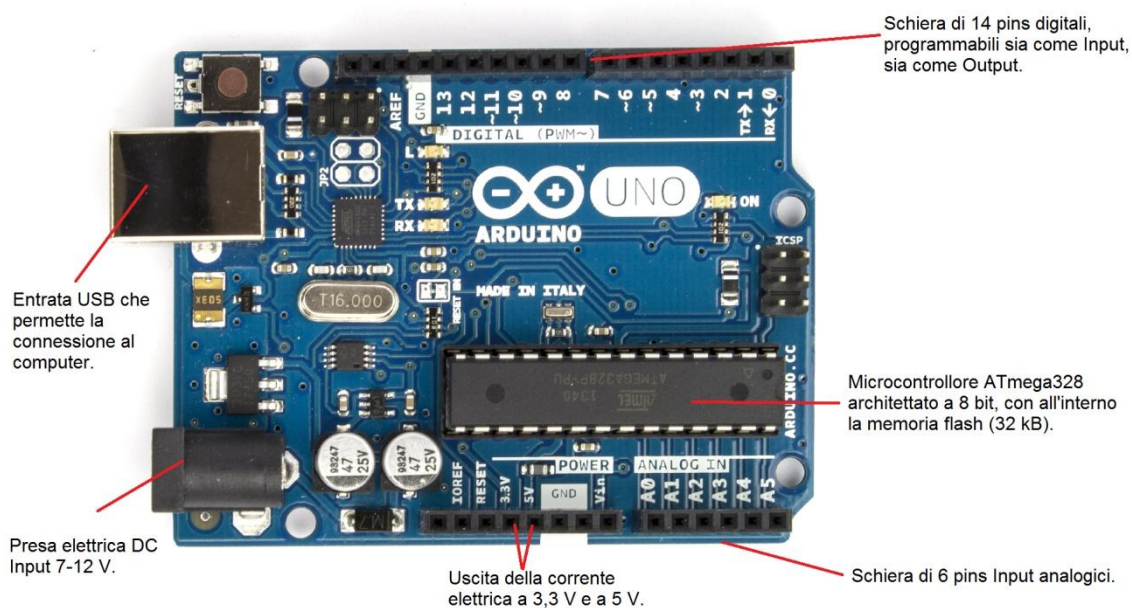


Figura 14: La scheda hardware Arduino Uno. Si può ben vedere la presa USB in alto a sinistra, la schiera dei 14 PIN Out/Input in alto e il microcontrollore sopra i PIN Input analogici. Fonte: [S].

4.1 Il linguaggio informatico di Arduino

Arduino adopera un linguaggio informatico semplice e intuitivo denominato Wiring simile in molti aspetti al linguaggio C e C++. Wiring non è solo un linguaggio, ma è anche una piattaforma di sviluppo open source e un ambiente di sviluppo integrato (in inglese IDE: Integrated Development Environment), ciò permette a Wiring e di conseguenza a Arduino di progredire sotto diversi aspetti.

I programmi di Arduino sono chiamati sketch e sono scritti in Wiring, per essere eseguiti essi necessitano solamente di due funzioni principali:

- `setup ()`: Questa funzione viene eseguita durante l'avvio dello sketch e permette di definire i PIN e le variabili utilizzate nel programma.
- `loop ()`: Questa funzione viene eseguita immediatamente dopo la prima e viene continuamente ripetuta, ciò permette a una continua esecuzione del programma, indispensabile nel nostro progetto.

All'interno di esse comunque valgono le solite funzioni utilizzabili nei linguaggi C e C++ (come `if`, `while`, `for`, `if e else`) che permettono vaste possibilità di creare programmi molto diversi tra loro e con caratteristiche uniche.

4.2 Modifiche apportate al programma

Il codice riportato dal lavoro di maturità precedente è ben sviluppato e possiede molti accorgimenti interessanti, ciononostante possedeva alcune lacune. Una di queste riguardava la parte di sicurezza del concentratore. Arduino è stato programmato, sia da parte nostra, sia dai nostri colleghi precedenti in modo che rilevasse le possibili anomalie nel caso in cui dovessero verificarsi determinate situazioni che potrebbero compromettere il corretto funzionamento della parabola. Le situazioni studiate sono rare, ma potrebbero avere conseguenze tragiche sul nostro progetto. La prima riguarda un malfunzionamento della pompa del liquido, che comporterebbe un'interruzione del ciclo del liquido, provocando un susseguente surriscaldamento del "receiver", poiché non effettuerebbe più lo scambio di calore attraverso la bobina di rame. Onde evitare di provocare danni al ricevitore abbiamo aggiunto nel circuito un sensore della temperatura e inserito nel programma una striscia di codice che permetterebbe ad Arduino di conoscere il valore della temperatura del liquido e di intervenire tempestivamente nel caso si verificasse una situazione pericolosa.

4.2.1 Il sensore della temperatura

Il nostro sensore della temperatura è un termistore, parola composta dalle espressioni inglesi thermal e resistor (thermistor). Infatti, questa sonda è un resistore, il quale calcola la resistenza elettrica del circuito. La resistenza elettrica assume diversi valori a dipendenza della temperatura dei materiali in cui passa la corrente elettrica, nel nostro caso la resistenza elettrica decresce con l'aumentare della temperatura. Questo è dovuto al fatto che il nostro termistore è costituito da materiali semiconduttori, che producono l'effetto contrario con i materiali conduttori come il platino, il ferro, in generale tutti i metalli, ossia con l'aumentare della temperatura diminuisce la conducibilità elettrica.

Per tali ragioni il nostro sensore è classificabile come NTC (Negative Temperature Coefficient), il quale misura una resistenza elettrica di 10'000 Ohm (Ω) a 25°C con una tolleranza della resistenza di $\pm 1\%$ e ha una temperatura di funzionamento che si situa tra circa i 50°C e i 150°C [11].

Per conoscere la reale potenzialità del sensore della temperatura abbiamo effettuato un semplice, ma efficace test (vedi grafico 1 con dati tab.2). Abbiamo preso un termos pieno d'acqua, un termometro e un riscaldatore elettrico a spirale. Di conseguenza riscaldando l'acqua, Arduino, tramite lo sketch che permette un collegamento con un monitor seriale, riceve ogni secondo il valore della resistenza elettrica.

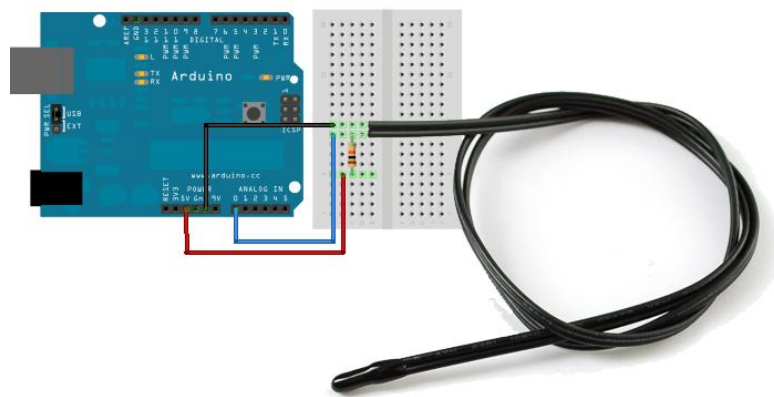


Figura 15: Schema basilare di un circuito elettrico con un termistore NTC, l'accessorio nero è un termistore NTC e ed è integrato nel circuito. Il cavo blu permette ad Arduino di acquisire il valore della resistenza elettrica del termistore. Il cavo rosso e nero permettono la circolazione di corrente elettrica al voltaggio di 5 V. Fonte: [T].

Dopo aver costruito un circuito adatto alle caratteristiche del termistore (fig. 15) e fissata una determinata temperatura letta sul termometro abbiamo calcolato il valore della temperatura con la seguente formula [12]:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln \left(\frac{R_{term}}{R_0} \right)$$

- T rappresenta la temperatura del termistore.
- T_0 è il valore della temperatura dell'ambiente, nel nostro caso della stanza.
- R_0 esprime la resistenza elettrica alla temperatura dell'ambiente.
- B è il coefficiente del termistore, il quale vale 3892 K [13].
- R_{term} è il valore della resistenza del termistore che decresce con l'aumentare della temperatura.

Mettendo in evidenza la T si ottiene una formula che descrive la temperatura in funzione della resistenza elettrica:⁸

$$T(R_{term}) = \frac{BT_0}{B + T_0 \ln \left(\frac{R_{term}}{R_0} \right)}$$

Il nostro test è stato un successo in quanto abbiamo riscontrato una buona precisione del termistore (vedi tab. 2, grafico 1 e grafico 2). Allo sketch abbiamo aggiunto una semplicissima striscia di comando "if" con la condizione che qualora la resistenza fosse scesa sotto un determinato valore, perciò la temperatura avesse oltrepassato un valore definito come massimo, Arduino avrebbe acceso un diodo, nella versione definitiva Arduino sarà programmato a muovere l'antenna in una posizione tale che la radiazione solare non possa recare danni alla struttura (posizione 0, 180°, direzione sud). Abbiamo fatto nuovamente il test con queste nuove modifiche e abbiamo appurato che la struttura del "programmino" funziona ed è possibile inserirlo nello sketch proposto nel lavoro di maturità precedente.

La tabella riportata sottostante (tab. 2) possiede tutti i dati del termistore e della temperatura ottenuti durante la nostra esperienza per verificare sperimentalmente la precisione della misurazione della temperatura da parte del termistore. La precisione riscontrata è piuttosto positiva, l'errore prevalentemente si aggira attorno a 1° C nonostante la prima misurazione sia leggermente meno precisa. Questi risultati, sebbene non siano totalmente esatti, per il nostro progetto sono molto utili in quanto Arduino non deve leggere un valore molto preciso, bensì un valore limite, perciò una misurazione con un errore di circa 1° C non pregiudica la valutazione di Arduino.

⁸ Equazione ricavata dalla precedente che permette di ottenere la temperatura del termistore in funzione della sua resistenza elettrica.

VERIFICA SPERIMENTALE DELLA MISURAZIONE DELLA TEMPERATURA MEDIANTE UN TERMISTORE DELL'ACQUA SOTTOPOSTA A RISCALDAMENTO					
Resistenza del termistore [Ω]	Temperatura del termistore [K]	Temperatura del termistore [$^{\circ}$ C]	Temperatura del termometro [$^{\circ}$ C]	Tempo [s]	Tempo [min:s]
12824,3	292,4	19,3	21	0	00:00
11035,3	295,8	22,6	22,5	20	00:20
10119,6	297,7	24,6	25,5	40	00:40
9438,8	299,3	26,2	26,5	60	01:00
8560,7	301,6	28,4	28	80	01:20
7973,7	303,2	30,1	29,5	100	01:40
7119	306	32,8	33,5	120	02:00
6577,8	307,9	34,7	34,5	140	02:20
6055,2	309,9	36,8	36,5	160	02:40
5474,7	312,4	39,3	40	180	03:00
5276,1	313,3	40,2	40,5	200	03:20
4651,9	316,5	43,4	44	220	03:40
4470,6	317,6	44,4	45,5	240	04:00
4039,4	320,2	47,1	47	260	04:20
3714,3	322,5	49,3	49,5	280	04:40
3526,5	323,8	50,7	50,5	300	05:00
3244,8	326,1	53	52,5	320	05:20
2904,6	329,2	56	55,5	340	05:40
2761	330,6	57,4	57,5	360	06:00
2627,7	332	58,8	58,5	380	06:20

Tabella 2: Questa tabella è stata ottenuta durante la verifica sperimentale della misurazione della temperatura attraverso un termistore. La prima colonna è la resistenza del termistore, valore fornito da Arduino attraverso il monitor seriale. La seconda e terza colonna rappresenta la temperatura in kelvin, rispettivamente in gradi celsius, calcolata con la formula riportata nella pagina precedente, si tratta della temperatura ideale. La quarta colonna è la temperatura reale, cioè la temperatura misurata con un termometro. Nelle ultime colonne abbiamo riportato il tempo, ossia l'istante in cui abbiamo letto i valori, per comodità abbiamo scelto un $\Delta t = 20$ s.

Per avere una visione maggiormente dettagliata della situazione abbiamo riportato i dati nel grafico sottostante (grafico 1). Il grafico è composto da due diverse funzioni, la prima, ossia la linea blu rappresenta la temperatura ideale [$T_{\text{termistore}} = T_{\text{termometro}}$].

La seconda funzione, quella rossa, indica la temperatura misurata dal termometro in funzione della temperatura misurata dal termistore, ossia dalla sua resistenza. Idealmente le due funzioni dovrebbero combaciare perfettamente, ma come abbiamo puntualizzato in precedenza la precisione del termistore non è assoluta.

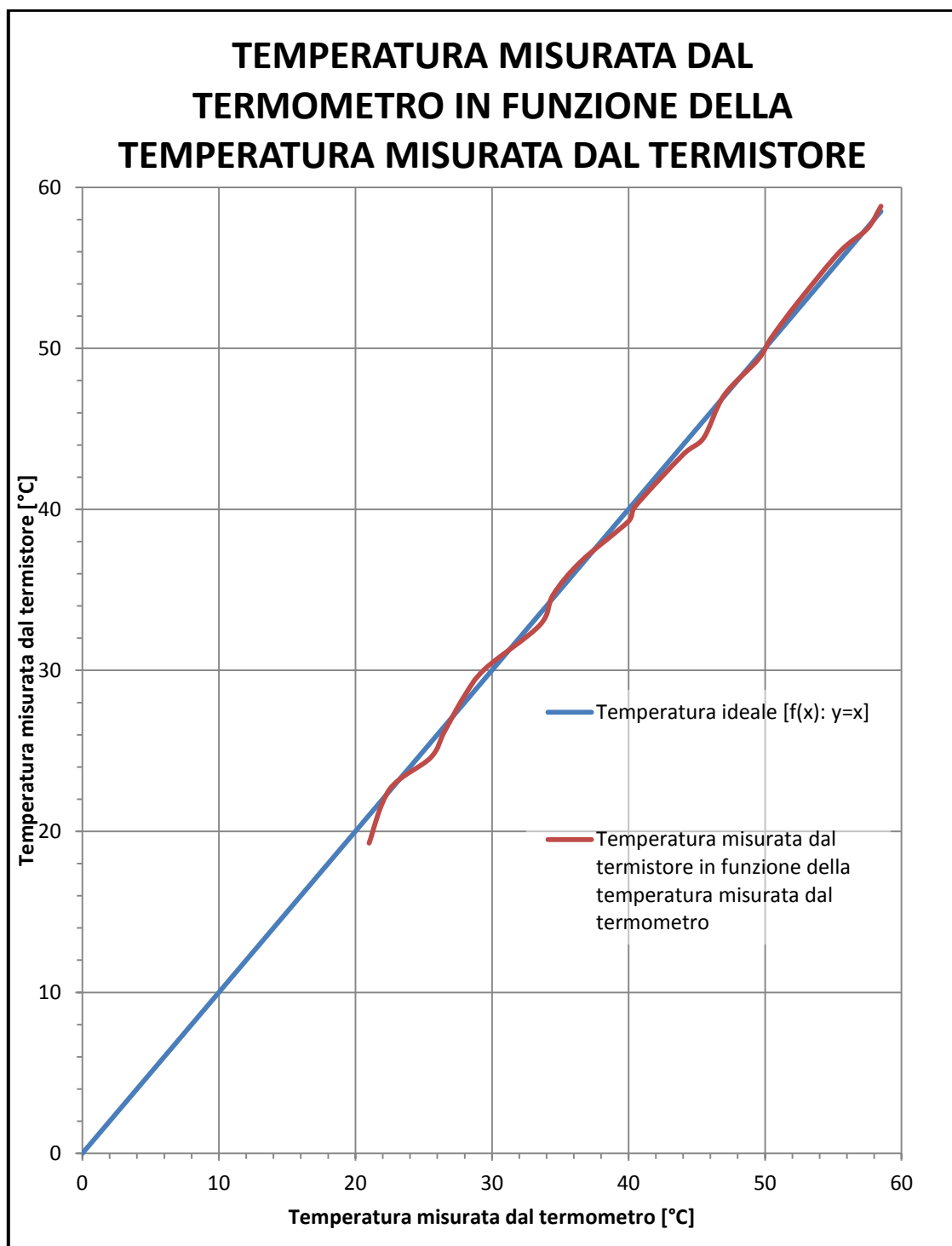


Grafico 1: Su questo piano cartesiano abbiamo illustrato i due grafici riportati in legenda. Si può notare che la seconda funzione approssima in maniera discreta la retta della prima funzione.

Il secondo grafico riportato a pagina 19 (grafico 2) illustra la funzione iperbolica (curva rossa) riportata a pagina 15. Infatti questa è l'approssimazione effettuata con il test della temperatura reale (curva blu).

Si può notare che nonostante sussista un errore, le due curve sono molto simili e per tale ragione non ci aspettiamo di riscontrare problemi sotto questo aspetto. Inoltre questo grafico ci permette di farci un'idea dell'intervallo espresso con valori minimi e massimi, in cui Arduino ha il permesso di operare.

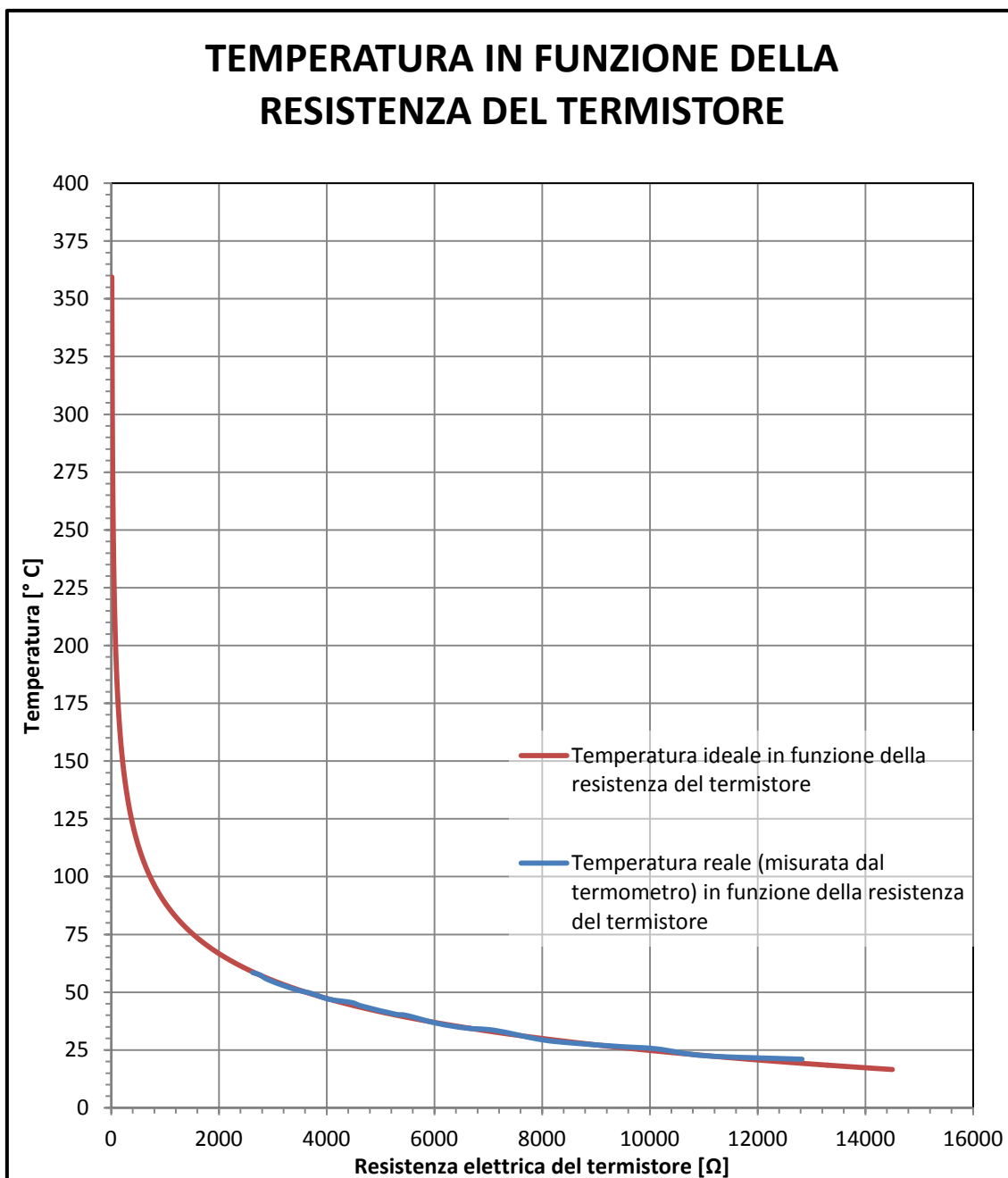


Grafico 2: La funzione iperbolica, cioè la curva rossa sviluppata dalla formula riportata a pagina 14, rappresenta la temperatura ideale che il termistore dovrebbe misurare al determinato valore della resistenza elettrica. La seconda funzione, riportata nell'intervallo della resistenza elettrica utilizzato nell'esperienza [2627,659; 12824,324], indica la reale temperatura misurata dal termistore. L'approssimazione è piuttosto accettabile.

Capitolo 5: Costruzione del ricevitore del disco parabolico

Il ricevitore, in inglese "receiver", è la struttura che viene posta al fuoco della parabola. La struttura della parabola è particolare, infatti possiedono la capacità di riflettere tutti i raggi solari in un unico punto denominato fuoco. Per il nostro progetto questa peculiarità si è dimostrata fondamentale e di conseguenza abbiamo sviluppato il ricevitore partendo da considerazioni generali, ma soprattutto prendendo spunto dal ricevitore costruito durante il lavoro di maturità precedente.

5.1 Il primo ricevitore

La struttura idealizzata e creata dai nostri compagni nell'anno 2013 è costituita da un corpo cilindrico di alluminio con all'interno una bobina di rame verniciata appositamente di colore nero e piegata cercando di approssimare, in linea di massima, la forma cilindrica, isolata termicamente con uno spesso strato di lana di roccia (fig. 16).



Figura 16: Il ricevitore costruito da Janina Kick, Giada Cassis, Chiara Knecht e Matteo Nicoli, è costruito partendo da una scatola di alluminio per pomodori.

La struttura si è rivelata molto funzionale e i nostri colleghi si erano ingegnati anche a costruire dei pezzi complicati in grado di regolare la giusta distanza del "receiver" in funzione del punto focale del paraboloide. Infatti per fissarlo alla parabola sono stati usati dei binari con inserita una piastra di metallo piegata alla testa in modo da poter inserire perfettamente i bracci della parabola (fig. 17).



Figura 17: Il pezzo sovrastante, nonostante si tratti di un'idea ingegnosa e creativa, non è stata sufficiente per compensare i difetti che rendono questo "receiver" poco performante.

Purtroppo a causare i problemi di questo ricevitore, che hanno compromesso l'utilizzo e di conseguenza hanno richiesto la costruzione di un altro "receiver" con caratteristiche diverse, è stato un errore di calcolo iniziale della valutazione del diametro ideale della bobina. La bobina di rame, la parte del ricevitore incaricata di assorbire idealmente la quantità massima di radiazione solare riflessa dal disco parabolico, è stata costruita con un diametro di 10 cm. Durante i test che i nostri compagni hanno eseguito, è risultato lampante che il diametro era insufficiente, perciò molta luce solare veniva riflessa sull'isolazione termica, bruciando di conseguenza la lana di roccia (fig. 18).



Figura 18: Da questo ingrandimento del primo ricevitore si può osservare che la lana di roccia isolante è bruciata, ciò sta a indicare che il diametro della bobina è insufficiente ad accogliere la radiazione solare riflessa dallo specchio parabolico.

5.1.1 Problemi legati al primo ricevitore

Nonostante l'idea brillante attorno al primo ricevitore gravitavano essenzialmente due problemi.

Il primo problema riguardava l'energia sprecata, dato che non tutta la luce veniva riflessa nel ricevitore andava persa molta energia e il liquido nei tubi si scaldava troppo lentamente. Di conseguenza, per rendere il nostro progetto più performante, abbiamo dovuto risolvere questo problema.

Il secondo problema riguardava il fissaggio del "receiver" alla parabola, il quale sembrava poco resistente e poteva essere difficile da calibrare. Infatti, una volta fissato ai tre supporti, il ricevitore poteva muoversi attraverso il movimento dei supporti sui binari del cilindro. Di conseguenza qualsiasi leggero spostamento avrebbe falsato la precisione del fuoco calcolato precedentemente. I tre supporti dovevano essere spostati contemporaneamente, onde evitare sfasamenti che avrebbero alterato la precisione dell'allineamento del ricevitore con il punto focale della parabola.

5.2 Il nuovo ricevitore

Nel paragrafo precedente abbiamo descritto la necessità di costruire un nuovo ricevitore, il quale è stato creato partendo dal primo, ma con caratteristiche completamente diverse, cercando di trovare delle soluzioni soddisfacenti ai problemi discussi inizialmente.

Infatti, abbiamo lavorato sulla forma del ricevitore, in particolare sul diametro della base della nostra nuova spirale e sul fissaggio alla parabola.

Inoltre, per essere abbastanza sicuri di quale sarebbe dovuta essere stata la distanza tra il centro del ricevitore, ossia il fuoco, e il vertice del paraboloide, abbiamo cercato una formula matematica che esprime questo valore, in maniera di verificare i dati sperimentali con quelli teorici (fig. 19).

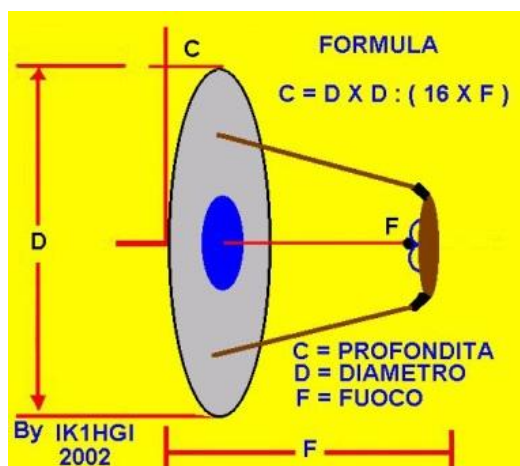


Figura 19: Questa figura rappresenta schematicamente un paraboloide e il suo punto focale. In alto a destra si può leggere la formula matematica. Fonte: [U].

Nella sovrastante immagine viene proposta la seguente formula:

$$C = \frac{D^2}{16F}$$

- C rappresenta la misura della profondità del disco parabolico.
- D indica il valore del diametro della circonferenza del paraboloide alla profondità C .
- F è la distanza focale del disco parabolico.

Mettendo in evidenza la distanza focale si ottiene:

$$F = \frac{D^2}{16C}$$

Inserendo i dati relativi al nostro progetto si ricava una distanza focale di circa 85 centimetri. Calcolando che il punto del nostro fuoco deve trovarsi all'interno del ricevitore, preferibilmente a metà altezza della spirale di rame, possiamo presupporre che la parte aperta del "ricevitore" debba distare circa 80-85 cm dal vertice della parabola.

Inoltre, grazie ai test effettuati con dei raggi laser dal gruppo precedente abbiamo avuto la conferma che il valore della distanza corrispondeva esattamente a quella da noi calcolata.

5.2.1 La costruzione

Il nuovo ricevitore è stato costruito a partire da una forma semisferica, di diametro 22 cm. Infatti il contenitore esterno del nostro ricevitore è formato da una ciotola per insalata di inox acquistata presso l'Ikea. Partendo da un'idea già presa in considerazione dai vecchi compagni del lavoro di maturità precedente, abbiamo fatto delle spirali di prova con il rame, poiché è un metallo non solo con un'alta conducibilità termica, ma è anche facilmente lavorabile. Per ottenere la spirale desiderata abbiamo attorcigliato il tubo di rame su una bombola di gas vuota (fig. 20), e grazie alle prove effettuate siamo riusciti a trovare la tecnica adatta per piegare il rame, evitando di spezzare il tubo.

Dopo che si piega varie volte, il rame perde la sua mobilità e rischia di rompersi. Per questo motivo nella lavorazione abbiamo anche usato una fiamma riscaldante per ammorbidire il rame e di conseguenza impiegando meno forza per piegarlo, diminuendo in questo modo il rischio di rottura.



Figura 20: La spirale riportata indica una prova, conclusa con successo, dell'avvolgimento del rame.

Una volta terminata la modellazione del tubo, generando una forma conforme al nostro progetto, abbiamo legato con dei fili di ferro i vari livelli di tubo che erano rimasti troppo distanti creando di conseguenza delle fenditure nella bobina. Questa ulteriore modifica permette di diminuire la quantità di luce che passa tra i tubi della spirale.

In seguito abbiamo ricoperto tutta la superficie esterna e interna della spirale di rame con una vernice spray adatta per alte temperature (fig. 21), vernice per forni esterni, di color nero in modo di aumentare l'indice di assorbimento del rame, favorendone lo scambio di energia tra la radiazione solare e il rame.



Figura 21: La spirale definitiva è stata verniciata, aumentando l'indice di assorbimento del rame e di conseguenza aumentando la capacità di conversione dell'energia dalla radiazione solare al metallo.

Come si può notare dalla foto (fig. 21), sulla parte superiore della spirale rimane un'apertura, questo perché, oltre all'impossibilità di piegare così strettamente il tubo di rame, senza incorrere nel rischio di romperlo, bisogna anche fissare la spirale all'interno della ciotola. Per tale ragione deve avere le due basi piatte, creando una spirale facilmente inseribile nella semisfera. Per far fronte a questo foro abbiamo deciso di inserirci un piccolo cono di alluminio ricoperto di mylar (fig. 22), fissato alla spirale grazie a tre piccoli fili di ferro legati al tubo e al cono (fig. 23). In questo modo la luce che viene riflessa in quella apertura viene a sua volta riflessa sul tubo, aumentando la percentuale della luce assorbita dal rame.



Figura 23: Il cono di alluminio è stato rivestito di mylar, in modo che favorisca la riflessione sulla bobina di eventuali raggi di luce sfuggiti all'assorbimento del rame.



Figura 22: In questa figura viene rappresentato come abbiamo agganciato il cono riflettente alla base inferiore della spirale. In seguito i fili di ferro sono stati tirati rendendo il cono stabile. Dopo aver terminato il lavoro inerente la parte centrale del ricevitore, abbiamo provato a inserire la spirale al suo interno per vedere se effettivamente tutte le misure corrispon-

A questo punto ci siamo accorti che la parte di tubo che discende la bobina entrava a fatica e dovendo ancora inserire anche la lana di roccia isolante, abbiamo deciso di tagliare con la flessibile una striscia di circa 7-8 cm (fig. 25), alterando leggermente la forma della ciotola, per riuscire a far passare la parte finale del tubo.



Figura 25: A causa di motivi strutturali è risultato necessario effettuare un taglio, nell'ordine della decina di centimetri della parete esterna del ricevitore, ciò favorisce la fuoriuscita della parte finale del tubo.



Figura 24: L'isolazione termica è stata effettuata in maniera diversa rispetto al primo ricevitore. Infatti la forma semisferica è difficile da riprodurre, perciò abbiamo pressato la lana di roccia con l'aiuto di un recipiente, affinché tutta la ciotola risultasse isolata. Inoltre abbiamo lasciato la parte di alluminio dell'isolazione termica all'interno, così facendo la radiazione passante attraverso le fessure della spirale viene riflessa nuovamente sul tubo di rame.

In questo modo siamo riusciti ad assemblare il tutto, aggiungendo l'isolazione termica compiuta dalla lana di roccia (fig. 25), senza grandi problemi e a fissare il tutto con delle piccole morse piegate in modo di non rovinare il tubo e mantenersi parallelo alla spirale, generando una buona integrità strutturale del ricevitore nel suo stato definitivo (fig. 26).



Figura 26: Versione frontale della nuova versione del ricevitore, si può notare l'ampio diametro della spirale, il cono riflettente posto sul fondo della bobina, l'isolazione della lana di roccia a lato del tubo di rame e le morse leggermente piegate che sorreggono tutta la struttura.

5.2.2 Il fissaggio

Una parte importantissima del nostro lavoro sul "receiver" è la creazione di un sistema che permette di fissare la ciotola ai bracci del paraboloide e contemporaneamente questa struttura deve avere la capacità di correggere eventuali errori commessi nei calcoli teorici. Infatti l'applicazione pratica spesso non rispecchia il modello teorico.

L'idea iniziale è stata quella di fissare una circonferenza di acciaio sulla testa del ricevitore con delle sezioni piegate per risultare parallele ai supporti ed essere facilmente fissabili.

Ci siamo accorti però che era inutile usare un disco intero di metallo e allora abbiamo deciso di usare delle semplici lastre di acciaio forate, spesse 5 millimetri e piegate all'estremità con la morsa (fig. 27), in modo che l'angolo creato con la piegatura coincidesse con la direzione dei

bracci del concentratore solare, mantenendo di conseguenza il fuoco perpendicolare al piano del paraboloide. Il collegamento tra le lastre e il ricevitore avviene tramite una lunga vite di acciaio inossidabile, la cui testa si situa nel ricevitore dietro al cono ricoperto di mylar (fig. 28).



Figura 27: Questa figura rappresenta il sistema di lastre di acciaio piegate. La foto riportata illustra la struttura quasi terminata. Infatti possiede le componenti provenienti dalla barra filettata già ultimate.



Figura 28: La ciotola è stata traforata per inserire la lunga vite che permette al ricevitore di stare sospeso e contemporaneamente di stabilizzarsi a una distanza ideale dal fuoco del paraboloide.

Con questo sistema, dopo la posa e il fissaggio definitivo del "receiver", abbiamo un'ulteriore possibilità di correggere, fino ad un massimo di 10 cm, la distanza focale del ricevitore in caso di errori di carattere pratico o teorico (fig. 29).



Figura 29: Questa figura indica chiaramente l'elegante sistema ideato per correggere la distanza focale rispetto al ricevitore. Infatti girando i dadi che stringono le lastre piegate si può avvicinare, rispettivamente allontanare il "receiver".

Per fissare il ricevitore alla parabola abbiamo a disposizione tre aste di ferro, i bracci del concentratore solare, lunghe 1 m fissate ai lati della parabola alle cui estremità si possono attaccare le tre lastre di acciaio disposte a 120° e di conseguenza si può attaccare il "receiver".

Per essere sicuri che il vento o in generale i fenomeni naturali non spostino il ricevitore dalla sua posizione ottimale abbiamo dovuto trovare un modo per mantenere il ricevitore stabile e saldo alle sbarre di fissaggio. Data la singolarità dei pezzi, e impossibilità di trovarli sul mercato, anche nei negozi specializzati abbiamo deciso di fabbricare noi stessi i pezzi designati partendo da una barra filettata dal diametro di 5 millimetri (fig. 30), da cui abbiamo ricavato sei pezzi che permettono di bloccare i bracci della parabola con le lastre di acciaio.



Figura 30: I pezzi ricavati dalla barra filettata possiedono la seguente forma, nel momento in cui i tubi verranno inseriti in questi pezzi, tramite due bulloni posti agli estremi che tireranno e stringeranno l'intera struttura.

In seguito abbiamo appurato che la lunghezza ideale dei bracci del paraboloide dovevano essere almeno 105 centimetri, perciò abbiamo rivestito le barre del concentratore solare con dei tubi di alluminio in modo di aumentare la lunghezza complessiva dei bracci. Per fissare questi tubi alle barre, abbiamo forato l'alluminio e attraverso una piccola opera di maschiatura (fig. 31), abbiamo generato il filetto necessario, affinché delle viti potessero venir tirate, bloccando e stabilizzando la struttura (fig. 32).



Figura 31: Dopo i fori dei tubi di rivestimento, abbiamo adoperato un giramaschio con un maschio di grandezza adeguata (M4) per fare il filetto, all'interno dei fori praticati nell'alluminio.



Figura 32: In questa figura viene illustrata la chiusura del rivestimento di alluminio dei bracci della parabola.

5.2.3 Nuove caratteristiche e vantaggi

Rispetto al vecchio ricevitore quello costruito da noi presenta, oltre alle migliorie da noi apportate, delle nuove caratteristiche e ovviamente anche dei vantaggi.

Le nuove caratteristiche che portano a nuovi vantaggi sono:

- Un ricevitore più grande che permette l'entrata di un maggior numero di raggi, anche grazie ad una forma più consona alla sua funzione, e quindi un minor spreco di energia.
- Un fissaggio esteticamente più bello e resistente.
- Una regolazione del fuoco più facile e efficace, senza il rischio di sfasare la posizione del "receiver".

Capitolo 6: Studio del movimento della parabola

Il nostro concentratore solare per essere performante deve essere perpetuamente perpendicolare ai raggi del sole, in parole povere deve costantemente puntare il sole. In questo modo abbiamo la certezza che lo specchio parabolico riesca a raccogliere e concentrare tutta la radiazione solare nel fuoco (fig. 33), in cui è stato posizionato il ricevitore descritto nel capitolo precedente. Per tale ragione la nostra parabola deve essere capace di effettuare dei movimenti, i quali devono cercare di approssimare in maniera più precisa possibile la parabola che il sole descrive in cielo nell'arco della giornata.

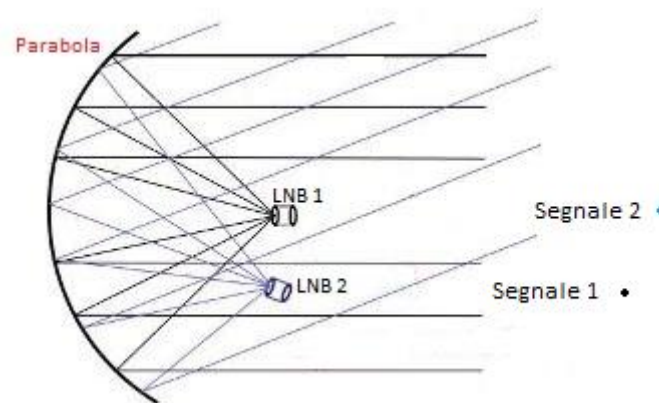


Figura 33: Questa figura rappresenta in maniera schematica il problema descritto precedentemente. Infatti se la parabola non fosse perpendicolare ai raggi solari, molta energia sottoforma di calore andrebbe persa poiché si creerebbe un nuovo fuoco, il quale però si trova al di fuori del nostro ricevitore. Fonte: [V].

Per far fronte al problema del movimento abbiamo optato per l'utilizzo di due motori, denominati attuatori lineari poiché erogano la forza spingendo e rispettivamente tirando, comandati autonomamente da Arduino, in particolar modo dal sensore della luce. Inoltre i motori lavoreranno attraverso la struttura portante della parabola costruita appositamente da permettere il movimento della parabola.

La struttura di sostegno del nostro concentratore parabolico è stata sviluppata sulla base di ottenere un movimento fluido e capace di seguire il sole nella stagione invernale. Purtroppo i due motori generano un moto dipendente in quanto il motore responsabile dello spostamento est-ovest è collocato sulla struttura di sostegno e perciò si muove con la parabola quando il primo motore è in funzione. Questa ragione ci ha spinto a realizzare uno studio del movimento.

6.1 Struttura di sostegno della parabola

La struttura di sostegno della parabola è costituita da una doppia cassa di ferro verniciata con una pittura nera legata al tubo portante e alla parabola mediante due grandi bulloni con la capacità di ruotare (fig. 34), ciò permette alla parabola di compiere movimenti sull'asse est-ovest. Al corpo di ferro esterno descritto precedentemente è stato eseguito un incavo a forma di quarto di circonferenza ed è stata aggiunta una barra che permette al primo motore, il quale è legato al tubo, di muovere tutta la struttura assieme alla parabola, consentendole di seguire l'angolo che produce l'elevazione del sole (fig. 35).

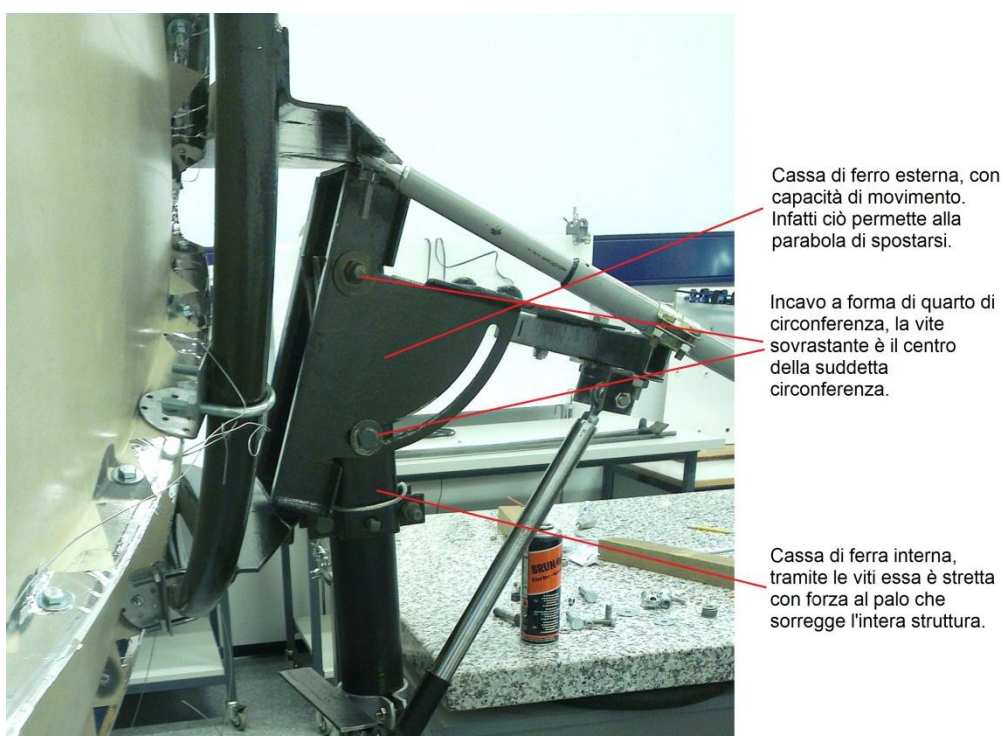


Figura 34: Questa figura schematica e didattica rappresenta ciò che è stato citato nel paragrafo precedente. In particolar modo la costituzione della struttura incaricata di sostenere la parabola.

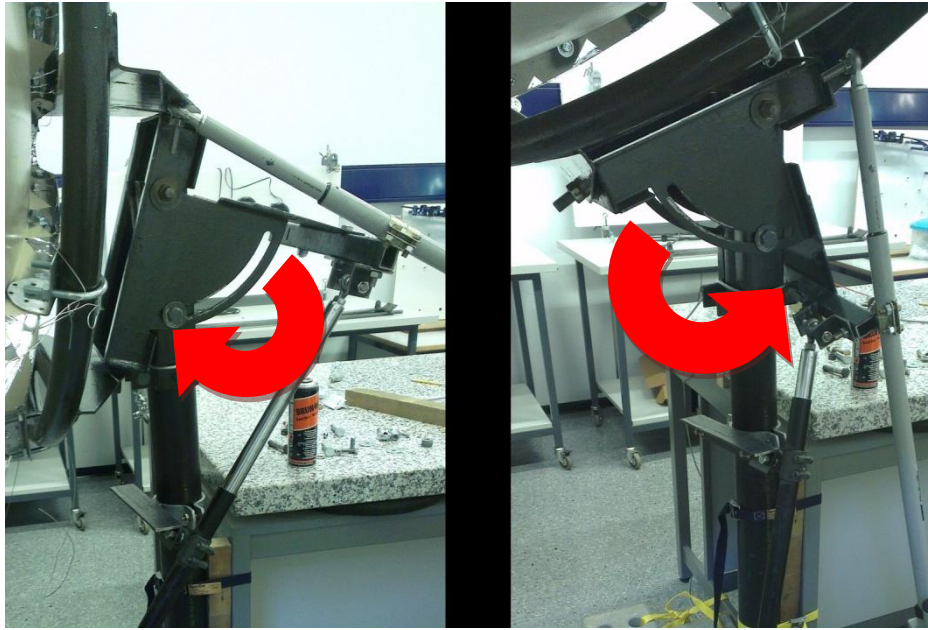


Figura 35: Questa immagine illustra bene la tipologia del movimento della cassa esterna quando viene adoperato il motore 1. Infatti la cassa di ferro interna rimane completamente ferma intorno al tubo. La prima parte raffigura il movimento che si produce con l' retrazione del motore, mentre nel secondo caso l'inverso, cioè l'allungamento dell'attuatore.

Per unire la punta dei motori con la struttura della parabola si è pensato a un sistema di snodi (fig. 36), il quale sembrava essere la soluzione più vantaggiosa e ideale. Facendo dei test con i movimenti della parabola ci siamo immediatamente accorti che gli snodi producevano dei movimenti innaturali e casuali perché possiedono la capacità di ruotare. Per risolvere questo primo problema abbiamo scelto l'adozione di una doppia struttura a L forata (fig. 37), in modo che il l'attuatore lineare sia bloccato all'interno di essa con una vite.



Figura 36: Il sistema elaborato con gli snodi non forniva un buon esercizio della parabola. Infatti si possono notare le molteplici capacità di moto dei pezzi in figura, ciò produceva movimenti imprecisi e casuali del disco parabolico.

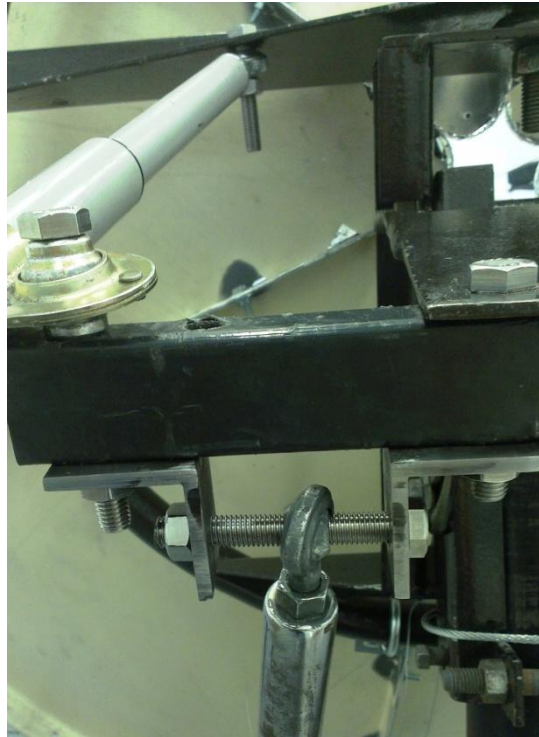


Figura 37: Nonostante la sua semplicità, il nuovo sistema a doppia L permette un movimento fluido e continuo della parabola, quando cerca di approssimare l'angolo dell'altezza del sole con scioltezza rispetto al sistema a snodi.

Oltre a questo problema abbiamo anche rilevato che la struttura che sostiene il primo motore al tubo possedeva alcuni difetti. Infatti, quando l'attuatore lineare si trovava al massimo della sua estensione, esso produceva un'angolazione troppo prominente alla struttura situata sul tubo, provocando come è successo nei test la rottura di alcune componenti. Onde evitare tali inconvenienti abbiamo aggiunto alla struttura una barra di ferro a L, con la parte finale elaborata diversamente (fig. 38), dove è fissato il motore, in modo che l'angolazione non risultasse eccessiva (fig. 39).



Figura 38: Questa è la struttura a L che permette al motore 1 di mantenere una buona posizione in rapporto alla barra di ferro sul quale attua la forza. Inoltre la struttura a L possiede una maggiore robustezza e solidità rispetto a una singola lastra.



Figura 39: Nuova prospettiva della struttura descritta sopra, si può notare il taglio eseguito, affinché l'angolatura prodotta dal cuscinetto sferico posto accanto il taglio non supera la capacità di rotazione della sfera, evitando la rottura degli elementi citati.

Le componenti installate sono composte da ferro, materiale che incappa nel processo di ossidazione nel caso in cui venisse a contatto con l'acqua e l'ossigeno, come capita continuamente alle strutture esposte all'esterno, le quali sono in balia alle condizioni meteorologiche. Dal momento che il nostro concentratore parabolico sarà posizionato nel giardino di casa Cretton, abbiamo deciso di verniciare le componenti con una speciale vernice (fig. 40), già utilizzata in precedenza dai compagni che lavoravano al progetto delle gronde trasformate in un concen-

tratore parabolico lineare,⁹ che rende il ferro inossidabile e favorisce il mantenimento ottimale della nostra costruzione, evitando la corrosione di materiali che possono rovinare e intaccare l'integrità strutturale del nostro paraboloide solare.

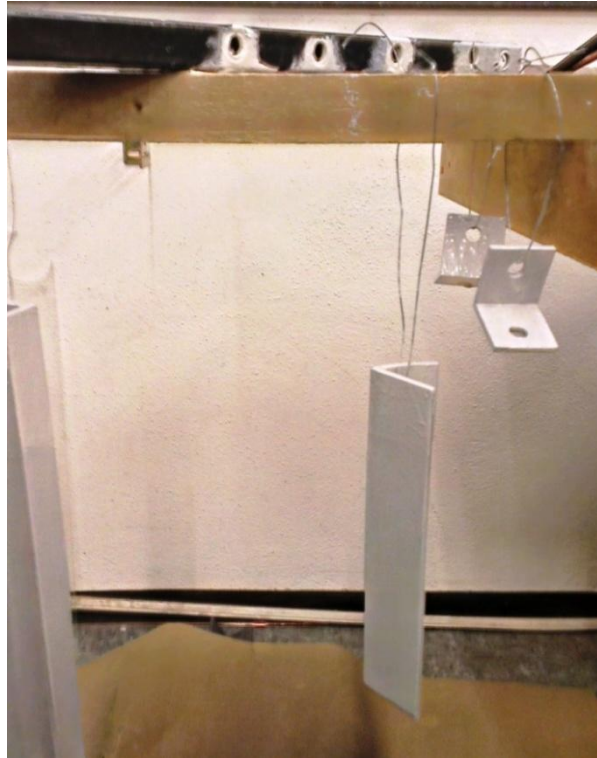


Figura 40: I pezzi in ferro derivati dalle modifiche sono stati verniciati con una speciale pittura che li rende inossidabili, permettendo una buona integrità strutturale del nostro progetto.

⁹ Riferimento agli allievi, Manuela Bizzozero, Erika Casiraghi, Claudio Keller, che hanno sviluppato il precedente lavoro di maturità "Concentratore parabolico solare a forma di gronda con inseguimento automatico" elaborato da Richaross Grüninger, Sandro Marcotullio e Stanley Kunnakatt.

L'ultima modifica effettuata alla struttura portante è stato l'introduzione di una coppia di cuscinetti cilindrici (fig. 41), un utensile meccanico formato da un cilindro, nel quale al suo interno è situato un altro cilindro di raggio minore con la capacità di ruotare senza muovere il primo. I cuscinetti sono stati installati nella cassa di ferro esterna (fig. 42 e 43) permettendo alla struttura di muoversi mentre la vite rimane completamente ferma evitando attrito tra i metalli e di conseguenza limitare il rischio di alterare e danneggiare le componenti. Inoltre questi utensili hanno una buona capacità di carico statico, in quanto riescono a sostenere una forza peso pari a 930 N. Tale dato indica che ognuno dei cuscinetti cilindrici è in grado di sostenere un peso, una massa di circa 94 kg, di conseguenza la coppia installata da noi è capace di sorreggere complessivamente 188 kg [14].¹⁰

Ovviamente non corriamo il rischio di recare dei danni a queste componenti, in quanto il peso globale della struttura di sostegno e della parabola con fissato il ricevitore si situa attorno ai 50-60 kg.



Figura 41: Questo cuscinetto cilindrico viene inserito nel foro della cassa esterna, creato dalla vite, che rappresenta il centro dell'incavo, e bloccato tramite la renella sul quale poggia. Così facendo viene a crearsi una maggiore integrità, evitando alla vite e alla cassa di ferro di entrare in contatto, generando attrito.

¹⁰ Per conoscere il peso, ossia la massa massima, abbiamo utilizzato la legge di gravitazione universale di Newton semplificata:

$$F_{\text{peso}} = m \cdot g$$

Dove:

- F_{peso} rappresenta la forza peso generata dalla massa del nostro pianeta.
- m è la massa dell'oggetto che subisce l'accelerazione.
- g è il valore dell'accelerazione gravitazionale prodotta dalla Terra approssimata a $9,81 \text{ m/s}^2$.

Mettendo in evidenza la massa e inserendo i dati otteniamo $m_{\text{singola}} \cong 94 \text{ kg}$ e dal momento che si tratta di una coppia di cuscinetti $m_{\text{complessiva}} \cong 94 \text{ kg} * 2 \cong 184 \text{ kg}$.



Figura 42: Nella sovrastante figura si vede chiaramente il cuscinetto cilindrico inserito perfettamente (sia in termini di profondità, sia in larghezza) nel foro dove passerà la vite. Per allargare l'incavo abbiamo dovuto utilizzare l'utensile visibile in alto, ossia una tazza di diametro 25 mm, ma per l'imprecisione il diametro risultante è pari a 26 mm, uguale al diametro esterno dei nostri cuscinetti.



Figura 43: In questa figura si può notare il corpo di ferro della parabola, il quale è costituito da due casse di ferro, una esterna una interna. Quest'ultima è stretta al palo creando una forte stabilità e inoltre è legata mediante viti alla cassa esterna, la quale, oltre a sorreggere il disco parabolico, ha il compito di spostarlo, compiendo un movimento attraverso l'incavo a forma di quarto di circonferenza.

Dopo aver risolto questi problemi inerenti la struttura e il movimento della parabola ci siamo soffermati principalmente sui moti generati dai due attuatori lineari uniti al disco parabolico.

6.2 Motore 1

Il motore 1 (fig. 44) ossia il motore con la livrea scura è in grado di erogare una forza pari a 3'000 N, sia spingendo, sia tirando. L'attuatore lineare possiede la caratteristica fondamentale di compiere due tipologie di movimento, ossia l'allungamento del motore, generando una spinta, e l'accorciamento del motore che si traduce come una forza di trazione in quanto il motore tira verso se stesso; ciò avviene tramite l'inversione della polarizzazione del motore, se la corrente elettrica circola in un senso si ottiene l'allungamento, mentre facendo passare la corrente nell'altro senso si verifica l'accorciamento.



Figura 44: Il motore 1 è stato riportato durante il suo stato di massima estensione, chiamato da noi angolo 0. Si può notare in centro la struttura in ferro a L descritta precedentemente e in alto a destra la congiunzione del mo-

tore 1 alla barra, dove è sostenuto il motore 2, grazie alla doppia struttura a L. Inoltre è messa in evidenza la cassa di ferro esterna, la struttura che si muove assieme alla parabola, con l'incavo a forma di quarto di circonferenza, del quale il centro è la vite sovrastante, nella quale abbiamo introdotto i cuscinetti cilindrici.

Si tratta di un elemento molto solido, anche quando il concentratore è in posizione ferma, l'attuatore lineare è in grado di mantenere la struttura solida, senza causare movimenti involontari che potrebbero alterare la perpendicolarità tra il piano del disco parabolico con i raggi provenienti dal sole. La lunghezza complessiva del braccio del motore è di circa 40 cm mentre quando il motore è completamente retracts il braccio sporge all'infuori arrivando alla lunghezza di circa 12,5 cm.¹¹ La capacità del motore è tuttavia ottimale, in quanto il movimento generato è perfetto per la nostra parabola poiché riesce a compiere completamente il moto predisposto. Per tale motivo il motore 1 non ha bisogno della coppia di switch, in quanto il movimento dell'attuatore lineare corrisponde allo spostamento massimo della parabola. Lo switch è un elemento del circuito elettrico in grado di fermare la corrente elettrica nel caso in cui il motore, nonostante abbia completato il movimento della parabola, continuasse a spingere, rispettivamente a tirare, rischiando di causare danni anche di grave intensità, sia al disco parabolico, sia alla struttura che lo sorregge.

¹¹ Dati presi osservando i movimenti massimi e minimi che l'attuatore lineare 1 è capace di effettuare.

6.2.1 Movimento della parabola in funzione del motore 1

Il motore 1 è responsabile del movimento che è in grado di seguire l'elevazione del sole nel corso della giornata, cioè approssima l'angolo dell'altezza zenitale del sole. Nello specifico il motore eroga la forza su una barra di ferro rivestita di plastica, agganciata al motore tramite la doppia struttura a L descritta precedentemente. Questa barra è legata mediante viti alla struttura predestinata al movimento. Infatti la cassa di ferro possiede degli incavi predisposti che permettono il movimento.

Durante i test effettuati per studiare il movimento della parabola, abbiamo appurato che la parabola parte da un angolo 0 di circa 7° ed è in grado di generare un angolo di circa 56° (fig. 45) partendo dalla posizione 0 alla posizione di elevazione massimo, ottenendo una copertura angolare massima totale corrispondente a circa 63° .

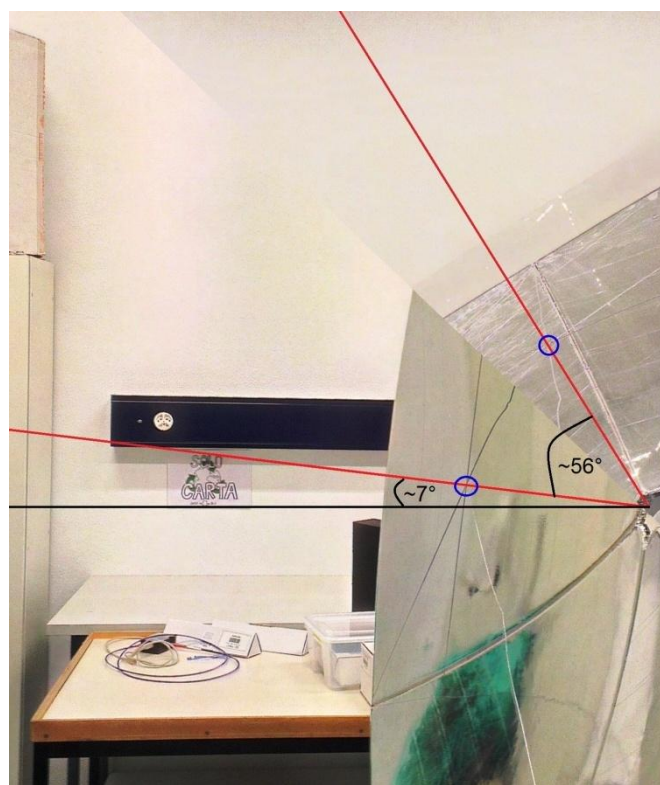


Figura 45: Questa figura è stata ottenuta sovrapponendo due immagini diverse allo scopo di valutare l'ampiezza dell'angolo. Nella posizione angolo 0, ossia quando il motore 2 si trova nella posizione tale che non genera un angolo azimutale, perciò il disco parabolico guarda verso sud, e nella posizione che rappresenta l'angolo massimo che viene a crearsi quando il braccio del motore 1 è totalmente retratto. Le semirette rosse, rappresentano le normali del piano del paraboloide. Infatti le abbiamo ottenute attraverso un raggio laser il quale partiva dal vertice del paraboloide e intersecava il triangolo generato da 3 fili di ferro, passanti da i 6 petali che compongono il disco parabolico. Le due normali generano un angolo di circa 56° . L'angolo ottenuto rappresenta la capacità di movimento del motore 1 quando la parabola è rivolta a sud. Ciononostante il nostro concentratore solare può raggiungere un massimo di circa 63° , in quanto oltre alla capacità di movimento viene a sommarsi l'angolo 0 di circa 7° .

6.3 Motore 2

Il motore 2 (fig. 46) è l'attuatore lineare che possiede la livrea chiara. Come il motore 1 è in grado di attuare una forza di 3'000 N e invertendo la polarizzazione elettrica del circuito del motore, l'attuatore spinge, rispettivamente tira. Il motore 2 ha una maggiore capacità di allungamento rispetto al motore 1. Infatti l'attuatore lineare bianco è in grado di allungare il proprio braccio di 60 cm e retrae completamente il suo braccio, lasciando sporgere unicamente la punta che rimane attaccata alla parabola [15].



Figura 46: Questo è il motore 2, si può vedere chiaramente come sia collegato con la parabola e la barra di ferro che viene spostata dal motore 1. Inoltre in alto a destra si può notare il bullone che passa attraverso un cuscinetto sferico, ciò permette il movimento dell'angolo azimutale.

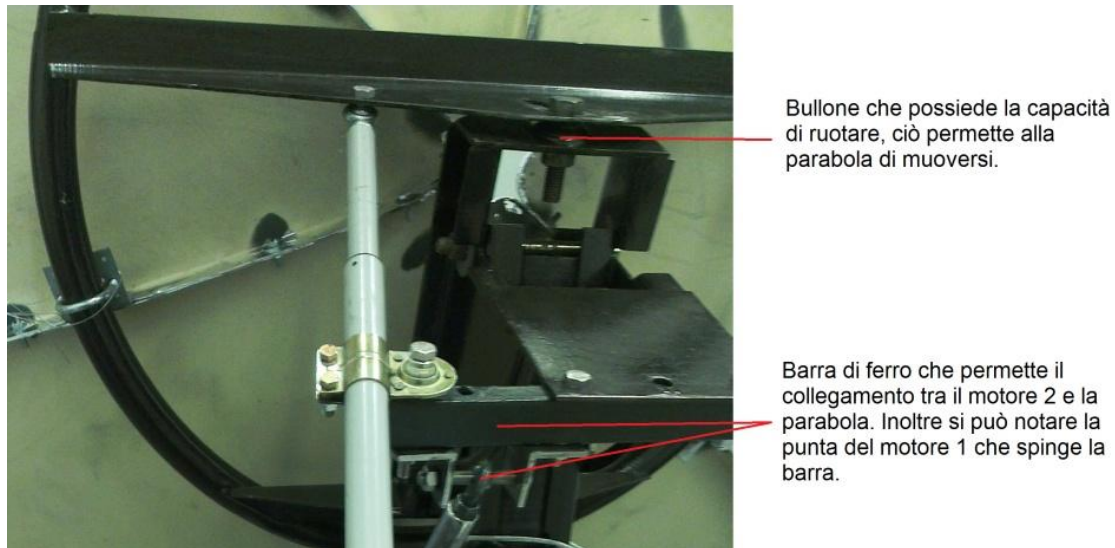


Figura 47: In questa figura viene messa maggiormente in evidenza la barra di ferro con i vari collegamenti ai motori e il bullone fornito di cuscinetto sferico, indispensabile per il movimento sull'asse est-ovest della parabola.

Il motore 2 è collegato alla parabola tramite la barra di ferro mossa dal motore 1 e un foro praticato sulla struttura che tiene insieme i sei petali che costituiscono la parabola. I bulloni che legano il disco parabolico alla struttura portante passano attraverso a due cuscinetti sferici che permettono il movimento nella direzione est, se il motore tirasse verso se stesso, o nella direzione opposta, ossia ovest, qualora il motore permettesse al braccio di allungarsi (fig. 47).

Per questo motore si è reso indispensabile l'utilizzo di due coppie di switch, le quali devono fermare il movimento dei motori nell'eventualità che Arduino invii i segnali per seguire la traiettoria del sole anche dove la struttura e di conseguenza la parabola non siano in grado di arrivarci, ma il motore può ancora allungarsi, rispettivamente accorciarsi.

6.3.1 Movimento della parabola in funzione del motore 2

Questo motore, come abbiamo scritto ripetutamente, è responsabile dello spostamento del disco nell'asse est-ovest, per un osservatore esterno questo movimento si traduce come la variazione dell'angolo del piano della parabola verso sinistra oppure verso destra.

Il movimento viene alterato dal motore 1, poiché spingendo o tirando la barra di ferro viene anche spostato il motore 2, il quale è disposto proprio sopra tale barra. Per studiare gli angoli massimi e minimi che la parabola è in grado di compiere con questo motore, abbiamo tirato tre fili di ferro lungo le linee che costituiscono i petali. Fatto ciò, abbiamo fatto passare un raggio laser, partente dal vertice della parabola e che intersecava il piccolo triangolo venuto a crearsi con i fili di ferro, idealmente dovevamo trovare un unico punto, ma ciò non è stato possibile a causa dei fili di ferro, i quali non erano del tutto tesi e possedevano alcune malformazioni

che li rendevano leggermente storti. Ciononostante questo ci ha permesso di ottenere in linea di massima due punti localizzati nell'asse centrale del paraboloide e di avere una certa precisione durante l'utilizzo del raggio laser.

Dopo aver guardato i punti massimi e minimi, abbiamo attinto alle nozioni di base della trigonometria per scoprire i valori degli angoli in grandi linee, ottenendo nella posizione 0 un angolo massimo verso est di circa 54° e simmetricamente verso ovest di altri circa 54° . In totale il nostro disco parabolico nella posizione 0 è in grado di compiere un angolo massimo di 108° . Inoltre abbiamo notato che a 54° verso est e a 54° verso ovest l'angolo 0 di elevazione della parabola, generato dal motore 1, decresce fino a solamente a circa 3° per motivi strutturali.

Per evitare che quando la parabola giunga ad un suo estremo e il motore continui a spingere o tirare, fisseremo una coppia di switch nei punti critici, uno per fermare il movimento del motore 2 nel caso il sole si trovasse oltre i 54° verso ovest, mentre un altro fermerà il motore 2 se il sole oltrepassasse i 54° verso est.

Gli switch sono dei sensori magnetici e vengono installati quando sussiste il pericolo che due oggetti possono entrare in collisione, recandosi danni a vicenda, perciò gli switch entrano in funzione nel momento in cui gli oggetti presi in considerazione distano meno di 0,5-1 cm tra di loro.

Nel nostro caso, quando due parti che potenzialmente potrebbero urtarsi, ossia il pilone portante e la struttura di sostegno dell'antenna, arriveranno a meno di 1 cm di distanza, gli switch entreranno in funzione chiudendo il circuito e di conseguenza fermando il movimento del motore 2.

6.4 Conclusioni sul movimento della parabola

Il movimento prodotto da entrambi i motori della nostra parabola gode di molti vantaggi, ma allo stesso tempo possiede alcuni svantaggi. Per quello che riguarda l'utilizzo invernale, il nostro concentratore solare riesce a raccogliere una buona percentuale dell'irraggiamento della radiazione solare nel comune di Gaggio, il luogo dove il paraboloide verrà posizionato, come si può vedere nel grafico riportato (fig. 48).

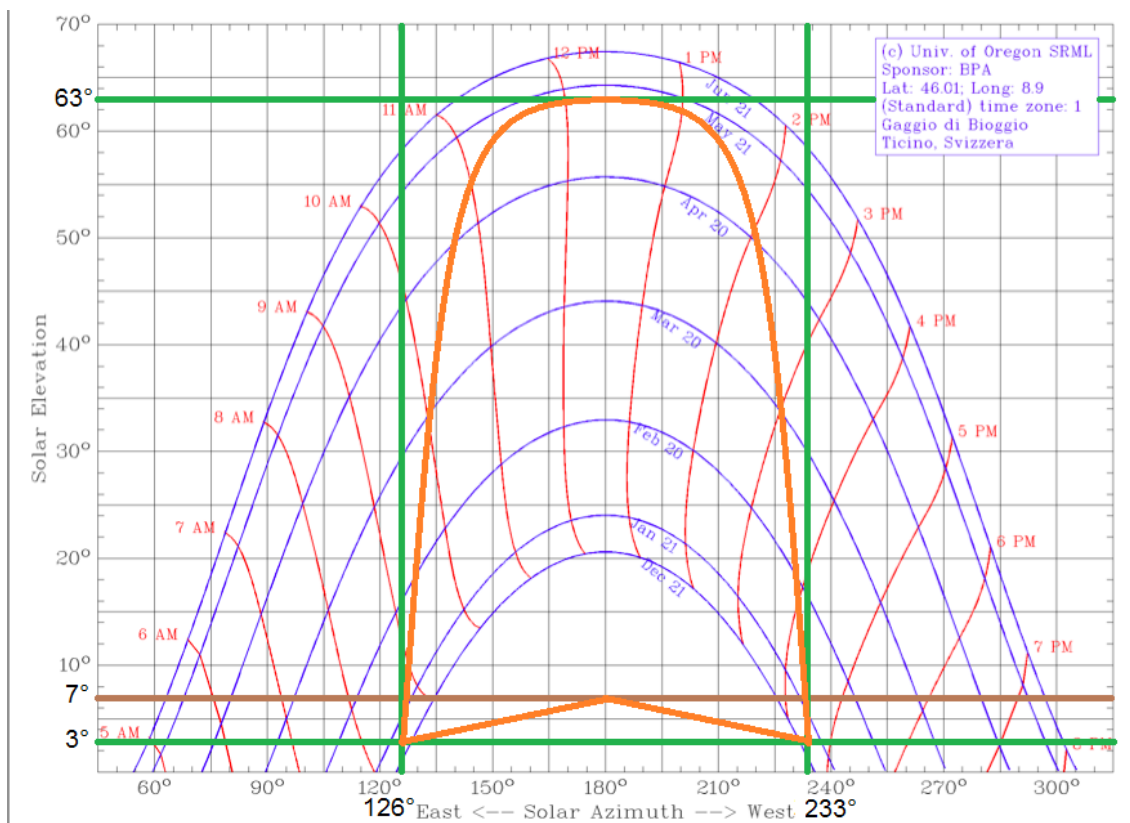


Figura 48: Questo grafico che rappresenta il moto apparente del sole nel comune di Gaggio, Bioggio, Svizzera è stato inizialmente ricavato dal lavoro di maturità "sistema di inseguimento solare per moduli fotovoltaici" elaborato da Santiago Navonne e Michael Newland nel corso dell'anno scolastico 2010-2011. Sull'asse delle ordinate abbiamo l'angolo dell'altezza zenitale del sole mentre sull'asse delle ascisse l'angolo azimutale con 0° direzione Nord, 90° est, 180° sud e 270° ovest. Le linee blu rappresentano le parabole compiute dall'apparente moto del sole nei mesi e nei giorni indicati sul grafico, le linee rosse indicano l'orario. La linea marrone rappresenta l'orizzonte. Infatti le montagne coprono la radiazione solare per i primi 7°. Le linee verdi, invece, rappresentano i massimi e minimi del movimento della parabola, ciò ci ha permesso di tracciare il grafico, espresso in colore arancione, che rappresenta la capacità del nostro concentratore di approssimare la posizione del sole nel cielo. Difatti all'interno delle linee arancioni la parabola è capace di puntare il sole. Fonte: University of Oregon.

Inoltre siamo a conoscenza del fatto che nel pomeriggio viene a crearsi una zona di ombra creata dalla casa e dagli alberi, la quale arriva anche a togliere luce al concentratore solare. Per questa ragione abbiamo pensato di spostare la posizione 0, sul grafico corrisponde a 180°, ossia la direzione sud, verso est di circa 30°, spostando così l'angolo minimo da 126° a 96°, in

modo di fornire al disco parabolico tutta l'energia solare del mattino fino al mese di marzo compreso.

Nel grafico ciò si tramuta come una traslazione del grafico arancione verso est, evitando la zona pomeridiana che risulta dal punto di vista energetico infruttuosa e renderebbe la nostra parabola non performante.

Dal grafico (fig. 48) risulta anche che l'angolo dell'altezza del sole supera di molti gradi la capacità invernale del nostro concentratore solare. Infatti dal grafico si può notare che oltre i 45° dell'elevazione del sole, ossia nel periodo compreso tra il mese di marzo e il mese di settembre, escludendo il mese di giugno, la nostra parabola è capace di sviluppare potenza termica (il grafico arancione raggiunge l'apice del mese di maggio), ciò presuppone che la parabola sia in grado di raccogliere ingenti quantità di energia solare nei mesi primaverili ed estivi. Per questa ragione si può pensare a un possibile utilizzo nel prossimo futuro del concentratore, basato sulla conversione del calore in energia elettrica.

Capitolo 7: Conclusioni

A febbraio abbiamo deciso di svolgere questo progetto, prendendoci la responsabilità di concluderlo, terminando la costruzione e modificando le parti che possedevano lacune e difetti.

Il lavoro da compiere era sistemare il programma informatico aggiungendo un codice che descrivesse i valori ricevuti dal sensore di temperatura (termistore), costruire un nuovo "receiver", fare una prova del funzionamento del supporto della parabola con il calcolo delle ampiezze massime che essa, ruotando, può raggiungere, modificare una componente del circuito elettrico inserita erratamente, eseguire dei test outdoor per calcolare l'efficienza del concentratore e, infine, assemblare il tutto, posizionarlo a casa del professor Cretton a Gaggio e mettere in funzione l'intera struttura.

In questo momento, possiamo dire che la parte principale di costruzione è conclusa, dato che, oltre a inserire gli switch nel circuito elettrico, ci mancano i test e la posa definitiva, unita alla messa in funzione del concentratore.

Nei giorni rimanenti provvederemo a fare dei test, i quali risultati verranno paragonati a quelli ottenuti due anni fa, comparando di conseguenza la capacità dei due differenti "receiver", nella speranza che i nostri siano più positivi e più redditizi.

Quando avremo posato la struttura e di conseguenza la nostra parabola sarà operativa, essa fornirà calore che verrà utilizzato per scaldare l'acqua che verrà utilizzata, sia a livello sanitario, sia fungendo da riscaldamento.

Inoltre, come abbiamo puntualizzato alla fine del capitolo 6, il nostro concentratore solare potrebbe teoricamente essere in grado di sviluppare energia termica anche in momenti, nei quali la parabola non è predisposta al funzionamento, ossia nei mesi primaverili ed estivi. Per tale ragione, in futuro si può pensare alla conversione di questo calore in eccedenza in energia elettrica, in modo di rendere la struttura multifunzionale e incrementare le sue prestazioni.

Per noi questo lavoro di maturità non ha rappresentato solo una materia scolastica obbligatoria, ma la possibilità di lavorare in modo diverso da ciò che facciamo solitamente in quanto studenti.

Infatti, durante questo anno, abbiamo potuto operare quasi come una vera e propria "equipe" che realizza impianti di concentrazione solare, ossia partendo da una parte di puri ragionamenti e calcoli teorici o matematici per terminare con una componente di lavoro manuale non indifferente.

Ovviamente, come in ogni ambiente lavorativo, abbiamo incontrato vari imprevisti, sia a livello di idee di fondo, sia di costruzione vera e propria. Superare gli ostacoli che abbiamo finora in-

contratto ci è servito come insegnamento per la vita futura, dimostrando in questo modo i valori del lavoro di maturità, ossia la componente pedagogica istruttiva e formativa.

Capitolo 8: Ringraziamenti

In primis vogliamo ringraziare il professor Nicolas Cretton per averci dato la possibilità di svolgere questo progetto, che ci ha aiutato per tutta la durata del periodo dedicato al lavoro di maturità e finanziando tutti gli acquisti necessari per le componenti che costituiscono la struttura del nostro concentratore solare.

Inoltre, grazie alla sua attenta supervisione e a una precisa metodologia di insegnamento, è riuscito ad accompagnarci nello svolgimento del lavoro nel migliore dei modi, trasmettendoci molto affiatamento, interesse e valori formativi durante la realizzazione del progetto.

In seguito vorremmo ringraziare tutti i nostri compagni che formano il gruppo del Lavoro di maturità di fisica per il contributo pratico e la collaborazione reciproca e i professori che ci hanno aiutato fornendoci materiali e locali per lo sviluppo del nostro concentratore.

Per la comprensione del programma informatico è stato molto utile il contributo e il sostegno di Matteo Nicoli, ex allievo del liceo Lugano 2, nonché uno dei quattro studenti che avevano iniziato il progetto che abbiamo deciso di continuare.

Da ultimo, ma non per questo meno importante, ringraziamo Claudia Canonica per l'aiuto fornitoci per l'impaginazione e per le componenti tecniche legate alla redazione e alla presentazione del documento.

Capitolo 9: Bibliografia, sitografia e referenze

9.1 Documenti

CASSIS Giada, NICOLI Matteo, KICK Janina, KNECHT Chiara, CONCENTRATORE SOLARE PARABOLICO AD INSEGUIMENTO AUTOMATICO, elaborato nell'anno 2012-2013, "http://www.nicolascrutton.ch/LM/LAM_Knecht_Kick_Cassis_Nicoli.pdf".

GRÜNINGER Richaross, MARCOTULLIO Sandro e KUNNAKATT Stanley, CONCENTRATORE PARABOLICO SOLARE A FORMA DI GRONDA CON INSEGUIMENTO AUTOMATICO, elaborato nell'anno 2012-2013, "http://www.nicolascrutton.ch/LM/LAM_Grueninger_Kunnakatt_Marcotullio.pdf".

NAVONNE Santiago, NEWLAND Michael, SISTEMA DI INSEGUIMENTO AUTOMATICO SOLARE PER MODULI FOTOVOLTAICI, elaborato nell'anno 2010-2011, "http://www.nicolascrutton.ch/LM/LAM_Navonne_Newland.pdf".

Dr. K. S. REDDY, SOLAR THERMAL POWER GENERATION, in collaborazione con l'istituto indiano di tecnologia, dipartimento di ingegneria meccanica, pubblicato il 28 aprile 2008, "<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890407002440>".

9.2 Sitografia delle immagini

[A], [B]: Airlight Energy SA, www.airlightenergy.com, sito internet, curato dall'omonima azienda svizzera, entrata nel mercato globale attraverso la vendita e progettazione di impianti di concentratori solari molto performanti. Da questo link "<http://www.airlightenergy.com/new-dimensions-in-trough-technology>" abbiamo attinto le informazioni riguardo la conversione di energia termica in energia elettrica mediante stoccaggio e utilizzando il ciclo di Rankine.

[C]: Solar Thermal Power, www.solarthermalpower.it, sito che mostra impianti termici fondati sui concetti della concentrazione solare. Il seguente link "<http://www.solarthermalpower.it/documenti/2011%2009%2015%20Manutenzione%20%20Stirling%20-%20Armanasco%20-%20Brignoli%20-%20Rossetti%20%20RSE.pdf>" ci ha permesso di raccogliere informazioni riguardo il paraboloide solare EnviroDish che utilizza il ciclo di Stirling per produrre energia elettrica.

[D]: Eco Applicazioni, www.ecoapplicazioni.it, sito italiano designato allo studio di applicazioni energetiche attraverso uno sviluppo ecologico e sostenibile.

[E]: Clean Energy Action Project, www.cleanenergyactionproject.com, sito che tratta e studia diverse varianti di energia rinnovabile con esempi di impianti già in funzione in tutto il mondo

[F]: Ener-Coop, www.ener-coop.es, sito web di un progetto spagnolo con l'obiettivo di promuovere lo sfruttamento dell'energia rinnovabile, per conoscere le potenzialità delle fonti di energia rinnovabile e migliorare lo sfruttamento delle fonti energetiche locali in Andalusia e a Norte De Marruecos. Esso è stato utile per trovare informazioni su progetti riguardanti la concentrazione solare nel mondo.

[G]: Ivanpah, www.ivanpahsolar.com, sito che pubblica i dati e le immagini inerenti all'impianto Ivanpah Solar Electric Generating System, situato nel deserto del Mojave in California (USA), costruito sfruttando le tecnologie sviluppate dalla BrightSource Energy nel campo della concentrazione solare a torre. A questo progetto hanno partecipato finanziariamente anche NRG Energy e Google.

[H]: CSP World, www.csp-world.com, sito che pubblica dati e immagini inerenti il mondo dei concentratori solari.

[I]: Novatec Solar, www.novatecsolar.com, sito dell'omonima compagnia tedesca fondata nel 2006 con lo scopo di sviluppare nuove tecnologie nell'ambito della concentrazione solare (CSP).

[L]: Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS), www.iass-potsdam.de/en, sito creato dalla associazione IASS, fondata nel 2009, che pubblica dati e ricerche allo scopo di sensibilizzare l'opinione pubblica e di promuovere lo sviluppo riguardante la sostenibilità globale. La visione del documento "PARABOLIC TROUGH, LINEAR FRESNEL, POWER TOWER" elaborato dal Dr-Ing. Robert Pitz-Paal è stata molto utile.

[M], [N]: ENEA, www.enea.it, sito italiano, il quale rappresenta una risorsa utile, in quanto possiede informazioni prettamente focalizzate sull'energia solare.

[O], [P]: Repower, www.repower.com, sito internet svizzero che pubblica dati inerente la tematica delle energie rinnovabili in ambito prevalentemente europeo.

[Q], [R]: Ufficio federale dell'energia (UFE), www.bfe.admin.ch, sito svizzero curato dalla stessa confederazione, in particolar modo dal Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni (DATEC). L'analisi del documento "Statistica svizzera delle nuove energie rinnovabili nell'anno 2013" scaricabile presso il link ["http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_913558960.pdf"](http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_913558960.pdf) ci ha permesso di ottenere interessanti informazioni e ci ha fornito intriganti spunti di riflessione.

[S]: Arduino, www.arduino.cc, sito internet prodotto dall'omonima società, la quale si occupa di sviluppare e creare schede hardware programmabile attraverso il software scaricabile dal sito.

[T]: Adafruit, www.adafruit.com, sito da cui abbiamo ricavato le informazioni necessarie per costruire il circuito per la parte del termistor e per scrivere la parte di programma.

[U]: QSL, www.qsl.net, sito internet, nel quale abbiamo trovato informazioni matematiche utili sulla parabola e sul paraboloide.

[V]: 220 volt, www.220volt.it, sito italiano che si occupa di impianti parabolici professionisti, per tale ragione abbiamo attinto informazioni utili riguardo il nostro progetto.

9.3 Referenze delle immagini

[A]: Airlight Energy - products - Dsolar:

["http://www.airlightenergy.com/hcpvt-2-2"](http://www.airlightenergy.com/hcpvt-2-2).

[B]: Airlight Energy - projects - Ait Baha CSP pilot plant:

["http://www.airlightenergy.com/ait-baha-pilot-plant"](http://www.airlightenergy.com/ait-baha-pilot-plant).

[C]: Solar thermal power - dish stirling:

["http://www.solarthermalpower.it/Le%20tecnologie%20degli%20impianti%20dish%20Stirling%201.htm"](http://www.solarthermalpower.it/Le%20tecnologie%20degli%20impianti%20dish%20Stirling%201.htm).

[D]: Ecoapplicazioni - archivi - ottobre 2008 - Andasol 1:

<http://www.ecoapplicazioni.it/20081008/andasol-1-elettricit-solare-termico-in-spagna.html>

[E]: ENER-COOP - ACTIVIDADES - VISITAS A INSTALACIONES - CENTRAL TERMOSOLAR ANDASOL

1: ["http://ener-coop.es/central-termosolar-andasol-1/"](http://ener-coop.es/central-termosolar-andasol-1/).

[F]: Clean Energy Action Project - Case Studies - Solar CSP - Andasol Solar Power Station:

"http://cleanenergyactionproject.com/CleanEnergyActionProject/Solar_CSP_Concentrating_Solar_Power_Case_Studies.html".

[G]: Ivanpah - what is Ivanpah?:

"<http://www.ivanpahsolar.com/about>".

[H]: CSP world - CSP World Map - Spagna:

"<http://www.csp-world.com/cspworldmap/liddell-solar-thermal-station>".

[I]: Novatec Solar - News and Milestone - 17 december 2010:

"<http://www.novatecsolar.com/79-1-Australias-Largest-Solar-Thermal-Plant-to-Expand.html>".

[L]: L'immagine presa in causa è stata ottenuta dalla 6^a pagina del documento scaricabile presso il seguente link:

"http://www.iass-potsdam.de/sites/default/files/files/12.5-iass_pitz-paal.pdf".

[M], [N]: ENEA - ENEA informa - le parole dell'energia - solare termodinamico - tecnologie disponibili:

"http://www.enea.it/it/enea_informa/le-parole-dellenergia/solare-termodinamico/tecnologie-disponibili".

[O],[P]: Repower - energia - contesto energetico - la produzione di elettricità in Europa:

"<http://www.repower.com/gruppo/energia/contesto-energetico/la-produzione-di-elettricita-in-europa/>".

[Q], [R]: UFE - Temi - Statistiche svizzere - Statistiche parziali - Statistica svizzera delle nuove energie rinnovabili:

"http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_913558960.pdf".

[S]: Arduino - products - arduino Uno:

"<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>".

[T]: Adafruit - thermistor - using a thermistor:

"<https://learn.adafruit.com/thermistor/using-a-thermistor>".

[U]: QSL - antenna - parabola 2.4 Ghz 23.08.2000:

["http://www.qsl.net/ik1hgi/atv/para24.htm"](http://www.qsl.net/ik1hgi/atv/para24.htm)

[V]: 220 Volt - Blog - impiantistica - una parabola per più satelliti:

["http://220volt.it/una-parabola-per-piu-satelliti-multifeed-diseqc/"](http://220volt.it/una-parabola-per-piu-satelliti-multifeed-diseqc/).

9.4 Referenze

[1]: Airlight Energy SA, www.airlightenergy.com, sito internet, curato dall'omonima azienda svizzera, entrata nel mercato globale attraverso la vendita e progettazione di impianti di concentratori solari molto performanti.

The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6), www.wcpec-6.com, sito della conferenza internazionale sulla conversione dell'energia fotovoltaica a cui ha partecipato Airlight Energy SA.

World Future Energy Summit (WFES), ["http://www.worldfutureenergysummit.com/"](http://www.worldfutureenergysummit.com/), sito del summit sull'energia che si terrà ad Abu Dhabi nel 2016

[2]: Dati sul parco solare ad Ait-Bata, Marocco presi dal sito

["http://www.ilsole24ore.com/art/impresa-e-territori/2013-04-09/airlight-energy-investe-milioni-164755.shtml?uuid=AbriklH"](http://www.ilsole24ore.com/art/impresa-e-territori/2013-04-09/airlight-energy-investe-milioni-164755.shtml?uuid=AbriklH), mentre le informazioni riguardo Italcementi Group sono pubblicate sul sito ["http://www.italcementigroup.com/ITA/Italcementi+Group/"](http://www.italcementigroup.com/ITA/Italcementi+Group/).

Il Sole 24 ORE, www.ilsole24ore.com, sito italiano dell'omonimo quotidiano di carattere economico che pubblica articoli prevalentemente del mondo finanziario.

Italcementi Group, www.italcementigroup.com/ITA, sito curato dall'omonima azienda italiana, nel quale si possono trovare utili e interessanti informazioni.

[3]: I dati riguardanti i "Dish Stirling" sono stati pubblicati sul sito

["www.genitronsviluppo.com/2008/02/13/motori-stirling-50-milioni-di-per-infinia-le-nuove-parabole-solari-ad-alta-efficienza-35-kw-da-una-tecnologia-di-2-secoli-fa"](http://www.genitronsviluppo.com/2008/02/13/motori-stirling-50-milioni-di-per-infinia-le-nuove-parabole-solari-ad-alta-efficienza-35-kw-da-una-tecnologia-di-2-secoli-fa), dove viene specificato che questi generatori possono raggiungere valori di rendimento pari al 24%. In seguito questo dato è stato confrontato con i dati inerenti il generatore EnviroDish, raccolti al punto [C].

GenitronSviluppo, www.genitronsviluppo.com, sito internet di un blog che pubblica articoli e dati sul settore dell'innovazione sostenibile.

[3]: I dati estratti dall'articolo del 24 settembre 2014 riguardante il disco parabolico è stato pubblicato sul link seguente "<http://www.greenreport.it/news/acqua/nuova-rivoluzionaria-tecnologia-solare-fotovoltaica-termica-per-elettricit -acqua-calda-potabile-aria-fredda/#prettyPhoto>".

Greenreport, www.greenreport.it, sito italiano che pubblica articoli di carattere ecologico, spesso forniti da Greenpeace, in collaborazione con il quotidiano "La Repubblica".

[4]: Dati riguardo il sistema "heliostat", eliostato, estratti dai siti "<http://lightmanufacturingsystems.com/heliostats/>" e "<http://lightmanufacturingsystems.com/question/whats-a-heliostat/>".

LightManufacturingtm, www.lightmanufacturingsystems.com, sito internet dedicato alla vendita di sistemi "heliostats", spiegando i concetti fondamentali di tali strutture.

[5]: Figura 8 e Tabella 1 presi da "http://www.enea.it/it/enea_informa/le-parole-dellenergia/solare-termodinamico/tecnologie-disponibili".

ENEA, www.enea.it, sito italiano, il quale rappresenta una risorsa utile, in quanto possiede informazioni prettamente focalizzate sull'energia solare.

[6]: Test 2, lavoro di maturit  precedente "[CONCENTRATORE SOLARE PARABOLICO AD INSEGUIMENTO AUTOMATICO](http://www.nicolascr tton.ch/LM/LAM_Knecht_Kick_Cassis_Nicoli.pdf)", pg. 38:
"http://www.nicolascr tton.ch/LM/LAM_Knecht_Kick_Cassis_Nicoli.pdf".

[7]: Dati inerenti la radiazione solare estratti dal sito "www.enea.it/it/enea_informa/le-parole-dellenergia/radiazione-solare/quanta-energia-solare-arriva-sulla-terra".

ENEA, www.enea.it, sito italiano, il quale rappresenta una risorsa utile, in quanto possiede informazioni prettamente focalizzate sull'energia solare.

[8]: Dati pubblicati dal sito "<http://prtr.ec.europa.eu/FacilityLevels.aspx>", in merito a una ricerca effettuata da Greenpeace, dove analizzano l'impatto sanitario delle centrali elettriche a carbone. "http://www.greenpeace.org/italy/Global/italy/report/2013/clima/Killer_silenziosi.pdf" e "<http://www.greenreport.it/news/energia/il-killer-silenzioso-in-europa-le-centrali-a-carbone-fanno-due-morti-allora/#prettyPhoto>".

The European Pollutant Release and Transfer Register (E-PTRT), prtr.ec.europa.eu/Home.aspx, sito internet gestito da EEA (European Environment Agency) che pubblica e gestisce dati riguardanti l'inquinamento europeo.

Greenpeace, www.greenpeace.org, sito internet curato dall'omonima organizzazione ambientalista, nel quale vengono resi disponibili dati e ricerche riguardo il mondo ecologico. Per l'introduzione abbiamo visionato il documento "KILLER SILENZIOSI: L'impatto sanitario delle centrali a carbone europee", pubblicato nel giugno 2013.

[9]: Dato riguardante l'anno 2013 estratto dal sito "<http://www.iaea.org/pris/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx>".

IAEA (International Atomic Energy Agency), www.iaea.org, sito che si occupa di tutto quello che riguarda l'energia prodotta a partire dalla fissione nucleare, partendo da statistiche riguardanti le nazioni fino a arrivare a testimonianze e articoli inerenti assemblee e congressi in cui si è parlato di questo tema.

[10]: Dati presi dal sito "<http://www.digikey.ch/product-detail/it/USP10976RA/615-1086-ND/2651604>" dove è possibile acquistare sensori e altri accessori di carattere elettronico.

Digikey, www.digikey.ch, sito internet, dal quale abbiamo attinto informazioni utili in merito a utensili elettronici.

[11]: Equazione ripresa dal sito "<https://learn.adafruit.com/thermistor/using-a-thermistor>" che mette in relazione la temperatura e la resistenza del termistore. Dalla stessa fonte abbiamo ottenuto anche il semplice circuito elettrico del termistore (figura 8) e lo sketch che permette ad Arduino di conoscere il valore della resistenza elettrica.

Adafruit, www.adafruit.com, sito da cui abbiamo ricavato le informazioni necessarie per costruire il circuito per la parte del termistore e per scrivere la parte di programma.

[12]: Dato preso dal sito <http://www.digikey.ch/product-detail/it/USP10976RA/615-1086-ND/2651604>.

[13]: I dati inerenti i cuscinetti cilindrici sono stati prelevati dal sito "<http://www.conrad.ch/ce/fr/product/197359/Roulement-A-Billes-Rainure-1-Rang-61803-UBC-Bearing-0/1101103?ref=list>".

Conrad, www.conrad.ch, sito svizzero dell'omonimo fornitore, dove è possibile acquistare componenti di carattere elettronico e meccanico.

[14]: I dati inerenti il motore 2 sono stati prelevati dal sito "<http://www.satmultimedia.tv/superjack-harl-3624-actuator>".

SatMultimedia - Satellite TV Gear, www.satmultimedia.tv, sito che permette l'acquisto di prodotti televisivi, nel nostro caso l'abbiamo adoperato per scoprire le informazioni sui motori del nostro progetto.