UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO DEI SISTEMI AGRO-AMBIENTALI

DOTTORATO DI RICERCA

"TECNOLOGIE PER LA SOSTENIBILITÀ ED IL RISANAMENTO AMBIENTALE"

XXIV ciclo – 2011/2013

Sviluppo di un Convertitore di Energia Solare (S.E.C. - Solar Energy Converter) per applicazioni di efficientamento energetico in agricoltura attraverso un utilizzo ambientalmente sostenibile di suolo agricolo

S.S.D. ING-IND/24

DOTTORANDO
ING. GIANLUCA TUMMINELLI

TUTOR: **PROF. GIUSEPPE ALONZO**

CO-TUTOR: **PROF. PELLEGRINO CONTE**

COORDINATORE: **PROF. SEBASTIANO CALVO**

INDICE

1 Introduzione 3

1.1 L'energia e le tecnologie per la sostenibilità ed il risanamento ambientale: Nuovi orizzonti nel XXI secolo 3

1.2 Scopo di questo lavoro di tesi 7

2 L'energia solare. 11

2.1 Fonti primarie di energia* 11

2.2 Fonti rinnovabili* 16

2.2.1 Il Sole* 17

2.2.2 La Costante solare* 19

2.2.3 Le caratteristiche della luce solare* 20

2.2.4 La radiazione solare disponibile al suolo* 22

3 Conversione dell'energia solare 25

3.1 Conversione dell'energia solare in natura: la formazione dei combustibili fossili 25

3.2 Conversione dell'energia solare ad opera dell'uomo: i processi artificiali e le tecnologie consolidate per la trasformazione dell'energia solare 31

3.2.1 Determinazione del Rendimento di un Collettore Solare Termico con Superficie Piana 32

3.2.2 Determinazione del Rendimento di un Collettore Solare Termico con Superficie Piana ricoperto da una lastra di vetro 35

3.2.3 Determinazione del Rendimento di un pannello fotovoltaico 37

3.3 La ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie per la trasformazione dell'energia solare: gli impianti solari a concentrazione 41

3.3.1 Storia degli impianti a concentrazione solare* 46

3.3.2 Il principio di funzionamento * 47

3.3.3 Le tipologie di impianti solari a concentrazione per la produzione di energia elettrica 49

3.3.4 Il rendimento di un impianto solare a concentrazione * 58

4 Sostenibilità ambientale[1] 60

4.1 Nuovi criteri di sostenibilità ambientale imposti dalla normativa vigente in tema di consumo di suolo rurale destinato alla produzione energetica. 62

4.1.1 La generazione distribuita di energia: Dal monopolio e dal gigantismo industriale, al decentramento della produzione di energia dell' attuale sistema centralizzato attraverso le reti intelligenti o smart grid 63
4.1.2 Quadro normativo di riferimento in merito al regime autorizzativi degli impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile 72
4.1.3 Quadro normativo di riferimento in merito al regime incentivante degli impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile 87
4.1.4 Quadro normativo di riferimento in termini di consumo di suolo rurale: considerazioni finali 89
4.2 Un nuovo paradigma di sostenibilità ambientale 89
5 Sviluppo e progettazione di un nuovo Convertitore di Energia Solare (S.E.C. - Solar Energy Converter) ad alta efficienza per applicazioni di efficientamento energetico in agricoltura attraverso un utilizzo ambientalmente sostenibile di suolo agricolo 93
5.1 L'inseguitore Solare 96
5.1.1 Fondazioni 97
5.1.2 Il Sostegno 99
5.1.3 Le piastre di collegamento 102
5.1.4 Gli attuatori 113
5.1.5 I circuiti elettrici 115
5.1.6 Il software 121
5.1.7 Il guscio protettivo 127
5.2 Il collettore 128
5.3 Il ricevitore 141
5.4 Il circuito a olio 170
5.5 Verifica sperimentale delle curve caratteristiche e energetiche prestazionali 180
6 Esecutivi da officina 187
7 Conclusioni 201
8 Bibliografia 205
DOCUMENTI 205
FONTI MULTIMEDIALI 205
SOFTWARE 205

1 Introduzione

1.1 L'energia e le tecnologie per la sostenibilità ed il risanamento ambientale: Nuovi orizzonti nel XXI secolo

La popolazione del pianeta continua ad espandersi, e con essa aumentano le richieste di materie prime acqua cibo ed energia per le diverse attività antropiche.

I Paesi più industrializzati ma oggi ormai anche i paesi cosi detti "in via di sviluppo" delle economie emergenti stanno radicalmente cambiando il pianeta in cui viviamo estraendo risorse minerarie, contaminando le falde acquifere producendo sempre maggiori quantità di energia con immissione di parte di questa nell'ambiente, immettendo inquinanti e rifiuti nell'ecosistema producendo dunque danni al territorio, all'aria che respiriamo ed all'acqua che beviamo con carattere irreversibile.

I sistemi economici richiedono in ogni caso indici di crescita positivi e PIL in aumento, mentre l'ambiente richiede equilibrio e stabilità. In chiave termodinamica potremo dire che il sistema anagrafico produttivo ed economico mondiale è in piena espansione, è un generatore continuo di irreversibilità e nuova entropia, mentre uno sviluppo sostenibile richiederebbe un sistema che guardi verso un equilibrio dove l'autosufficienza e l'autorganizzazione degli ecosistemi devono necessariamente convivere con i processi antropici.

Ogni abitante del mondo sviluppato consuma decine di volte più risorse di uno di un Paese povero. La crescita economica e demografica ed il bisogno legittimo di nuovi consumi dei Paesi poveri non hanno altre risorse che quelle naturali. Di contro la qualità della vita a cui ormai siamo abituati richiede per noi e per le future generazioni aria, acqua e cibi non inquinati, paesaggi non degradati, mare e coste montagne laghi e paesaggi in genere accoglienti, città vivibili urbanisticamente capaci di contenere e proteggere gli immensi patrimoni di cultura sviluppati nel tempo, ma anche funzionali ed organizzate sulle nuove scale dei bisogni [1].

Sviluppo sostenibile vuol dire "garantire i bisogni del presente senza compromettere le possibilità delle generazioni future di fare altrettanto" e non è un'idea nuova o un nuovo

Fonte http://www.comelicopedia.net/smw/newcore/index.php?title=Trend_Strategia_azione_nazionale

modo di concepire il progresso. Molte culture in passato nella storia hanno compreso la necessità di creare armonia tra ambiente, società ed economia [2].

Quello che oggi appare come una conquista del pensiero umano di fine millennio che vede la ricerca tecnologica impegnata ad assicurare una sempre migliore qualità della vita, la pace e l'integrazione globale tra i popoli un benessere crescente in un ambiente pulito, salubre salvaguardato e protetto, in realtà non dice nulla di nuovo se non la teorizzazione della consapevolezza che nel contesto globale di società industriale ed in via di sviluppo se non si trovano nuove tecnologie per la sostenibilità e il risanamento ambientale che attingano da fonti rinnovabili di energia e materia prima (riciclo) il cui costo deve essere necessariamente sopportato da chi sin ora ha preso di più in un ottica di equità sociale oltre che ambientale, siamo destinati ad un esaurimento tendenziale delle risorse del nostro pianeta.

Un sistema anagrafico economico produttivo in espansione è sostenibile solo se il bilancio tra le risorse utilizzate per la creazione di ricchezza resta, in quantità e qualità, entro opportuni all'intorno di un punto di equilibrio dove l'utilizzo delle risorse di acqua energia e materie prime di suoli agricoli destinati a colture produttive e oggi anche a colture energetiche o alla produzione di energia, abbia limiti di sfruttamento legati alla capacità di rigenerazione dell'ambiente e non sovraccarichi le capacità di assorbimento fornite dall'ecosfera di sottoprodotti non riciclabili. Se ciò non accade, l'economia continuerà ad utilizzare e compromettere la qualità di risorse naturali che presto o tardi saranno esaurite o non più utilizzabili [3].

Ogni risorsa naturale, cibo, acqua, legname, minerali, petrolio, gas suolo destinato all'agricoltura trova i suoi limiti nella disponibilità e nella capacità di assorbimento e rigenerazione dell'ecosistema. La dimensione ecologica della sostenibilità implica che si lasci intatta la stabilità dei processi interni dell'ecosfera, una struttura dinamica e autorganizzativa, per un periodo indefinitamente lungo, senza bilanci antropici crescenti[4]. I massimi valori accettabili di deposizione o di concentrazione nell'ambiente di prodotti di scarto dell'attività umana, inquinanti e rifiuti, sono denominati carichi

[2] Fonte http://www.comelicopedia.net/smw/newcore/index.php?title=Trend_Strategia_azione_nazionale

[3] Fonte http://web.comune.grosseto.it/comune/index.php?id=1290

[4] Ibidem

critici e vanno fissati in funzione della tipologia, delle caratteristiche chimiche specifiche e delle proprietà di accumulazione e biodegradazione. Il massimo flusso di risorse estratte e smaltite da un dato ecosistema è la sua capacità di carico (carrying capacity). Si ha ragione di temere che in alcuni casi siamo ormai ai limiti ed anche oltre la capacità di carico del Pianeta[5].

L'ampiezza delle sfide della sostenibilità impone di rafforzare l'impegno in favore della scienza dell'ambiente e della ricerca scientifico-tecnologica per lo sviluppo sostenibile. Il nuovo Piano Nazionale per la Ricerca Scientifica, contiene elementi incoraggianti in direzione dell'ambiente e della sostenibilità. La domanda sociale ed amministrativa di conoscenza scientifica supera ad oggi di gran lunga la capacità prestazionale degli organismi scientifici.

La Ricerca scientifica in senso lato del nuovo millennio dovrà essere fondata su una strategia di azione ambientale per lo sviluppo sostenibile che fondamentalmente preveda:

- l'integrazione dell'ambiente nelle altre politiche economiche sociali industriali etc;
- la preferenza per stili di vita consapevoli e parsimoniosi;
- l'aumento nell'efficienza globale dell'uso delle risorse di suolo agricolo e non, acqua energia e materie prime;
- Il rigetto della logica d'intervento "a fine ciclo" e l'orientamento verso politiche di prevenzione;
- la riduzione degli sprechi;
- l'allungamento della vita utile dei beni;
- la chiusura dei cicli materiali di produzione-consumo;
- lo sviluppo dei mercati locali e delle produzioni in loco in una ottica di smart grid;
- la valorizzazione del paesaggio, dei beni culturali e dell'umanità, dei prodotti tipici e delle culture della tradizione;
- la partecipazione di tutti gli attori sociali alla determinazione degli obiettivi e degli impegni e alla corrispondente condivisione delle responsabilità.

E' largamente condivisa l'esigenza di nuove forme di progettualità orientate alla sostenibilità: progettare gli equilibri ecologici, modificare i modelli di produzione e

[5] Fonte http://web.comune.grosseto.it/comune/index.php?id=1290

consumo, promuovere l'ecoefficienza, ristabilire gli elementi di equità sociale. L'azione ambientale, che ne è parte integrante, poggia sulla capacità di eliminare le pressioni all'interfaccia tra antroposfera ed ecosfera, rinunciare allo sfruttamento delle risorse naturali non rinnovabili, utilizzare le risorse rinnovabili comunque tenendo conto dell'impatto e dello sfruttamento del suolo agricolo per fini energetici e o per colture No Food, eliminare gli inquinanti, valorizzare i rifiuti attraverso il riutilizzo, il riciclaggio ed il recupero sia energetico sia di materie prime secondarie, alterare gli equilibri di generazione ed assorbimento dei gas serra, arrestare l'erosione della biodiversità, fermare la desertificazione e il dissesto idrogeologico, salvaguardare paesaggi ed habitat.
A fronte di risultati positivi, il riscaldamento della terra, la biodiversità, i rifiuti domestici e nocivi, la qualità delle aree urbane, il volume di risorse sottratte all'ambiente, gli spazi occupati dalla criminalità ambientale sono diventati gravi elementi critici per l'ambiente. Nuovi rischi per la sicurezza degli alimenti, possibili effetti della diffusione di Organismi Geneticamente Modificati (OGM), l'uso insensato dei mezzi privati di trasporto e dei mezzi mobili di comunicazione personale e collettiva e l'inquinamento elettromagnetico mettono a repentaglio l'ambiente e la salute delle persone[6].
Lo sviluppo sostenibile non è dunque perseguibile senza un profondo cambiamento degli attuali modelli di sviluppo e dei rapporti economico-sociali.
L'azione di risanamento ambientale resta quindi un pilastro fondamentale di una strategia per un nuovo modello di sviluppo e la ricerca scientifica volta alla sviluppo e implementazione di nuove tecnologie per la sostenibilità ed il risanamento ambientale lo strumento principe per la sua definitiva diffusione e utilizzazione nel nostro sistema produttivo.
Tra gli ambiti settoriali della ricerca scientifica volta allo sviluppo di nuove tecnologie in tema di sostenibilità e risanamento ambientale sicuramente quello della produzione energetica è oggi come oggi il motore e il simbolo di una nuova rivoluzione industriale che vede nelle fonti rinnovabili la principale icona della "green economy".
"RINNOVABILE" non è comunque sinonimo di "AMBIENTALMENTE SOSTENIBILE" come spesso gli operatori economici giustificando impatto ambientale

[6] Fonte http://www.comelicopedia.net/smw/newcore/index.php?title=Trend_Strategia_azione_nazionale

e sottrazione di suolo agricolo da destinare a produzione energetiche e/o a colture energetiche comunque no food, sostengono per promuovere programmi di investimento il cui vero obiettivo è il mero profitto economico e non una azione di risanamento ambientale dagli effetti meteoclimatici dell' emissione di CO2 e atri gas serra.

Anche per l'impiego di fonti di produzione di energia rinnovabile oggi, diversamente dalla fine del secolo scorso dove con un uso eccessivo di promozione delle rinnovabili si sacrificava territorio, è necessario adottare i criteri di sostenibilità ambientale per l'utilizzo razionale ed efficiente del suolo agricolo. Nuovi orizzonti nel XXI secolo vedono la ricerca scientifica sempre più protagonista della rivoluzione tecnologica che porterà l'utilizzo delle fonti di energia rinnovabile quale unica fonte di produzione di energia del nostro pianeta nel rispetto dell'ambiente e dei suoi abitanti.

Generatori eolici offshore e pannelli fotovoltaici con celle a tripla giunzione in arsenurio di gallio sempre più efficaci ed efficienti, impianti per la valorizzazione energetica delle biomasse e nuove colture energetiche fuori terra come gli impianti per la produzione di alghe vegetali da destinare alla produzione di biocombustibili sono solo alcuni esempi di conquiste tecnologiche che l'uomo non solo è stato in grado di raggiungere ma che vuole sviluppare ulteriormente nel XXI secolo per raggiungere nuovi orizzonti e livelli tecnologici di frontiera solo pochi anni fa impensabili per promuovere uno sviluppo sostenibile e un risanamento ambientale dei danni causati dall'uso massiccio di fonti di energia tradizionale della prima era industriale.

1.2 Scopo di questo lavoro di tesi

La Terra è un sistema chiuso con risorse limitate che può solo contare sull'apporto dell'energia solare.

L'utilizzo dell'energia solare con alte efficienze e in terreni agricoli non utilizzabili ai fini produttivi è sicuramente un "azione di risanamento ambientale efficace e sostenibile" un traguardo tecnologico, una meta possente, una sfida che la ricerca scientifica non potrà non accettare con l'audacia e la consapevolezza di chi sa di avere le capacità e gli strumenti per poter vincere.

La conversione diretta dell'energia solare in una forma immediatamente fruibile è sicuramente una conversione efficace ed efficiente. Non ha senso in termini di

rendimento totale ad esempio convertire la radiazione solare in energia termica e questa in energia meccanica e questa in energia elettrica (tecnologia solare termodinamico) se il fabbisogno energetico finale del sistema è quello della sola climatizzare degli ambienti attraverso macchine refrigeratrici o chiller che producono energia termica da una alimentazione ad energia elettrica. Lavoreremo con rendimenti sicuramente di gran lunga maggiori convertendo direttamente l'energia solare in energia termica (caldo e freddo) per la climatizzazione di detti ambienti saltando tutte le altre trasformazioni intermedi che sono solo un dazio energetico da pagare ma che non danno alcun altro contributo ai fini dell'obiettivo da raggiungere.

Ad oggi le apparecchiature attraverso le quali l'uomo converte la radiazione solare in energia termica sono i pannelli solari termici convenzionali o sotto vuoto che con efficienze intorno al 50-60 % producono acqua calda a circa 70-80 ˚C per usi per lo più civili. Qualche grosso impianto si vede solo in strutture alberghiere come integrazione alla caldaie tradizionali per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria. Rare sono le applicazioni di solar cooling che sfruttano i pannelli sottovuoto in grado di lavorare a temperature vicine ai 100 ˚C. I moderni assorbitori ad ammoniaca o a Sali di bromuro di litio per la produzione di acqua fredda da una corrente di acqua o olio caldo richiedono infatti temperature di lavoro sensibilmente più alte degli 80 ˚C ottenibili da un impianto solare termico tradizionale. Inoltre l'efficienza in solar cooling cade vertiginosamente sotto temperature di lavoro di 150 ˚C.

Gli impianti solari termici hanno comunque il pregio di lavorare un alti rendimenti ma hanno bisogno di notevoli superfici di ingombro tenuto contro dell'inclinazione a cui devono lavorare i moduli (circa 45˚) e della distanza necessaria per evitare l'ombreggiamento tra le varie fila di moduli. Il suolo inoltre deve essere regolare. La superficie utilizzata risulta dunque pari a circa 4 volte la superficie captante. Questi limiti tecnologici sono gli ostacoli maggiori che hanno ad oggi impedito o meglio limitalo l'utilizzo degli impianti solari termici per usi agricoli. Il **DM 28/12/2012** meglio nota come "conto termico" incentiva la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale o di riscaldamento delle serre esistenti e dei fabbricati rurali esistenti con generatori di calore alimentati a biomassa demandando l'agevolazione sugli impianti solari termici solar heating e solar cooling alle mere applicazioni civili residenziali o in strutture alberghiere proprio perché ad oggi la tecnologia non dispone ancora di

convertitori di energia solari in energia termica efficienti e in grado di lavorare a temperature alte del fluido termovettore ovvero con qualità dell'energia termica prodotta tale da rendere l'apparecchiatura stessa meglio sfruttabile per applicazioni diverse. Coerentemente agli orientamenti del V e del VI Programma Quadro della ricerca europea, per il 50% ed oltre indirizzati a finanziare attività scientifiche ed applicative riconducibili alle tematiche della qualità della vita e dei nuovi sviluppi tecnologici improntati alla sostenibilità, questo lavoro di tesi di dottorato di ricerca si prefigge dunque di sviluppare una apparecchiatura di processo in grado di convertire l'energia solare con alte efficienze e con qualità dell'energia termica prodotta tale da rendere l'apparecchiatura stessa sfruttabile per diverse applicazioni modulari e di sistema in una logica smart grid e su terreni orograficamente articolati e impervi e dunque non utilizzabili ai fini produttivi con coltivazioni intensive in linea con

- la richiesta di energia termica in agricoltura in aziende agricole e agrituristiche per la climatizzazione invernale ed estiva di ambienti residenziali di lavoro (solar heating e solar cooling) , nonché di impianti Serricoli ad alta produzione intensiva.
- la richiesta di energia termica nell'industria di processo agroalimentare (produzione di marmellate prodotti caseari, succhi di frutta etc etc) volta ad ottenere vapore saturo o surriscaldato, olio e/o acqua calda o aria e/o gas di alimentazione preriscaldati in funzione delle temperature di lavoro dell'utilizzatore ovvero dell'apparecchiatura industriale alimentata con energia termica (colonna di distillazione, evaporatore, cristallizzatore, colonna di assorbimento e/o desorbimento, turbine)
- Con la richiesta di energia termica ad alta temperatura per la produzione di energia elettrica attraverso un ciclo OCR da utilizzare in situ in piccoli impianti modulari di produzione (1 MW) per le esigenze energetiche termiche ed elettriche di una azienda agricola
- Con la richiesta di energia termica ad alta temperatura in zone isolate per la desalinizzazione di acque salmastre

Oggetto di questo lavoro di tesi è dunque lo sviluppo e la progettazione di un nuovo Convertitore di Energia Solare (S.E.C. - Solar Energy Converter) ad alta efficienza per le applicazioni di efficientamento energetico in agricoltura di cui meglio sopra specificato attraverso un utilizzo ambientalmente sostenibile di suolo agricolo.

2 L'energia solare.

2.1 Fonti primarie di energia*

Si definiscono fonti primarie di energia, le sorgenti che risultano essere presenti in natura prima di avere subito una qualunque trasformazione. Tali fonti si suddividono in due categorie: fonti di energia esauribili quali petrolio grezzo, gas naturale, carbone, energia nucleare e fonti di energia rinnovabili quali energia solare, eolica, idrica, biomasse, geotermica.

Si definiscono invece fonti di energia secondarie quelle che derivano, in qualunque modo, da una trasformazione di quelle primarie: sono fonti secondarie, per esempio, la benzina, il gas di città, l'energia elettrica.

In realtà, se ci fermassimo alla definizione base, scopriremmo che le fonti primarie sono veramente tante. Questo perché qualunque corpo dotato di energia potenziale potrebbe teoricamente essere utilizzato come fonte di energia. Precisiamo allora, a scanso di equivoci, che al fine del presente lavoro di tesi s'intende per fonte primaria di energia una fonte effettivamente utilizzabile.

Perché una fonte primaria possa essere sfruttata per le diverse esigenze legate alla vita dell'uomo con livelli di confort tipici dell'era industriale, deve avere alcune caratteristiche peculiari:

1. CONCENTRABILITA': deve essere possibile concentrare la sorgente di energia entro un'area relativamente limitata, affinché sia possibile controllarla.
2. INDIRIZZABILITA': deve essere possibile indirizzare il prodotto (es.benzina) nella direzione in cui esso deve essere utilizzato (es.turbina).
3. FRAZIONABILITA': deve essere possibile frazionare la fonte in più parti, in modo da poter utilizzare solamente la parte, piccola o grande che sia, che ci serve in quel momento.
4. CONTINUITA': deve poter funzionare per un certo tempo, fornendo la sua energia con una certa continuità, e non esaurirsi in tempo limitato rispetto al utilizzo desiderato.
5. REGOLABILITA': deve essere graduabile.

* Tratta da: http://www.die.ing.unibo.it/pers/negrini/didattica/documenti_pie/Sol_term_conc.pdf

6. CONVERTIBILITA': deve essere possibile convertire la tipologia di energia della sorgente (potenziale, termica, chimica, cinetica etc) in lavoro meccanico, calore ed energia elettrica.
7. CUMULABILITA' : deve essere possibile accumulare o immagazzinare l'energia della sorgente.

Una importante considerazione che va fatta sull'energia riguarda la qualità che questa manifesta a seconda della forma in cui si presenta. Una particolare forma di energia, infatti, ha una qualità più o meno alta a secondo della capacità di provocare cambiamenti (riscaldare un ambiente, comprimere un gas, innescare una reazione chimica endotermica, ecc.) a parità di quantità. Ad esempio, la qualità di 200 J di energia elettrica è superiore a quella di 200 J di energia termica disponibile alla temperatura di 300 K.

Si può semplificare il concetto dicendo che la qualità di una data forma di energia dipende dal modo in cui essa è immagazzinata. In particolar modo, la tipologia di immagazzinamento può risultare organizzato oppure disorganizzato (casuale) ed in questo secondo caso si possono presentare diversi gradi di disorganizzazione (casualità).

Più in generale, il parametro che fornisce una misura della microscopica disorganizzazione è l'**entropia**. Questo fornisce anche la misura dell'indisponibilità di una forma disorganizzata di energia ad essere convertita nella forma organizzata.

Le forme di energia organizzate sono principalmente di due tipi: L'energia potenziale, la quale può essere immagazzinata in un campo di forze gravitazionale, elettrico o magnetico e l'energia cinetica organizzata, in cui, ad esempio in un getto di fluido ideale, l'energia è immagazzinata nelle particelle che hanno traiettorie parallele. Idealmente, una forma di energia organizzata può essere interamente convertita in lavoro meccanico all'albero. L'energia organizzata possiede quatto importanti caratteristiche:

1) la conversione di una forma di energia organizzata in un'altra forma si realizza completamente (con rendimento di conversione unitario) qualora tale conversione sia effettuata in maniera reversibile;
2) il trasferimento di energia organizzata tra due sistemi termodinamici si manifesta sotto la forma di un'interazione di lavoro (non di calore) al confine che separa i

sistemi (il lavoro è un transito di energia organizzata ovvero un trasportatore di energia);

3) i trasferimenti reversibili di energia organizzata avvengono senza variazioni dell'entropia dei sistemi che interagiscono e possono essere analizzati ricorrendo soltanto al primo principio della termodinamica (senza necessità del secondo principio);
4) i calcoli relativi ai trasferimenti di energia organizzata tra due sistemi non coinvolgono i parametri termodinamici dell'ambiente.

Le forme di energie disorganizzate sono quelle interne ai sistemi materiali come ad esempio la radiazione termica e l'energia chimica. Anche l'energia associata al moto turbolento di un fluido (anche se rispetto altre due tipologie, questa, è una forma transitoria di energia parzialmente organizzata) fa parte della categoria delle forme di energia disorganizzate.

In un processo che converte energia disorganizzata in energia organizzata vanno prese in considerazione due clausole ben precise.

- La prima consiste nel fatto che il limite superiore della conversione realizzabile dipende dai parametri termodinamici del sistema e dai parametri dell'ambiente.
- La seconda implica che il processo impiegato deve essere totalmente reversibile. La conversione di questo tipo di energia in generale viene accompagnata dalla variazione del valore di entropia del sistema e/o dell'ambiente.

In altre parole se è possibile idealmente trasformare energia organizzata in energia disorganizzata, non è possibile nemmeno idealmente trasformare integralmente una energia disorganizzata in una energia organizzata. Carnot, infatti, ci dice che anche per una macchia ideale il rendimento non puo' essere superiore a 1- T2/T1 ovvero sarà sempre inferiore a uno e dunque non è possibile trasformare integralmente calore (energia disorganizzata) in lavoro (energia organizzata) mentre è sempre possibile trasformare integralmente lavoro (energia organizzata) in calore (energia disorganizzata).

Esistono molte formulazioni equivalenti di quello che in "termodinamica" , branca della fisica e della chimica che descrive le trasformazioni subite da un sistema in seguito a

processi che coinvolgono la trasformazione di massa ed energia è noto come II principio della temodinamica. Quelle che storicamente si sono rivelate più importanti sono:

- È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di trasferire calore da un corpo più freddo a uno più caldo senza l'apporto di lavoro esterno (formulazione di Clausius).
- È impossibile realizzare una trasformazione ciclica il cui unico risultato sia la trasformazione in lavoro di tutto il calore assorbito da una sorgente omogenea (formulazione di Kelvin-Planck).
- È impossibile realizzare una Macchina Termica il cui Rendimento sia pari al 100%.

Oltre al principio di Carnot, vi è dunque il secondo principio della termodinamica. In particolare, gli enunciati del Secondo Principio si rifanno, principalmente, a quelli espressi rispettivamente da Lord Kelvin (William Thomson), Max Planck e Rudolf Clausius. In genere, si sceglie di enunciare il Secondo Principio in due modi: il primo accoppia gli enunciati originali di Kelvin e di Planck e viene pertanto detto enunciato di Kelvin-Planck, il secondo è una rielaborazione dell'enunciato originale di Clausius e viene detto enunciato di Clausius.

Le due diverse forme corrispondono specificatamente a due settori delle applicazioni termodinamiche che utilizzano trasformazioni cicliche dirette ed inverse. Tali trasformazioni termodinamiche cicliche dirette sono la base dei cosiddetti motori termici ovvero di quelle macchine il cui obiettivo è produrre lavoro utilizzando il calore sottratto ad una sorgente ad alta temperatura.
L'enunciato di Kelvin-Planck dice che è impossibile costruire una macchina operante secondo un processo ciclico che trasformi in lavoro tutto il calore estratto da una sorgente a temperatura uniforme e costante nel tempo.
L'enunciato di Clausius dice che è impossibile costruire una macchina operante secondo un processo ciclico il cui
unico risultato sia il trasferimento di energia termica da un corpo a temperatura inferiore ad un corpo a temperatura superiore.

L'enunciato di Clausius sembra affermare qualcosa di assolutamente diverso da quanto afferma l'enunciato di Kelvin-Planck così che si potrebbe supporre che nessuno dei due, da solo, potrebbe descrivere compiutamente il Secondo Principio della Termodinamica. Nella realtà non è così ed esiste un'elegante via matematica per dimostrare l'equivalenza degli enunciati di Kelvin-Planck e Clausius.

Nella fisica moderna la formulazione più usata è quella che si basa sulla funzione **entropia** ovvero, in un sistema isolato l'entropia è una funzione non decrescente nel tempo. $dS/dt \geq 0$.

A questo punto, definita la qualità che una forma di energia può avere, è plausibile definire un altro parametro energetico molto importante ovvero **l'exergia.** Questo parametro sostanzialmente definisce la quantità di lavoro che un sistema può fornire quando viene portato in equilibrio termodinamico con il suo ambiente.

L'exergia si misura in Joule, dipende sia dal sistema che dall'ambiente, non `e una variabile di stato come l'entropia e misura la distanza di un ecosistema dall'equilibrio. In conseguenza di quanto detto, il lavoro risulta equiparabile all'exergia sotto ogni punto di vista.

I trasferimenti di exergia sono quindi definiti, sia per quanto riguarda il valore assoluto che per quanto riguarda il verso (e quindi il segno), dai trasferimenti di lavoro cui essi corrispondono. In assenza di effetti nucleari, magnetici, elettrici e di tensione superficiale, il flusso di exergia (exergia nell'unità di tempo) associato ad un flusso stazionario di materia risulta costituito dai seguenti quattro termini $\dot{E} = \dot{E}_k + \dot{E}_p + \dot{E}_{ph} + \dot{E}_0$ dove con il pedice k indichiamo il termine cinetico, p il termine potenziale, ph il termine fisico e 0 il termine chimico.

Analogamente l'exergia massica o energia per unità di materia ($\varepsilon = \dot{E}/m$) risulta costituito dai seguenti quattro termini $\varepsilon = \varepsilon_k + \varepsilon_p + \varepsilon_{ph} + \varepsilon_0$ dove con il pedice k indichiamo il termine cinetico, p il termine potenziale, ph il termine fisico e 0 il termine chimico.

Il bilancio energetico, ricavato ponendo $\Sigma\Delta\dot{E}_{OUT}$ quale valore obiettivo in output espresso in termini exergetici e $\Sigma\Delta\dot{E}_{IN}$ il valore in input espresso in termini energetici, è uguale a $\Sigma\Delta\dot{E}_{OUT} = \Sigma\Delta\dot{E}_{IN} - \dot{I}$.

La variabile $\dot{I}$ indica il grado di reversibilità del processo.

Un processo reversibile in realtà non può mai essere realizzato completamente ed è un'idealizzazione che rende tuttavia più facile la descrizione matematica. In

conseguenza di ciò, ogni processo reale è un processo irreversibile che per le leggi termodinamiche comporta inevitabilmente un aumento dell'entropia dell'Universo (disordine). Dal punto di vista microscopico e statistico è infatti associato al passaggio di una forma di energia da una maggiore organizzazione ad una minore organizzazione.

Nei processi irreversibili si manifestano due principali fenomeni caratterizzanti.

1. Il primo consiste nella dissipazione diretta di lavoro in energia interna del sistema (es.attrito tra solidi e fluidi),
2. il secondo consiste nella generazione di processi spontanei di non equilibrio generati a loro vola quando un sistema tende a passare liberamente da uno stato di non equilibrio ad uno stato di equilibrio (es. reazioni chimiche).

Nei processi reali sono presenti forme di irreversibilità di entrambi i gruppi. Ad esempio in un ciclo con combustione di gas in atmosfera si hanno miscelazioni dei reagenti , attriti tra i fluidi, reazioni chimiche spontanee etc.

In conclusione, è possibile determinare l'espressione del rendimento exergetico Ψ come il rapporto tra il valore energetico in uscita e il valore energetico in ingresso.

$$\Psi = \Sigma\Delta\dot{E}_{OUT} / \Sigma\Delta\dot{E}_{IN} \qquad \Psi=1- (\dot{I} / \Sigma\Delta\dot{E}_{IN})$$

2.2 Fonti rinnovabili*

Come abbiamo già visto, le forme primarie di energia si dividono in esauribili e rinnovabili. Le prime, destinate a finire, hanno , nella maggior parte dei casi, come spiacevole conseguenza, la produzione di sostanze nocive che rendono il loro utilizzo sempre meno conveniente. Viceversa, l'utilizzo delle fonti rinnovabili sta subendo un forte incremento dovuto alla enorme quantità disponibile al facile reperimento.

Le principali famiglie di fonti di energia rinnovabile sono solare, eolica, idrica, biomasse e geotermica.

Se pero si analizzasse bene la natura di ogni singola fonte del precedente elenco, sostanzialmente potremmo affermare che tutte le fonti di energia rinnovabili derivano in definitiva tutte dal sole. Di fatto, parte dell'energia che arriva dal sole, riscaldando l'atmosfera, genera i moti convettivi che come conseguenza determinano i venti.

* Tratta da: http://www.die.ing.unibo.it/pers/negrini/didattica/documenti_pie/Sol_term_conc.pdf

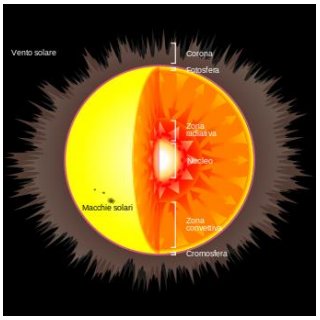
Stessa cosa dicasi per le piogge e quindi per i fiumi e infine, tramite la fotosintesi, è sempre il sole che determina i cicli di vita e di crescita delle biomasse.
La natura dunque dispone di "processi, metodi e tecnologie naturali" per convertire l'energia solare in altre forme di energia che regolano e permettono la vita del nostro pianeta e dei suoi abitanti. Vista l'importanza della fonte energetica solare come fonte rinnovabile e primaria, in questo lavoro di tesi concentreremo sullo stato dell'arte in merito alla analisi dei processi energetici di trasformazione dell'energia solare valutando i metodi di conversione di questa enorme fonte energetica.

2.2.1 Il Sole*

Come già detto la principale fonte di energia disponibile sulla terra, almeno tra quelle rinnovabili è il Sole. Infatti, analizzando bene i processi fisici, risulta che le radiazioni solari costituiscono il motore di attivazione principale di diverse fonti quali energia eolica, geotermica, idraulica, maremotrice, del moto ondoso, dei biogas e delle biomasse. Ad esempio, la radiazione solare, nell'attraversare l'atmosfera, cede una parte della sua energia all'aria e al vapore d'acqua. Questi si sollevano innescando i fenomeni meteorologici noti a tutti, che causano vento e pioggia. Il Sole appartiene alla sequenza principale di Hertzsprung e Russel e non è altro che una tra le miliardi di stelle che popolano la via Lattea. Il Sole è composto per l'80% di idrogeno, il 19,9% di elio, e il restante 0,1% di altri elementi. Le numerose reazioni nucleari di fusione che avvengono al suo interno sono responsabili della produzione di calore che viene trasmesso dagli strati interni verso quelli esterni per conduzione, convezione ed irraggiamento, e dagli strati esterni verso lo spazio circostante per irraggiamento.
La reazione termonucleare più importante è quella che trasforma l'idrogeno in elio. La reazione nucleare che produce un atomo di elio da 4 protoni , rileva in particolare che la massa di un nucleo di elio prodotto risulta più piccola di quella dei quattro protoni originari. Il difetto di massa viene convertito in energia attraverso la nota legge di Einstein $E = \Delta m \cdot c^2$.
La struttura del sole è composta da:

* Tratta da: http://www.die.ing.unibo.it/pers/negrini/didattica/documenti_pie/Sol_term_conc.pdf

- Nucleo che è la zona più interna, dove avvengono le reazioni termonucleari di fusione dell'idrogeno. Contiene il 40% della massa solare, il 15% del volume e vi viene generato il 90% dell'energia. Ha una temperatura di 13·106 K, una pressione elevatissima intorno a 500·109 atm, e una densità è di circa 150 g/cm3. La materia si trova sotto forma di "plasma" cioè di gas completamente ionizzato;
- Zona Radiativa che assorbe l'energia prodotta dal Nucleo e la trasmette per irraggiamento agli strati superiori. Ha una temperatura di 130.000 K e una densità di 70 kg/m3;
- Zona Convettiva che trasporta l'energia verso l'esterno mediante moti convettivi. Ha uno spessore di 450.000 km, una temperatura di 5.000 K e una densità di 10^{-5} kg/m3;
- Zona Fotosfera che è lo strato superficiale del sole, ossia la "zona di emissione della luce visibile". Ha uno spessore di 300 km, una temperatura di 5.800 K e una bassissima densità (circa 10-4 volte la densità dell'aria al livello del mare). E' sede di fenomeni come le macchie solari e i flare;
- Strato d'Inversione che è uno strato di gas più freddi la cui profondità è di diverse centinaia di chilometri;
- Cromosfera che è uno strato trasparente di 104 km, visibile solamente con filtri speciali o durante le eclissi totali di sole. E' interessato da diversi fenomeni emissivi come le spicule e le protuberanze solari;
- Corona che è la parte più esterna dell'atmosfera solare costituita da particelle di gas ionizzate. Non ha limiti definiti e si estende per decine di milioni di km in modo molto tenue, la temperatura è di $3 \cdot 10^{6}$K e la densità è di 10^{-20} g/cm3.



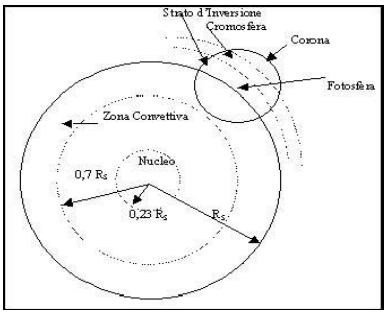


Figura 1: La struttura del sole[7]

[7]Foto tratta dal sito Enciclopedia multimediale Wikipedia http://it.wikipedia.org/wiki/Nucleo_solare

2.2.2 La Costante solare*

Nelle reazioni di fusione termonucleare che avvengono all'interno del Sole, che convertono massa in energia, vi sono diversi fasi. L'atomo di idrogeno si fonde e vengono creati atomi di elio ed energia. Questo succede perché la massa dell'atomo di elio è minore della somma delle masse dei 4 atomi di idrogeno quindi la loro differenza si trasforma in energia secondo la relazione di Einstein $E= \Delta m \cdot c^2$, dove con E indichiamo l'energia perduta o meglio emessa , con Δm difetto di massa o la massa perduta con la reazione c la velocità della luce.

Dall'analisi risulta che per ogni atomo di elio prodotto dalle reazioni di fusione si ha la trasformazione di energia di una massa $m=4{,}76350 \cdot 10^{-29}$ kg, per cui $E= \Delta m \cdot c^2 = (4{,}76350 \cdot 10^{-29}) \cdot (8{,}98 \cdot 10^{16}) = 4{,}2828408 \cdot 10^{-12}$ J. Ciò significa che il sole perde complessivamente 4,3·109 kg/s, che questa reazione avviene 1038 volte al secondo e che la potenza totale sviluppata dal sole è $PS = 3{,}845 \cdot 10^{20}$ MW.

L'irraggiamento alla superficie solare che si ricava è

$$IS = PS \ / \ AS = 63{,}17 \ MW/m^2,$$

se poi consideriamo che quando raggiunge la terra questa potenza è distribuita sull'area di una sfera ($4\pi R2$) con raggio pari alla distanza sole-terra, ricaviamo la **costante solare**, ossia l'energia irraggiata dal sole nell'unità di tempo su di una superficie unitaria della terra, al di sopra dell'atmosfera, in direzione normale alla direzione dei raggi solari che risulta:

$$IT = IS \cdot [(RS)^2 / (RST)^2] = 1{,}325 \div 1{,}417 \ W/m^2$$

Questo valore è strettamente legato alla distanza sole terra e per questo risulta massimo nel solstizio d'estate quando la distanza sole terra è minima e viceversa minimo nel solstizio d'inverno.

Nei calcoli comunque si considera un valore medio pari a

$$IT = 1{,}367 \ W/m2$$

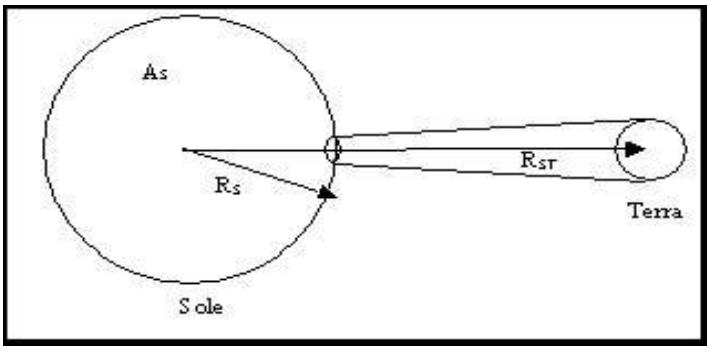


Figura 2: Schema per il calcolo della costante solare[8]

2.2.3 Le caratteristiche della luce solare*

La lunghezza d'onda delle radiazioni elettromagnetiche di cui è costituita l'energia irraggiata dal sole è compresa tra i 0,17÷4 µm (onde corte). Ad ogni lunghezza d'onda corrisponde una tipologia e un particolare colore.

Di seguito si riportano lo spettro e la tabella esplicativa:

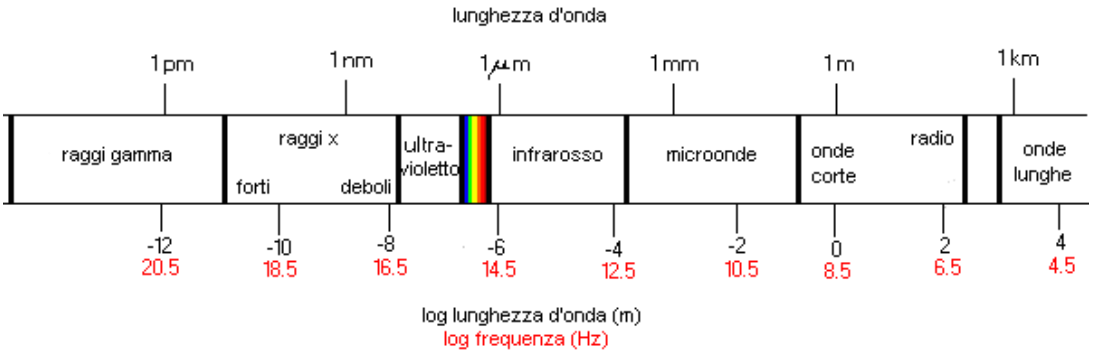


Figura 3: Spettro delle radiazioni elettromagnetiche

[8] Foto tratta http://www.marconi galletti.it/solare/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=7

Tipo di radiazione elettromagnetica	Frequenza	Lunghezza d'onda
Onde radio	< 3GHz	>10 cm
Microonde	3 GHz÷300GHz	10 cm÷1 mm
Infrarossi	300 GHz÷428 THz	1 mm÷700 nm
Luce Visibile	428 THz÷749 THz	700 nm÷400 nm
Ultravioletti	749 THz÷30 PHz	400 nm÷10 nm
Raggi X	30 PHz÷300 EHz	10 nm÷1 pm
Raggi Gamma	>300 EHz	<1 pm

Tabella 1: Nomi, frequenze e lunghezza delle radiazioni elettromagnetiche

l'energia emessa dal sole per ogni lunghezza d'onda è descritta dalla formula di Planck ovvero E=3,74· 108 / □□□e(14.400/□□□□□□□□□□. Calcolando l'integrale della curva di Planck (area sottesa dalla curva) si ottiene l'irraggiamento totale in funzione della temperatura, dato dalla legge di Stefan-Boltzmann: $I = A\sigma T^4$ dove $\sigma = 5{,}670400 \cdot 10^{-8}$ $W / m^2 K^4$ è la costante di Stefan-Boltzmann, e A è l'area.

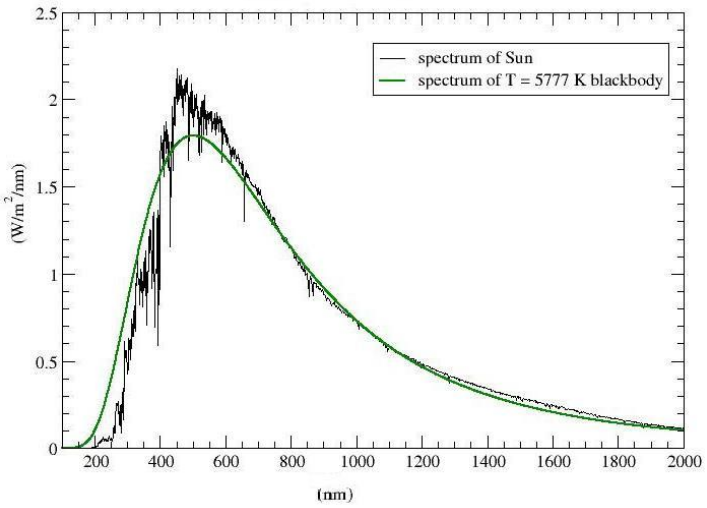


Figura 4: Confronto Spettro di emissione di un corpo nero a T=5.777 K con spettro Sole [9]

[9] Foto tratta dal sito http://www.astronomia.com

Per un'area A = $1m^2$, possiamo calcolare che: $T=4\sqrt{(IS/\sigma)} = 5.777$ K quindi, nel modello del corpo nero, la temperatura della superficie del sole è 5.777 K

2.2.4 La radiazione solare disponibile al suolo*

Come è facile intuire, non tutta la radiazione solare che raggiunge l'atmosfera del nostro pianeta arriva comunque sulla superficie terrestre a livello del mare. Questa infatti, arrivando nella parte
superiore dell'atmosfera, viene da essa assorbita e riflessa lasciando filtrare solo circa il 51%.
La percentuale di energia contenuta nella radiazione passante, quindi, diminuisce al crescere della porzione di atmosfera attraversata. Questa porzione di atmosfera attraversata si esprime con il coefficiente AM (Air Mass) $m= 1/sen(\beta)$ dove β è l'angolo tra il raggio solare e la orizzontale terrestre. Per direzioni perpendicolari alla terra, Air Mass sarà 1 o AM1, mentre all'esterno dell'atmosfera sarà 0 o AM 0 ; durante il pomeriggio potrebbero avere valori tipo AM5 o superiori. Una volta che la radiazione solare attraversa l'atmosfera e giunge sulla superficie terrestre viene assorbita per il 47% e riflessa per il restante 4%.
Ovviamente le variazioni di insolazione sulla terra dipendono macroscopicamente dai cicli di movimento tra terra e sole che in particolare sono:

- La rotazione che determina il giorno e la notte;
- La rotazione attorno al sole, che a causa dell'inclinazione dell'asse terrestre rispetto all'asse dell'ellittica solare determina le stagioni;
- I movimenti di Milankovitch di variazione di eccentricità (passa da un'orbita praticamente circolare con lo 0,5% di eccentricità ad un massimo del 6%, ogni 100.000 anni);
- I movimenti di variazione di inclinazione (passa da 21,5° a 24,5° ogni 41.000 anni);

- I movimenti di variazione di precessione, ossia di rotazione dell'asse terrestre rispetto ad un asse passante per il centro della terra e ortogonale all'ellittica (un giro ogni 23.000 anni).
- Un ciclo di funzionamento del sole, con apparizione di macchie solari (zone più fredde, 4.500 K, sulla superficie solare).

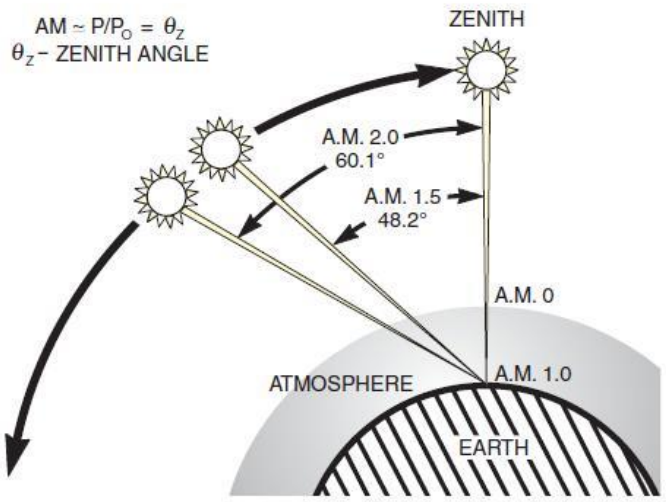


Figura 5: Coefficiente Air Mass[10]

Le radiazioni assorbite dal suolo riscaldano la Terra, che a sua volta, irradia energia verso l'esterno sotto forma di onde elettromagnetiche (infrarossi). Queste onde vengono in gran parte assorbite dai gas atmosferici.

Il riscaldamento dell'atmosfera quindi deriva non solo dall'energia che riceve direttamente dal Sole, ma anche dall'irraggiamento proveniente dalla Terra. La frazione di potenza termica assorbita dall'atmosfera viene a sua volta riemessa in parte verso l'esterno, in parte verso la superficie terrestre, che cosi viene riscaldata anche da questa radiazione di ritorno.

In sintesi la radiazione solare totale che la superficie terrestre riceve può essere così scomposta:

- Radiazione diretta che è la parte di radiazione che giunge nella direzione dei raggi solari senza subire né diffusioni, né riflessioni da parte dell'atmosfera e delle nuvole, e quindi costituita da raggi pressoché paralleli;

[*] Tratta da: http://www.die.ing.unibo.it/pers/negrini/didattica/documenti_pie/Sol_term_conc.pdf

[10] Foto tratta www.appuntidigitali.it/4450/energia-dal-sole-radiazione-al-suolo-e-su-un-pannello-inclinato/

- Radiazione diffusa che è la parte di radiazione che a causa dello scattering dell'atmosfera e dell'assorbimento da parte delle nuvole proviene da tutte le direzioni;
- Radiazione riflessa che è la parte di radiazione che proviene dalle riflessioni del terreno e degli oggetti che circondano la superficie

3 Conversione dell'energia solare

3.1 Conversione dell'energia solare in natura: la formazione dei combustibili fossili

Come già detto precedentemente da una attenta analisi dei processi fisici in natura, potremmo senz'altro affermare che la radiazioni solare costituisce ad oggi il motore di attivazione principale di diverse fonti di energia presenti sulla terra quali energia eolica, geotermica, idraulica, maremotrice, del moto ondoso, dei biogas e delle biomasse.
Interessante sarebbe poter paragonare le efficienze di conversione dell'energia solare tra i processi per cosi dire "naturali" e i processi "artificiali" ovvero indotti dall'uomo in apparecchiature di processo, apparecchiature industriali e/o dispositivi per usi civili e/o diversi. Tra questi ricordiamo sicuramente perché ormai di uso comune i pannelli solari termici che convertono l'energia solare in energia termica con efficienza di circa 80% e i pannelli fotovoltaici che convertono l'energia solare in energia elettrica con efficienza di circa il 20%.
L'energia Termica è una energia "poco pregiata" sia perché difficilmente accumulabile sia perché difficilmente convertibile in lavoro con rendimenti elevati. Essa è tanto meno pregiata quanto più bassa è la temperatura della sorgente calda disponibile ovvero quanto più la temperatura della sorgente calda è prossima alla temperatura dell'ambiente e dunque della sorgente fredda. L'energia elettrica è al contrario una energia di pregio perché facilmente convertibile in lavoro meccanico e con alte efficienze ma tuttavia come l'energia termica è difficilmente accumulabile.
L'energia chimica che si trova sicuramente in una via di mezzo tra l'energia termica e l'energia elettrica in termini di pregio per efficienza di una ipotetica trasformazione in lavoro anche attraverso più passaggi e/o conversioni intermedie in altre forme di energia, sicuramente risulta in svariati campi di applicazioni (si pensi ad esempio al trasporto e alla mobilita di cose e persone) meglio fruibile delle altre due menzionate o comunque meglio utilizzabile proprio perché facilmente accumulabile in volumi relativamente piccoli. (si pensi al serbatoio di una autovettura). Naturalmente la scelta del sistema di conversione dell'energia solare in altre forme di energia non dipende solo dall'efficienza di processo e dalla qualità dell'energia prodotta dalla conversione, ma anche ovviamente

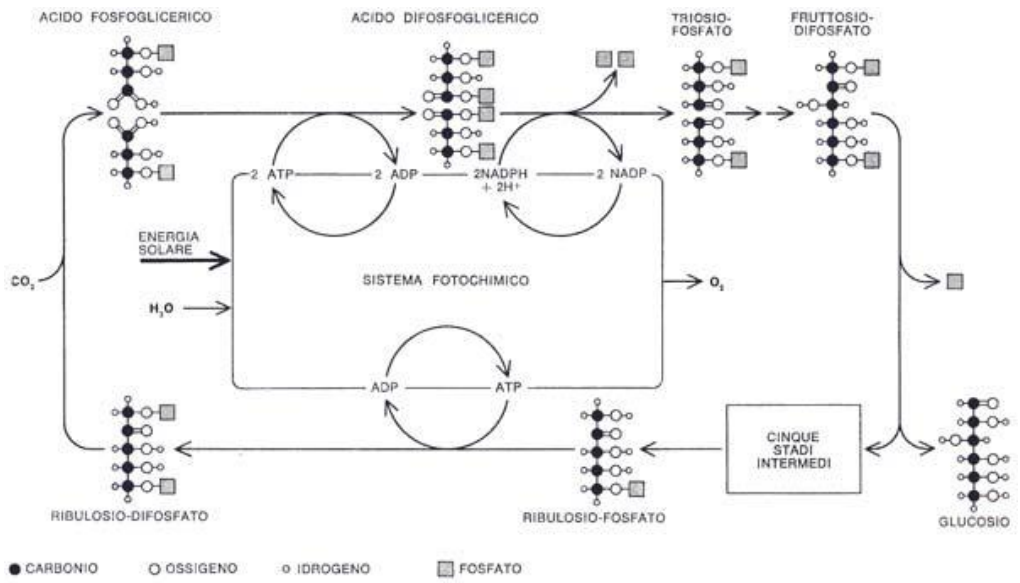
dal costo delle apparecchiature,dai costi operativi per il funzionamento delle stesse e dalla loro fruibilità su larga scala (industriale) o in contesti tipo smart grid.

L'insieme dei processi naturali che hanno portato alla formazione dei combustibili fossili (energia chimica) attraverso successive trasformazioni intermedie ma comunque a partire dall'energia solare ha avuto comunque bisogno di un tempo enormemente grande rispetto al tempo di possibile utilizzo delle fonti di energia fossile stesse prima del loro definitivo futuro esaurimento. Ecco che sarebbe veramente interessante disporre di una tecnologia per la conversione per cosi dire "artificiale" di energia solare in energia chimica.

A volte l'uomo progetta apparecchiature di uso comune proprio copiando al meglio ciò che già avviene in natura.

Il processo di trasformazione dell'energia solare in energia chimica che avviene in natura è la fotosintesi, ovvero quel processo che combinando anidride carbonica, donatori di idrogeno ed energia, genera composti organici e ossigeno molecolare.

La reazione descritta è la seguente: $nCO2 + nH2O + energia = n(CH2O) + nO2$. In realtà fondamentale nel processo è la presenza di un donatore idrogeno. Ecco che la reazione di fotosintesi può avvenire anche in assenza di acqua ma ad esempio in presenza di idrogeno solforato ($H2S$) utilizzato proprio dai solfobatteri fotosintetici responsabili della reazione. Nella maggior parte degli ecosistemi tuttavia la reazione di fotosintesi avviene grazie alla presenza di acqua ($H2O$) come donatore di idrogeno. Si pensi ad esempio alle alghe azzurre e alle piante verdi superiori, o ai vari altri composti organici come nel caso dei batteri purpurei o rodobatteri responsabili anche essi di reazioni di fotosintesi. Il diagramma riportato di seguito mostra il processo ciclico in seguito al quale una molecola di anidride carbonica si unisce con il ribulosio difosfato molecola a cinque atomi di carbonio, sintetizzato in precedenza da cinque molecole di anidride carbonica.



Il sistema fotochimico raccoglie parte dell'energia solare in arrivo riuscendo a convertire l'adenosindifosfato(ADP) in adenosintrifosfato(ATP) e il nicotinammideadenindinucleotidefosfato (NADP) nella sua forma ridotta (NADPH). Due molecole di NADPH e tre di ATP sono necessarie per fissare una sola molecola di anidride carbonica. Gli atomi di carbonio ricavati dalla CO2 possono pure essere incorporati in vari composti e rimossi in vari punti del ciclo.

E' necessario esaminare questo processo, sottolineando la fragilità e l'inefficienza intrinseca. Per esempio in un lago scarsamente produttivo con alta probabilità avremo circa 2,5 milligrammi di particelle di materiale organico per centimetro quadrato di superficie del lago e quindi, vi sono circa 25 millimetri cubi di organismi che ricorrono alla fotosintesi per 100 millimetri quadrati di superficie lacustre. Nel mare, le particelle di materiale organico sono anche molto di meno. In una foresta di alberi a foglie larghe invece basterebbero cinque foglie una sull'altra per assorbire tutta l'energia disponibile. In questo caso tuttavia, molto del materiale organico prodotto è sotto forma di cellulosa scheletrica che costituisce il supporto della pianta e la regolazione dell'evapotraspirazione.

Il risultato in definitiva è un impiego del volume della pianta ancora meno “economico” che nel caso del lago.

In definitiva, il sistema mediante il quale l'energia solare entra nel mondo vivente è veramente a bassissimo rendimento. Le stime dell'efficienza del processo di fotosintesi

sono abbastanza variabili tra loro, dipendono molto dalle circostanze ma in condizioni ottimali di coltivazione, con un'utilizzazione annuale di una buona percentuale della radiazione visibile agevolmente ottenuta sulla Terra, sottolineando che il limite è costituito probabilmente dal contenuto di anidride carbonica dell'aria, l'efficienza complessiva delle superfici terrestri nel loro insieme sembra aggirarsi tra lo 0,1 e lo 0,3%.

In sintesi, le piante terrestri, le alghe di acqua dolce e il fitoplancton marino, convertono l'energia contenuta nella luce solare, fissando chimicamente l'anidride carbonica e l'acqua, e dando origine, come sostanza di rifiuto, all'ossigeno ma con efficienze di conversione molto basse anche tenuto conto del limite imposto dalla concentrazione di anidride carbonica in atmosfera.

Una volta creati, i composti organici, se sottoposti a determinati valori di pressione e temperatura, in ambienti particolari, possono subire ulteriori trasformazioni. Con la fossilizzazione, ad esempio, si creano i principali combustibili fossili quali carbone, petrolio e gas naturale.

La sostanziale differenza tra le tre tipologia di combustibile fossile è determinata dal composto organico di origine (vegetale o animale) e dai valori di pressione e temperatura (dipendente dalla profondità di sedimento) in cui avviene la fossilizzazione.

I carboni fossili infatti, sono rocce sedimentarie costituite da sostanze organiche accompagnate da sostanze minerali e da acqua. In particolare, nel Carbonifero (345-280 milioni di anni fa), grazie all'alta concentrazione di CO2, gran parte della superficie terrestre era occupata da una folta vegetazione. Le piante, man mano che morivano, venivano sommerse dall'acqua: la materia organica cominciava a subire un lento processo che gradualmente faceva perdere alla stessa, atomi di idrogeno e di ossigeno, con il conseguente accumulo di un'alta percentuale di carbonio. In tal modo, la materia si trasformava in torba e, col passare del tempo (migliaia e milioni di anni), con l'aggiunta di ulteriori strati di terreno più o meno spessi e con il conseguente aumento della pressione e del calore che questi creavano, avveniva il completamento del processo trasformando la torba in carbone.

La materia prima da cui hanno avuto origine i carboni è costituita principalmente da cellulosa e lignina; le principali fasi di formazione sono due:

- La prima è la degradazione biologica, ad opera di un'azione chimico-biologica,
- la seconda è la fossilizzazione che si sviluppa per un'azione chimico-metamorfica.

Nella fase chimico-biologica sono essenzialmente i batteri ed i funghi che agiscono, decomponendo, le sostanze vegetali (cellulosa), meno resistente della lignina dando origine alla formazione di sostanze umiche. Nella formazione dei carboni fu proprio in questa fase che le sostanze umiche fissarono in modo preferenziale gli elementi metallici già presenti nel terreno. L'azione decomponente dei microrganismi si svolge alla superficie del suolo o in prossimità di esso, in presenza di maggiori o minori quantità di ossigeno. Quando la decomposizione biologica viene a cessare, o per mancanza di ossigeno o per altre ragioni (per esempio per la presenza di sostanze tossiche), ne deriva un prodotto organico contenente residui vegetali non decomposti (con presenza di acidi umici), in ragione della più o meno intensa azione biologica. E' in questo momento che interviene la fase di fossilizzazione dove attraverso stratificazioni successive che producono l'aumento dei valori di pressione e temperatura, si inserisce gradualmente la fase chimico-metamorfica. I prodotti risultanti dalla fase biologica sono chiamati torbe. Queste continuano a perdere atomi di idrogeno e ossigeno fino a quando la concentrazione di carbonio raggiunge alte percentuali, trasformando la sostanza definitivamente in carbone.

Chiaramente lo stesso processo, con temperature, pressioni e quindi profondità sedimentarie differenti, avvenne per la formazione dei combustibili fossili liquidi come il petrolio che sostanzialmente è una miscela complessa di sostanze organiche, prevalentemente di idrocarburi a lunga catena, formatasi nelle ere geologiche che vanno dal Precambriano al Pleistocene.

Gli ambienti più favorevoli alla formazione di idrocarburi sono le aree marine con scarsa circolazione sui fondali e continui apporti di detriti da parte dei fiumi (antichi mari o laghi), bacini sedimentari dove la crosta terrestre si abbassa in modo graduale o accelerato in seguito a processi geologici naturali. Qui vivono numerosi organismi, che dopo la morte si depositano sul fondo e vengono continuamente ricoperti da detriti (terrosi e minerali). Gli strati di fango ricchi di sostanza organica (roccia-madre) sprofondano lentamente sotto il peso di nuovi sedimenti e, a determinate profondità e temperature la materia organica "matura", trasformandosi prima in "kerogene" (intorno

ai 1000 metri e 50 gradi centigradi) e poi in idrocarburi veri e propri. La durata del processo varia da 10 a 100 milioni di anni a seconda che le temperature siano più o meno alte. E' stato dimostrato che i benzocarbazoli contenuti nel petrolio derivano da alcuni alcaloidi e che molti idrocarburi ramificati della serie delle paraffine presenti nel greggio si ritrovano anche nelle piante. Il materiale organico che ha dato origine al petrolio si è accumulato nel fondo dei mari come dimostra il fatto che la maggior parte dei giacimenti petroliferi sono associati a sedimenti di origine marina e considerando che il plancton è il materiale organico più abbondante dell'oceano si può ritenere che anche la sua composizione sia rappresentativa della materia prima che ha dato origine al petrolio. Il plancton ha subito le prime modificazioni in bacini chiusi dove si realizzano condizioni riducenti, i sedimenti organici vennero decomposti dai batteri e il prodotto di questa trasformazione costituì il cherogene.

L'ulteriore trasformazione in petrolio comporta complesse reazioni su cui si possono fare solo delle ipotesi. Queste reazioni devono essere avvenute molto lentamente e a temperature inferiori a 200°C; infatti nel petrolio si rinvengono composti solforati che si decompongono oltre tale temperatura. Un tipo di reazione che può aver dato luogo alla formazione del petrolio è il cracking termico. In seguito a una collisione in un sistema a temperature tali da determinare un certo livello di agitazione termica molecolare una n-paraffina può perdere un idrogeno formando un radicale:

$$CH2 – CH2– CH2– CH2– CH2 – CH2– CH2- \rightarrow – CH2 – CH2– CH2– C\cdot H– CH2 – CH2– CH2- + H$$

Il radicale si spezza formando un'olefina e un nuovo radicale primario:

$$CH2 – CH2– CH2– C\cdot H– CH2 – CH2– CH2- \rightarrow – CH2 – CH2– CH2– C\cdot H2 + CH2 =CH- CH2 –$$

Il radicale primario può subire un'ulteriore scissione e produrre etilene e un altro radicale primario:

$$- CH2 – CH2– CH2– C\cdot H2 \rightarrow CH2=CH2 + – CH2– C\cdot H2$$

o può isomerizzare o provocare l'estrazione di un atomo di idrogeno.

La terminazione della reazione avviene con l'unione di due radicali. In seguito a tali reazioni si formano soprattutto α-olefine, etilene e n-paraffine a peso molecolare minore di quelle di partenza. Tali reazioni, tuttavia, avvengono a temperature elevate ma si può ritenere che alcuni minerali in particolare metalli e ossidi metallici fissati nella matrice organica potrebbero agire da catalizzatori permettendo la reazione in tempi geologici.

Infine, tutti i derivati gassosi dei processi chimici di trasformazione dei composti organici in combustibili fossili diventano "gas naturale". Solitamente, questo, si deposita nella parte superiore dei giacimenti da cui proviene. Fondamentalmente è una miscela di gas metano (normalmente il 70-90% della miscela), butano e propano.

Nonostante il processo di fotosintesi abbia un basso rendimento, si sono prodotti enormi quantità di composti organici che hanno dato origine a diversi giacimenti che tutt'oggi alimentano i principali processi produttivi fornendo energia primaria per la maggior parte dei processi industriali e per le attività dell'uomo nel nostro pianeta.

In pratica si può affermare che i combustibili fossili costituiscono l'accumulo di energia solare, direttamente raccolta nella biosfera nel corso di periodi geologici, dalle piante tramite la fotosintesi clorofilliana e da organismi acquatici unicellulari come i protozoi e le alghe azzurre o indirettamente tramite la catena alimentare, dagli organismi animali.

3.2 Conversione dell'energia solare ad opera dell'uomo: i processi artificiali e le tecnologie consolidate per la trasformazione dell'energia solare

I processi "artificiali" ovvero indotti dall'uomo in apparecchiature di processo, apparecchiature industriali e/o dispositivi per usi civili e/o diversi, consolidati e ormai di uso comune prevedono l'utilizzo di pannelli solari termici che convertono direttamente l'energia solare in energia termica con efficienza di circa 60% e di pannelli fotovoltaici che convertono direttamente l'energia solare in energia elettrica con efficienza di circa il 15%.

L'energia solare può dunque essere convertita essenzialmente in energia termica o "calore", mediante gli impianti solari termici, che consentono di sfruttare l'energia irraggiata dal sole per riscaldare un fluido termovettore che a sua volta fornisce calore ad un utilizzatore, o in energia elettrica, mediante gli impianti fotovoltaici consentono di

sfruttare l'energia irraggiata dal sole per generare attraverso l'effetto fotoelettrico una differenza di potenziale ai capi di una cella fotovoltaica che genera una corrente continua che viene a suo volta convertita in corrente alternata in una apparecchiatura denominata inverter e dunque immessa in rete per essere utilizzata da un utilizzatore (motore lampadina, climatizzatore etc.)

3.2.1 Determinazione del Rendimento di un Collettore Solare Termico con Superficie Piana

Il presente paragrafo ha come oggetto la determinazione del coefficiente di rendimento di un collettore solare piano in una condizione operativa compatibile con il clima siciliano.

Il caso in analisi prende in considerazione un collettore solare così costituito:

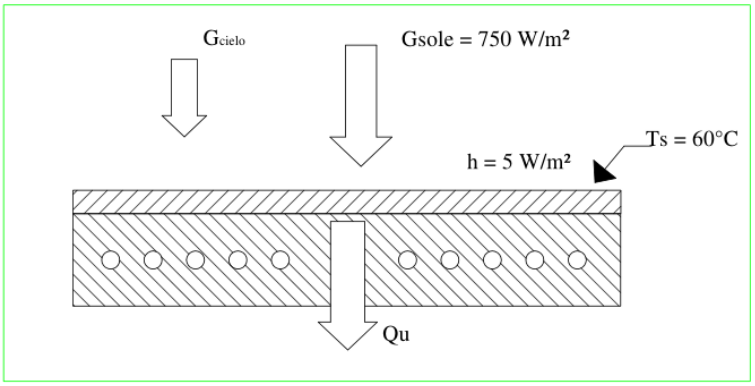
piastra in acciaio;

rivestimento di nero tramite trattamento di ossidazione superficiale elettrolitica al nero di cromo-nichel;

coefficiente di assorbimento della radiazione nel campo del solare: $\alpha_{Sole} = 0.95$;

coefficiente di emissività nel campo dell'infrarosso: $\varepsilon_{IR} = 0.1$.

di seguitola modellizzazione del collettore solare con la rappresentazione dei flussi energetici, in termini di potenze, rapportati al mq di superficie.



Il rendimento del sistema varia ovviamente a seconda delle condizioni operative. Si ipotizza quindi una tipica condizione di funzionamento riscontrabile in Sicilia nel periodo maggio-giugno:

temperatura piastra: $T_P = 60°C$;

temperatura aria: $T_A = 30°C$;

potenza incidente: $G_{Sole} = 750W/mq$;

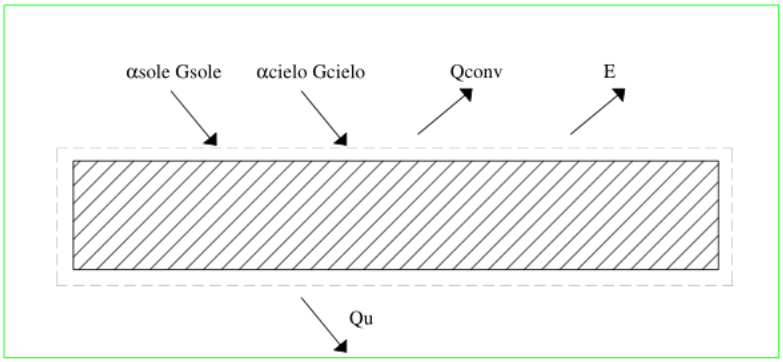
umidità relativa dell'aria: $U_{REL} = 50\%$;

coefficiente convettivo della piastra: $h = 5W/(m^2K)$,

Per poter effettuare il calcolo occorre fare delle **ipotesi semplificative** che nel seguito si riportano:

- condizioni stazionarie;
- temperatura uniforme della superficie captante;
- piastra in acciaio ben isolata, per cui tutta l'energia incidente viene ceduta al fluido vettore;
- superficie assorbente diffusa.

Il bilancio energetico viene effettuato con riferimento alla piastra ricevente.



In condizioni stazionarie l'energia in ingresso è pari all'energia in uscita, pertanto, ragionando per unità di area vale:

$$\alpha_{Sole}G_{Sole} + \alpha_{CIELO}G_{CIELO} - Q_{CONV} - E - Q_U = 0$$

dove:

- $\alpha_{Sole} G_{Sole}$: potenza termica solare incidente realmente assorbita dal collettore solare;
- $\alpha_{CIELO} G_{CIELO}$: potenza termica incidente proveniente dall'atmosfera e realmente assorbita dal collettore solare;
- Q_{CONV}: potenza termica persa dal collettore solare per convezione;
- E: potenza termica emessa dal collettore solare nel campo dell'infrarosso;
- Q_U: potenza termica del collettore solare ceduta al fluido vettore.

In tale equazione non si conosce l'energia radiante dell'atmosfera, poiché questa emette nello stesso campo di frequenza della piastra, possiamo assumere:

$$\alpha_{CIELO} = \varepsilon_{IR} = 0.1$$

Occorre ora determinare la temperatura effettiva del cielo. Per fare ciò occorre determinare, dal diagramma psicrometrico, in relazione all'umidità relativa, la temperatura di rugiada:

$$T_R = 18{,}3°C$$

Dal diagramma psicormetrico, risulta che la temperatura del cielo è pari a:

$$T_{CIELO} = 17{,}9°C = 291K$$

Per cui ordinando la legge di bilancio energetico risulta:

$$Q_U = \alpha_{Sole} G_{Sole} + (\alpha_{CIELO} G_{CIELO} - E) - Q_{CONV} = \alpha_{Sole} G_{Sole} + (-\varepsilon_{IR}\sigma(T_s^4 - T_{CIELO}^4)) - h(T_s - T_A)$$
;

$$Q_U = 0.95 \cdot 750 - 0.1 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot (333^4 - 291^4) - 5 \cdot (60 - 30) = 533{,}4 W/m^2K$$

L'efficienza del pannello sarà quindi uguale a:

$$\eta = Q_U / G_{Sole} = 533.4/750 = 0.71$$

Tale valore è un valore teorico e rappresenta un limite massimo, nella realta i valori sono ancora più bassi, specie nelle giornate di vento dove le perdite per convezione sono ancora maggiori essendo il coefficiente convettivo della piastra pari a 10-15 W/m^{2}K. Il rendimento medio annuale reale di un collettore solare termico si questo tipo si attesta intorno al 50%.

3.2.2 Determinazione del Rendimento di un Collettore Solare Termico con Superficie Piana ricoperto da una lastra di vetro

Il presente paragrafo ha come oggetto la determinazione del coefficiente di rendimento di un collettore solare piano in acciaio nero ricoperto da una lastra di vetro a basso tenore di ossido di ferro e intercapedine in vuoto tra il vetro e il materiale di rivestimento.
Si riportano i parametri dei singoli elementi:

<u>piastra in acciaio nero;</u>
rivestimento di nero tramite trattamento di ossidazione superficiale elettrolitica al nero di cromo-nichel;

coefficiente di assorbimento nel campo del solare: $\alpha_{Sole} = 0.95$;

coefficiente di emissività nel campo dell'infrarosso: $\varepsilon_{IR} = 0.1$.

<u>Strato di vetro:</u>

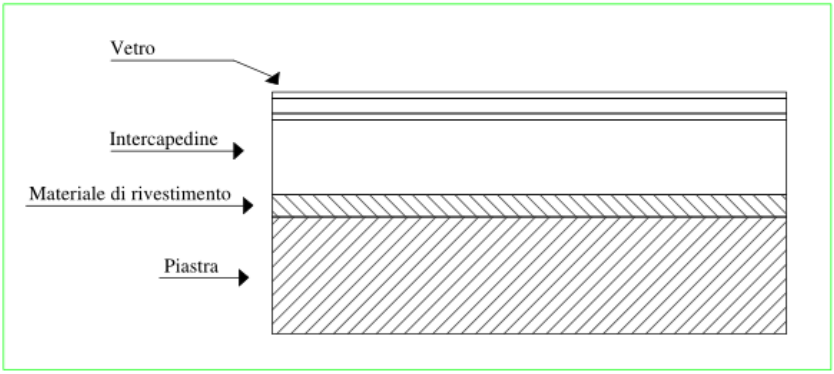
coefficiente di trasmissione nello spettro solare: $\tau_S = 0.92$;

coefficiente di assorbimento nello spettro solare: $\alpha_S = 0.04$;

coefficiente di trasmissione nell'infrarosso $\tau_{IR} = 0$;

emissività del vetro nel campo dell'infrarosso: $\varepsilon_{V,IR} = 0.88$.

Di seguito la modellizzazione del collettore.



Per effettuare il calcolo dobbiamo assumere ulteriori ipotesi semplificative aggiuntive rispetto al pannello senza vetro:

- il coefficiente di trasmissione del vetro non è nullo, per cui vi è un piccolo scambio tra meteriale di rivestimento e cielo;
- nell'intercapedine non vi è il vuoto perfetto, dunque sussiste un piccolo scambio convettivo tra piastra e aria;
- si considerano nulli gli scambi laterali del collettore;
- l'irradianza solare che incide sulla superficie è uguale alla parte di irradianza solare trasmessa dal vetro.

Considerato che vi è uno scambio termico tra la superficie di controllo e quella del vetro, il bilancio di energia sarà quindi uguale a:

$$Q_U = \tau_S \alpha_{Sole} G_{Sole} - Q_{PV}$$

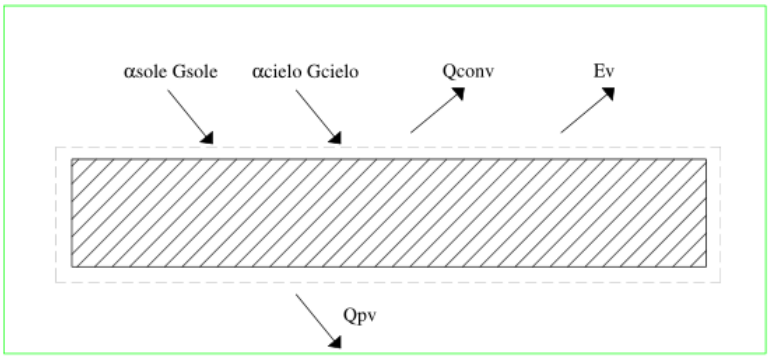
Dove Q_{PV} è uguale a:

$$Q_{PV} = \sigma(T_S^4 - T_V^4)/(\frac{1-\varepsilon_{PIR}}{\varepsilon_{PIR}} - \frac{1}{F_{PV}} + \frac{1-\varepsilon_{VIR}}{\varepsilon_{VIR}})$$

Posto che $F_{PV} = 1$, l'equazione diviene:

$$Q_{PV} = \sigma(T_S^4 - T_V^4)/(\frac{1}{\varepsilon_{PIR}} + \frac{1}{\varepsilon_{VIR}} - 1)$$

Atteso che non si conosce la temperatura del vetro occorre eseguire il bilancio energetico sul vetro.



Atteso che $\alpha_{CIELO} = \varepsilon_{VIR}$ si ottiene:

$$\alpha_{Sole} G_{Sole} - \varepsilon_{VIR}\sigma(T_V^4 - T_{CIELO}^4) - h(T_V - T_A) + \sigma(T_s^4 - T_V^4)/(\frac{1}{\varepsilon_{PIR}} + \frac{1}{\varepsilon_{VIR}} - 1) = 0$$

Sostituendo i valori numerici si ottiene:

$$-5{,}55 * 10^{-8} T_4^V - 5T_V + 1971{,}6 = 0$$

Si risolve l'equazione in maniera iterativa, ottenendo:

$$T_V = 29°C$$

Sostituendo i valori si ottiene:

$$Q_U = 633 W / m^2$$

L'efficienza del pannello sarà quindi uguale a:

$$\eta = Q_U / G_S = 633 / 750 = 0.84$$

Tale valore è un valore teorico e rappresenta un limite massimo, nella realtà i valori sono ancora più bassi specie nelle giornate di vento dove le perdite per convezione sono ancora maggiori essendo il coefficiente convettivo della piastra pari a 10-15 W/m^{2}K. Il rendimento medio annuale reale di un collettore solare termico si questo tipo in Sicilia si attesta intorno al 60%.

3.2.3 Determinazione del Rendimento di un pannello fotovoltaico

Il presente paragrafo ha come oggetto la determinazione del coefficiente di rendimento di conversione di un pannello fotovoltaico standard con celle in silicio policristallino. I pannelli oggi più comuni in commercio hanno una potenza di picco compresa tra i 200 e i 300 Wp. Il termine "potenza di picco" indica la massima potenza che la cella fotovoltaica genera in condizioni di lavoro considerati ottimali (STC - Standard Operating Conditions). Tale grandezza viene indicata con l'unità di misura Wp ed esprime la potenza elettrica generata (in Watt) in condizioni standard. Infatti, la potenza di picco viene definita in base a delle condizioni di funzionamento "convenzionali" che

corrispondono ad una irradianza Gsole di 1.000 W/m2 e ad una temperatura della cella di 25°C.

Ipotizziamo il calcolo del rendimento di un pannello da 235 Wp standard aventi le seguenti caratteristiche:

PARAMETRI DI FUNZIONAMENTO	
Temperatura limite di esercizio	- 40°C ÷ + 85°C
Tolleranza della potenza del modulo	-0% + 3%
Riduzione dell'efficienza a 1000 W/m² a 200 W/m²	<4%
Classe di protezione	IP 65
Voltaggio massimo di sistema	1000 VC

DIMENSIONAMENTO E PESO	
Lunghezza	1640 mm
Larghezza	992 mm
Profondità	45 mm
PESO	20,00 Kg

CARATTERISTICHE MECCANICHE	
Celle	60 (6x10) Celle di silicio policristallino da 156x156 mm
Vetro	Vetro solare temperato da 3,5 mm
Cornice	Alluminio anodizzato da 45 mm
Junction Box	Connettori: MC4
Retro	Lamina stratificata impermeabile

PARAMETRI ELETTRICI		SYP235S
Potenza Massima P_N (Wp)	Watt	235
Tensione alla massima potenza (Vmp)	Volt	30,0
Corrente alla massima potenza (Imp)	Ampere	7,84
Tensione a circuito aperto (Voc)	Volt	37,1
Corrente di corto circuito (Isc)	Ampere	8,28
Efficienza del modulo	%	14,46

COEFFICIENTI DI TEMPERATURA	
Coefficiente della temperatura di corto circuito (Isc)	0,033% /°C
Coefficiente della temperatura a circuito aperto (Voc)	- 0,39% /°C
Coefficiente della temperatura alla potenza (Tmax)	- 0,44% /°C
Temperatura nominale di funzionamento celle (Noct)	44,5°C ± 1

Il rendimento di conversione in condizioni standard al mq di superficie del modulo risulta:

$$\eta = (P_N / S) / Gsole = 235/(1.662 \cdot 0.992)/1000 = 14{,}25\%$$

Tale rendimento varia a seconda delle condizioni operative, il fattore più importante in questo caso è la temperatura. La temperatura che si deve prendere in esame è quella della cella fotovoltaica: tale temperatura dipende dall'irradianza solare cui è soggetta, dall'efficienza di conversazione in energia elettrica dell'energia ricevuta dal sole, dalla temperatura dell'aria in cui opera e dalla velocità del vento. La perdita di produzione è dovuta all'aumento della conducibilità interna della giunzione "pn" all'aumentare della sua temperatura, con conseguente aumento della velocità di ricombinazione delle cariche. Più in particolare, prendendo in esame la curva corrente-tensione di un modulo fotovoltaico, si può notare che l'aumento di temperatura porta ad uno schiacciamento della curva verso valori di tensione più bassi, con conseguente riduzione della potenza erogata Pnom=IxV nel punto di massima potenza. Si può considerare che la perdita di

potenza rispetto alle condizioni STC è di circa 0,4-0,5% per ogni °C, in funzione delle varie tipologie di cristallo utilizzato. Se si indica con "Pterm" il valore delle perdite termiche del generatore fotovoltaico, la formula di calcolo è la seguente:

$$Pterm = [\ Tamb - 25 + (\ NOCT - 20\ ) * Irr / 0{,}8\ ] * J / 100$$

dove

Irr: irradianza solare, misurato sul piano dei moduli.

Tamb: temperatura ambiente

NOCT: Temperatura nominale di lavoro della cella: questo parametro, fornito dal costruttore, è tipicamente pari a 40-50°C, ma può arrivare a 60°C per moduli in vetrocamera.

J = Coefficiente di temperatura di potenza: variazione percentuale della Pnom di un generatore fotovoltaico per grado Celsius di variazione della temperatura della cella; questo parametro, fornito dal costruttore, per moduli in Si cristallino è, come già detto, pari a 0,4-0,5%/°C

E' interessante constatare come una cella fotovoltaico sia in grado di convertire in energia elettrica solo una parte della energia ricevuta dal Sole. Se si calcola il bilancio energetico di una cella fotovoltaica inserita in un pannello fotovoltaico, si può notare che gran parte dell'irradianza ricevuta si trasforma in energia termica che va a riscaldare la cella stessa , con conseguente aumento della sua temperatura; più aumenta l'efficienza di una cella fotovoltaica, meno si riscalda, con il duplice effetto di ridurre sia le perdite per l'aumento di temperatura sia lo stress dei materiali indotti dal surriscaldamento.

3.3 La ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie per la trasformazione dell'energia solare: gli impianti solari a concentrazione

Nell'industria è frequente la richiesta contemporanea di energia elettrica e di energia termica. In genere, in ambito industriale, la richiesta di energia termica è volta ad ottenere vapore saturo o surriscaldato, olio e/o acqua calda o aria e/o gas di alimentazione preriscaldati nell'industria di processo in funzione delle temperature di lavoro dell'utilizzatore ovvero dell'apparecchiatura industriale che viene alimentata con energia termica (colonna di distillazione, evaporatore, cristallizzatore, colonna di assorbimento e/o desorbimento, turbine a gas e turbine a vapore, scambiatore di calore, unità di trattamento termico UTA, dissalatore, unita di sterilizzazione etc etc). È comunque diffusa anche negli impieghi civili l'esigenza di disporre contemporaneamente di energia elettrica e di energia termica per usi domestici (riscaldamento e climatizzazione ambienti, produzione di acqua sanitaria, illuminazione e utilizzo di utensili da cucina e apparecchiature audiovisive etc etc). Non è superfluo sottolineare che questa esigenza è sempre più in aumento, sia per ridurre i costi degli approvvigionamenti energetici oggi sempre più cari e dunque in un'ottica di efficienza energetica e riduzione degli sprechi, sia per aumentare la durata delle fonti di energia fossile oggi più che mai in rapido esaurimento. L'utilizzo contemporaneo di energia elettrica ed energia termica (cogenerazione) consente in definitiva di aumentare l'efficienza totale di trasformazione oggi fino quasi al 85% della fonte primaria consentendone di soddisfare le esigenze energetiche con una minore quantità di combustibile . Tali richieste energetiche purtroppo spesso vengono soddisfatte in modo tradizionale separatamente, ovvero, per quanto riguarda le esigenze di energia elettrica attraverso il prelievo dalla rete nazionale elettrica; l'energia elettrica viene pertanto acquistata dai grandi produttori (es. ENEL) che la producono in centrale con efficienze non superiori al 40% dissipando tuttavia nell'ambiente l'energia termica contemporaneamente prodotta che potrebbe essere invece impiegata in un processo cogenerativo. Al contrario per le esigenze termiche dei processi di lavorazione, vapore o fluido caldo, spesso si brucia del combustibile fossile con efficienze a volte anche prossime al 90% (caldaie a condensazione) in una apposita caldaia installata all'interno

dello stabilimento stesso, ma paradossalmente altrettanto spesso volte si utilizza l'energia elettrica prelevata dalla rete e convertita in un ulteriore stadio in energia termica come ad esempio avviene per climatizzare ambienti o riscaldare alimentazioni di processo con efficienza totale inferiore al 30%.

Nel campo delle fonti tradizionali la ricerca sta dunque sempre più spingendo verso l'utilizzo di impianti di cogenerazione in situ in una logica di produzione diffusa e non più centralizzata dell'energia in un'ottica di sviluppo di sistemi smart grid sicuramente più complessi ma anche meglio integrati in un' ottica di risparmio energetico.

In linea con questa tendenza in un contesto di sostenibilità ambientale che non guarda più solo ai cambiamenti climatici o alle patologie evidenziate nelle analisi epidemiologiche legate all'uso delle fonti fossili e delle sostanze tossiche e nocive che si generano, ma anche e soprattutto all'utilizzo razionale del suolo , alla minimizzazione dell'impatto ambientale e in termini paesaggistici e in termini di cambiamento dell'ecosistema con ripercussioni sulla flora e sulla fauna autoctona determinati da un ricorso massiccio alle fonti rinnovabili, la ricerca sta concentrando i propri sforzi per migliorare l'efficienza della conversione anche dell'energia solare che consentirà di produrre energia elettrica o termica con rendimenti superiori e con un minore utilizzo di suolo agricolo.

Di recente introduzione nel mercato sono i cosiddetti impianti ibridi fotovoltaici e termici che consentono di utilizzare l'energia solare per la produzione contemporanea di calore ed energia elettrica per usi civili con efficienze superiori all'80%. Il limite al diffondersi di questi impianti anche per applicazioni smart grid sono legate però alla qualità dell'energia termica prodotta ad una temperatura non superiore agli 80 ˚C e dunque buona per la sola climatizzazione invernale di ambienti o per la produzione di acqua calda sanitaria.

Un fluido termovettore per applicazioni in processi industriali o per la climatizzazione estiva di ambienti in applicazioni civili dovrà avere una temperatura sensibilmente superiore a quella prodotta in questi impianti ibridi il cui utilizzo rimane dunque ad oggi limitato ad applicazioni civili isolate sia per i costi ancora alti sia per limiti tecnologici ad oggi non ancora superati.

Il superamento di tali limiti tecnologici (temperatura del fluido termovettore e dunque migliore qualità dell'energia termica prodotta) e il miglioramento dell'efficienza di

conversione oltre il valore dell'80% per impianti solari termici o solari ibridi e del 20 % degli impianti fotovoltaici che consentirà un migliore uso del suolo agricolo destinato alla produzione energetica potrà avvenire in un prossimo futuro grazie alle recenti ricerche in ambito delle **tecnologie a concentrazione solare** sia fotovoltaiche che termiche.

L'energia solare che raggiunge la terra è, infatti, un'energia degradata rispetto alla radiazione solare IS emesse sal sole o se vogliamo ha un maggiore contenuto entropico e una minore organizzazione dovuta ad una " diluizione" dell'energia in una sfera di raggio pari alla distanza terra sole. La concentrazione solare eleva con un processo inverso la qualità dell'energia solare disponibile al dispositivo o apparecchiatura di conversione migliorando in definitiva sia l'efficienza di conversione per la produzione di energia elettrica e/o di energia termica sia la qualità dell'energia termica prodotta (temperatura del fluido vettore più alta).

Grazie alla concentrazione solare è inoltre possibile convertire l'energia termica prodotta in energia elettrica proprio perché la qualità dell'energia termica o se vogliamo il suo contenuto entropico è tale da consentirne l'utilizzo specifico. Il mare è infatti un infinito serbatoio di energia solare degradata proprio perché a bassa temperatura e dunque ad elevata entropia e ciò non ne consente l'utilizzo per la trasformazione in lavoro e in energia elettrica. Al contrario l'energia termica ad alta temperatura prodotta in un impianto a concentrazione solare è utilizzabile per la produzione di lavoro meccanico ed energia elettrica proprio perché disponibile ad un livello antropico basso e ad un più alto livello di organizzazione o in una sola parola ad un livello di exergia maggiore.

Oggi esistono già tecnologie consolide per produzioni tuttavia su scala industriale (impianti superiori a 5 MW) di energia elettrica da fonte solare, decisamente più complessi, che utilizzano la trasformazione termica per generare energia elettrica. Questi processi si svolgono fondamentalmente in tre fasi:

1. Si converte l'energia solare primaria in una forma di energia termica;
2. Si converte una forma di energia termica in una forma di energia meccanica;
3. Si converte una forma di energia meccanica in una forma di energia elettrica.

Nelle centrali solari ad esempio viene prodotta energia termica, mediante la concentrazione dei raggi solari. Il calore prodotto viene successivamente trasmesso ad

un fluido elastico, che, evolvendo in opportune macchine (generalmente turbine, ovvero motori volumetrici alternativi) produce lavoro meccanico. Si ha dunque, la conversione dell'energia dalla forma termica a quella meccanica ovvero una "**conversione termodinamica"**. In fine, il lavoro meccanico ottenuto, viene conferito ad un alternatore elettrico, mediante il quale si opera l'ultima conversione dell'energia nella forma elettrica. È opportuno ricordare che in nessuno dei processi di conversione è possibile convertire interamente l'energia disponibile da una forma all'altra; ciascuno dei passaggi appena presentati è dunque caratterizzato da un rendimento, ossia da un coefficiente che rende conto della frazione di energia convertita, rispetto a quella inizialmente disponibile.

In termini di rendimento, il processo complessivo di conversione termodinamica è assai dispendioso e ciò dipende principalmente dai limiti fisici termodinamici e si aggira intorno al 25% per grandi impianti e al 20% per impianti più piccoli 5MW.

Tale limite dipende sia dal principio di Carnot, ed espresso mediante un fattore di conversione, detto appunto rendimento termodinamico sia da limiti tecnologici di utilizzo di fluidi termovettori con temperature di lavoro elevate. In particolare, T_{min} è la temperatura assoluta in gradi Kelvin della sorgente fredda, alla quale si deve necessariamente cedere calore non ulteriormente convertibile, mentre T_{max} è la temperatura assoluta in gradi Kelvin della sorgente calda, dalla quale si sottrae la quantità di calore iniziale da convertire.

$$\eta t = 1 - (T_{min} / T_{max})$$

A parità di temperatura della sorgente fredda, il rendimento di Carnot aumenta con la temperatura della sorgente calda.

È opportuno ricordare che rappresenta il massimo valore dei rendimento di conversione e che in un ciclo termodinamico è possibile conseguire tale valore solo in sede ideale.

Un altro effetto che determina un'ulteriore diminuzione del rendimento è quello dovuto alla molteplicità delle sorgenti, infatti, più sono vicine le temperature T_{min} e T_{max} più il rendimento si avvicina allo zero. I limiti di tipo termodinamico hanno quindi un duplice significato. Uno, diretto, ovvero l'impossibilità, pur in sede ideale, di convertire l'intera energia termica disponibile. Il secondo limite riguarda l'entità della perdita di conversione, proporzionale a T_{min} e T_{max} .

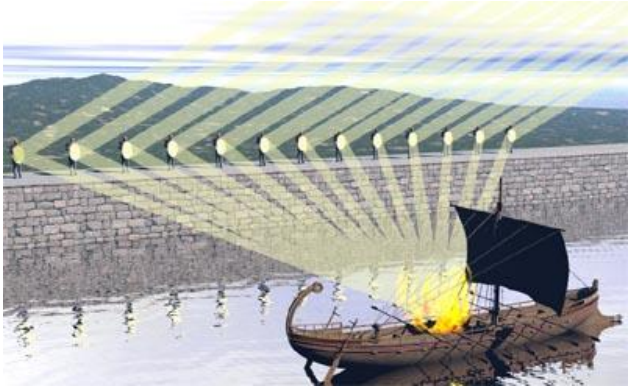
Dalla equazione di Carnot, infatti, si deduce che il rendimento dipende esclusivamente dalle temperature estreme del ciclo. Per quanto riguarda i limiti relativi a tali temperature, è da osservare che la T_{min} va realisticamente legata alle condizioni ambientali, ovvero la temperatura minima del ciclo è da considerarsi quella dell'ambiente esterno: non è, infatti, possibile predisporre un sistema refrigerante che alteri le condizioni ambientali, creando artificialmente una temperatura $T_{min} < T_{amb}$ senza pagare un prezzo termodinamico superiore al beneficio conseguibile (II principio della termodinamica enunciato di Clausius). La T_{max} che influisce sulle prestazioni della macchina, ha soprattutto un limite tecnologico, legato alla capacità di resistenza dei fluidi termovettori alle alte temperature ed alle elevate sollecitazioni meccaniche cui gli stessi fluidi vengono sottoposti durante il funzionamento.

Questa pesante limitazione delle temperature di lavoro è una delle principali cause che rendono la conversione termodinamica di gran lunga più onerosa, in termini di rendimento, rispetto agli altri stadi della catena di conversione dell'energia, incidendo in modo preponderante sul rendimento globale dell'intero processo.

Per fornire un valore orientativo, basta considerare che il rendimento globale di un processo convenzionale è dell'ordine del 40%, il che implica che quasi il 60% dell'energia immessa nel sistema di conversione non diviene energia utile.

In un impianto termodinamico la T_{max} è dell'ordine dei 300 ˚C se si usano oli minerali e di circa 450 ˚C se si usano i cosi detti Sali fusi (recente brevetto del fisico Rubbia) il che fa si che il rendimento termodinamico teorico sia al massimo del 47%. A questo rendimento bisogna aggiungere il rendimento di riflessione degli specchi per la concentrazione dell'energia solare il rendimento meccanico e il rendimento elettrico. Se si tiene conto inoltre che parte della radiazione solare riflessa dagli specchi viene assorbita dal sistema ricevitore e parte viene dispersa nell'ambiente sotto forma di emissioni per effetto della Legge di Stefan - Boltzmann edi dispersioni per effetto della convezione naturale si arriva ad un rendimento globale di conversione energia solare in energia elettrica di circa il 25%.

3.3.1 Storia degli impianti a concentrazione solare*



Il primo grande scienziato che approccio al fenomeno della concentrazione della radiazione solare per la produzione di calore ad alta temperatura fu Archimede. Si narra infatti che durante l'assedio della flotta romana in Siracusa nel 212 a.c. riuscì a bruciare alcune navi utilizzando degli specchi metallici concavi e concentrando con gli stessi le radiazione solare sugli scafi delle navi. Successivamente, nel 1615, Salmon De Caux inventò un piccolo "motore solare". Il dispositivo era composto da lenti di vetro che concentravano la radiazione su un vaso metallico ermetico contente aria e acqua. Questo produceva un piccolo getto di acqua quando l'aria si scaldava.

Nel 1860 il francese August Mouchet creò la prima macchina realmente funzionante ad energia solare. Il dispositivo venne realizzato con un concentratore a forma di tronco di cono, con superficie captante di circa 20 m^2 . Egli riuscì a far produrre al suo motore poco più di 1 kW azionando una macchina tipografica. Il prototipo fu presentato nel 1878, alla Esposizione Universale a Parigi.

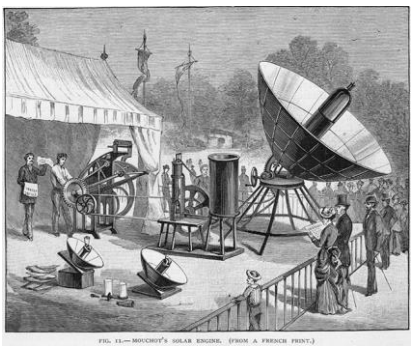


FIG. 11.—MOUCHOT'S SOLAR ENGINE. (FROM A FRENCH PRINT.)

Sempre a metà dell'800 John Ericsson inventò il collettore parabolico lineare. Il sistema solare aveva una potenza max di 1,8 kW e serviva per il pompaggio delle acque nei campi. Un'altro scienziato che si dedico ai sistemi a concentrazione solare fu Manuel António Gomes, prete portoghese detto Himalaya a causa della sua statura. Egli realizzò ai primi del '900 una macchina con parabolide che inseguiva il sole. La peculiarità del suo sistema fu quella di ottenere rapporti di concentrazione estremamente alti, cosa che riuscì a fare separando la struttura ottica del concentratore da quella del ricevitore e realizzando un secondo stadio concentratore.

Gomes realizzò anche il pyreheliophoro con i due movimenti distinti necessari per rintracciare il sole, ad ogni latitudine di funzionamento (movimento azimutale e zenitale).

Il dispositivo era alto 13 m ed il collettore era un settore di un paraboloide di circa 80 m^2 con una distanza focale media di 10 m. il paraboloide fù costruito mediante l'utilizzo di 6.117 piccoli specchi di vetro argentato di dimensioni 123 ·98 mm. Il diametro della zona focale aveva un diametro di 150 mm con un fattore geometrico di concentrazione di circa 4.500 soli.

L'ultimo impianto che impiego' dei prototipi di macchine a concentrazione solare, risale al 1910 quando in Egitto fu installato il primo impianto a concentrazione lineare utilizzato per il pompaggio di acque. L'impianto ospitava una serie di collettori parabolici lineari lunghi 62 m e ampi 4 m. Questi dispositivi inseguivano il sole attraverso un rudimentale sistema di solar tracking.

3.3.2 Il principio di funzionamento *

Gli impianti solari a concentrazione sfruttano le leggi fisiche della riflessione o della rifrazione per concentrare i raggi solari su una superficie. Ovviamente tale superficie, merito l'enorme quantità di fotoni incidenti, può essere utilizzata, sia da fonte di calore ad alta temperatura che, sia da fonte di energia elettrica sfruttando l'effetto fotoelettrico di Einsetin mediante l'utilizzo di particolari materiali altamente performanti con alta radiazione incidente (celle fotovoltaiche a tripla giunzione).

In questi sistemi i raggi solari della sola componente diretta (DNI Direct Normal Irradiation), viaggianti in parallelo all'asse di uno specchio di forma concava, in genere a sezione parabolica, chiamato collettore, vengono riflessi, dalla sua superficie riflettente, e fatti convergere nel punto focale. In tale punto, l'energia contenuta in ciascun raggio viene a sommarsi a quella di tutti gli altri raggi che incidono sullo specchio. Successivamente, mediante l'utilizzo di un ciclo termodinamico, o mediante celle a tripla giunzione, si genera energia elettrica e/o energia termica.

In entrambi i casi, all'interno del ricevitore è presente un fluido vettore che aumenterà la propria temperatura fino a portarsi ad un valore di equilibrio determinato dal bilancio tra

la perdita di potenza per irraggiamento e l'afflusso di potenza solare. Questa concentrazione quindi produce comunque calore. Nel caso di utilizzo di celle a tripla giunzione la temperatura si attesterà a valori nominali di funzionamento non superiori a 80 ˚C in quanto a temperatura maggiori l'efficienza della cella decade troppo velocemente. Nel caso di utilizzo termico si può ottenere calore ad alta temperatura, il quale potrà essere impiegato:

- direttamente per applicazioni richiedenti energia termica ad alta temperatura (processi industriali solar heating e solar cooling,
- mediante l'utilizzo di un fluido elastico e opportune macchine, per produrre vapore e quindi energia elettrica mediante l'azionamento di una turbina (da qui il termine solare termoelettrico a concentrazione).
- Per produrre lavoro meccanico attraverso un motore stirling

Si chiama fattore di concentrazione del collettore C un numero adimensionale dato da:

$$C = A/a \ [m^2]$$

Con A area del collettore e a area della zona focale del colletore.

Trascurando per il momento le perdite dovute alla non perfetta riflettanza del collettore e alla non totale assorbenza del ricevitore, e ricordando la formula esprimente l'irraggiamento solare diretto I_{dir} su una superficie inclinata rispetto il suolo terrestre di un angolo β , il significato di C è che l'irraggiamento solare diretto I_C su a , potrà così essere determinato: Da queste relazioni.

$$I_C = C \cdot I_{dir}$$

Per i collettori vanno fatte due considerazioni basilari:

1°. L'asse dello stesso deve essere mantenuto sempre parallelo alla direzione dei raggi solari, cioè il collettore dovrà inseguire la posizione apparente del sole sui due assi, angolo di direzione e d'azimuth.

2°. Le componenti della radiazione solare che giungono da direzioni diverse dalla normale al collettore (ad esempio le radiazioni diffuse) non contribuiscono a I_C perché non vengono focalizzate; Il valore di I_C è determinato dal rapporto A / a , quindi a parità di caratteristiche del ricevitore, la temperatura ottenibile nel ricevitore sarà tanto più alta quanto più grande è A .

3.3.3 Le tipologie di impianti solari a concentrazione per la produzione di energia elettrica

3.3.3.1 Impianti solari a concentrazione tipo "TERMODINAMICO" o "CSP"

Per solare termoelettrico si intende l'insieme delle tecnologie e dei sistemi finalizzati a convertire la radiazione solare in energia elettrica mediante processi termodinamici. Le tecnologie del solare termoelettrico sono basate sul principio che un elemento assorbitore, investito da un intenso flusso di radiazione solare concentrata, può essere riscaldato a diverse centinaia di gradi centigradi e rendere disponibile energia termica ad una temperatura utile a sostenere un ciclo termodinamico dal quale ottenere lavoro meccanico convertibile in energia elettrica.

Le quattro tipologie d'impianti sono:

- torre solare (solar tower o power tower),
- parabole lineari (parabolic trough),
- disco-parabole (dish – Stirling).
- collettori lineari di Fresnel (Compact Linear Fresnel Reflector – CLFR).

Nella prima tipologia ovvero negli impianti a torre solare, la radiazione del sole viene riflessa e concentrata da specchi, detti eliostati, su un ricevitore posto alla sommità di una torre.

Fonte: http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-thermodynamique-concentration

In questi impianti , gli eliostati, si muovono in modo coordinato in modo tale che la radiazione riflessa incida costantemente sul ricevitore. Cosi facendo si ottiene, sul ricevitore, una radiazione concentrata che riscalda un fluido che circola in esso. L'energia accumulato sotto forma di calore viene ceduta successivamente in un generatore di vapore di un ciclo Rankine. La principale problematica di questi impianti sta nel fatto che si ha una discontinuità della sorgente (energia solare) e parecchi stress indotti sui materiali. D'aiuto per la riduzione di queste problematiche tecniche è stato l'utilizzo dei sali fusi (Brevetto del fisico RUBBIA) come fluido primario e l'utilizzo di sistemi d'accumulo dell'energia costituiti da due serbatoi, uno di carica e l'altro di scarica.

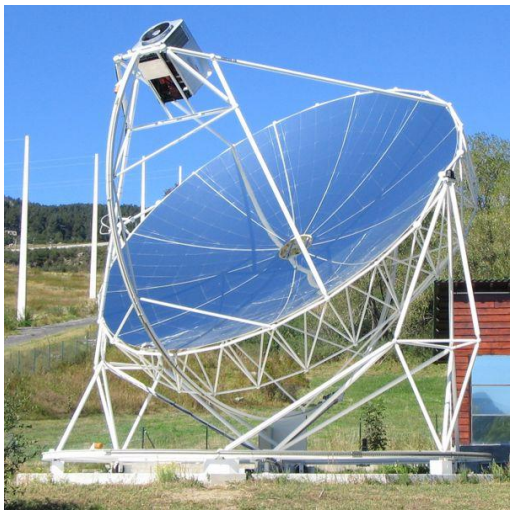
La seconda tipologia, utilizza lo stesso principio ma in questo caso le superfici riflettenti sono parabole lineari in grado di ruotare lungo l'asse longitudinale in modo da inseguire il moto del sole che concentrano la radiazione su un tubo detto collettore, posto sulla linea di fuoco.

Fonte: http://buenobuonogood.com/2012/03/11/lenergia-solare-catturata-da-2-650-eliostati-sostituisce-il-nucleare/

Tale tubo di acciaio è rivestito da una serie di materiali che determinano un'altissima assorbanza. Gli impianti termodinamici con parabole lineari di ultima generazione differiscono dai primi per alcune migliorie riguardanti l'efficienza dei tubi collettori, l'ottimizzazione delle parti meccaniche, l'utilizzo di materiali degli specchi con maggiore resistenza all'azione del vento. Per ultima ma non da meno, la sostituzione del fluido primario con l'utilizzo dei sali fusi che punta ad un aumento della producibilità grazie al miglioramento del rendimento per effetto di una più alta temperatura di

esercizio e grazie alla possibilità di aumentare la disponibilità dell'irraggiamento solare annuale mediante l'accumulo di grandi quantità di energia termica.

Negli impianti disco-parabole con motori Stirling un paraboloide di alcuni metri di diametro concentra la radiazione su un ricevitore di un motore Stirling in grado di azionare direttamente un generatore elettrico di alcuni kW. Questi impianti sono in grado di inseguire il sole nel suo moto diurno e di ritornare automaticamente in posizione di alba durante la notte.



Fonte: http://sycomoreen.free.fr/syco_english/solaire_thermoelec_artactuel_eng.html

Il collettore lineare di Fresnel è costituito infine da una serie di eliostati lineari, posti orizzontalmente in prossimità del suolo, che riflettono e concentrano la radiazione solare diretta su un tubo isolato termicamente e posto a una decina di metri da terra. Gli eliostati sono in grado di ruotare lungo l'asse longitudinale in modo da inseguire il moto del sole e mantenere costantemente la radiazione solare riflessa sul tubo ricevitore.

Fonte: http://www.electroyou.it/asdf/wiki/energia-elettrica-e-fonti-rinnovabili-1

Questo tipo di collettore è destinato alla generazione di vapore diretta. In linea di principio questi collettori risultano meno costosi delle parabole lineari, data la maggior semplicità strutturale, e sono in grado di produrre una maggiore potenza di picco per unità di superficie impegnata. Infine temono molto meno i danni causati dal vento poiché i riflettori si trovano al suolo in angolazione quasi orizzontale. Per contro potrebbero avere maggiori problemi di precisione, data la focale di 10 metri, e al momento raggiungono temperature inferiori a quelle ottenute dai paraboloidi lineari. Nella versione attuale infatti sono concepiti per produrre vapore saturo a 270°C, da utilizzare come contributo ai cicli termici Rankine di impianti convenzionali.

Al contrario della tecnologia solare fotovoltaico tradizionale (senza concentrazione) consolidata nella forma costruttiva, lo sfruttamento termodinamico della luce solare è ad oggi una tecnologia non affatto stabilizzata.

Vi sono forme molte diverse attualmente in fase di ricerca o di prima industrializzazione in continua evoluzione nei materiali e nei metodi ed è difficile al momento stabilire quali di queste tecnologie è allo stadio di pura ricerca e quale è già vicina alla fase produttiva.

Una principale differenza tra le tecnologie attualmente allo studio risiede nella modalità di concentrazione della luce solare. Su tale base si possono distinguere i seguenti impianti:

Gli impianti CSP sopraelencati possono inoltre essere impiegati in diverse soluzioni ibride in cui viene bruciato del combustibile fossile, garantendo un'elevata dispacciabilità dell'energia (produzione elettrica controllabile a prescindere dall'irraggiamento solare) nei casi di basso irraggiamento diretto per soddisfare i picchi di carico:

Nella maggior parte dei casi esistenti, il campo solare di un sistema CSP , viene accoppiato ad un impianto tradizionale con turbina a vapore a ciclo Rankine o con turbina a gas a ciclo Brayton. In questi casi, il vapore surriscaldato che si espande in turbina è prodotto sia dall'impianto tradizionale che dal campo solare.

Le soluzioni ibride CSP consentono di aumentare la dispacciabilità dell'energia e di ottenere una maggiore efficienza termodinamica rispetto agli impianti solo solari. L'adozione però di soluzioni ibride CSP comporta una serie di inconvenienti quali il consumo comunque di fonti fossili, anche se in maniera ridotta rispetto a quello di un analogo impianto tradizionale e l'emissione di sostanze inquinanti, dovute alla

combustione delle fonti fossili, anche se in maniera ridotta rispetto a quelle degli impianti tradizionali puramente basati su fonti fossili.

Un impianto solare a concentrazione può essere diviso in due parti:

I. Il campo solare (o solar field), che converte l'energia solare in calore ad alta temperatura;
II. Il sistema di conversione dell'energia (o power block), che converte il calore prodotto in energia elettrica da immettere nella rete di distribuzione.

Il campo solare si compone dei seguenti principali componenti:

- **Il riflettore** (o reflector): che è una schiera di specchi, o superfici riflettenti, che raccoglie la radiazione solare diretta e la concentra nel ricevitore solare;
- **Il ricevitore** (o receiver o HCE heat collection element) : che è la parte del sistema che trasforma l'energia luminosa in calore. In alcuni casi è parte integrante del collettore;
- **Il fluido termovettore primario**(o primary HTF heat transfer fluid): che è il mezzo di trasferimento del calore, che scorre nel ricevitore e trasporta il calore ad alta temperatura al sistema di conversione dell'energia. Può essere acqua, aria, olio sintetico, sali fusi, sodio, idrogeno a seconda della tecnologia impiegata. Le sue prestazioni dipendono dalla capacità termica, dalla corrosività, dalla viscosità e dalle alte temperature di solidificazione e massificazione del fluido termovettore. Solitamente viene chiamato primario per contraddistinguerlo da eventuali altri fluidi, detti secondari, a cui cede energia per mezzo di scambiatori di calore;
- **Il sistema di tubazioni** (o piping): che è l'insieme di tubazioni che collega il campo solare al sistema di conversione dell'energia, all'interno del quale circola il fluido termovettore primario;
- **Le pompe di circolazione e alimentazione**: che sono i dispositivi meccanici che consentono lo spostamento del fluido termovettore primario all'interno del sistema di tubazioni.

Il sistema di conversione dell'energia si compone dei seguenti principali componenti:

- **Il gruppo turbina-alternatore** (o EPGS) che a sua volta è formato da:

- **turbina a vapore (steam turbine)** che è una macchina in grado di trasformare l'energia termica posseduta dal vapore d'acqua surriscaldato in energia meccanica impiegandolo in un ciclo termodinamico di tipo Rankine.
- **turbina a gas (gas engine)** che è una macchina termica in grado di trasformare l'energia termica posseduta da un gas in energia meccanica impiegandolo in un ciclo termodinamico di tipo Brayton (può essere impiegata quando il calore trasportato dal fluido è a temperatura molto elevata).
- **motore Stirling (Stirling engine)** che è una macchina termica alternativa a ciclo chiuso con scambiatori di calore in grado di convertire energia termica in energia meccanica utilizzandolo in un ciclo termodinamico di tipo Stirling;

- **L'alternatore** (o generator) che è una macchina elettrica che trasforma l'energia meccanica prodotta dalla turbina a vapore/gas o dal motore Stirling in energia elettrica.
- **Il fluido termovettore secondario** (o secondary HTF heat transfer fluid) che è il fluido a cui viene trasferito il calore raccolto dal fluido primario e che compie il ciclo termodinamico nel gruppo turbina-alternatore. E' acqua/vapore nel caso in cui a valle è presente una turbina a vapore, gas nel caso in cui a valle vi sia una turbina a gas, o idrogeno nel caso in cui a valle vi sia un motore Stirling. Il fluido primario e secondario possono coincidere.

Infine a completamento del sistema vi sono i seguenti componenti:

- **Il condensatore** (o condenser) che è utilizzato in un ciclo vapore per condensare il vapore saturo in uscita dalla turbina a vapore;
- **La torre di refrigerazione;**
- **Il sistema di trattamento dell'acqua;**
- **La protezione antincendio;**
- **Il sistema ad aria compressa (o compressed air system);**
- **Il sistema di controllo (o plant control system);**
- **Le attrezzature elettriche (o electrical equipment);**

- **Il degassatore** che è un apparecchio che estrae i gas disciolti nel liquido in uscita dal condensatore;

Oltre ai componenti sopra elencati, possono poi essere presenti anche altri due componenti opzionali a seconda delle esigenze:

- **Il sistema di generazione del vapore** (o steam generator) formato da una serie di scambiatori di calore (preriscaldatore, evaporatore e surriscaldatore) che permettono di produrre vapore d'acqua surriscaldato, nel caso in cui il fluido termovettore primario non sia acqua e che la macchina termica, impiegata nel sistema di conversione dell'energia, sia una turbina a vapore. Sono costituiti da una serie di tubazioni al cui esterno circola l'acqua da riscaldare, mentre all'interno circola il fluido termovettore;
- **Il sistema di accumulo termico** (o storage thermal system) che è un sistema che permette di stoccare l'energia termica prodotta in eccesso dal collettore solare e di impiegarla nei momenti in cui la radiazione solare diretta è ridotta come durante la notte o quando il cielo è coperto. Questo sistema può essere formato da:
    - **2 serbatoi** ovvero un "serbatoio caldo" dove viene stoccato il fluido che ha accumulato calore e un "serbatoio freddo" dove viene stoccato il fluido che ha ceduto calore per la produzione di vapore:
    - **1 serbatoio a termoclinico** ovvero un serbatoio che viene riempito con il fluido termovettore ed è caratterizzato da un gradiente termico capace di spostarsi verticalmente lungo il contenitore. Il contenitore è realizzato con un materiale a basso costo che costituisce la gran parte della capacità termica dello stoccaggio, previene il mescolamento dovuto ai moti convettivi e diminuisce la quantità di fluido richiesta.

Qualora il fluido impiegato per immagazzinare il calore sia diverso dal fluido termovettore che circola nel campo solare, saranno necessari degli scambiatori di calore per trasferire il calore nel sistema di accumulo.

3.3.3.2 Impianti solari a concentrazione tipo "FOTOVOLTAICO" o "CPV"

Negli impianti fotovoltaici a concentrazione viene trasformata l'energia del sole, trasportata dai fotoni, mediante l'effetto fotovoltaico. La cella fotovoltaica, utilizza il fenomeno fisico dell'interazione dell'energia luminosa con gli elettroni di valenza nei materiali semiconduttori.

Le celle utilizzate nei sistemi a concentrazione sono quelle a multigiunzione, basate sui composti del terzo e del quinto gruppo della tavola periodica.

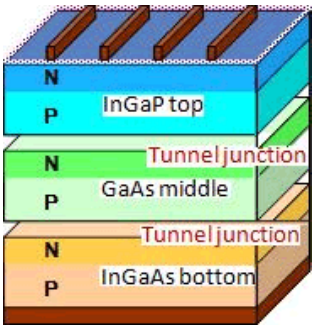
Queste sono state originariamente sviluppate per l'aerospazio, e sono realizzate depositando in sequenza strati di semiconduttori di diverso spessore e composizione, con una tecnica epitassiale denominata Metalorganic Chemical Vapour Depositino (**MOCVD**).

Le tre giunzioni, che convertono rispettivamente le diverse parti dello spettro solare, sono:

1. giunzione superiore in **InGaP**, che assorbe e converte la radiazione blu
2. giunzione intermedia in **InGaAs**, che converte in particolare la parte visibile
3. giunzione inferiore in **Ge**, che converte la radiazione infrarossa.

Esse sono tra loro collegate in serie da **diodi tunnel** caratterizzati da una caratteristica corrente-tensione di tipo ohmico.

Il **sistema ottico** abbinato a un ricevitore di questo tipo deve garantire soprattutto un **ottimo puntamento** della radiazione solare sulla cella, la quale presenta in genere dimensioni molto ridotte. Le tre giunzioni, inoltre, essendo collegate in serie elettricamente, devono essere ottimizzate e integrate in un sistema opportunamente progettato in modo da produrre all'incirca la stessa corrente di corto circuito, così da non penalizzare l'efficienza di conversione complessiva (in caso contrario verrebbero polarizzate inversamente).



Il principio di funzionamento delle celle rimane comunque lo stesso ovvero i fotoni della luce solare, quando colpiscono la giunzione, liberano un elettrone dallo stato legato spingendolo nella banda di conduzione. Le coppie elettrone-lacuna così prodotte, che ricadono sotto l'influenza del

campo elettrico, vengono spinte in direzioni opposte : l'elettrone, nella banda di conduzione, la lacuna, nella banda di valenza dando origine a un flusso elettronico unidirezionale che, in caso di connessione con conduttori all'interno di un circuito chiuso, si traduce in corrente elettrica.

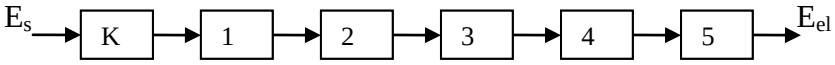
La potenza massima erogabile in condizioni di illuminazione e temperatura specifiche, viene misurata in Wp (watt di picco).

Caratteristica elettrica di una cella solare e andamento della potenza. L'efficienza di una cella fotovoltaica risulta dal rapporto tra la potenza massima da essa erogata e l'irraggiamento incidente sulla sua superficie.

Di tutta l'energia che investe la cella solare sotto forma di radiazione luminosa, solo una parte viene convertita in energia elettrica disponibile ai suoi morsetti. Utilizzare questi dispositivi diventa conveniente solo nel caso in cui vi sia una sufficiente **concentrazione solare**, in quanto si può dimostrare che l'**efficienza η** delle celle solari aumenta al crescere del fattore di concentrazione. La concentrazione non è l'unico fattore a incidere sull'efficienza delle celle: essa decresce all'aumentare della **temperatura** di funzionamento, tanto che a 0 °C si potrebbe ottenere un'efficienza del 38% già con un fattore di concentrazione pari a 200, anche se ciò comporterebbe una quantità proibitiva di energia per il raffreddamento. Ad esempio, facendo riferimento al diagramma in figura, si può osservare che con una temperatura di esercizio di 60-65 °C, per la cella considerata l'efficienza è di circa il 35%, in corrispondenza di un fattore di concentrazione pari a 500. In conclusione, le celle solari a multigiunzione hanno attualmente raggiunto valori di efficienza elettrica vicini al 40% a cui si somma eventualmente il rendimento termico per il calore disponibile se recuperato attraverso un sistema di raffeddamento del ricevitore anche se sicuramente a temperature modeste (max 80 ˚C) , con prospettive di sviluppo molto interessanti, ma il loro impiego in un sistema fotovoltaico ibrido a concentrazione per la produzione contermporane a di energia elettrica e calore comporta una certa complessità a livello costruttivo (in particolare per quanto riguarda ottica e movimentazione). In un sistema a solare a concentrazione tecnologicamente avanzato, tuttavia, la **riduzione dell'area** richiesta per il ricevitore rende vantaggioso anche dal punto di vista economico l'utilizzo di queste celle particolarmente efficienti, i cui costi sarebbero proibitivi nel caso di sistemi fotovoltaici tradizionali.

3.3.4 Il rendimento di un impianto solare a concentrazione *

Nel seguente schema a blocchi relativo ad un impianto solare a concentrazione del tipo **"TERMODINAMICO"** e dunque volto alla produzione di energia elettrica e rappresentante il flusso dell'energia nell'impianto, dalla radiazione solare in entrata all'energia elettrica in uscita, si possono distinguere 5 stadi logici di funzionamento disposti in cascata:



⇒ Blocco 1 che rappresenta il sistema ottico di captazione della radiazione solare diretta e la sua concentrazione nel fuoco del sistema dove è collocato un opportuno ricevitore;

⇒ Blocco 2 che rappresenta il sistema di conversione termico della radiazione concentrata e la sua raccolta in un fluido primario circolante nel ricevitore, che convoglia il calore in un sistema di accumulo termico;

⇒ Blocco 3 che comprende il sistema di accumulo termico e del suo rilascio in tempo differito direttamente o mediante uno scambiatore termico verso un fluido secondario;

⇒ Blocco 4 che rappresenta il sistema di conversione termodinamica del calore trasportato dal fluido termovettore primario o secondario al gruppo turbina-alternatore;

⇒ Blocco 5 che rappresenta tutte le perdite di energia dovute all'autoalimentazione dei servizi della centrale (per comandare il sistema d'inseguimento, per alimentare le pompe di circolazione dei fluidi, per non far scendere la temperatura del fluido primario al di sotto di una soglia di sicurezza, etc).

Indicando con E_S l'energia contenuta nella radiazione solare che incide sull'apertura degli specchi, K la frazione di energia contenuta nella componente diretta della radiazione, E_{el} l'energia elettrica effettivamente erogata, allora, sempre seguendo il flusso dell'energia, si avrà in uscita un valore di E_{el} pari a:

$$E_{el} = K \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot E_S \cdot D$$

dove η_i sono le rispettive efficienze di trasformazione dei vari blocchi logici, e D è la disponibilità dell'impianto.

Segue subito che l'efficienza di conversione totale della centrale, ossia l'efficienza termodinamica (ossia il % di energia solare che viene convertita in energia elettrica) è rappresentata da:

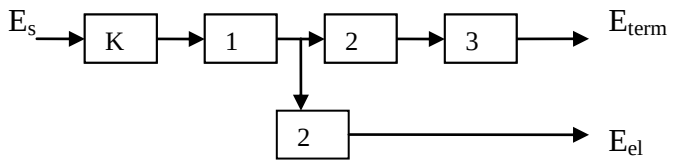
$$\eta = E_{el} / E_S = K \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot D$$

mentre l'efficienza termica (ossia il % di energia solare che viene convertita in energia termica) è data da:

$$\eta = K \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot D$$

(tenendo conto che in zone ad elevata latitudine (in cui la DNI è pari a 1.400 kWh/m2 ·anno) si può considerare K ≈ 0,5 mentre nelle zone aride a bassa latitudine (in cui la DNI è 2.800 kWh/m2 ·anno) si può considerare K ≈ 1).

Nel seguente schema a blocchi relativo ad un impianto solare a concentrazione del tipo "**FOTOVOLTAICO IBRIDO"** per la produzione contemporanea di energia elettrica e termica attraverso l' utilizzo di celle a tripla giunzione , parte dell'energia sarà trasformata direttamente in elettrica e parte sarà trasformata in energia termica che se, sfruttata in processi che non necessitano temperature maggiori di quelle nominali delle celle, farà cumulo nel calcolo del rendimento. In particolare lo schema a blocchi diventa il seguente:



Il rendimento in questo caso è uguale a: $\eta_{tot} = \eta_{cell} + \eta_{term}$ con η_{cell} pari al rendimento intrinseco delle celle a tripla giunzione misurato ai valori di temperatura di lavoro e η_{term} pari, come prima a $K \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot D$

4 Sostenibilità ambientale[1]

Nell'introduzione a questo lavoro di tesi abbiamo discusso sul concetto di "sostenibilità" volto alle valutazioni ottimale delle risorse energetiche disponibili e utilizzabili. In particolare abbiamo visto che nello sfruttamento delle varie risorse energetiche rinnovabili, si hanno degli effetti risultanti a volte negativi e che "rinnovabile non è sinonimo di sostenibile".

Per aver chiaro questo concetto, basta associare alle centrali termoelettriche che produco energia dalla combustione del petrolio, del carbone o del Gas e che come effetto risultante hanno l'immissione di vari componenti nocivi in atmosfera un livello di "sostenibilità" e paragonarlo al livello di sostenibilità di altre tipologie di centrali di produzione di energia da fonte rinnovabile valutando tutti gli effetti sul sistema ambiente e suoi abitanti. Si pensi ad esempio ad una centrale idroelettrica che sebbene non emetta nessuna sostanza nociva in atmosfera cambia la natura di un sistema imbrifero con dighe e opere di contenimento con notevole impatto su flora e fauna e enormi rischi potenziali di incidenti rilevanti (si pensi al disastro della sera del 9 ottobre 1963 1963 nel neo-bacino idroelettrico artificiale denominato Vajont dove a causa della caduta di una colossale frana dal soprastante pendio del Monte Toc nelle acque del sottostante e omonimo bacino lacustre alpino. La conseguente tracimazione dell'acqua contenuta nell'invaso, con effetto di dilavamento delle sponde del lago, ed il superamento dell'omonima diga, provocarono l'inondazione e la distruzione degli abitati del fondovalle veneto, tra cui Longarone, e la morte di 1.917 persone.) Anche nell'utilizzo di forme di energia rinnovabili si possono produrre risultati negativi in termini di sostenibilità ambientale ed esternalità di sistema. Ad esempio nella trasformazione dell'energia contenuta nel vento, quindi con sistemi eolici, si ha un impatto ambientale e acustico che ne limita la diffusione solo in particolari siti che si prestano alla costruzione delle centrali proprio per la minimizzazione dell'impatto sull'ecosistema e il buon livello di sostenibilità ambientale derivante. Lo stesso vale dunque sia per i grandi impianti fotovoltaici che per il caso estremo, di centrali termonucleari che come effetto risultante

[1]Fonte http://www.comelicopedia.net/smw/newcore/index.php?title=Trend_Strategia_azione_nazionale

hanno la produzione di scorie radioattive e che, come ormai appurato, sono altamente pericolose.

Gli obbiettivi principali e le linee guida che in vari paesi industrializzati hanno guidato l'opera del legislatore nel redigere la normativa di settore si possono sostanzialmente riassumere in tre macro-obiettivi :

- ✓ Ottenere un approvvigionamento energetico sufficiente e con il minor impatto;
- ✓ Mantenere dei costi, e quindi dei prezzi dell'energia concorrenziali;
- ✓ Ottenere sistemi con prestazioni efficienti e alti livelli di sostenibilità .

Attualmente, il costo di una fonte energetica, dipende unicamente dalla sua disponibilità e dagli oneri derivanti dai sistemi necessari a renderla disponibile sul mercato. Purtroppo ad oggi mancano spesso le considerazioni relative alle ricadute ambientali oltre che a quelle occupazionali e di sviluppo e ai conseguenti costi che da queste derivano. La conseguenza di quanto detto è riscontrabile facilmente nella produzione di energia elettrica da fonte fossile che risulta ancora poco costosa e ampiamente utilizzata.

In definitiva, ogni sistema di trasformazione dell'energia dovrebbe essere migliore rispetto ad un altro principalmente perchè di facile utilizzo, con basso impatto ambientale, economico, efficiente in una sola parola SOSTENIBILE.

Le caratteristiche sulla sostenibilità sopra elencate portano le fonti rinnovabili in evidenza con alcune limitazioni riguardanti l'integrazione e il loro utilizzo. Un fattore decisamente importante per l'intero sistema energetico potrebbe essere quello di regolare la razionalità nell'utilizzo delle fonti suddivise per potenzialità. Ad esempio risulta veramente improponibile che nonostante le varie tecnologie a tutt'oggi spesso si produca calore dall'energia elettrica. Sempre riferito alle fonti rinnovabili, risulta poco "intelligente" impegnare terreni destinati alla coltivazione per installare impianti fotovoltaici e/o eolici. E' per questo motivo che la tendenza della legislazione di settore ricerca è quella di spingere la ricerca su tecnologie di produzione alternative che hanno come obbiettivo principale la realizzazione di sistemi con basso impatto, e alte efficienze e bassi costi di generazione .

4.1 Nuovi criteri di sostenibilità ambientale imposti dalla normativa vigente in tema di consumo di suolo rurale destinato alla produzione energetica.

Il presente capitolo ha come oggetto l'esame delle normative italiane vigenti con una particolare attenzione all'analisi approfondita in merito al consumo di suolo rurale destinato alla produzione energetica da fonti rinnovabili.
Saranno valutati in particolare gli aspetti normativi relativi a tutti gli impianti a alimentazione solare quali:

Tipologia impianti
1 Solare fotovoltaica
2 Solare a concentrazione
3 Solare termodinamico
4 Solare termico

Prima però di addentrarci nello studio delle diverse normative occorre tracciare una panoramica sull'evoluzione della generazione distribuita (smart grid) che di fatto sta determinando un nuovo assetto nel panorama della produzione di energia. Le diverse normative che si sono susseguite sono il riflesso di questa nuovo assetto nel settore della produzione di energia.
In tutto il paragrafo 4.1.1 sarà trattato il tema delle smart grid, per poi analizzare nel paragrafo 4.1.2 il quadro normativo. È opportuno precisare sin d'ora che il concetto di smart grid interessa soltanto gli impianti solari che convertono l'energia solare in energia elettrica. Non esistono invece smart grid per gli impianti solari termici che convertono l'energia solare in calore. Alla luce di quanto sopra si anticipa inoltre che gli impianti solari termici sono spesso correlati al miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici e pertanto non modestissima refluenza nello sfruttamento del suolo rurale.

4.1.1 La generazione distribuita di energia: Dal monopolio e dal gigantismo industriale, al decentramento della produzione di energia dell' attuale sistema centralizzato attraverso le reti intelligenti o smart grid

Per **generazione distribuita di energia** si intende la delocalizzazione delle centrili di produzione dell'elettricità sul territorio. La generazione distribuita dell'energia si verifica in presenza di libero sviluppo imprenditoriale privato nel settore delle fonti energetiche rinnovabili: biomasse, solare, eolico, cogenerazione. E' tuttavia compatibile anche con le fonti fossili.

In ingegneria elettrica per generazione distribuita si intende in genere la produzione di energia elettrica in unità di autoproduzione di piccole dimensioni disperse o localizzate in più punti del territorio (quindi decentralizzata) anziché centralizzata in poche grandi centrali elettriche.

Storicamente la produzione di energia elettrica è stata oggetto del monopolio di Stato e del gigantismo industriale. Grandi impianti produttivi termoelettrici o nucleari hanno prodotto grandi quantità di energia elettrica per vaste aree territoriali. I costi fissi degli impianti erano coperti dallo Stato mediante la spesa pubblica, mentre le economie di scala garantivano l'applicazione di tariffe dell'elettricità a prezzi "politici" (ossia più bassi di quelli determinati dal mercato). La diffusione dell'energia elettrica sul territorio era uno dei principali fattori determinanti dello sviluppo economico di un paese. Questo sistema ha avuto l'handicap di produrre elevate concentrazioni di inquinamento. In particolar modo nel passato quando i controlli e le tecnologie non offrivano grande attenzione all'impatto su ambiente e salute. Il panorama energetico globale del dopoguerra vede la presenza di un numero limitato di industrie che concentrano la produzione elettrica in megacentrali a combustibili fossili e nucleari. L'elettricità prodotta viene immessa in grandi dorsali ad alta tensione, da cui si dipartono le reti che arrivano fino alle nostre abitazioni, industrie, città.

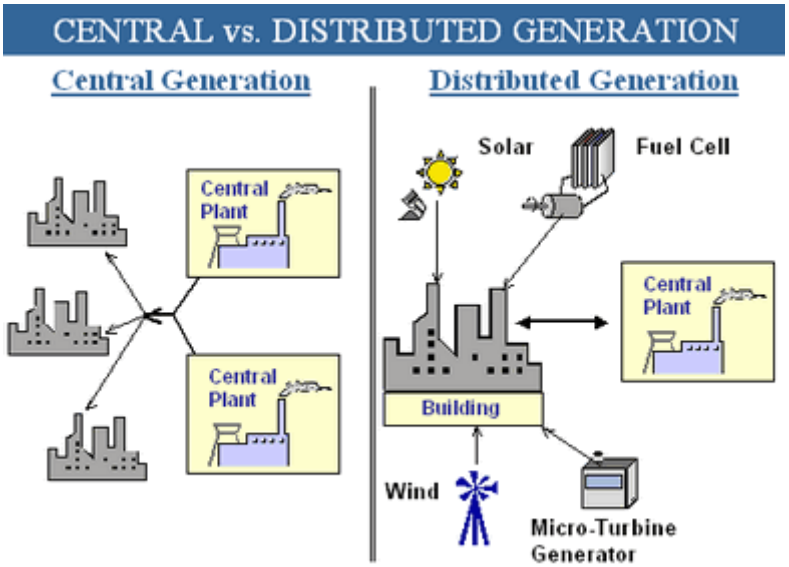
Questa complessa e costosa infrastruttura, che incide in maniera significativa sul prezzo finale dell'energia, presenta una certa rigidità: infatti il flusso di elettricità viaggia in maniera unidirezionale, dal luogo di produzione a quello di consumo. In questo contesto, l'utente finale che utilizza energia riveste il ruolo passivo -e ignaro- di semplice "consumatore" di energia.

La necessità di progettare e costruire grandi centrali, nonché di realizzare tralicci per distribuire l'energia elettrica a milioni di persone, rendeva per così dire "naturali" i monopoli energetici. In Italia il processo di nazionalizzazione dell'Enel, avvenuto nel 1963, rispondeva proprio a questo tipo di esigenze: soltanto accentrando i capitali e il know-how in un'unica grande azienda pubblica si è riusciti a portare a termine in pochi anni una gigantesca e indispensabile opera di "elettrificazione rurale", che ha portato l'energia elettrica negli angoli più sperduti del Paese.

Il contesto energetico nazionale ha subìto alcune importanti mutazioni rispetto agli anni del boom economico. Innanzitutto, a partire dal 1992 è stato avviato un percorso di liberalizzazioni, che ha portato a un superamento del monopolio statale dell'energia elettrica, in favore di un regime (tuttora imperfetto) di concorrenza tra aziende energetiche, e che ha offerto anche al singolo cittadino la possibilità di diventare un produttore di energia. In secondo luogo, il processo di elettrificazione del Paese è pienamente concluso; semmai si deve valutare oggi l'opportunità di un graduale

smantellamento di centrali elettriche e tralicci dell'alta tensione in località di particolare valore ambientale e storico-paesaggistico. Questo sta portando a un radicale ripensamento delle modalità di produzione e consumo dell'energia. Dagli anni '90 le economie occidentali hanno avviato un progressivo processo di privatizzazione del settore energia. Il debito pubblico e il raggiungimento di una fase matura dello sviluppo economico hanno obbligato i policy-maker ad intraprendere la strada del libero mercato in molti settori controllati dallo Stato: telefonia, trasporti, ferrovie, energia ecc. La caduta del monopolio pubblico ha aperto le porte del mercato energetico anche ad imprese private di medio-piccole dimensioni. Al sistema tradizionale della produzione centralizzata dell'energia iniziò ad affiancarsi anche quello della generazione distribuita (Distributed Generation). oggi in grande espansione in coerenza con la nascita di un nuovo paradigma energetico

La generazione distribuita rappresenta una diversa modalità di pensare e gestire la rete elettrica, basata non più (o non solo) su grandi centrali collegate a reti estese di tralicci, bensì su unità produttive (campi eolici, fotovoltaici, centrali a biomasse, cogeneratori) di piccole-medie dimensioni, distribuite omogeneamente sul territorio e collegate direttamente alle utenze o comunque a reti a basso voltaggio per comunità di piccole dimensioni.



Uno dei maggiori vantaggi della generazione distribuita consiste nella minore lunghezza delle reti di distribuzione e trasmissione dell'elettricità. Le lunghe reti ad alta tensione perdono per strada circa il 7% dell'elettricità trasportata e, oltre a comportare ingenti costi di costruzione e manutenzione (che paghiamo in bolletta), sono a costante rischio di interruzioni e black-out.

La generazione distribuita, invece, è al riparo da questi rischi, poichè avvicina la centrale elettrica, o meglio più centrali elettriche interconnesse, al luogo di utilizzo finale dell'energia. Aumenta anche l'affidabilità della rete, poiché il fermo di un impianto non comporta l'interruzione della fornitura, ma viene compensato dalla presenza delle altre centrali. Questo aspetto è particolarmente importante per gli impianti a fonti rinnovabili, che per la maggior parte erogano energia in maniera discontinua.

La rete elettrica, all'interno di questo nuovo scenario, cambia completamente ruolo e funzioni. E' infatti destinata gradualmente a trasformarsi da rete "passiva", in cui l'elettricità semplicemente scorre dal luogo di produzione a quello di consumo, a rete "attiva" e "intelligente" (smart grid), capace di gestire e regolare più flussi elettrici che viaggiano in maniera discontinua e bidirezionale.

In ingegneria elettronica e delle telecomunicazioni una smart grid è una rete di informazione che affianca la rete di distribuzione elettrica e gestisce la rete elettrica in maniera "intelligente", sotto vari aspetti o funzionalità, ovvero in maniera efficiente, per la distribuzione di energia elettrica evitando sprechi energetici, sovraccarichi e cadute di tensione elettrica. Tutto ciò avviene attraverso un sistema fortemente ottimizzato per il trasporto e diffusione della stessa, dove gli eventuali surplus di energia di alcune zone vengono redistribuiti, in modo dinamico ed in tempo reale, in altre aree oppure regolando costantemente il dispacciamento tra centrali di autoproduzione elettrica delle rete di distribuzione con le centrali elettriche della rete di trasmissione

Con la progressiva diffusione dei piccoli impianti a fonti rinnovabili, i luoghi di produzione e di consumo dell'energia elettrica tendono non solo ad avvicinarsi, ma spesso a coincidere. Inoltre, i flussi energetici provenienti da impianti a fonti rinnovabili, come il fotovoltaico e l'eolico, dipendono da fattori metereologici non prevedibili.

Questo significa che tensione e frequenza dell'elettricità variano continuamente, sottoponendo le attuali reti a livelli elevati di stress.

Lo sviluppo di tecnologie come i dispositivi di protezione della rete, di interconnessione e di controllo dei carichi elettrici si muove proprio nell'ottica di fornire alla rete una "intelligenza" sempre maggiore.

I detrattori delle energie rinnovabili e della generazione distribuita utilizzano spesso l'argomento in base al quale la rete elettrica nazionale non sarebbe in grado di gestire un sistema complesso di flussi elettrici, provenienti da una molteplicità di impianti a fonti rinnovabili funzionanti in maniera discontinua. Naturalmente questa considerazione è vera solo se rapportata alla rete elettrica attuale e alle sue rigidità strutturali. Occorre attivare gradualmente una nuova "intelligenza di rete" , realizzabile con le attuali tecnologie: numerose esperienze pratiche, soprattutto in Germania, hanno dimostrato la piena fattibilità tecnica di sistemi di generazione distribuita alimentati esclusivamente a fonti rinnovabili.
La generazione distribuita, avvicinando luogo di produzione e luogo di consumo, consente inoltre un sicuro utilizzo del calore di scarto dei processi di combustione. Nella maggior parte delle grandi centrali termoelettriche, circa 2/3 dell'energia primaria contenuta nel combustibile viene sprecata ed esce dal camino sotto forma di calore inutilizzato. Grazie a piccoli impianti a biomassa e di micro-cogenerazione diffusi sul territorio, si possono assicurare le condizioni economiche e tecniche ideali per sistemi di teleriscaldamento e di distribuzione del calore su brevi distanze, per utenze residenziali, industriali e del terziario con rendimenti totali doppi rispetto ai rendimenti elettrici nelle grandi centrali.

Con l' evoluzione delle modalità di produzione di energia cambia dunque il volto del sistema elettrico nazionale. Il rapido prolificare dei piccoli impianti produttivi accanto alle grandi e storiche centrali a carbone, olio combustibile e gas sta mutando velocemente l'aspetto del comparto elettrico nostrano, lanciando nuove sfide e prospettive. I dati dei trend che hanno caratterizzato il gli ultimi anni sono contenuti nei diversi Rapporti sul Monitoraggio dello sviluppo degli impianti di generazione distribuita, realizzato dall'Autorità per l'energia, che effettua annualmente il

monitoraggio dello sviluppo degli impianti di piccola e micro-produzione. Nella tabella che segue si riportano i risultati delle incentivazioni dei diversi "Conti Energia" sino a Novembre 2013 nel settore della generazione fotovoltaica.

TOTALE DEI RISULTATI DEL CONTO ENERGIA
(PRIMO, SECONDO, TERZO, QUARTO E QUINTO CONTO ENERGIA)

RIPARTIZIONE PER REGIONE E CLASSE DI POTENZA DEGLI IMPIANTI IN ESERCIZIO

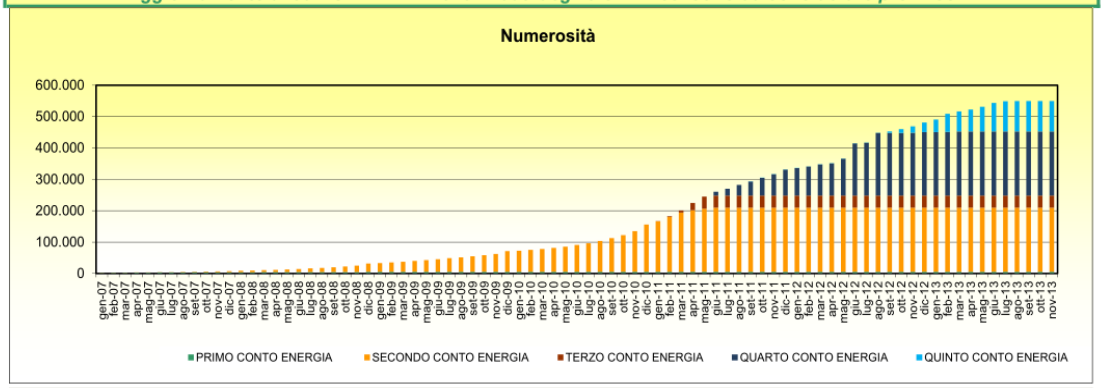
(aggiornamento al 30 NOVEMBRE 2013)

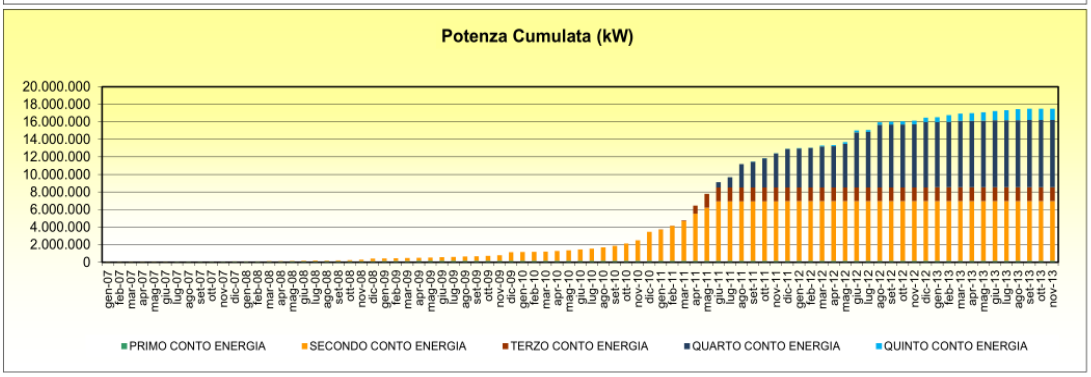
	CLASSE 1: 1 kW ≤ P ≤ 3 kW		CLASSE 2: 3 kW < P ≤ 20 kW		CLASSE 3: 20 kW < P ≤ 200 kW		CLASSE 4: 200 kW < P ≤ 1000 kW		CLASSE 5: 1000 kW < P ≤ 5000 kW		CLASSE 6: P > 5000 kW		TOTALE	
REGIONE	Numero	Potenza (kW)	Numero	Potenza (kW)	Numero	Potenza (kW)	Numero	Potenza (kW)	Numero	Potenza (kW)	Numero	Potenza (kW)	Numero	Potenza (kW)
PUGLIA	11.314	31.769	22.144	168.406	2.808	203.090	1.817	1.563.762	56	173.623	36	355.753	38.175	2.496.403
LOMBARDIA	27.430	76.181	39.136	300.378	8.790	699.969	1.318	717.032	60	109.057	3	17.992	76.737	1.920.609
EMILIA ROMAGNA	19.219	50.828	25.702	208.100	5.815	462.589	1.099	682.945	150	276.722	4	48.656	51.989	1.729.840
VENETO	21.563	60.119	45.734	320.322	5.865	470.708	901	511.506	39	60.291	13	154.859	74.115	1.577.805
PIEMONTE	12.308	34.341	20.489	177.332	4.514	361.014	1.080	633.266	93	203.054	4	25.730	38.488	1.434.737
SICILIA	10.914	30.979	24.009	182.107	2.215	170.005	538	391.256	87	244.764	22	186.650	37.785	1.205.760
LAZIO	11.166	30.172	18.622	133.837	1.583	126.874	410	263.281	100	274.825	35	309.040	31.916	1.138.029
MARCHE	6.700	18.386	9.755	80.791	2.359	191.415	935	592.762	50	110.803	3	20.890	19.802	1.015.047
TOSCANA	10.614	28.915	14.858	121.068	2.527	199.225	411	247.145	31	53.486	4	33.585	28.445	683.423
ABRUZZO	3.214	9.083	9.244	74.847	1.222	100.823	472	337.222	55	120.341	2	11.851	14.209	654.168
SARDEGNA	8.630	24.463	16.747	117.581	956	75.882	242	148.101	86	183.513	13	100.734	26.674	650.275
CAMPANIA	5.245	14.923	13.578	101.426	1.288	103.363	333	207.294	48	121.431	11	99.601	20.503	648.037
FRIULI VENEZIA GIULIA	6.383	17.943	15.861	113.029	1.757	135.182	164	98.239	25	69.006	4	27.358	24.194	460.758
CALABRIA	4.551	13.027	11.894	94.815	1.045	75.908	220	130.357	26	53.166	8	80.051	17.744	447.324
UMBRIA	4.604	12.782	6.803	55.091	1.425	101.773	342	226.116	20	43.203	-	-	13.194	438.965
TRENTINO ALTO ADIGE	7.740	21.994	9.044	92.827	2.423	170.322	205	92.128	3	4.931	-	-	19.415	382.201
BASILICATA	1.722	4.923	3.645	33.958	848	50.332	356	250.110	4	8.034	1	5.216	6.576	352.574
MOLISE	585	1.663	2.097	17.716	266	19.733	100	76.722	13	40.618	1	6.500	3.062	162.952
LIGURIA	2.116	5.622	2.488	18.871	299	23.708	50	25.985	3	4.167	-	-	4.956	78.352
VALLE D'AOSTA	538	1.491	1.013	8.775	93	7.228	2	1.440	-	-	-	-	1.646	18.935
Totale ITALIA	176.556	489.603	312.863	2.421.277	48.098	3.749.144	10.995	7.196.670	949	2.155.034	164	1.484.466	549.625	17.496.194

L'evoluzione temporale è rappresentata nei grafici sotto riportati.

Grafici della numerosità e della potenza totale cumulata degli impianti entrati in esercizio con il Conto Energia.

Aggiornamento al 30 NOVEMBRE 2013 - i dati degli ultimi mesi sono da considerare provvisori.





Del totale dei 549.625 impianti in esercizio solo 66 sono relativi a impianti a contrazione solare, per 22,8 MW, mentre ad oggi non è in esercizio nessun impianto solare termodinamico. La crescita esponenziale sembra essere destinata a proseguire, ma con ritmi più lenti, atteso che adesso non sono più attivi incentivazioni per gli impianti solari fotovoltaici, mentre rimangono ancora attivi il conto energia termico e il conto energia solare termodinamico.

Alla luce del nuovo scenario l'AEEG sta procedendo contemporaneamente su due fronti:

- da un lato è necessario promuovere la diffusione delle smart grid, a partire dai progetti pilota. Ciò rende necessario installare apparecchiature innovative in cabina primaria e presso gli utenti attivi, che consentano agli utenti stessi di comunicare con le imprese distributrici e di rispondere in tempo reale ai segnali che queste inviano;
- dall'altro lato è necessario definire un nuovo quadro regolatorio che consenta la partecipazione attiva, da parte dei produttori, al mercato elettrico, anche abilitando le unità di GD alla fornitura di risorse per il dispacciamento che, ad oggi, solo i generatori di grande taglia, collegati alla rete di trasmissione nazionale, sono obbligati a fornire. Inoltre, è necessario modificare l'attuale quadro normativo e regolatorio anche al fine di implementare un meccanismo di gestione della GD da parte delle imprese distributrici simile a quello già utilizzato per i generatori di grande taglia collegati alla rete di trasmissione nazionale. Ciò presuppone anche un più stretto coordinamento tra imprese distributrici e Terna.

Aumentando il numero degli impianti di piccola-media dimensione collegati alla rete distributiva o a sistemi di accumulo, la minore dimensione degli impianti da un lato penalizza le economie di scala ma dall'altro beneficia di maggiore efficienza produttiva. Una centrale di media dimensione raggiunge l'80% del rendimento rispetto al 35% delle migliori centrali di grandi dimensioni. Ai vantaggi si deve aggiungere il minore costo di distribuzione. La vicinanza degli impianti di produzione dell'energia ai punti di consumo finale (utenza) consente un minore trasporto dell'energia elettrica e una minore dispersione nella rete distributiva. In media il 10% dell'energia prodotta si perde nella

rete di trasmissione e distribuzione. Infine, come qualsiasi modello di economia a rete, il sistema "distribuito" garantisce una maggiore capacità di adattamento e flessibilità dei centri di produzione in relazione ai centri di consumo (fabbriche, abitazioni..).

Di contro tuttavia va detto che se la rete di trasmissione elettrica ad alta e altissima tensione completamente magliata è anche automatizzata per gestire guasti o interruzioni di servizio delle centrali elettriche nella costante opera del dispacciamento, non lo è invece la rete di distribuzione a media e bassa tensione che necessita dunque di una rete intelligente in grado di supportare picchi e buchi di tensione prodotti da una generazione distribuita di energia elettrica agli estremi della rete in centrali di autoproduzione da parte delle energie rinnovabili con caratteristiche di aleatorietà quali eolico e fotovoltaico garantendo ancora una volta il costante dispacciamento assieme alle centrali elettriche di produzione.

Questo sostanzialmente vuol dire creare un'infrastruttura o strato ICT sovrapposto o affiancato alla rete elettrica che metta in comunicazione le centrali di autoproduzione sulla rete di distribuzione con le centrali elettriche centralizzate di grande potenza scambiando con esse informazioni sull'energia prodotta e regolando di conseguenza il dispacciamento dell'energia. Tale architettura può essere un'infrastruttura di rete TLC ad hoc in grado di usufruire della rete elettrica stessa per veicolare informazioni sullo stato elettrico della rete (es. tecnologia powerline). Queste reti sono quindi regolate da opportuni software di gestione che realizzano un controllo ad Informazione grazie anche a strumenti di monitoraggio intelligenti tenendo traccia di tutto il flusso elettrico del sistema (telegestione), come pure strumenti appunto per integrare energia rinnovabile nella rete. Quando il costo dell'energia diventa minore una smart grid può anche decidere di attivare automaticamente processi industriali oppure elettrodomestici casalinghi.

Molti governi al mondo stanno spingendo verso la costruzione di sistemi di distribuzione e gestione intelligenti dell'energia elettrica, indirizzati all'indipendenza energetica e alla lotta al riscaldamento globale. I contatori intelligenti fanno parte di queste iniziative

In linea di principio, la smart grid (conosciuta anche come "rete intelligente" o della "generazione diffusa") è una evoluzione delle reti di energia elettrica che dal XX secolo generalmente “diffondono” l’energia da pochi generatori o centrali a un grande numero di utenti. L'innovazione consente dunque di far viaggiare l’energia elettrica da più nodi rendendo la rete in grado di rispondere tempestivamente alla richiesta di maggiore o minore consumo di uno o più utenti e rendendo immediata e ottimale la gestione come un vero e proprio organismo intelligente. Perseguire questo percorso intrapreso è complesso ma si stanno raggiungendo per gradi via via crescenti idonei livelli di produzione distributita. Ad esempio, al momento è possibile distinguere le ore di maggiore richiesta dalle ore di minore consumo facendo pagare un costo superiore a chi utilizza l'energia nelle ore di punta attraverso il meccanismo delle fasce orarie e dando contemporaneamente un incentivo maggiore a chi produce nelle medesime ore.

Una "smart grid" può effettuare il routing dell'energia per rispondere a diverse esigenze tecniche. La rete intelligente può:

- Rispondere in modo ottimale bilanciando domanda e offerta di energia (dispacciamento).
- Fornire banda dati, con un costo di gestione ridottissimo rispetto alla banda dei servizi di intrattenimento.
- Dividere isole energetiche su scala nazionale e continentale.
- Integrarsi in una Home Area Network, per interagire attraverso varie tecnologie con entità comunicative, anche intelligenti, presenti in casa.

La smart grid non è una singola rete, ma un insieme di reti, che hanno il compito di mettere in contatto diverse strutture dei produttori di energia (che attualmente si connettono manualmente alla rete nazionale e si organizzano autonomamente) su vari livelli e con una coordinazione automatica. La smart grid aumenta la connettività, l'automazione e la coordinazione tra fornitori, consumatori e rete, per compiere al meglio i lavori di trasmissione e distribuzione dell'energia.

4.1.2 Quadro normativo di riferimento in merito al regime autorizzativi degli impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile

Il quadro normativo che segue può di fatto dividersi in due macrocategorie:

I) legislazione nazionale;

II) legislazione regionale;

La legislazione nazionale, ovviamente, ha come ambito di applicazione tutto il territorio italiano, mentre la legislazione nazionale ha come ambito di applicazione, ovviamente, il territorio siciliano. Anticipiamo sin da subito che di fatto la normativa siciliana è stata armonizzata nel 2012 ai dettami della normativa nazionale e pertanto ad oggi non sussistono rilevanti diversità tra il quadro normativo nazionale e quello siciliano.

Nel seguito sono riportati diversi estratti legislativi che per comodità di lettura sono stati riportati in carattere corsivo.

I) LEGISLAZIONE NAZIONALE

La legislazione nazionale nel settore delle rinnovabili nasce dal recepimento delle diverse direttive europee che nel tempo si sono susseguite. La prima organizzazione normativa del settore è avvenuta nel 2003, e, prima di allora si faceva riferimento, fondamentalmente, all'ordinamento vigente nel settore dell'edilizia. Ovviamente in tale contesto non organizzato, gli scenari e le interpretazioni normative del settore, variavano da regione a regione o addirittura da comune a comune, con una evidente differenziazione degli iter procedurali a seconda del comune di competenza.

Il quadro legislativo in merito alla produzione da fonti rinnovabili è costituitaìo dai seguenti dettami normativi:

(a) *Decreto Legislativo n. 387/2003 ("Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità")*

(b) *Decreto Ministeriale 10 settembre 2010 ("Linee Guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili")*

(c) *Decreto Legislativo n. 28/2011 ("Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE")*

(d) *Decreto legge n. 1 del 24/01/2012 "Disposizioni urgenti per la concorrenza, lo sviluppo delle infrastrutture e la competitivita'"*

(e) *Legge n. 27 del 24/03/2012 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 24 gennaio 2012, n. 1, recante disposizioni urgenti per la concorrenza, lo sviluppo delle infrastrutture e la competitivita'.*

Di seguito si approfondiranno alcuni aspetti in merito al consumo di suolo rurale destinato alla produzione energetica.

a) Decreto legislativo n. 387/2003 ("attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità")

La legge madre in tema di costruzione e esercizio di impianti da fonti rinnovabili è il DLGS n. 387/2003. Tale decreto legislativo rappresenta il recepimento di tutte le leggi emanate fino al 2003 con una valenza nel settore, e in particolare:

- la direttiva 2001/77/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 27 settembre 2001, sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricita';
- la legge 1° marzo 2002, n. 39, recante disposizioni per l'adempimento di obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia alle Comunita' europee - legge comunitaria 2001 e, in particolare, l'articolo 43 e l'allegato B;
- la legge 31 luglio 2002, n. 179, recante disposizioni in materia ambientale;
- il decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, recante attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio;
- il decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79, recante attuazione della direttiva 96/92/CE recante norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica;

- la legge 1° giugno 2002, n. 120, recante ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997;
- la delibera CIPE n. 123 del 19 dicembre 2002 recante revisione delle linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 68 del 22 marzo 2003;
- il Libro bianco per la valorizzazione energetica delle fonti rinnovabili, approvato dal CIPE con la deliberazione n. 126 del 6 agosto 1999, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 253 del 27 ottobre 1999;
- il decreto legislativo 29 ottobre 1999, n. 490, recante testo unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali, a norma dell'articolo 1 della legge 8 ottobre 1997, n. 352;
- la legge 14 novembre 1995, n. 481, recante norme per la concorrenza e la regolazione dei servizi di pubblica utilita'. Istituzione delle Autorita' di regolazione dei servizi di pubblica utilita';
- l'articolo 10, comma 7, della legge 13 maggio 1999, n. 133;
- la legge 9 gennaio 1991, n. 9, recante norme per l'attuazione del nuovo Piano energetico nazionale: aspetti istituzionali, centrali idroelettriche ed elettrodotti, idrocarburi e geotermia, autoproduzione e disposizioni fiscali;
- la legge 9 gennaio 1991, n. 10, recante norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia;
- il decreto legislativo 23 maggio 2000, n. 164, concernente attuazione della direttiva n. 98/30/CE recante norme comuni per il mercato interno del gas naturale, a norma dell'articolo 41 della legge 17 maggio 1999, n. 144;
- la preliminare deliberazione del Consiglio dei Ministri, adottata nella riunione del 25 luglio 2003;
- il parere della Conferenza unificata, di cui all'articolo 8 del decreto legislativo 28 agosto 1997, n. 281, reso nella seduta del 23 settembre 2003;
- il parere delle competenti Commissioni della Camera dei deputati e del Senato della Repubblica;

- la deliberazione del Consiglio dei Ministri, adottata nella riunione del 19 dicembre 2003.

L'autorizzazione alla costruzione e esercizio degli impianti è normata dall'art. 12.
Il testo sotto riportato dell'art. 12 contempla le modifiche apportate da:

- Dlgs 3 aprile 2006, n. 152 (tutte le modifiche di carattere aggiuntivo apportate dal provvedimento in questione sono evidenziate in neretto. Entrata in vigore delle modifiche: 29 aprile 2006);
- Legge 27 dicembre 2006, n. 296 (Entrata in vigore delle modifiche: 1° gennaio 2007);
- Legge 24 dicembre 2007, n. 244 (Tutte le modifiche di carattere aggiuntivo apportate dal provvedimento in questione sono evidenziate in viola. Entrata in vigore delle modifiche: 1° gennaio 2008).
- Decreto Legislativo n. 28/2011.

E' utile una attenta disamina dei contenuti dell'art 12 "Razionalizzazione e semplificazione delle procedure autorizzative"

1. Le opere per la realizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili, nonché le opere connesse e le infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio degli stessi impianti, autorizzate ai sensi del comma 3, sono di pubblica utilità ed indifferibili ed urgenti.

2. Restano ferme le procedure di competenza del Mistero dell'interno vigenti per le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi.

3. La costruzione e l'esercizio degli impianti di produzione di energia elettrica alimentati da fonti rinnovabili, gli interventi di modifica, potenziamento, rifacimento totale o parziale e riattivazione, come definiti dalla normativa vigente, nonché le opere connesse e le infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio degli impianti stessi, sono soggetti ad una autorizzazione unica, rilasciata dalla Regione o altro soggetto istituzionale delegato o dalle Province delegate dalla Regione, nel

rispetto delle normative vigenti in materia di tutela dell'ambiente, di tutela del paesaggio e del patrimonio storico-artistico, che costituisce, ove occorra, variante allo strumento urbanistico. A tal fine la Conferenza dei servizi è convocata dalla Regione entro trenta giorni dal ricevimento della domanda di autorizzazione. Resta fermo il pagamento del diritto annuale di cui all'articolo 63, commi 3 e 4, del Testo Unico delle disposizioni legislative concernenti le imposte sulla produzione e sui consumi e relative sanzioni penali e amministrative, di cui al decreto legislativo 26 ottobre 1995, n. 504, e successive modificazioni. Per gli impianti offshore l'autorizzazione è rilasciata dal Ministero dei trasporti, sentiti il Ministero dello sviluppo economico e il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, con le modalità di cui al comma 4 e previa concessione d'uso del demanio marittimo da parte della competente autorità marittima.

4. L'autorizzazione di cui al comma 3 è rilasciata a seguito di un procedimento unico, al quale partecipano tutte le Amministrazioni interessate, svolto nel rispetto dei principi di semplificazione e con le modalità stabilite dalla legge 7 agosto 1990, n. 241, e successive modificazioni e integrazioni. In caso di dissenso, purché non sia quello espresso da una amministrazione statale preposta alla tutela ambientale, paesaggistico-territoriale, o del patrimonio storico-artistico, la decisione, ove non diversamente e specificamente disciplinato dalle Regioni, è rimessa alla Giunta regionale ovvero alle Giunte delle Province autonome di Trento e di Bolzano. Il rilascio dell'autorizzazione costituisce titolo a costruire ed esercire l'impianto in conformità al progetto approvato e deve contenere, in ogni caso, l'obbligo alla rimessa in pristino dello stato dei luoghi a carico del soggetto esercente a seguito della dismissione dell'impianto o, per gli impianti idroelettrici, l'obbligo alla esecuzione di misure di reinserimento e recupero ambientale. Il termine massimo per la conclusione del procedimento di cui al presente comma non può comunque essere superiore a centottanta giorni.

5. All'installazione degli impianti di fonte rinnovabile di cui all'articolo 2, comma 2, lettere b) e c) di cui all'articolo 2, comma 1, lettere b) e c) per i quali non è previsto il rilascio di alcuna autorizzazione, non si applicano le procedure di cui ai commi 3

e 4. Ai medesimi impianti, quando la capacità di generazione sia inferiore alle soglie individuate dalla tabella A allegata al presente decreto, con riferimento alla specifica fonte, si applica la disciplina della denuncia di inizio attività di cui agli articoli 22 e 23 del testo unico di cui al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, e successive modificazioni. Con decreto del Ministro dello sviluppo economico, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, d'intesa con la Conferenza unificata di cui all'articolo 8 del decreto legislativo 28 agosto 1997, n. 281, e successive modificazioni, possono essere individuate maggiori soglie di capacità di generazione e caratteristiche dei siti di installazione per i quali si procede con la medesima disciplina della denuncia di inizio attività.

6. L'autorizzazione non può essere subordinata né prevedere misure di compensazione a favore delle Regioni e delle Province.

7. Gli impianti di produzione di energia elettrica, di cui all'articolo 2, comma 1, lettere b) e c), possono essere ubicati anche in zone classificate agricole dai vigenti piani urbanistici. Nell'ubicazione si dovrà tenere conto delle disposizioni in materia di sostegno nel settore agricolo, con particolare riferimento alla valorizzazione delle tradizioni agroalimentari locali, alla tutela della biodiversità, così come del patrimonio culturale e del paesaggio rurale di cui alla legge 5 marzo 2001, n. 57, articoli 7 e 8, nonché del decreto legislativo 18 maggio 2001, n. 228, articolo 14.

8. ...eliminato...

9. Le disposizioni di cui ai precedenti commi si applicano anche in assenza della ripartizione di cui all'articolo 10, commi 1 e 2, nonché di quanto disposto al comma

10. In Conferenza unificata, su proposta del Ministro delle attività produttive, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del Ministro per i beni e le attività culturali, si approvano le linee guida per lo svolgimento del procedimento di cui al comma 3. Tali linee guida sono volte, in particolare, ad

assicurare un corretto inserimento degli impianti, con specifico riguardo agli impianti eolici, nel paesaggio. In attuazione di tali linee guida, le Regioni possono procedere alla indicazione di aree e siti non idonei alla installazione di specifiche tipologie di impianti. Le Regioni adeguano le rispettive discipline entro novanta giorni dalla data di entrata in vigore delle linee guida. In caso di mancato adeguamento entro il predetto termine, si applicano le linee guida nazionali.

L'art. 12 del D.Lgs. n. 387/2003, prevede dunque che la costruzione e l'esercizio degli impianti per la produzione di energia da fonti energetiche rinnovabili, nonché delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili al loro esercizio, sono soggetti, ad una autorizzazione unica rilasciata dalla Regione o dalle Province delegate dalla Regione, nel rispetto delle normative vigenti in materia di tutela dell'ambiente, di tutela del paesaggio e del patrimonio storico-artistico, che costituisce, ove occorra, variante allo strumento urbanistico. L'autorizzazione unica è rilasciata a seguito di un procedimento unico, al quale partecipano tutte le Amministrazioni interessate, svolto nel rispetto dei principi di semplificazione e con le modalità stabilite dalla L. n. 241/1990. Per alcuni interventi, ricadenti tra quelli della tabella A, possono essere autorizzate tramite procedure semplificate "D.I.A".

Tabella A

(Articolo 12)

Fonte	Soglie
1 Eolica	60 kW
2 Solare fotovoltaica	20 kW
3 Idraulica	100 kW
4 Biomasse	200 kW
5 Gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas	250 kW

Ai sensi del DLGS 387/2003 non vi dunque sono particolari restrizioni in materia di sfruttamento del suolo rurale, purchè, l'intervento sia svolto nel rispetto del materia di tutela dell'ambiente, di tutela del paesaggio e del patrimonio storico-artistico. Tale orinetamento normativo si applica a tutti gli impianti alimentati da fonti rinnovabili.

b) Decreto ministeriale 10 settembre 2010 ("linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili")

Dopo l'emanazione del DLGS n. 387/2003, negli anni seguenti, l'unione europea ha continuato a legiferare e nel 2010 il legislatore italiano ha emanato il DM 10/09/2010 che rappresenta il recepimento delle direttive europee in materia impianti alimentati da fonti rinnovabili. In tale disposto legislativo viene chiaramente ribadito che gli impianti possono essere costruiti in aree agricole, viene tuttavia introdotta una espressa tutela per gli impianti ricadenti in zone agricole caratterizzate da produzioni agro- alimentari di qualità (produzioni biologiche, produzioni D.O.P., I.G.P., S.T.G., D.O.C., D.O.C.G., produzioni tradizionali). In particolare la costruzione dell'impianto è possibile laddove non pregiudichi le caratteristiche paesaggistico-culturale e agricole del sito in questione. Viene inoltre introdotta per la prima volta la nozione di **area non idonea** che per ovvi motivi coinvolge in massima parte le aree agricole.

Vengono di seguito riportati diversi stralci del DM aventi ad oggetto lo sfruttamento del suolo rurale.

"il comma 7 che prevede che gli impianti alimentati da fonti rinnovabili possono essere ubicati anche in zone classificate agricole dai piani urbanistici nel rispetto delle disposizioni in materia di sostegno nel settore agricolo, della valorizzazione delle tradizioni agroalimentari locali, alla tutela della biodiversità e del patrimonio culturale e del paesaggio rurale;"

Parag 15.3.

"Ove occorra, l'autorizzazione unica costituisce di per se variante allo strumento urbanistico. Gli impianti possono essere ubicati in zone classificate agricole dai vigenti piani urbanistici, nel qual caso l'autorizzazione unica non dispone la variante dello strumento urbanistico. Nell'ubicazione degli impianti in tali zone si dovrà tenere conto delle disposizioni in materia di sostegno nel settore agricolo, con particolare riferimento alla valorizzazione delle tradizioni agroalimentari locali, alla tutela della

biodiversità, così come del patrimonio culturale e del paesaggio rurale di cui alla legge 5 marzo 2001, n. 57, articoli 7 e 8, nonché del decreto legislativo 18 maggio 2001, n. 228, articolo 14. Restano ferme le previsioni dei piani paesaggistici e delle prescrizioni d'uso indicate nei provvedimenti di dichiarazione di notevole interesse pubblico ai sensi del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 e s.m.i. recante Codice dei beni culturali e del paesaggio, nei casi previsti."

Parag. 16.1 comma e)

" Una progettazione legata alle specificità dell'area in cui viene realizzato l'intervento; con riguardo alla localizzazione in aree agricole, assume rilevanza l'integrazione dell'impianto nel contesto delle tradizioni agroalimentari locali e del paesaggio rurale, sia per quanto attiene alla sua realizzazione che al suo esercizio".

Parag. 16.4

Nell'autorizzare progetti localizzati in zone agricole caratterizzate da produzioni agro-alimentari di qualità (produzioni biologiche, produzioni D.O.P., I.G.P., S.T.G., D.O.C., D.O.C.G., produzioni tradizionali) e/o di particolare pregio rispetto al contesto paesaggistico- culturale, deve essere verificato che l'insediamento e l'esercizio dell'impianto non comprometta o interferisca negativamente con le finalità perseguite dalle disposizioni in materia di sostegno nel settore agricolo, con particolare riferimento alla valorizzazione delle tradizioni agroalimentari locali, alla tutela della biodiversità, così come del patrimonio culturale e del paesaggio rurale.

Allegato 3 al DM 10/09/2010 " Criteri per l'individuazione di aree non idonee"

"ai sensi dell'articolo 12, comma 7, le zone classificate agricole dai vigenti piani urbanistici non possono essere genericamente considerate aree e siti non idonei;"

"in riferimento agli impianti per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, le Regioni, con le modalità di cui al paragrafo 17, possono procedere ad indicare come aree e siti non idonei alla installazione di specifiche tipologie di impianti le aree particolarmente sensibili e/o vulnerabili alle trasformazioni territoriali o del paesaggio, ricadenti all'interno di quelle di seguito elencate, in coerenza con gli strumenti di tutela e gestione previsti dalle normative vigenti e tenendo conto delle potenzialità di sviluppo delle diverse tipologie di impianti:

…omissis…

le aree agricole interessate da produzioni agricolo-alimentari di qualità (produzioni biologiche, produzioni D.O.P., I.G.P., S.T.G., D.O.C., D.O.C.G., produzioni tradizionali) e/o di particolare pregio rispetto al contesto paesaggistico-culturale, in coerenza e per le finalità di cui all'art. 12, comma 7, del decreto legislativo 387 del 2003 anche con riferimento alle aree, se previste dalla programmazione regionale, caratterizzate da un'elevata capacità d'uso del suolo;

…omissis…

Appare evidente dalla lettura del testo che, in questo DM, viene introdotta una espressa tutela delle aree con produzioni D.O.P., I.G.P., S.T.G., D.O.C., D.O.C.G., produzioni tradizionali, con un rimando alle regioni, in merito alla individuazione delle aree non idonee. L'intento del legislatore è quello di preservare i suoli agricoli dallo sfruttamento selvaggio ai fini energetici, con una espressa tutela dei siti con produzioni di elevata qualità. Questo è stato il risultato della crescita esponenziale di richieste di autorizzazioni alla costruzione e di collegamento alla rete nazionale di impianti fotovoltaici. Tale orientamento normativo si applica a tutti gli impianti alimentati da fonti rinnovabili.

c) Decreto legislativo n. 28/2011 ("attuazione della direttiva 2009/28/ce sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE")

In armonia con il DM 10/09/2010 il Dlgs. N. 28/2011 stringe ulteriormente le maglie introducendo per la prima volta degli indici di sfruttamento dei terreni agricoli.

Art. 10 comma 4.

"Dalla data di entrata in vigore del presente decreto, per gli impianti solari fotovoltaici con moduli collocati a terra in aree agricole, l'accesso agli incentivi statali è consentito a condizione che, in aggiunta ai requisiti previsti dall'allegato 2:

a) la potenza nominale di ciascun impianto non sia superiore a 1 MW e, nel caso di terreni appartenenti al medesimo proprietario, gli impianti siano collocati ad una distanza non inferiore a 2 chilometri;

b) non sia destinato all'installazione degli impianti più del 10 per cento della superficie del terreno
agricolo nella disponibilità del proponente."
Art. 10 comma 5.
"I limiti di cui al comma 4 non si applicano ai terreni abbandonati da almeno cinque anni."

In pratica gli impianti fotovoltaici dovranno essere "diluiti" su una superificie 10 volte più grande. L'ingresso di tale norma ha di fatto determinato l'illeggitimità di gran parte delle richieste di costruzione degli impianti fotovoltaici sul territorio nazionale. Se da un lato tale norma ha avuto come effetto il rallentamento della costruzione degli impianti fotovoltaici nei siti agricoli, dall'altro, esponeva lo stato italiano a tutta una serie di possibili contenzioni con le imprese che avevano presentato delle richieste di autorizzazione e che tutto ad un tratto si trovavano ad essere dichiarate "fuori legge". Per ovviare a tale situazione il decreto legge n.1 del 24/01/2012, introduce delle espresse norme di salvaguardia per le iniziative in corso di autorizzazione. Con tale disposto normativo di fatto si sancisce la fine della costruzione degli impianti fotovoltaici nei suoli agricoli. Tale norma non investe invece gli impianti solari a concentrazione e solari termodinamici.

d) Il decreto legge n. 1 del 24/01/2012 "disposizioni urgenti per la concorrenza, lo sviluppo delle infrastrutture e la competitivita'"

Come sopra brevemente descritto con il DL n.1 del 24/01/2012 si introducono delle norme di salvaguardia delle iniziative in corso, stabilendo che gli impianti già autorizzati, o con richiesta presentata, alla data di entrata in vigore del decreto, dovevano entrare in esercizio entro un anno dalla data di approvazione del decreto. Restano fermi invece, tuttavia, anche per tali impianti le restrizioni imposte ai sensi dei commi 4 e 5 del DLgs. 28/2011.

Art. 65 Impianti fotovoltaici in ambito agricolo

1. Dalla data di entrata in vigore del presente decreto, per gli impianti solari fotovoltaici con moduli collocati a terra in aree agricole, non e' consentito l'accesso agli incentivi statali di cui al decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28.

2. Il comma 1 non si applica agli impianti solari fotovoltaici con moduli collocati a terra in aree agricole che hanno conseguito il titolo abilitativo entro la data di entrata in vigore del presente decreto o per i quali sia stata presentata richiesta per il conseguimento del titolo entro la medesima data, a condizione in ogni caso che l'impianto entri in esercizio entro un anno dalla data di entrata in vigore del presente decreto. Detti impianti debbono comunque rispettare le condizioni di cui ai commi 4 e 5 dell'articolo 10 del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28.

3. Agli impianti i cui moduli costituiscono elementi costruttivi di serre cosi' come definite dall'articolo 20, comma 5 del decreto ministeriale 6 agosto 2010, si applica la tariffa prevista per gli impianti fotovoltaici realizzati su edifici. Al fine di garantire la coltivazione sottostante, le serre - a seguito dell'intervento - devono presentare un rapporto tra la proiezione al suolo della superficie totale dei moduli fotovoltaici installati sulla serra e la superficie totale della copertura della serra stessa non superiore al 50%.

4. I commi 4, 5 e 6 dell'articolo 10 del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28 sono abrogati, fatto salvo quanto disposto dall'ultimo periodo del comma 2.

Per la prima volta viene espressamente introdotto il divieto di accesso agli incentivi per gli impianti fotovoltaici in aree agricole, e vengono inoltre introdotti dei limiti tra per le superfici coperte delle serre con moduli fotovoltaici.. Il sopramenzionato divieto di accesso agli incentivi è totale anche per gli impianti distribuiti su una superficie di terreno 10 volte maggiore.

e) Legge n. 27 del 24/03/2012 "conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 24 gennaio 2012, n. 1, recante disposizioni urgenti per la concorrenza, lo sviluppo delle infrastrutture e la competitivita'.

Dopo nemmeno tre mesi viene emanata la legge n. 27 del 24/03/2012, che di fatto riduce ulteriormente il termine per l'entrata in esercizio degli impianti fotovoltaici su aree agricole.

L'articolo 65 e' sostituito dal seguente:

«Art. 65 (Impianti fotovoltaici in ambito agricolo). -

1. Agli impianti solari fotovoltaici con moduli collocati a terra in aree agricole non e' consentito l'accesso agli incentivi statali di cui al decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28.

2. Il comma 1 non si applica agli impianti realizzati e da realizzare su terreni nella disponibilita' del demanio militare e agli impianti solari fotovoltaici con moduli collocati a terra da installare in aree classificate agricole alla data di entrata in vigore della legge di conversione del presente decreto, che hanno conseguito il titolo abilitativo entro la data di entrata in vigore della legge di conversione del presente decreto, a condizione in ogni caso che l'impianto ***entri in esercizio entro centottanta giorni dalla data di entrata in vigore della legge di conversione del presente decreto****. Detti impianti debbono comunque rispettare le condizioni di cui ai commi 4 e 5 dell'articolo 10 del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28. E' fatto inoltre salvo quanto previsto dal comma 6 dell'articolo 10 del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28, a condizione che l'impianto entri in esercizio entro sessanta giorni dalla data di entrata in vigore della legge di conversione del presente decreto.*

Il D.L. 1/2012, coordinato con la legge di conversione 27/2012 ha modificato le condizioni per l'accesso agli incentivi agli impianti solari fotovoltaici con moduli collocati a terra in aree agricole.

In particolare l'articolo 65 comma 1 della Legge 27/2012, recita "1. Agli impianti solari fotovoltaici con moduli collocati a terra in aree agricole non è consentito l'accesso agli incentivi statali di cui al decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28".

Tale limitazione non si applica agli impianti realizzati e da realizzare su terreni nella disponibilità del demanio militare e agli impianti con moduli collocati a terra in aree classificate agricole alla data di entrata in vigore della legge di conversione del D.L. 1/2012, (25 marzo 2012). Gli impianti con moduli collocati a terra in aree classificate agricole, per accedere all'incentivo, devono aver conseguito il titolo abilitativo entro il 25 marzo 2012 ed entrare in esercizio entro **il 21 settembre 2012** (centottanta giorni dalla data di entrata in vigore della legge di conversione). Le due categorie d'impianti fotovoltaici sopra indicate (su terreni nella disponibilità del demanio militare e con moduli collocati a terra in aree classificate agricole) devono comunque rispettare le condizioni previste dai commi 4 e 5 dell'articolo 10 del decreto legislativo n.28 del 2011.

In aggiunta, il comma 2 della medesima legge prevede che le limitazioni del comma 1 non si applichino agli impianti su aree agricole per i quali sia stato conseguito il titolo abilitativo entro il 29 marzo 2011 (entrata in vigore del D.lgs. 28/2011) o per il quale sia stata presentata richiesta per il conseguimento del titolo entro il 1° gennaio 2011, a condizione che gli impianti siano entrati in esercizio entro il 24 maggio 2012.
Il titolo autorizzativo/abilitativo si intende conseguito alla data in cui l'amministrazione competente rilascia l'atto conclusivo del procedimento di autorizzazione. Il titolo autorizzativo/abilitativo non sarà pertanto ritenuto conseguito in presenza di un atto endoprocedimentale, quale, in via esemplificativa, il Verbale della Conferenza dei Servizi, seppur di contenuto positivo, in caso di Autorizzazione Unica.

Di fatto viene dunque stabilita la data ultima del 21/09/2012 per l'entrata in esercizio degli impianti fotovoltaici. Con questo atto non si potranno più incentivare impianti fotovoltaici, ovviamente rimane libera la possibilità di costruire gli impianti, i quali tuttavia non potranno essere incentivati in alcun modo.

II) LEGISLAZIONE REGIONALE

Decreto presidenziale 10/07/2012, n.48. "regolamento recante norme di attuazione dell'art. 105, comma 5, della legge regionale 12 maggio 2010, n.11".

Il Decreto Presidenziale 10/07/2012, n.48. "Regolamento recante norme di attuazione dell'art. 105, comma 5, della legge regionale 12 maggio 2010, n.11", rappresenta l'attuale normativa vigente nella regione Sicilia in merito all'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili. Di fatto la legislazione regionale Siciliana ha recepito completamente tutti i dettami della normativa nazionale, armonizzate con la normativa europea. La schematizzazione dei diversi possibili casi è riportata in allegato A. Ovviamente per quanto riguarda gli incentivi si rimanda alla legislazione nazionale.

Allegato A

Fonte	Condizioni da rispettare		Regime autorizzativo				
	Rif.	Modalità operative / di installazione	Potenza (kW)	Autorizz. unica	Attività libera	PAS	SCIA
Eolica	D.Lgs. n. 387/03	Nessuna	>60	X			
		Nessuna	>20-60			X	
	Regolamento ai sensi del D.Lgs. n. 28/11	Nessuna	0-20		X		
	D.Lgs. n. 115/08	Singoli generatori eolici con altezza complessiva non superiore a 1,5 metri e diametro non superiore a 1 metro installati su tetti edifici	—		X		
Fotovoltaica	D.Lgs. n. 387/03	Nessuna	>1.000	X.			
	Regolamento ai sensi del D.Lgs. n. 28/11	Nessuna	0-50		X		
	Regolamento ai sensi del D.Lgs. n. 28/11	Impianti ubicati in aree destinate ad uso agricolo ovvero in aree non industriali; in aree destinate all'estrazione di materiali lapidei; in aree destinate al trattamento e smaltimento dei rifiuti; all'interno di impianti destinati alla produzione di energia elettrica da fonte convenzionale per i quali necessita il recupero ambientale	>50-1.000			X	
	L.R. 11/2010, art. n. 105; L.R. 5/2011 art. 6	Residui impianti collocati a terra ubicati in zone industriali	>50-1.000				X
	D.Lgs. n. 115/08	Impianti aderenti o integrati nei tetti degli edifici con la stessa inclinazione e lo stesso orientamento della falda e i cui componenti non modificano la sagoma degli edifici stessi	—		X		
	Regolamento ai sensi del D.Lgs. n. 28/11	Impianti installati su tetti di edifici	—		X		
Idraulica e geotermica	Regolamento ai sensi del D.Lgs. n. 28/11	Nessuna	0-50		X		
	D.P.R. n. 380/2001; D.Lgs. n. 28/11	Impianti idroelettrici e geotermoelettrici realizzati in edifici esistenti, sempre che non alterino i volumi e le superfici, non comportino modifiche delle destinazioni d'uso, non riguardino le parti strutturali dell'edificio, non comportino aumento del numero di unità immobiliari e non implichino incremento dei parametri urbanistici	>50-200		X		
	Regolamento ai sensi del D.Lgs. n. 28/11	Nessuna	>50-1.000			X	
	D.Lgs. n. 387/03	Nessuna	>1.000	X			

COPIA TRATTA DA GURITEL — GAZZETTA UFFICIALE DELLA G.U. NON VALIDA PER LA VENDITA — SERIALIZZAZIONE

segue: **Allegato A**

Fonte	Condizioni da rispettare		Regime autorizzativo				
	Rif.	Modalità operative / di installazione	Potenza (kW)	Autorizz. unica	Attività libera	PAS	SCIA
Biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione, biogas e bioliquidi per produzione di energia	Regolamento ai sensi del D.Lgs. n. 28/11	Nessuna	0-50		X		
	D.Lgs. n. 28/11	Realizzati in edifici esistenti, sempre che non alterino i volumi e le superfici, non comportino modifiche delle destinazioni di uso, non riguardino le parti strutturali dell'edificio, non comportino aumento del numero delle unità immobiliari e non implichino incremento dei parametri urbanistici	>50-200		X		
	Regolamento ai sensi del D.Lgs. n. 28/11	Nessuna	>50-1000			X	
	D.Lgs. n. 387/03	Nessuna	>1.000	X			

Fonte	Condizioni da rispettare		Regime autorizzativo
	Rif.	Modalità operative / di installazione	
Bioliquidi	D.Lgs. n. 504/95	Produzione e stoccaggio	Deposito fiscale
Biocarburanti per i trasporti	Legge n. 239/04	Realizzazione e gestione impianti	Autorizzazione

Visto: LOMBARDO

COPIA UFFICIALE DELLA G.U.R.S. COMMERCIALIZZAZIONE

4.1.3 Quadro normativo di riferimento in merito al regime incentivante degli impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile

Relativamente all'incentivazione degli impianti fotovoltaici e solari a concentrazione si sono susseguiti ben 5 decreti ministeriali c.d. "Conti Energia" che nel seguito si elencano:

- DM 06/02/2006, c.d. I Conto Energia;
- DM 19/02/2007 c.d., II Conto Energia;
-DM 06/08/2010 c.d., III Conto Energia;
-DM 05/05/2011 c.d., IV Conto Energia;
- DM 05/07/2012 c.d., V Conto Energia.

Ad oggi gli incentivi non sono più attivi, e, pertanto, qualsiasi impianto fotovoltaico, nonché a concentrazione, può essere costruito, ma può beneficiare solo della vendita dell'energia.
Relativamente all'incentivazione degli impianti termodinamici si sono susseguiti 2 decreti ministeriali c.d. "Conti Energia" che nel seguito si elencano:

- DM 11/04/2008;
- DM 06/07/2012.

Ad oggi gli incentivi sul solare termodinamico sono ancora attivi, preme fare notare tuttavia che in Italia non sono stati ancora realizzati impianti solari termodinamici, e, pertanto, qualsiasi impianto solare termodinamico può godere sia della tariffa incentivante che della vendita dell'energia.

Relativamente all'incentivazione degli impianti solari termici, ad oggi sono attivi:

- il **DM 28/12/2012,** cd Conto Termico "Incentivazione della produzione di energia termica da fonti rinnovabili ed interventi di efficienza energetica di piccole dimensioni". Gli interventi incentivabili si riferiscono sia all'**efficientamento** dell'**involucro** di **edifici esistenti** (coibentazione pareti e coperture, sostituzione serramenti e installazione schermature solari) sia alla **sostituzione di impianti** esistenti per la **climatizzazione invernale** con impianti a più alta efficienza (caldaie a condensazione) sia alla sostituzione o, in alcuni casi, alla nuova **installazione** di **impianti** alimentati **a fonti rinnovabili** (pompe di calore, caldaie, stufe e camini a biomassa, impianti solari termici anche abbinati a tecnologia solar cooling per la produzione di freddo). ;
- la **legge n. 90 del 2013** "Detrazioni fiscali" in misura massima del 65%.

Considerato che gli impianti solari termici riguardano per lo più piccole applicazioni in edifici residenziali, tale tecnologia non ha avuto alcun impatto sul consumo del suolo rurale.

4.1.4 Quadro normativo di riferimento in termini di consumo di suolo rurale: considerazioni finali

Come si evince dalla trattazione dei precedenti l'impatto in termini di consumo rurale è dovuto al 99% agli impianti fotovoltaici. Le diverse epoche che si sono susseguite si possono così riassumere:

- periodo prima del 2003: nessun quadro normativo esistente. Nessuna limitazione nell'ambito del consumo dei suoli rurali, sviluppo limitato del settore delle rinnovabili;
- periodo da 2003 al 2010: si delinea l'orientamento normativo in base la quale gli impianti devono essere comunque realizzati nel rispetto delle aree a produzione agricole tutelate. Vi è un crescendo della diffusione della generazione distribuita e viene introdotto il concetto di area non idonea;
- anni 2011-2012: vengono istituite norme sempre più stringenti, fino ad arrivare alla completa eliminazione degli incentivi sugli impianti realizzati in aree agricole. Viene di fatto bloccata la costruzione degli impianti fotovoltaici sui suoli agricoli con conseguente istituzione di un vincolo totale di ulteriore sfruttamento del suolo rurale ai fini energetici.

Relativamente agli altri impianti oggetto del presente studio:

- solare a concentrazione;
- solare termodinamico;
- solare termico;

l'impatto di consumo di suolo rurale è stato praticamente nullo essendo state per lo piu' le poche applicazioni realizzate dei meri impianti dimostrativi pilota di tecnologie non ancora consolidate, e, di conseguenza, anche il quadro normativo in questi anni si è mantenuto relativamente stabile.

4.2 Un nuovo paradigma di sostenibilità ambientale

Né la capacità di carico né i carichi critici di un eco sistema sono sempre determinabili con precisione. L'azione ambientale devono quindi necessariamente essere improntati al

"*principio precauzionale"* secondo le linee definite in ambito comunitario. L'azione ambientale e la normativa derivante da sola non esaurisce la sfida dello sviluppo sostenibile, né può essere mera portatrice di divieti, regole ed impedimenti.
La sostenibilità economica è una questione di sviluppo stabile e duraturo: comprende alti livelli occupazionali,bassi tassi di inflazione e stabilità nel commercio internazionale. L'indicatore cui di norma è associata la crescita economica è il Prodotto Interno Lordo (PIL) che non contiene alcun termine o fattore che renda conto dei danni recati all'ambiente e dei relativi costi per la collettività. E' ormai tempo di misurare lo sviluppo economico con un articolato ventaglio di parametri fisici e monetari che integri ambiente ed economia e rifletta i risultati ottenuti nella difesa della qualità della vita e dell'ambiente e il guadagno o la perdita degli *stock* di risorse naturali. La sostenibilità sociale ha a che fare con l'equità distributiva, con i diritti umani e civili, con lo stato dei bambini, degli adolescenti, delle donne, degli anziani e dei disabili, con l'immigrazione e con i rapporti tra le nazioni. Le azioni e gli impegni finalizzati al perseguimento di uno sviluppo sostenibile non possono prescindere dalla necessità di attuare politiche tese all'eliminazione della povertà e dell'esclusione sociale. Tale obiettivo, peraltro previsto nel Piano nazionale degli interventi e dei servizi sociali 2001-2003, può essere raggiunto, oltre che attraverso un'equa distribuzione delle risorse, una riduzione dei tassi di disoccupazione e, quindi, l'attuazione di misure di carattere economico, mediante investimenti nel sistema sociosanitario, nell'istruzione e, più in generale, in programmi sociali che garantiscano l'accesso ai servizi oltre che la coesione sociale.

La Strategia Nazionale d'Azione Ambientale garantisce la continuità con l'azione dell'Unione Europea, in particolare con il Sesto Piano di Azione Ambientale e con gli obiettivi fissati a Lisbona e poi a Göteborg dal Consiglio Europeo in materia di piena occupazione, di coesione sociale e di tutela ambientale. Deve inoltre garantire, in coerenza con le indicazioni del Consiglio Europeo di Barcellona (2002), la predisposizione della strumentazione necessaria per la concertazione, la partecipazione, la condivisione delle responsabilità a livello nazionale ed il *reporting*. Gli obiettivi e le azioni della Strategia devono trovare continuità nel sistema delle Regioni, delle Province autonome e degli Enti locali alla luce del principio di sussidiarietà, attraverso la predisposizione di strategie di sostenibilità, a tutti i livelli, per l'attuazione di tali

obiettivi in relazione alle proprie specificità, adattando a queste contenuti e priorità in collaborazione e *partnership* con gli Enti locali e tutti i soggetti coinvolti. A tal fine è necessario che le Regioni individuino e orientino nel proprio bilancio le risorse finanziarie necessarie. Lo Stato dovrà, agli stessi fini, provvedere ad orientare le risorse del proprio bilancio a sostegno dell'azione regionale, ove queste si siano dotate di strategie regionali per il perseguimento degli obiettivi di grande scala e delle macro-azioni

La Strategia d'Azione Ambientale si articola, identificando prima gli strumenti operativi di carattere generale, in quattro grandi aree tematiche prioritarie, le medesime indicate dal Sesto Piano d'Azione Ambientale dell'UE:

- cambiamenti climatici e protezione della fascia dell'ozono;
- protezione e valorizzazione sostenibile della Natura e della Biodiversità;
- qualità dell'Ambiente e qualità della vita negli ambienti urbani;
- prelievo delle risorse e produzione di rifiuti.

Occorre un cambio di strategia, un nuovo "paradigma economico-energetico-ambientale-sociale per uno sviluppo globale sostenibile, basato sugli obiettivi individuati **dalla ricerca scientifica e tecnologica per l'ambiente e per lo sviluppo sostenibile** che vedono:

- il miglioramento della comunicazione tra università mondo dell'impresa e associazioni ambientali nazionali e internazionali e di categoria;
- l'incentivazione della partecipazione italiana agli organismi scientifici internazionali ed agli organi tecnici delle Convenzioni;
- l'adozione esplicita del paradigma ambientale da parte delle Università e dei centri di ricerca, potenziando corsi di laurea, specializzazioni etc.;
- il potenziamento degli strumenti e metodologie di analisi, la modellazione e il supporto alle decisioni ed alla pianificazione;
- la valorizzazione della dimensione interdisciplinare e multifattoriale della scienza ambientale mediante l'approccio "in rete" alla conoscenza scientifica oltre che all'informazione;

• il potenziamento dei ruoli di ISTAT ed ANPA-ARPA in relazione alla acquisizione e modellazione dei dati ed ai supporti informatici;

• l'aumento della "spesa" interna della ricerca e, per linee interne, della quota destinata all'ambiente ed allo sviluppo sostenibile.

5 Sviluppo e progettazione di un nuovo Convertitore di Energia Solare (S.E.C. - Solar Energy Converter) ad alta efficienza per applicazioni di efficientamento energetico in agricoltura attraverso un utilizzo ambientalmente sostenibile di suolo agricolo

In relazione a quanto detto in precedenza, nasce l'esigenza di avere un sistema in grado di utilizzare la primaria fonte di energia ovvero il sole e la minor superficie utile trasformando la stessa in un'altra forma utile per qualsivoglia utilizzo.

Il Solar Energy Converter è un sistema che utilizza l'energia solare per creare una fonte ad alta temperatura.

È dunque assimilabile ad un "pannello solare termico" evoluto in grado di massimizzare grazie all'inseguimento e al conseguente allineamento alla posizione del sole,la quantità di energia irradiata sulla superficie captante e allo stesso tempo di massimizzare il rendimento grazie alla concentrazione solare che riduce la superficie disperdente (il ricevitore) minimizzando di conseguenza le perdite per irraggiamento e per convezione naturale e forzata in presenza di vento.

L'energia termica disponibile per qualsiasi utilizzatore è erogabile ad una temperatura di lavoro che puo variare dai 50˚C ai 300 ˚C

Le principali parti che lo compongono sono:

1. L'inseguitore Solare;
2. Il collettore;
3. Il ricevitore;
4. Il circuito ad olio diatermico

Il sistema è modulare e come nel caso dei pannelli solari termici sarà dunque possibile modulare la potenza nominale dell'impianto oltre che la temperatura di lavoro in funzione delle caratteristiche di funzionamento dell'utilizzatore.

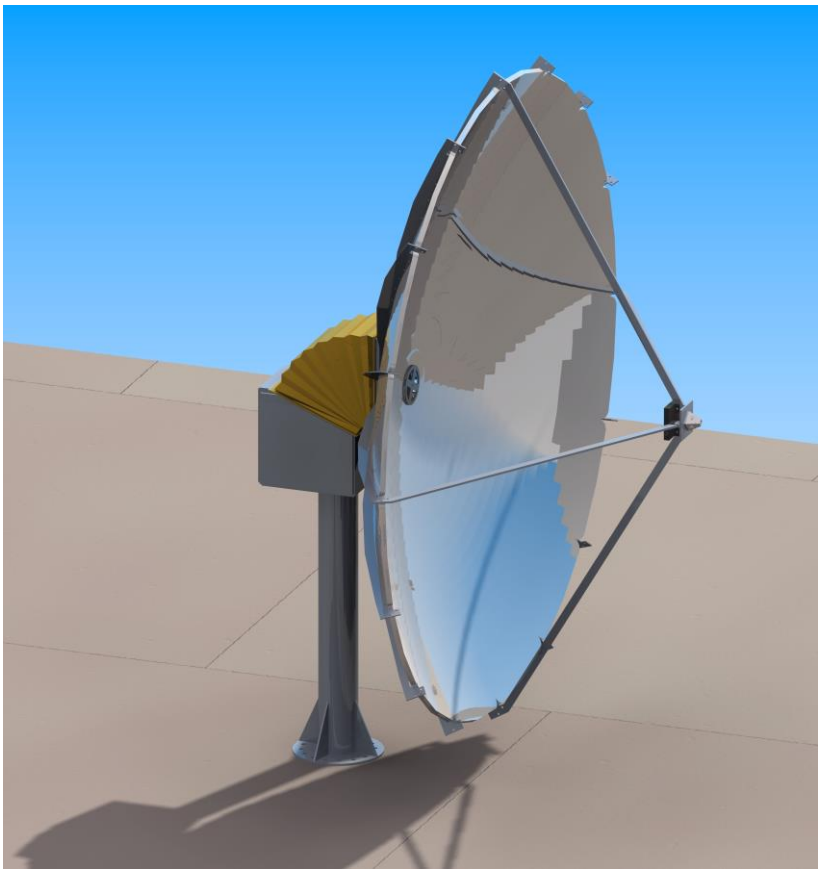
L'apparecchiatura cosi' concepita dovrà essere utilizzabile per diverse applicazioni modulari e di sistema in una logica smart grid e su terreni orograficamente articolati e impervi e dunque non utilizzabili ai fini produttivi con coltivazioni intensive sia per applicazioni civili che industriali che in agricoltura.

Un impianto modulare dovrà essere infatti in grado di soddisfare

- la richiesta di energia termica in agricoltura in aziende agricole e agrituristiche per la climatizzazione invernale ed estiva di ambienti residenziali di lavoro (solar heating e solar cooling) , nonche' di impianti Serricoli ad alta produzione intensiva di culture altamente redditizie.
- la richiesta di energia termica nell'industria di processo agroalimentare (produzione di marmellate prodotti caseari, succhi di frutta etc etc) volta ad ottenere vapore saturo o surriscaldato, olio e/o acqua calda o aria e/o gas di alimentazione preriscaldati in funzione delle temperature di lavoro dell'utilizzatore ovvero dell'apparecchiatura industriale alimentata con energia termica (generatore di vapore, colonna di distillazione, evaporatore, cristallizzatore, colonna di assorbimento e/o desorbimento, turbine)
- la richiesta di energia termica ad alta temperatura per la produzione di energia elettrica attraverso un ciclo OCR da utilizzare in situ in piccoli impianti modulari di produzione (1 MW) per le esigenze energetiche termiche ed elettrica di una azienda agricola
- la richiesta di energia termica ad alta temperatura in zone isolate per la desalinizzazione di acque salmastre

Il Convertitore di Energia Solare (S.E.C. - Solar Energy Converter) dovrà consentire la costruzione di impianti solari termici ad alta efficienza per le applicazioni di efficientamento energetico in agricoltura attraverso un utilizzo ambientalmente sostenibile di suolo agricolo. Le verifiche di resistenza meccanica sono state effettuate utilizzando il software Solid Edge nel dimensionamento non si è inoltre tenuto conto della resistenza a fatica trattandosi di mera progettazione di massima con esecutivi da officina il cui fine ultimo restano comunque le prestazioni energetiche e le efficienze di conversione dell'apparecchiatura che invece sono state calcolate teoricamente da studi di termodinamica fluidodinamica e dei fenomeni di trasporto (trasferimento di calore per conduzione convezione e irraggiamento) e verificate sperimentalmente. Le parti meccaniche con la sola esclusione di ralle e cuscinetti (attuatori) sono state realizzate da officine meccaniche di precisione. Alcuni circuiti elettrici sono stati progettati e realizzati in house mentre la scheda WEB-ADIO è stata selezionata tra quelle commercialmente disponibili cosi come la sensoristica (sonde di temperatura misuratori di portata etc) con la sola esclusione del sensore fotosensibile piramidale di alluminio

che individua la posizione del sole che è stato interamente progettato e realizzato in house. I componenti del circuito ad olio (pompe serbatoi dissipatore pipino etc) sono stati dimensionati e selezionati tra quelli commercialmente disponibili in funzione delle prestazioni e delle verifiche termofluidodinamiche. Il ricevitore che altro non è che uno scambiatore di calore ad energia solare e come tale una apparecchiatura di processo è stato interamente progettato sia con verifiche meccaniche che termofluidodinamiche e di processo ed successivamente realizzato su esecutivi da officina da aziende elettromeccaniche di precisione. Il collettore solare è stato progettato tenendo conto oltre che dei parametri di resistenza meccanica anche delle prestazioni ottiche di riflessione e rifrazione. Si è proceduto a far realizzare uno stampo da azienda leader nella lavorazione della plastica e i vari elementi (spicchi discretizzati) si sono dunque prodotti dallo stampo pre processo di termoformazione e successivamente sono stati specchiati da azienda leader nei processi di specchiatura di materiali polimerici. Infine il software gestionale che controlla il SEC e ne calcola i valori energetico prestazionali è stato interamente progettato e realizzato in house.

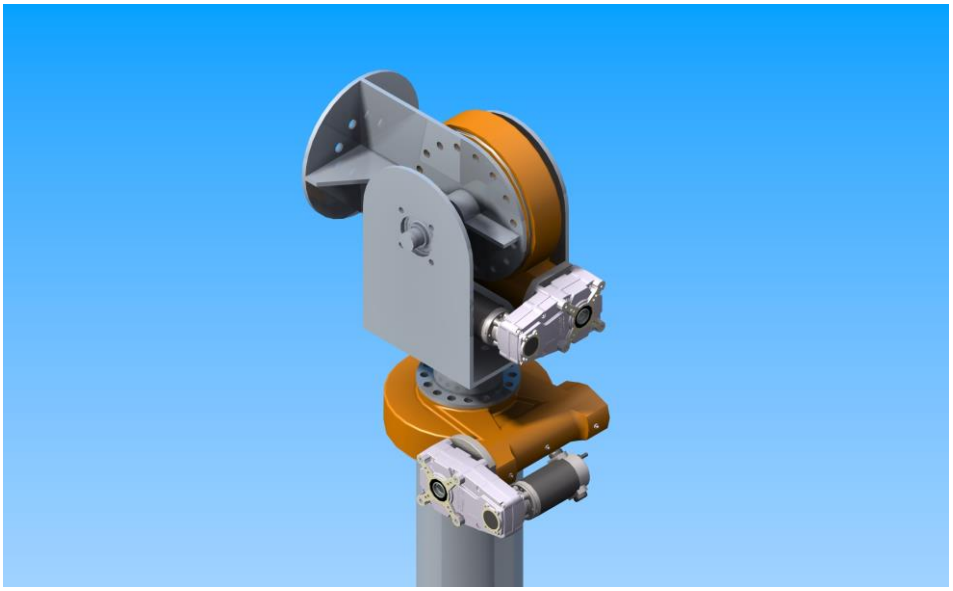


5.1 L'inseguitore Solare

L'inseguitore solare è quella parte del sistema che permette, mediante attuatori elettrici, di poter avere la componente diretta dei raggi solari sempre ortogonale al pianto di riferimento mobile. Questo è composto da una parte meccanica che fisicamente muove il collettore e il ricevitore compiendo delle traslazioni angolari nei due piani, da una parte elettronica che serve ad interfacciare il sistema all'unità logica e da una parte software che, mediante una serie di funzioni logiche, elaborando le variabili in ingresso, gestisce i due motori.

La parte meccanica (o struttura portante) del SEC è per lo più in l'acciaio. La stabilità al suolo viene garantita da una fondazione in calcestruzzo. All'interno della stessa vengono annegati dei tirafondi in acciaio necessari per l'ancoraggio delle parti metalliche. Il sistema è dotato di un circuito elettrico di rilevamento delle variabili esterne come ad esempio le componenti della radiazione e di un circuito elettrico di potenza per il controllo dei motori. I conduttori dei due circuiti si attestano su una scheda I/O (input-output) mediante una adeguata morsettiera. A sua volta, la scheda, collegata ad un computer, altera le posizioni dei contattori secondo una logica tale da mantenere il sistema allineato alla compente diretta.

Di seguito verranno trattati nello specifico tutte le parti principali:



5.1.1 Fondazioni

La base in cemento armato che permette di sostenere l'intera costruzione è stata progettata come segue:

Per calcolare la forza che il vento produce è stata utilizzata la formula del coefficiente di resistenza aerodinamica:

$$Cd = D / (½ \cdot d \cdot v^2 \cdot A)$$

Dove:

Cd = coefficiente di resistenza aerodinamica, adimensionale

D = resistenza aerodinamica [N]

d = densità del fluido in cui è immerso (aria) [kg/m3]

v = velocità (vento) [m/s]

A = superficie (della parabola) [m2]

Il coefficiente di resistenza aerodinamica (Cd) scelto, che varia con forma, e che mette in sicurezza il sistema è quello del semicerchio pari a 1.42. La densità d dell'aria utilizzata per i calcoli è quella alla temperatura di -10°C che rappresenta un valore estremo che ci mette in sicurezza.

$$d(-10°) = 1.342 \ (kg/m^3)$$

In base alle tabelle dei venti, la velocità massima considerata per il calcolo è 33 m/s, Infine, la superficie della nostra parabola è di circa 10 m², in quanto possiede un diametro di circa 357 cm.

Dal calcolo risulta quanto segue:

$$D = Cd \bullet ½ \bullet d \bullet v^2 \bullet A = 1{,}42 \bullet ½ \bullet 1.342 \bullet v^2 \bullet 10 \cong 10376 \ N$$

La forza che la base dovrà quindi contrastare è di circa 10.5 kN, corrispondente ad un momento di 21 kN·m poiché l'altezza del palo è circa 2 m.

Il momento ribaltante M_{res} viene valutato in funzione della forza peso P della fondazione e della forza esercitata

dal terreno circostante in cui è interrato il plinto. Le forze orizzontali che agiscono sul palo sono costituite unicamente dall'azione del vento precedentemente calcolata.

In particolare si dovrà ottenere la seguente disuguaglianza: $M_{rib} \leq M_{res}$

Per il calcolo si utilizza la seguente equazione:

$$Mres = (\gamma \bullet b \bullet c^3) + (P \bullet (a/2)) \geq Mrib$$

dove:

Mrib = momento rispetto al piano di appoggio determinato dall'azione del vento espresso in Nm;

Mres = momento rispetto al piano d'appoggio della forza peso del plinto sommata alla forza esercitata dal terreno, il tutto calcolato per il caso di fondazioni a blocco unico di forma parallelepipeda ed espresso in Nm;

γ = peso specifico del terreno espresso in N/m³ (1800 N/m³);

P = peso del blocco, della struttura che insiste su di esso e del terreno eventualmente contenuto nelle cavità del blocco stesso, espresso in N;

a = lato della base del blocco non intersecato dalla proiezione verticale della risultante di tutte le forze applicate al sostegno espresso in m;

b = lato della base del blocco intersecato dalla proiezione verticale della risultante di tutte le forze applicate al sostegno espresso in m;

c = profondità d'interramento del blocco espressa in m.

Dai calcoli risulta che:

$$Mres = 1800 \cdot 1{,}5 \cdot (2)^3 + 115268 \cdot (1{,}5/2) \cong 108 \text{ kNm}$$

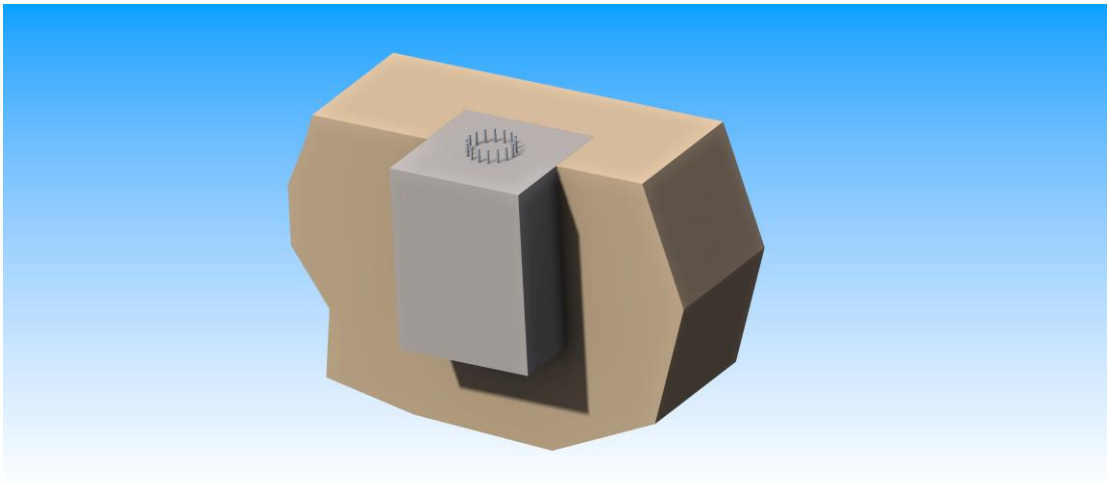
Dai calcoli sopra effettuati risulta evidente che

$$Mrib \leq Mres$$

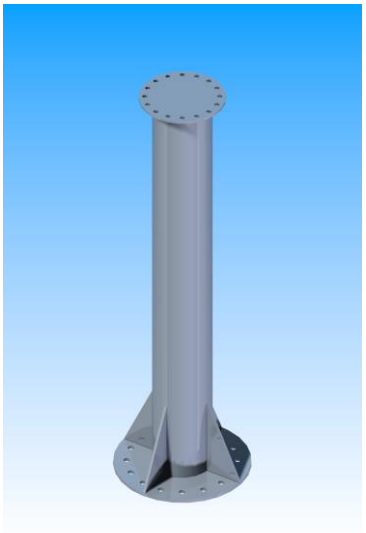
con un coefficiente di sicurezza pari a

$$Mres / Mrib = 5{,}2$$

da cui si deduce che il sistema è VERIFICATO



5.1.2 Il Sostegno



E' il sostegno principale che contrasta la sommatoria di tutte le forza che agiscono sul sistema. Questo è realizzato con un tubolare in acciaio di diametro 219,1 mm dello spessore di 10 mm. Sulle due estremità sono saldate due flange di ancoraggio una di diametro pari a 500 mm, sulla parte inferiore, e una di diametro pari a 316 mm sulla parte superiore. Entrambe dello spessore di 10 mm. Le due flange verranno fissate rispettivamente, alla fondazione quella inferiore mediante n° 16 perni M24, e alle altre parti della struttura quella superiore n° 16 perni M18 , in quella inferiore e M18 in quella superiore. La resistenza alle sollecitazioni della flangia inferiore è maggiorata mediante irrigidimento della struttura ottenuta mediante n° 4 vele di supporto con forma triangolare e spessore 10 mm. Per la valutazione meccanica del componente è stata applicato l'intero carico dovuto al vento con velocità di 33 m/s ovvero circa 10 kN. Di seguito si riportano le tabelle riassuntive.

Le proprietà della parte sono:

Massa	124,377 kg
Volume	15878603,398 mm³
Peso	1218895,584 mN

Le proprietà del materiale sono:

Nome materiale	Acciaio zincato
Densità della massa	7833,000 kg/m³
Modulo di Young	199947953,000 kPa
Coefficiente di Poisson	0,290
Conduttività termica	0,032 kW/m-C
Carico di snervamento	262000,766 kPa
Carico di rottura	358527,364 kPa

I carichi sono:

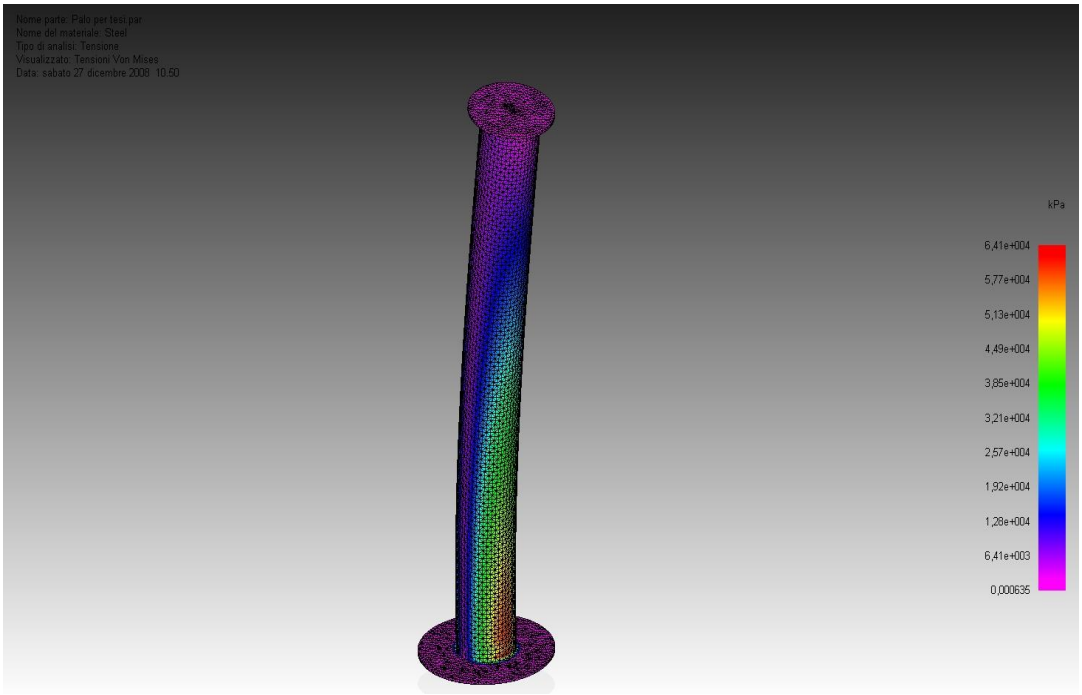
Nome insieme di carichi	Vento max
Tipo di carico	Forza
Valore del carico	10000 N

Il calcolo è stato svolto con le seguenti proprietà di studio:

Tipo di reticolo	Reticolo tetraedrale
Numero di elementi	44.693
Numero di nodi	89.679

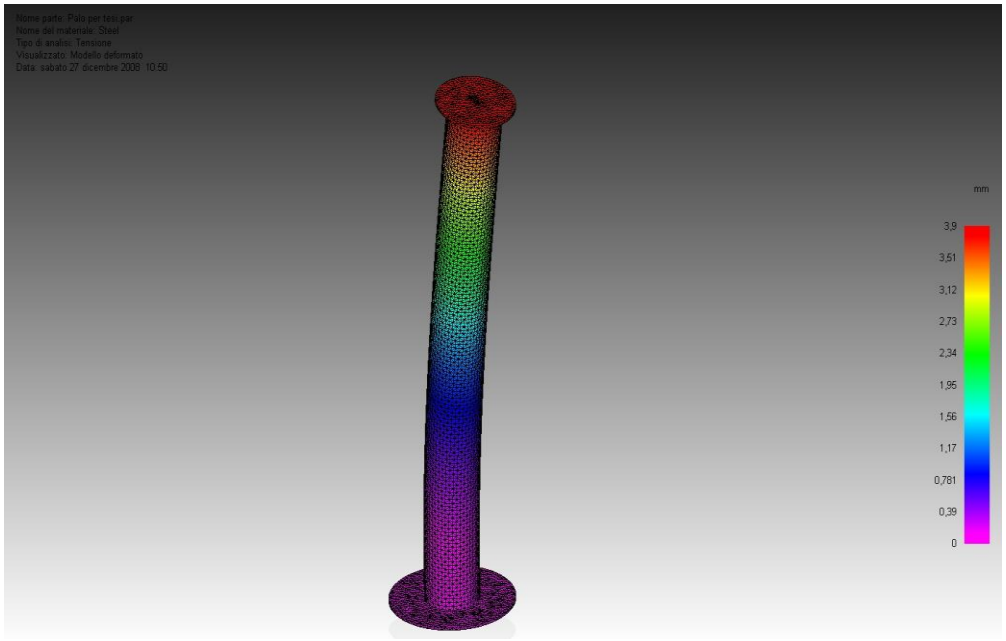
I risultati della tensione sono:

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Tensione di Von Mises	Minimo	6,353e-004 kPa	7,41 mm	-249,89 mm	10,00 mm
	Massimo	6,413e+004 kPa	108,48 mm	14,91 mm	24,71 mm



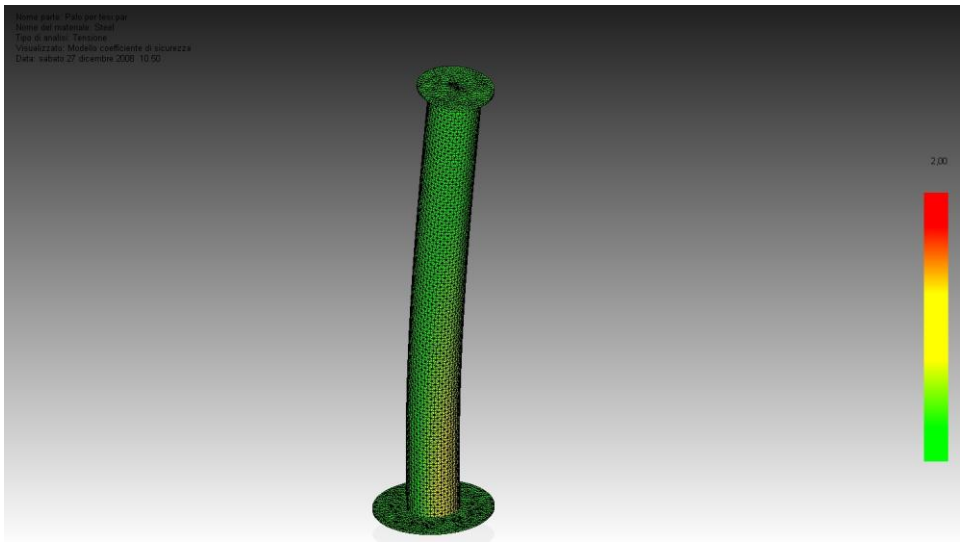
I risultati dello spostamento

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Spostamento risultante	Minimo	0,00e+000 mm	7,60 mm	-203,23 mm	0,00 mm
	Massimo	3,90e+000 mm	-158,00 mm	0,00 mm	2020,00 mm



Il coefficiente di sicurezza è:

Valore del coefficiente	≥2



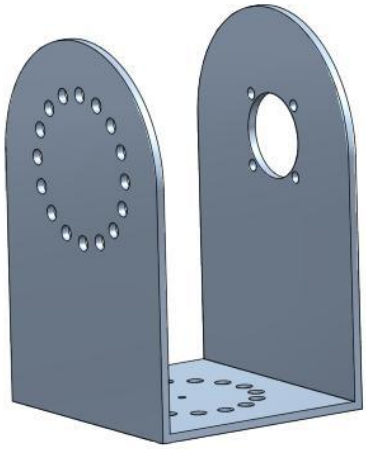
In conclusione, la sezione scelta, previo aggiunta delle quattro vele, supera la verifica.

5.1.3 Le piastre di collegamento

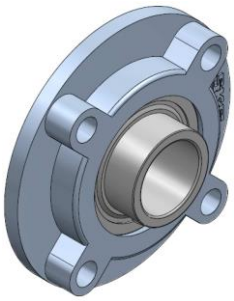
Le piastre di collegamento sono parte integrante del sistema di movimentazione e nella fattispecie sono i "pezzi speciali" che servono per collegare il collettore e le ralle alle parti fisse quali sostegno e fondazioni. Le piastre di collegamento previste sono:

Piastra_1 che serve per collegare, mediante la flangia di rialzo, la ralla con movimentazione sul piano orizzontale alla rimanente parte del sistema e la ralla che permette la movimentazione sul piano verticale alla piastra_2. Il materiale utilizzato è l'acciaio zincato a caldo. In uno dei due lati sono ricavati 16 fori che permetteranno il fissaggio della ralla Transtecno mediante l'utilizzo di n°16 perni M18. Sull'altra faccia è ricavata la sede di un cuscinetto flangiato della SKF che distribuirà, mediante l'impiego di un albero in acciaio con diametro 40 mm, i carichi dovuti alla sollecitazione del vento e al peso proprio, in maniera equilibrata su entrambe le facce

.



Il cuscinetto scelto è il SKF Cusc Y FYC_40_TF



Anche per questa valutazione meccanica è stato applicato l'intero carico dovuto al vento con velocità di 33 m/s ovvero circa 10 kN. Di seguito consuete tabelle riassuntive.

Le proprietà della parte sono:

Nome parte	PIASTRA 1
Massa	24,566 kg
Volume	3136271,684 mm³
Peso	240750,878 mN

Le proprietà del materiale sono:

Nome materiale	Acciaio zincato
Densità della massa	7833,000 kg/m³
Modulo di Young	199947953,000 kPa
Coefficiente di Poisson	0,290
Conduttività termica	0,032 kW/m-C
Carico di snervamento	262000,766 kPa
Carico di rottura	358527,364 kPa

I carichi sono:

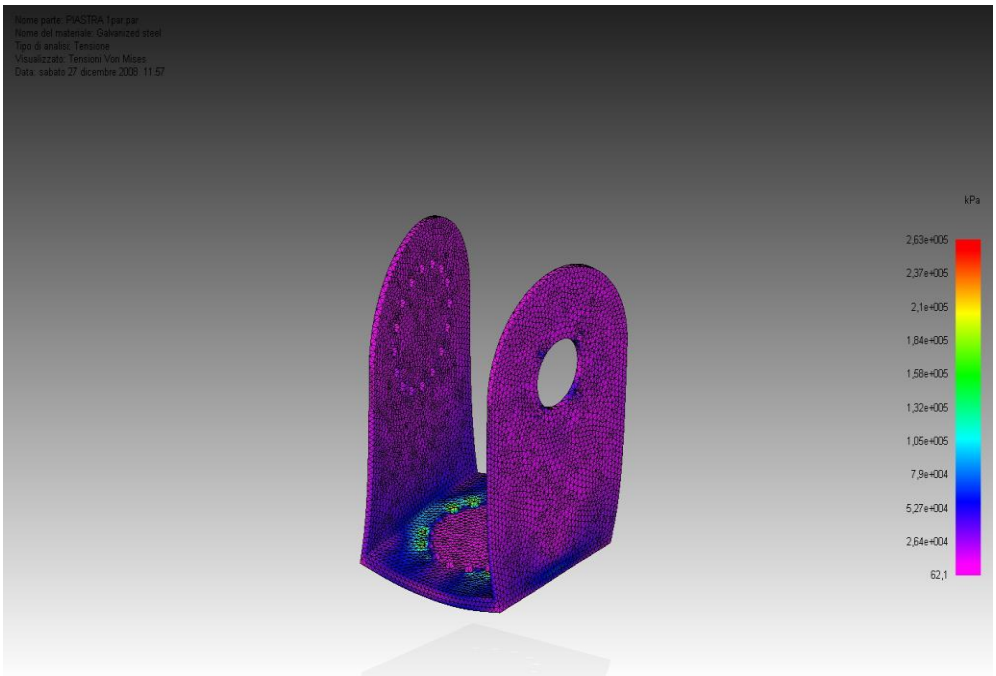
Nome insieme di carichi	Vento max
Tipo di carico	Forza
Numero degli elementi di carico	2
Valore del carico	10000 N

Il calcolo è stato svolto con le seguenti proprietà di studio:

Tipo di reticolo	Reticolo tetraedrale
Numero di elementi	33.489
Numero di nodi	67.651

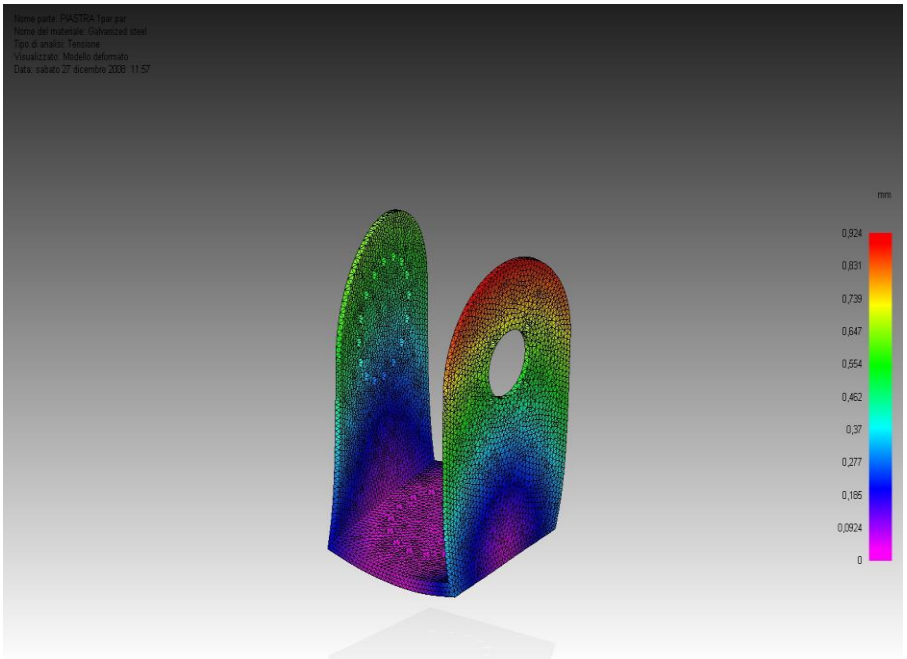
I risultati della tensione sono:

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Tensione di Von Mises	Minimo	6,212e+001 kPa	207,39 mm	160,75 mm	0,00 mm
	Massimo	2,630e+005 kPa	303,38 mm	201,03 mm	0,00 mm



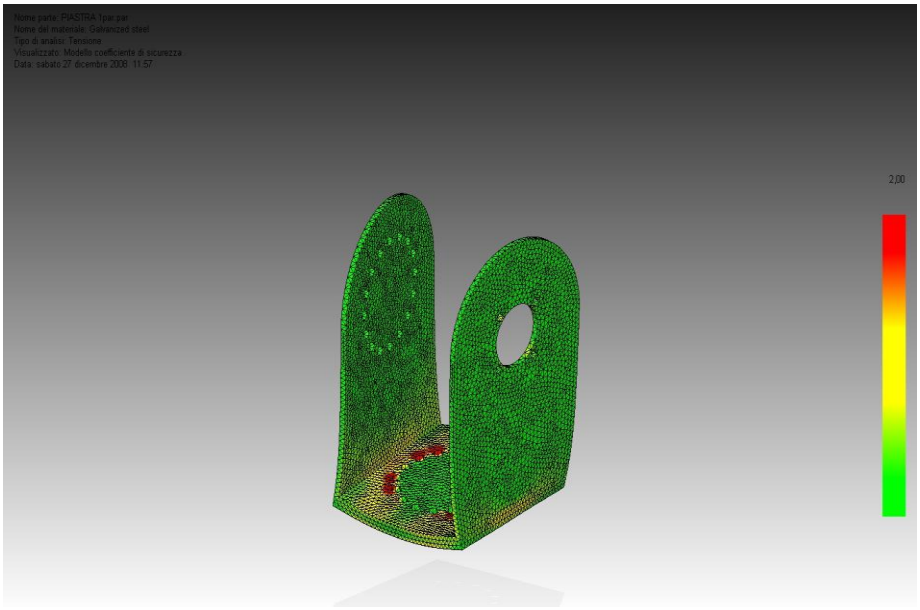
I risultati dello spostamento sono:

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Spostamento risultante	Minimo	0,00e+000 mm	189,06 mm	86,70 mm	20,00 mm
	Massimo	9,24e-001 mm	353,00 mm	161,00 mm	450,00 mm



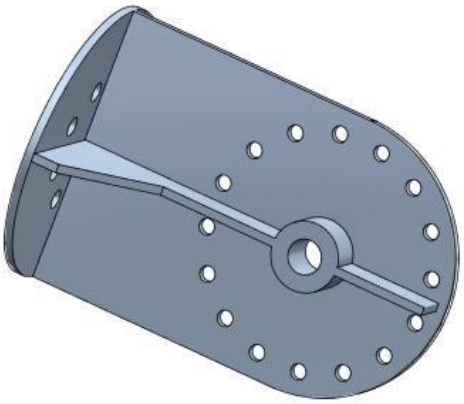
Il coefficiente di sicurezza è:

Valore del coefficiente	≥2



Le geometrie, quindi le sezioni, della piastra_1 superano la verifica.

Piastra_2 che serve per collegare il collettore alla ralla che permette la movimentazione sul piano verticale al sistema. Per una migliore distribuzione dei carichi, sulla parte sinistra della piastra_2 è realizzata la sede per un albero in acciaio che mediante un cuscinetto flangiato evita oscillazioni in caso di vento che potrebbero sollecitare i componenti in maniera disordinata.



Le proprietà della parte sono:

Nome parte	PIASTRA 2.par
Massa	19,732 kg
Volume	2519059,282 mm³
Peso	193371,555 mN

Le proprietà del materiale sono:

Nome materiale	Acciaio zincato
Densità della massa	7833,000 kg/m³
Modulo di Young	199947953,000 kPa
Coefficiente di Poisson	0,290
Conduttività termica	0,032 kW/m-C
Carico di snervamento	262000,766 kPa
Carico di rottura	358527,364 kPa

I carichi sono:

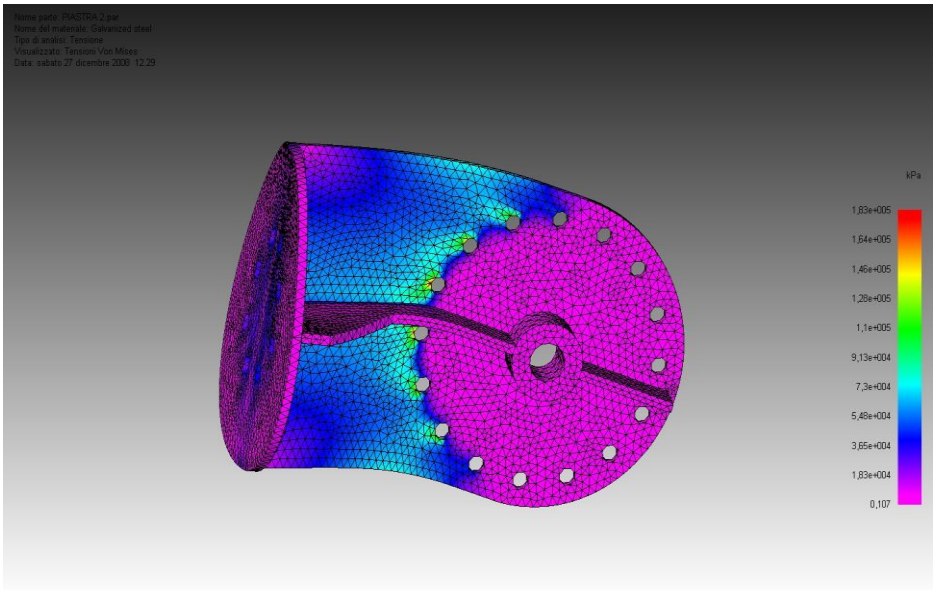
Nome insieme di carichi	Carico 1
Tipo di carico	Forza
Numero degli elementi di carico	8
Valore del carico	10000 N

Il calcolo è stato svolto con le seguenti proprietà di studio:

Tipo di reticolo	Reticolo tetraedrale
Numero di elementi	20.985
Numero di nodi	42.939

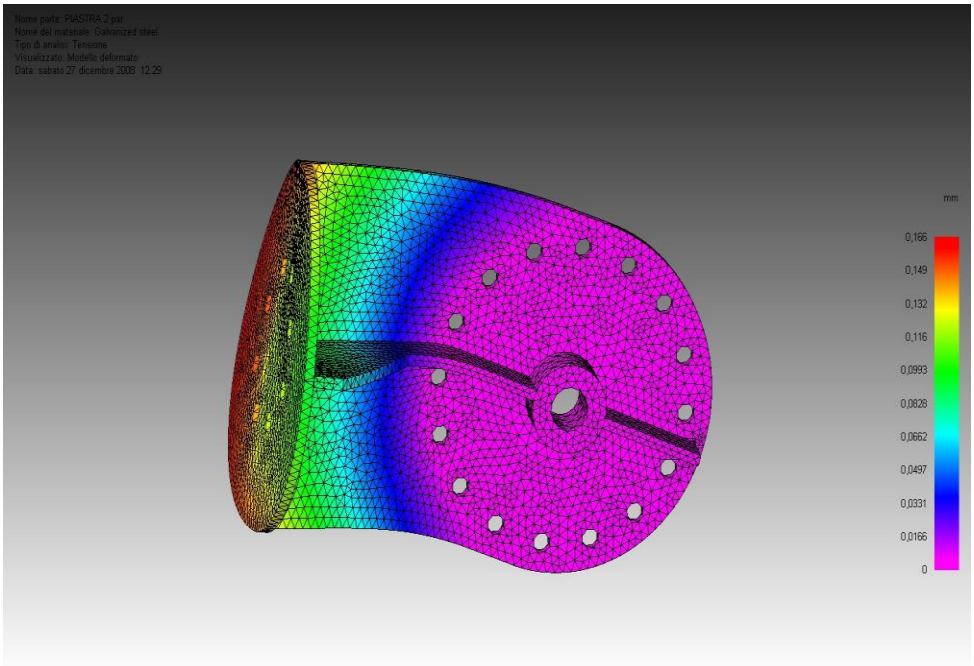
I risultati della tensione

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Tensione di Von Mises	Minimo	1,070e-001 kPa	0,00 mm	156,00 mm	12,27 mm
	Massimo	1,825e+005 kPa	-45,00 mm	187,34 mm	302,73 mm



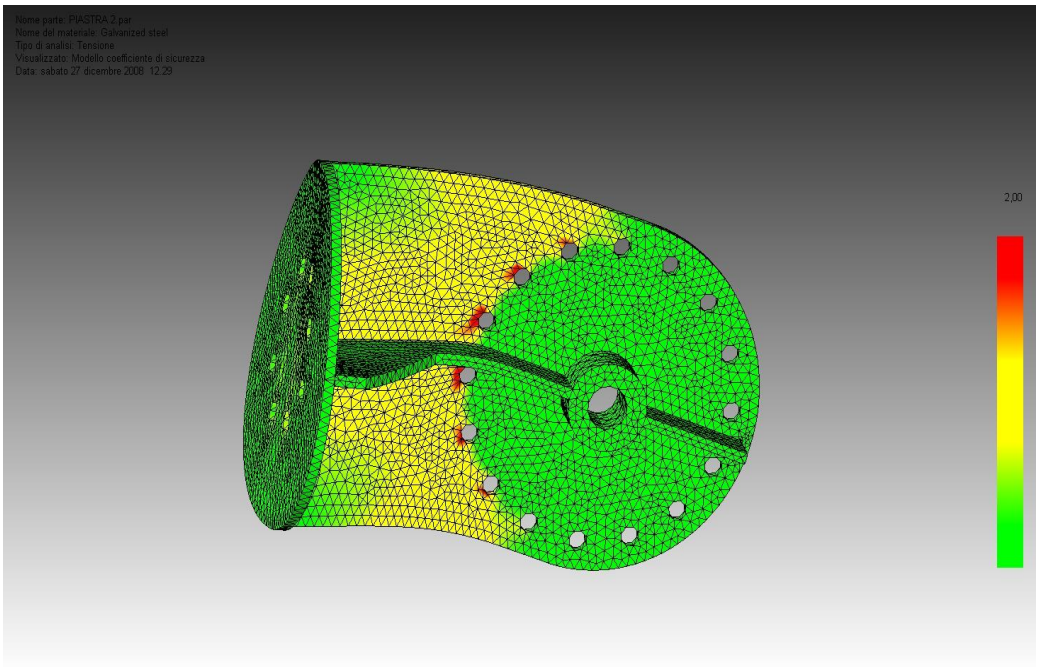
Risultati dello spostamento

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Spostamento risultante	Minimo	0,00e+000 mm	-45,00 mm	48,75 mm	76,83 mm
	Massimo	1,66e-001 mm	-211,00 mm	161,00 mm	471,00 mm



Coefficiente di sicurezza

Valore del coefficiente di sicurezza	≥2

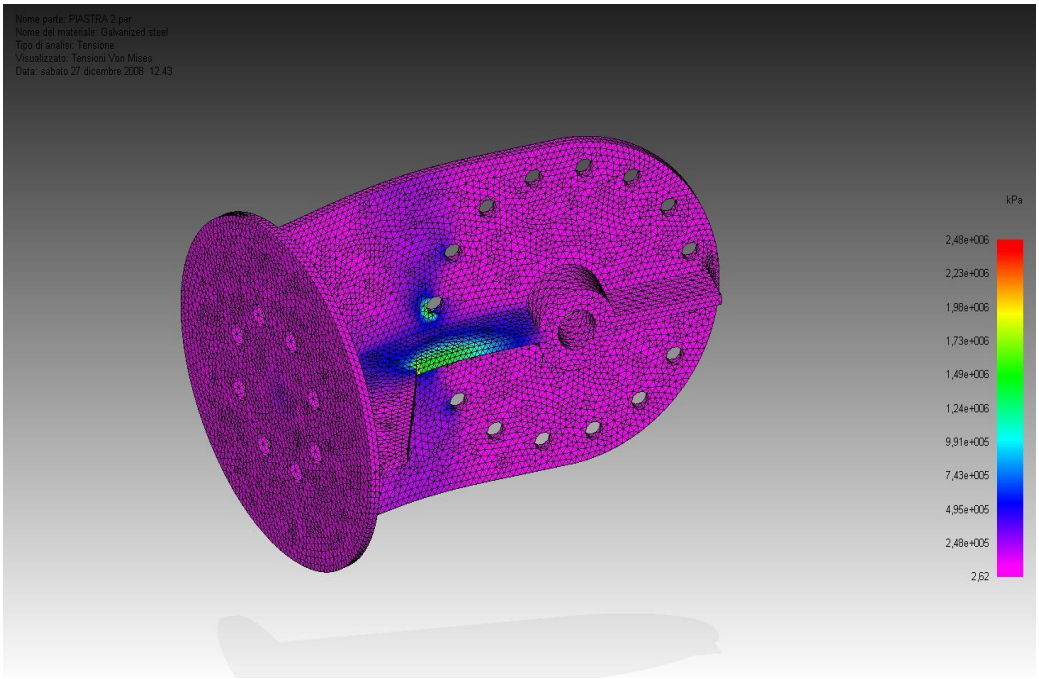


Per la piastra_2 è stato valutato il comportamento anche per la componente trasversale che risulta presente in caso di vento laterale. Nonostante questa componente sia nettamente minore poiché la superficie equivalente in questo caso è circa 1/6 di quella totale, che si ha con la componente frontale, abbiamo utilizzato per le verifiche il valore massimo di circa 10 kN.

Di seguito le relative tabelle:

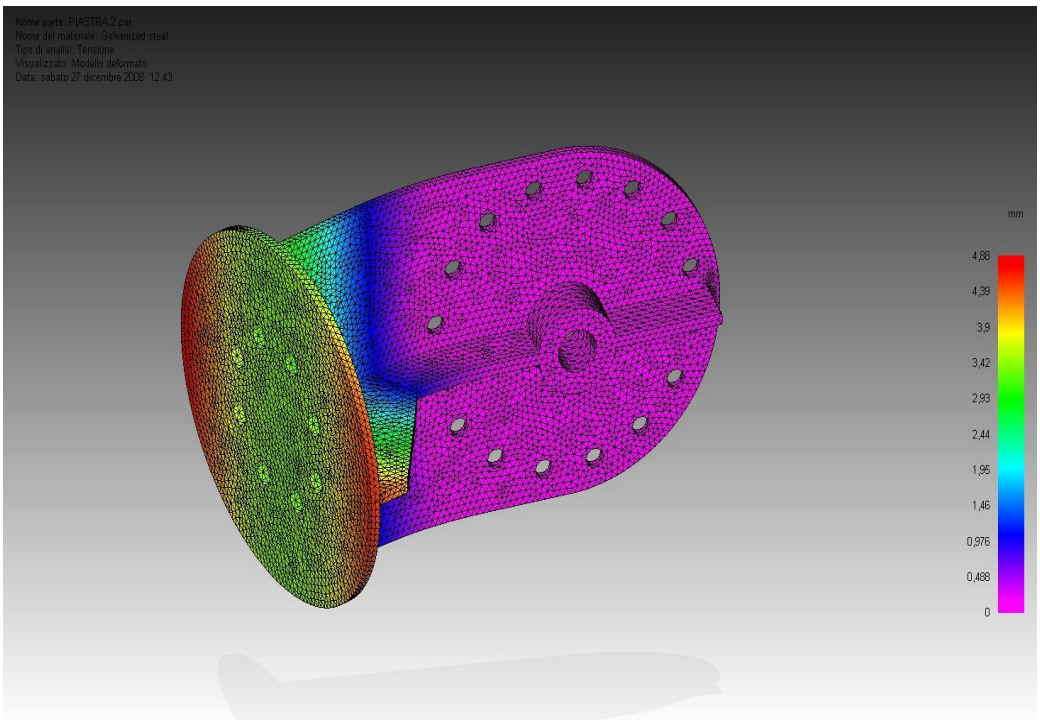
Risultati della tensione

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Tensione di Von Mises	Minimo	2,623e+000 kPa	0,00 mm	156,37 mm	11,37 mm
	Massimo	2,477e+006 kPa	-55,00 mm	140,10 mm	300,97 mm



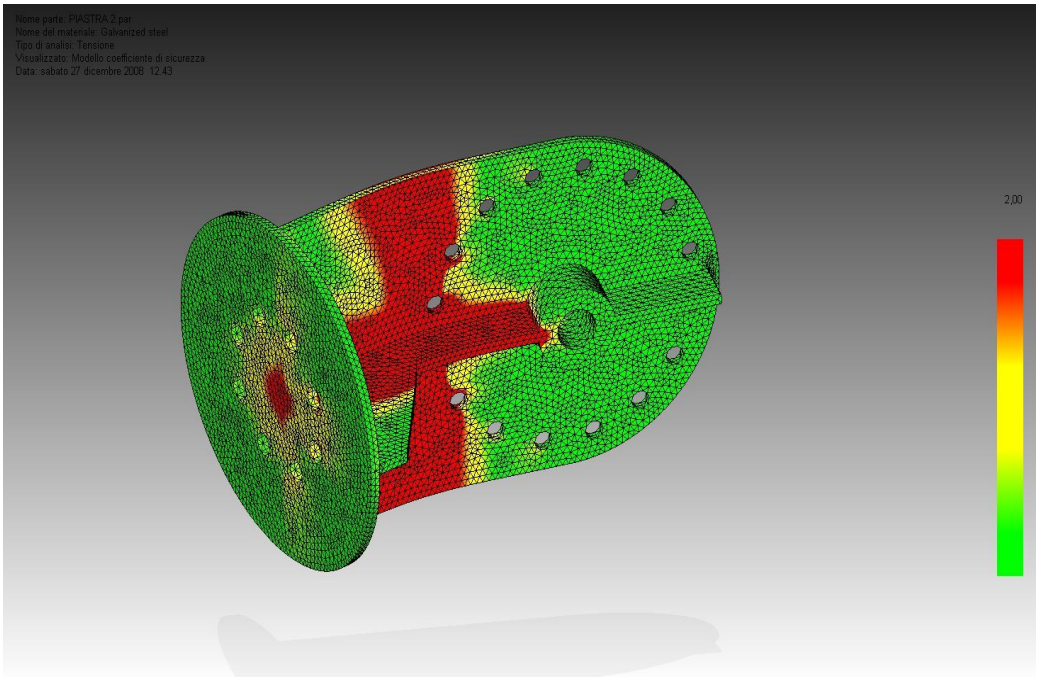
Risultati dello spostamento

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Spostamento risultante	Minimo	0,00e+000 mm	-6,11 mm	154,82 mm	142,06 mm
	Massimo	4,88e+000 mm	-211,00 mm	161,00 mm	471,00 mm



Coefficiente di sicurezza

Valore del coefficiente di sicurezza	≥2



Anche le geometrie della piastra_2 superano la verifica.

Flangia di rialzo che serve per collegare la ralla che permette la movimentazione sul piano orizzontale alla rimanente parte del sistema. Il materiale utilizzato è l'acciaio zincato a caldo. In entrambi i lati sono ricavati 16 fori che permetteranno il fissaggio della ralla Transtecno e della piastra_1 mediante l'utilizzo di n°16 perni M18. Di seguito si riportano le tabelle:

Le proprietà della parte sono:

Nome parte	Rialzo ralla incl.par
Massa	7,942 kg
Volume	1013875,569 mm³
Peso	77828,536 mN

Le proprietà del materiale sono:

Nome materiale	Galvanized steel
Densità della massa	7833,000 kg/m³
Modulo di Young	199947953,000 kPa
Coefficiente di Poisson	0,290
Conduttività termica	0,032 kW/m-C
Carico di snervamento	262000,766 kPa
Carico di rottura	358527,364 kPa

I carichi sono:

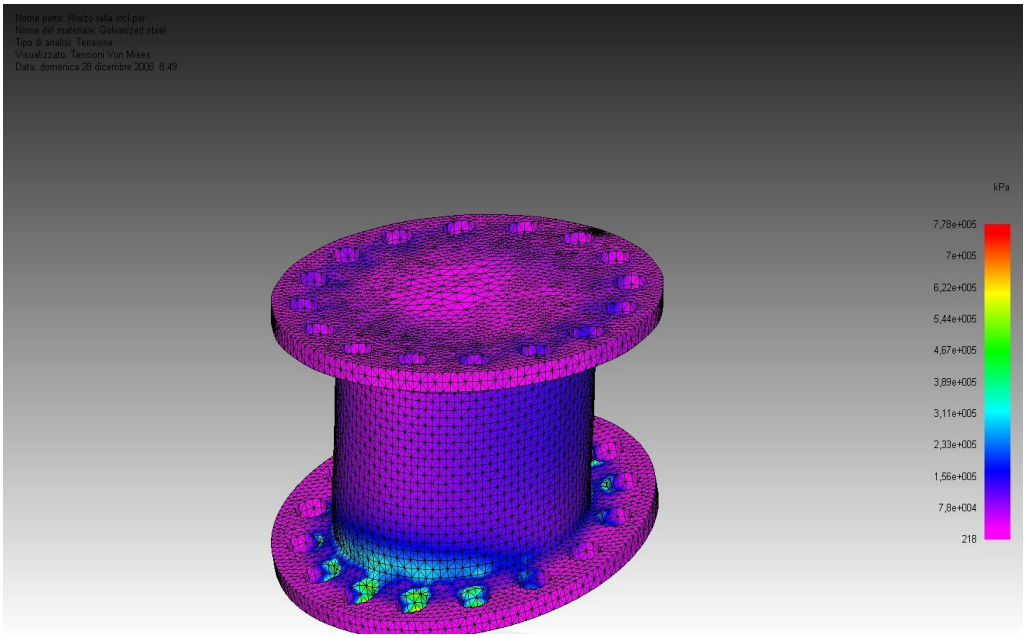
Nome insieme di carichi	Carico 1
Tipo di carico	Forza
Numero degli elementi di carico	16
Valore del carico	10000 N

Il calcolo è stato svolto con le seguenti proprietà di studio:

Tipo di reticolo	Reticolo tetraedrale
Numero di elementi	50.051
Numero di nodi	96.531
Tipo di solutore	Nastran

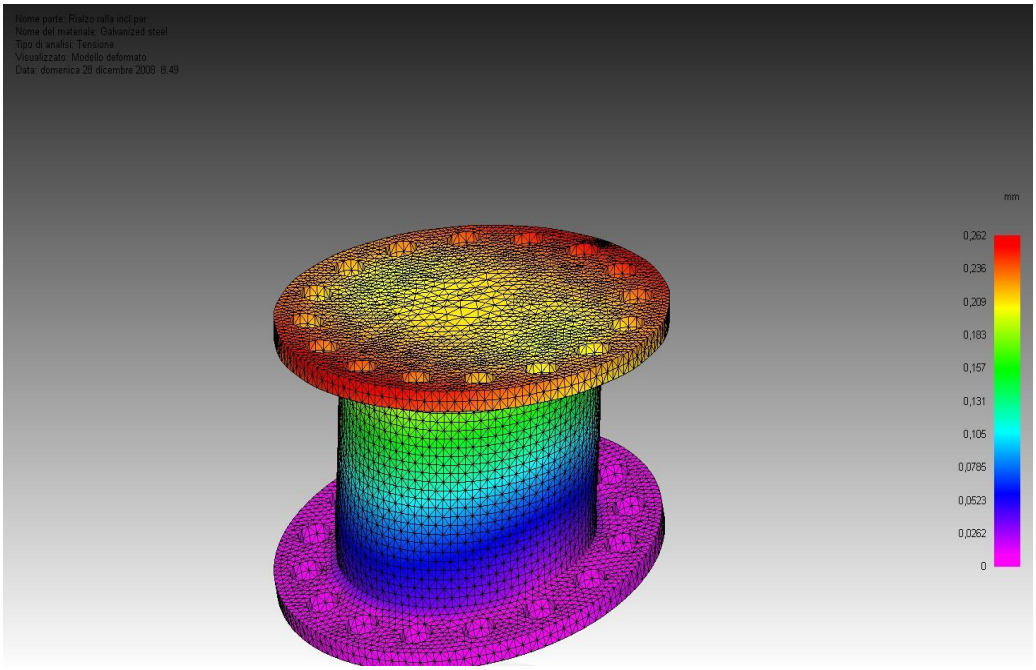
I risultati della tensione sono:

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Tensione di Von Mises	Minimo	2,177e+002 kPa	118,00 mm	161,00 mm	0,00 mm
	Massimo	7,777e+005 kPa	220,94 mm	239,48 mm	0,00 mm



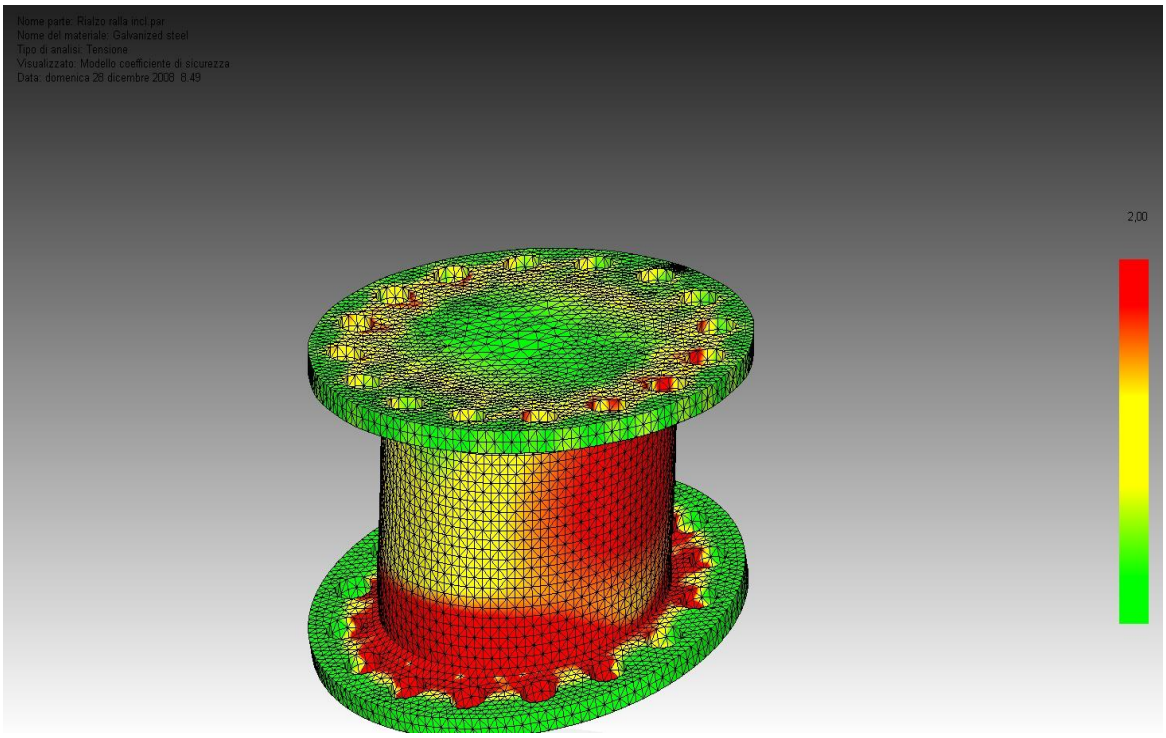
I risultati dello spostamento sono:

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Spostamento risultante	Minimo	0,00e+000 mm	195,28 mm	249,07 mm	5,00 mm
	Massimo	2,62e-001 mm	223,00 mm	266,00 mm	120,00 mm



Il coefficiente di sicurezza è:

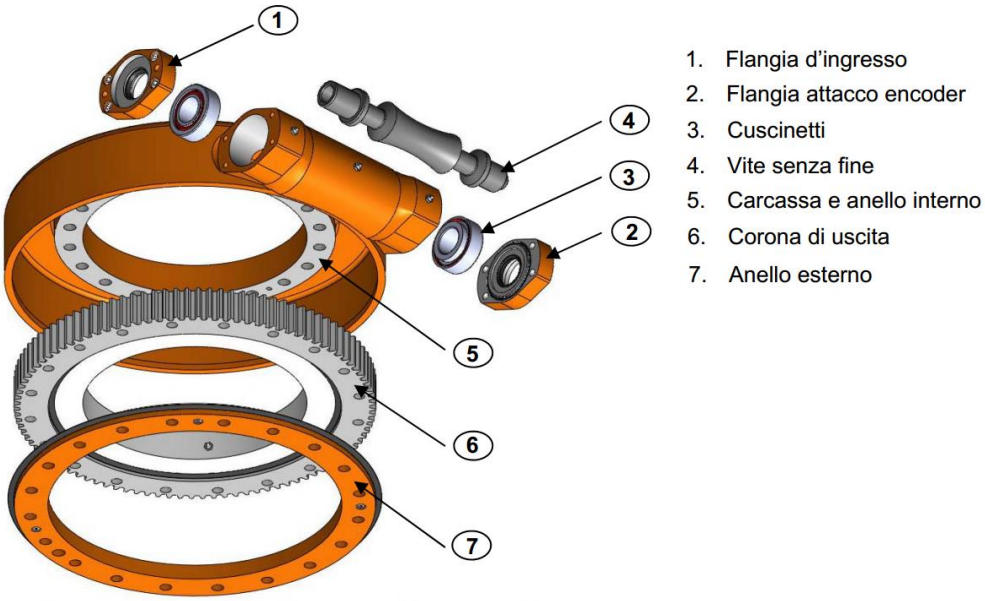
Valore del coefficiente	≥2



5.1.4 Gli attuatori

Gli attuatori sono di tipo elettrico a corrente continua. Questi si compongono di tre principali parti: Un motore CC, un riduttore epicicloidale e un riduttore a vite senza fine. Per snellire il sistema evitando l'utilizzo di altri componenti, il riduttore secondario è stato scelto tra quelli appositamente progettati per un istallazione su parti meccaniche rotanti ovvero, si sono utilizzate delle ralle all'interno delle quali, mediante l'utilizzo di un ingranaggio a vite senza fine, viene generato un rapporto di riduzione.

In particolare, vengono utilizzate due ralle Transtecno (cosi si chiama la società che le costruisce) per generare le due movimentazioni, una sul piano orizzontalmente e una sul piano verticale. Tali componenti hanno le seguenti caratteristiche fisiche descrittive che vengono, per l'appunto, fornite dalla casa costruttrice.



NB: Per poter variare la dimensione del collettore (descritto in seguito) abbiamo optato per ralle con caratteristiche fisiche sovradimensionate .

Le ralle in questione sono le ST9-61-25H-R della Transtecno che hanno i seguenti valori caratteristici:

1.Rapporto: 61

2.Coppia nominale: 6,5 kNm

3.Coppia massima: 7,0 kNm

4.Coppia di stallo: 38,7 kNm

5.Momento ribaltante: 33,8 kNm

6.Carico assiale din: 81 kN

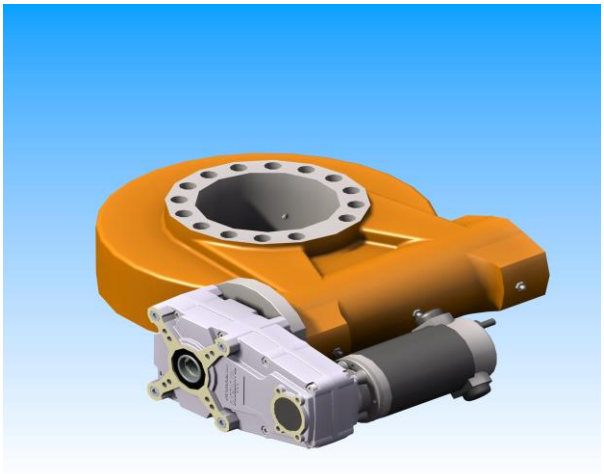
7.Carico radiale din: 71 kN

8.Carico assiale stat: 338 kN

9. Carico radiale stat: 135 kN

10. Rendimento: 40 %

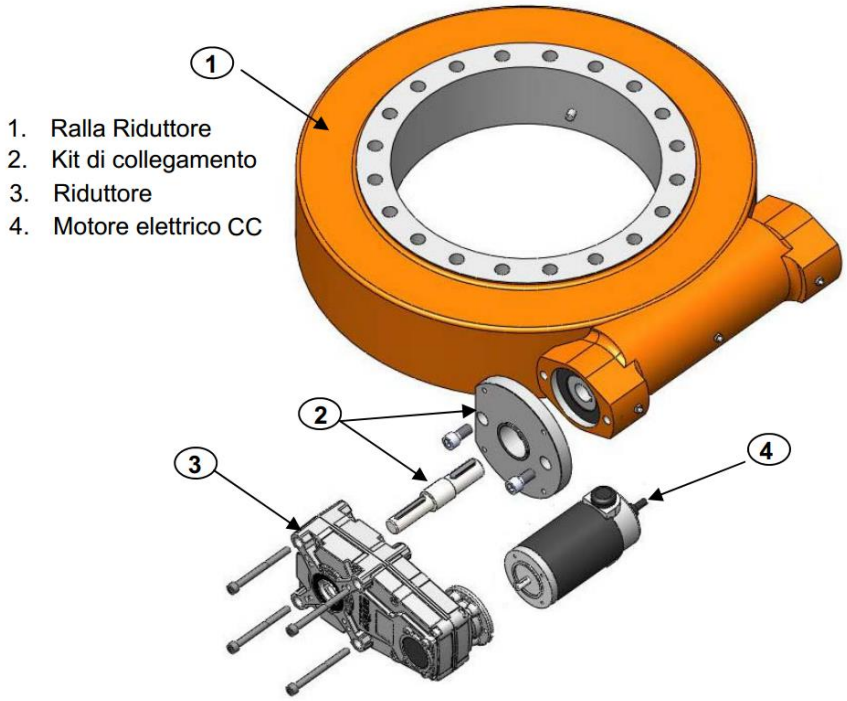
11. Gioco angolare ≤ 0.17°



Come può essere facilmente verificato, tali valori sono nettamente maggiori di quelli resistenti.

Successivamente, in cascata alle due ralle, sono stati accoppiati due riduttori epicicloidali tipo FT146 con rapporto di riduzione 397,38. Gli ingranaggi epicicloidali

hanno la caratteristica di permettere elevati rapporti di riduzioni con sforzi minime sulle parti meccaniche grazie all'angolazione realizzata nei denti delle ruote che lo compongono. Infine, in entrambe le ralle, sono installati due motori in corrente continua da 24 V.



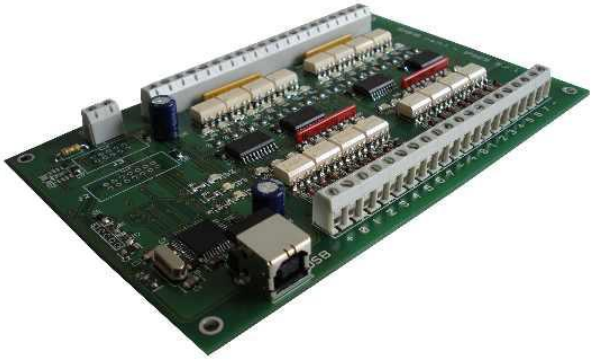
La velocità all'albero veloce dei motori è di 3000 rpm. Con in cascata le due riduzioni, una da 61 e una 397,38 si ha complessivamente una riduzione di 24240,18 volte che ci permette di avere una velocità di rotazione all'albero lento pari circa 0,12 rpm ovvero 0,72 ° secondo.

Avendo il sole una velocità di 15° gradi/ora, quindi 0,25° gradi/minuto , stimata una tolleranza sul ricevitore(descritto in seguito) di 1° (quindi ogni qual volta che il sole si sposta di un grado deve riposizionarsi), i motori entrano in funzione ogni 4 minuti lavorando solo per circa 1,2 secondi.

5.1.5 I circuiti elettrici

Sono divisi in due famiglie. I circuiti elettrici di potenza che trasportano l'energia elettrica necessaria per azionare i motori e i circuiti elettrici di controllo che trasportano le informazioni sotto forma disegnali di tensione e/o corrente.

Il cuore del circuito di controllo è rappresentato dalla scheda I/O ed in particolare dalla scheda WEB-ADIO di produzione della IPSES. Questa scheda, in formato European Card 160 X 100 mm, è in grado di acquisire e controllare sia segnali digitali che analogici. L'interfaccia possiede otto ingressi e otto uscite analogiche, e otto ingressi e otto uscite digitali. Quest'ultimi sono isolati galvanicamente tra loro e dal resto della scheda mentre l'interfaccia analogica ha una risoluzione di 10 bit e un range di tensione 0–10V.



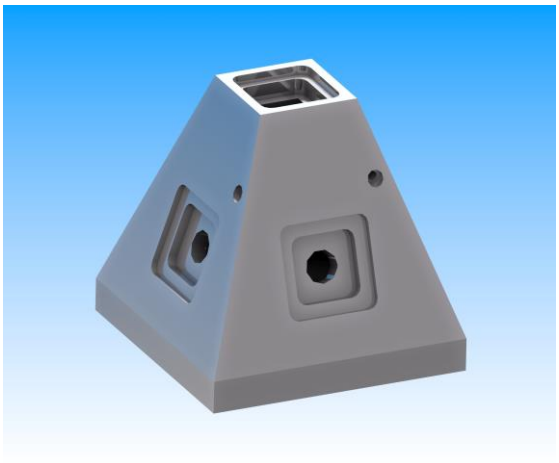
Nel nostro caso utilizziamo: sei ingressi analogici per il monitoraggio della radiazione solare, due ingressi analogici per il monitoraggio delle temperature del ricevitore e dell'olio che circola al suo interno, quattro ingressi digitali per i finecorsa delle ralle, un ingresso digitale per l'allarme anomalia circuito olio(se ne parlerà in seguito), un ingresso digitale per l'allarme anemometro, un ingresso digitale per l'allarme assenza rete, un ingresso digitale per il blocco manuale.

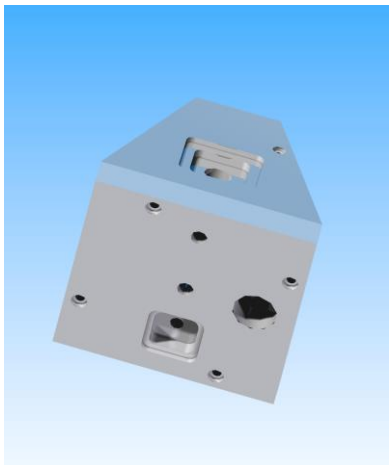
Per quando riguarda le uscite, utilizziamo solo le digitali ed in particolare utilizziamo due uscite per il controllo ralla est-ovest marcia avanti e marcia indietro; due uscite per il controllo ralla nord-sud marcia avanti e marcia indietro, un uscita per il blocco generale, un uscita per il circuito di raffreddamento d'emergenza; un uscita per l'allarme acustico e visivo di marcia; un uscita per lo stato di corretto funzionamento.

La comunicazione con la scheda avviene, nel nostro caso, tramite interfaccia Ethernet. La scheda è inoltre dotata di una memoria non volatile su cui è stato memorizzato lo stato di ogni singola uscita all'accensione a zero.

I sei ingressi analogici utilizzati per il monitoraggio della radiazione solare provengono da una seconda scheda di interfaccia. Questa , realizzata in house in laboratorio, serve per interfacciare a sua volta, la WEB-ADIO con il sensore fotosensibile. Questo sensore è stato interamente progettato e la struttura portante piramidale fatta realizzare con

esecutivi da officina in alluminio da azienda meccanica di precisione. Ha una forma piramidale con delle sedi ricavate sulle quattro facciate, una sulla parte anteriore e una sulla parte posteriore.



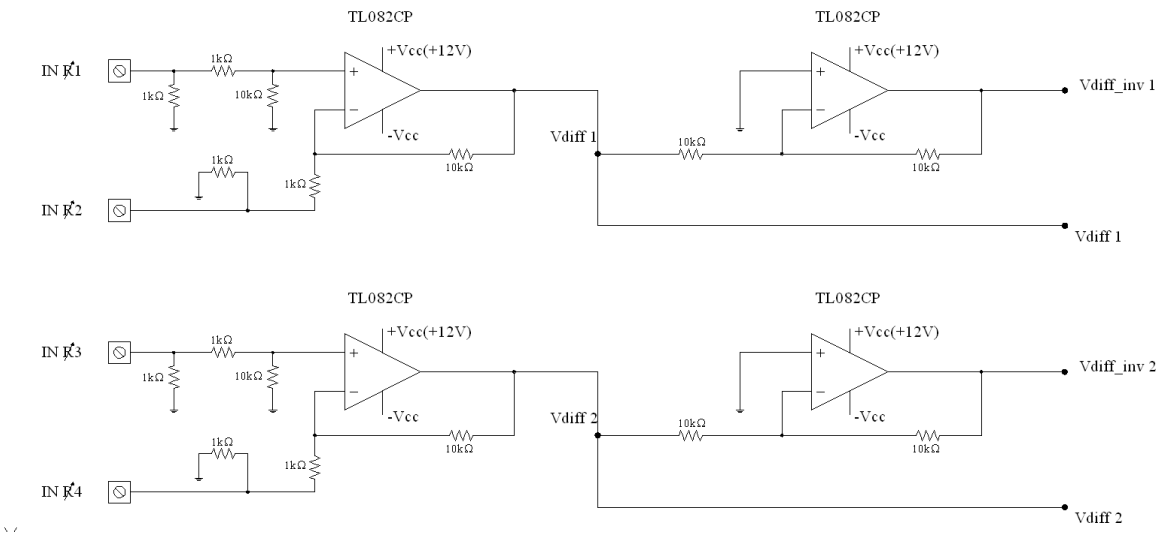


I componenti che di fatto rilevano le radiazioni solari sono le sei fotoresistenze collocate nelle rispettive sedi. Questi componenti hanno la peculiarità di variare il proprio valore di resistenza al variare della luce incidente. Cosi facendo, mediante l'utilizzo di amplificatori operazionali in modalità differenziale, e invertente, aventi in ingresso due tensioni di valore V1 e V2, variabili in funzione del valore di resistenza dato dalle fotoresistenze collegate in serie, viene restituito in uscita il valore di tensione differenza tra le due, che oscilla intorno allo zero. Quando la piramide punta esattamente il sole, la luce incide perpendicolarmente sulla sommità del tronco e la radiazione si distribuisce in maniera omogenea sulle superfici laterali. Questo effetto produce uguali valori sulle fotoresistenze e quindi uguali valori di tensione agli ingressi degli amplificatori operazionali che in modalità differenziale restituiscono un valore intorno allo zero. Ovviamente, per gestire la movimentazione nei due assi, avremo due valori di tensione che saranno rispettivamente generati: dall'operazionale 1 con l'ausilio delle fotoresistenze est e ovest e dall'operazionale 2 con l'ausilio delle fotoresistenze nord Sud.

Facendo riferimento agli ingressi analogici della scheda I/O aventi range 0 – 10V è stato necessario inserire i due operazionali invertenti in modo da avere sempre valori positivi. Nella fattispecie, anziché avere un ingresso che oscilla tra 10 e -10 avremo due ingressi con valori che vanno da 0 a 10V. Uno dei due ingressi sarà rappresentativo del

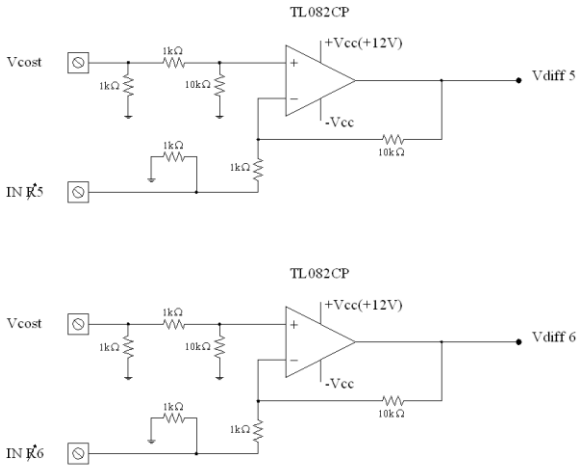
"disallineamento" verso est e uno verso ovest. Stessa cosa dicasi per la rilevazione della posizione verticale.

Di seguito, il circuito utilizzato per svolgere questo compito:



A completamento della rilevazione del livello luminoso vi sono altre due fotoresistenze, una collocata nella parte anteriore e una nella parte posteriore. Queste restituiscono rispettivamente due valori di tensione proporzionali al valore d'intensità luminosa, che servono come ausilio per determinare la cessazione momentanea dell'inseguimento in caso di bassa radiazione e/o (soprattutto nel caso del sensore posteriore) per segnalare un eventuale posizione anomala con il sole alle spalle.

Anche in questo caso, per aumentare la sensibilità del foto resistore è stato utilizzato un amplificatore operazionale in modalità differenziale con una delle due tensioni d'ingresso constante.



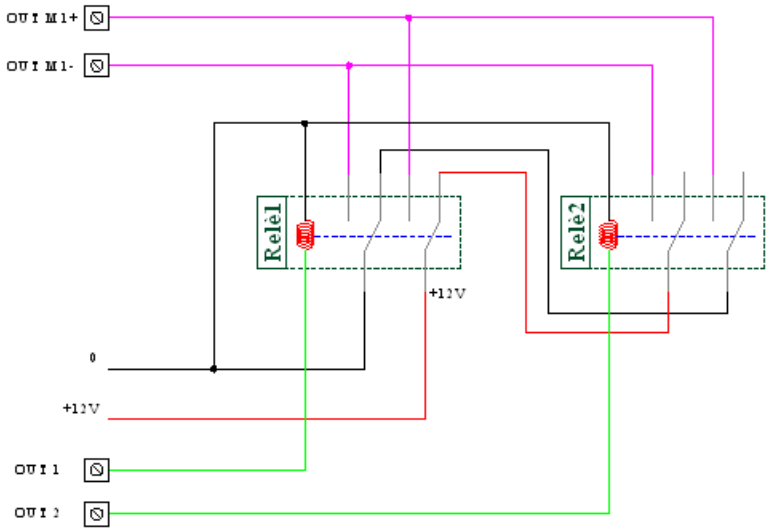
Cosi facendo abbiamo complessivamente ottenuto i sei ingressi con range 0-10V che indicano proporzionalmente: IN1 = posizione del sistema decentrato verso est; IN2 = posizione del sistema decentrato verso ovest; IN3 = posizione del sistema decentrato verso il basso; IN4 = posizione del sistema decentrato verso l'alto; IN5 = radiazione più o meno alta nella parte frontale del sistema; IN6 = radiazione più o meno alta nella parte posteriore del sistema;

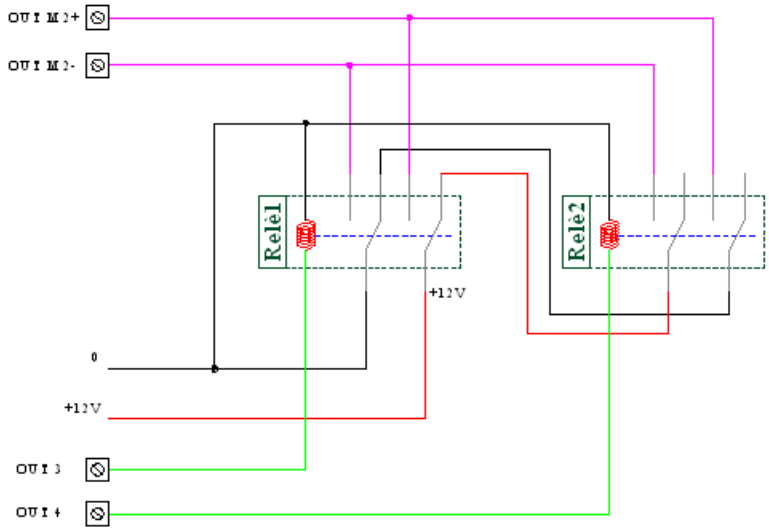
Per quanto invece riguarda i due ingressi analogici che rilevano le temperature, si ha un valore di tensione con range 0-10V proporzionale ai due valori proveniente dalle termocoppie installate in appositi alloggi.

Infine, gli ingressi digitali, che rilevano lo stato alto-basso proveniente dai sensori con funzione swithc, si sono utilizzati, per i quattro finecorsa dei contatti magnetici del tipo cilindrico installati in apposite sedi. mentre per gli allarmi, anemometrici e di temperatura, il valore di tensione si ha solo dopo il superamento della soglia minima.

Per quanto riguarda la gestione della marcia dei motori, è stata realizzata una scheda relè apposita nella quale le uscite digitali vengono collegate alle rispettive bobine dei relè. I valori di tensione e corrente massima delle uscite digitali, necessari per determinare l'impedenza di bobina, sono 10 V e 150 mA .

Di seguito lo schema elettrico:





Come si può verificare, per eliminare il rischio di corto circuito, i relè di marcia indietro hanno il polo comune collegato all'uscita NC(normalmente chiusa) del primo relè. Cosi facendo, se per sbaglio venissero eccitate le bobine di entrambi i relè del comando di uno dei due motori, uno dei due verrebbe automaticamente disalimentato. Le rimanenti uscite digitali, non avendo problemi elettrici di inversione polare, sono collegate direttamente al contatto della bobina del corrispettivo relè che, una volta eccitato, chiudendo il contatto azione il dispositivo ad esso collegato.

5.1.6 Il software

Il software che si occupa del controllo del SEC è realizzato con il LabVIEW . Il nome nasce dall'abbreviazione di Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench ed in particolare, si tratta di un ambiente di sviluppo integrato per il linguaggio di programmazione visuale di National Instruments. Tale linguaggio grafico viene chiamato Linguaggio G.

Originalmente, nel 1986, fu realizzato per Apple Macintosh , ma successivamente trovò maggiore utilizzo nell'acquisizione e analisi dati, controllo di processi, generazione di rapporti, o più generalmente per tutto ciò che concerne l'automazione industriale su diverse piattaforme.

Il linguaggio di programmazione che si utilizza in LabVIEW è del tipo grafico. Infatti G-Language sta per Graphic Language. Un programma G, denominato VI (Virtual Instrument), non esiste sotto forma di testo, ma può essere salvato solo come un file binario, visualizzabile e compilabile solo da LabVIEW. La definizione degli algoritmi avviene solo con icone e altri oggetti grafici.

Ognuna di queste icone contiene funzioni diverse e quando vengono unite da linee di collegamento (wire) prendono le sembianze di una sorta di diagramma di flusso. A tal proposito, questo linguaggio, viene anche definito dataflow (flusso di dati) in quanto la sequenza di esecuzione è definita e rappresentata dal flusso dei dati stessi attraverso i fili monodirezionali.

Nell'ambiente di sviluppo, i VI constano di tre componenti principali:

1. il pannello frontale
2. lo schema a blocchi
3. il riquadro connettori

Il pannello frontale è l'interfaccia utente del VI che si realizza con controlli e indicatori. Questi costituiscono i terminali interattivi d'ingresso e d'uscita. I controlli sono matrici, manopole, potenziometri, pulsanti, quadranti e molti altri che simulano i dispositivi d'ingresso degli strumenti e forniscono dati allo schema a blocchi del VI. Gli indicatori sono invece grafici, tabelle, LED, termometri e molti altri che simulano i dispositivi d'uscita degli strumenti e visualizzano i dati che lo schema a blocchi acquisisce o genera.

Lo schema a blocchi è il vero diagramma di flusso che rappresenta il codice sorgente in formato grafico. In questo, gli oggetti del pannello frontale appaiono come terminali di ingresso o uscita.

Gli oggetti in esso contenuto comprendono:

- terminali
- funzioni
- costanti
- strutture chiamate ad altri VI (subVI)
- fili di collegamento
- commenti testuali

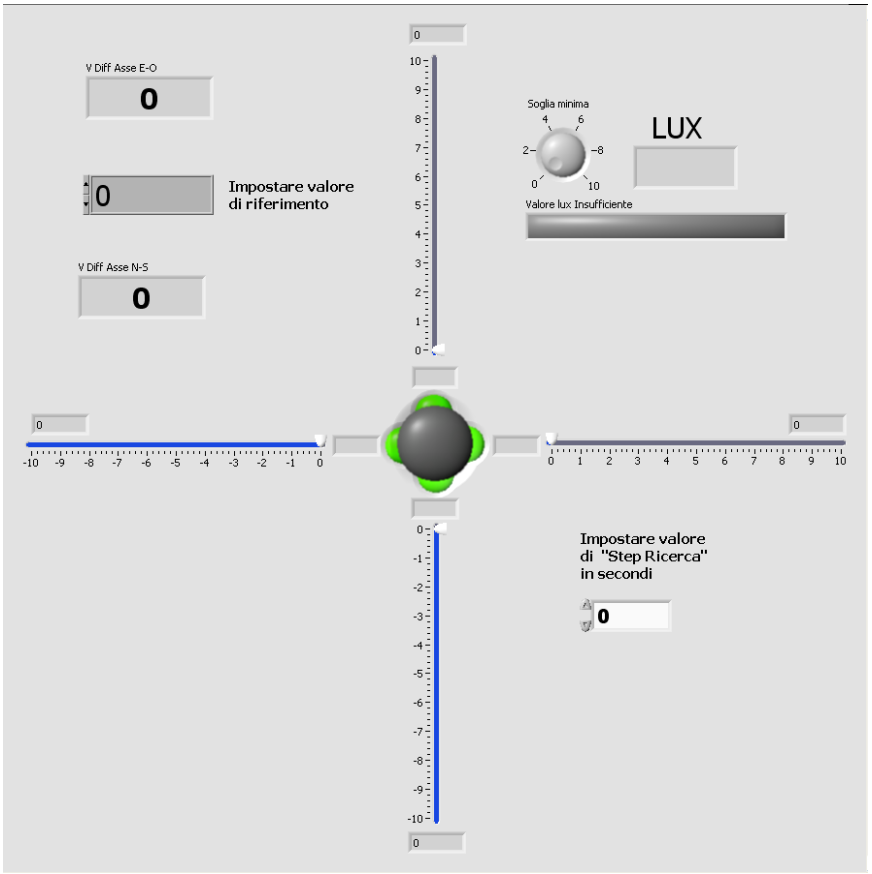
Anche le funzioni sono chiamate "VI", ma non hanno un loro pannello frontale e un loro schema a blocchi.

Come nei cicli dei linguaggi di programmazione classica, anche le "VI", possono avere un numero indefinito di ingressi e di uscite, con la sola differenza che vengono rappresentati da contenitori di forma quadrata, e che il ciclo è realizzato ripetendo N volte la porzione di schema a blocchi che si trova al suo interno.

I wire possono trasportare teoricamente qualunque mole e/o tipo di dati, anche del tipo bundle ovvero definiti dal programmatore. Il colore e lo spessore del filo cambiano a seconda della tipologia di dati che lo attraversa.

Ogni "VI" può essere a sua volta utilizzato come subVI (o sottoVI) e comparire all'interno dello schema a blocchi di altri "VI", proprio come una qualsiasi funzione, e come tale può avere ingressi e uscite a cui collegare le linee di flusso. Il riquadro connettori serve appunto a definire qual è l'aspetto del "VI" quando appare come subVI in uno schema a blocchi: che facciata ha l'icona, ma soprattutto come e dove vanno collegate le linee per permettere il passaggio dei dati.

A partire dai "VI" si possono anche creare eseguibili a sé stanti e librerie condivise (DLL), perché LabVIEW è un vero compilatore a 32 bit. Per usare tali eseguibili e DLL non occorre un'installazione di LabVIEW, ma è necessario che sul computer di destinazione sia installato almeno il run-time engine di LabVIEW, peraltro distribuito gratuitamente.



Il software di gestione del SEC è realizzato con unico schema a blocchi. Il suo scopo è quello di verificare che il paraboloide sia sempre allineato con la componente diretta della radiazione solare.

Le operazioni che si ripeto in più cicli annidati, appartengono sostanzialmente a tre famiglie. Le operazioni di rilevamento variabili di ingresso, le operazioni di calcolo dati, le operazioni di restituzione variabili in uscita.

I cicli utilizzati nel SECS sono lopp while. Questi ripetono le operazioni in essi contenute fino a quando la variabile di controllo cambia stato.

Nel nostro caso ci sono sette cicli while annidati ma sei di essi compiono un ciclo unico trasferendo le informazione al successivo. Dei sei cicli , cinque sono necessari per aprire e leggere l'n-simo ingresso mentre l'ultimo contiene i circuiti logici necessari per le comparazioni delle variabili d'ingresso e per la restituzione delle variabili in uscita.

Il SECS (Solar Energy Converter Software), necessita un settaggio iniziale dei seguenti parametri:

1. Valore minimo di tensione d'equilibrio che indica l'avvenuto allineamento;

2. Valore di step ricerca che rappresenta il periodo di fermo che inizia quando si allinea il sistema e finisce con una nuova ricerca;
3. Valore minimo di radiazione solare sotto il quale non si desidera effettuare ricerca e conseguente allineamento.

Un'altra operazione di settaggio molto importante è rappresentata dal centraggio fuoco. Nella fase di start-up, o dopo un periodo di funzionamento più o meno lungo, viste le molteplici tolleranze sia delle parti meccaniche che dei rilevatori elettronici, possono nascere piccoli errori di parallasse. La conseguenza di questi errori è un decentramento del fuoco sul ricevitore. Per ovviare al problema, sul pannello frontale, è stato realizzato un controllo a cursori mobili, uno orizzontale e uno verticale, con i quali è possibile correggere elettronicamente i valori della tensione differenziale e quindi, la determinazione di un nuovo centro.

I sub-VI di gestione della scheda WEB-ADIO che vengono forniti dalla Ipses insieme alla scheda, utilizzati nel SECS sono i seguenti:

1.

Sub.VI open session necessario a stabilire una connessione con la scheda;
2.

Sub.VI close session necessario per chiudere una connessione con la scheda;
3.

Sub.VI Get.An Imput necessario leggere il valore dell'ingresso analogico n-simo;
4.

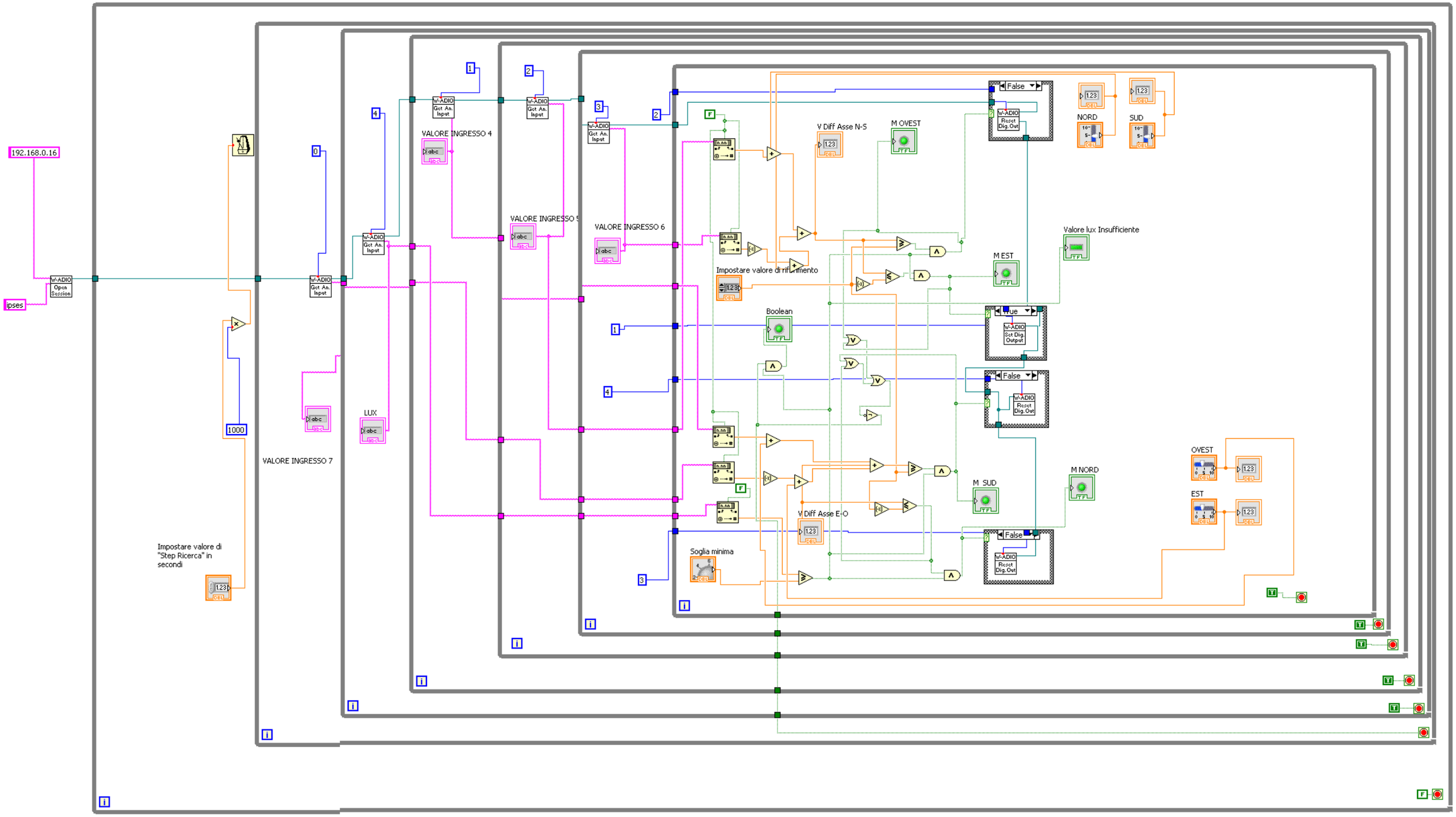
Sub.VI Get.Dig Imput necessario leggere il valore dell'ingresso digitale n-simo;
5.

Sub.VI Set.Dig.Output necessario per portare a 1 lo stato logico dell'uscita digitale n-sima ;
6.

Sub.VI Reset Dig.Out necessario per portare a 0 lo stato logico dell'uscita digitale n-sima

Di seguito si riporta lo schema a blocchi:

SCHEMA A BLOCCHI SECS – SOLAR ENERGY CONVERTER SOFTWARE



È' chiaro che oltre ai Sub VI della ipses sono stati utilizzati vari controlli e funzioni contenute nel database del labview.

Il funzionamento del software è molto semplice; avviato il software, che contiene in memoria l'indirizzo IP della scheda, viene stabilita una connessione ethernet. Subito dopo, in sequenza, vengono lette tutte le variabili d'ingresso. Le prime fanno riferimento alle tensioni di riferimento per la movimentazione, le seconde(in ordine cronologico) sono gli allarmi per bassa radiazione, elevata temperatura etc.

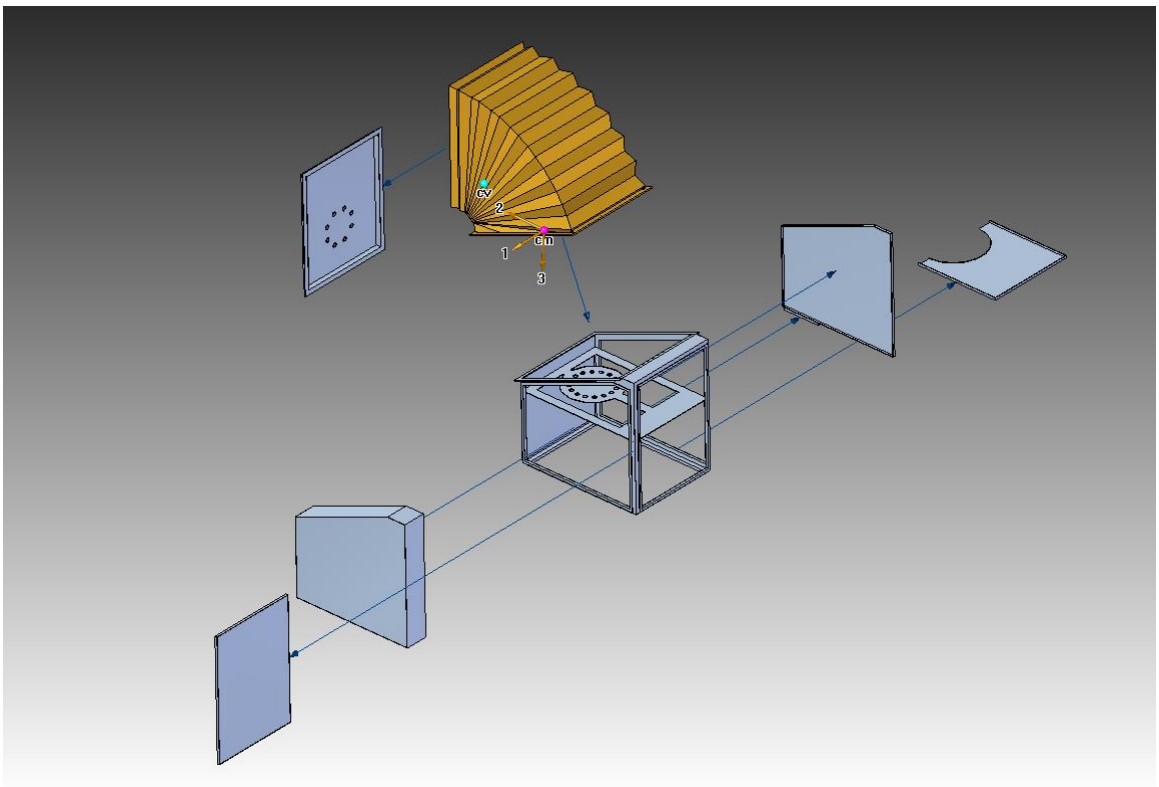
Se gli ingressi allarme sono allo stato logico zero, il flusso dati accede all'ultimo ciclo dove vengono comparati i valori analogici precedentemente letti, e, mediante un circuito con porte logiche, vengono attivate le Sub.VI Set.Dig.Output in modo da attivare l'uscita interessata. Nell'iterazione n-sima, successiva all'n-sima – 1, il ciclo partirà solo quando l'ingresso logico inviato dalla funzione tempo di step, andrà a zero.

5.1.7 Il guscio protettivo

Per la protezione del SEC è stato progettato e fatto realizzare da officine specializzate un guscio in lamiera zincata a caldo. La struttura portante dello stesso è fissata ad una delle due ralle mediante i perni di ancoraggio di una delle due piastre principali dell'inseguitore.

La parte mobile, viene protetta mediante l'utilizzo di un soffietto a fisarmonica che varia la propria lunghezza in base alla posizione.

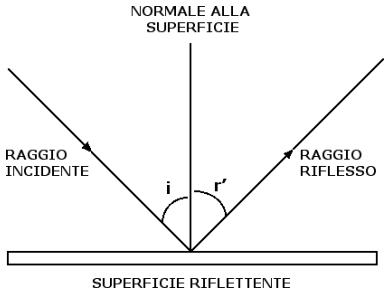
Di seguito un esploso del guscio:

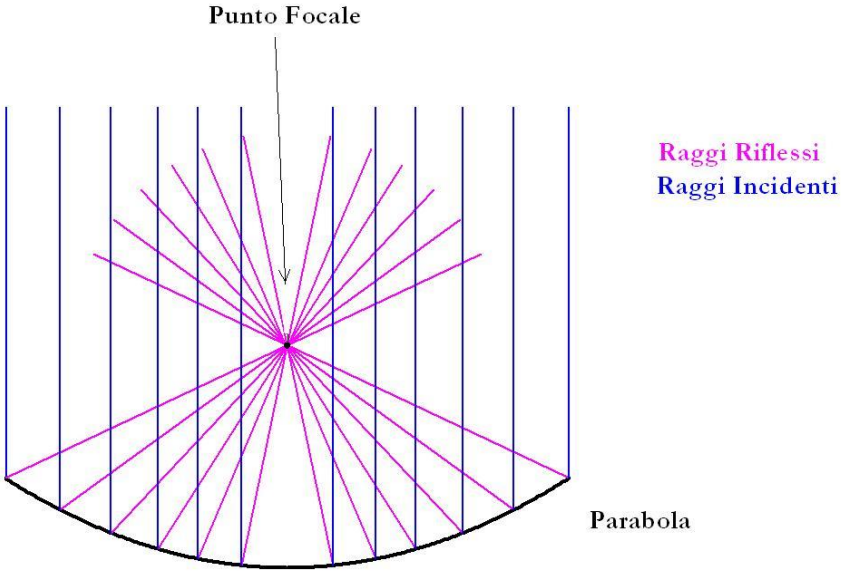


5.2 Il collettore

Il collettore: è uno dei componenti principali del sistema. Serve di fatto per concentrare le radiazioni solari nel punto focale (in seguito ricevitore) ed ha una sezione parabolica.
I leggi della fisica che vengono utilizzate sono quelle relative alla riflessione. In particolare un raggio luminoso, colpendo una superficie riflettente determina un raggio per l'appunto riflesso seguendo la seguente regola:

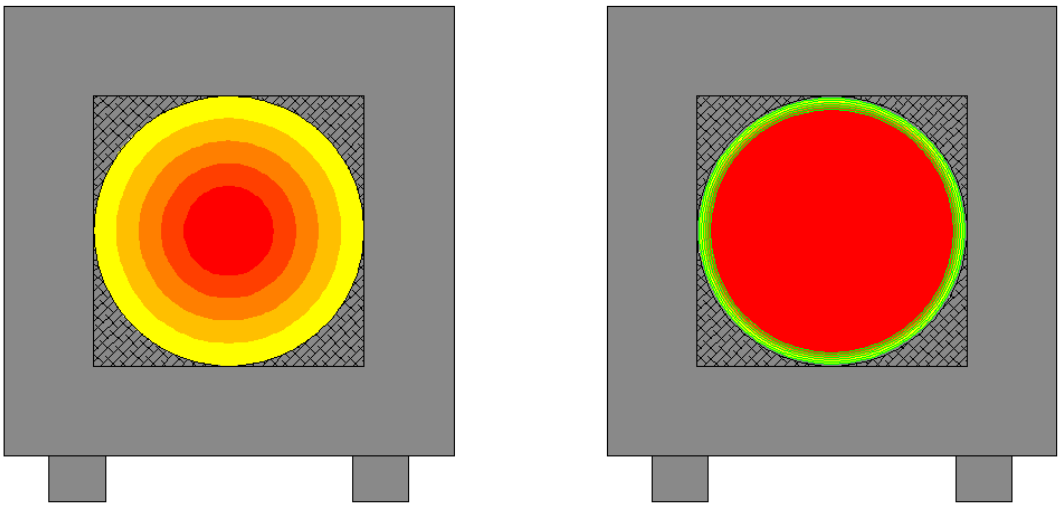
Indicando con i = angolo formato dal raggio incidente con la normale e r' = angolo formato dal raggio riflesso con la normale si ha che ì=r'. Se consideriamo una superficie di tipo parabolico e i raggi incidenti ortogonali alla proiezione della parabola sull'asse delle ascisse avremo che tutti i raggi riflessi s'incontreranno in un punto detto fuoco.





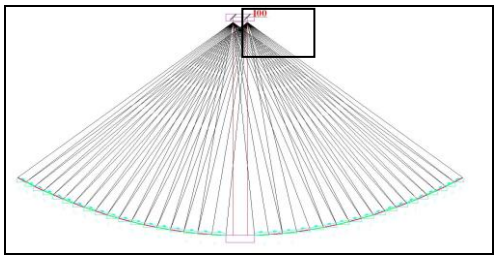
Uno dei problemi di questo semplice processo fisico è "l'aberrazione ottica" dovuta alla non perfetta corrispondenza del profilo parabolico realizzato alla equazione matematica del corrispondente paraboloide.. Questo fenomeno si manifesta con la formazione di un punto focale " disturbato " dalla non perfetta convergenza di tutti i raggi in un unico

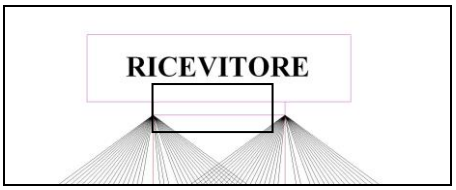
punto (fuoco) ma piuttosto in una zona o meglio superficie di convergenza. Cio' implica una non isotropa distribuzione della radiazione in sulla superficie del ricevitore in conseguenza della quale nascono zone calde maggiormente irradiate. La conseguenza di tale effetto è l'alterazione degli scambi termici che nei peggiori casi e per grandi superfici o per superficie anche modeste ma con bassa conducibilità termica, può generare surriscaldamenti puntuali. Nel SEC questo fenomeno è stato moderato utilizzando come superficie del collettore parabolico (curva continua) una superficie discretizzata in una serie di anelli di tronco di cono concentrici ma con raggi via via decrescenti. Il risultato è lo stesso della discretizzazione di una circonferenza con un poligono iscritto di n lati. In questo modo è stata realizzata una superficie parabolica formata tronchi di cono concentrici. Sulla superficie del ricevitore arriverà un fascio distribuito con intensità proporzionale a quella incidente sul tronco n-esimo riflessa a meno delle perdite. Il risultato, non considerando le tolleranza di stampo, sarà come quella della seguente figura dove si ottiene comunque una zona dove verrà allocato il ricevitore a densità di radiazione circa costante:

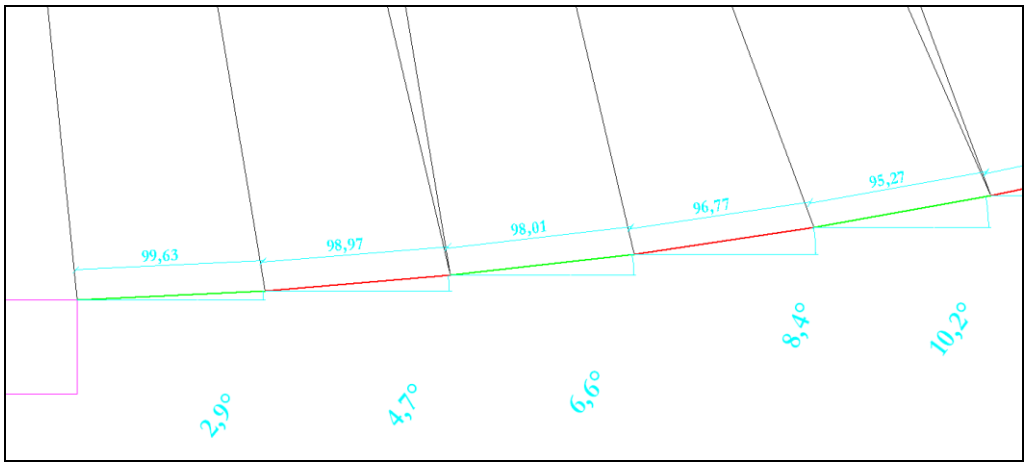


PARABOLA CONTINUA
FUOCO CON GRADIENTE DELLA RADIAZIONE SOLARE RADIALE MOLTO ACCENTUATO

PARABOLA TRONCHI DI CONO
FUOCO CON GRADIENTE DELLA RADIAZIONE SOLARE RADIALE SMORZATO

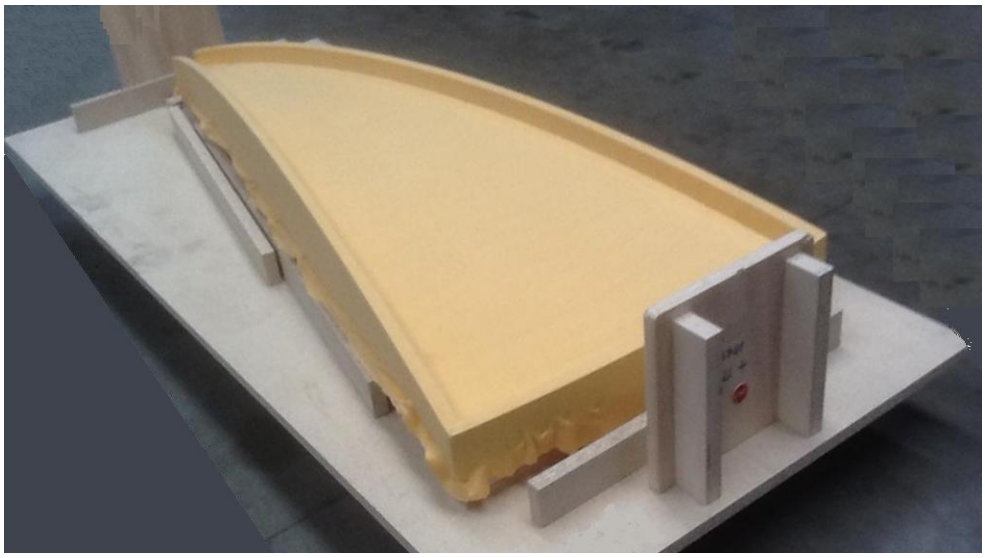


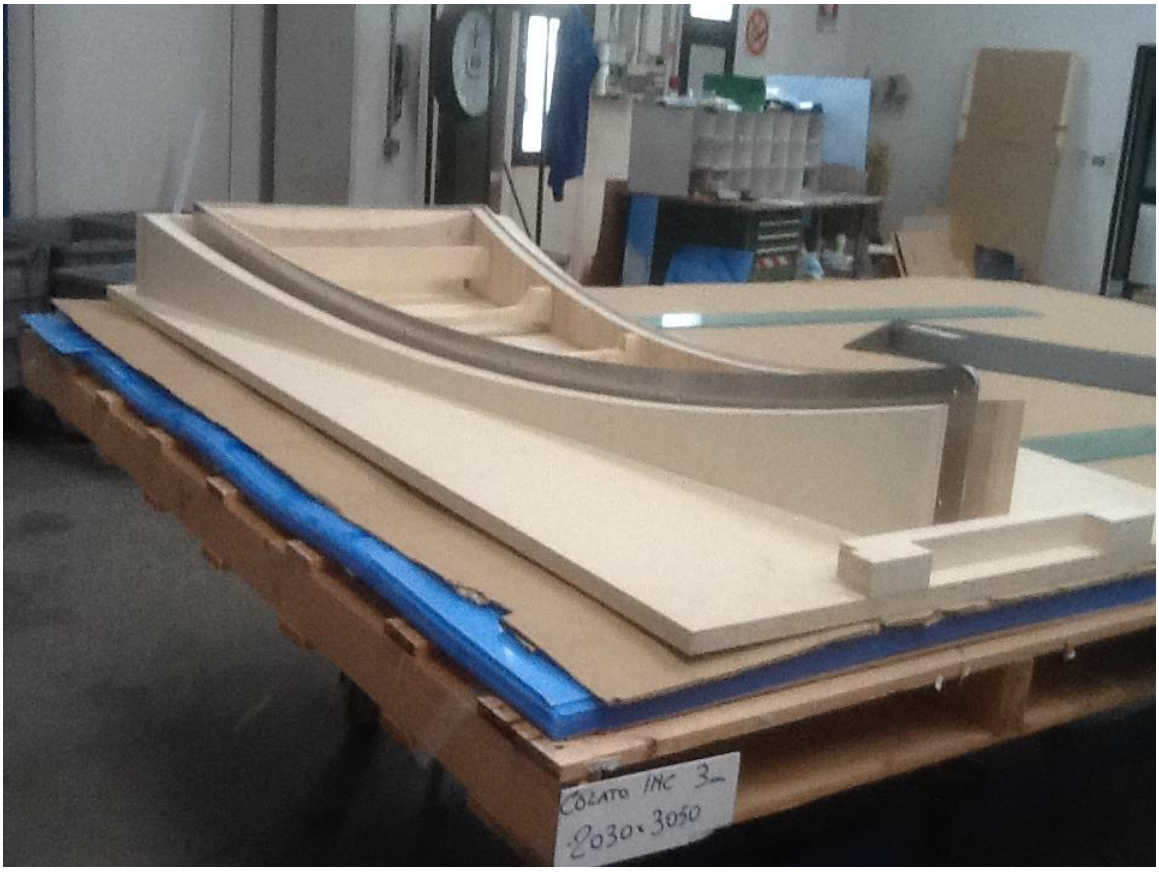




Anche se non è possibile eliminarla completamente, si avrà cosi una decisa riduzione del fenomeno di aberrazione ottica.

Il collettore è composto da 8 spicchi realizzati in materiale plastico termoformato e successivamente specchiato nella parte interna. Per la termoformatura è stato realizzato uno stampo in legno maschio/femmina che ha consentito ai tecnici della Liras (società a cui è stata appaltata la realizzazione) di poter lavorare il PMMA.





La scelta di questo materiale è giustificata dalle seguenti caratteristiche:

1. alta lavorabilità a basso costo;
2. leggerezza che permette, a parità di carico meccanico resistente, di realizzare una parabola con diametro maggiore;
3. facilità di specchiatura mediante deposito di polvere d'argento su una faccia;
4. bassi costi di realizzazione.
5.

Nella realizzazione dello stampo si è ovviamente tenuto conto delle tolleranze sia di sformatura che di dilatazione in fase di lavoro.

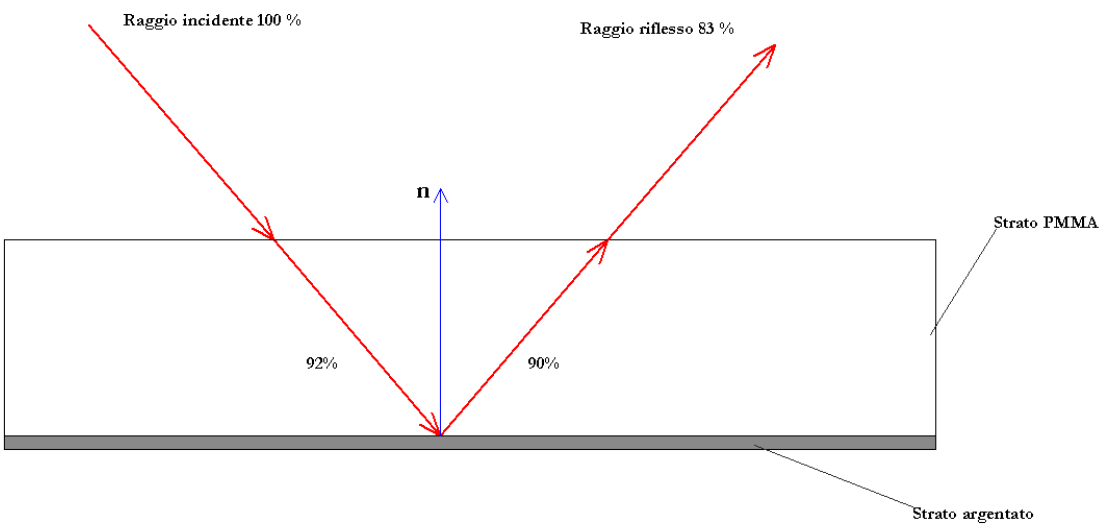
Di seguito si riporta la scheda tecnica:

Tabella Proprietà:

Altuglas EI	Metodo	U.M.	EI19	EI25	EI50	EI60	EX STD
Fisiche							
Densità	ISO 1183	g/cm3	1,18	1,17	1,16	1,15	1,19
Ottiche							
Trasmissione Luminosa	ASTM D1003	%	92	92	91,5	91	92
Haze	ASTM D1003	%	0,5	0,6	0,9	1,2	0,4
Meccaniche							
Resistenza a trazione	ISO 527	MPa	60	56	50	45	74
Allungamento a rottura	ISO 527	%	23	32	45	55	5
Modulo di elasticità	ISO 178 1mm/mn	MPa	2650	2400	2100	1900	3300
Urto CHARPY con intaglio	ISO 179/1eA	KJ/m2	3,2	4	5	6	1,4
Urto CHARPY senza intaglio	ISO 179/1fU	KJ/m2	50	63	85	100	16
Termiche							
Temp. rammollimento VICAT	ISO 306 B	°C	103	102	100	97	105
Temp. max di esercizio		°C	77	75	73	70	80
Coeff. di Espansione Lineare	ASTM D 696	mm/m/°C	0,072	0,075	0,082	0,1	0,065
Intervallo Termoformatura		°C	170-200	170-200	160-190	160-190	170-200

Conoscendo il valore percentuale della trasmissione luminosa del PMMA e quello di riflessione dello strato argentato, è possibile calcolare l'indice di riflessione globale del nostro collettore.

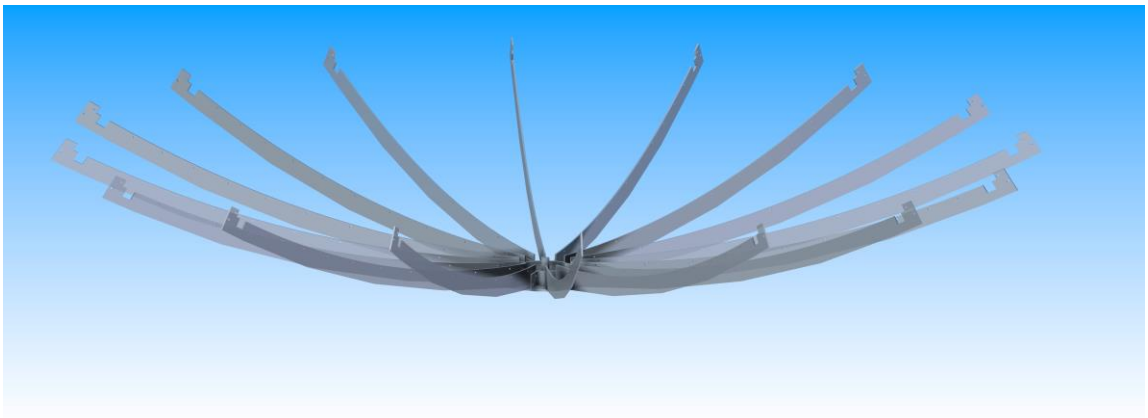
$$\eta_{col} = \eta_{PMMA} \cdot \eta_{Ag} \cdot \eta_{PMMA} = 0{,}92 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}92 = 0{,}83 \Rightarrow 83\%$$



Dopo la prima fase dove il PMMA viene modellato a formare uno spicchio, si arriva alla seconda dove, la Plexicenter, società a cui è stata appaltata la specchiatura, rendere la superficie riflettente.

Gli otto spicchi verranno assemblati in unico blocco mediante un telaio in acciaio formato da 16 bracci equidistanti l'uno dall'altro tenuti in posizione da una staffa appositamente progettata per permettere all'intero collettore, una volta completate le

operazioni di assemblaggio, di essere fissato sulla struttura che permetterà la movimentazione.



Proprietà della parte

Nome parte	braccio telaio Parabola 10 mq.par
Massa	2,622 kg
Volume	966919,708 mm^3
Peso	25698,405 mN

Proprietà del materiale

Nome materiale	Galvanized steel
Densità della massa	7833,000 kg/m^3
Modulo di Young	199947953,000 kPa
Coefficiente di Poisson	0,290
Conduttività termica	0,032 kW/m-C
Carico di snervamento	262000,766 kPa
Carico di rottura	358527,364 kPa

Insieme di carichi

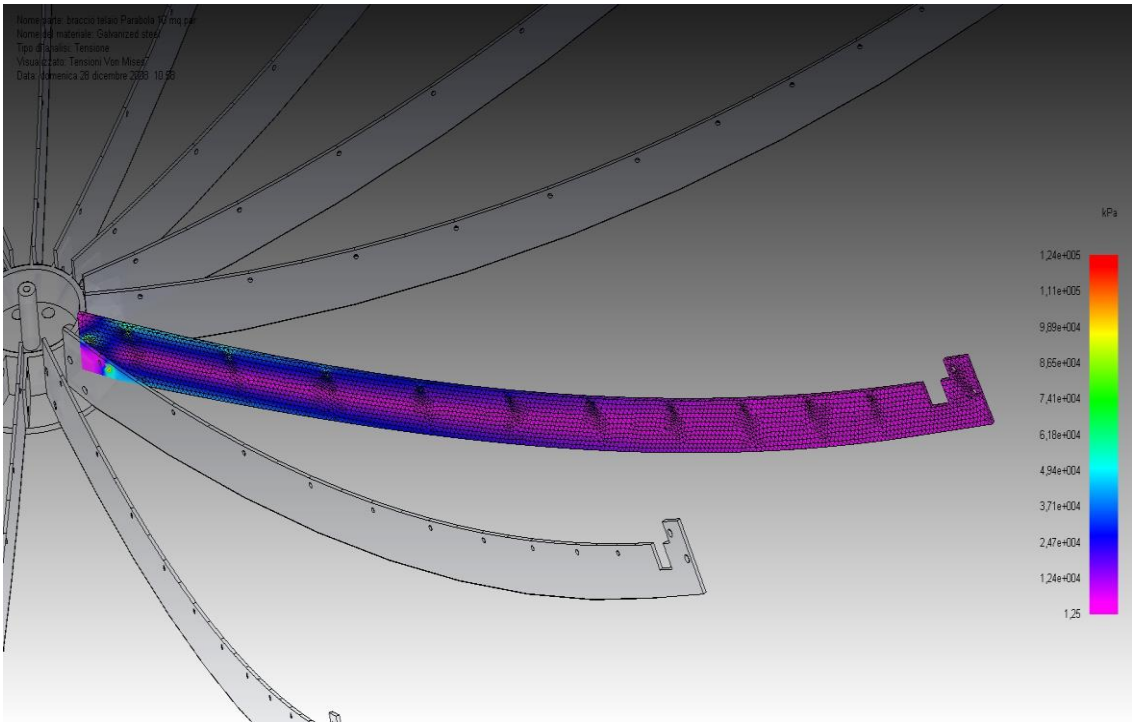
Nome insieme di carichi	Carico 1
Tipo di carico	Pressione
Numero degli elementi di carico	24
Valore del carico	52 kPa → 1/16 di 10 kN

Il calcolo è stato svolto con le seguenti proprietà di studio:

Tipo di reticolo	Reticolo tetraedrale
Numero di elementi	16.572
Numero di nodi	34.790
Tipo di solutore	Nastran

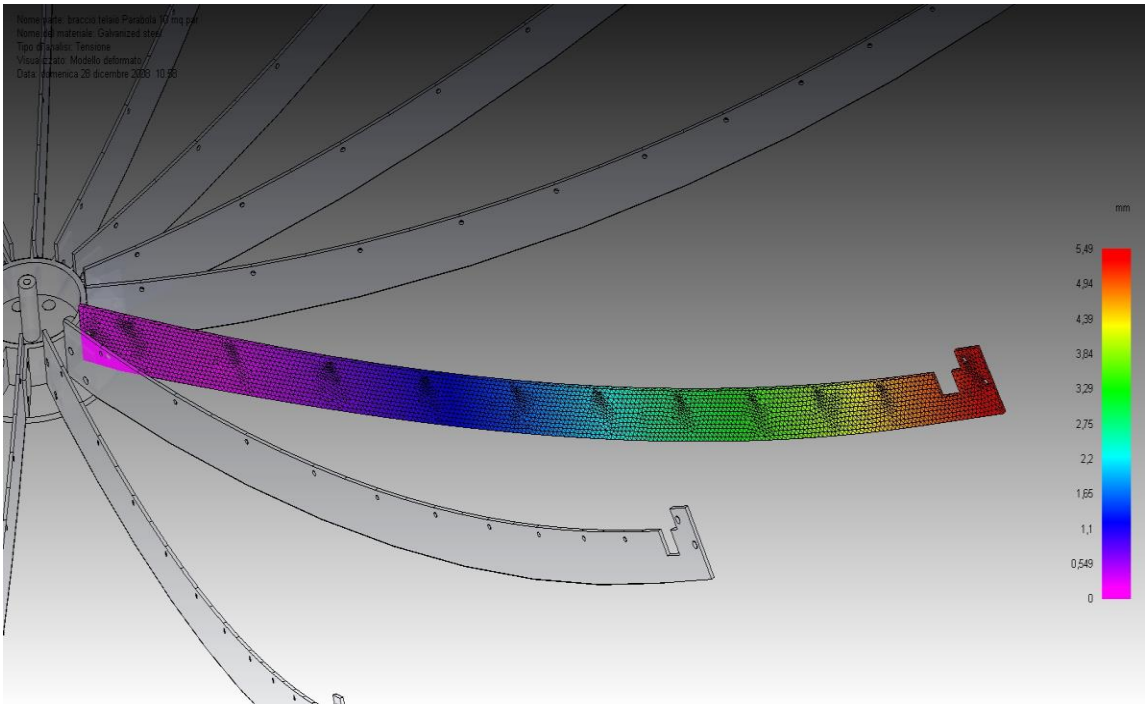
Risultati della tensione

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Tensione di Von Mises	Minimo	1,254e+000 kPa	1616,17 mm	-711,24 mm	476,93 mm
	Massimo	1,236e+005 kPa	43,75 mm	-59,92 mm	-85,95 mm



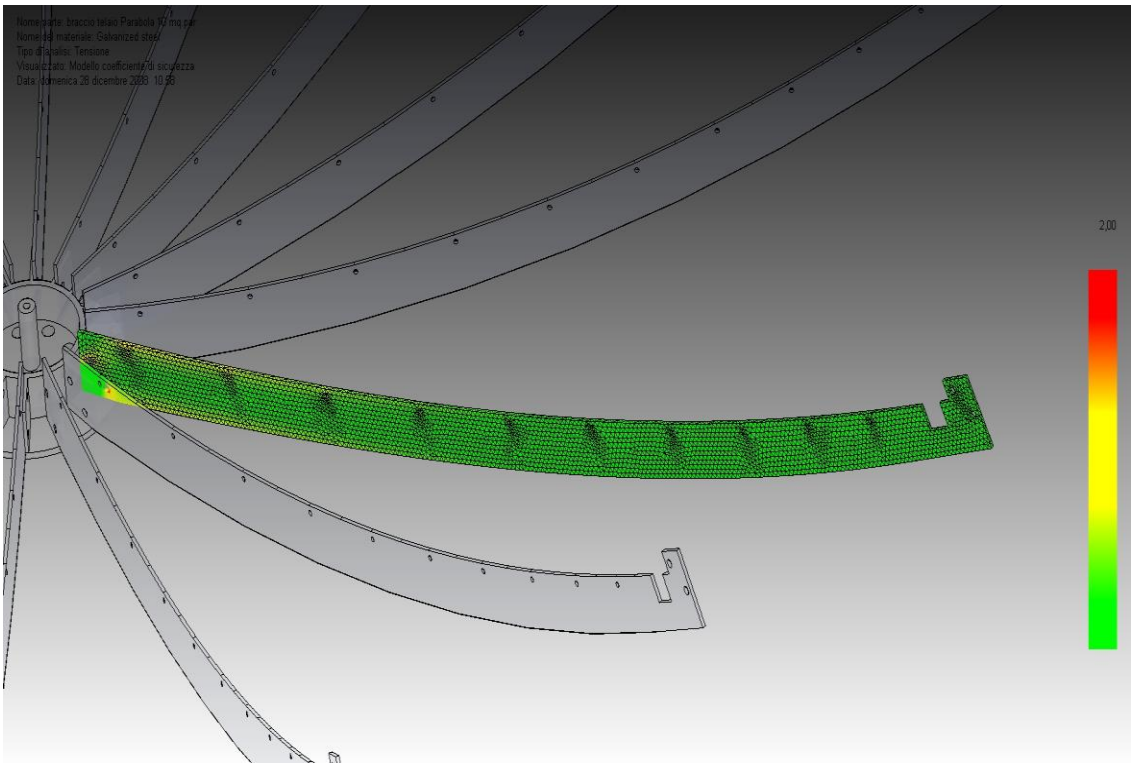
Risultati dello spostamento

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Spostamento risultante	Minimo	0,00e+000 mm	4,07 mm	-36,99 mm	-47,96 mm
	Massimo	5,49e+000 mm	1618,46 mm	-705,69 mm	476,93 mm



Coefficiente di sicurezza

Valore del coefficiente di sicurezza	≥2



Proprietà della parte

Nome parte	staffa centro
Massa	11,957 kg
Volume	1526478,554 mm³
Peso	117177,684 mN

Le proprietà del materiale sono:

Nome materiale	Acciaio zincato
Densità della massa	7833,000 kg/m³
Modulo di Young	199947953,000 kPa
Coefficiente di Poisson	0,290
Conduttività termica	0,032 kW/m-C
Carico di snervamento	262000,766 kPa
Carico di rottura	358527,364 kPa

I carichi sono:

Nome insieme di carichi	Carico 1
Tipo di carico	Forza
Numero degli elementi di carico	1
Valore del carico	700 N

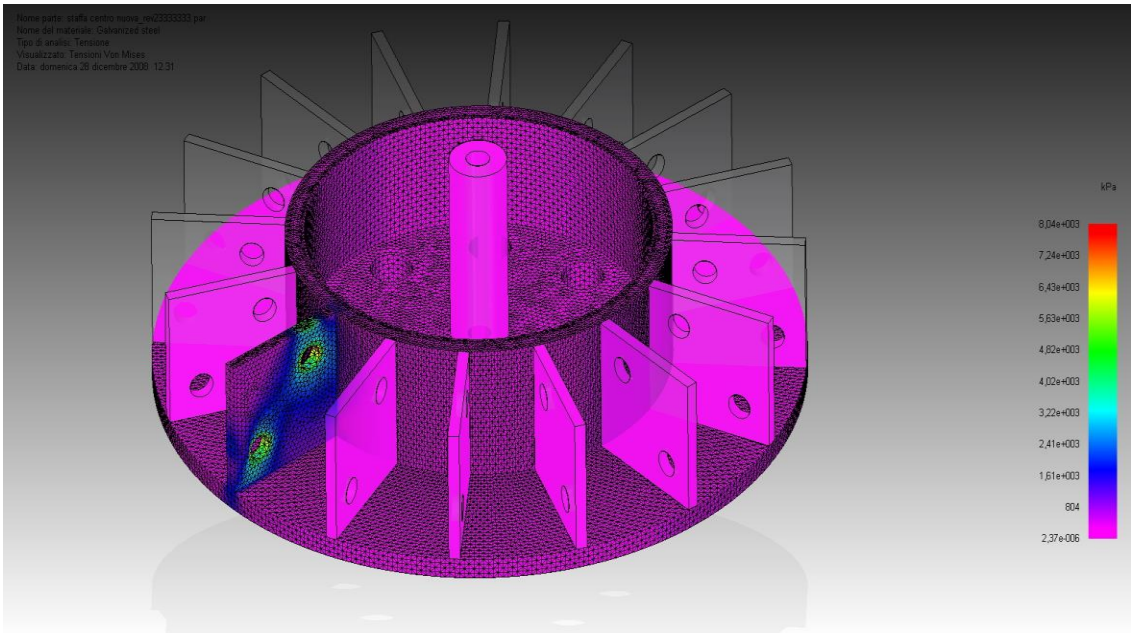
Nome insieme di carichi	Carico 2
Tipo di carico	Forza
Numero degli elementi di carico	1
Valore del carico	700 N

Il calcolo è stato svolto con le seguenti proprietà di studio:

Tipo di reticolo	Reticolo tetraedrale
Numero di elementi	349.572
Numero di nodi	576.399
Tipo di solutore	Nastran

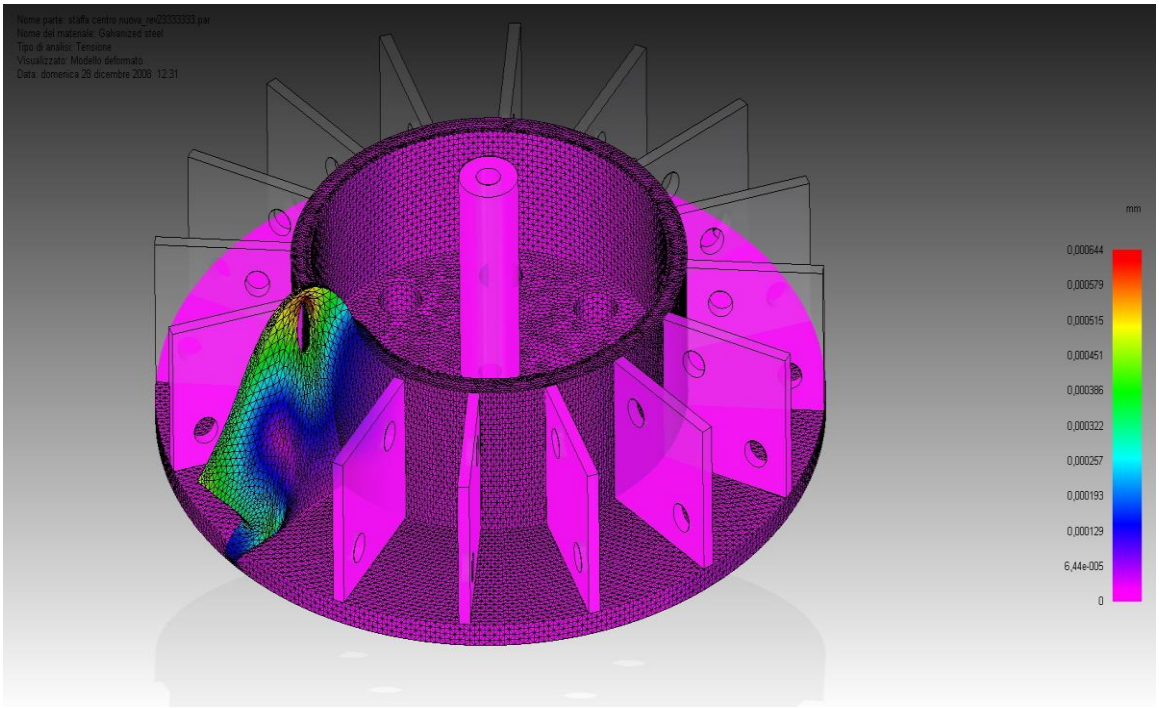
I risultati della tensione sono:

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Tensione di Von Mises	Minimo	2,372e-006 kPa	116,61 mm	-123,74 mm	-9,65 mm
	Massimo	8,041e+003 kPa	-76,79 mm	81,03 mm	40,35 mm



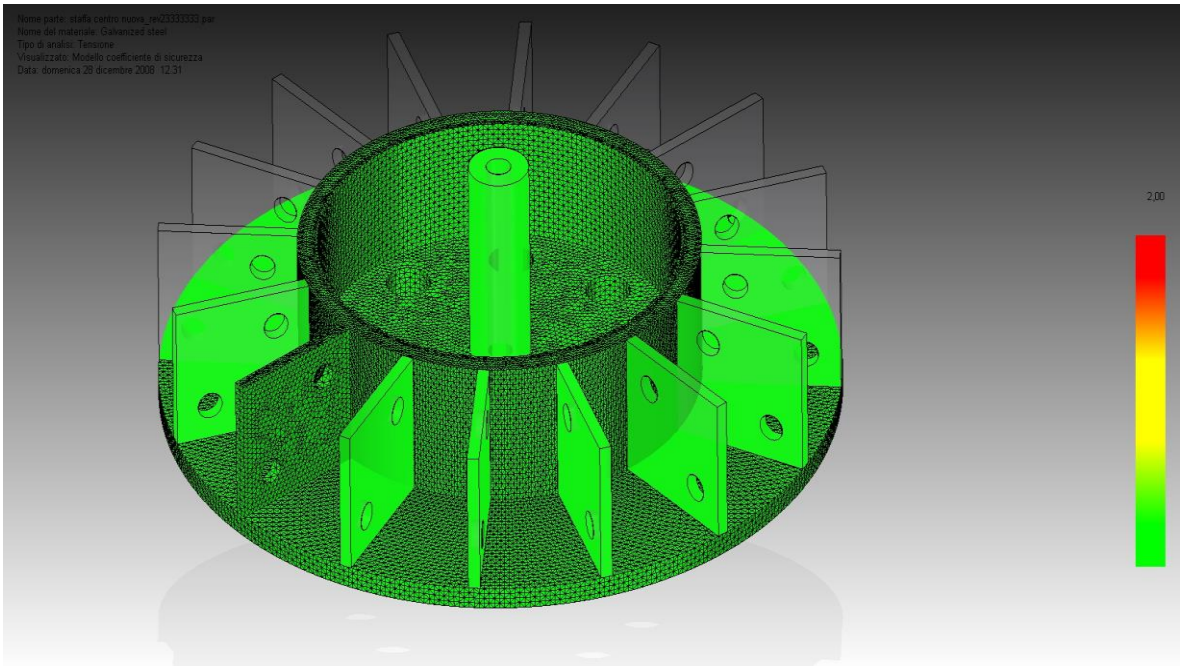
I risultati dello spostamento sono:

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Spostamento risultante	Minimo	0,00e+000 mm	-49,61 mm	90,11 mm	-19,65 mm
	Massimo	6,44e-004 mm	-85,45 mm	81,21 mm	46,60 mm



Il Coefficiente di sicurezza è:

Valore del coefficiente	≥2



5.3 Il ricevitore

E' decisamente il cuore energetico dell'intero sistema. Al suo interno avviene il processo di trasformazione dell'energia solare in energia termica attraverso il fluido vettore che lo attraversa.

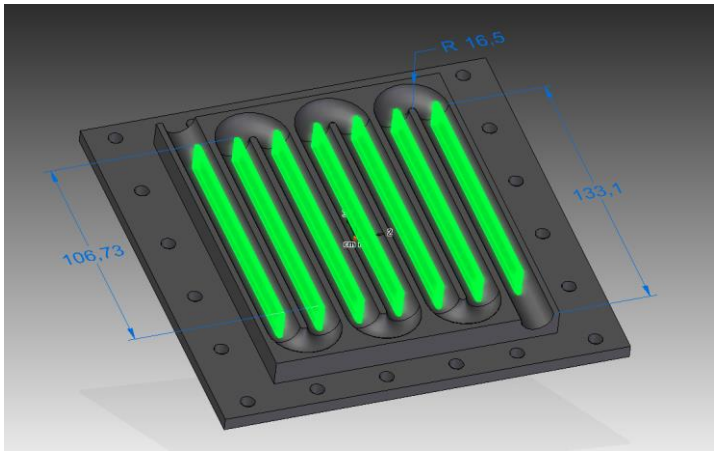
Durante il normale funzionamento, mediante la movimentazione gestita dall'inseguitore, i raggi solari incidenti nel collettore vengono riflessi nella faccia anteriore del ricevitore determinando, su di essa, una radiazione concentrata. Tale radiazione, sommando i singoli effetti, fa aumentare la temperatura, prima di parete, poi del fluido, secondo le leggi fisiche dei fenomeni di trasporto (trasferimento del calore).

In particolare, nel nostro caso, il ricevitore è composto da tre parti.

- La base anteriore;
- La base posteriore;
- La tenuta (guarnizione).

Le due basi sono realizzate in acciaio al carbonio. Mediante una macchina a controllo numerico vengono ricavate, su di esse, delle geometrie tali da formare, una volta accoppiate frontalmente, una condotta a serpentina della sezione di 15 mm di diametro all'interno della quale passera il fluido termovettore. La guarnizione garantisce la tenuta alle alte temperature evitando la fuoriuscita del fluido.

La base anteriore è stata zigrinata con una macchina a controllo numerico in modo da raggiungere una rugosità superficiale superiore a 1000 micron per ottimizzare la parte di energia solare assorbita e minimizzare la parte di energia solare riflessa. Il coefficiente di emissività sarà cosi nettamente inferiore a 0,1



Per la progettazione del ricevitore, oltre alle consuete verifiche meccaniche, sono state effettuate delle verifiche prestazionali di tipo energetico utilizzando le leggi della fluidodinamica e del trasferimento di calore per conduzione convezione e irraggiamento. Infatti la geometria del sistema non è stata calcolata ma imposta dalla necessità di raccogliere i raggi solari concentrati nel collettore, ad un determinato livello di concentrazione e dunque su una determinata superficie radiata.

In particolare, indicando con C il fattore moltiplicativo o livello di concentrazione, con A l'area del collettore e con a l'area del ricevitore. Volendo raggiungere una concentrazione di progetto di 1000 soli, otteniamo:

$$a = \frac{A}{C} = \frac{10}{1000} = 0{,}01[m^2]$$

Se poi calcolo la circonferenza che racchiude tale superficie otteniamo:

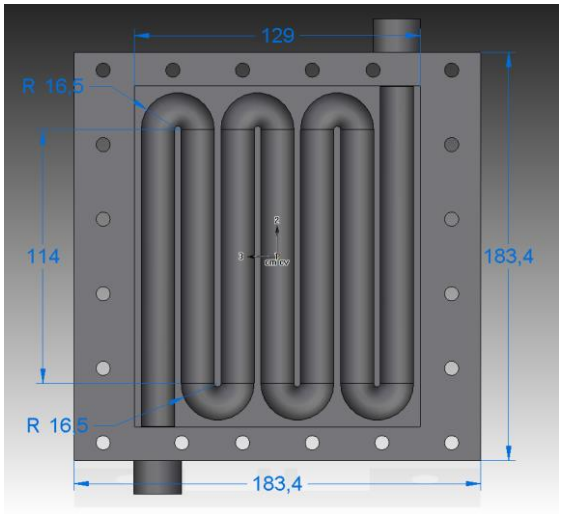
$$\pi r^2 = 0{,}01 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{0{,}01}{\pi}} \cong 0{,}06[m]$$

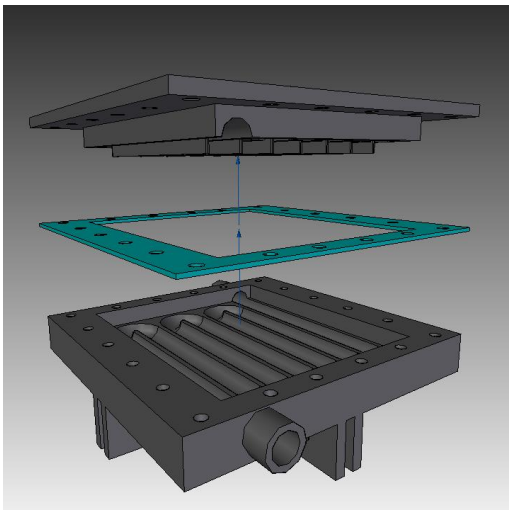
Ciò significa che il diametro della circonferenza di superficie 0.01 m² è circa 120 mm.

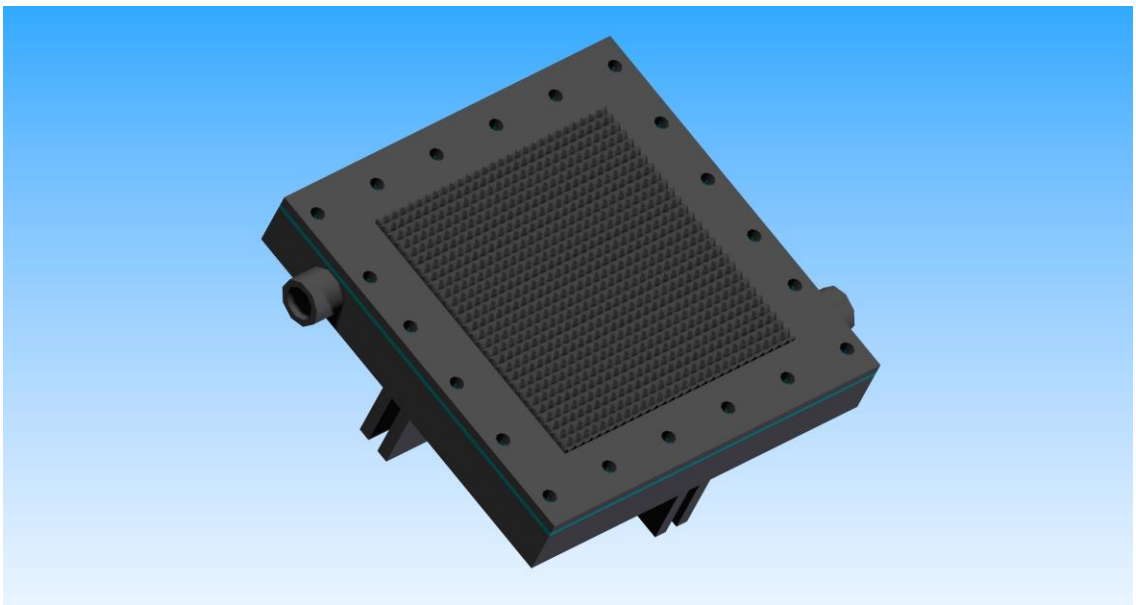
Per motivi di convenienza dovuta alla realizzazione in officina, alla modalità di assemblaggio, alla realizzazione dell'ingresso e dell'uscita del circuito ad olio, si è scelto di realizzare il ricevitore di forma quadrata. Il circuito a serpentina si troverà sotto la superficie interessata dalla radiazione concentrata anche in questo caso geometria (superficie di scambio è stata imposta da limiti tecnici di realizzazione della macchina a controllo numerico che scava una piastra di acciaio e da limiti imposti dalle Good Engineering Practices per le velocità di un fluido viscoso in un condotto.

L'insieme delle tre parti base anteriore base posteriore e guarnizione di tenuta viene assemblato mediante l'utilizzo di ben venti perni M6 che garantiscono la chiusura ermetica. La condotta dentro la quale scorre un fluido (nel nostro caso olio diatermico) ha una lunghezza di circa 1000 mm un raggio di 7,5 mm, una sezione pari a 176.7 mm² . Come si evince dalle immagini, all'interno della condotta vi sono delle "lamelle",

ricavate durante la lavorazione, necessarie per aumentare la superficie di scambio. Questa risulta essere pari a 75000mm²







Per quanto riguarda la parte meccanica, il ricevitore deve contrastare la componente della forza che viene su di esso creata dal vento. I due casi critici analizzati sono: quello che vede il vento soffiare ortogonalmente alla superficie posteriore e quello ortogonalmente alle superfici laterali delle due basi.

In particolare, semplificando la geometria, la superficie posteriore è considerata pari a $L_{post1} \cdot L_{post2} = 0{,}19 \cdot 0{,}19 = 0{,}036$ m² e la superficie laterale $L_{lat1} \cdot L_{lat2} = 0{,}19 \cdot 0{,}06 =$

0,011 m². Dai calcoli, risulta che per le due superfici, con un vento a 33 m/s si ha che per la prima ipotesi la forza equivalente del vento è 40 N mentre per la seconda 12 N. Se a queste aggiungiamo il peso proprio delle parti metalliche e dell'olio al suo interno complessivamente pari a 90 N, abbiamo che, nei due casi critici, per la prima ipotesi F1 = 130N e per la seconda ipotesi F2 = 102 N. A differenza degli altri casi, in questo, il peso proprio non è trascurato poiché la forza del vento risulta, in alcuni casi, meno influente. Di seguito, le consuete tabelle:

Le proprietà della parte sono:

Nome parte	Ricevitore
Massa	9,018 kg
Volume	2166425,798 mm³
Peso	88466,58mN

Le proprietà del materiale

Nome materiale	Acciaio al carbonio
Densità della massa	7750,000 kg/m³
Modulo di Young	19994795,300 kPa
Coefficiente di Poisson	0,290
Conduttività termica	0,025 kW/m-C
Carico di snervamento	344737,850 kPa
Carico di rottura	655001,915 kPa

Di seguito le tabelle relative alla prima e alla seconda ipotesi:

I carichi sono:

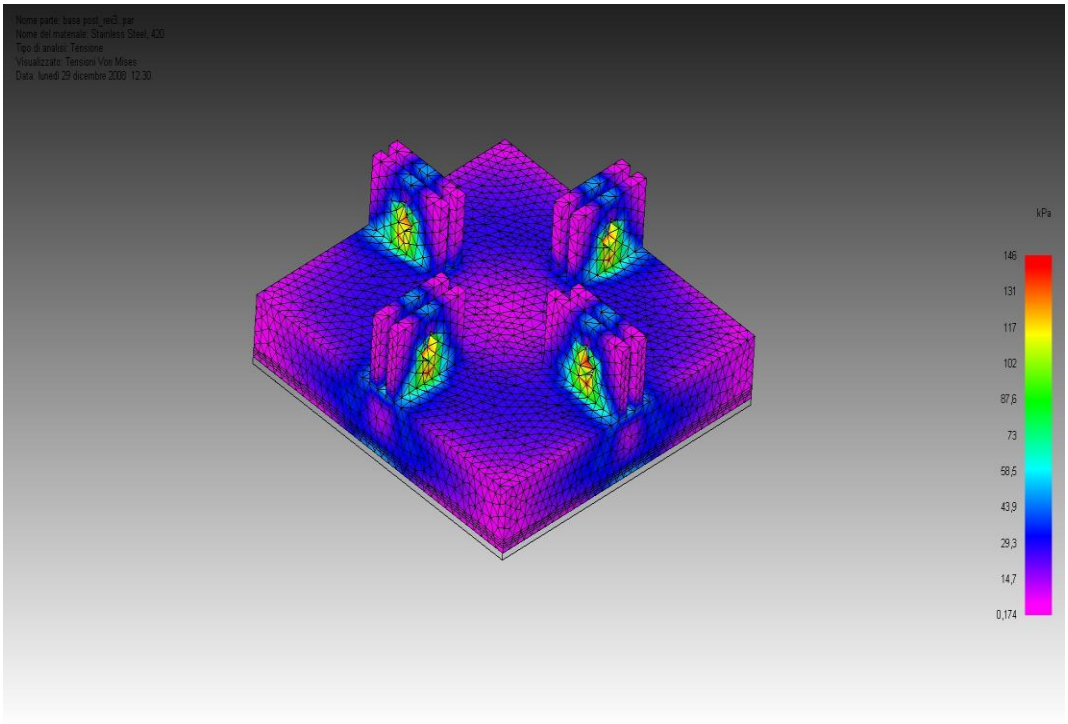
Nome insieme di carichi	Carico 1
Tipo di carico	Forza
Numero degli elementi di carico	1
Valore del carico	130 N

Il calcolo è stato svolto con le seguenti proprietà di studio:

Tipo di reticolo	Reticolo tetraedrale
Numero di elementi	23.704
Numero di nodi	40.465

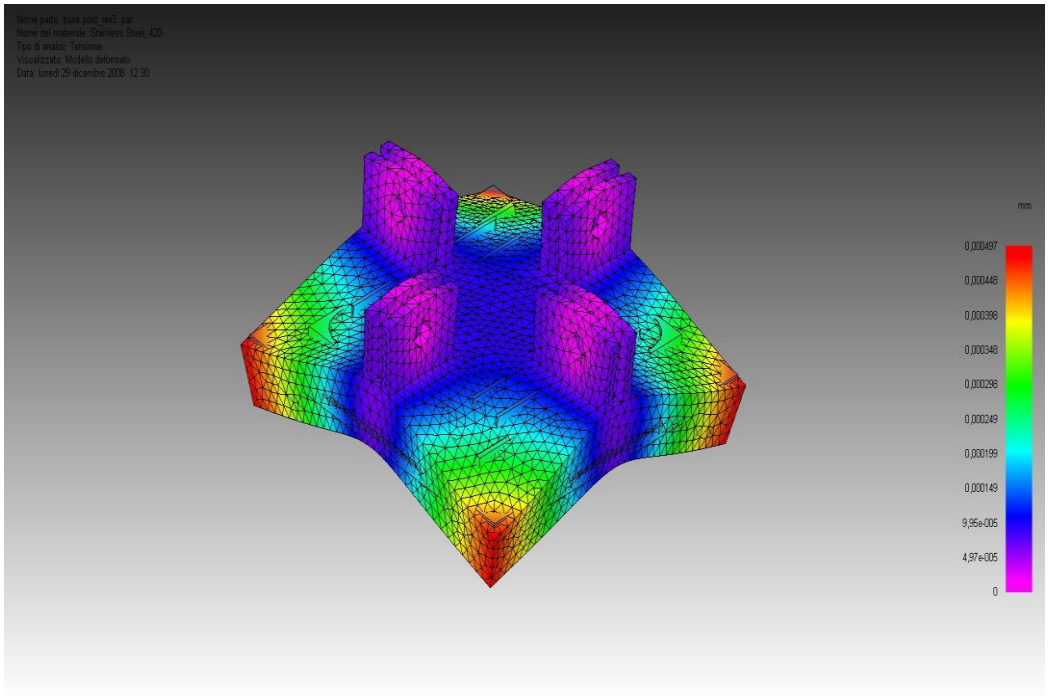
Le risultati della tensione sono:

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Tensione di Von Mises	Minimo	1,735e-001 kPa	-18,70 mm	66,00 mm	-32,00 mm
	Massimo	1,459e+002 kPa	-44,28 mm	72,00 mm	-12,58 mm



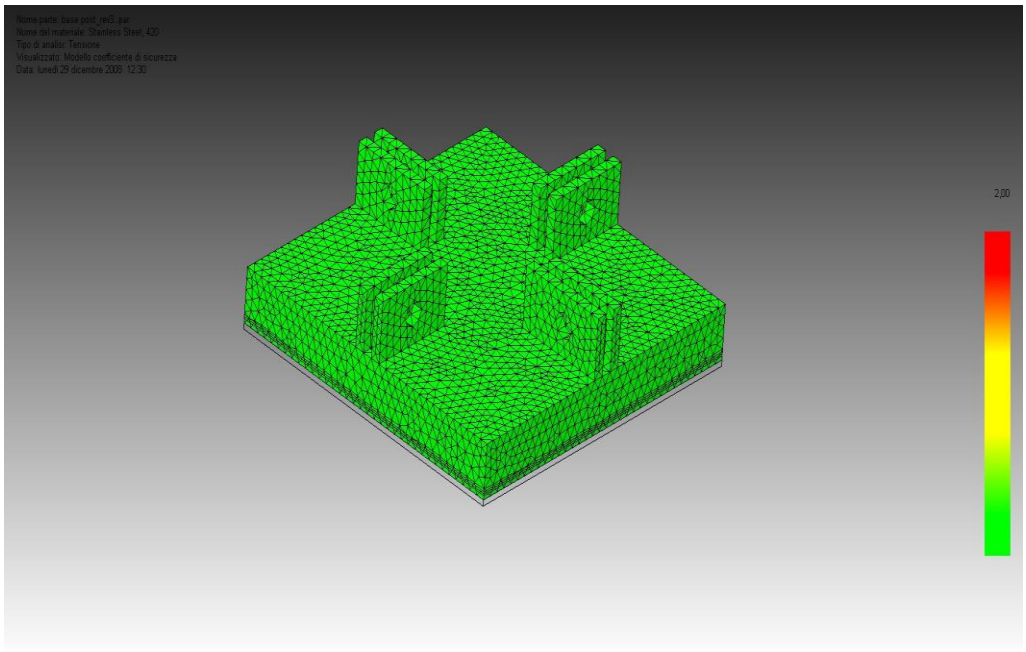
Le risultati dello spostamento sono:

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Spostamento risultante	Minimo	0,00e+000 mm	89,12 mm	78,00 mm	-21,42 mm
	Massimo	4,97e-004 mm	109,70 mm	-16,70 mm	-2,00 mm



Il coefficiente di sicurezza è:

Valore del coefficiente	≥2



Di seguito la seconda ipotesi:

I carichi sono:

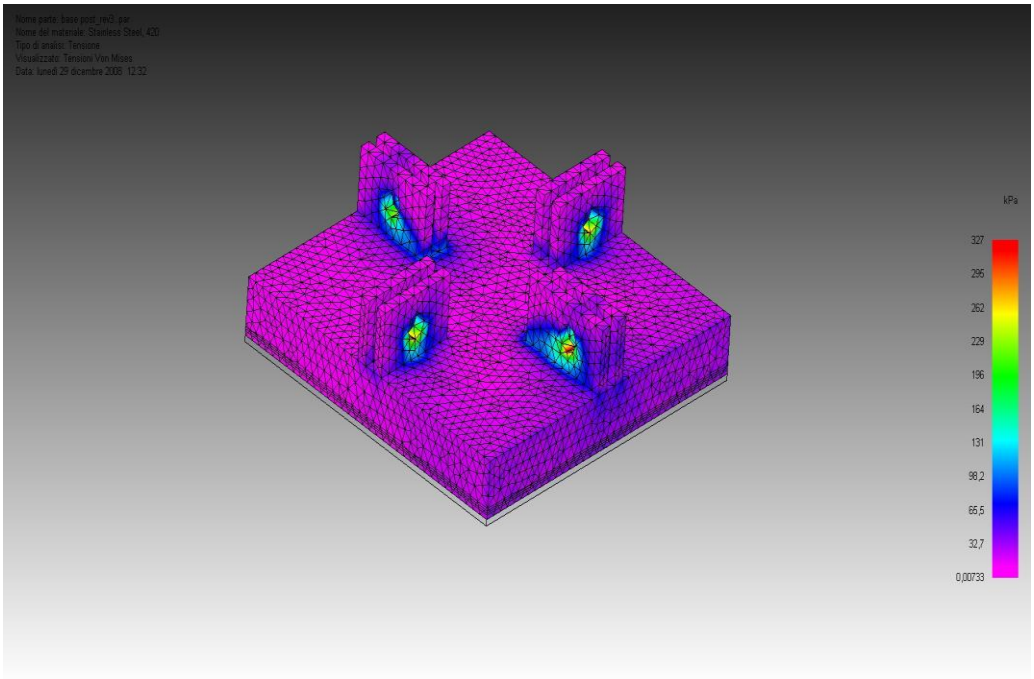
Nome insieme di carichi	Carico 1
Tipo di carico	Forza
Numero degli elementi di carico	1
Valore del carico	102 N

Il calcolo è stato svolto con le seguenti proprietà di studio:

Tipo di reticolo	Reticolo tetraedrale
Numero di elementi	23.704
Numero di nodi	40.465

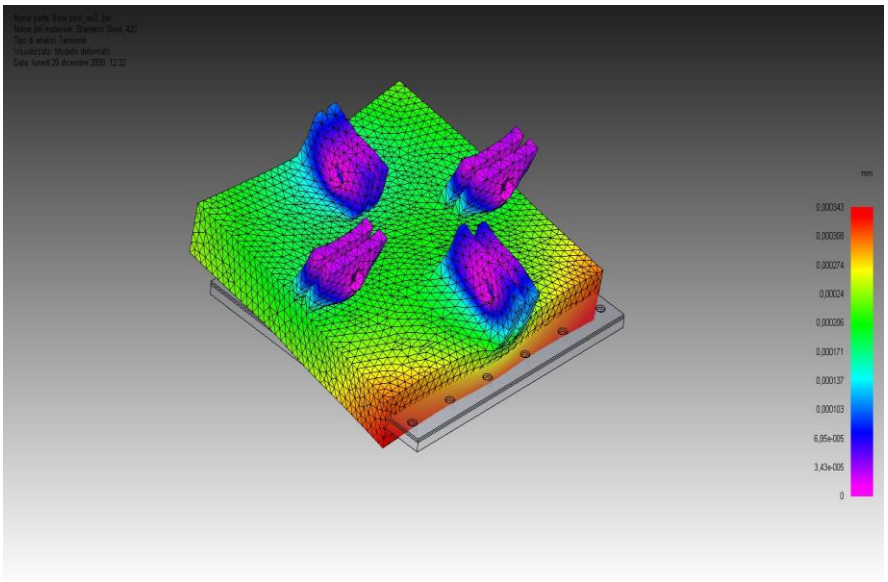
Le risultati della tensione

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Tensione di Von Mises	Minimo	7,331e-003 kPa	109,70 mm	166,70 mm	-2,00 mm
	Massimo	3,274e+002 kPa	-48,70 mm	66,00 mm	-10,75 mm



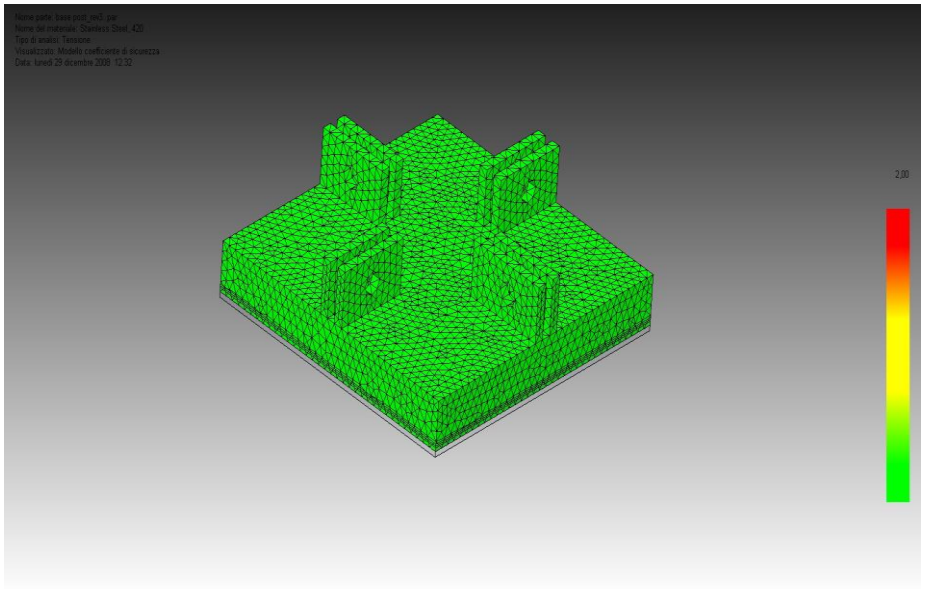
Risultati dello spostamento

Tipo	Estensione	Valore	X	Y	Z
Spostamento risultante	Minimo	0,00e+000 mm	89,12 mm	78,00 mm	-21,42 mm
	Massimo	3,43e-004 mm	-73,70 mm	166,70 mm	25,00 mm



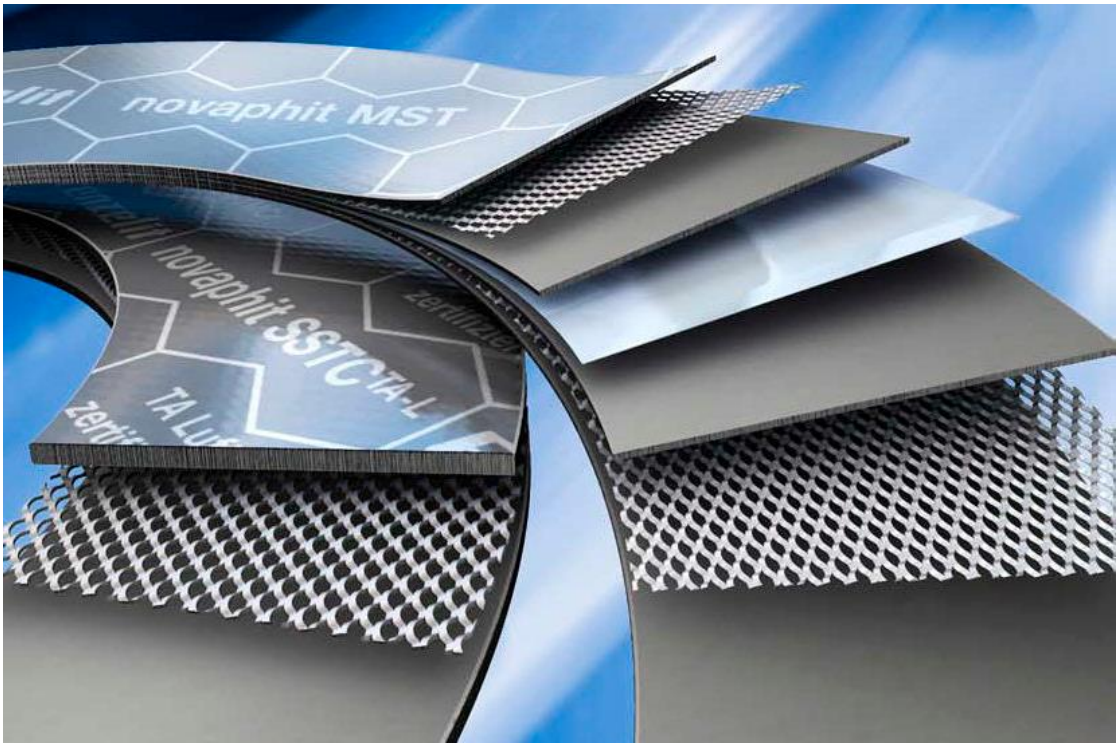
Coefficiente di sicurezza

Valore del coefficiente di sicurezza	≥2



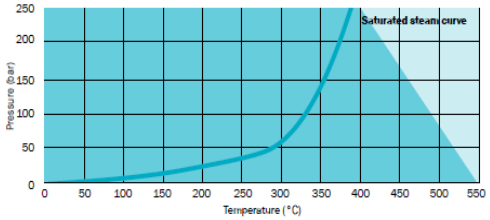
Come descritto nelle tabelle, tale componente supera tranquillamente le verifiche meccaniche.

Per quanto riguarda la tenuta che viene frapposta tra le due basi, visto l'utilizzo che prevede temperature superiori a 300°C, è stata scelta tra quelle resistenti alle alte temperature. La società a cui è stata commissionata tale realizzazione è la Trelleborg . La tenuta è realizzata in grafite espansa con inserti metallici piani. Il materiale termoplastico ad alto modulo garantisce alte prestazioni in rapporto pressione/temperatura. Di seguito si riportano un immagine raffigurante i vari strati e, a seguire, la scheda tecnica.

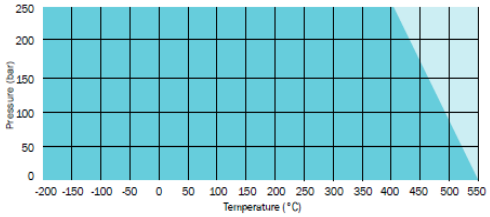


Recommendations for use
according to pressure and temperature

Water/steam



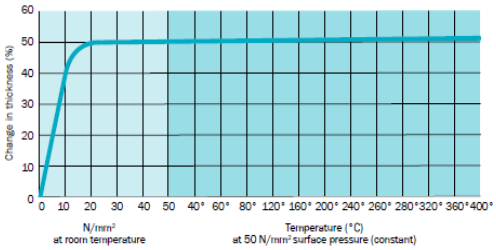
Other Media



The temperature and pressure recommendations in the graphs apply to gaskets with a thickness of 2.0 mm and smooth flanges. Higher stresses are possible when thinner gaskets are used.

Example for the most commonly other media used. Exact data for specific, individual cases are available on demand.

Deformation under temperature 3.0 mm



Material data

General data	
Elements	Expanded graphite (purity >99.5%), expanded and flat metal inserts made from acid-proof stainless steel. Contains no bonding or filling agents.
Approvals	TA Luft* (German clean air act), Fire safe (DIN EN ISO 10497 / AP1607 / BS6755), BAM* (O_2: 200 °C/130 bar), DVGW
Color	Graphite gray with white label
Thickness in mm	1.0/ 1.5/ 2.0/ 3.0/ 4.0 Further thicknesses are available on request.
Thickness tolerance	According to DIN28091-1

Physical parameters Sample thickness 3.0 mm	**Test standard**	**Unit**	**Value****
Identifaction	DIN 28 091-4		GR-8-I-5-Cr
Density	DIN 28 090-2	[g/cm³]	1.30
Tensile strength longitudinal transverse	DIN 52 910	 [N/mm²] [N/mm²]	 30 25
Residual stress $\sigma_{dE/16}$ 300 °C	DIN 52 913	 [N/mm²]	 > 45
Compressibility	ASTM F 36 J	[%]	45
Recovery	ASTM F 36 J	[%]	15
Cold compressibility ε_{KSW}	DIN 28 090-2	[%]	42
Cold recovery ε_{KRW}	DIN 28 090-2	[%]	3.5
Hot creep $\varepsilon_{WSW/300}$	DIN 28 090-2	[%]	2.5
Hot recovery $\varepsilon_{WRW/300}$	DIN 28 090-2	[%]	3
Recovery R	DIN 28 090-2	[mm]	0.09
Specific leakage rate	DIN 3535-6	[mg/(m·s)]	< 0.010
Leakage (TA LUFT) Component test 30 Mpa, 300 °C, 1 bar helium	VDI 2200	[mbar·l/(s·m)]	< 0.0001
Chloride content (total)	DIN 28 090-2	[ppm]	≤ 50
Leachable Chloride content	FZT PV-001-133	[ppm]	≤ 20
Total Fluoride and Chloride		[ppm]	≤ 100

Come anticipato sono utilizzati venti perni M6 alla distanza di 31÷34 mm che garantiscono una pressione superficiale adeguata e/o uniforme.

Per quanto riguarda le verifiche energetiche e prestazionali viene, ovviamente, fatto riferimento alla fisica dei processi e alla leggi della termofluidodinamica e dei fenomeni di trasporto.

In dettaglio, avendo già una geometria vincolante, si è scelto di verificarne il rendimento teorico e le caratteristiche di funzionamento, fissando:

1. la sezione della condotta quindi la superficie di scambio interno;
2. la temperatura massima di parete che deve essere necessariamente inferiore alla massima consentita dal produttore dell'olio fluido vettore disponibili in commercio;
3. le dimensioni esterne quindi la superficie di scambio con l'ambiente.

I processi fisici che regolano in trasferimento di energia/calore sono:

- la conduzione;
- la convezione;
- l' irraggiamento:

La Conduzione è legata a processi di trasferimento di energia che avvengono a livello atomico o molecolare (energia cinetica molecolare vibrazionale etc dovuta all'agitazione termica). Nella fattispecie, le molecole vicino alla parete calda hanno una maggiore energia cinetica (temperatura). Queste collideranno con le molecole a temperatura più bassa trasferendo parte della loro energia. In tal modo vi è un trasferimento di energia dalla parete calda a quella fredda.

Nei gas e nei liquidi il meccanismo è molto simile mentre nei solidi dipende dal tipo di materiale: Nei materiali con struttura reticolare, infatti, la trasmissione termica dipende dalle vibrazioni degli atomi costituenti il reticolo mentre nei materiali conduttori dipende dal movimento degli elettroni liberi.

La legge che regola il fenomeno è nota come Legge di Fourier la cui formulazione nel caso semplificativo di trasferimento monodimensionale è la seguente:

$$q_{cd} = -k \cdot A \cdot dT/dx$$

dove:

q_{cd} è la potenza termica trasmessa per conduzione (flusso di calore)

k è il coefficiente di conducibilità;

A è l'area delle superficie di scambio;

dT è il salto termico differenziale tra due punti distanti dx;

dx è il delta della distanza lungo la quale avviene il trasferimento di calore

La Convezione è un fenomeno sicuramente più complesso rispetto alla conduzione. In questo caso si ha una combinazione di due meccanismi che operano contemporaneamente: Il primo meccanismo è rappresentato dal trasferimento di energia per conduzione mentre il secondo è causato dal moto macroscopico di fluido associato al movimento di un numero elevato di molecole determinato da una differenza di densità (convezione naturale) che determina un gradiente gravitazionale diverso (un liquido o un gas a temperatura piu' alte avranno una densità inferiore a quella dello stesso fluido a temperature piu' basse) determinato dalla circolazione indotta in un circuito (

convezione forzata) ad esempio da una pompa . La convezione è dunque un meccanismo di trasferimento di energia termica regolato dalla viscosità del fluido, e pertanto, i suoi effetti si faranno sentire principalmente all'interno dello strato limite. Dovremo, quindi, considerare non solo uno strato limite idrodinamico, (legato, cioè alla velocità) ma anche uno strato limite termico. Essendo legato allo strato limite, lo scambio termico dipenderà dal fluido, dalla forma del corpo, dal campo di moto e dalle condizioni al contorno.

La convezione viene suddivisa in funzione del campo di moto. Si parlerà, quindi, di convezione forzata quando il moto del fluido è generato da azioni esterne, per esempio il vento o una pompa in un circuito entro cui scorre il fluido, mentre si parlerà di convezione naturale quando il moto è generato da forze di massa quali le forze di galleggiamento o forze centrifughe o gravitazionali (diversa densità).

In tutti i due casi si potrà avere un moto esterno, se il fluido investe la superficie esterna e interno, se il campo di moto si sviluppa in una zona di spazio delimitata da superfici.

La relazione che comunemente si utilizza è la cosiddetta legge di Newton:

$$q_{cv} = hA(Ts - T\infty)$$

dove:

q_{cv} è la potenza termica trasmessa per convezione (flusso di calore)

A è l'area delle superficie di scambio;

T_s è la temperatura di parete;

$T\infty$ è la temperatura dell'ambiente.

h è il coefficiente convettivo. Questo coefficiente non ha significato fisico come la conducibilità ma consente una formulazione matematica di comodo. Tuttavia tale coefficiente dipende oltre che dalle proprietà chimico-fisiche del fluido che trasferisce il calore anche dalle caratteristiche fluidodinamiche del sistema e andrà valutato o meglio calcolato di volta in volta;

L'Irraggiamento è il meccanismo di trasmissione termica legato allo stato della materia che a tutte le temperature emette radiazioni. L'emissione di energia è funzione dei cambiamenti che avvengono nella configurazione degli stati quantici degli atomi che costituiscono la materia. L'energia del corpo radiante è sostanzialmente trasportata da onde elettromagnetiche. Come conseguenza di quanto detto, il trasferimento, sarà

funzione non solo della temperatura, ma anche della lunghezza d'onda e della direzione di emissione e non ha bisogno della presenza di un mezzo materiale

La massima potenza termica che una superficie può emettere in tutta la banda di frequenza è espressa tramite la legge di Stefan – Boltzmann:

$$q_{irr} = A\sigma \left[(T_2)^4 - (T_1)^4 \right]$$

dove:

σ è la costante di Stefan – Boltzmann. Vale $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ [W/m²K⁴]

A è l'area della superficie "piccola"

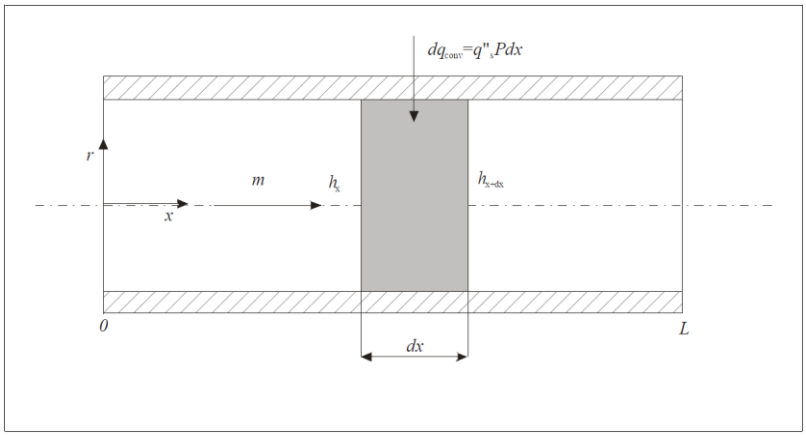
T_2 è la temperatura assoluta della superficie "grande" (ambiente);

T_1 è la temperatura assoluta della superficie "piccola" (superficie di scambio ricevitore)

Nella fattispecie, lo studio termico del nostro ricevitore ha come obbiettivi quello di verificare che la maggior parte dell'energia incidente si trasferisca al fluido(rendimento alto), la temperatura di parete non superi quella limite dell'olio pari a 350°C, la velocità del fluido termovettore, (quindi la portata) non sia troppo elevata ma intorno ai 1,5-2 m/s.

In relazione a quanto detto, per le verifiche summenzionate è necessario effettuate due analisi di bilancio energetico, una nel volume di controllo infinitesimo e una macroscopica nell'intero sistema ricevitore. Consideriamo genericamente una tubazione dove scorre una portata di fluido m. Attraverso l'area infinitesima laterale (pari al perimetro o meglio alla lunghezza della circonferenza della sezione di tubo P) per l'elemento di tubo infinitesimo dx. Tale superficie di scambio di fatto è rappresentata da una porzione infinitesima del ricevitore. In essa, entra se trascuriamo la resistenza del materiale di cui è fatta la tubazione (normalmente acciaio ad elevatissima conducibilità termica) al trasferimento di calore in base alla legge di Newton la potenza termica convettiva infinitesima che viene trasferita al fluido all'interno della tubazione attraverso l'area infinitesima Pdx sarà dq_{conv} :

$$dq_{conv} = q''Pdx = hP\left[T_p - T_m(x)\right]dx$$



Dove h è il coefficiente di trasporto convettivo del calore del fluido.

Il fluido che entra attraverso la sezione posta alla coordinata x inoltre possiede l'entalpia massica specifica i_x, mentre alla sezione posta a x +dx possiede una entalpia massica specifica i_{x+dx}. Il bilancio dei flussi di energia tra ingresso e uscita in regime stazionario dovrà necessariamente essere uguale a:

$$dq_{conv} + wi_x - wi_{x+dx} = 0$$

Dove w è la portata massica del fluido nella tubazione

Riordinando si ottiene:

$$dq_{conv} = w(i_{x+dx} - i_x)$$

Sviluppando i_{x+dx} in serie di taylor e fermandosi al secondo termine di primo ordine, in quanto gli altri sono infinitesimi di ordine superiore, si ottiene:

$$i_{x+dx} = i_x + \frac{di_x}{dx}dx$$

Sostituendo il valore appena ricavato nella precedente equazione si ottiene:

$$dq_{conv} = wdi_x$$

Per un fluido incomprimibile in assenza di cambiamenti di fase vale inoltre:

$$wdi_x = wc_p dT_m(x)$$

Dove w è la portata massica del fluido contenuta tra le coordinate x e x + dx , c_p è il calore specifico e $dT_m(x)$ è la differenza infinitesima tra la temperatura del fluido in ingresso alla coordinata x e la temperatura del fluido in uscita alla coordinata x+ dx .

Se il fluido è un gas ideale si utilizza il calore specifico a pressione costante.

La precedente equazione può essere riscritta come:

$$dq_{conv} = q''Pdx = hP\left[T_p - T_m(x)\right]dx = wc_p dT_m(x)$$

Da cui si ricava:

$$\frac{dT_m(x)}{dx} = \frac{hP}{wc_p}\left[T_p - T_m(x)\right]$$

Di solito nella pratica le tubazioni presentano una sezione costante per cui il termine P/wc_p è una costante (in realtà il termine c varia leggermente con la temperatura e dunque lungo la coordinata x) .

L'integrazione dipende quindi dalle condizioni al contorno.

Se supponiamo che il flusso termico sia costante, integrando la precedente equazione otteniamo:

$$dT_m = \frac{q''P}{wc_p}dx$$

Dove

$$\frac{q''P}{mc} = \cos t$$

Quindi

$$T_m(x) = \cos t \cdot x + T_{m,i}$$

Dove $T_{m,i}$ è la temperatura media nella sezione di ingresso.

Come si vede, nel caso di flusso termico costante, la temperatura varia linearmente lungo la coordinata x della conduttura.

Supponiamo inoltre che sia costante anche la temperatura di parete T_p lungo tutta la coordinata x della tubazione.

A questo punto eseguiamo un cambio di variabile ponendo :

$$\Delta T_m(x) = T_p - T_m(x)$$

E sostituiamo nella equazione

$$\frac{dT_m(x)}{dx} = \frac{hP}{wc_p}\left[T_p - T_m(x)\right]$$

otteniamo

$$d\Delta T_m(x) = -\frac{hP}{wc_p}\Delta T_m(x)dx$$

Da cui, separando le variabili si ottiene:

$$\frac{d\Delta T(x)}{\Delta T(x)} = -\frac{hP}{wc_p}dx$$

E quindi:

$$\int_{\Delta T_i}^{\Delta T}\frac{d\Delta T(x)}{\Delta T(x)} = -\frac{hP}{wc}\int_0^x dx$$

La soluzione è pari a:

$$\ln\frac{\Delta T}{\Delta T_i} = -\frac{hP}{wc}x$$

Da cui si ricava che l'andamento della differenza tra la temperatura di parete e la temperatura del fluido lungo la coordinata x è esponenziale decrescente e tende a zero per una lunghezza L infinita della tubazione.

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_i} = -\frac{T_p - T_m(x)}{T_p - T_{m,i}} = e^{-\frac{Ph}{wc_p}x}$$

Alla lunghezza L finita dunque il fluido uscirà con una temperatura di uscita T_u prossima ma comunque inferiore alla temperatura di parete

La precedente equazione è valida per il moto completamente sviluppato. Si potrebbe dimostrare che questa è valida anche nelle condizioni d'imbocco con l'unica avvertenza di utilizzare il coefficiente convettivo medio.

Considerato inoltre che

$$dq_{conv} = wdi_x = wc_p dT_m(x)$$

Intergrado tra l'ingresso *i* e l'uscita *u* della tubazione lunga L si ottiene il calore complessivamente scambiato o meglio trasferito all'olio lungo tutta la coordinata x della tubazione:

$$q_{conv} = wc_p(T_{m,u} - T_{m,i})$$

Sommando e sottraendo la Tp e ricordando che per definizione $\Delta T_m(x) = T_p - T_m(x)$ si ottiene:

$$q_{conv} = wc_p\left[\left(T_p - T_{m,i}\right) - \left(T_p - T_{m,i}\right)\right] = wc_p\left(\Delta T_i - \Delta T_u\right)$$

Ovvero

$$q_{conv} = wc_p\left(\Delta T_i - \Delta T_u\right)$$

Integrando l'equazione $\int_{\Delta T_i}^{\Delta T} \frac{d\Delta T(x)}{\Delta T(x)} = -\frac{hP}{wc}\int_0^x dx$ tra ingresso *i* e uscita *u* della tubazione lunga L otteniamo

$$\ln\frac{\Delta T_u}{\Delta T_i} = -\frac{hP}{wc}L$$

Risolvendo per wc_p otteniamo:

$$wc_p = -\frac{hP}{\ln\frac{\Delta T_u}{\Delta T_i}}L$$

Sostituendo infine il valore trovato nella equazione

$$q_{conv} = wc_p\left(\Delta T_i - \Delta T_u\right)$$

otteniamo

$$q_{conv} = \frac{PLh\left(\Delta T_u - \Delta T_i\right)}{\ln\frac{\Delta T_u}{\Delta T_i}} = A_s h \Delta T_{ml}$$

Dove A_s è l'area totale di scambio termico pari a P·L lungo tutta la condotta e ΔTlm è la differenza di temperatura media logaritmica definita come:

$$\Delta T_{ml} = \frac{\left(\Delta T_u - \Delta T_i\right)}{\ln\frac{\Delta T_u}{\Delta T_i}}$$

Dunque il calore totale ceduto al fluido lungo la coordinata x della tubazione di lunghezza L sarà

$$q_{conv} = A_s h \Delta T_{ml}$$

È utile per i successivi calcoli esplicitare la temperatura di parete in funzione della differenza di temperatura media logaritmica ΔTlm

Dalla definizione di ΔTlm risolvendo per Tp otteniamo:

$$t_p = \frac{t_u - t_i\left(e^{\frac{T_i - T_u}{\Delta tlm}}\right)}{1 - \left(e^{\frac{T_i - T_u}{\Delta tlm}}\right)}$$

La trattazione generale del processo di trasferimento di calore in una tubazione di lunghezza L e superficie laterale di scambio A_s in regime stazionario con flusso di calore costante e temperatura di parete costante è una buona modellazione matematica che ci consente dunque di trattare il caso specifico del ricevitore applicando le equazioni sin ora ricavate.

In definitiva, supponendo nel caso del ricevitore costante il flusso termico, la temperatura di parete, e ponendo h= h_{oil} coefficiente convettivo per l'olio utilizzato cosi da progetto possiamo scrivere:

$$Q_{oil} = h_{oil} A_s \Delta tlm$$

Dove Q_{oil} è flusso di calore o potenza termica trasferita all'olio che possiamo calcolare dal bilancio macroscopico sul sistema.

Dunque risolvendo per Δtlm otteniamo:

$$\Delta tlm = \frac{Q_{oil}}{h_{oil} A_s}$$

E quindi, nota Q_{oil}, noto h_{oil} nota la superficie di scambio A_s del ricevitore pari a 75000 mm² utilizzando la precedente equazione possiamo calcolare la differenza di temperatura media logaritmica .

Da un semplice bilancio entalpico tra ingresso e uscita in regime stazionario inoltre deve essere:

$$Q_{oil} = w_{oil} c_{oil} (T_u - T_i)$$

Dove

c_{oil} è il calore specifico dell'olio

w_{oil} è la portata in massa dell'olio nella tubazione pari a

$$w_{oil} = v_{oil} \delta_{oil} \pi r^2$$

v_{oil} è la velocità dell'olio nella tubazione

δ_{oil} è la densità dell'olio nella tubazione

r è il raggio della tubazione

Dunque risolvendo per T_u otteniamo

$$T_u = \frac{Q_{oil}}{w_{oil} c_{oil}} + T_i$$

Come si può notare, rimangono da calcolare il valore del coefficiente h_{oil} che dipendente dalle caratteristiche di moto e di stato del fluido e la energia trasferita Q_{oil}.

Per il calcolo è necessario definire:

Il numero di Reynolds come il rapporto tra le forze d'inerzia e quelle viscose. Le prime sono uguali alla portata di massa per la velocità. Le seconde dipendono dal mezzo. In definitiva, questo valore determina se ci troviamo in flusso laminare o turbolento. La sua espressione vale:

$$\mathrm{Re} = \frac{\upsilon D}{\mu}$$

Dove:

D è il diametro equivalente della condotta.

υ è la velocità in m/s;

μ_c è la viscosità cinematica del fluido definita come μ_d/ρ ovvero viscosità dinamica /densità.

Il Numero di Prandtl che rappresenta la misura dell'efficacia del trasporto di quantità di moto nello strato limite dinamico rispetto a quella della diffusione dell'energia nello strato limite termico.

La sua espressione vale:

$$\mathrm{Pr} = \frac{\mu_d c}{k}$$

Dove:

c è il calore specifico del fluido

k è il coefficiente di conduzione del fluido.

μ_d è la viscosità dinamica del fluido definita come il prodotto della viscosità cinematica per la densità.

Il Numero di Nusselt che è un numero adimensionale che esprime il rapporto tra il flusso di calore scambiato per convezione e il flusso di calore scambiato per conduzione.

La sua espressione vale:

$$Nu = \frac{h_{oil} d}{k}$$

Dove:

d è diametro equivalente della condotta pari a 2 r;

k è il coefficiente di conduzione del fluido.

h_{oil} è il coefficiente di convezione dell'olio calcolato alla temperatura T di lavoro ovvero alla temperatura media tra l'ingresso e l'uscita dell'olio nel ricevitore.

Se ci troviamo in condizioni di moto turbolento, dall'analisi adimensionale e dal teorema di Il teorema di Buckingham la seguente correlazione semiempirica valida per numeri di Reynolds superiori a 2500 :

$$Nu_D = 0{,}023 \mathrm{Re}_D^{0.8} \mathrm{Pr}^{0.3}$$

da cui si ottiene che:

$$h_{oil} = \frac{k\left(0{,}023 \mathrm{Re}_D^{0.8} \mathrm{Pr}^{0.3}\right)}{d}$$

Per calcolare h_{oil} dunque basta calcolare Re e Pr alle condizioni di lavoro (temperatura media del fluido tra ingresso e uscita del ricevitore).

A questo punto resta tuttavia da calcolare la quantità di energia teoricamente trasferibile al fluido. Per effettuare questa stima consideriamo l'equilibrio energetico macroscopico dell'intero sistema ricevitore.

Nella fattispecie in regime stazionario avremo che:

$$E_{oil} = E_{sole} - E_{cv} - E_{irr} - E_{rifl}$$

Dove:

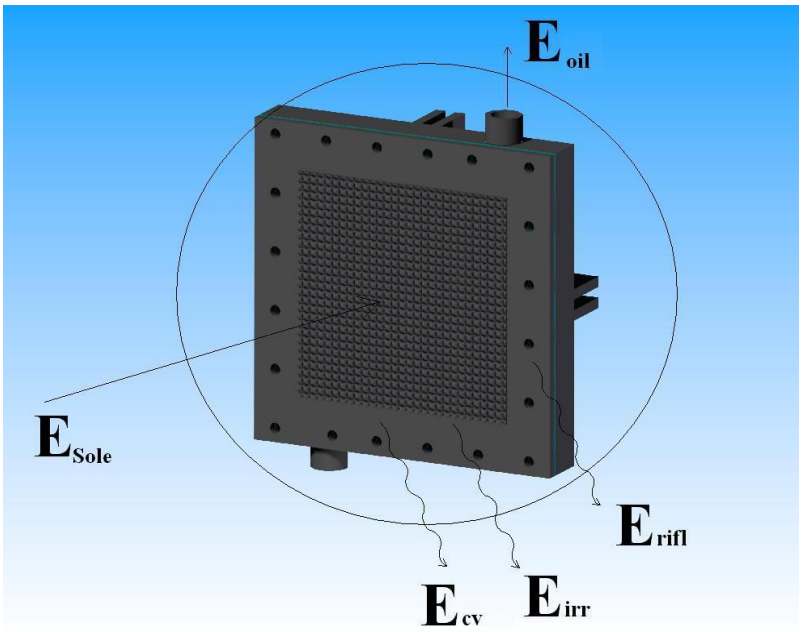
E_{oil} è l'energia trasferita all'olio in uscita nell'intervallo di tempo Δt pari a $Q_{oil}\Delta t$;

E_{sole} è l'energia solare in ingresso concentrata sul ricevitore pari alla radiazione solare E_{rad} che irradia il collettore per il rendimento di riflessione η_{rifl} di quest'ultima nell'intervallo di tempo Δt ;

E_{cv} è l'energia che il ricevitore scambia con l'ambiente in un intervallo di tempo Δt per effetto della convezione naturale o forzata (vento) generata dalla differenza tra la temperatura di parete e la temperatura ambiente esterna calcolata dalla legge di Newton ;

E_{irr} è l'energia scambiata con l'ambiente o meglio emessa dal ricevitore per irraggiamento in un intervallo di tempo Δt calcolata dalla legge di di Stefan – Boltzmann.

E_{rifl} è l'energia riflessa dal ricevitore, quota parte attraverso il coefficiente di riflettanza e rendimento di riflessione del collettore, dell'energia solare che irradia il collettore.



Esplicitando l'uguaglianza considerando l'intervallo di tempo Δt si ottiene:

$$Q_{oil}\Delta t = E_{rad}A_{co}\eta_{rifl}\Delta t + h_{air}A_e(T_p - T_a)\Delta t + \sigma A_e(T_p^4 - T_a^4)\Delta t + E_{rad}A_{co}\eta_{rif}k_a\Delta t$$

Dove:

- A_{co} è la superficie captante del collettore espressa in m². Nel nostro caso pari a 10 m²;
- A_e è la superficie della parete esposta del ricevitore espressa in m². Nel nostro caso pari a 0,033m² ;
- η_{rifl} è rendimento del collettore riguardo la riflessione. Come visto nel precedente paragrafo 5.2 pari a 0,83;

- T_p è la temperatura di parete espressa in °C. Nel nostro caso, la massima consentita dal produttore dell'oilo è 350°C;
- T_a è la temperatura ambiente espressa in °C, fissata per lo studio a 20°C;
- σ è la costante di Bolzman pari a $5{,}67 \cdot 10^{-8}$ [W/m^4K^4];
- k_a è la riflettenza del ricevitore in acciaio imbrunito pari a circa 0,1;
- E_{rad} Δt è l'energia della radiazione solare ottenuta considerando la potenza irradiante diretta E_{rad} espressa in [W/m²] per l'intervallo di tempo. Questa variabile cambia durante la giornata e per i calcoli si è scelto di fare riferimento a quattro giornate tipo dei quattro mesi rappresentativi delle stagioni. Di seguito la tabella esplicativa:

TABELLA RADIAZIONE INSEGUITORE 2 ASSI				
Ora	MAR	GIU	SET	DIC
	(W/m²)			
5.00	0	246	0	0
6.00	232	483	239	0
7.00	578	623	505	178
8.00	730	707	652	594
9.00	808	755	733	753
10.00	846	784	777	825
11.00	863	796	797	855
12.00	863	796	797	855
13.00	846	784	777	825
14.00	808	755	733	753
15.00	730	707	652	594
16.00	578	623	505	178
17.00	232	483	239	0
18.00	0	246	0	0
19.00	0	0	0	0

Nei calcoli prestazionali considereremo il valore di radiazione massimo ottenibile nella giornata tipo del mese di marzo, ovvero E_{rad} pari a 900 W/m² circa,

- hair è il coefficiente di convezione dell'aria. Tale valore, è dipendente dalla temperatura di parete e dal moto dell'aria. Per effettuare i calcoli di rendimento in sicurezza ovvero in difetto, è stato utilizzato un valore reputato cautelativo. In

particolare, dalle due tabelle seguenti sono stati estrapolati i valori di h per una temperatura di parete massima pari a 350°C (si avrà sicuramente una perdita minore in quanto si lavora sempre al di sotto di essa) e per una velocità del vento media di 10 m/s (anche questa cautelativa in quanto valore medio risultante). Il valore scelto è pari a 25 [W/mK].

fferenza tempe-atura $t_p - t_a$ in °C	Coefficiente di convezione* per tubazioni orizzontali in aria tranquilla, del diametro esterno di m												Pareti orizzontali		Tubi e pareti verticali	
	0,05		0,1		0,2		0,3		0,5		0,7					
	kcal/m² h°C	W/m²K	kcal/m² h°C	W/m²K	kcal/m² h°C	W/m²K	kcal/m² h°C	W/m²K	kcal/m² h°C	W/m²K	kcal/m² h°C	W/m²K	kcal/m² h°C	W/m²K	kcal/m² h°C	W/m²K
5	3,2	3,7	(2,7)	(3,1)	(2,3)	(2,6)	(2,1)	(2,4)	(1,8)	(2,0)	(1,7)	(1,9)	4,2	4,8	3,4	3,9
10	3,8	4,4	3,2	3,7	(2,9)	(3,3)	(2,5)	(2,9)	(2,2)	(2,5)	(2)	(2,3)	5	5,8	3,9	4,5
20	4,4	5,1	3,7	4,2	3,2	3,7	(2,8)	(3,2)	(2,5)	(2,9)	(2,3)	(2,6)	5,9	6,8	4,7	5,4
40	5,4	6,2	4,5	5,2	3,8	4,4	3,4	3,9	3	3,4	(2,8)	(3,2)	7	8,1	5,5	6,3
60	6	6,9	5	5,8	4,2	4,8	3,8	4,4	3,4	3,9	3,1	3,6	7,8	9,0	6,1	7,0
80	6,4	7,4	5,4	6,2	4,6	5,3	4,1	4,7	3,6	4,1	3,3	3,8	8,4	9,7	6,5	7,5
100	6,8	7,8	5,7	6,6	4,8	5,5	4,4	5,1	3,8	4,4	3,5	4,0	8,9	10,3	7	8,1
150	7,6	8,8	6,3	7,3	5,3	6,1	4,8	5,5	4,3	4,9	3,9	4,5	9,8	11,3	7,7	8,9
200	8,1	9,4	6,8	7,8	5,7	6,6	5,2	6,0	4,6	5,3	4,2	4,8	10,5	12,1	8,3	9,6
250	8,6	9,9	7,2	8,3	6,1	7,0	5,5	6,3	4,8	5,5	4,4	5,1	11,1	12,8	8,8	10,2
300	9	10,4	7,6	8,8	6,3	7,3	5,7	6,6	5,1	5,9	4,6	5,3	11,7	[illegible]	[illegible]	10,6
350	9,3	10,7	7,9	9,1	6,6	7,6	6	6,9	5,3	6,1	4,8	5,5	12,[illegible]	14,0	9,5	11,0
400	9,6	11,1	8,1	9,4	6,8	7,8	6,2	7,1	5,4	6,2	5	5,8	12,[illegible]	14,5	9,8	11,3
450	9,9	11,4	8,4	9,7	7	8,1	6,3	7,3	5,6	6,5	5,2	6,0	12,9	14,9	10,[illegible]	11,7
500	10,2	11,8	8,6	9,9	7,2	8,3	6,5	7,5	5,7	6,6	5,3	6,1	13,2	15,3	10,4	12,0

Diametro esterno della tubazione in m	Coefficiente di convezione per tubazioni esposte all'aria libera, alla velocità di m/s									
	1		2		5		10		25	
	kcal/m² h°C	W/m²K	kcal/m² h°C	W/m²K	kcal/m² h°C	W/m²K	kcal/m² h°C	W/m²K	kcal/m² h°C	W/m²K
0,026	17,9	20,8	24,5	28,4	39,8	46,2	63,0	73,1	115,0	133,4
0,052	11,9	13,8	17,4	20,2	31,0	36,0	50,0	58,0	93,0	107,9
0,076	9,9	11,5	15,0	17,4	27,3	31,7	43,8	50,8	83,0	96,3
0,102	8,8	10,2	13,5	15,7	24,8	28,8	40,2	46,6	76,0	88,2
0,152	7,5	8,7	11,7	13,6	21,9	25,4	35,5	41,2	68,0	78,9
0,203	6,8	7,9	10,7	12,4	20,1	23,3	32,6	37,8	63,0	73,1
0,300	5,7	6,6	9,1	10,6	17,3	20,1	28,1	32,6	55,0	63,8
0,500	4,9	5,7	7,9	9,2	14,9	17,3	24,3	28,2	47,4	55,0
0,700	4,3	5,0	7,1	8,2	13,3	15,4	21,9	[illegible]	42,7	49,5
pareti piane	4,3	5,0	7,1	8,2	13,3	15,4	21,9	25,4	42,7	49,5

Dalla precedente relazione eliminando ovunque l'intervallo di tempo Δt si ottiene :

$$Q_{oil} = E_{rad} A_{co} \eta_{rifl} + h_{air} A_e (T_p - T_a) + \sigma A_e (T_p^4 - T_a^4) + E_{rad} A_{co} \eta_{rif} k_a$$

Dunque si può calcolare per ogni valore di energia solare incidente, il flusso termico equivalente teorico Q_{oil} trasferito all'olio, a meno delle perdite noti che siano la temperatura di parete e la radiazione solare.

Risolvendo dunque le il sistema di equazioni

$$Q_{oil} = E_{rad} A_{co} \eta_{rifl} + h_{air} A_e (T_p - T_a) + \sigma A_e (T_p^4 - T_a^4) + E_{rad} A_{co} \eta_{rif} k_a$$

$$\Delta tlm = \frac{Q_{oil}}{h_{oil} A_s} \qquad T_u = \frac{Q_{oil}}{w_{oil} c_{oil}} + T_i \qquad T_p = \frac{T_u - T_i \left(e^{\frac{T_i - T_u}{\Delta tlm}} \right)}{1 - \left(e^{\frac{T_i - T_u}{\Delta tlm}} \right)}$$

Tenuto conto che è

$$h_{oil} = \frac{k\left(0{,}023 \mathrm{Re}_D^{0.8} \mathrm{Pr}^{0.3}\right)}{2 \cdot r} \qquad \mathrm{Pr} = \frac{\mu_{oil} c_{oil}}{k_{oil}} \qquad \mathrm{Re} = \frac{v \cdot \delta_{oil} \cdot 2 \cdot r}{\mu_{oil}} \qquad w_{oil} = v_{oil} \delta_{oil} \pi \cdot r^2$$

E considerando che nel caso specifico risultano

A_{co} pari a 10 m², A_s pari a 0.075 m² A_e pari a 0,033 m² , η_{rifl} è pari a 0,83, T_a posta pari a 20°C, σ pari a 5,67 • 10^{-8} W/m^{4}K^4 , k_a pari a circa 0,1, h_{air} pari a 25 W/mK , r pari a 7,5 m , E_{rad} pari a 900 W/m²

possiamo calcolare la temperatura di parete Tp, la temperatura di uscita dell'olio Tu, il calore scambiato Q_{oil} al variare delle condizioni di lavoro ovvero Ti e v.

Nei calcoli tuttavia bisogna, comunque fare riferimento ai parametri caratteristici dell'olio ovvero capacità termica , viscosità, conducibilità e densità che variano in relazione alla temperatura di lavoro definita come temperatura media tra ingresso e uscita dell'olio nel ricevitore. La tabella di riferimento fornita dal produttore dell'olio diatermico utilizzato è la seguente:

Temperature ℃	Kinamatic viscosity mm²/s	Density g/cm³	Specific heat capacity kJ/kgK	Thermal conductivity W/mK	Vapour pressure mbar	Prandtl number
0	352	0,885	1,81	0,134		4198
20	88,8	0,872	1,88	0,133		1099
40	32,6	0,859	1,96	0,131		417
50	21,8	0,853	1,99	0,131		284
100	5,4	0,820	2,17	0,127	0,01	76
150	2,4	0,786	2,36	0,123	0,3	36
200	1,39	0,752	2,54	0,120	2,9	22,2
250	0,93	0,716	2,72	0,116	19,8	15,7
300	0,68	0,680	2,90	0,112	97	12,0
310	0,64	0,673	2,94	0,112	129	11,4
330	0,58	0,658	3,01	0,110	221	10,4

Infine definiamo rendimento di conversione **η** il rapporto tra l'energia del sole E_{sole} e l'energia trasferita all'olio E_{olio}

$$\eta = \frac{E_{oil}}{E_{sole}} = \frac{Q_{oil}\Delta t}{E_{rad}\Delta t} = \frac{Q_{oil}}{E_{rad}}$$

A questo punto è possibile ricavare le curve caratteristiche di funzionamento e energetiche prestazionali

Tu vs Ti

Tp vs Ti

η vs Ti

a diverse possibili velocità del fluido prodotte dalla pompa scelta costruendo le seguenti tabelle di calcolo e diagrammando i valori ottenuti:

SETUP DI SISTEMA							VAR USCITA		CARATT. CHIMICO FISICHE ALLA TEMP. DI LAV.						CARATTERISTICHE FLUIDODINAMICHE											BILANCIO ENERGETICO						
velocità fluido	temperatura ambiente	portata	temperatura ingresso olio	Diametro equivalente condotta	Area scambio esterna	Area scambio termico	Temperatura di parete calcolata	Temperatura uscita olio	Temperatura di lavoro media	densità olio	Viscosità dinamica	Viscosità cinematica	Conduttività termica	Calore specifico olio	Numero di Reynolds	Numero di Prandtl	Numero di Nudssel	coeff h dell'olio	coeff h dell'aria	Delta temperatura ingresso	Delta temperatura uscita	Delta temperatura	Delta logaritmico	Radiazione solare	Raggio parabola	Energia sole	Energia sul ricevitore	Energia olio	Energia irraggiamento	Energia convezione aria	Energia riflessa ricevitore	Rendimento
v	t_a	W	t_i	$D\ eq$	Ae	As	t_p	t_u	t_m	ρ	μ_d	μ_c	k	C_p	R_e	Pr	Nu_D	h	h_{air}	Δti	ΔT_u	ΔT	ΔT_{ml}	E_{rad}	D_p	E_{sole}	E_{sole}	E_0	E_{irr}	E_{cvair}	E_{rifl}	η
[m/s]	[°C]	[kg/s]	[°C]	[m]	[m²]	[m²]	[°C]	[°C]	[°C]	[g / cm³]	[mm² / s]	[g / mm s]	[W/ m °K]	[kJ / kg K]				[W/ m² °K]	[W/ m °K]	[°C]	[°C]	[°C]	k	[W/m²]	[m]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]		
1,0	20	0,15	20	0,015	0,033	0,075	586	38,0	29	0,872	77,43	88,80	0,133	1,88	169	1094,55	14,02	124,33	25,00	566	548	18,0	557	900	1,78	8.989	7.461	5.222	-1.019	-474	-746	58,1%
1,0	20	0,15	40	0,015	0,033	0,075	442	59,8	50	0,859	28,00	32,60	0,131	1,96	460	418,98	22,77	198,85	25,00	402	382	19,8	392	900	1,78	8.989	7.461	5.879	-482	-353	-746	65,4%
1,0	20	0,15	50	0,015	0,033	0,075	393	70,1	60	0,853	18,60	21,80	0,131	1,99	688	282,48	27,58	240,90	25,00	343	323	20,1	333	900	1,78	8.989	7.461	6.044	-359	-312	-746	67,2%
1,0	20	0,14	100	0,015	0,033	0,075	291	120,1	110	0,82	4,43	5,40	0,127	2,17	2.778	75,66	54,54	461,77	25,00	191	171	20,1	181	900	1,78	8.989	7.461	6.309	-179	-227	-746	70,2%
1,0	20	0,14	150	0,015	0,033	0,075	285	169,3	160	0,786	1,89	2,40	0,123	2,36	6.250	36,19	81,81	670,81	25,00	135	116	19,3	125	900	1,78	8.989	7.461	6.323	-170	-222	-746	70,3%
1,0	20	0,13	200	0,015	0,033	0,075	306	218,6	209	0,752	1,05	1,39	0,120	2,54	10.791	22,13	107,65	861,17	25,00	106	88	18,6	97	900	1,78	8.989	7.461	6.275	-200	-240	-746	69,8%
1,0	20	0,13	250	0,015	0,033	0,075	340	268,0	259	0,716	0,67	0,93	0,116	2,72	16.129	15,61	132,33	1023,38	25,00	90	72	18,0	80	900	1,78	8.989	7.461	6.194	-253	-268	-746	68,9%
1,0	20	0,12	300	0,015	0,033	0,075	378	317,5	309	0,68	0,46	0,68	0,112	2,90	22.059	11,97	155,74	1162,86	25,00	78	61	17,5	69	900	1,78	8.989	7.461	6.086	-328	-300	-746	67,7%

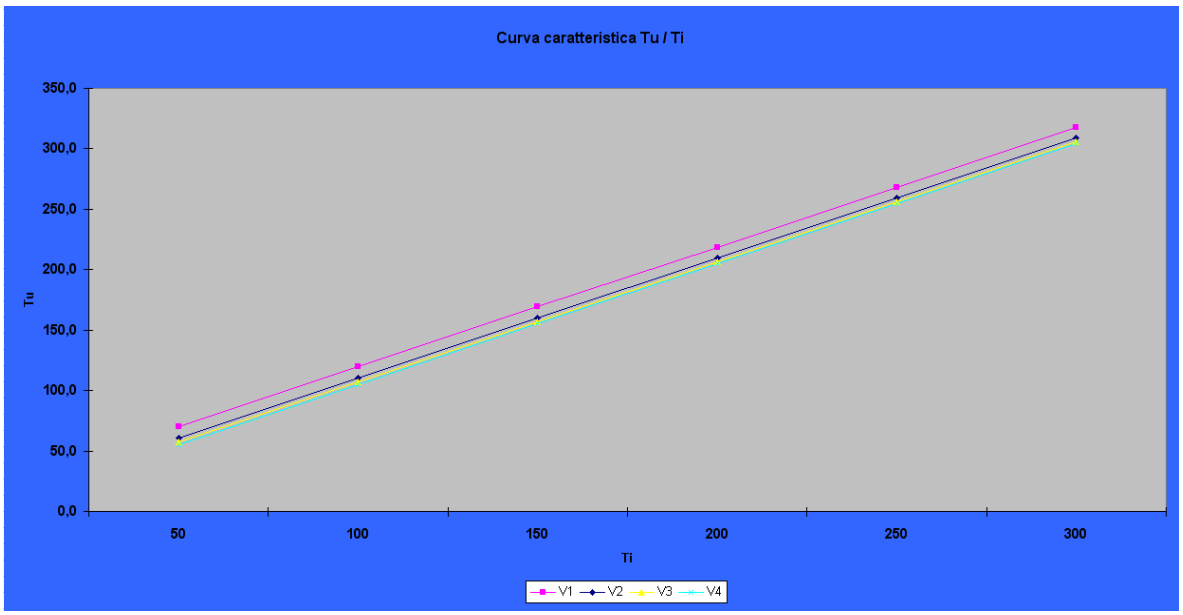
SETUP DI SISTEMA							VAR USCITA		CARATT. CHIMICO FISICHE ALLA TEMP. DI LAV.						CARATTERISTICHE FLUIDODINAMICHE											BILANCIO ENERGETICO						
velocità fluido	temperatura ambiente	portata	temperatura ingresso olio	Diametro equivalente condotta	Area scambio esterna	Area scambio termico	Temperatura di parete calcolata	Temperatura uscita olio	Temperatura di lavoro media	densità olio	Viscosità dinamica	Viscosità cinematica	Conduttività termica	Calore specifico olio	Numero di Reynolds	Numero di Prandtl	Numero di Nudssel	coeff h dell'olio	coeff h dell'aria	Delta temperatura ingresso	Delta temperatura uscita	Delta temperatura	Delta logaritmico	Radiazione solare	Raggio parabola	Energia sole	Energia sul ricevitore	Energia olio	Energia irraggiamento	Energia convezione aria	Energia riflessa ricevitore	Rendimento
v	t_a	W	t_i	$D\ eq$	Ae	As	t_p	t_u	t_m	ρ	μ_d	μ_c	k	C_p	R_e	Pr	Nu_D	h	h_{air}	Δti	ΔT_u	ΔT	ΔT_{ml}	E_{rad}	D_p	E_{sole}	E_{sole}	E_0	E_{irr}	E_{cvair}	E_{rifl}	η
[m/s]	[°C]	[kg/s]	[°C]	[m]	[m²]	[m²]	[°C]	[°C]	[°C]	[g / cm³]	[mm² / s]	[g / mm s]	[W/ m °K]	[kJ / kg K]				[W/ m² °K]	[W/ m °K]	[°C]	[°C]	[°C]	k	[W/m²]	[m]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]		
2,0	20	0,31	20	0,015	0,033	0,075	395	30,4	25	0,872	77,43	88,80	0,133	1,88	338	1094,55	24,41	216,47	25,00	375	364	10,4	370	900	1,78	8.989	7.461	6.037	-364	-314	-746	67,2%
2,0	20	0,30	40	0,015	0,033	0,075	287	50,6	45	0,859	28,00	32,60	0,131	1,96	920	418,98	39,64	346,22	25,00	247	237	10,6	242	900	1,78	8.989	7.461	6.318	-173	-224	-746	70,3%
2,0	20	0,30	50	0,015	0,033	0,075	257	60,6	55	0,853	18,60	21,80	0,131	1,99	1.376	282,48	48,03	419,44	25,00	207	196	10,6	202	900	1,78	8.989	7.461	6.380	-136	-198	-746	71,0%
2,0	20	0,29	100	0,015	0,033	0,075	212	110,3	105	0,82	4,43	5,40	0,127	2,17	5.556	75,66	94,96	803,98	25,00	112	102	10,3	107	900	1,78	8.989	7.461	6.463	-91	-161	-746	71,9%
2,0	20	0,28	150	0,015	0,033	0,075	228	159,8	155	0,786	1,89	2,40	0,123	2,36	12.500	36,19	142,43	1167,94	25,00	78	68	9,8	73	900	1,78	8.989	7.461	6.435	-106	-174	-746	71,6%
2,0	20	0,27	200	0,015	0,033	0,075	261	209,4	205	0,752	1,05	1,39	0,120	2,54	21.583	22,13	187,42	1499,39	25,00	61	52	9,4	56	900	1,78	8.989	7.461	6.372	-141	-202	-746	70,9%
2,0	20	0,25	250	0,015	0,033	0,075	301	259,1	255	0,716	0,67	0,93	0,116	2,72	32.258	15,61	230,41	1781,81	25,00	51	42	9,1	47	900	1,78	8.989	7.461	6.286	-193	-236	-746	69,9%
2,0	20	0,24	300	0,015	0,033	0,075	345	308,9	304	0,68	0,46	0,68	0,112	2,90	44.118	11,97	271,16	2024,65	25,00	45	36	8,9	40	900	1,78	8.989	7.461	6.179	-263	-272	-746	68,7%

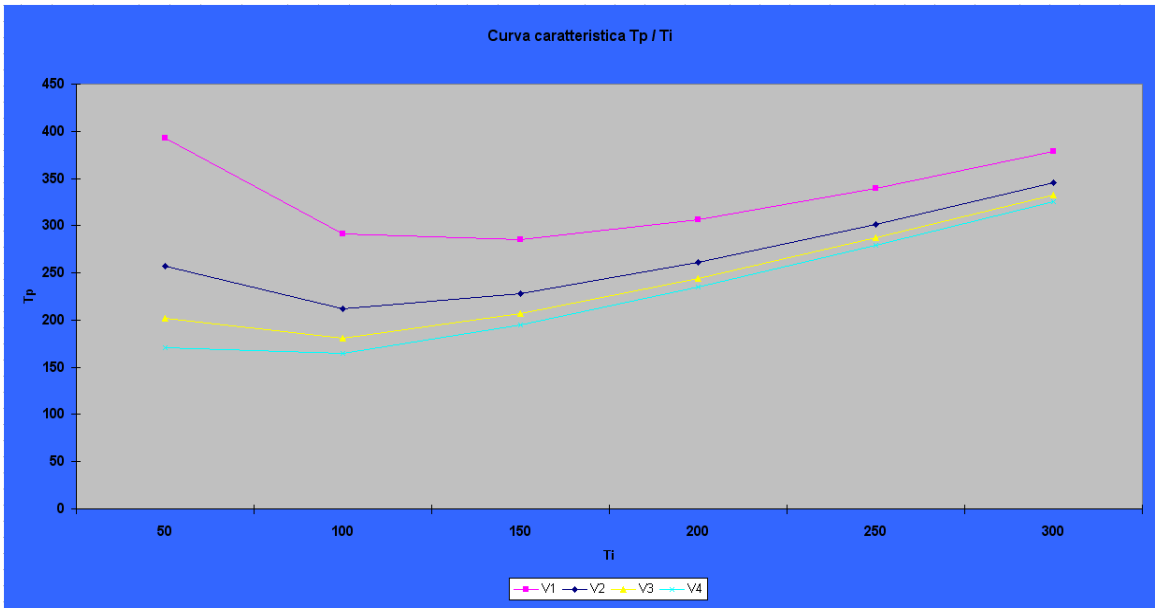
SETUP DI SISTEMA							VAR USCITA		CARATT. CHIMICO FISICHE ALLA TEMP. DI LAV.						CARATTERISTICHE FLUIDODINAMICHE											BILANCIO ENERGETICO						
velocità fluido	temperatura ambiente	portata	temperatura ingresso olio	Diametro equivalente condotta	Area scambio esterna	Area scambio termico	Temperatura di parete calcolata	Temperatura uscita olio	Temperatura di lavoro media	densità olio	Viscosità dinamica	Viscosità cinematica	Conduttività termica	Calore specifico olio	Numero di Reynolds	Numero di Prandtl	Numero di Nudssel	coeff h dell'olio	coeff h dell'aria	Delta temperatura ingresso	Delta temperatura uscita	Delta temperatura	Delta logaritmico	Radiazione solare	Raggio parabola	Energia sole	Energia sul ricevitore	Energia olio	Energia irraggiamento	Energia convezione aria	Energia riflessa ricevitore	Rendimento
v	t_a	W	t_i	$D\ eq$	Ae	As	t_p	t_u	t_m	ρ	μ_d	μ_c	k	C_p	R_e	Pr	Nu_D	h	h_{air}	Δti	ΔT_u	ΔT	ΔT_{ml}	E_{rad}	D_p	E_{sole}	E_{sole}	E_0	E_{irr}	E_{cvair}	E_{rifl}	η
[m/s]	[°C]	[kg/s]	[°C]	[m]	[m²]	[m²]	[°C]	[°C]	[°C]	[g / cm³]	[mm² / s]	[g / mm s]	[W/ m °K]	[kJ / kg K]				[W/ m² °K]	[W/ m °K]	[°C]	[°C]	[°C]	k	[W/m²]	[m]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]		
3,0	20	0,46	20	0,015	0,033	0,075	302	27,2	24	0,872	77,43	88,80	0,133	1,88	507	1094,55	33,77	299,42	25,00	282	275	7,2	278	900	1,78	8.989	7.461	6.285	-193	-236	-746	69,9%
3,0	20	0,46	40	0,015	0,033	0,075	222	47,2	44	0,859	28,00	32,60	0,131	1,96	1.380	418,98	54,83	478,88	25,00	182	175	7,2	178	900	1,78	8.989	7.461	6.445	-100	-169	-746	71,7%
3,0	20	0,45	50	0,015	0,033	0,075	202	57,2	54	0,853	18,60	21,80	0,131	1,99	2.064	282,48	66,43	580,15	25,00	152	144	7,2	148	900	1,78	8.989	7.461	6.480	-82	-152	-746	72,1%
3,0	20	0,43	100	0,015	0,033	0,075	181	106,9	103	0,82	4,43	5,40	0,127	2,17	8.333	75,66	131,34	1112,04	25,00	81	74	6,9	78	900	1,78	8.989	7.461	6.513	-67	-135	-746	72,5%
3,0	20	0,42	150	0,015	0,033	0,075	206	156,6	153	0,786	1,89	2,40	0,123	2,36	18.750	36,19	197,01	1615,45	25,00	56	50	6,6	53	900	1,78	8.989	7.461	6.472	-86	-156	-746	72,0%
3,0	20	0,40	200	0,015	0,033	0,075	244	206,3	203	0,752	1,05	1,39	0,120	2,54	32.374	22,13	259,24	2073,90	25,00	44	38	6,3	41	900	1,78	8.989	7.461	6.405	-122	-188	-746	71,3%
3,0	20	0,38	250	0,015	0,033	0,075	287	256,1	253	0,716	0,67	0,93	0,116	2,72	48.387	15,61	318,69	2464,54	25,00	37	31	6,1	34	900	1,78	8.989	7.461	6.318	-173	-224	-746	70,3%
3,0	20	0,36	300	0,015	0,033	0,075	332	305,9	303	0,68	0,46	0,68	0,112	2,90	66.176	11,97	375,06	2800,42	25,00	32	27	5,9	29	900	1,78	8.989	7.461	6.212	-241	-262	-746	69,1%

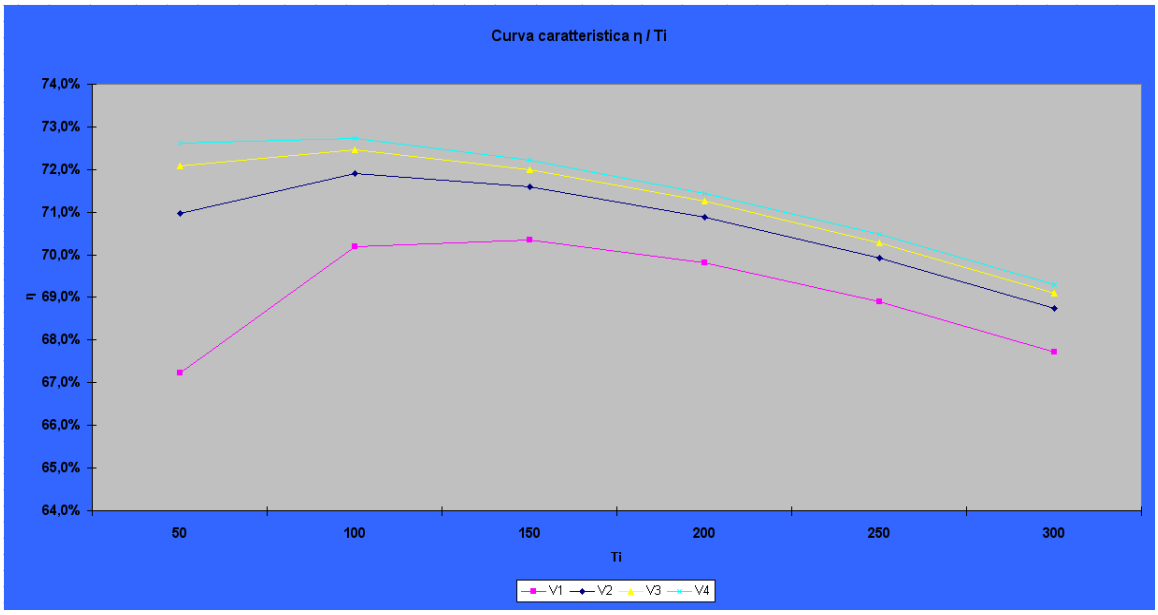
SETUP DI SISTEMA							VAR USCITA		CARATT. CHIMICO FISICHE ALLA TEMP. DI LAV.						CARATTERISTICHE FLUIDODINAMICHE											BILANCIO ENERGETICO						
velocità fluido	temperatura ambiente	portata	temperatura ingresso olio	Diametro equivalente condotta	Area scambio esterna	Area scambio termico	Temperatura di parete calcolata	Temperatura uscita olio	Temperatura di lavoro media	densità olio	Viscosità dinamica	Viscosità cinematica	Conduttività termica	Calore specifico olio	Numero di Reynolds	Numero di Prandtl	Numero di Nudssel	coeff h dell'olio	coeff h dell'aria	Delta temperatura ingresso	Delta temperatura uscita	Delta temperatura	Delta logaritmico	Radiazione solare	Raggio parabola	Energia sole	Energia sul ricevitore	Energia olio	Energia irraggiamento	Energia convezione aria	Energia riflessa ricevitore	Rendimento
v	t_a	W	t_i	$D\ eq$	Ae	As	t_p	t_u	t_m	ρ	μ_d	μ_c	k	C_p	R_e	Pr	Nu_D	h	h_{air}	Δti	ΔT_u	ΔT	ΔT_{ml}	E_{rad}	D_p	E_{sole}	E_{sole}	E_0	E_{irr}	E_{cvair}	E_{rifl}	η
[m/s]	[°C]	[kg/s]	[°C]	[m]	[m²]	[m²]	[°C]	[°C]	[°C]	[g / cm³]	[mm² / s]	[g / mm s]	[W/ m °K]	[kJ / kg K]				[W/ m² °K]	[W/ m °K]	[°C]	[°C]	[°C]	k	[W/m²]	[m]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]		
4,0	20	0,62	20	0,015	0,033	0,075	248	25,5	23	0,872	77,43	88,80	0,133	1,88	676	1094,55	42,51	376,90	25,00	228	222	5,5	225	900	1,78	8.989	7.461	6.398	-126	-191	-746	71,2%
4,0	20	0,61	40	0,015	0,033	0,075	186	45,5	43	0,859	28,00	32,60	0,131	1,96	1.840	418,98	69,02	602,81	25,00	146	140	5,5	143	900	1,78	8.989	7.461	6.506	-70	-139	-746	72,4%
4,0	20	0,60	50	0,015	0,033	0,075	171	55,4	53	0,853	18,60	21,80	0,131	1,99	2.752	282,48	83,62	730,28	25,00	121	116	5,4	118	900	1,78	8.989	7.461	6.528	-60	-127	-746	72,6%
4,0	20	0,58	100	0,015	0,033	0,075	165	105,2	103	0,82	4,43	5,40	0,127	2,17	11.111	75,66	165,33	1399,82	25,00	65	59	5,2	62	900	1,78	8.989	7.461	6.538	-56	-121	-746	72,7%
4,0	20	0,56	150	0,015	0,033	0,075	195	155,0	152	0,786	1,89	2,40	0,123	2,36	25.000	36,19	247,99	2033,50	25,00	45	40	5,0	42	900	1,78	8.989	7.461	6.491	-77	-146	-746	72,2%
4,0	20	0,53	200	0,015	0,033	0,075	235	204,8	202	0,752	1,05	1,39	0,120	2,54	43.165	22,13	326,32	2610,59	25,00	35	30	4,8	33	900	1,78	8.989	7.461	6.422	-113	-180	-746	71,4%
4,0	20	0,51	250	0,015	0,033	0,075	279	254,6	252	0,716	0,67	0,93	0,116	2,72	64.516	15,61	401,16	3102,32	25,00	29	25	4,6	27	900	1,78	8.989	7.461	6.334	-163	-217	-746	70,5%
4,0	20	0,48	300	0,015	0,033	0,075	326	304,5	302	0,68	0,46	0,68	0,112	2,90	88.235	11,97	472,11	3525,12	25,00	26	21	4,5	23	900	1,78	8.989	7.461	6.229	-230	-256	-746	69,3%

I risultati indicano chiaramente che è necessario preriscaldare il fluido fino alla temperatura di 50°C poiché il numero di Reynolds è inferiorie a 2000 e di conseguenza il moto del fluido alle basse temperature risulta del tipo laminare quindi con coefficienti di scambio h_{oil} estremamente bassi. Cio' implica che e, a velocità inferiore a 2 m/s, la temperatura di parete supera il limite consentito di 350 ˚C imposto dal tipo di olio utilizzato. Il preriscaldamento evita dunque che l'olio a a basse temperature di ingresso (inferiori a 50 ˚C) si deteriori.

In relazione a quest'ultima constatazione, nei seguenti grafici riportanti le curve caratteristiche Tu/Ti, Tp/ti e η/Ti il valore minimo della temperatura in ingresso del fluido sarà 50°C.





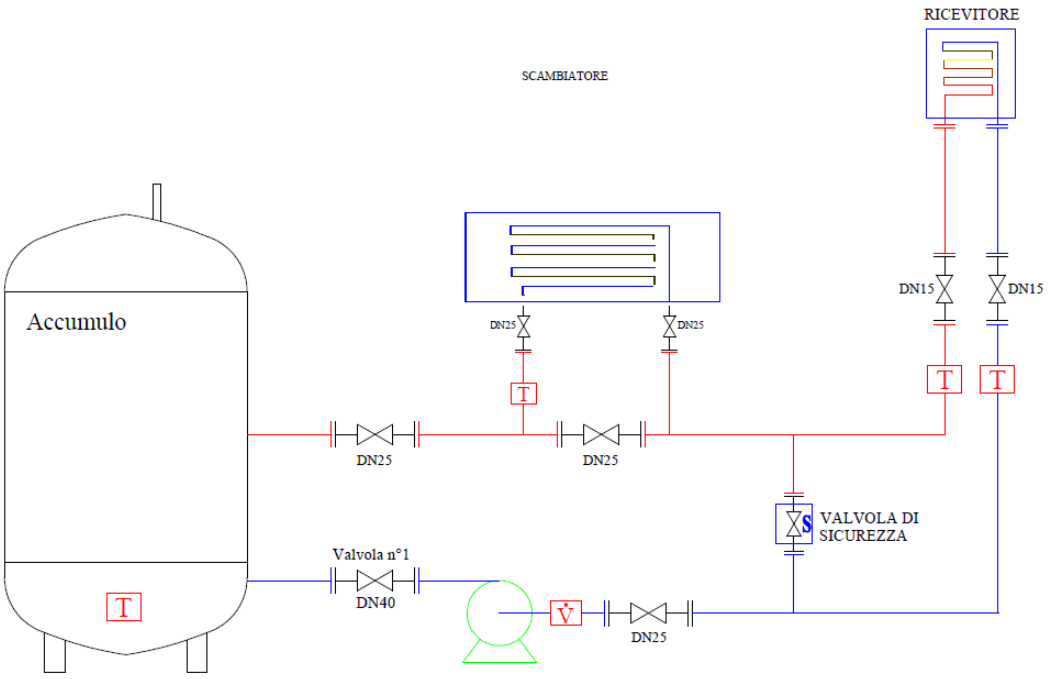


Le curve ottenute teoricamente rappresentano dunque le caratteristiche energetiche prestazionali del ricevitore e dovranno essere verificate sperimentalmente nel paragrafo 5.5

5.4 Il circuito a olio

Il fluido vettore, nel nostro caso olio diatermico, circola in un circuito idraulico chiuso. Come abbiamo visto, la temperatura massima dell'olio supera i 300°C per cui tutti gli elementi circuitali sono stati scelti tra quelli che possono lavorare con temperature nominali sino a 350 °C.

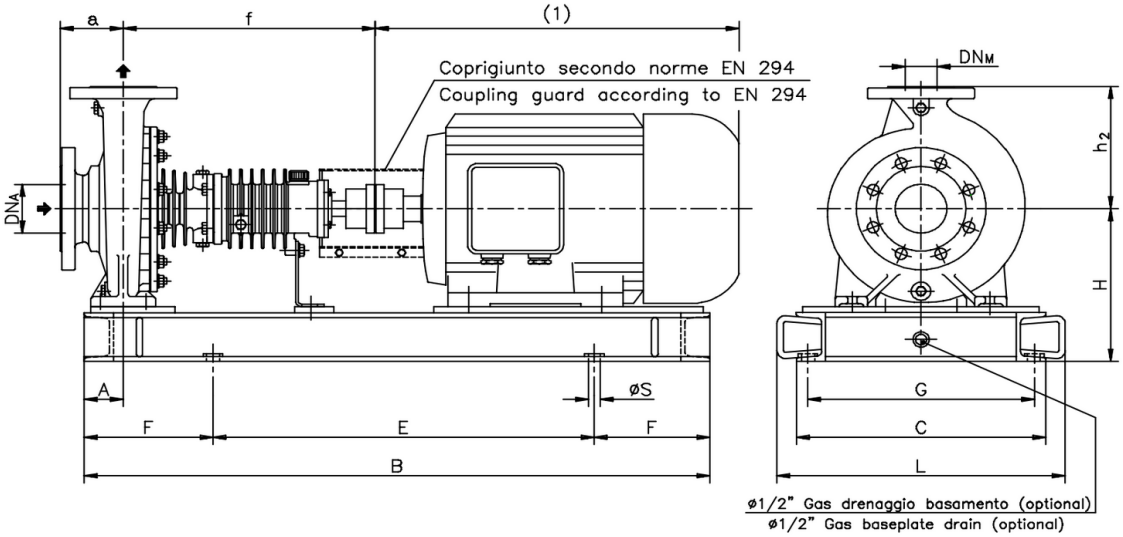
Di seguito, è riportato uno schema, che raffigura tutti gli elementi presenti:



In particolare, il circuito ad olio è composto:

- Da N°1 **Pompa centrifuga** monostadio con girante chiusa per olio diatermico, con giunto raffreddato ad aria. Completa di motore elettrico 400V 50Hz 3kW con corpo in ghisa sferoidale, bocca aspirazione DN40 PN16 e bocca di mandata DN25 PN16 Portata: 3 mc/h Prevalenza 43 m.c.l. (con olio a 0,7 kg/dm3 corrisponderanno approssimativamente a 3 Bar) T.max 350°C / P.max 6 bar

Questa è stata dotata di inverter per la regolazione manuale della velocità: Il modello scelto è il VF-S15 4037 PL-W (4 kw In=9,5 A a 50°C) Classe di protezione IP20 per installazione interna con tastierino di controllo remoto, cavo di rete e spine di rete RJ45. Le caratteristiche riportate di seguito sono da intendere per la girante da 175 (circa).

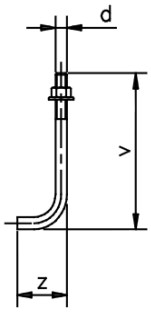


BASAMENTI
Base plates

N°	B	C	E	F	L	G	øS	N°fori *holes*
C01	800	320	500	150	380	280	18	4
C03	1000	385	600	200	445	345	18	4
C05	1200	420	800	200	480	380	18	4
C11	1350	500	950	200	570	452	18	4
C13	1650	640	1050	300	710	592	18	4

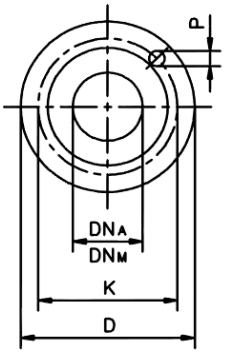
DIMENSIONI FLANGE
Flanges dimensions

DN_A-DN_M	D	K	P	N°fori *holes*
25	115	85	14	4
32	140	100	18	4
40	150	110	18	4
50	165	125	18	4
65	185	145	18	4
80	200	160	18	8
100	220	180	18	8
125	250	210	18	8



BULLONI DI FONDAZIONE
(OPTIONAL)
Foundation bolts

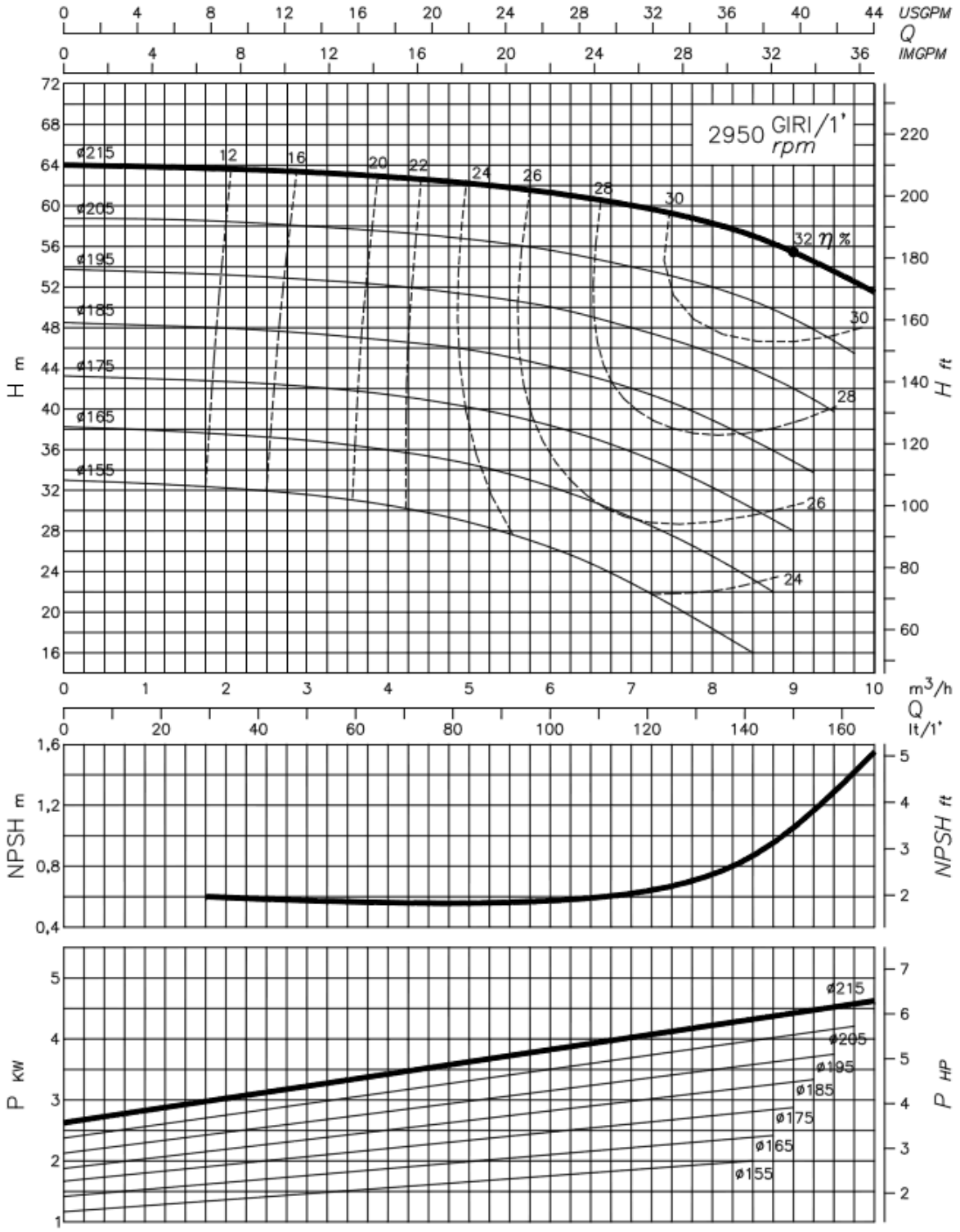
d	v	z
M14	280	50
M16	350	60
M20	400	80



MOTORI ELETTRICI
Electric Motors

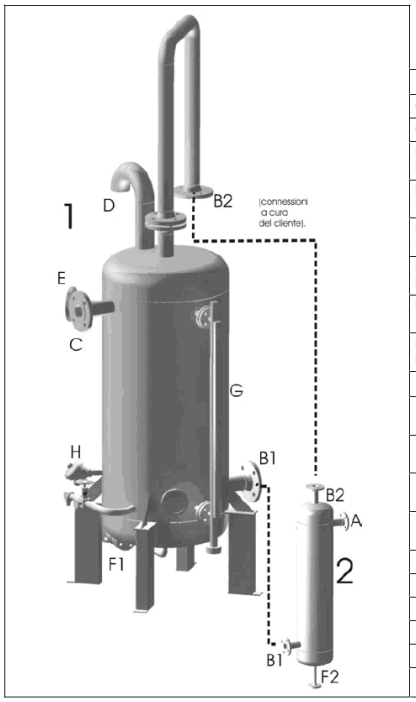
Grandezza *Frame size*	Giri/min *RPM* 2900	Giri/min *RPM* 1450
IEC	Kw	Kw
80M	0,75 1,1	0,55 0,75
90S 90L	1,5 2,2	1,1 1,5
100L	3	2,2 3
112M	4	4
132S 132M	5,5-7,5	5,5 7,5
160M 160L	11-15 18,5	11 15
180M 180L	22	18,5 22
200L	30-37	30
225S 225M	45	37 45
250M	55	55
280S 280M	75 90	75 90

Pompa tipo *Pump type*	MOTORE ELETTRICO *Electric Motor*														
	180M/180L			200L			225S/225M			250M			280S/280M		
	N°	H	Peso *Weight*	N°	H	Peso *Weight*	N°	H	Peso *Weight*	N°	H	Peso *Weight*	N°	H	Peso *Weight*
25-125															
25-160															
25-200															
32-125															
32-160															
32-200															
40-125															
40-160															
40-200	C05	270	87												
40-250	C05	270	111												
50-125															
50-160	C05	270	86												
50-200	C05	270	90	C11	330	129									
50-250	C05	270	117	C11	330	119	C11	355	121	C13	383	152	C13	413	156
65-125															
65-160	C05	270	112	C11	330	183									
65-200	C05	270	121	C11	330	155	C11	355	155	C13	383	185	C13	413	186
65-250	C05	290	128	C11	330	167	C11	355	170	C13	383	201	C13	413	204
80-160	C05	270	117	C11	330	155	C11	355	157	C13	383	195			
80-200	C05	270	117	C11	330	148	C11	355	160	C13	383	188	C13	413	190
80-250	C05	315	137	C11	355	178	C11	355	176	C13	383	208	C13	413	210
100-200	C05	290	143	C11	330	184	C11	355	182	C13	383	214	C13	413	216


USGPM
Q
IMGPM
2950 GIRI/1'
rpm
H m
H ft
η %
ø215
ø205
ø195
ø185
ø175
ø165
ø155
m³/h
Q
lt/1'
NPSH m
NPSH ft
P KW
P HP

- Da N° 1 **Serbatoio atmosferico** per olio diatermico, capacità 1000 lt, in acciaio al carbonio, con verniciatura esterna. Dimensioni come da scheda allegata. Connessioni flangiate , T.max 350°C / P.atmosferica

In questo tipo di serbatoio, per mantenere sotto controllo la temperatura dell'olio nel vaso di espansione, viene utilizzato un serbatoio denominato di inversione temperatura, di capacità adeguata ed opportunamente dimensionato in modo tale da trattenere l'olio caldo al proprio interno; grazie alla stratificazione delle temperature l'olio caldo che entra sospinge l'olio freddo situato nella parte bassa del serbatoio verso il vaso di espansione. Il dimensionamento di massima del vaso di espansione va eseguito sulla base di circa il 50% dell'olio totale, ad esempio, per un quantitativo di olio nel circuito di 500 lt, serve un vaso di 1000 lt. Il sistema comprende anche un quadro elettrico per il controllo livello e temperatura del vaso, con segnalazione degli allarmi minimo, massimo livello e alta temperatura che vengono rilevati dal software.

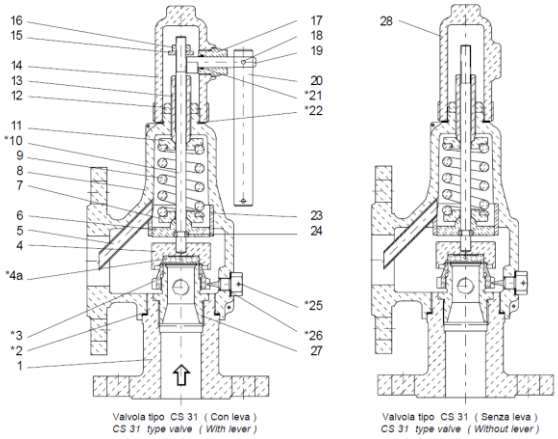


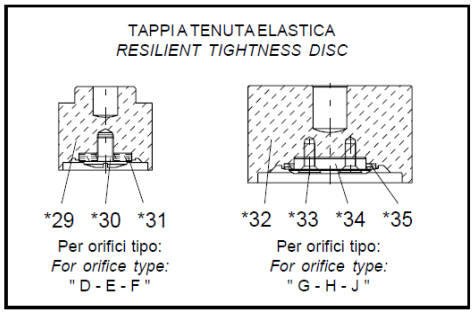
	MODELLO (VASO + SERBATOIO)			
	VED2000 IT500	VED1000 IT300	VED500 IT200	VED200 IT100
CARATTERISTICHE GENERALI				
CAP. VASO ESPANSIONE	2000 litri	1000 litri	500 litri	200 litri
CAP. SERBATOIO INV. TEMP.	500 litri	300 litri	200 litri	100 litri
MAX TEMP. VASO ESPANSIONE	350°C			
MAX TEMP. SERBATOIO INVERSIONE TEMP.	350°C			
MAX PRESS. SERBATOIO INVERSIONE TEMP.	0,5 bar			
MATERIALE VASO ESPANSIONE	ASTM A106			
MATERIALE SERBATOIO INVERSIONE TEMP.	ASTM A106			
MATERIALE TUBAZIONI E RACCORDI	ASTM A106			
ATTACCHI E DIMENSIONI				
(A) TUBO ESPANSIONE IMPIANTO	DN65	DN65	DN50	DN50
(B1) COLLEGAMENTO INFERIORE SERBATOI	DN65	DN65	DN50	DN50
(B2) COLLEGAMENTO SUPERIORE SERBATOI	DN65	DN65	DN50	DN50
(C) TUBAZIONE TROPPO PIENO	DN65	DN65	DN50	DN50
(D) SFIATO ATMOSFERICO	DN65			
(E) CARICO IMPIANTO	DN32			
(F1) SCARICO VASO ESP.	DN15			
(F2) SCARICO SERB.	DN25			
(G) INDICATORE DI LIVELLO	DN15			
(H) STRUMENTI	½" GAS-F			

- Da N°1 Valvola di sicurezza a molla, corpo in acciaio al carbonio, connessioni flangiate DN25x40, T.max 350°C / P.max 6 bar. Questo componente serve a evitare che il circuito superi una determinata pressione che danneggerebbe altri componenti. Nella fattispecie, quando il valore preimpostato , viene superato, si

apre la valvola che bypassa parte del circuito facendo fluire l'olio nuovamente nel serbatoio senza attraversare il ricevitore. E' importante sottolineare che l'intervento della valvola di sicurezza viene associato ad un allarme anomalia che aziona i motori per portare fuori asse il collettore, evitando cosi, di surriscaldare il ricevitore.

Valvola tipo: / *Valve type:* " CS 31 " (attacchi flangiati / *Flanged ends*)



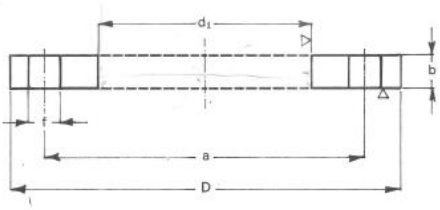


1 - Corpo valvola / *Valve body*	*10 - Asta / *Stem*	18 - Perno leva / *Lever pin*	*26 - Guarnizione / *Gasket*
*2 - Guarnizione / *Gasket*	11 - Piattello superiore / *Upper washer*	19 - Albero comando / *Control shaft*	27 - Sede / *Nozzle*
*3 - Anello regol. / *Adjusting ring*	12 - Controdado / *Lock nut*	20 - Leva / *Lever*	28 - Cappello / *Cap*
4 - Portatappo / *Holder*	13 - Vite di taratura / *Compression screw*	*21 - Guarnizione / *Gasket*	*29 - Tappo / *Disc*
*4a - Tappo / *Disc*	14 - Cappello / *Cap*	*22 - Guarnizione / *Gasket*	*30 - Vite guarniz. / *Gasket screw*
5 - Tubo eiettore / *Eductor tube*	15 - Dado per asta / *Stem nut*	23 - Guida / *Guide*	*31 - Guarnizione / *Gasket*
6 - Pistone / *Piston*	16 - Dado / *Nut*	24 - Anello per asta / *Stem ring*	*32 - Tappo / *Disc*
7 - Piattello infer. / *Lower washer*	17 - Manicotto / *Sleeve*	*25 - Vite anello regolazione / *Adjusting ring pin*	*33 - Vite / *Screw*
8 - Incastellatura / *Bonnet*			*34 - Piattello guarn. / *Gasket plate*
9 - Molla / *Spring*			*35 - Guarnizione / *Gasket*

- Dalle **valvole di intercettazione** manuali a volantino con corpo in ghisa sferoidale. Queste permettono di aprire il circuito idraulico evitando eventuali fuoriuscite di fluido durante le fasi di manutenzione. Nel nostro circuito sono presenti: N°2 Valvole DN15, N°5 Valvole DN25, N°1 Valvole DN40 tutte con Temperatura massima di 350°C e un Pressione massima di 6 bar.

DN	L	H	KV	Kg
15	130	157	5	3
20	150	165	7	3,8
25	160	182	11	4,9
32	180	191	18	6,4
40	200	214	29	9
50	230	234	47	11
65	290	286	77	19
80	310	331	112	22
100	350	350	161	31
125	400	384		45
150	480	450		64
200	600	510		112
250	730	650		201

- Da N°2 **Manichette** INOX321 con treccia inox 304 1/2" Lunghezza 15mt, raccordi flangia fissa + flangia girevole DN15 in acciaio al carbonio che servono per collegare il ricevitore alla rimanente parte del circuito ad olio. La scelta delle manichette è giustificata dalla necessità di dover variare la geometria della parte circuitale che arriva al ricevitore durante l'inseguimento solare. Per questi componenti si ha una Temperatura massima di 350°C e un Pressione massima di 6 bar



DN	∅ TUBO DIN	∅ TUBO ISO	d_1 DIN	d_1 ISO	a	D	b	f	VITI	N. FORI	Kg.
10	13,5	17,2	14	17,5	60	90	12	14	M12	4	0,520
15	20	21,3	20,5	22	65	95	12	14	M12	4	0,660
20	25	26,9	25,5	27,5	75	105	14	14	M12	4	0,820
25	30	33,7	30,5	34	85	115	14	14	M12	4	1,010
32	38	42,4	38,5	43	100	140	16	18	M16	4	1,630
40	44,5	48,3	45	49	110	150	16	18	M16	4	1,850
50	57	60,3	58	61,5	125	165	18	18	M16	4	2,460
65	76,1		77		145	185	18	18	M16	4	3,000
80	88,9		90		160	200	20	18	M16	8	3,610
100	108	114,3	109	115,5	180	220	22	18	M16	8	4,400
125	133	139,7	134,5	141	210	250	24	18	M16	8	5,920
150	159	168,3	160,5	170	240	285	24	22	M20	8	7,170
200	219,1		221		295	340	26	22	M20	12	9,770
250	267	273	269	275	355	405	32	25	M22	12	16,000
300	323,9		326		410	460	32	25	M22	12	19,300
350	368	355,6	370,5	358	470	520	36	25	M22	16	29,400
400	419	406,4	422	409	525	580	38	30	M27	16	36,500
450	457,2		460,2		585	640	40	30	M27	20	42,000
500	508		511		650	715	42	33	M30	20	51,000
600	609,6		612,6		770	840	44	36	M33	20	70,000
700	711,2		714,2		840	910	46	36	M33	24	88,000
800	812,8		815,8		950	1025	48	39	M36×3	24	115,000
900	914,4		917,4		1050	1125	50	39	M36×3	28	125,000
1000	1016		1019		1170	1255	50	42	M39×3	28	160,000

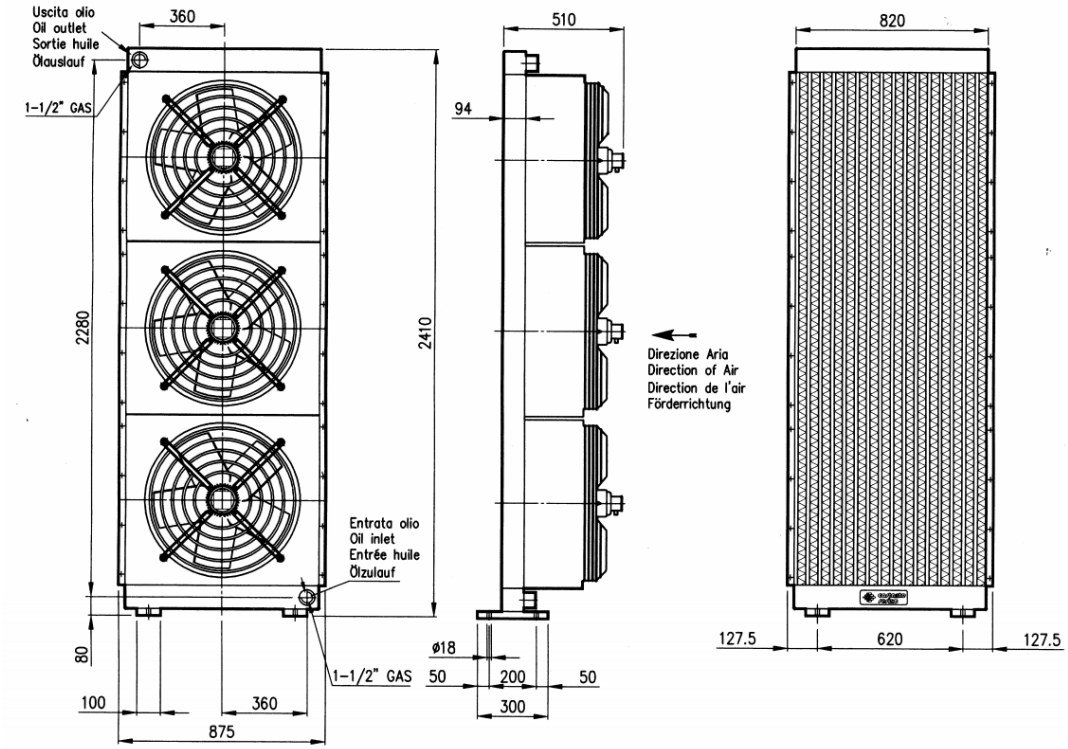
ATTACCHI FLANGIATI - *FLANGED ENDS*		
Entrata / *Inlet*	Uscita / *Outlet*	
UNI PN/*NP* 16	UNI PN/*NP* 16	☐
UNI PN/*NP* 25	UNI PN/*NP* 16	☐
UNI PN/*NP* 40	UNI PN/*NP* 16	☐
UNI PN/*NP* 64	UNI PN/*NP* 16	☐
UNI PN/*NP* 100	UNI PN/*NP* 16	☐

ATTACCHI FLANGIATI - *FLANGED ENDS*		
	Entrata / *Inlet*	Uscita / *Outlet*
☐	ANSI 150 RF	ANSI 150 RF
☐	ANSI 300 RF	ANSI 150 RF
☐	ANSI 600 RF	ANSI 150 RF
☐		

DN Attacchi /*Connect. ND*		A1	A2	A3	B	C	øD	øE	Orifici standard previsti *Provided stand. orifices*	Altri orifici realizzabili *Other feasible orifices*		
Entrata / *Inlet*	Uscita/ *Outlet*											
15 (1/2")	25 (1")	240	250	250	90	62	1/8"	62	☐ D			
20 (3/4")	25 (1")	240	250	250	90	62	1/8"	62	☐ E	☐ D		
25 (1")	40 (1.1/2")	300	320	320	110	75	1/4"	84	☐ F	☐ D	☐ E	
25 (1")	50 (2")	300	320	320	110	75	1/4"	84		☐ D	☐ E	☐ F
32 (1.1/4")	40 (1.1/2")	300	320	320	110	75	1/4"	84	☐ G	☐ D	☐ E	☐ F
40 (1.1/2")	65 (2.1/2")	380	400	400	130	100	1/4"	114	☐ H	☐ F	☐ G	☐ J
40 (1.1/2")	80 (3")	380	400	400	130	110	1/4"	114		☐ G	☐ H	
50 (2")	65 (2.1/2")	380	400	400	130	100	1/4"	114	☐ J	☐ G	☐ H	
50 (2")	80 (3")	380	400	400	130	110	1/4"	114		☐ G	☐ H	☐ J
										☐		

- Da N°2 **Sonde di temperatura** ad immersione PT100 3fili Gambo ϕ6mm L.130mm, + Estensione 80mm, testina di connessione cavi IP67 Connessione fissa su gambo ϕ1/2" M, che vengono installate all'interno di apposito pozzetto di immersione realizzato (saldato) sulla tubazione in acciaio al carbonio. Per questi componenti si ha una Temperatura massima di 350°C e un Pressione massima di 6 bar.

- Da N°1 **Gruppo scambiatore di calore** ad aria forzata in alluminio, che simula nel nostro circuito la potenza assorbita da un potenziale utilizzatore e dunque la potenza erogabile dal SEC. L'apparecchiatura come si evince dai dati di targa puo funzionare con massima pressione dinamica 20 bar, massima pressione ammissibile statica 30 bar, La sua presenza nel circuito prevista come sopradetto per simulare un utenza termica, e tuttavia necessaria a dissipare l'energia radiante che a vuoto (ovvero senza carico o meglio utilizzatore) e altrimenti farebbe aumentare la temperatura del fluido vettore sopra quella consentita dal produttore cio' si ottiene regolando con un inverter la velocità dei ventilatori per mantenere costante la temperatura di uscita dell'olio dall'utilizzatore ad un valore pari alla temperatura di lavoro desiderata in ingresso al ricevitore.



Il funzionamento del circuito è molto semplice. La pompa, azionata mediante un controllo a opera del software sull'inverter, fa circolare il fluido all'interno delle condotte. Quando dalla sezione D25 della dorsale principale si passa alla D15 delle manichette, essendo la potata pari a:

$$W = \rho \cdot v \cdot A$$

si avrà un aumento della velocità proporzionale alla diminuzione della sezione.

In particolare, nel caso volessimo avere una velocità del fluido all'interno del ricevitore pari a 2 m/s, supponendo una densità dell'olio alla temperatura di lavoro pari a 800 kg/m³ , una sezione della condotta DN25 = 0,0005 m² , una sezione della condotta del ricevitore DN15= 0.0002 m² bisognerà regolare la pompa affinché la portata del fluido sia pari a:

$$W = \rho \cdot v_{ricevitore} \cdot A_{ricevitore} = 800 \cdot 2 \cdot 0.0002 = 0.32[kg/s]$$

Per conoscere la velocità equivalente all'interno della condotta, basta considerare che:

$$\rho \cdot v_{condotta} \cdot A_{condotta} = \rho \cdot v_{ricevitore} \cdot A_{ricevitore}$$

Quindi la velocità del fluido all'interno della dorsale sarà:

$$v_{condotta} = \frac{v_{ricevitore} \cdot A_{ricevitore}}{A_{condotta}} = \frac{2 \cdot 0.0002}{0.0005} = 0.8[m/s]$$

5.5 Verifica sperimentale delle curve caratteristiche e energetiche prestazionali

Per verificare le prestazioni energetiche del SEC, sono state effettuate delle prove di funzionamento durante le quali, rilevando alcuni parametri, sono state ricavate le curve caratteristiche e di rendimento che sono state sovrapposte a quelle teoriche calcolate nel paragrafo 5.3.

In particolare, sono state effettuate due prove che differisco tra loro per la quantità di fluido vettore nel circuito. Ciò che ci si aspetta è che l'olio necessiti tempi differenti per il raggiungimento della temperatura di 300°C prevista come nominale. Nella prima prova si è scelto di far circolare 400 lt di olio diatermico, mentre nella seconda 100 lt.

Durante le prove sono state monitorate le seguanti variabili, effettuando un campionamento ogni 30 minuti.

1) temperatura olio in ingresso;
2) temperatura olio in uscita dal ricevitore;
3) temperatura olio nel serbatoio;
4) temperatura ambiente;
5) temperatura di parete
6) portata del fluido;
7) irraggiamento solare sul piano con inseguitori a due assi;

Le due giornate scelte per le prove, nel mese di dicembre, presentavano cielo sereno, vento variabile con una media di 5 m/s.

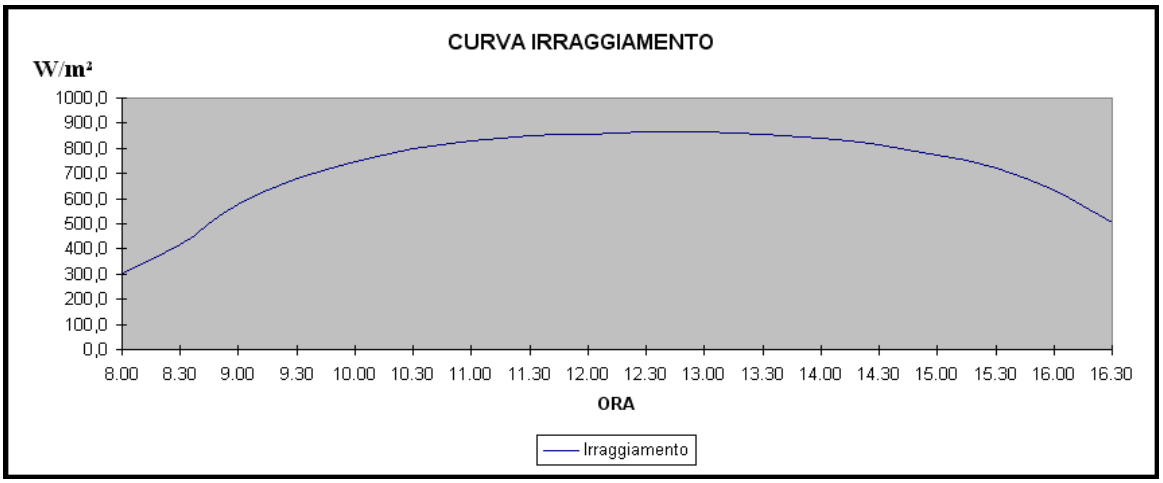
Di seguito si riportano le tabelle dati della prova con 400 lt d'olio nel circuito:

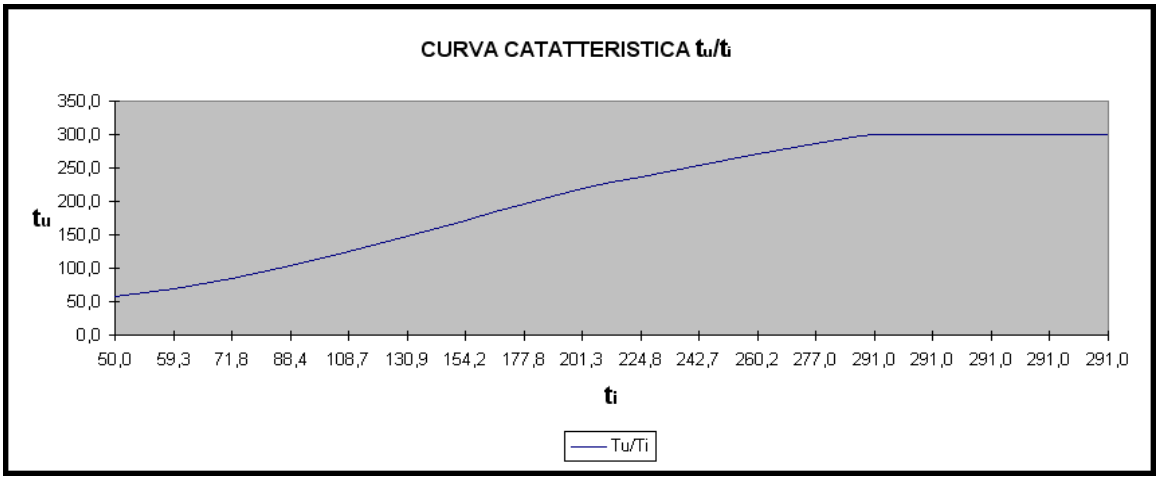
Ora	Temperatura ambiente	Velocità del vento	Velocità fluido nel ricevitore	Portata Pompa	Temperatura ingresso olio	Temperatura di parete	Temperatura uscita olio	Radiazione solare	Energia olio	Energia accumulo termico	Energia SOLE	Energia all'utilizzatore	Rendimento
	t_a	vvento	v	W	t_i	tp	t_u	E_{rad}	Eoil	E_{acc}	Esun	E_{diss}	η
	[°C]	[m/s]	[m/s]	[kg/s]	[°C]	[°C]	[°C]	[W/m²]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	
8.00	6,2	5,0	1,0	0,15	50,0	169,0	57,0	306,6	1,0	1,05	1,5	0,00	68,5%
8.30	7,0	5,0	1,0	0,15	59,3	220,0	68,7	415,8	1,4	2,46	2,1	0,00	67,6%
9.00	7,1	5,0	1,0	0,15	71,8	293,0	84,1	578,6	1,8	4,30	2,9	0,00	63,8%
9.30	8,0	5,0	1,0	0,15	88,4	234,0	103,6	681,5	2,3	6,62	3,4	0,00	68,1%
10.00	8,2	5,0	1,0	0,14	108,7	268,0	125,4	749,7	2,6	9,23	3,7	0,00	69,6%
10.30	9,0	5,0	1,0	0,14	130,9	298,0	148,5	797,0	2,7	11,95	4,0	0,00	68,2%
11.00	10,0	5,0	1,0	0,14	154,2	278,0	171,9	828,5	2,9	14,86	4,1	0,00	70,3%
11.30	13,0	5,0	1,0	0,14	177,8	279,0	195,5	849,5	3,0	17,82	4,2	0,00	69,6%
12.00	13,5	5,0	1,0	0,13	201,3	302,0	219,0	856,8	3,0	20,80	4,3	0,00	69,6%
12.30	15,0	5,0	1,5	0,20	224,8	298,0	236,7	866,3	3,0	23,81	4,3	0,00	69,5%
13.00	15,1	5,0	1,5	0,19	242,7	305,0	254,4	867,3	3,0	26,81	4,3	0,00	69,2%
13.30	15,3	5,0	1,5	0,19	260,2	322,0	271,7	857,9	2,9	29,66	4,3	0,00	66,5%
14.00	15,8	5,0	1,8	0,22	277,0	329,0	286,3	840,0	2,9	29,66	4,2	-2,86	68,0%
14.30	15,8	5,0	1,8	0,22	291,0	336,0	300,0	813,8	2,8	29,66	4,1	-2,84	69,8%
15.00	15,1	5,0	1,7	0,20	291,0	335,0	300,0	774,9	2,7	29,66	3,9	-2,71	69,9%
15.30	14,8	5,0	1,6	0,19	291,0	335,0	300,0	719,3	2,5	29,66	3,6	-2,55	70,8%
16.00	13,5	5,0	1,4	0,17	291,0	334,0	300,0	635,3	2,2	29,66	3,2	-2,23	70,2%
16.30	12,6	5,0	1,1	0,13	291,0	332,0	300,0	507,2	1,8	29,66	2,5	-1,75	69,1%

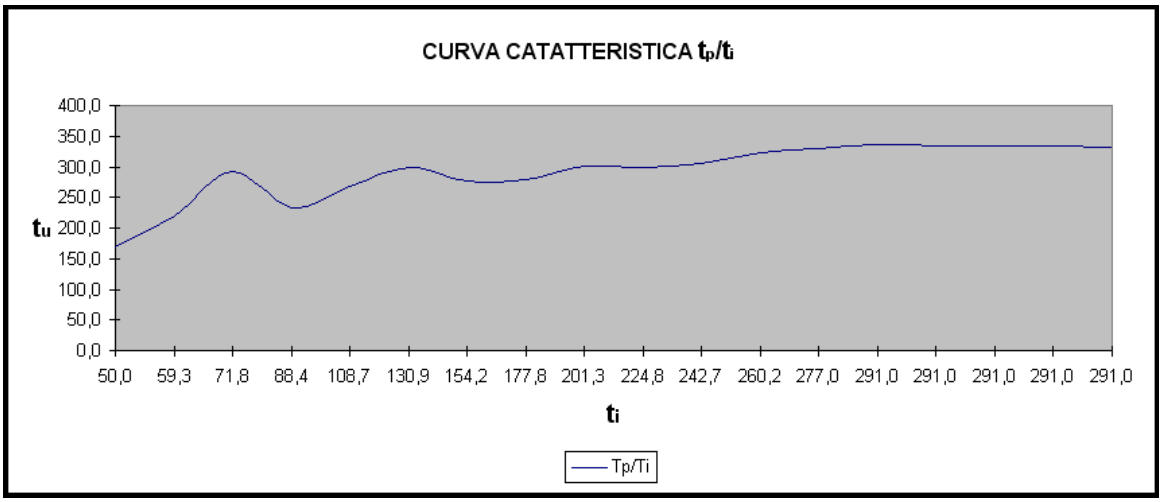
Come si può verificare, servono 6 ore per raggiungere il valore nominale di temperatura di lavoro pari a 300°C. Successivamente, Viene azionato lo scambiatore di calore che dissipa l'energia in eccesso. L'energia incidente complessiva per l'intera giornata, è di 64,7 kWh mentre quella trasformata in termica è pari a 44,6 kWh per cui il rendimento complessivo della giornata è del 68,9%. Dell'energia trasformata in termica, 29,7 kWh, pari al 66,5% della totale trasformata, servono per far raggiungere la temperatura nominale al sistema. Cosi facendo, per la giornata di prova, con il quantitativo sopra indicato, si ottiene una energia trasferibile all'ipotetico utilizzatore, durante le ore diurne, pari a 14,93 kWh, mentre, l'energia immagazzinata nel serbatoio di accumulo,

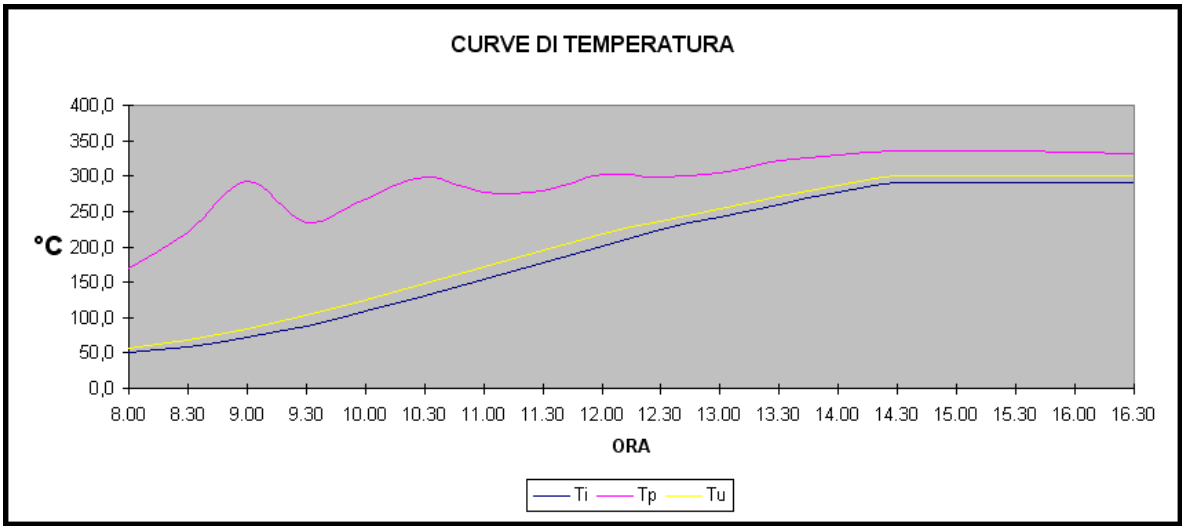
può essere trasferita dopo il tramonto, sino al raggiungimento dei valori di temperatura dell'olio pari a quella ambiente ma a temperature di lavoro via via decrescenti.

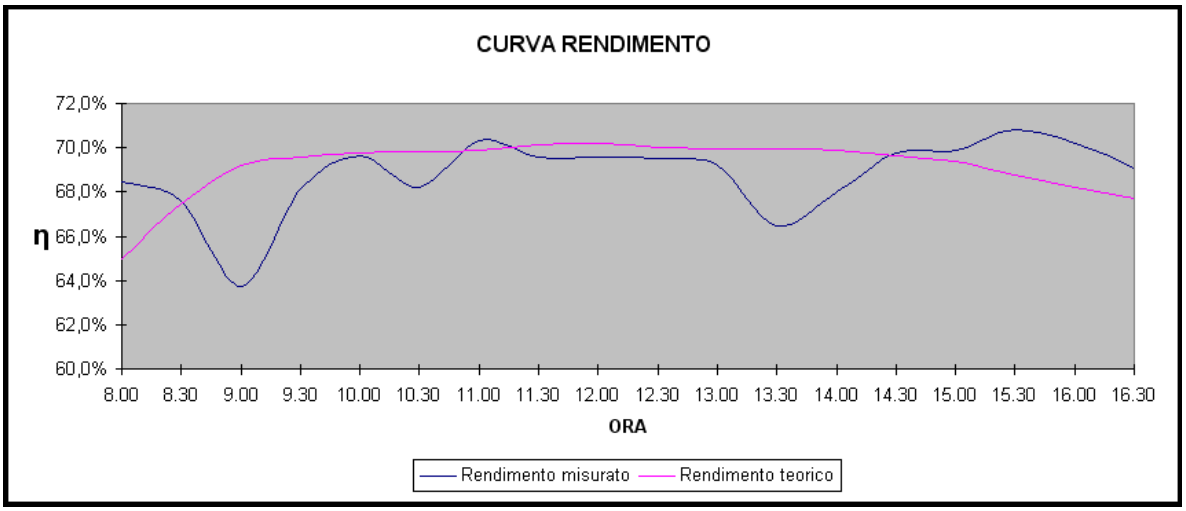
Di seguito si riportano le curve caratteristiche risultanti dalla prima prova:











Dai dati rilevati, risulta che i valori sono in linea con i teorici.

Visti i risultati della prima prova, si è deciso di abbassare la quantità del fluido in maniera tale da raggiungere la temperatura nominale di lavoro di 300°C in anticipo, verificando i valori caratteristici, in quest'altra condizione di lavoro.

Di seguito, relativa tabella dati:

Ora	temperatura ambiente		velocità fluido nel ricevitore	portata	densità olio	temperatura ingresso olio	Temperatura di parete calcolata	Temperatura uscita olio	Radiazione solare	Energia olio	Energia accumulo termico	Energia SOLE	Energia all'utilizzatore	Rendimento
	t_a	v_{vento}	v	W	ρ	t_i	t_p	t_u	E_{rad}	E_{oil}	E_{acc}	E_{sun}	E_{diss}	η
	[°C]	[m/s]	[m/s]	[kg/s]	[kg / m³]	[°C]	[°C]	[°C]	[W/m²]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	
8.00	6,2	5,0	1,0	0,15	853	50	164	56,7	294	1,00	1,00	1,47	0,00	68,28%
8.30	7,1	5,0	1,0	0,15	845	71,1	224	80,1	399	1,35	2,36	2,00	0,00	67,67%
9.00	7,2	5,0	1,0	0,15	830	98	216	110,3	555	1,85	4,20	2,78	0,00	66,59%
9.30	8,1	5,0	1,0	0,15	825	134,8	272	149,2	654	2,20	6,41	3,27	0,00	67,39%
10.00	8,3	5,0	1,0	0,14	810	176,9	283	192,1	720	2,37	8,78	3,60	0,00	65,90%
10.30	9,1	6,0	1,0	0,14	796	221,6	266	229,4	399	1,21	9,99	2,00	0,00	60,47%
11.00	10,1	5,0	1,0	0,14	786	244,8	324	260,6	795	2,60	12,59	3,98	0,00	65,40%
11.30	13,1	5,0	2,0	0,27	770	291,9	333	300,0	804	2,70	12,59	4,02	-2,70	67,14%
12.00	13,6	5,0	2,0	0,27	752	291,9	333	300,0	823	2,73	12,59	4,11	-2,73	66,31%
12.30	15,1	5,0	2,0	0,26	736	291,9	333	300,0	832	2,77	12,59	4,16	-2,77	66,53%
13.00	15,2	5,0	2,0	0,26	719	291,9	333	300,0	833	2,80	12,59	4,16	-2,80	67,25%
13.30	15,4	5,0	1,7	0,21	711	291,9	332	300,0	696	2,33	12,59	3,48	-2,33	67,08%
14.00	15,9	6,0	1,7	0,20	690	291,9	332	300,0	690	2,30	12,59	3,45	-2,30	66,77%
14.30	13,8	5,0	1,9	0,23	680	291,9	332	300,0	781	2,66	12,59	3,91	-2,66	68,17%
15.00	14,2	5,0	1,8	0,21	675	291,9	332	300,0	744	2,55	12,59	3,72	-2,55	68,58%
15.30	14,0	5,0	1,7	0,20	675	291,9	331	300,0	690	2,35	12,59	3,45	-2,35	68,11%
16.00	13,6	5,0	1,4	0,17	675	291,9	331	300,0	610	2,05	12,59	3,05	-2,05	67,30%
16.30	12,7	5,0	1,1	0,13	675	291,9	329	300,0	487	1,58	12,59	2,43	-1,58	64,98%

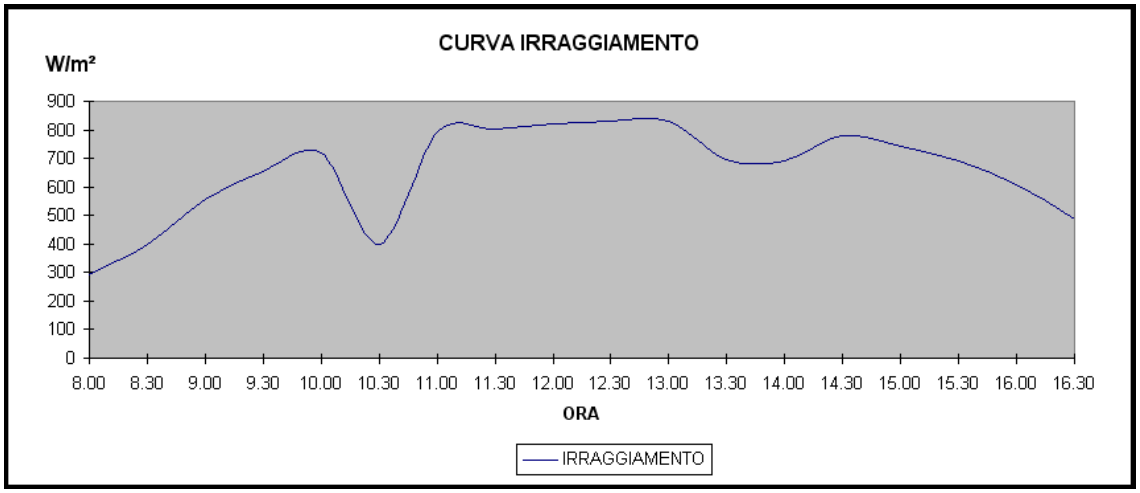
A differenza della prima prova, in questo caso, servono solo 3 ore in una giornata di inverno per altro con un parziale copertura del cielo intorno alle 10.30 per raggiungere il valore nominale di temperatura.

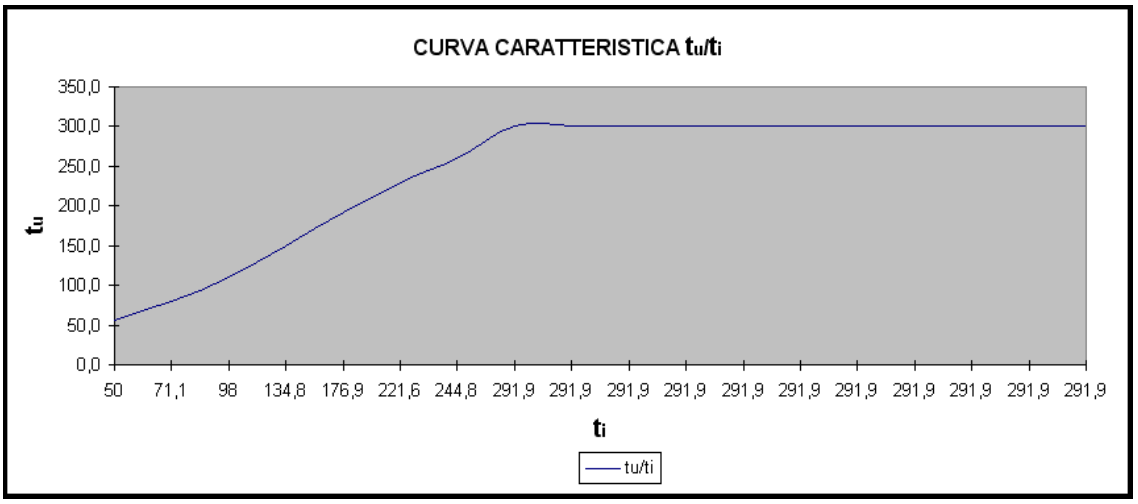
Come nella, prima, anche in questo caso, raggiunto il valore di 300°C, viene azionato lo scambiatore di calore che dissipa l'energia in eccesso.

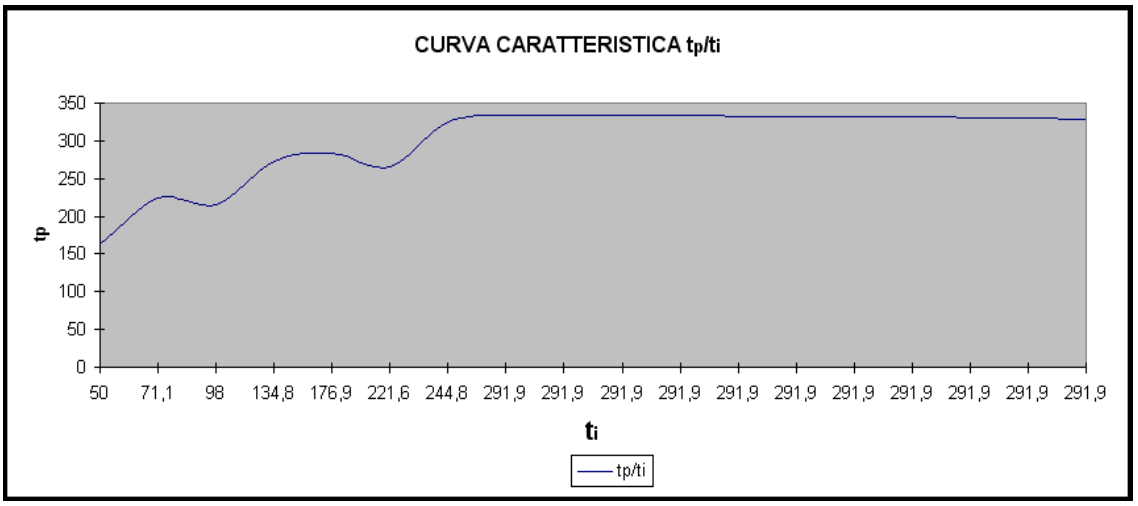
L'energia incidente complessiva per l'intera giornata, è di 59,03 kWh mentre quella trasformata in termica è pari a 39,42 kWh per cui il rendimento complessivo della giornata è del 66,8%. Questa volta, dell'energia trasformata in termica, bastano 12,6 kWh per far raggiungere la temperatura nominale di lavoro al sistema. Tale valore è pari al 31,9% della totale trasformata.

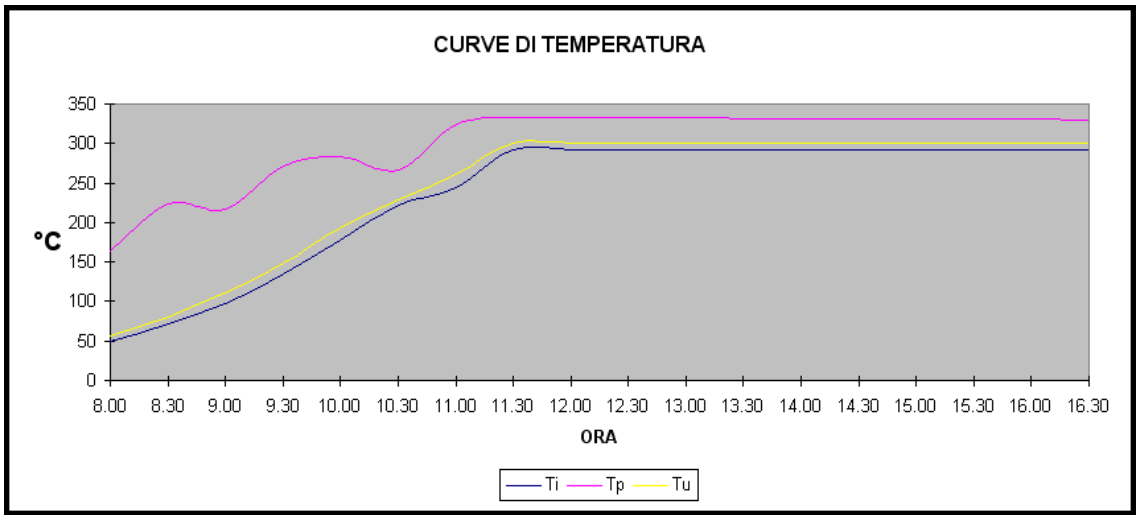
Cosi facendo, per la seconda giornata di prova, con il quantitativo di olio sopra indicato, si ha una energia trasferibile all'ipotetico utilizzatore, durante le ore diurne, pari a 26,83

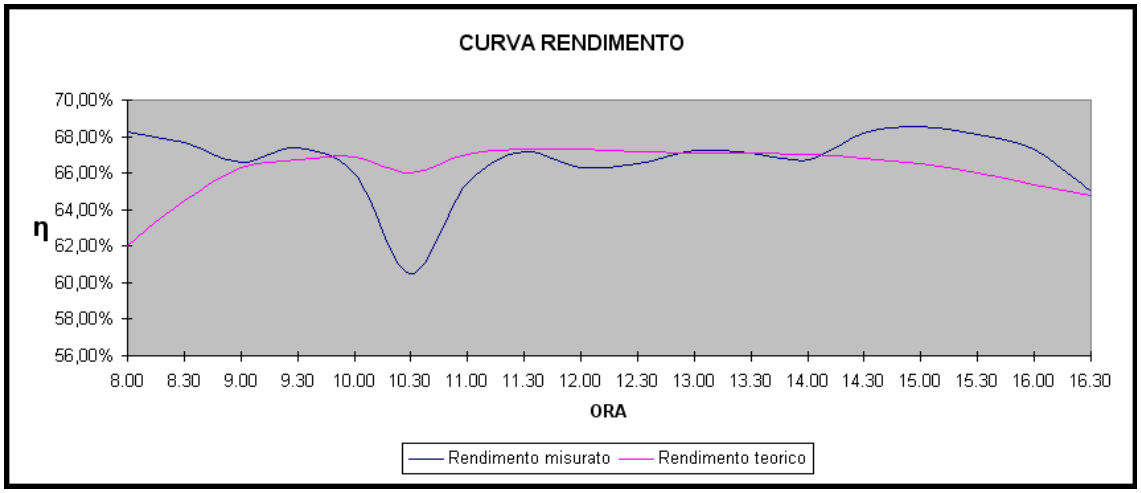
kWh, mentre, come nel caso precedente, l'energia immagazzinata nel serbatoio di accumulo può essere trasferita dopo il tramonto sino al raggiungimento dei valori di temperatura dell'olio pari a quella ambiente ma con temperature di lavoro via via decrescenti.









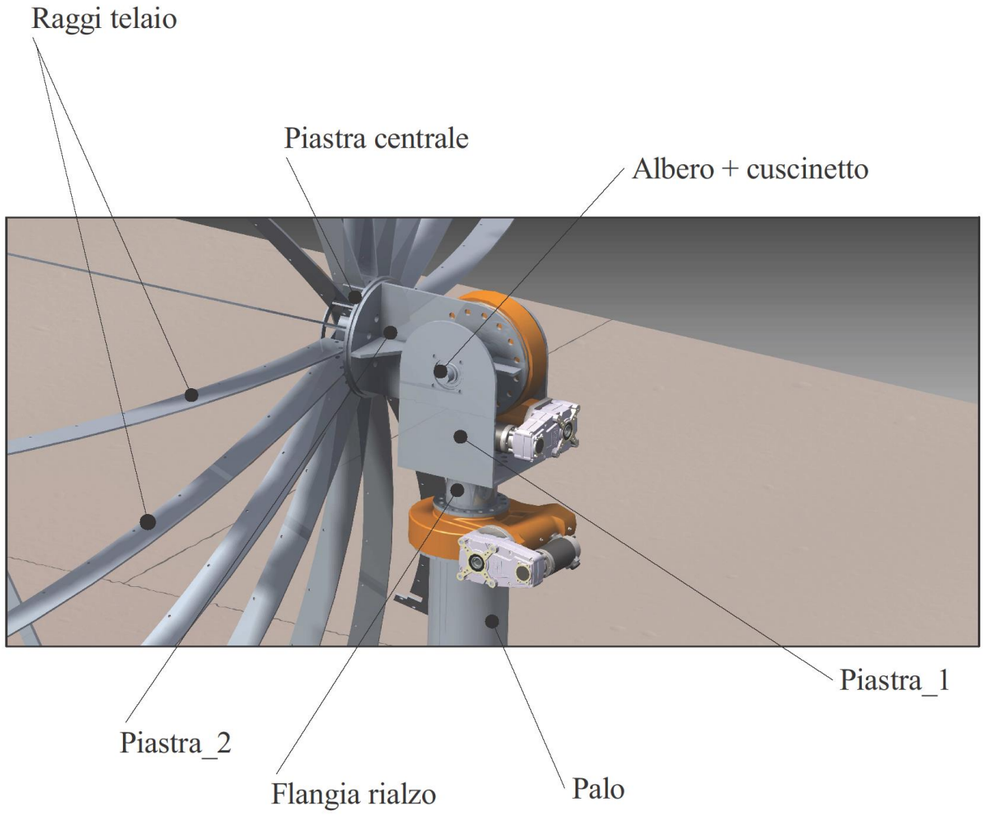


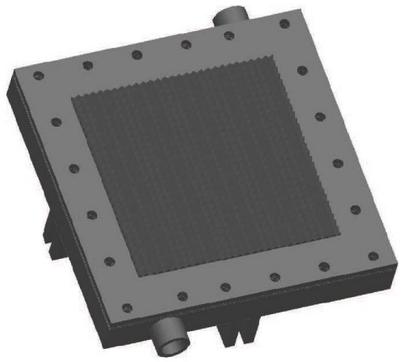
Anche in questo caso, i dati rilevati, risultano in linea con quelli teorici.

6 Esecutivi da officina

Tabella quantità

Descrizione	Materiale	Quantità
Piastra_1	Acciaio	1
Piastra_2	Acciaio	1
Flangia rialzo	Acciaio	1
Cuscinetto SKF	Acciaio	1
Albero D40	Acciaio	1
Piastra Centrale P10	Acciaio	1
Raggio Telaio	Acciaio	16
Braccio Ricevitore	Acciaio	4
Staffa Ricevitore	Acciaio	1
Disco di blocco	Alluminio	1
Tirafondo	Acciaio	3
Palo_1	Acciaio	1
Scambiatore Fronte	Acciaio / Carbonio	1
Scambiatore Retro	Acciaio / Carbonio	1





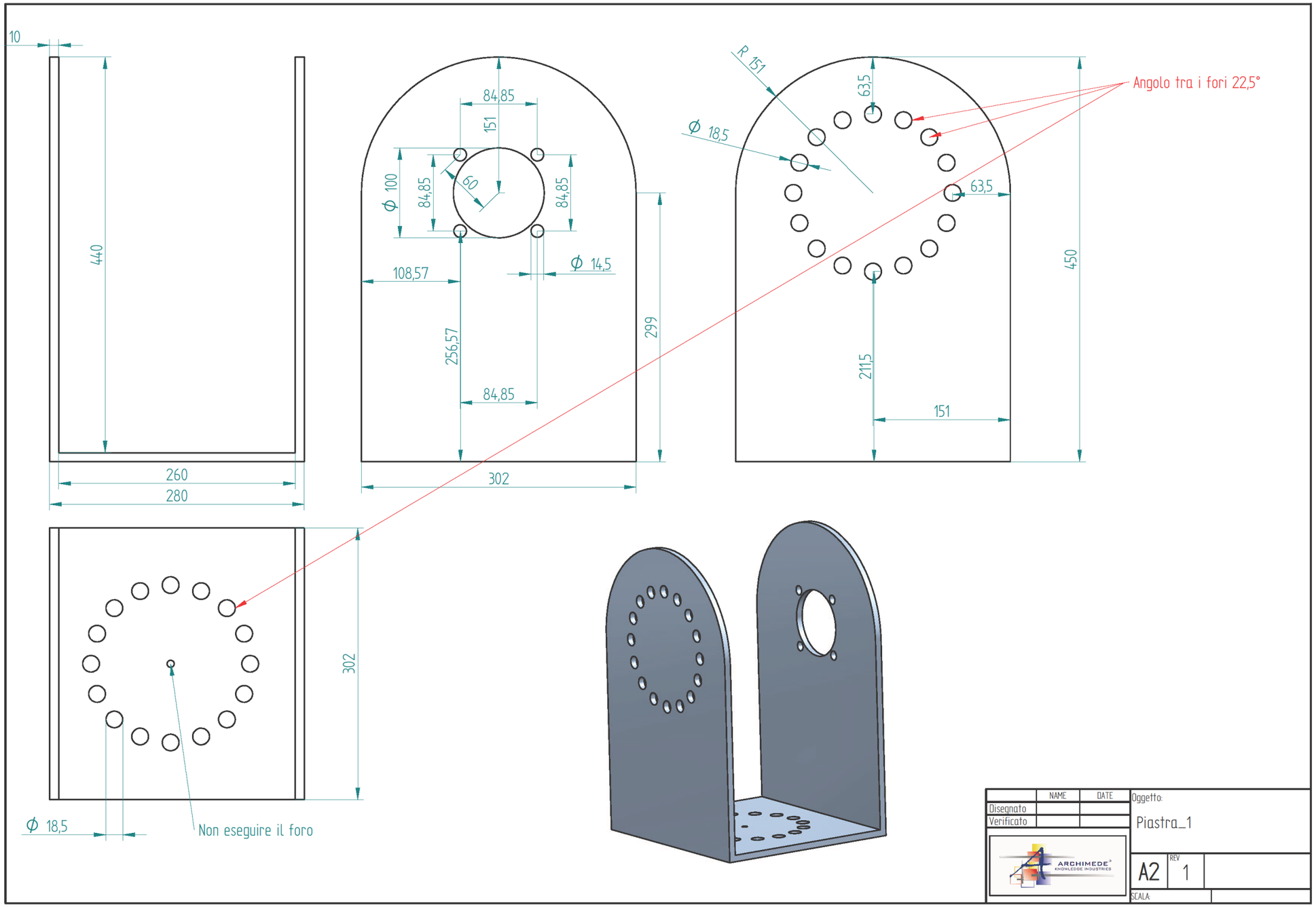
	NAME	DATE
Disegnato		
Verificato		

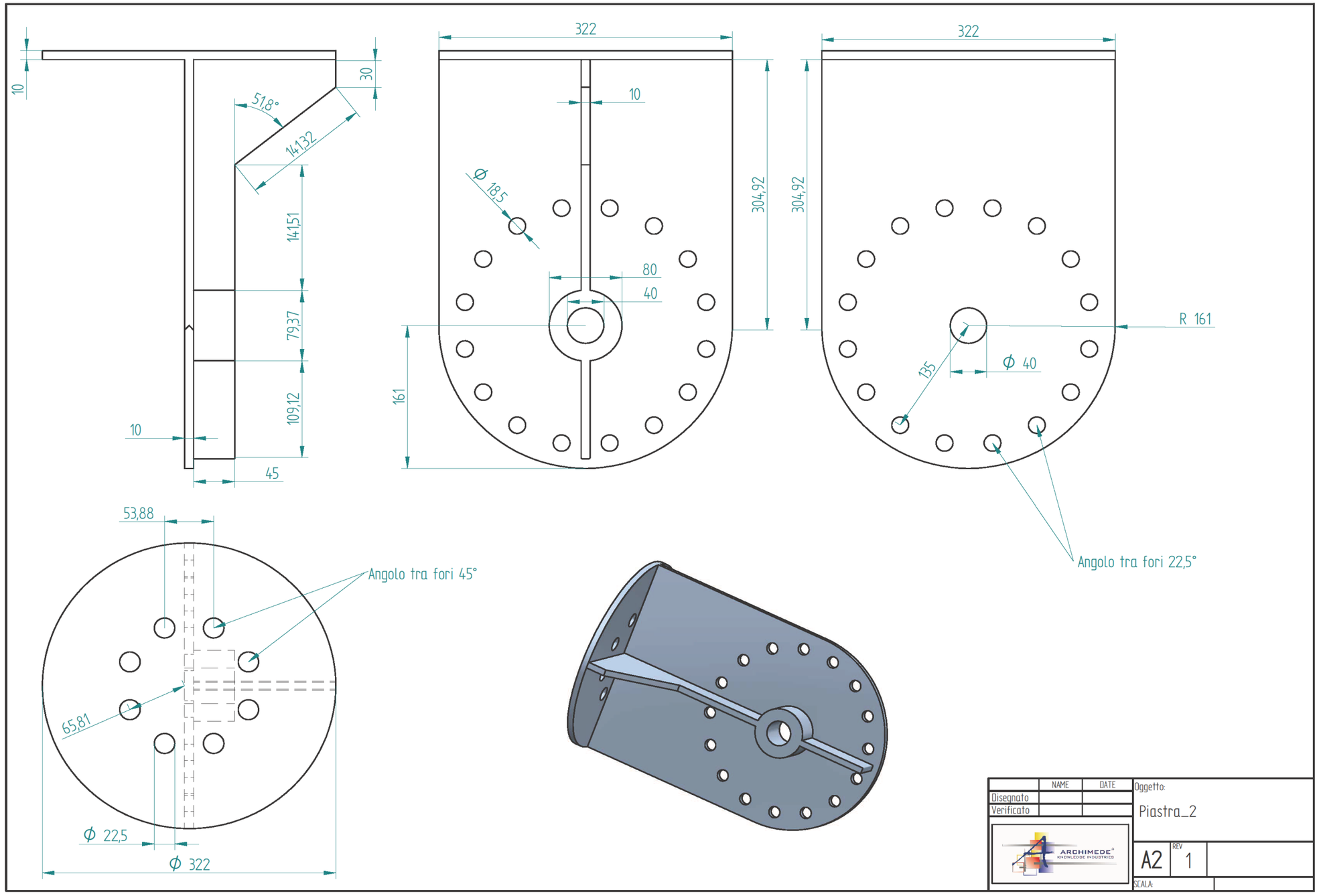
ARCHIMEDE KNOWLEDGE INDUSTRIES

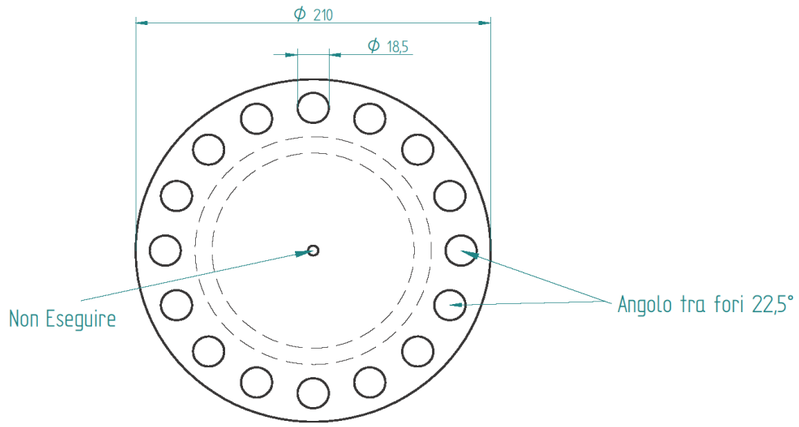
Oggetto: Tabella quantità

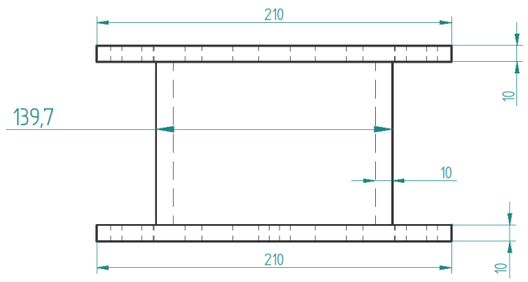
A2 REV 1

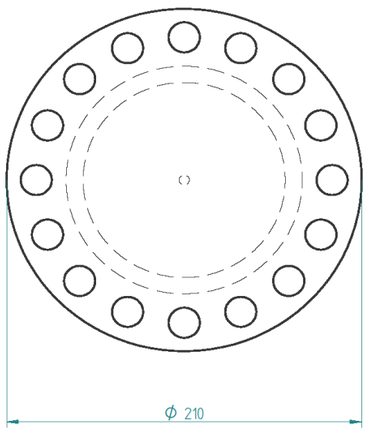
SCALA:

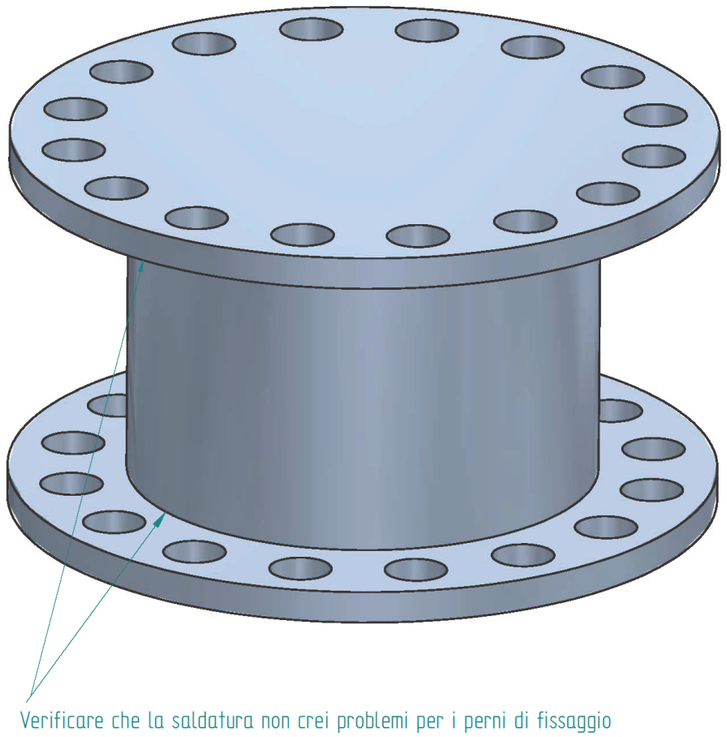

10
440
260
280
84,85
151
Φ 100
84,85
60
84,85
108,57
Φ 14,5
256,57
84,85
299
302
R 151
Φ 18,5
63,5
63,5
Angolo tra i fori 22,5°
450
211,5
151
302
Φ 18,5
Non eseguire il foro
NAME
DATE
Disegnato
Verificato
ARCHIMEDE
KNOWLEDGE INDUSTRIES
Oggetto:
Piastra_1
A2
REV
1
SCALA:


10
30
51,8°
141,32
141,51
79,37
109,12
10
45
322
10
Φ 18,5
304,92
80
40
161
322
304,92
R 161
135
Φ 40
Angolo tra fori 22,5°
53,88
Angolo tra fori 45°
65,81
Φ 22,5
Φ 322
NAME
DATE
Disegnato
Verificato
Oggetto:
Piastra_2
ARCHIMEDE
KNOWLEDGE INDUSTRIES
A2
REV
1
SCALA:









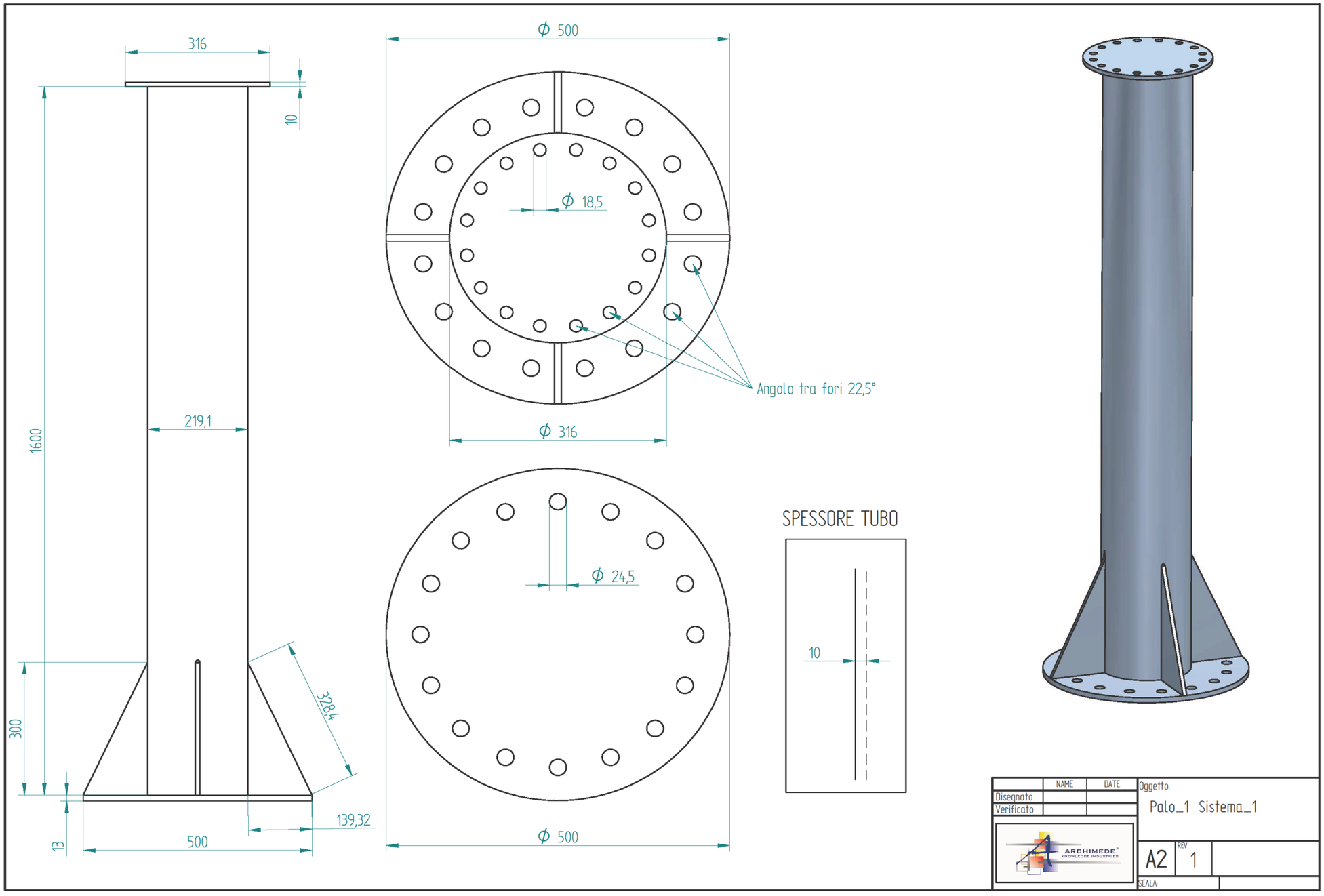
	NAME	DATE
Disegnato		
Verificato		

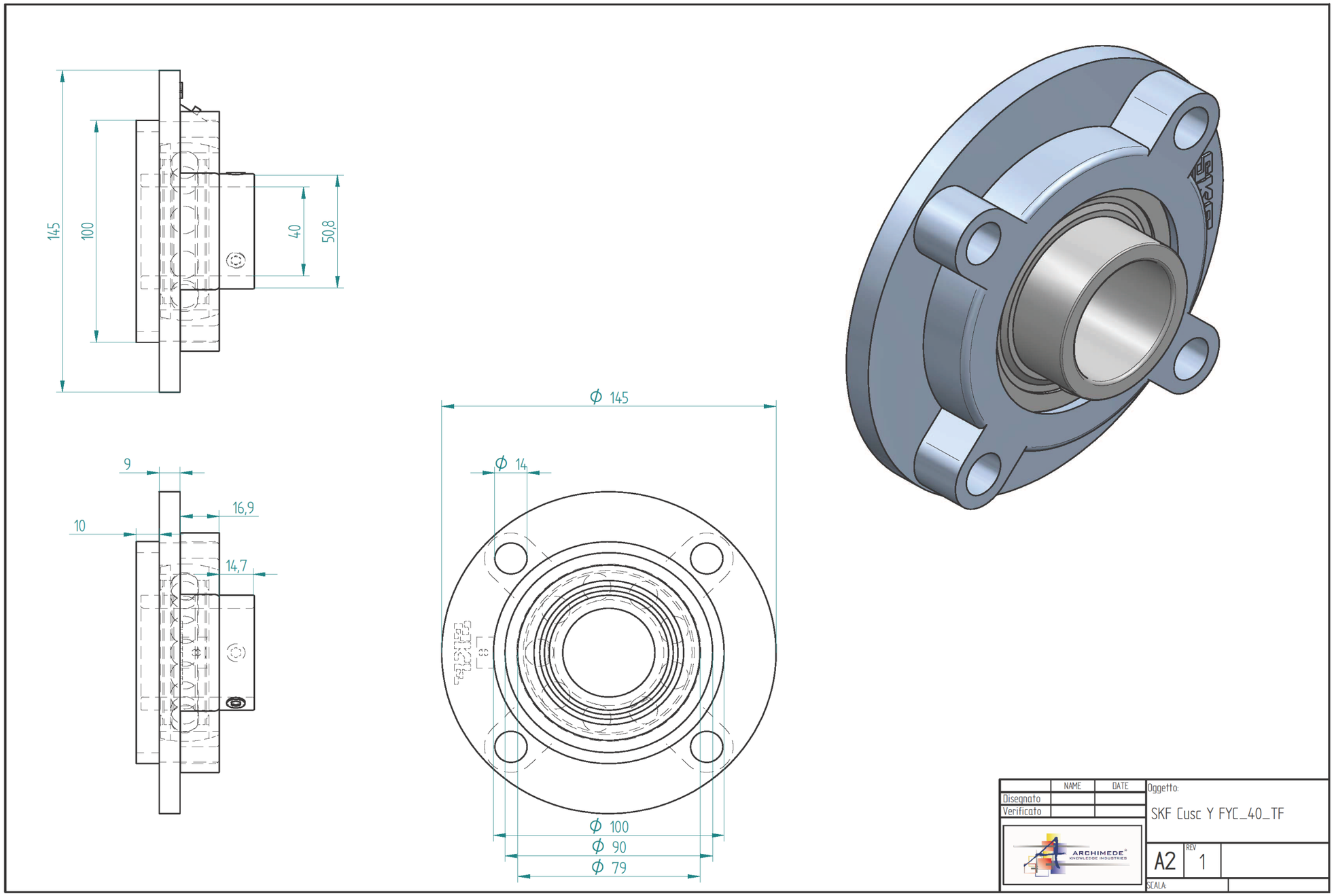
ARCHIMEDE KNOWLEDGE INDUSTRIES

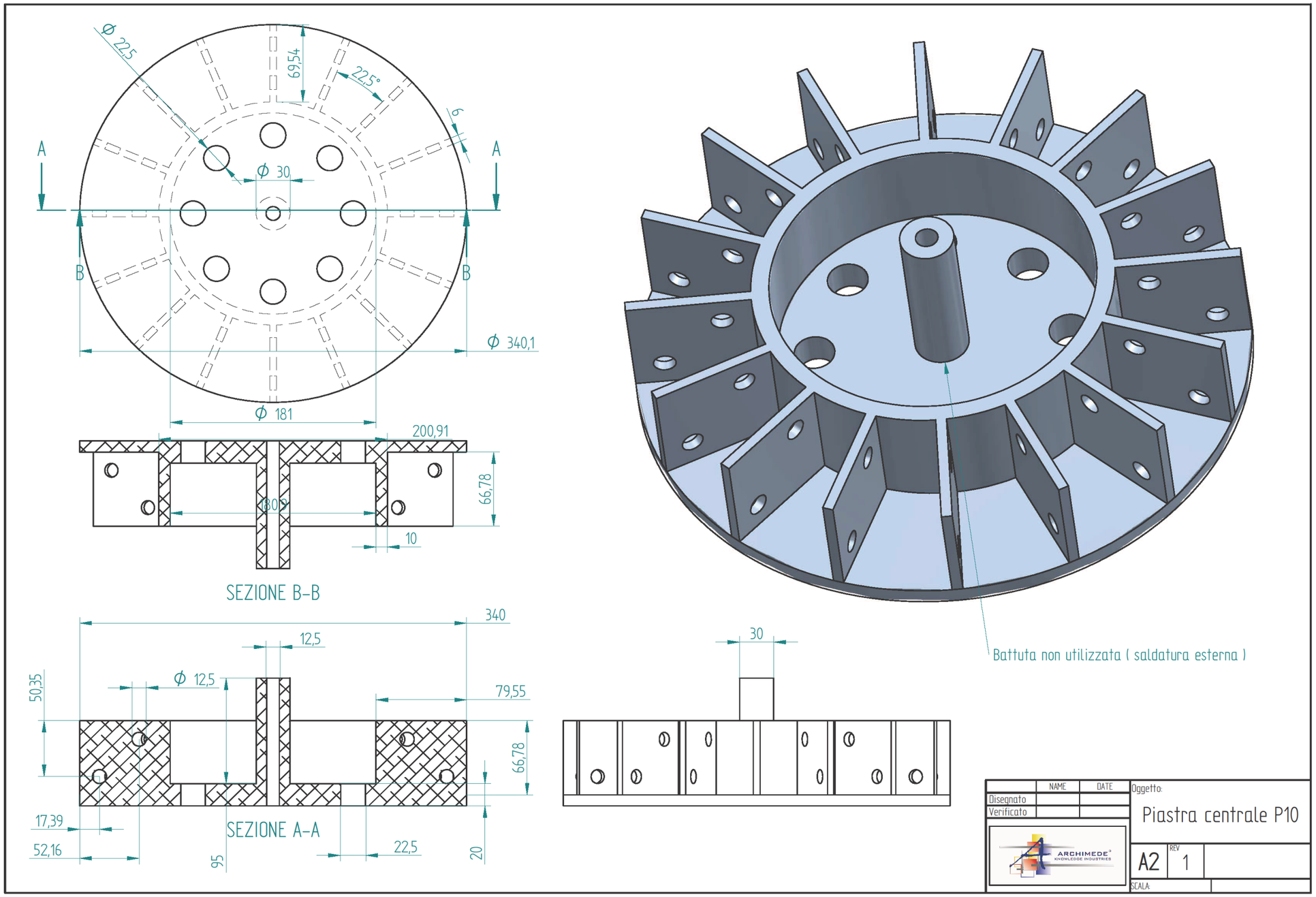
Oggetto: Flangia Rialzo

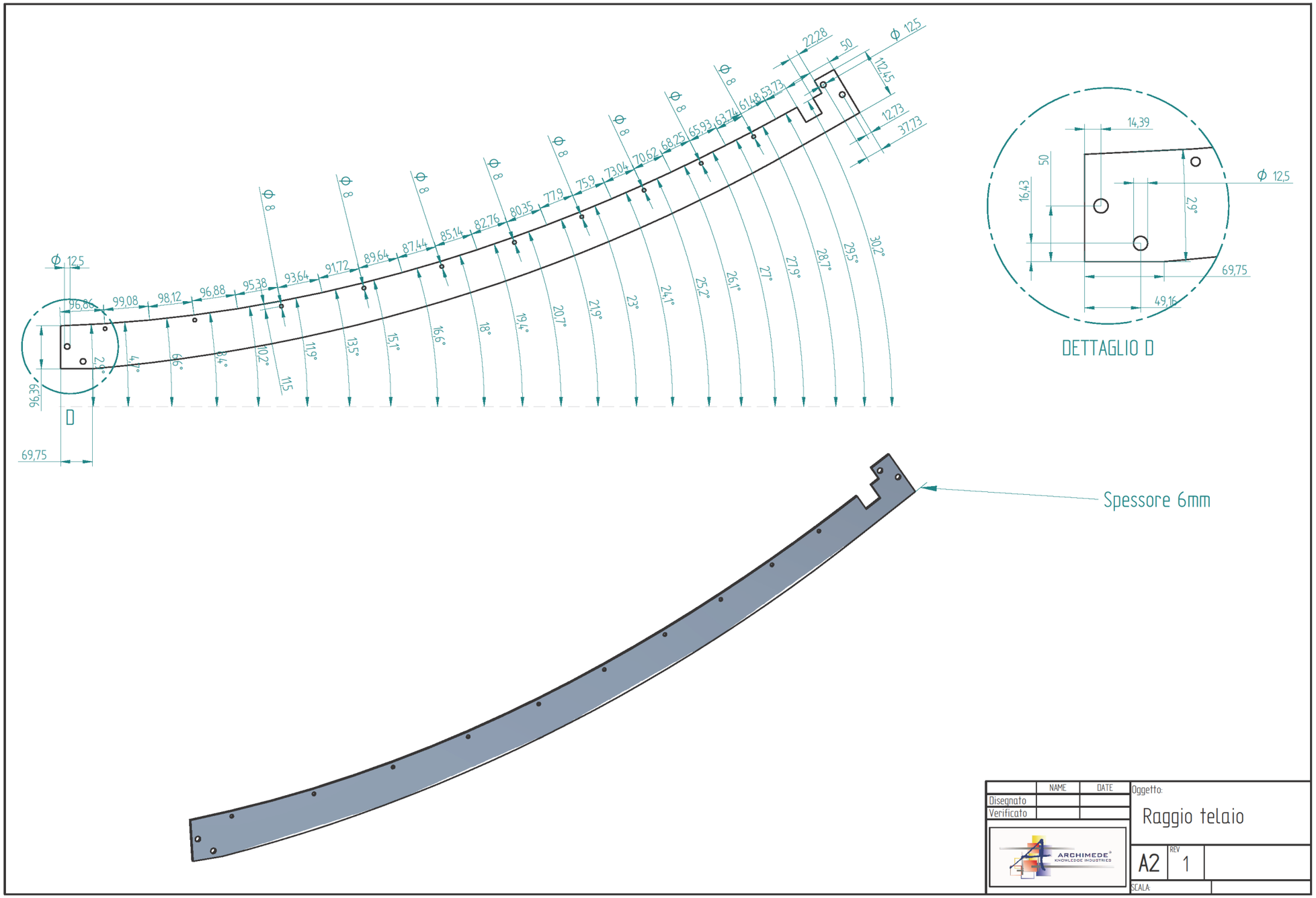
A2 | REV 1

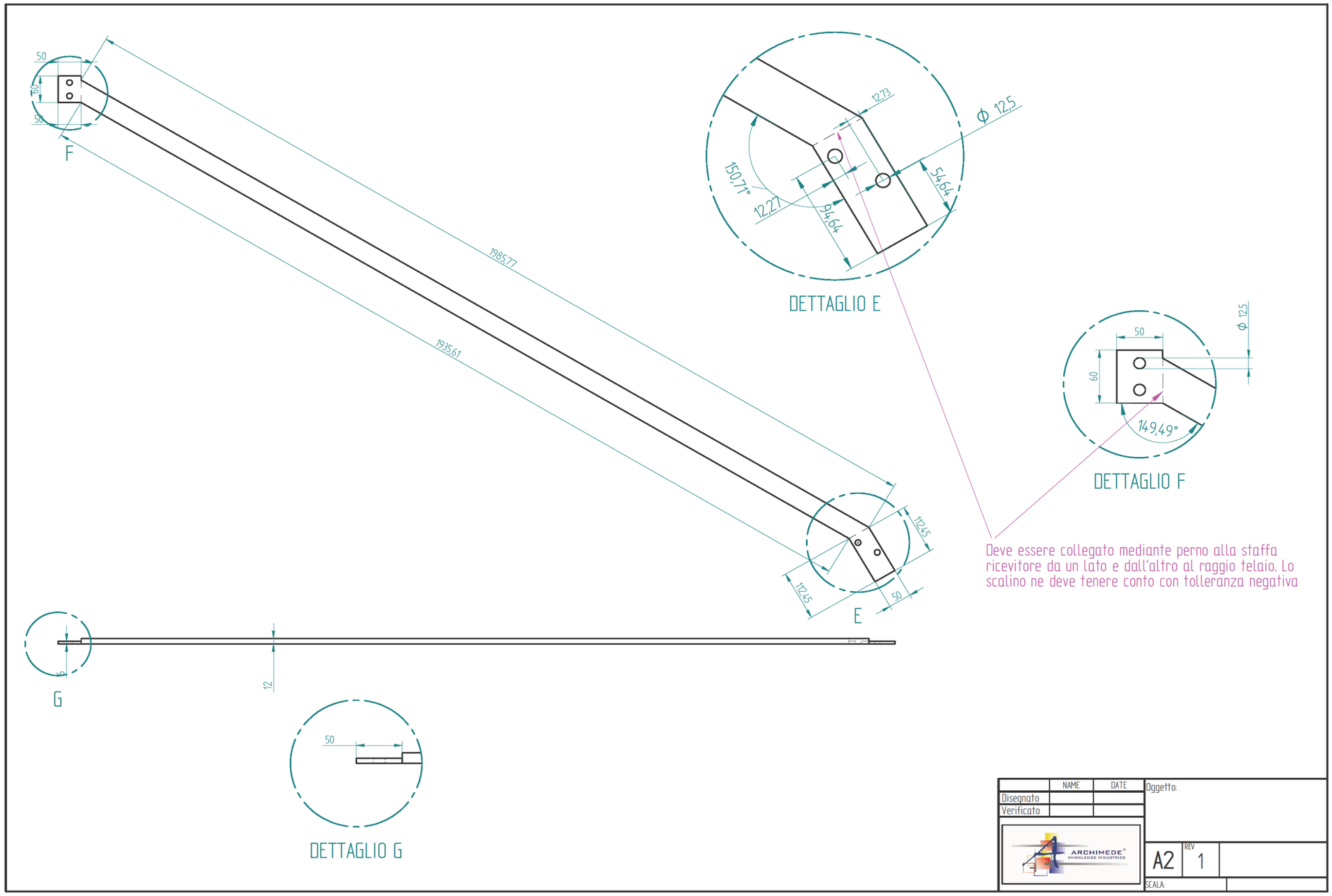
SCALA:

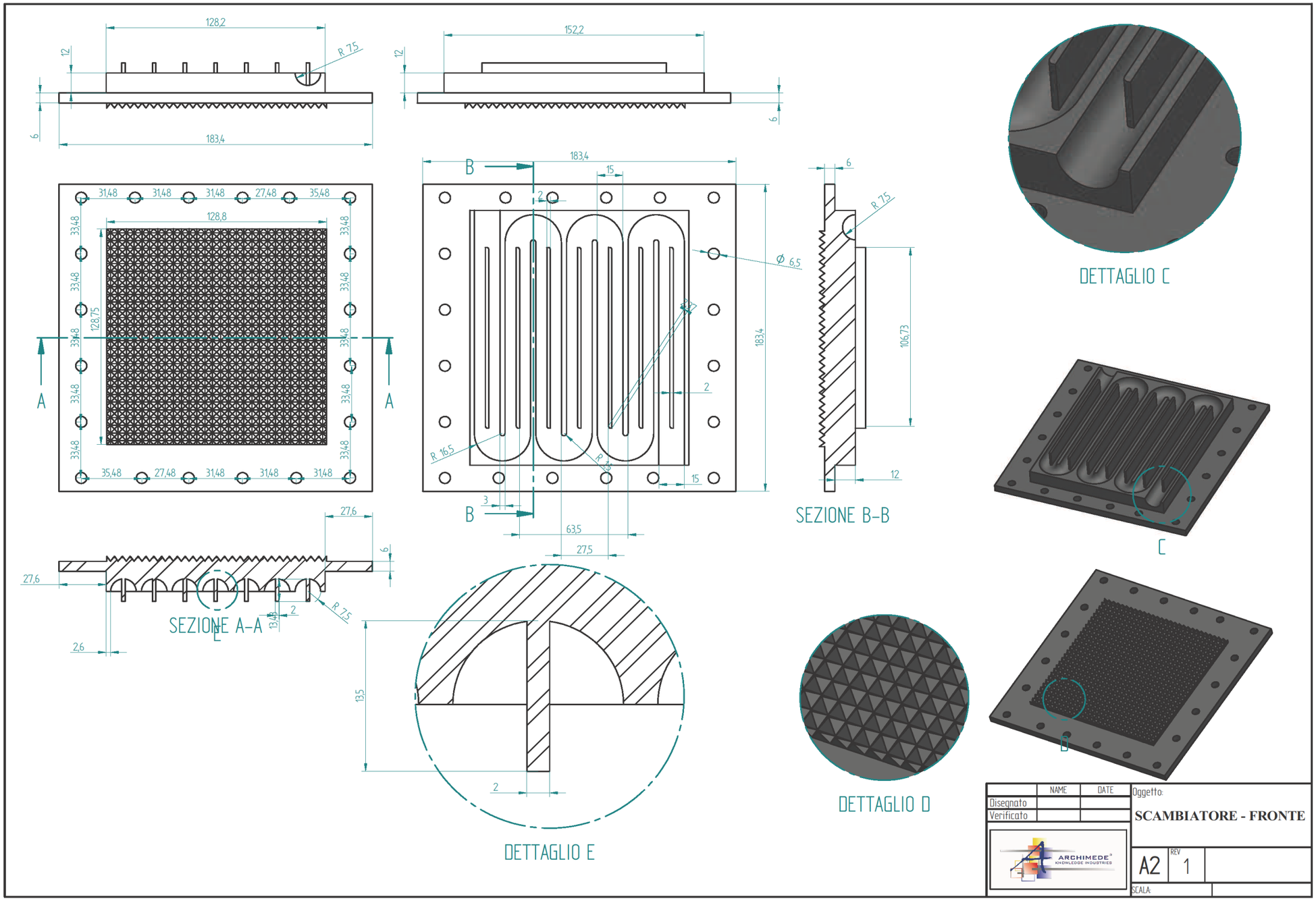

316
10
1600
219,1
300
328,4
13
500
139,32
ϕ 500
ϕ 18,5
Angolo tra fori 22,5°
ϕ 316
ϕ 24,5
ϕ 500
SPESSORE TUBO
10
NAME
DATE
Disegnato
Verificato
ARCHIMEDE
KNOWLEDGE INDUSTRIES
Oggetto:
Palo_1 Sistema_1
A2
REV
1
SCALA:

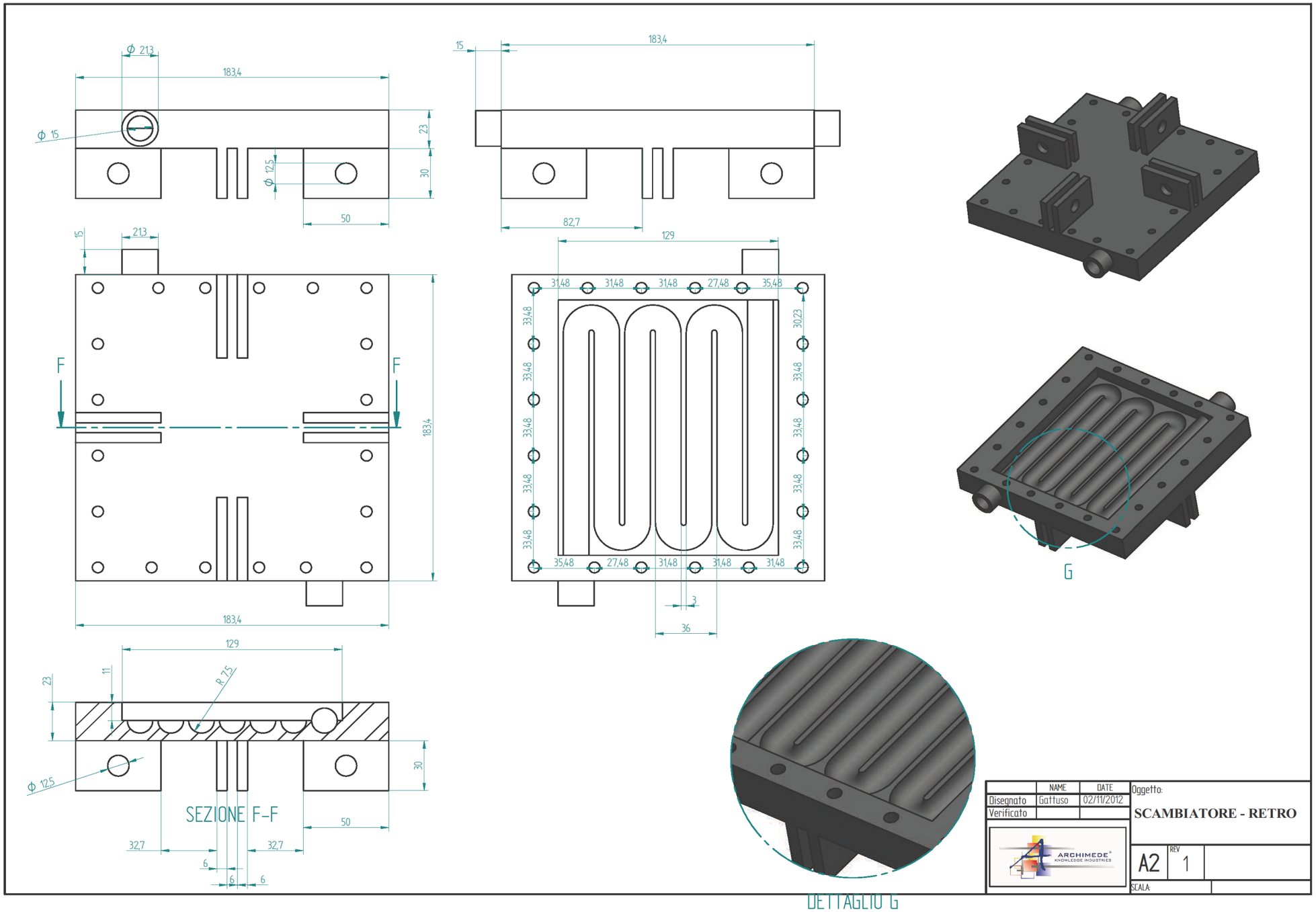

145
100
40
50,8
9
10
16,9
14,7
Φ 145
Φ 14
Φ 100
Φ 90
Φ 79
NAME
DATE
Disegnato
Verificato
Oggetto:
SKF Cusc Y FYC_40_TF
ARCHIMEDE
KNOWLEDGE INDUSTRIES
A2
REV
1
SCALA:

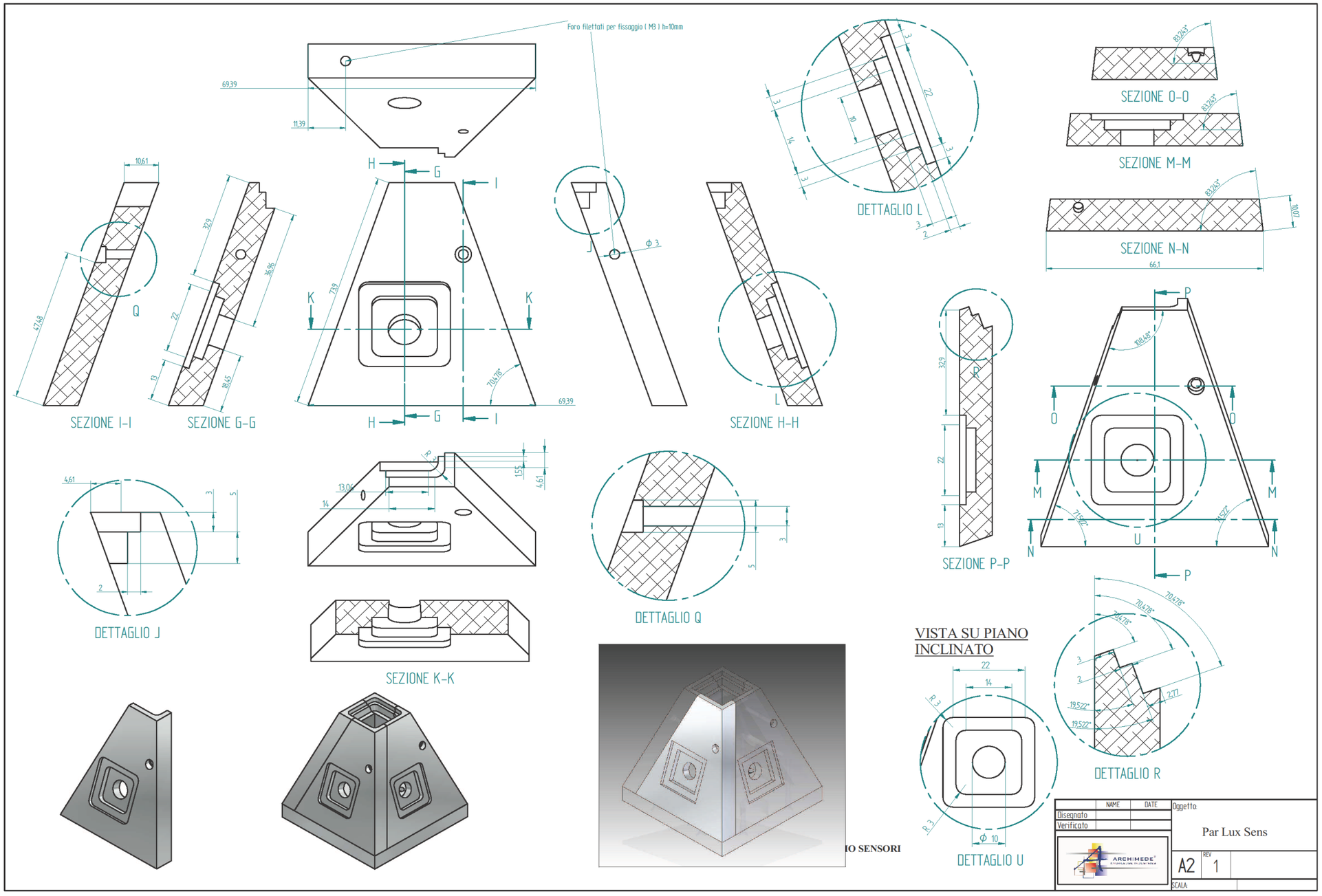

Ø 225
69,54
22,5°
6
A
A
Ø 30
B
B
Ø 340,1
Ø 181
200,91
66,78
Ø 30
10
SEZIONE B-B
340
12,5
Ø 12,5
50,35
79,55
66,78
17,39
52,16
SEZIONE A-A
95
22,5
20
30
Battuta non utilizzata (saldatura esterna)
NAME
DATE
Disegnato
Verificato
Oggetto:
Piastra centrale P10
ARCHIMEDE
KNOWLEDGE INDUSTRIES
A2
REV
1
SCALA:

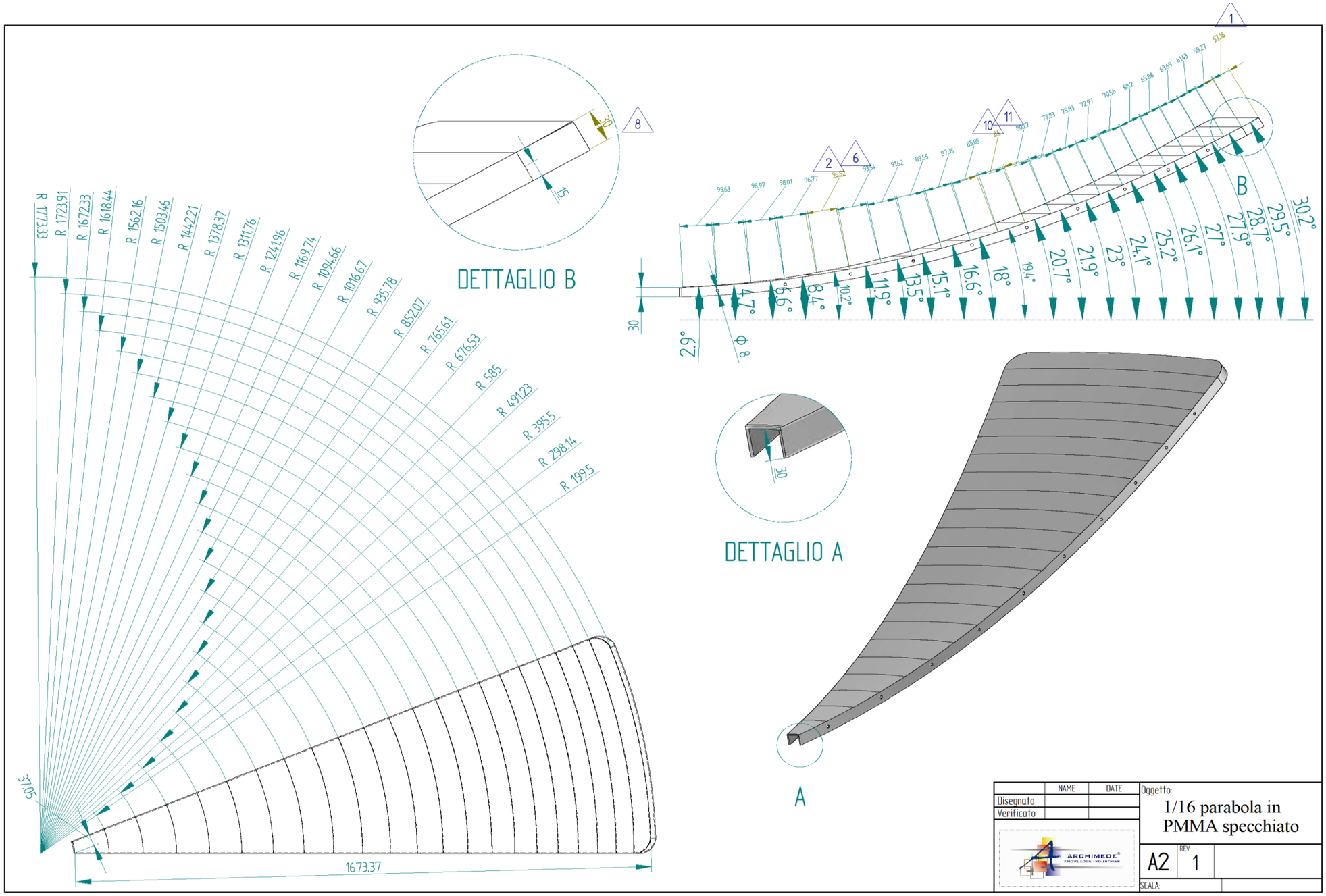

Φ 12,5
96,86
99,08
98,12
96,88
95,38
93,64
91,72
89,64
87,44
85,14
82,76
80,35
77,9
75,9
73,04
70,62
68,25
65,93
63,74
61,48
53,73
Φ 8
22,28
50
112,45
12,73
37,73
2,9°
4,7°
6,6°
8,4°
10,2°
11,5
11,9°
13,5°
15,1°
16,6°
18°
19,4°
20,7°
21,9°
23°
24,1°
25,2°
26,1°
27°
27,9°
28,7°
29,5°
30,2°
96,39
D
69,75
14,39
50
16,43
2,9°
69,75
49,16
DETTAGLIO D
Spessore 6mm
NAME
DATE
Disegnato
Verificato
ARCHIMEDE
KNOWLEDGE INDUSTRIES
Oggetto:
Raggio telaio
A2
REV
1
SCALA:


50
60
50
F
1985,77
1935,61
DETTAGLIO E
12,73
Φ 12,5
150,71°
12,27
54,64
94,64
112,45
112,45
50
E
Φ 12,5
50
60
149,49°
DETTAGLIO F
Deve essere collegato mediante perno alla staffa ricevitore da un lato e dall'altro al raggio telaio. Lo scalino ne deve tenere conto con tolleranza negativa
6
12
G
50
DETTAGLIO G
NAME
DATE
Disegnato
Verificato
Oggetto:
ARCHIMEDE
KNOWLEDGE INDUSTRIES
A2
REV
1
SCALA:


128,2
12
R 7,5
6
183,4
152,2
12
6
31,48
31,48
31,48
27,48
35,48
128,8
33,48
128,75
A
A
35,48
27,48
31,48
31,48
31,48
B
183,4
15
2
Ø 6,5
183,4
R 16,5
R 7,5
2
15
3
B
63,5
27,5
6
R 7,5
6
106,73
12
SEZIONE B-B
DETTAGLIO C
C
27,6
6
27,6
2
R 7,5
13,48
2,6
SEZIONE A-A
E
13,5
2
DETTAGLIO E
DETTAGLIO D
D
NAME
DATE
Disegnato
Verificato
ARCHIMEDE
KNOWLEDGE INDUSTRIES
Oggetto:
SCAMBIATORE - FRONTE
A2
REV
1
SCALA:


ϕ 21,3
183,4
ϕ 15
23
30
ϕ 12,5
50
15
183,4
82,7
129
21,3
F
F
183,4
183,4
31,48
27,48
35,48
33,48
30,23
3
36
G
129
R 7,5
11
23
30
ϕ 12,5
SEZIONE F-F
50
32,7
32,7
6
6
6
DETTAGLIO G
NAME
DATE
Disegnato
Gattuso
02/11/2012
Verificato
Oggetto:
SCAMBIATORE - RETRO
ARCHIMEDE
A2
REV
1
SCALA:


Foro filettati per fissaggio (M3) h=10mm
SEZIONE I-I
SEZIONE G-G
SEZIONE H-H
DETTAGLIO L
SEZIONE O-O
SEZIONE M-M
SEZIONE N-N
SEZIONE P-P
DETTAGLIO J
SEZIONE K-K
DETTAGLIO Q
VISTA SU PIANO INCLINATO
DETTAGLIO U
DETTAGLIO R
NAME
DATE
Disegnato
Verificato
Oggetto
Par Lux Sens
A2
REV
1
SCALA


DETTAGLIO B
DETTAGLIO A
A
B
R 177.33
R 172.39.1
R 167.23.3
R 161.8.44
R 156.2.16
R 150.3.46
R 144.2.21
R 137.8.37
R 131.1.76
R 124.1.96
R 116.9.74
R 109.4.66
R 101.6.67
R 93.5.78
R 85.2.07
R 76.5.61
R 67.6.53
R 58.5
R 49.1.23
R 39.5.5
R 29.8.14
R 19.9.5
37.05
1673.37
30.2°
29.5°
28.7°
27.9°
27°
26.1°
25.2°
24.1°
23°
21.9°
20.7°
19.4°
18°
16.6°
15.1°
13.5°
11.9°
10.2°
8.4°
6.6°
4.7°
2.9°
Φ 8
30
Disegnato
Verificato
NAME
DATE
Oggetto:
1/16 parabola in PMMA specchiato
A2
REV
1
SCALA:

7 Conclusioni

L'apparecchiatura SEC progettata in questo lavoro di tesi presenta valori tipici di funzionamento perfettamente in linea ai valori calcolati teoricamente.

Da notare che i valori di rendimento ricavati con scostamenti comunque non superiori a 5 punti percentuali rispetto ai valori teorici sono inficiati da una radiazione reale sempre inferiore alla radiazione di 900 w/m^2 utilizzata per il calcolo delle curve prestazionali teorica. Tale radiazione è sicuramente raggiunta nei mesi estivi e primaverili ma ovviamente varia da sito a sito. Il valore scelto è comunque inferiore alla radiazione media di 1000 w/m^2 che viene normalmente utilizzata quale radiazione standard per le curve prestazionali di pannelli solari termici tradizionali che ovviamente devono permettere agli operatori di settore di effettuare dimensionamenti di impianti solari termici in qualsiasi luogo e in qualsiasi stagione.

Dallo studio delle curve di temperatura in funzione del tempo notiamo inoltre che il sistema ha una certa inerzia nel raggiungere la temperatura di lavoro dovuta essenzialmente alla quantità di massa totale dell'olio nel serbatoio di accumulo termico.

Se si vuole raggiungere la temperatura di lavoro T di 300˚C in un tempo inferiore alle 3 ore pari ad esempio a 1 ore sarà necessario alternativamente:

- ridurre il volume dell'accumulo a circa 30 litri
- lavorare con numero 3 SEC in parallelo.

Se infine l'utilizzatore reale lavora con salti termici ad esempio di 100˚C tra temperatura di mandata e di uscita dell'olio diatermico sarà necessario mettere in serie 10 SEC. Dall'esame delle curve caratteristiche si evince inoltre che la potenza termica massima erogabile a temperatura di lavoro costante di 300˚C raggiunta dal SEC in una giornata invernale è pari a 6 KW. Si potrebbe dunque concludere che nel corso dell'anno includendo i mesi a maggiore radiazione comunque la potenza termica massima erogabile dal SEC a temperatura di lavoro costante di 300˚C non supera comune i 7 KW pari alla radiazione standar di 1000 W/m^2 per la superficie captante del collettore 10 m^2 per il rendimento globale del 70%.

Il SEC è in grado dunque di lavorare con alte temperature e con rendimenti prossimi al 70%. Un impianto solare termico costruito con un certo numero di SEC in

serie/parallelo è in grado di lavorare a pieno regime (potenza erogata alla temperatura di lavoro dell'utilizzatore) anche dopo un piccolo tempo di avvio (15 minuti) e con rendimenti superiori a quelli in cui lavorerebbe un impianto solare termico tradizionale che presenta comunque una maggiore inerzia (tempi di avvio sensibilmente piu' lunghi) e temperature di lavoro non superiori a 80 ° C. Un impianto solare termico tradizionale inoltre in condizioni di vento identiche a quelle rilevate nelle due giornate utilizzate per le prove sperimentali avrebbe lavorato con rendimenti non superiori al 50%.

Il SEC infatti minimizza le perdite per irraggiamento e per convezione naturale proprio perchè grazie alla concentrazione solare di 1000 soli ha una superficie disperdente mille volte piu' piccola rispetto a quella di un collettore solare tradizionale di identica superficie captante anche se ad una temperatura di parete circa 3,5 volte piu' alta.

Dunque il rendimento di riflessione del collettore e la alta temperatura di parete del ricevitore sebbene abbattano il rendimento del SEC non sono comunque in grado di inficiare gli effetti benefici della concentrazione solare, grazie alla quale si produce comunque un rendimento globali prossimo al 70% in qualsiasi condizione di insolazione, temperatura ambiente, e velocità del vento. Il sistema risulta dunque stabile sia per temperatura di lavoro che per rendimenti durante il corso dell'anno e le ore della giornata. Al contrario un impianto solare termico tradizionale è molto piu' sensibile alle condizioni esterne ovvero insolazione temperatura ambiente e velocità del vento e lavoro dunque con condizioni di gran lunga meno stabili di temperatura di lavoro e rendimenti.

Il SEC raccoglie inoltre nel corso dell'anno la stessa quantità di energia proprio perché inseguendo il sole intercetta la componente ortogonale della radiazione diretta sulla superficie captante. Un collettore solare termico tradizionale di identica superficie captante per raccogliere la stessa energia radiante ancorché con rendimenti inferiori (energia disponibile all'utilizzatore) dovrebbe essere inclinato a circa 45 gradi per massimizzare la componente solare totale (luce diretta + luce diffusa) media annuale sul piano del modulo.

Per le sue caratteristiche dunque il SEC risponde perfettamente agli obiettivi prefissi in sede di progettazione che si ponevano quale meta ambiziosa da raggiungere lo sviluppo di un nuovo Convertitore di Energia Solare ad alta efficienza per applicazioni di efficientamento energetico in agricoltura attraverso un utilizzo ambientalmente sostenibile di suolo agricolo. L'apparecchiatura cosi' sviluppata è utilizzabile per diverse

applicazioni modulari e di sistema in una logica smart grid e su terreni orograficamente articolati e impervi e dunque non utilizzabili ai fini produttivi con coltivazioni intensive sia per applicazioni civili che industriali che in agricoltura.

Il suolo di ingombro inoltre a differenza che in un impianto tradizionale puo' essere ulteriormente utilizzato per particolari colture e/o per il pascolo di bestiame essendo la superficie captante del collettore sopraelevata dal suolo attraverso un semplice palo di fondazione..

L' impianto modulare ottenuto con serie e paralleli di un determinato numero di SEC grazie a temperature di lavoro superiori a 300 ˚C è in grado di soddisfare

- la richiesta di energia termica in agricoltura in aziende agricole e agrituristiche per la climatizzazione invernale ed estiva di ambienti residenziali di lavoro (solar heating e solar cooling) , nonche' di impianti Serricoli ad alta produzione intensiva di culture altamente redditizie.
- la richiesta di energia termica nell'industria di processo agroalimentare (produzione di marmellate prodotti caseari, succhi di frutta etc etc) volta ad ottenere vapore saturo o surriscaldato, olio e/o acqua calda o aria e/o gas di alimentazione preriscaldati in funzione delle temperature di lavoro dell'utilizzatore ovvero dell'apparecchiatura industriale alimentata con energia termica (generatore di vapore, colonna di distillazione, evaporatore, cristallizzatore, colonna di assorbimento e/o desorbimento, turbine)
- la richiesta di energia termica ad alta temperatura per la produzione di energia elettrica attraverso un ciclo OCR da utilizzare in situ in piccoli impianti modulari di produzione (1 MW) per le esigenze energetiche termiche ed elettrica di una azienda agricola
- la richiesta di energia termica ad alta temperatura in zone isolate per la desalinizzazione di acque salmastre

Il Convertitore di Energia Solare (S.E.C. - Solar Energy Converter) dunque permette la costruzione di impianti solari termici ad alta efficienza per le applicazioni di efficientamento energetico in agricoltura attraverso un utilizzo ambientalmente sostenibile di suolo agricolo.

Il prototipo realizzato grazie al contributo della società ARCHIMEDE SRL ad oggi perfettamente funzionante è attualmente ubicato presso un suolo di proprietà

dell'azienda nella zona industriale di Caltanissetta contrada Grottadacqua disponibile per qualsiasi eventuale ulteriore prova di approfondimento di altra tesi di dottorato. La società Archimede visti i risultati raggiunti si è gia dichiarata interessata alla produzione industriale dell'apparecchiatura SEC.

8 Bibliografia

DOCUMENTI

- Robert H.Perry – Don Green: Perry's Chemical Engineers'Handbook;
- J M Coulson – J F Richardson: Chemical Engineering;
- A.S. Foust – L.A. Wenzel – C.W. Clump – L.Maus – L.B.Andersen: I Principi Delle Operazioni Unitarie;
- Ezio Zandegiacomo – Università degli studi di Trieste: Appunti di Trasmissione del Calore;
- Roberto Lensi - Università degli studi di Pisa – Facoltà di Ingegneria: L'Exergia;
- Alessandra Carota - Francesco Negrini - Luca Trevisani – Università degli studi di Bologna: Quaderni di Energia Elettrica, Impianti Solari Termoelettrici a Concentrazione;
- Dr.Felix A. Peuser, Karl – Heinz Remmers, Martin Schnauss – Il Solare Termico a Circolazione Forzata;
- Angela Cavallo – Università di Salerno - Fonti energetiche rinnovabili base di un nuovo progettare;

FONTI MULTIMEDIALI

- Wikipedia;

SOFTWARE

- Solid Edge – Disegno 3D componenti meccanici;
- Nastran – Calcolo Sforzi meccanici;
- Labview – Controllo automatismi;