Gronde paraboliche solari con inseguimento automatico

Lavoro di maturità
di
Bizzozero Manuela, Casiraghi Erika, Keller Claudio

Docente: Prof. Nicolas Cretton

Anno 2014

Sommario

1 Considerazioni generali 3
1.1 L'energia 3
1.2 I concentratori solari 4
2 Le gronde 5
2.1 Parabola: perché proprio questa forma? 5
2.2 I CSP parabolici lineari 6
3 Applicazioni nel mondo 8
3.1 Solana 8
3.2 Crescent Dunes 9
3.3 Genesis Solar 9
3.4 Mojave Solar One 10
3.5 Ivanpah Solar Electric Generating System 11
4 La costruzione del nostro impianto 14
4.1 Il motore 14
4.2 Le gronde 16
4.2.1 Lastre di alluminio 16
4.2.2 Gli header 17
4.2.3 I ponti 18
4.2.4 Il mylar 19
4.3 La struttura di sostegno 20
4.4 Progettazione e costruzione di un sostegno di prova per due gronde 22
4.5 Nuovi header 25
4.6 Applicazione della vernice sui pezzi d'acciaio 29
5 Ubicazione dell'impianto 30
6 Conclusioni 32
7 Sitografia delle immagini 33
8 Sitografia e referenze 33

Abstract

Il nostro progetto è la continuazione di due lavori antecedenti svolti da ex-studenti del Liceo Lugano 2 di Savosa. Esso consiste nella costruzione di concentratori parabolici solari a forma di gronda con inseguimento automatico, che verranno in seguito collocati all'esterno dell'abitazione del Professor Cretton per ottimizzare la produzione di energia termica nei mesi invernali per il riscaldamento della casa e dell'acqua sanitaria.
Il primo lavoro si era concluso con la costruzione di un prototipo di un concentratore, mentre il secondo con la costruzione di 16 scheletri di gronde con i "ribs", delle costole di legno. Quest'ultimo progetto ha apportato diverse modifiche rispetto al prototipo, atte a migliorare la solidità delle gronde ed a garantirne l'efficienza e la durata negli anni.
In questo lavoro di maturità vogliamo trattare passo per passo i punti riguardanti la continuazione della costruzione del motore, delle gronde e delle sue componenti. Abbiamo inoltre esposto le modifiche atte a migliorarne la solidità, la stabilità e la conservazione nel tempo. Inoltre parleremo della progettazione e della realizzazione della struttura di supporto edificato appositamente per queste gronde.
Il nostro lavoro è stato prevalentemente tecnico in quanto abbiamo dovuto terminare un progetto già ampiamente iniziato.

1 Considerazioni generali

1.1 L'energia

L'energia ha da sempre un ruolo fondamentale nella vita di tutti i giorni: la utilizziamo per riscaldare l'acqua, per ottenere luce, per far funzionare gli elettrodomestici, ecc., senza di essa il nostro stile di vita sarebbe insostenibile. Esistono differenti modi per riuscire ad ottenerne, come per esempio gli impianti termici, quelli fotovoltaici e quelli a concentrazione.
Il fabbisogno di energia (indipendentemente se termica, elettrica, o di altro tipo) di una casa è definito come la somma dell'energia necessaria per il riscaldamento (invernale ed estivo), per la ventilazione, gli elettrodomestici e l'illuminazione degli ambienti interni.
Per una casa di superficie di 110-120 m^2, come ad esempio quella del professor Cretton, il consumo energetico durante un anno (senza tener conto del camino e dell'impianto solare termico) è di circa 7'643 kWh. È necessario precisare che la casa è dotata di un efficiente sistema d'isolamento (finestre con triplo vetro, nuovo isolamento del tetto e dei muri). Ciononostante circa il 60% di tale energia è utilizzato per il riscaldamento e l'acqua sanitaria. Si può dunque notare che la spesa per riscaldare una casa è un fattore molto importante che il proprietario deve considerare[1].
L'irraggiamento del sole (cioè l'energia che **costantemente** arriva sulla terra) è di circa 1000 W/m^2 [2]. Con questi dati è facilmente intuibile l'enorme quantità di energia che avremmo a disposizione, se riuscissimo a sfruttarla adeguatamente.
Inoltre, come mostra la figura 1, l'aumento della popolazione comporta un aumento del consumo di energia e quindi, se i combustibili fossili rimangono la principale fonte di questa energia, aumenterebbe anche la quantità di CO_2 nell'atmosfera. È perciò molto importante trovare nuovi metodi o migliorare quelli già funzionanti per produrre maggiore energia pulita.

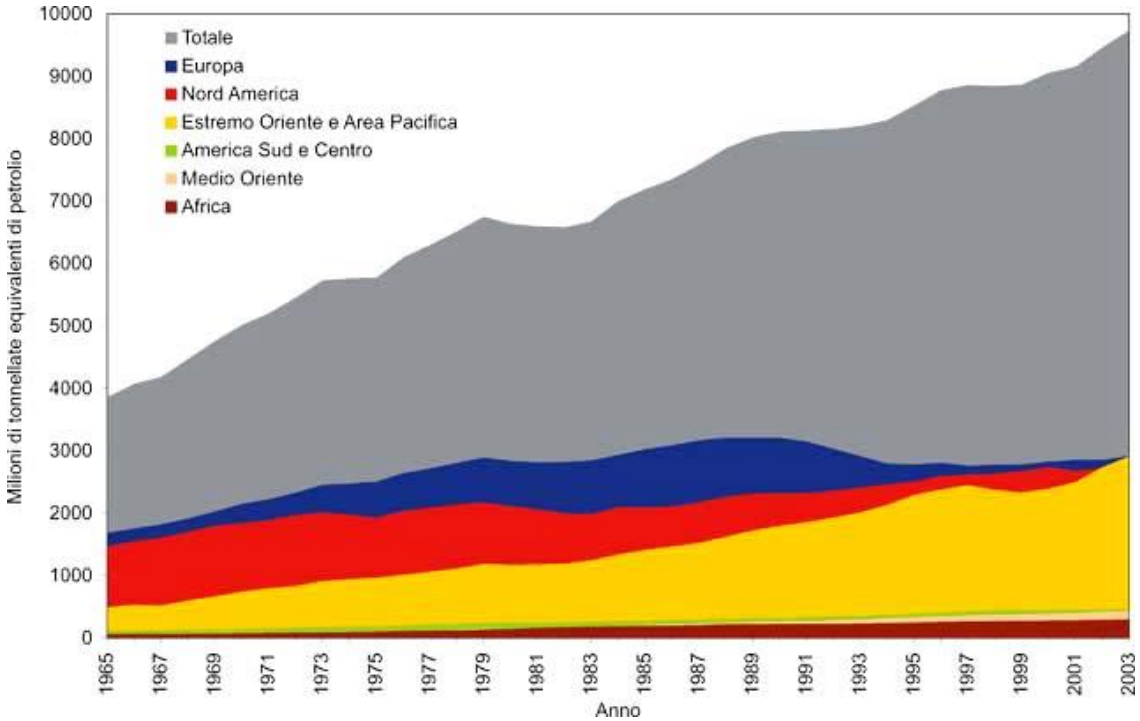


Figura 1: Consumo mondiale di energia

1.2 I concentratori solari

Per il nostro progetto abbiamo utilizzato il sistema a concentrazione, il CSP (dall'inglese Concentrated Solar Power).
I concentratori solari hanno lo scopo di concentrare i raggi del sole in un unico determinato punto per poi sfruttare la loro energia sotto forma di energia termica.
Il collettore, rivestito con un materiale riflettente, segue il movimento del sole in modo tale da essergli sempre perpendicolare, così da riuscire a deviare i raggi sempre nello stesso punto. Il ricevitore, posto sul fuoco o sulla linea focale (a dipendenza del modello usato), contiene un fluido che viene riscaldato dai raggi solari ed assorbe energia per poi rilasciarla scaldando l'acqua presente in un boiler[3].
Esistono principalmente quattro tipi di concentratore solare: parabolico (figura c), a torre (figura d) e parabolico lineare, sviluppabile in due varianti (figure a, b).
Grazie ai *solar tracker*[*4*], letteralmente "inseguitori solari", si riesce a massimizzare l'efficienza di un impianto orientando la struttura sempre perpendicolare ai raggi solari così da deviarli costantemente sul punto di fuoco. In questo modo l'efficienza può aumentare del 30% rispetto ad un impianto fisso[5].
Nel nostro lavoro di maturità ci occuperemo della figura "a" del concentratore parabolico lineare, il modello "a gronde".

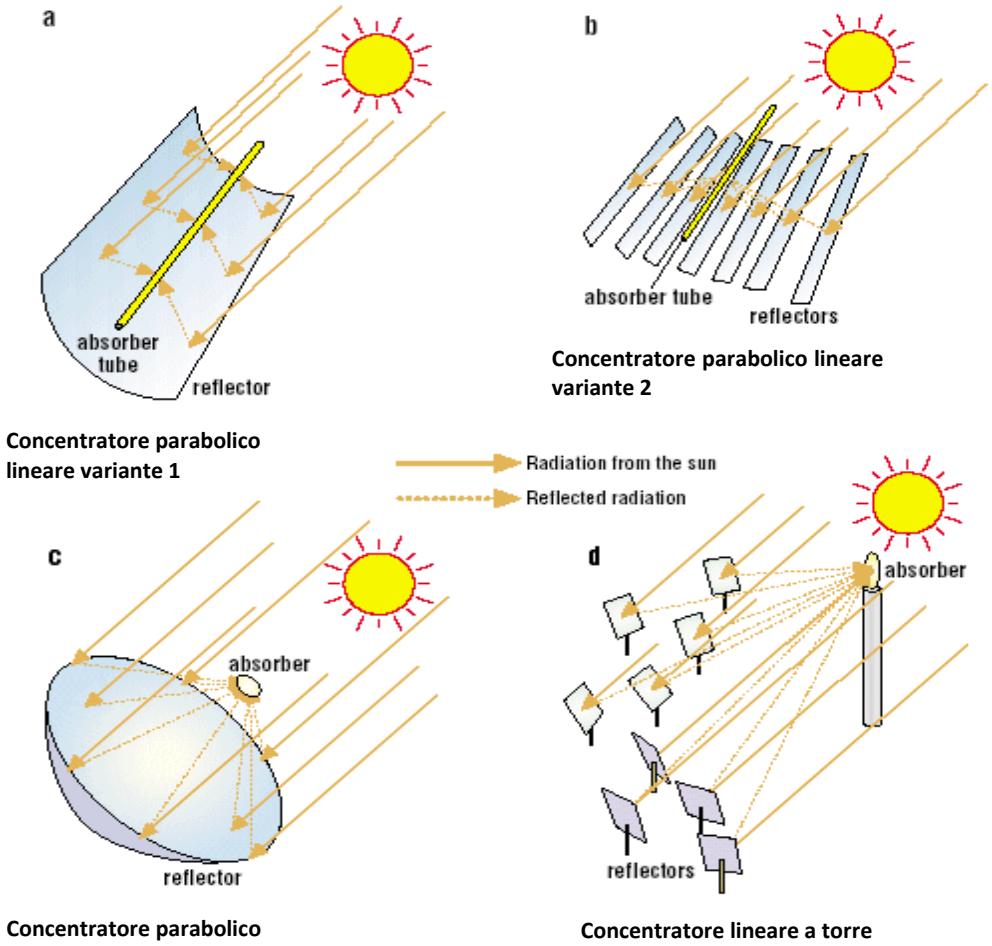


Figura 2: I quattro tipi di concentratore solare

2 Le gronde

2.1 Parabola: perché proprio questa forma?

Una parabola è una curva conica, definibile come il luogo dei punti del piano equidistanti da un punto (fuoco) e da una retta (direttrice) fissi.

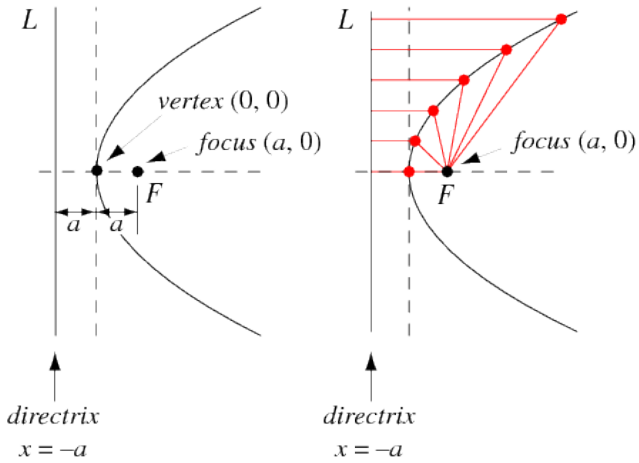


*Figura 3: Nell'immagine a sinistra è mostrata la direttrice **L** che è ad una distanza **a** dal vertice e **2a** dal fuoco. Il vertice è dunque equidistante dalla direttrice e dal fuoco. Nell'immagine di destra si può osservare che prendendo un qualunque punto sulla parabola esso avrà la stessa distanza dal fuoco e, perpendicolarmente, dalla direttrice.*

Se nella figura 3 il fuoco è un punto, dobbiamo ricordare che le gronde sono tridimensionali, perciò il fuoco diventa una linea. Tuttavia esse non sono delle parabole perfette, hanno dei leggeri difetti di costruzione, per cui, in definitiva, il fuoco è da considerare cilindrico.
Dalla figura 4 il motivo della scelta di questa forma: tutti i raggi solari che incontrano la gronda vengono deviati sul tubo collettore posto sull'asse focale, aumentando la quantità di energia che arriverebbe sul tubo senza l'aiuto degli specchi.

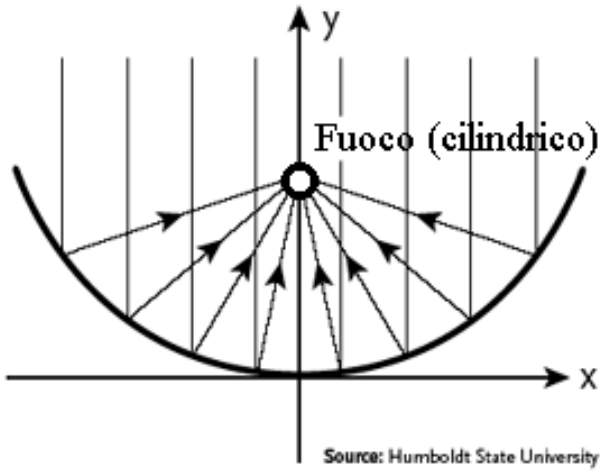


Figura 4: I raggi del sole che colpiscono la gronda vengono deviati sul tubo collettore

2.2 I CSP parabolici lineari

I CSP, in generale, sono dei sistemi ad inseguimento automatico provvisti di un motore che permette loro di mantenere l'inclinazione giusta rispetto al sole, così da deviare i raggi sempre sull'asse focale.
Essi sono una nuova tecnologia, ancora in fase di espansione, ma possiedono un grande potenziale. Infatti, essi sono in grado di catturare una grande quantità di energia in una piccola area e, soprattutto, permettono lo stoccaggio di energia termica, così da averla a disposizione costantemente[6], anche in caso di nuvolosità.
Per fare ciò i CSP utilizzano degli specchi (figura 5) e ruotano su un solo asse sul quale è posto il ricevitore[7].

Figura 5: Un esempio di impianto CSP, 354 MW di potenza, San Bernardino County, California

I CSP riescono a catturare circa il 75-80% [8] dell'energia solare che colpisce loro e possono quindi essere considerati molto efficienti sotto quest'aspetto, considerando che gli impianti fotovoltaici si limitano al 20% [9].
Il grande vantaggio di questi sistemi, come già detto in precedenza, è la possibilità di stoccaggio dell'energia. Dato che il sole non splende tutto il giorno tutto l'anno, senza questa possibilità non sarebbe possibile avere energia disponibile costantemente.
A livello casalingo ciò è fattibile grazie ad un comune boiler contenente acqua che viene riscaldata. In larga scala possiamo prendere come esempio l'Airlight Energy, un'azienda locale di Biasca in Ticino, che utilizza grandi pozzi pieni di sassi e rocce nei quali viene fatta passare dell'aria dopo essersi riscaldata passando attraverso i tubi concentratori. L'aria cede la sua energia termica ai sassi che fungono da "magazzini". Per adoperare, in seguito, questa energia termica viene pompata altra aria fredda, la quale si riscalda, entra in delle turbine e genera energia elettrica[10].

Il nostro progetto utilizza il sistema CSP in quanto il nostro interesse è quello di ottimizzare la produzione di energia termica per il riscaldamento e per l'acqua sanitaria e non quello di produrre energia elettrica che viene, invece, creata dagli impianti fotovoltaici (PV).
Essi convertono direttamente l'energia solare in energia elettrica e, siccome risulta difficile riuscire a conservarla e dato che viene prodotta solamente con la presenza del sole, non fa al caso nostro in quanto il nostro impianto serve soprattutto in inverno[11].

La Terra riceve dal sole molta più energia di quella davvero necessaria all'uomo. Come si vede nella figura 6, se la porzione di terra inquadrata in rosso a sinistra fosse ricoperta da impianti di gronde, il fabbisogno mondiale di energia verrebbe compensato. Il quadrato centrale indica, invece, la superficie territoriale necessaria per soddisfare il fabbisogno energetico dell'Europa, mentre il più piccolo quello della Germania[12].

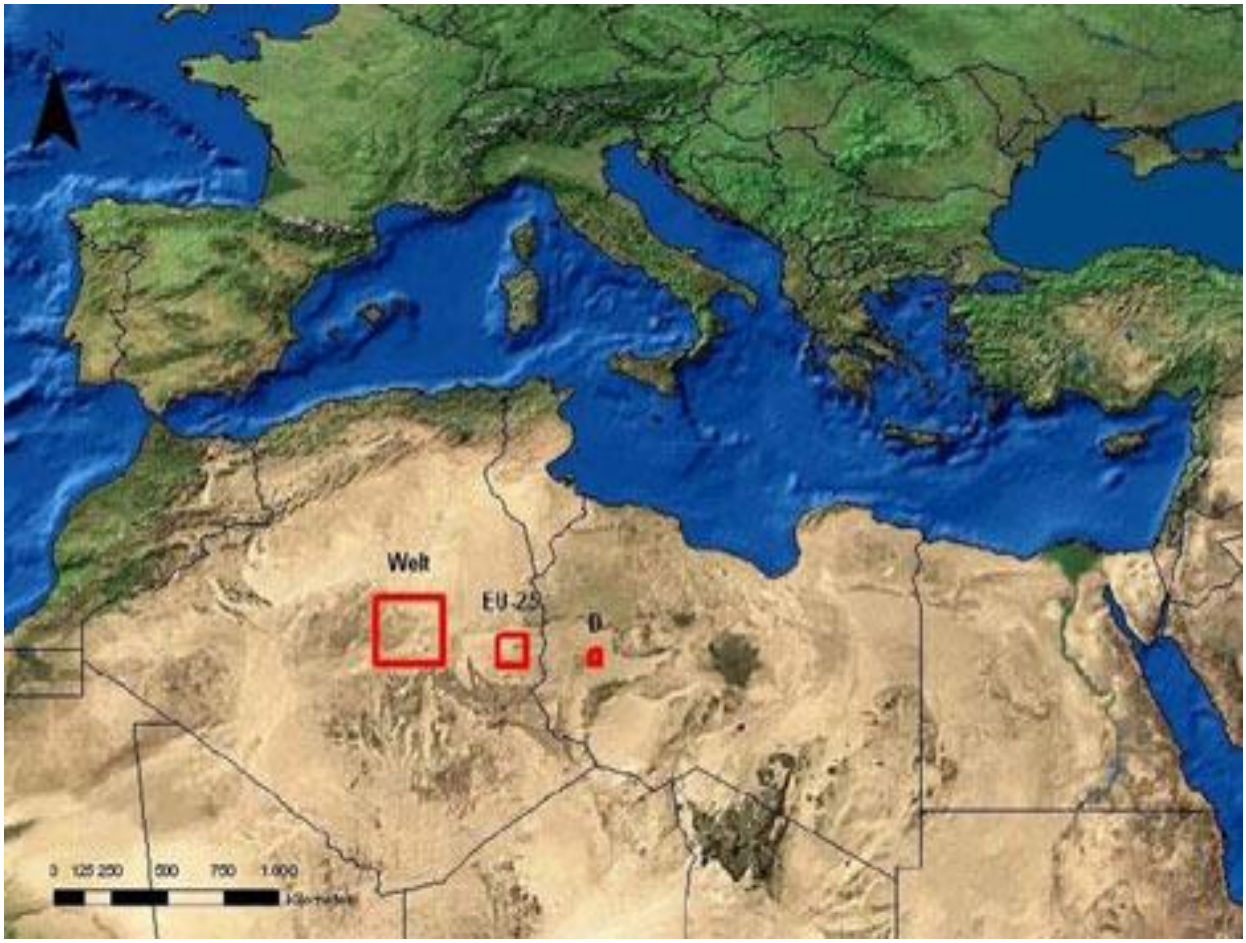


Figura 6: I tre quadrati rappresentano, partendo da sinistra, la superfice necessaria per soddisfare il fabbisogno energetico mondiale, europeo e tedesco se fosse ricoperta da CSP

3 Applicazioni nel mondo

Il 2014 è stato un anno molto importante[13] per questi sistemi di produzione di energia in quanto, grazie a sostenitori e investimenti del Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti (DOE), sono state terminate cinque dei più innovativi impianti di CSP al mondo che permettono di quadruplicare la capacità energetica statunitense (circa 1'252 MW). Questi impianti si trovano a sud-ovest negli Stati Uniti nei seguenti Stati: in Arizona troviamo *Solana*, in Nevada *Crescent Dunes* e in California *Genesis Solar, Mojave solar one* e, infine, il più grande e potente sistema CSP al mondo, l'*Ivanpah Solar Electric Generating System.*

3.1 Solana

L'impianto Solana[14], terminato in ottobre 2013, si trova in Arizona ed è costituito da gronde paraboliche. Lo stoccaggio avviene come per l'Airlight utilizzando il sale invece di sassi e rocce. È inoltre possibile generare elettricità facendo passare l'aria calda all'interno di turbine collegate a dei generatori.
Solana, con i suoi 7,8 Km^2 e una potenza fino a 280 MW riesce ad offrire elettricità a più di 70'000 case dell'Arizona (Figura 7).

Figura 7: L'impianto Solana in Arizona costituito da parabole

3.2 Crescent Dunes

Questo impianto[15], terminato in dicembre 2014, si trova in Nevada e consiste in un sistema a torre posizionato in 6,5 Km^2 che con i suoi 110 MW di potenza può servire, circa, 75'000 case americane (Figura 8).

Figura 8: L'impianto Crescent Dunes in Nevada è un CSP a torre

3.3 Genesis Solar

L'impianto Genesis Solar[16], concluso in Aprile 2014, è situato in California. Esso è un insieme di concentratori parabolici distribuiti in 7.2 Km^2 che producono 250 MW e sono in grado di servire più di 88'000 case americane (Figura 9).

Figura 9: Questo impianto di concentratori parabolici, Genesis Solar, si trova in California

3.4 Mojave Solar One

Il Mojave Solar One[17], terminato a fine 2014, si trova anch'esso in California ed è composto da concentratori parabolici che, collocati in 7,15 Km^2, producono 280 MW riuscendo così a offrire energia a più di 90'000 abitazioni americane (Figura 10).

Figura 10: Il Mojave Solar One è costituito da concentratori parabolici ed è situato in California

3.5 Ivanpah Solar Electric Generating System

Ivanpah[18], terminato in febbraio 2014, è il più grande concentratore solare al mondo e si trova in California.
I suoi 300'000 specchi, installati su una superficie di 14,2 Km^2, riflettono i raggi solari verso le tre torri, all'interno delle quali scorre un fluido che trasporta l'energia termica ricavata dai raggi solari verso uno o più boiler contenti acqua. Quest'acqua viene trasformata in vapore dalle alte temperature e incanalato verso delle turbine che generano elettricità (Figura 11).
La potenza di Ivanpah corrisponde a 377 MW netti (392 MW lordi) ed è dunque in grado di soddisfare il fabbisogno energetico di circa 140'000 case americane (Figure 12-13).

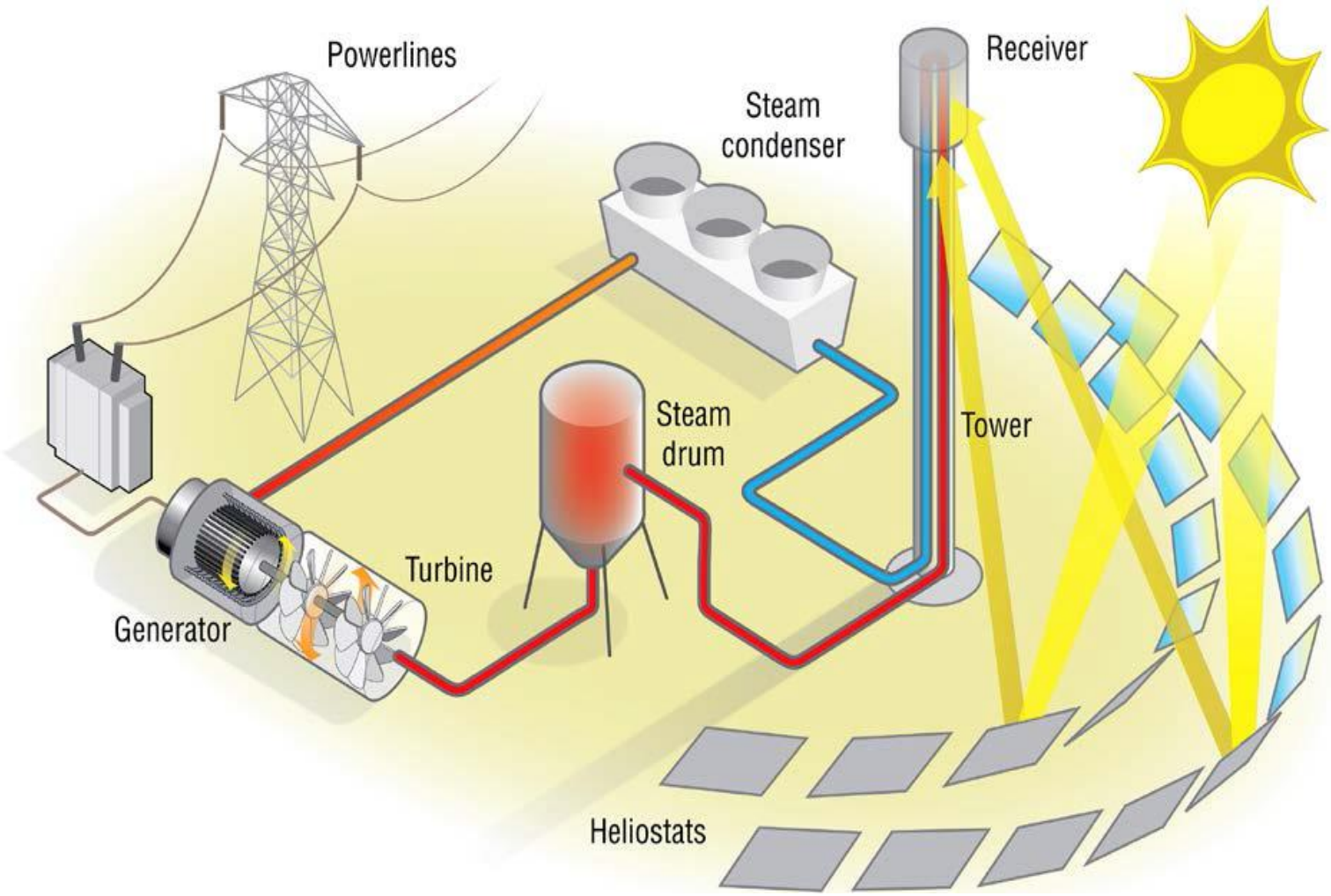


Figura 11: Sistema di produzione di energia elettrica: in rosso vediamo il percorso del fluido caldo mentre in blu quando esso è freddo

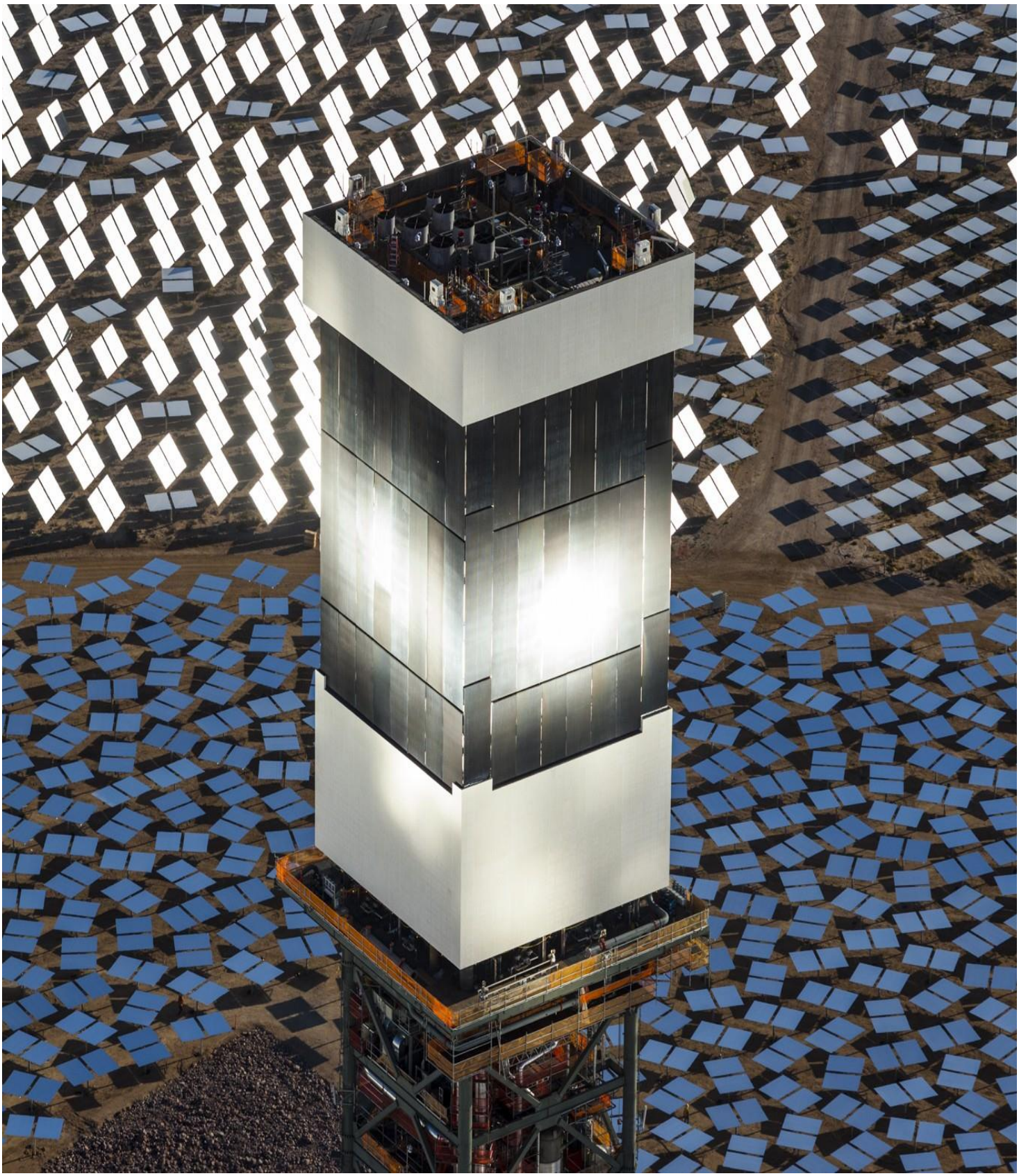


Figura 12: Vista in primo piano di una torre del più grande concentratore solare al mondo, Ivanpah, in California

Figura 13: Visione aerea dei 300'000 specchi e delle tre torri che formano l'impianto Ivanpah

4 La costruzione del nostro impianto

4.1 Il motore

L'impianto di 16 gronde che stiamo costruendo necessita di un motore che le faccia ruotare ad una velocità che le permetta di concentrare sempre il maggior numero di raggi solari verso il tubo sottovuoto e di orientare sempre la gronda perpendicolarmente ai raggi solari.
Il motore è collegato ad una ball screw, un meccanismo che garantisce la conversione d'un movimento di rotazione in un moto circolare, il quale permette di far spostare un braccio d'alluminio che farà muovere le gronde.
Nella costruzione ci siamo occupati di pitturare i lati di legno del cassone, lungo 170 cm e largo 80 cm, contenente il motore mettendoci tre mani di pittura e due di cera per rendere il tutto impermeabile siccome l'intero impianto sarà posto all'esterno.
Dopodiché abbiamo assemblato il tutto con viti e bulloni (Figura 14) e ci siamo occupati di coprire la parte superiore del motore con un grande rettangolo di polimetilmetacrilato[19] (plexiglass), un materiale trasparente e più resistente del vetro.
Questo "coperchio" è stato affrancato ai lati con dei profili angolari in alluminio lunghi quanto i lati del motore in modo che, volendo, si possa, smontando uno di essi, sfilare la copertura trasparente in caso di bisogno. (Figura 15)

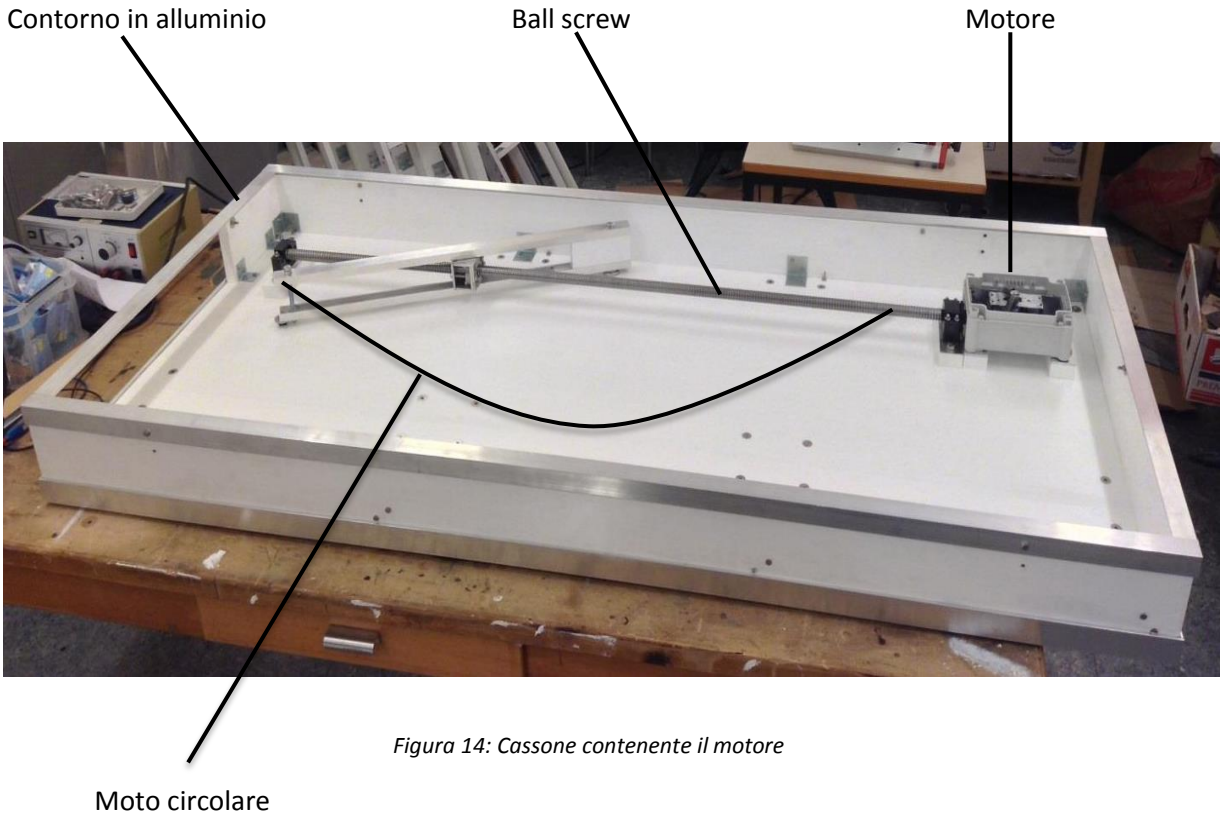


Figura 14: Cassone contenente il motore

Copertura in plexiglass

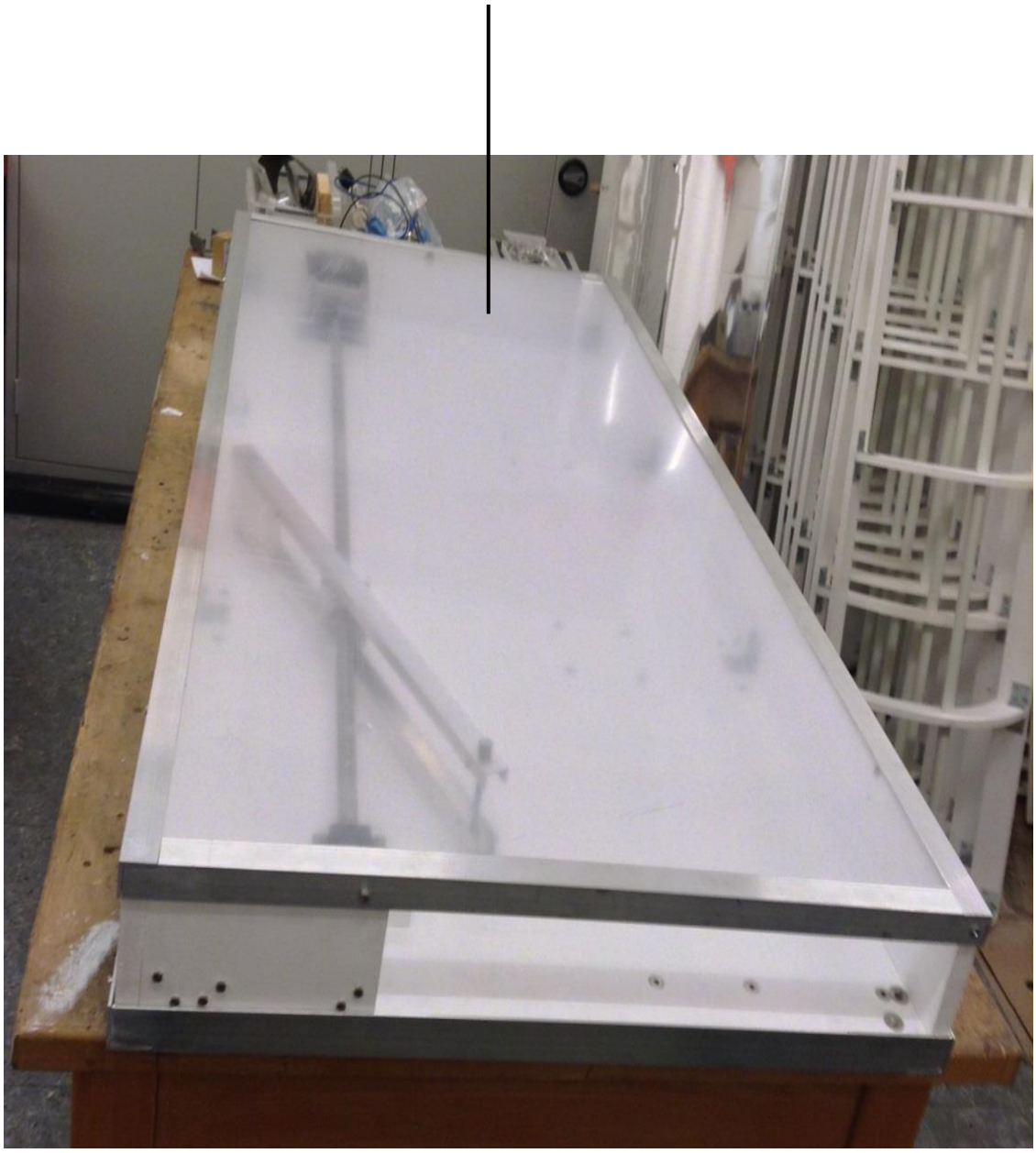


Figura 15: Cassone con la copertura in Plexiglass

4.2 Le gronde

Il primo lavoro svolto sulle gronde è stato quello di ripassare con due mani di cera gli scheletri delle 16 gronde per renderle impermeabili e più resistenti all'aperto.

4.2.1 Lastre di alluminio

Dopo aver stretto i bulloni che mantengono insieme tutti i pezzi degli scheletri, ci siamo occupati delle lastre d'alluminio che vi abbiamo inserito all'interno.
Questi 16 rettangoli d'alluminio spessi 0.8 mm, lunghi 185 cm e larghi 50 cm sono stati tagliati con il flessibile e successivamente levigati uno ad uno su misura per ogni gronda.
Il fissaggio di queste lastre è stato fatto tramite due profili angolari in alluminio lunghi 185 cm affrancati lateralmente in modo da mantenerle in tensione.
Per piegare le lastre in modo uniforme, al fine d'evitare pieghe ed imperfezioni, abbiamo utilizzato delle costole di legno (Figura 16) che, mantenute da due morse, hanno conservato la forma parabolica fino all'affrancatura dei profili angolari (Figura 17).

Figura 16: Come mantenere la lastra ferma durante il fissaggio dei profili angolari

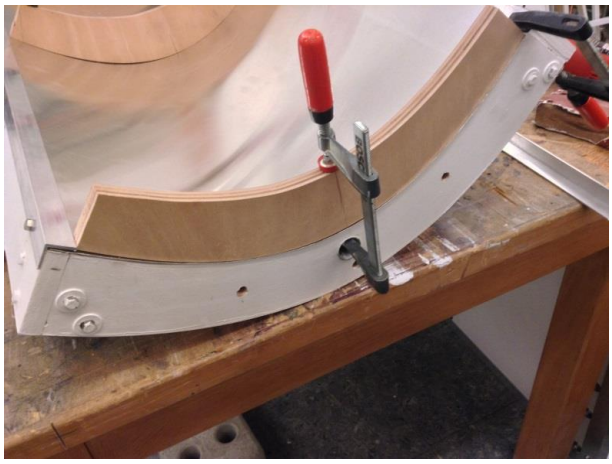


Figura 17: Metodo per piegare le lastre di alluminio

4.2.2 Gli header

Gli header sono delle basi triangolari in legno a forma di sezione circolare sulle quali abbiamo applicato una copertura in Mylar per fare in modo che questa rifletti altrove i raggi solari così da evitare che si brucino o danneggino (Figura 18).

Figura 18: Header ricoperti di Mylar

4.2.3 I ponti

Ruotando la gronda ci siamo accorti che l'insieme dei componenti per il supporto del tubo sottovuoto si muoveva con essa. Questo era un problema in quanto il profilo ad "U" del sostegno e le componenti interne alla gronda dovevano essere fissi, mentre l'Header libero di muoversi.
Abbiamo così ideato una specie di ponte in alluminio in modo da rendere solidale il supporto del tubo con la struttura (Figura 19).

Figura 19: Ponte in alluminio

Header in movimento

Sostegno e componenti fissi

4.2.4 Il mylar

Affinché le nostre gronde riflettano la maggior quantità possibile di raggi solari le abbiamo ricoperte di Mylar, una pellicola con un'elevata resistenza alle intemperie ed una buona riflessione della luce solare in grado di riflettere tra il 90 e il 95% di raggi solari (Figura 20)[20].
Fissare questo rivestimento è risultato particolarmente difficile, perché si formavano delle bolle d'aria e dei rilievi dovuti a granellini di polvere. Abbiamo dunque dovuto pulire la superficie delle lamine d'alluminio con uno sgrassatore.
Il metodo migliore che abbiamo trovato per incollare questa pellicola autoadesiva è stato quello d'attaccarla poco a poco premendo con forza, tramite uno straccio, su tutta la sua lunghezza, evitando così, per la maggior parte delle volte, le bolle d'aria.

Figura 20: Gronda ricoperta di mylar con plastica blu protettiva

4.3 La struttura di sostegno

Per mantenere le gronde nella posizione ideale di 20°, l'angolo medio con il quale si cattura più energia solare durante i mesi invernali, il professor Cretton ha ideato una struttura di acciaio poiché esso è molto resistente.
La costruzione è composta da due strutture di sostegno per le gronde lunghe 600 cm, larghe circa 110 cm ed alte circa 210 cm.
Abbiamo costruito il tutto con profili angolari e ad "U", in acciaio, di spessore 5 mm. In questa struttura vanno posizionate 8 gronde ad una distanza di 2-3 cm l'una dall'altra (Figure 21 e 22).

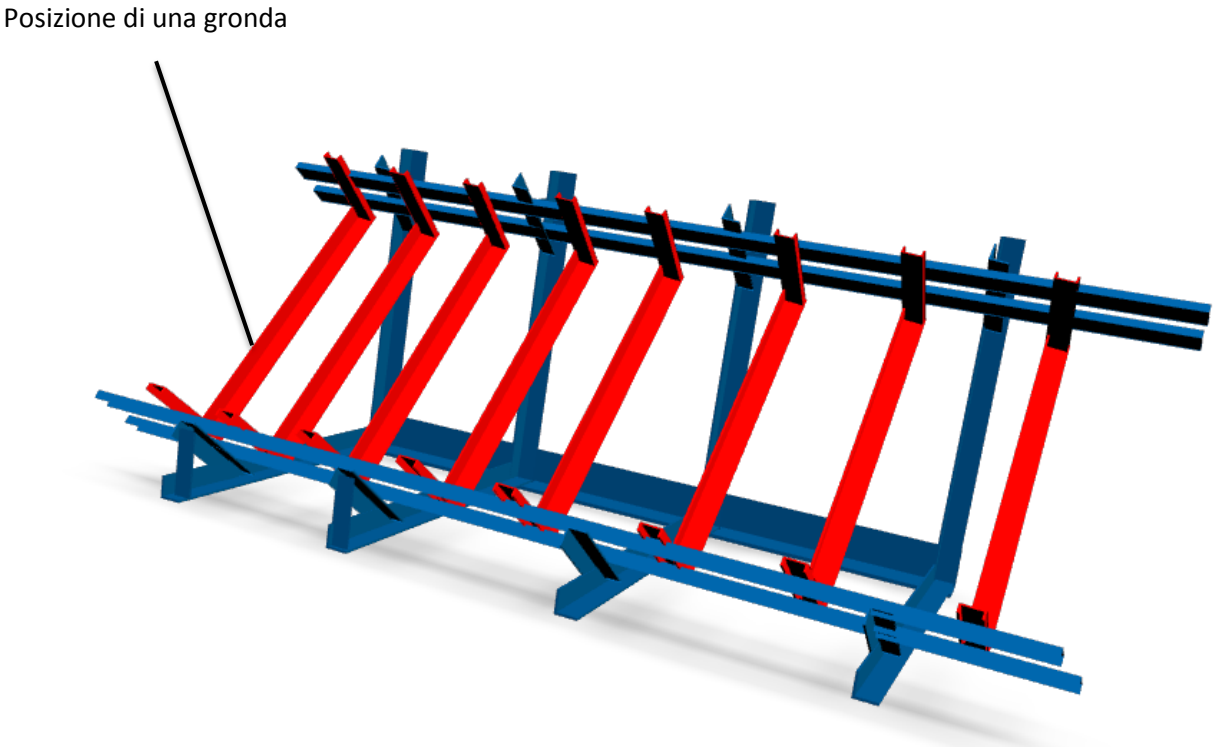


Figura 21: Struttura di sostegno per 8 gronde

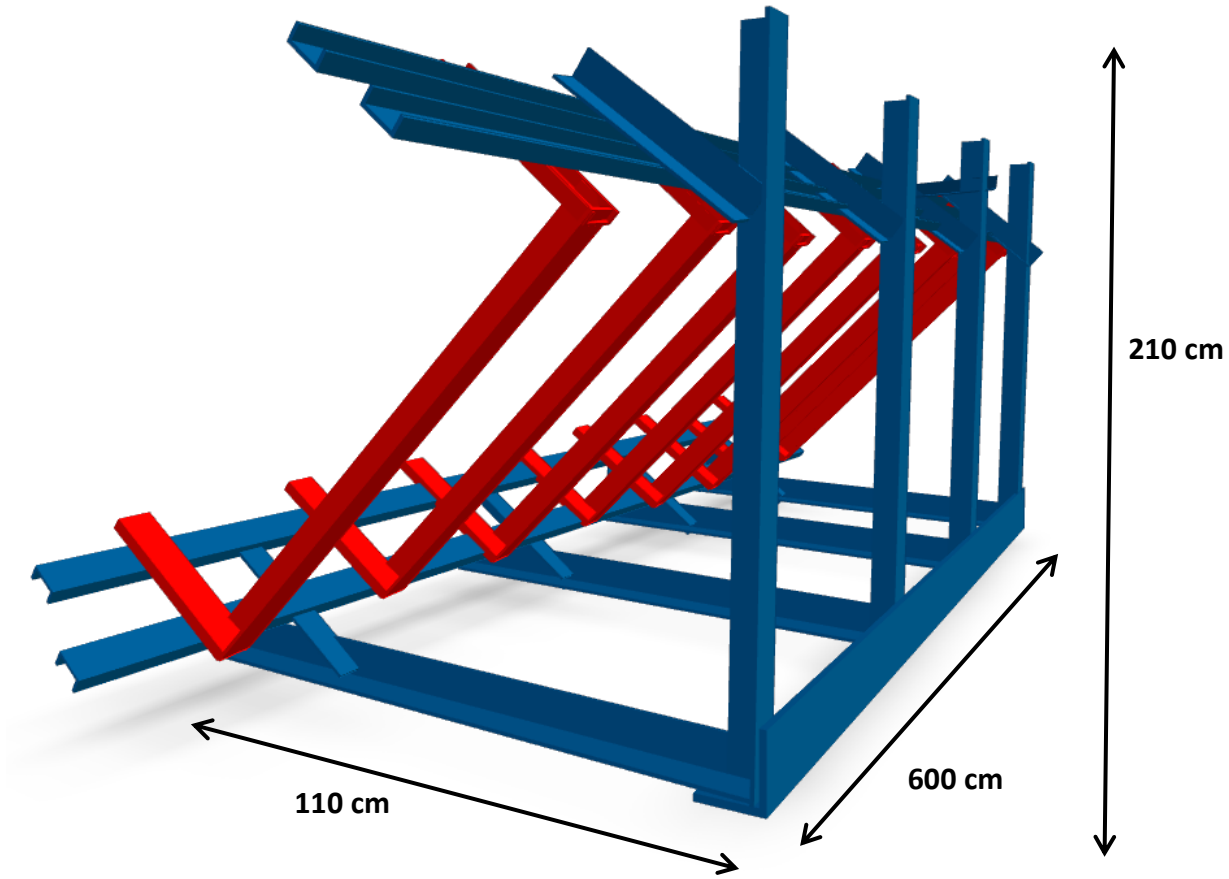


Figura 22: Progetto struttura di sostegno

4.4 Progettazione e costruzione di un sostegno di prova per due gronde

Prima di occuparci della costruzione definitiva dell'imponente basamento per le nostre gronde abbiamo deciso di fare un disegno di profilo per poter in seguito costruire un modello in scala 1:1 in legno (Figura 23).

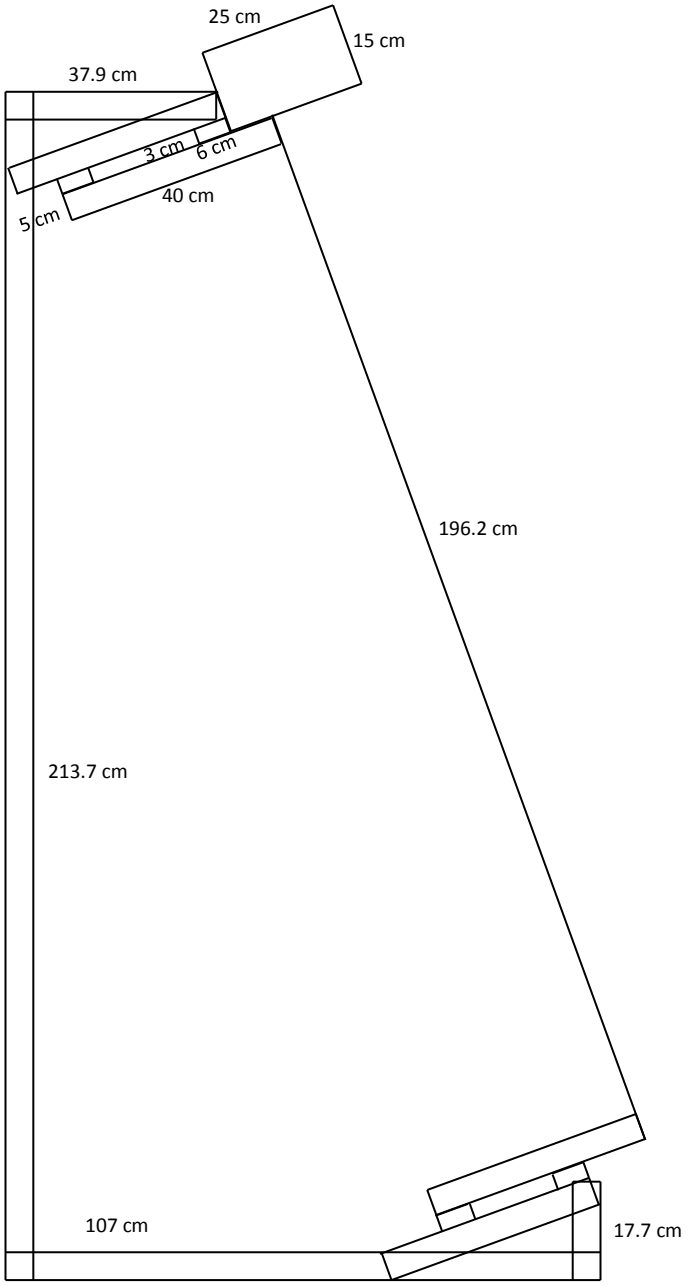


Figura 23: Progetto visto di lato

Questo disegno ci è servito per avere un'idea più chiara di come costruire il supporto e di vedere realmente come sarebbe uscito.
Il prototipo del basamento delle gronde è leggermente diverso dal progetto, in quanto il materiale che abbiamo usato non ha le stesse dimensioni di quello previsto per la struttura in acciaio.
Questo primo modello ci ha permesso d'avere un'idea più concreta di come si presenterà il progetto alla sua conclusione (Figure 24 e 25).

Figura 24: Struttura di prova in legno, visione frontale

Figura 25: Struttura di prova in legno vista di lato

4.5 Nuovi header

Tra l'header e il profilo ad "U" di 40 cm c'era un solo punto d'appoggio (Figura 26) ed abbiamo dunque deciso di installare una rotellina sul profilo di acciaio così d'avere due punti d'appoggio e quindi più stabilità (Figura 27). Questa rotellina ha un diametro di 1.3 cm e una lunghezza di 1.4 cm.
Dopodiché ci siamo accorti che gli headers erano troppo corti rispetto al movimento compiuto dalla gronda ed abbiamo dunque rifatto 16 nuovi triangoli con una forma più allargata (Figura 28).
Questo lavoro ci ha permesso d'apportare ulteriori migliorie alle gronde: abbiamo, infatti, tagliato dei pezzi ad "U" d'alluminio spessi 0.2 mm e lunghi 13 cm da affrancare con delle viti e bulloni sul bordo degli header così da bloccare il nuovo foglio di mylar che era poco saldo (Figura 29).
Con il mylar abbiamo inoltre ricoperto i profili ad "L" di supporto del tubo sottovuoto all'interno della gronda (Figura 30).
Abbiamo, infine, attaccato tutti gli header completi alle gronde (Figura 31).

Un solo punto di appoggio

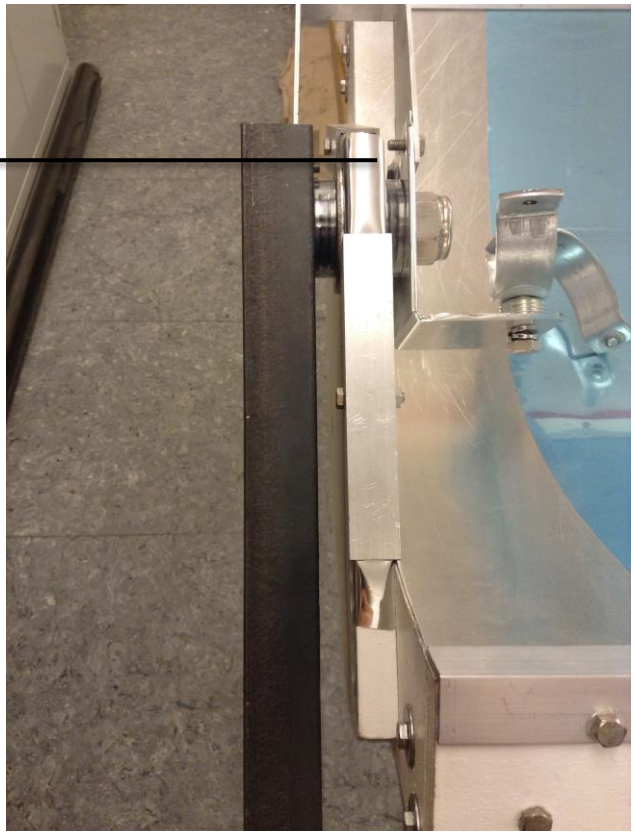


Figura 26: Header con un solo punto d'appoggio

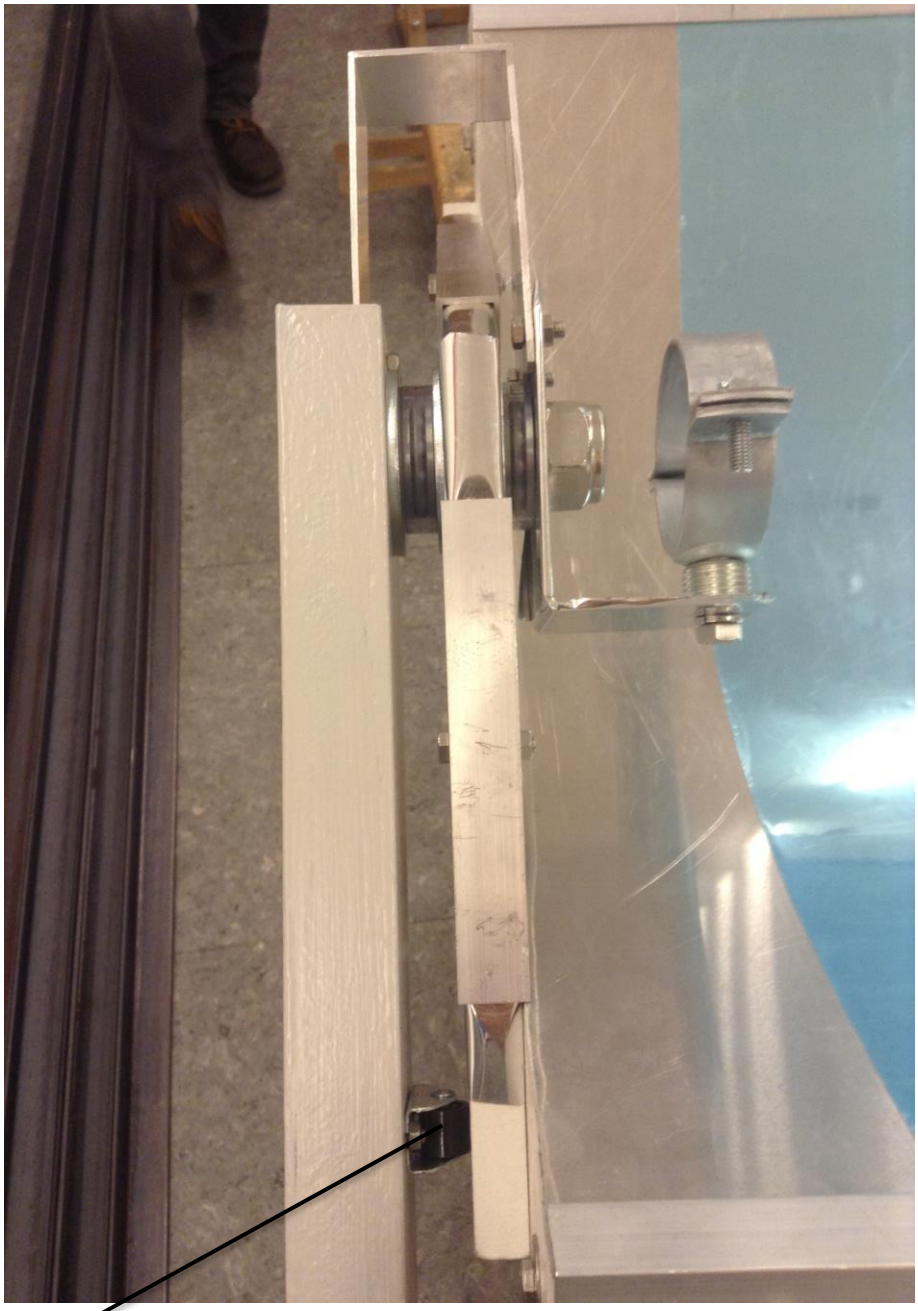
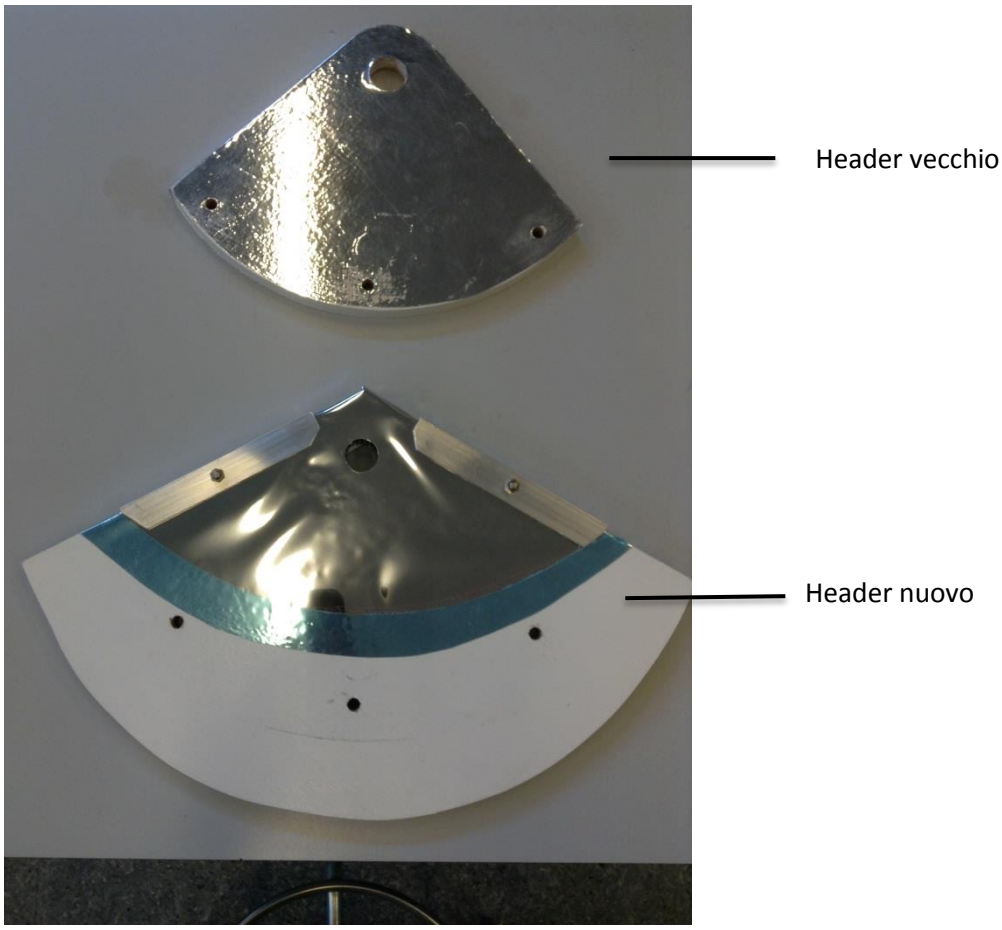


Figura 27: Header con due punti d'appoggio

Secondo punto di appoggio



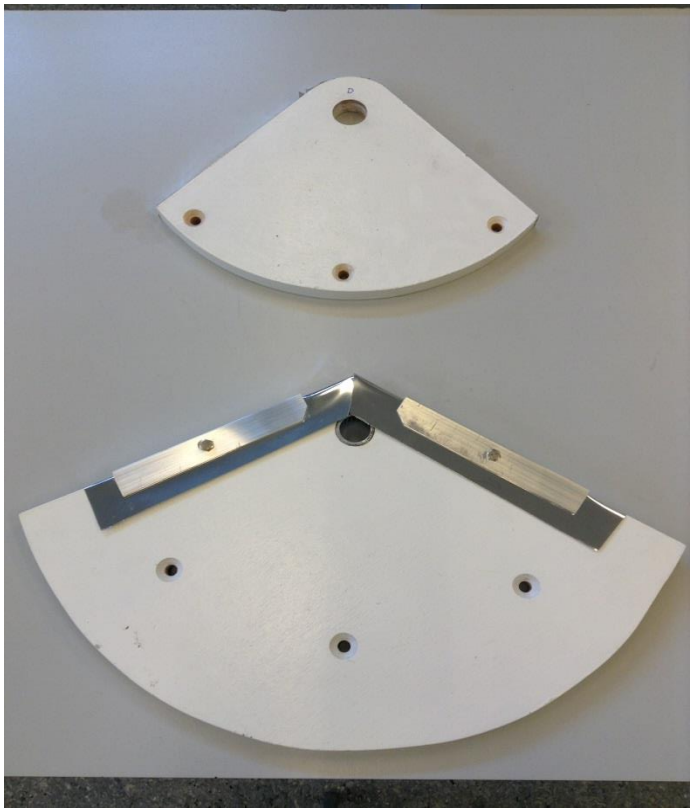


Figure 28 e 29: Confronto tra Header vecchio e nuovo

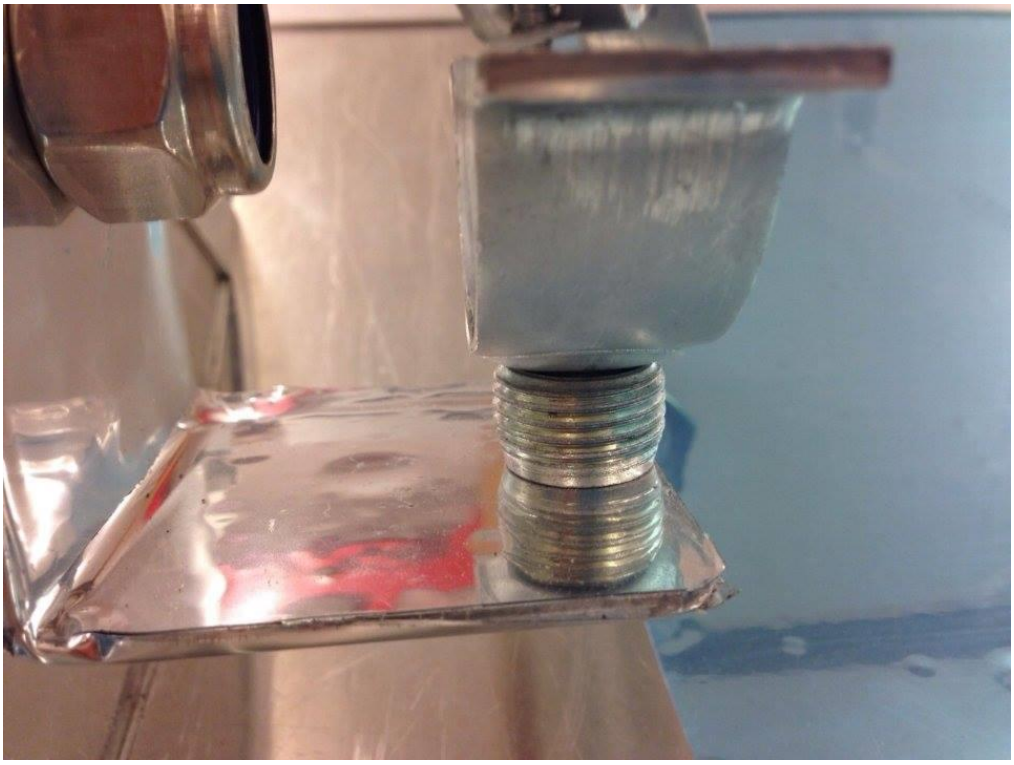


Figura 30: Profili ad "L" ricoperti di mylar

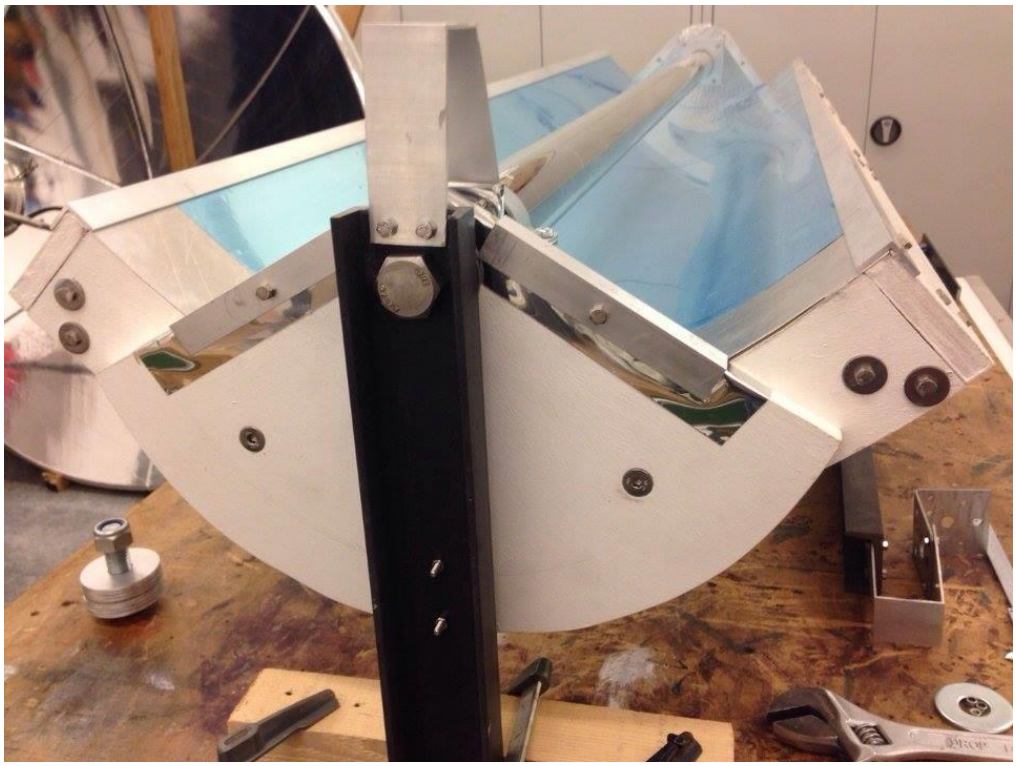


Figura 31: Nuovi header montati con profili ad "U" per affrancare il mylar

4.6 Applicazione della vernice sui pezzi d'acciaio

Al fine di contrastare l'ossidazione della struttura di acciaio abbiamo deciso di ricoprire i pezzi con una soluzione di vernice speciale anticorrosiva (EPOCOAT FZ) composta dal 20% di catalizzatore e dal restante di vernice (Figure 32 e 33).

Figura 32: Pezzo prima della verniciatura

Figura 33: Pezzo dopo la verniciatura

5 Ubicazione dell'impianto

Una volta completata la costruzione delle gronde e della struttura di sostegno, andremo a posizionarle dove potremo effettivamente misurare la resa energetica collegandole con un boiler. Verranno dunque messe su un piazzale appositamente adattato del giardino di professor Cretton.
Partendo da una situazione poco favorevole (figura 34), la zona è stata completamente ripulita e adattata: l'albero è stato tagliato, il muretto completamente rifatto per renderlo più solido, ed il terreno piastrellato. Il risultato si può vedere nella figura 35. Le piastrelle sollevate non sono state fissate in quanto verranno rimosse per permettere l'inserimento nel terreno di carote di cemento che fisseranno ottimamente la struttura al suolo.

Figura 34: Piazzale prima dei lavori

Figura 35: Piazzale dopo i lavori

Come già accennato il prossimo passo di questo progetto sarà quello di collocare le nostre gronde. Ne verranno messe 8 lungo il muro più alto e 8 lungo il muretto più basso; il motore troverà spazio sulla sinistra, nella zona adiacente alle gronde (Figura 35).

6 Conclusioni

I nostri obiettivi di questo lavoro di maturità erano la costruzione di una struttura di sostegno per il nostro impianto CSP; la continuazione e la miglioria di alcuni punti problematici, come gli header; la continuazione delle gronde costruite dagli allievi del LAM precedente; la collocazione di tutto l'impianto ed infine la messa in funzione, con le relative misure, ad esempio dell'efficienza.
Arrivati a questo punto possiamo dirci soddisfatti per quanto riguarda la prima parte del lavoro: abbiamo, infatti, concluso l'assemblaggio vero e proprio di una gronda, che prenderemo come modello per il montaggio delle quindici rimanenti, e abbiamo terminato le componenti delle altre. Inoltre è stato elaborato un buon progetto per quanto riguarda la struttura di sostegno.
Tuttavia rimane ancora del lavoro da svolgere che non siamo riusciti terminare: il prossimo passo consisterà nel assemblare tutte le gronde e tagliare, rendere inossidabile e unire le varie parti dell'impianto di sostegno.
In seguito bisognerà montare il tutto nel sito prestabilito ed infine, dopo averlo collegato alla casa, saranno effettuate le misurazioni che ci permetteranno di scoprire la reale efficienza di tutto l'impianto.
Siamo ampiamente soddisfatti di questo lavoro di maturità soprattutto perché la costruzione di questo progetto ci ha insegnato a risolvere i problemi che si riscontravano durante la fabbricazione dell'impianto. Abbiamo, inoltre, imparato ad affrontare le difficoltà senza demordere e a capire che con la pratica spesso si affina la teoria.
Con questo lavoro abbiamo imparato a lavorare in gruppo, elaborando e discutendo le varie opinioni e idee cercando di trovare le soluzioni migliori.

7 Sitografia delle immagini

FIGURA 1
HTTP://WWW.POROTON.IT/USER/ARTICOLI/N46/FABBISOGNOENERGETICO/IMMAGINI/CONSUMOENERGIA.JPG

FIGURA 2
HTTP://WEB2.MENDELU.CZ/AF_291_PROJEKTY2/VSEO/FILES/19/3520.JPG

FIGURA 3
HTTP://MATHWORLD.WOLFRAM.COM/PARABOLA.HTML

FIGURA 4
HTTP://WWW.PBS.ORG/WGBH/NOVA/EDUCATION/ACTIVITIES/3406_SOLAR_03.HTML

FIGURA 5
HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/CONCENTRATED_SOLAR_POWER#MEDIAVIEWER/FILE:SOLAR_PLANT_KL.JPG

FIGURA 6
HTTP://WWW.TREEHUGGER.COM/RENEWABLE-ENERGY/SOLAR-THERMAL-POWER-IN-NORTH-AFRICA-HOW-MUCH-LAND-TO-POWER-THE-WORLD.HTML

FIGURE 7-12
HTTP://ENERGY.GOV/SITES/PROD/FILES/2014/05/F15/2014_CSP_REPORT.PDF

FIGURA 13
HTTP://ENERGY.GOV/ARTICLES/CELEBRATING-COMPLETION-WORLDS-LARGEST-CONCENTRATING-SOLAR-POWER-PLANT

8 Sitografia e referenze

1 DATI RIGUARDANTI L'ABITAZIONE DEL PROFESSOR CRETTON

2 **LAM 2012 - CONCENTRATORE SOLARE PARABOLICO AD INSEGUIMENTO AUTOMATICO – CAPITOLO 7.4 (PAG. 35-37)**
WWW.NICOLASCRETTON.CH/LM/LAM_KNECHT_KICK_CASSIS_NICOLI.PDF

3 WIKIPEDIA - CONCENTRATED SOLAR POWER
HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/CONCENTRATED_SOLAR_POWER#PARABOLIC_TROUGHN

4 WIKIPEDIA – SOLAR TRACKER
HTTP://IT.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/INSEGUITORE_SOLARE

5 SOLARCELL CENTRAL - SUN "TRACKER" ARRAYS – AUMENTO DELL'EFFICIENZA CON IL TRACKER
HTTP://SOLARCELLCENTRAL.COM/SOLAR_PAGE.HTML

6 WIKIPEDIA – IMPIANTO SOLARE TERMODINAMICO – CARATTERISTICHE
HTTP://IT.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/IMPIANTO_SOLARE_TERMODINAMICO

7 ETSTUDIO – CONCENTRATORI SOLARI
HTTP://WWW.ETSTUDIO.IT/MOSTRASEZIONE.ASP?IDSEZIONE=CONCENTRATORI+SOLARI#

8 AIRLIGHT ENERGY
HTTP://WWW.AIRLIGHTENERGY.COM/AA-CAES2

9 WIKIPEDIA – MODULO FOTOVOLTAICO – PRESTAZIONI E RENDIMENTI
HTTP://IT.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/MODULO_FOTOVOLTAICO

10 AIRLIGHT ENERGY
HTTP://WWW.AIRLIGHTENERGY.COM/CSP

11 RENEWABLE GREEN ENERGY POWER – TECHNOLOGIES - ENERGY STORAGE AND EFFICIENCY
HTTP://WWW.RENEWABLEGREENENERGYPOWER.COM/SOLAR-ENERGY-FACTS-CONCENTRATED-SOLAR-POWER-CSP-VS-PHOTOVOLTAIC-PV-PANELS/

12 TREEHUGGER – SUPERFICE NECESSARIA PER IL FABBISOGNO ENERGETICO MONDIALE
HTTP://WWW.TREEHUGGER.COM/RENEWABLE-ENERGY/SOLAR-THERMAL-POWER-IN-NORTH-AFRICA-HOW-MUCH-LAND-TO-POWER-THE-WORLD.HTML

13 ENERGY - 2014: THE YEAR OF CONCENTRATING SOLAR POWER
HTTP://ENERGY.GOV/SITES/PROD/FILES/2014/05/F15/2014_CSP_REPORT.PDF

14 ABENGOA SOLAR-IMPIANTO SOLANA
HTTP://WWW.ABENGOASOLAR.COM/WEB/EN/NUESTRAS_PLANTAS/PLANTAS_EN_OPERACION/ESTADOS_UNIDOS/#SECCION_2

15 SOLAR RESERVE-CSP PROJECT- CRESCENT DUNES
HTTP://WWW.SOLARRESERVE.COM/WHAT-WE-DO/CSP-PROJECTS/CRESCENT-DUNES/

16 NEXT ENERGY RESOURCES-GENESIS SOLAR
HTTP://WWW.NEXTERAENERGYRESOURCES.COM/PDF_REDESIGN/GENESIS_FACTSHEET.PDF

17 ABENGOA SOLAR-MOJAVE SOLAR ONE
HTTP://WWW.ABENGOASOLAR.COM/WEB/EN/NUESTRAS_PLANTAS/PLANTAS_EN_OPERACION/ESTADOS_UNIDOS/#SECCION_2

18 IVANPAH SOLAR-ISEGS
HTTP://WWW.IVANPAHSOLAR.COM/

19 WIKIPEDIA – PLEXIGLASS - PROPRIETÀ
HTTP://IT.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/POLIMETILMETACRILATO#PROPRIET.C3.A0

20 LAM – CONCENTRATORE PARABOLICO SOLARE A FORMA DI GRONDA CON INSEGUIMENTO AUTOMATICO – CAPITOLO 3.2 (PAG. 17)
HTTP://WWW.NICOLASCRETTON.CH/LM/LAM_GRUENINGER_KUNNAKATT_MARCOTULLIO.PDF