



***Presentazione Attività di Ricerca 3°Anno
Dottorato Ingegneria Industriale
XV – XXIV Ciclo***

**Definizione, modellazione teorico – sperimentale ed
Energy Management di sistemi termo – fotovoltaici a
concentrazione**

***Tutor
Prof. Carlo Renno***

***Candidato
Fabio Petito***

Attività pregresse(1/2)

1. Definizione degli **elementi costitutivi** e dei **principali parametri** di analisi al fine di **caratterizzare le configurazioni** di un sistema a concentrazione 

2. **Modellazione teorica** preliminare per la valutazione **energetica** delle prestazioni di un CPV/T e definizione di un **modello di scelta** 

3. Analisi delle principali **cause di inefficienza** per una specifica configurazione attraverso un primo approccio alla **manutenzione** 

4. **Progettazione**, allestimento e prime **prove** per un impianto **sperimentale** a concentrazione 

Attività pregresse(2/2)

5. Prima **caratterizzazione** sperimentale dell'impianto a **concentrazione costante** ed individuazione dei principali parametri



6. **Modello termico transitorio** in Ansys per una configurazione **point – focus** per la valutazione della temperatura del fluido termo – vettore



7. Modelli alle **reti neurali** per la previsione della radiazione **globale e diretta** al fine di stimare la producibilità di un impianto CPV/T



Sistema a concentrazione

Componenti

Ottica

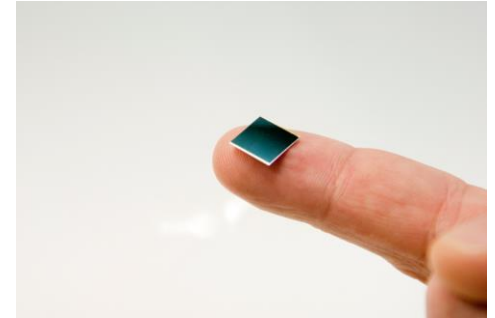
Ricevitore

Tracker

Fattore
Concentrazione

Angolo
Accettazione

Configurazione



Parametri

Sistema a concentrazione

Componenti

Ottica

Rifrattiva

Riflessiva

- Lenti o specchi
- Concentrare la radiazione
- Ridurre il numero di celle



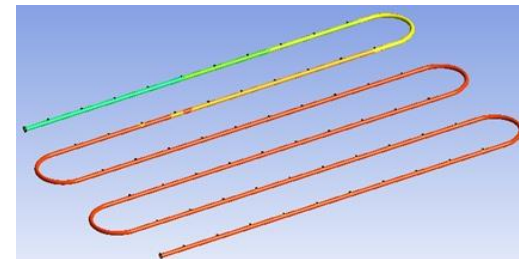
Ricevitore

Cella MJ



Sistema
dissipazione
del calore

- Maggiore η
- Resistenza a T alte



Tracker

Mono assiale

Biassiale

- Radiazione diretta
- Asse del concentratore perpendicolare



Sistema a concentrazione

Parametri

Ruolo diretto

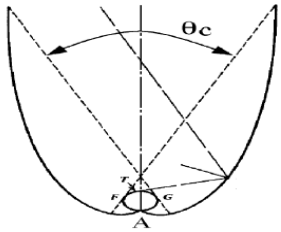
> *Radiazione incidente*
 > *Varia i parametri della cella (V, I, R)*

Ruolo indiretto

> η con la C
 > T delle celle

Fattore Concentrazione

$$C_{geo} = \frac{A_1}{A_2} \Rightarrow C_{opt} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{A_1}{A_2} \cdot \eta_{opt} = C_{geo} \cdot \eta_{opt}$$

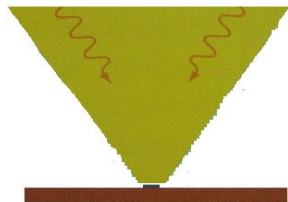


Angolo di accettazione

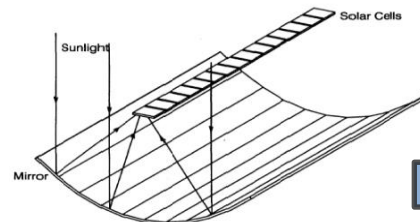
$$\theta(C) = \arcsin \sqrt{\frac{1}{C}}$$

Angolo tra semiretta Sole - CPV/T e asse dell'ottica;
 Massimo angolo rispetto alla normale per il quale la luce è concentrata sull'area attiva del ricevitore;
 Si riduce all'aumentare di C;
Efficienza ottica < per ϑ > ϑ max.

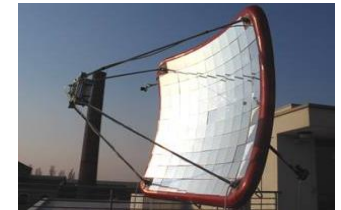
Point - focus



Line- focus



Dense Array



Configurazione

Modellazione teorica iniziale

Configurazione ed ipotesi

Sistema
CPV/T

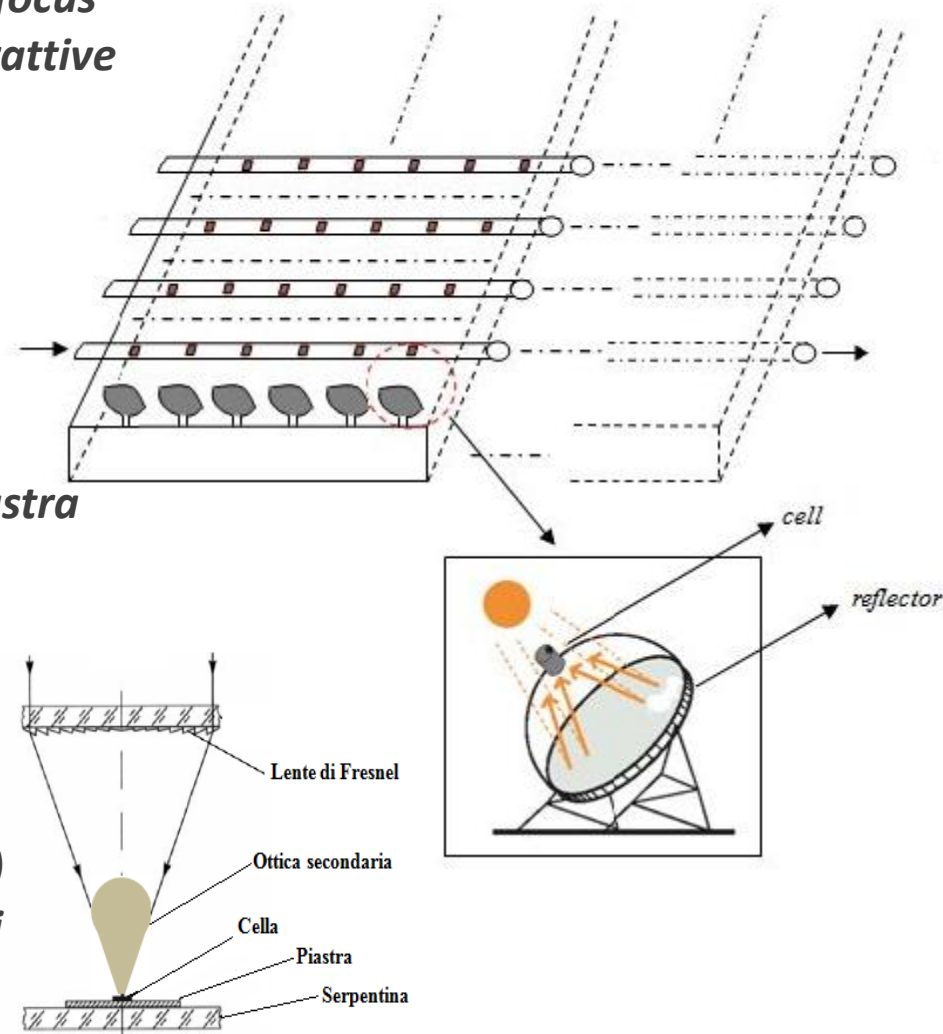
1. Configurazione point-focus
2. Ottiche riflessive e rifrattive
3. Celle MJ
4. Recupero del calore
5. Inseguitore
6. Carichi utenza

Ipotesi

1. Regime stazionario
2. Radiazione costante
3. Temperatura della piastra uniforme
4. Intervallo orario

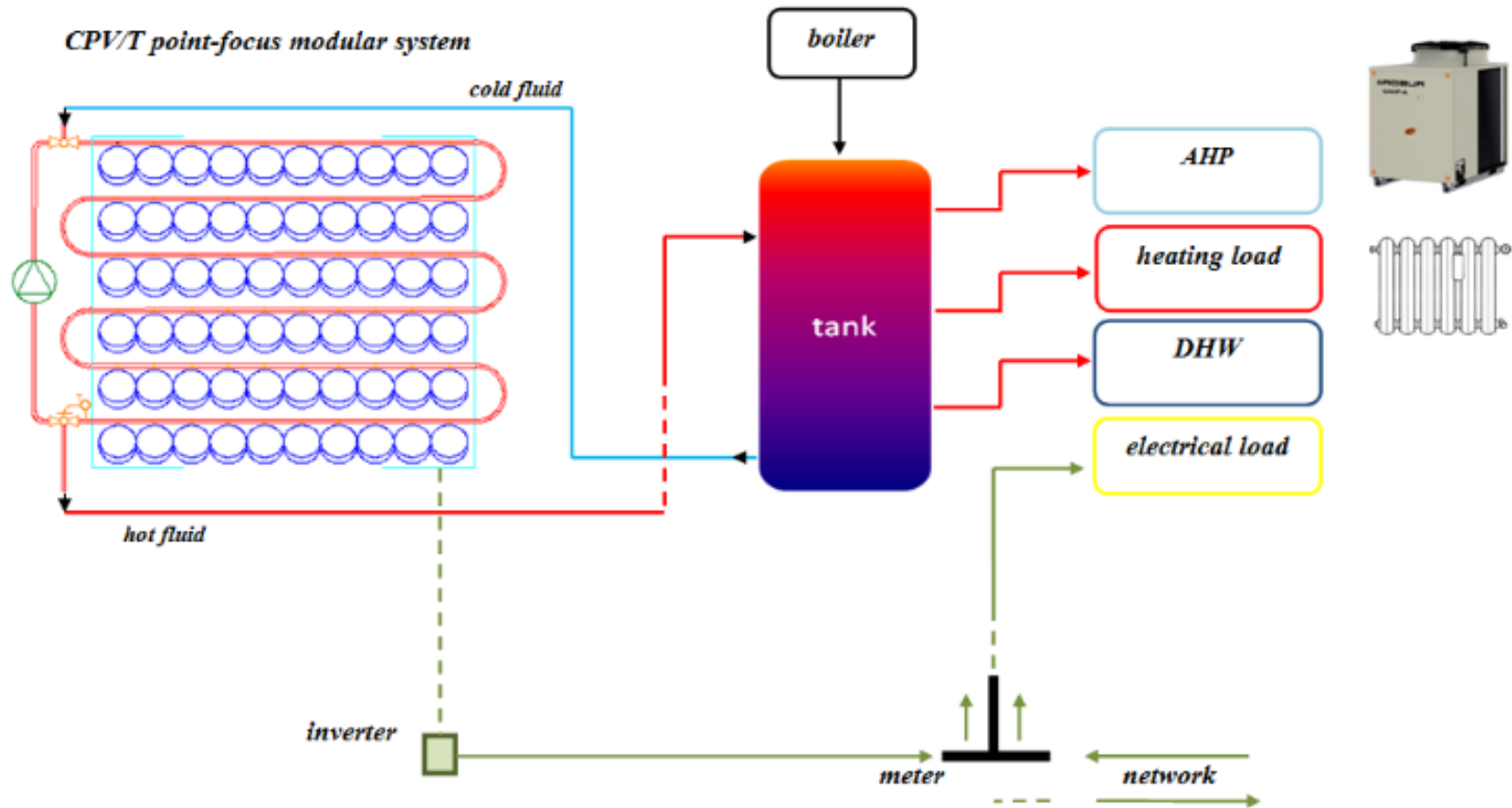
Simulazione

1. Funzionamento
2. C
3. Radiazione (posizione)
4. Numero celle e moduli
5. Periodo anno



Modellazione teorica iniziale

Possibile schema CPV/T per utenza



Modello teorico iniziale

Funzionamento

Elettrico

T cella

$$T_c = T_0 + \frac{V_{oc}(C) - V_{oc}(C_0)}{|\beta(C)|}$$

η cella

$$\eta_{c,th} - \eta_{ref} = \sigma_t \cdot (T_c - T_{ref})$$

Potenza

$$P_{e,CPV/T} = (G_{dir} \cdot C \cdot A_c \cdot \eta_{opt} \cdot \eta_c) \cdot N_c \cdot \eta_{modulo} \cdot N_m \cdot \eta_{inv}$$

Termico

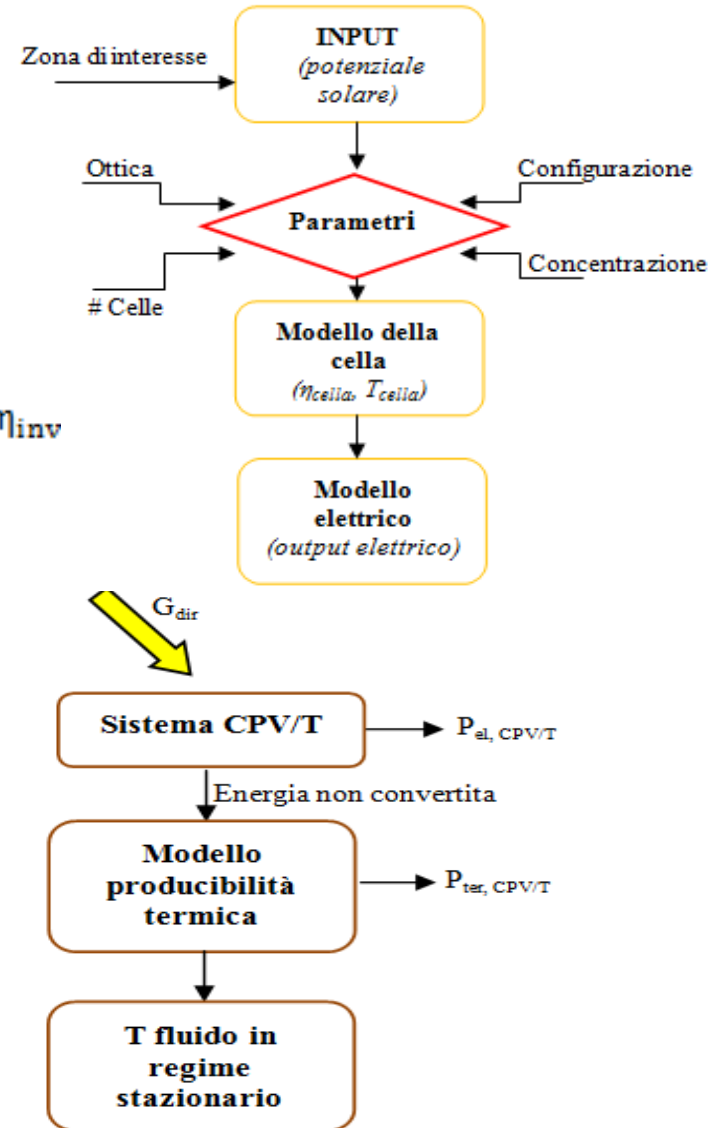
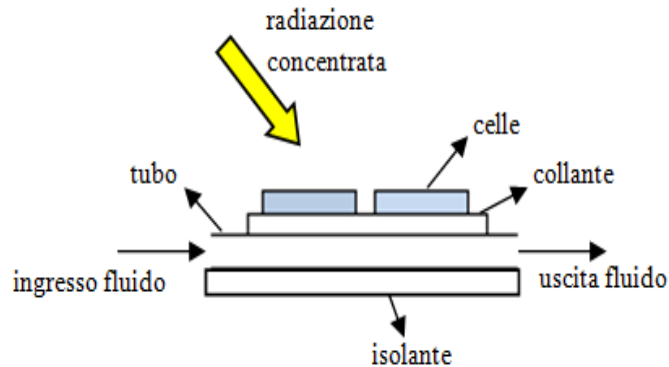
T fluido

$$T_{f,out} = T_p - \frac{T_p - T_{f,in}}{\frac{h_c \cdot A_{tot}}{e \cdot m \cdot c}}$$

Potenza

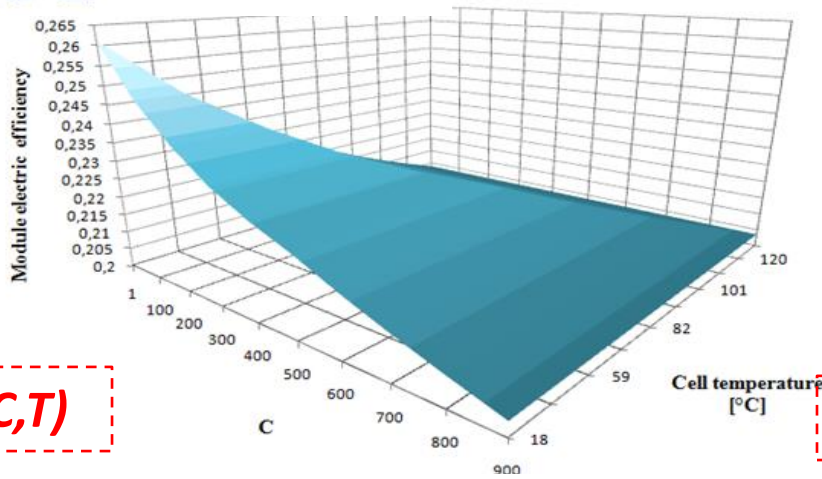
$$P_{ter,id} = (1 - \eta_{el,CPV/T}) G_{inc,m}$$

$$P_{ter,reale} = P_{ter,id} - P_{ter,persa}$$



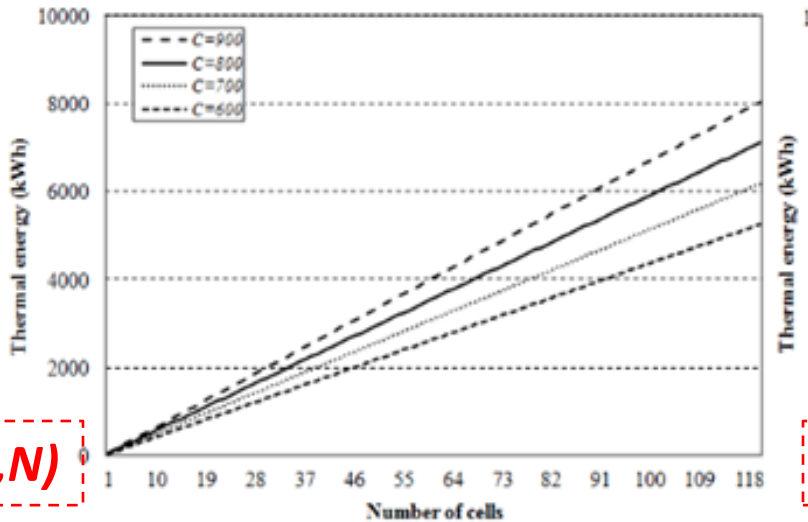
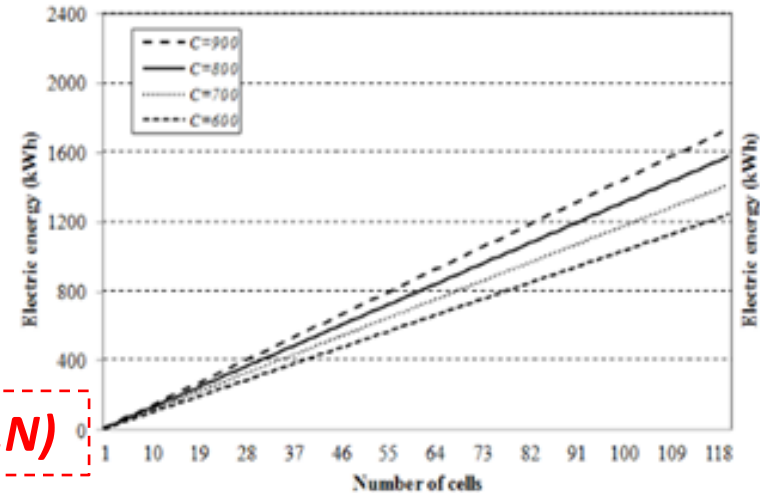
Modello teorico iniziale

Simulazioni



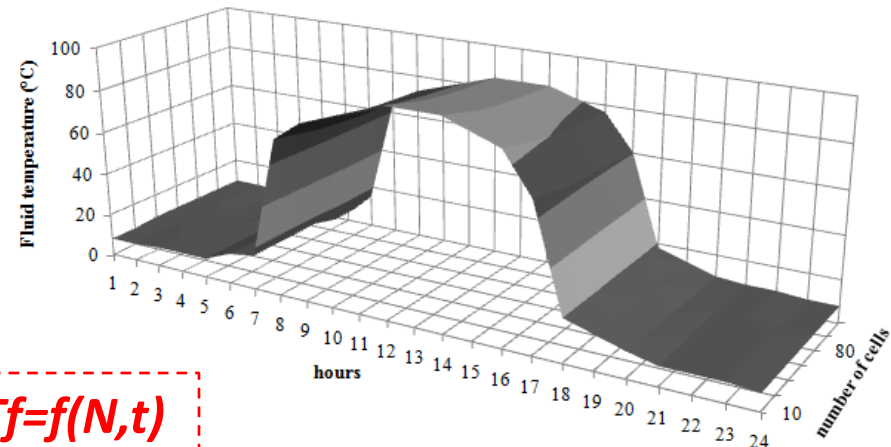
$$\eta_c = f(C, T)$$

$$E_{el} = f(C, N)$$



$$E_t = f(C, N)$$

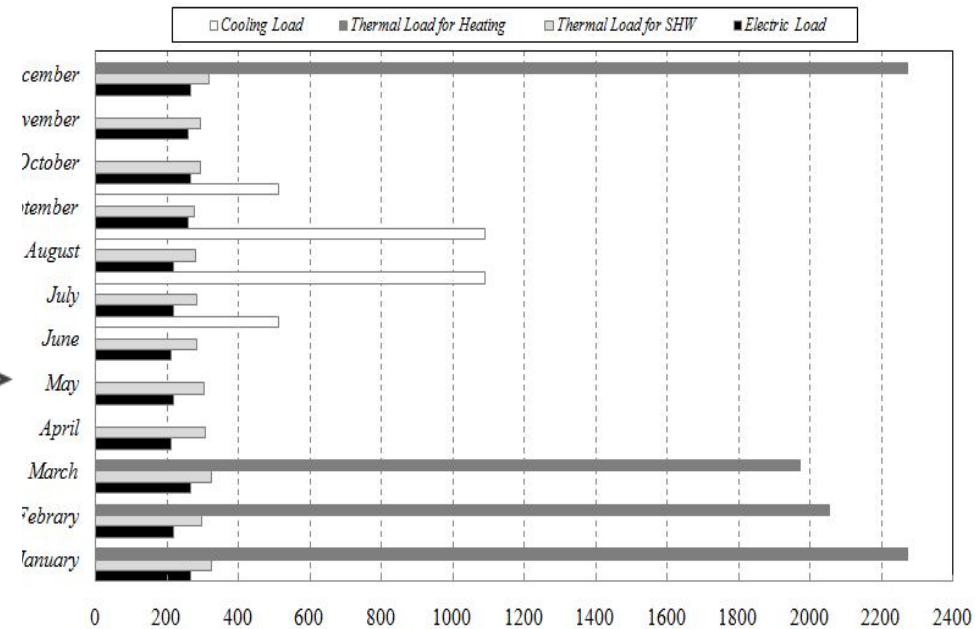
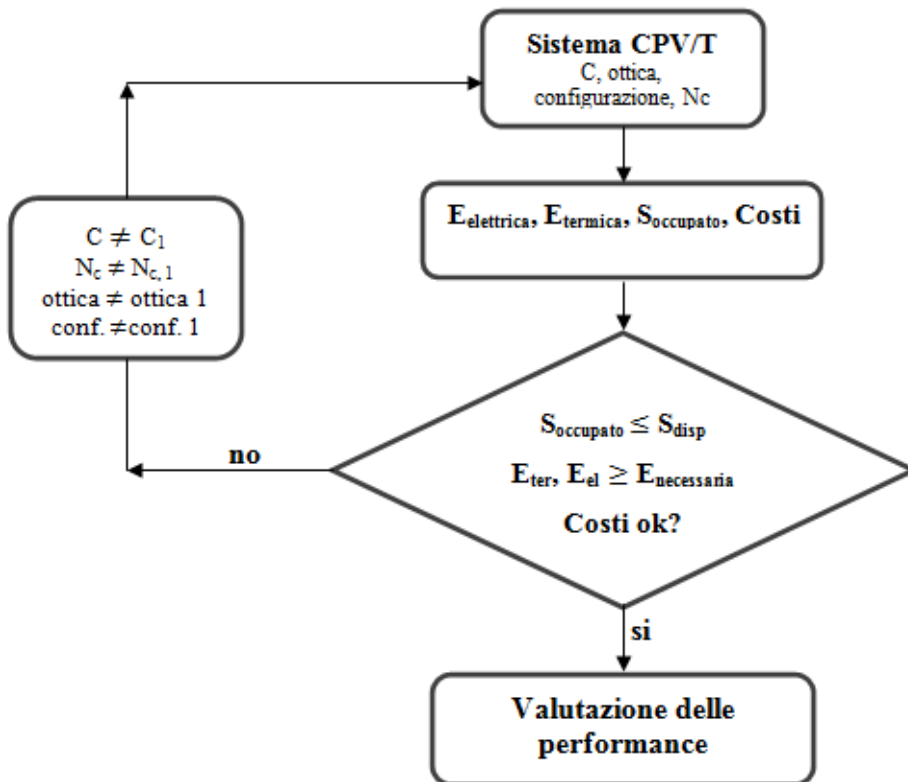
$$T_f = f(N, t)$$



Modello teorico iniziale

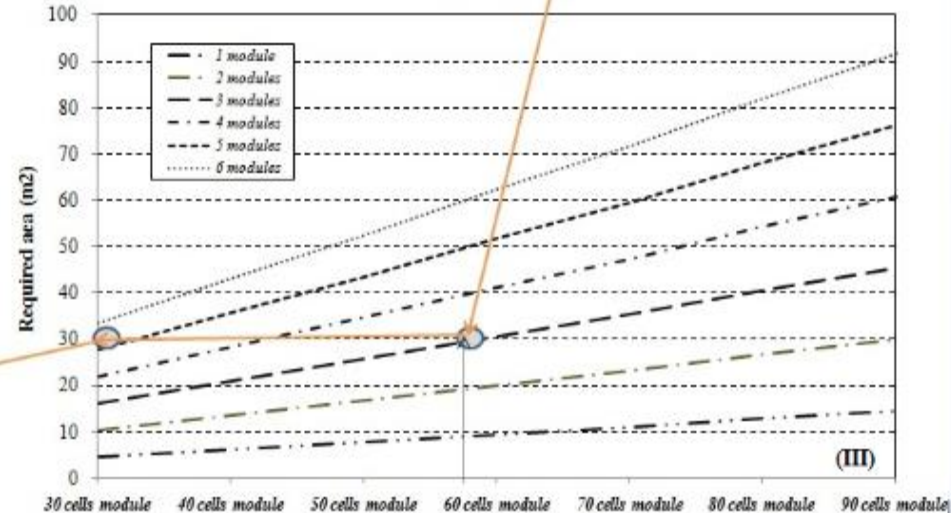
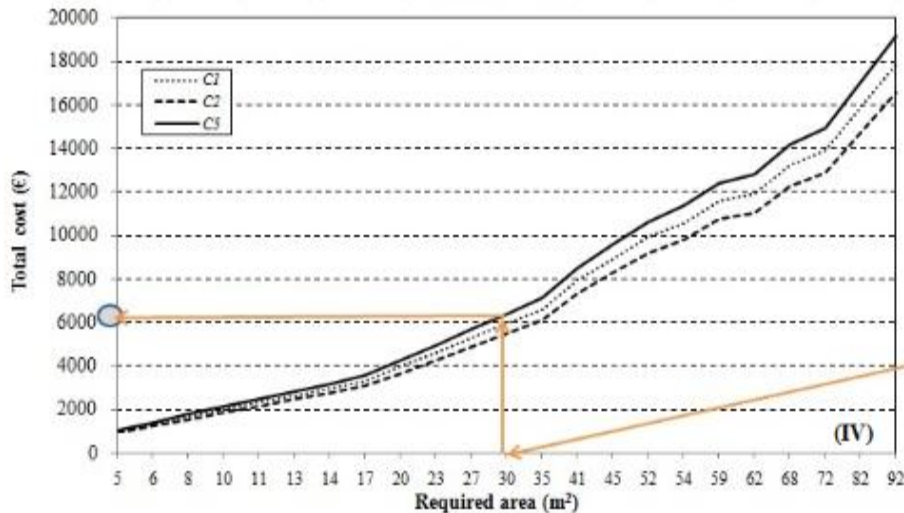
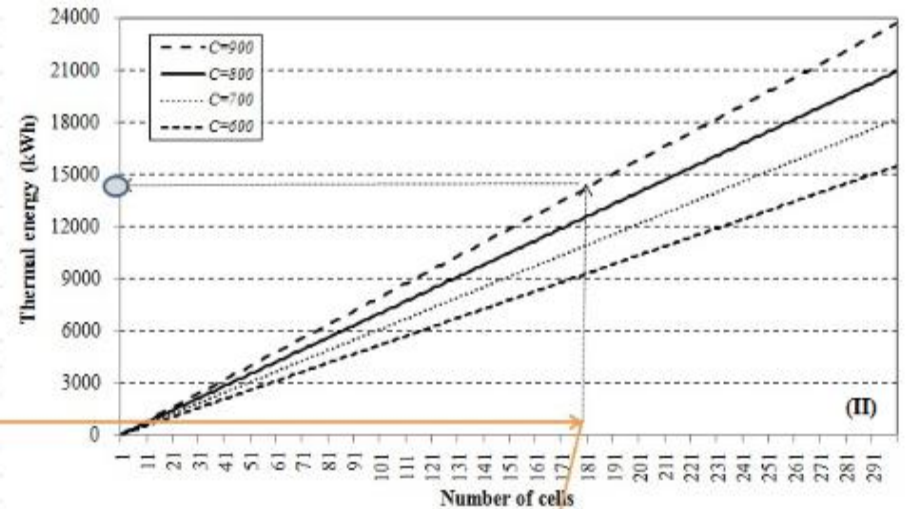
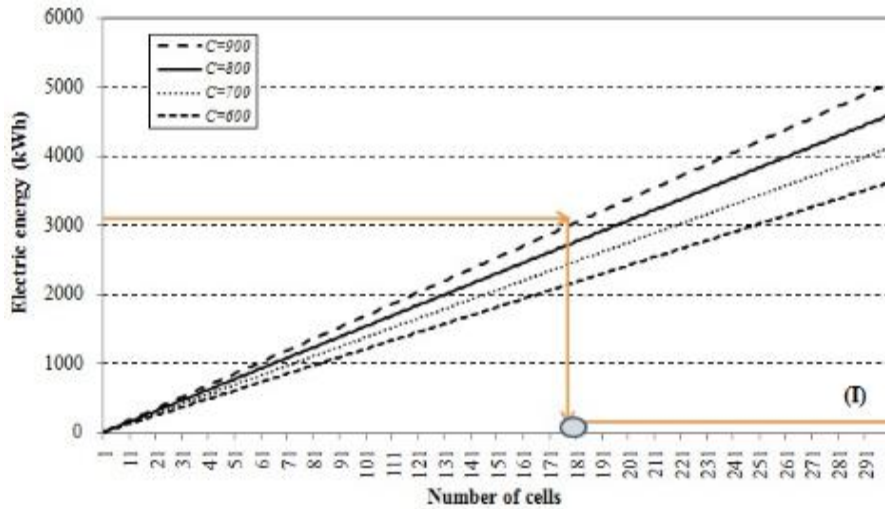
Modello di scelta (1/2)

OBIETTIVO: Soddisfare i carichi, stabilire la configurazione, rispettare costi e spazi



Modello teorico iniziale

Modello di scelta (2/2)

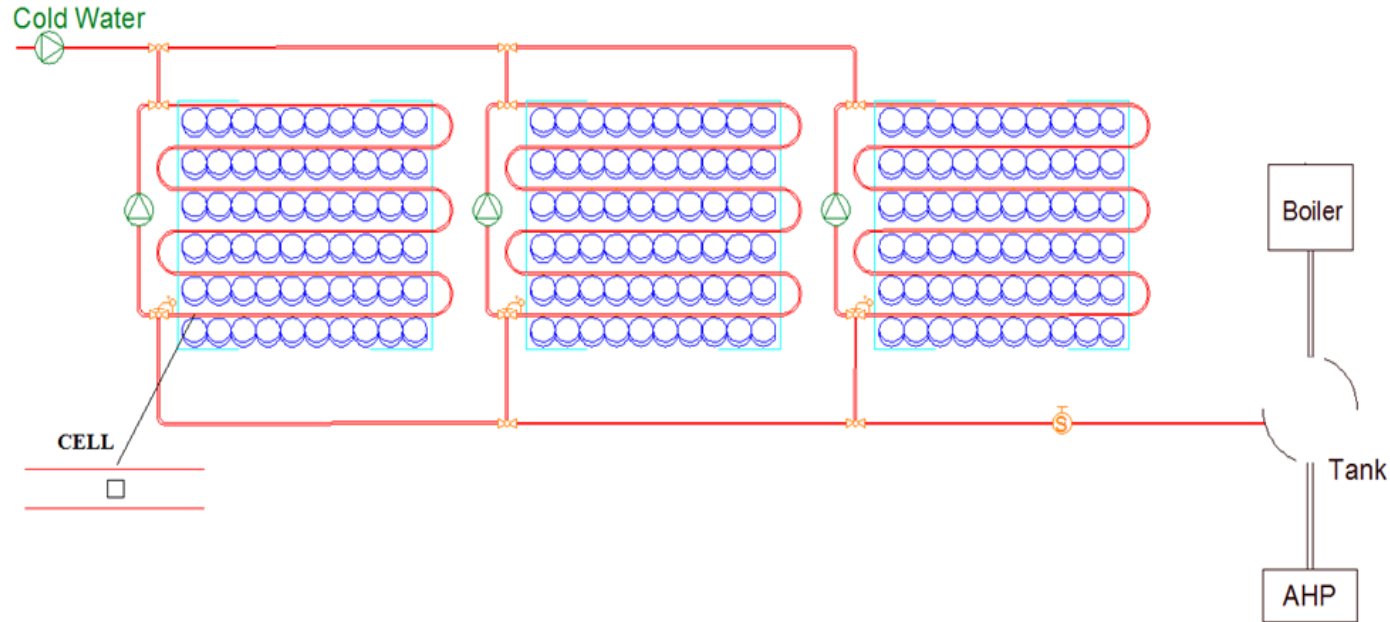


Analisi delle inefficienze

Approccio alla manutenzione

Impianto:

- 3 moduli
- 4 v. raccordo
- 1 pompa
- 1 caldaia
- 1 serbatoio
- 1 eventuale AHP;
- 2 tracker



ANALISI DELLE INEFFICIENZE (basata su metodologia **FMECA**)

Analisi criticità

Stima danno energetico

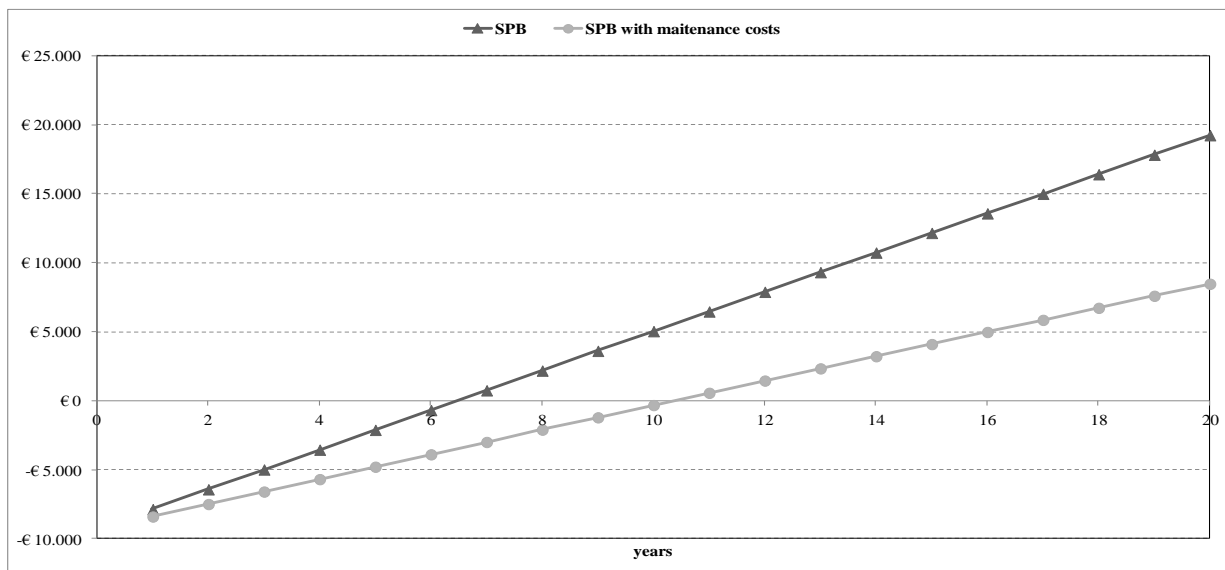
Interventi correttivi

Analisi delle inefficienze

Danno energetico ed analisi economica

<i>Component (Failure mode)</i>	<i>Electric Loss [kWh/year]</i>	<i>Thermal Loss [kWh/year]</i>	<i>Electric Inefficiency cost [€/year]</i>	<i>Thermal Inefficiency cost [€/year]</i>
<i>Cell (hotspot)</i>	52,9	166	€ 12,7	€ 11,6
<i>Optics (damage)</i>	17,0	53,2	€ 4,09	€ 3,73
<i>Optics (dirty)</i>	22,1	69,2	€ 5,31	€ 4,85
<i>Electric motor (damage)</i>	11,0	11,5	€ 0,88	€ 0,81
<i>Inverter (damage)</i>	18,3	19,1	€ 1,47	€ 1,34
<i>Pump (damage)</i>	7,46	7,77	€ 0,60	€ 0,54
<i>Tank (damage)</i>	3,70	3,86	€ 0,30	€ 0,27
Total	132,6	330,3	€ 25,35	€ 23,12

Costi di inefficienza termica ed elettrica per guasto rilevato in base ai tempi di inefficienza (FMECA)



Aumento del SPB

Analisi delle inefficienze

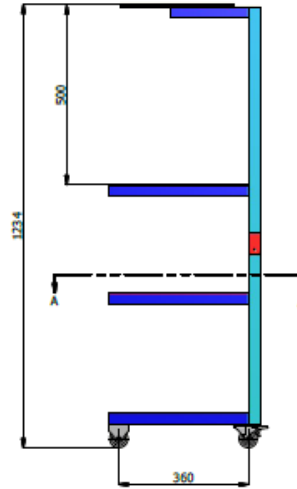
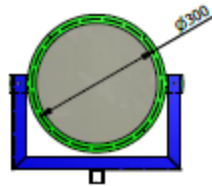
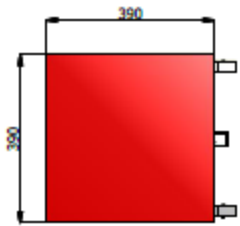
Ordine di criticità

Rank	Component (Failure mode)	Failure cause	Weak Signals
1	Cell (hotspot)	Overheating	Cell efficiency reduction
2	Electric motor E-W (damage)	Accidental (ex. short circuit, electrical failures, uninspected mechanical loads)	System misalignment
3	Pump Module (damage)	Wear, cavitation	Reduction of the water flow, noise
4	Electric motor Tilt (damage)	Accidental (ex. Short circuit, electrical failures, uninspected mechanical loads)	System misalignment
5	Inverter (damage)	Accidental	Efficiency reduction and noise
6	Tank (damage)	Accidental	Water leakage
7	Optics (damage)	Accidental (ex. weather, vandalism, ...)	-
8	Pump Plant (damage)	Wear, cavitation	Reduction of the water flow, noise
9	Optics (dirty)	Humidity and dirt	Less intensity of the concentrated light

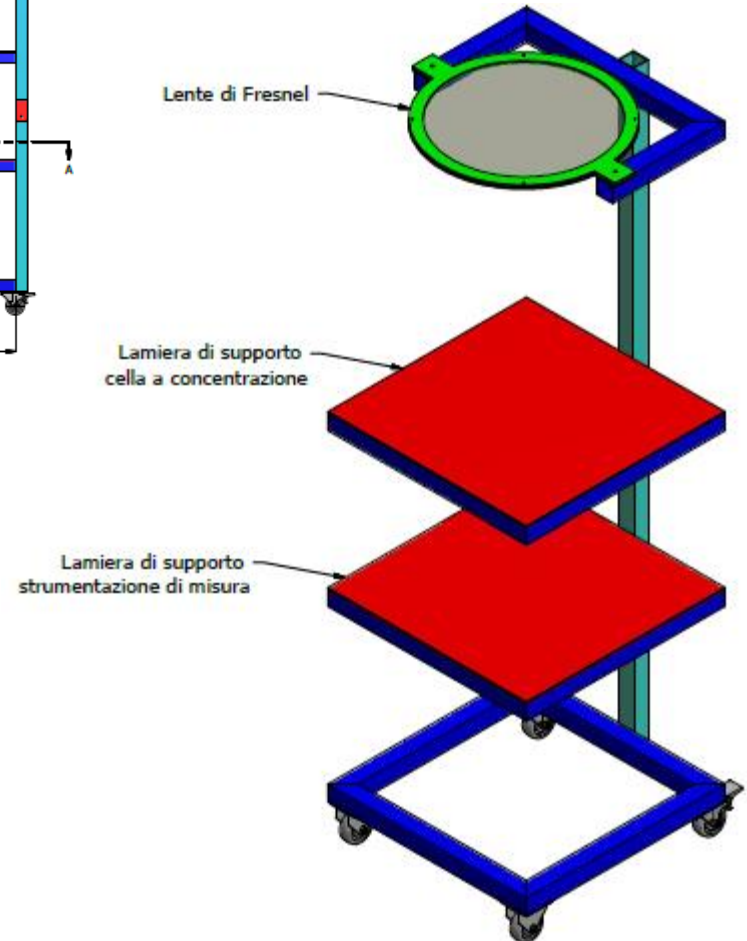
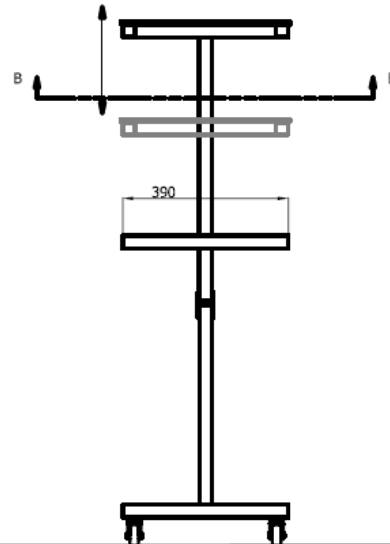
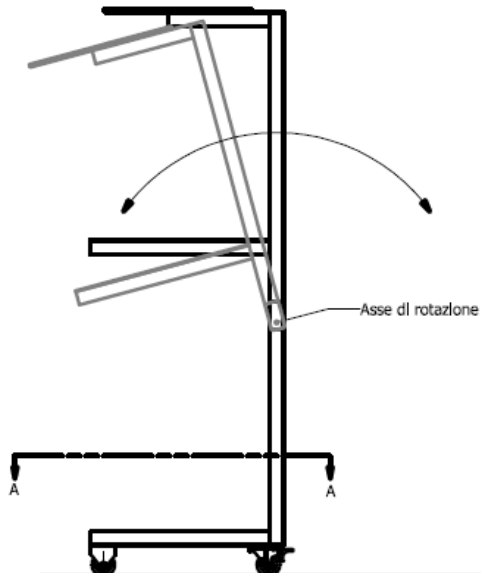


Impianto Sperimentale

Progettazione



Gradi di libertà

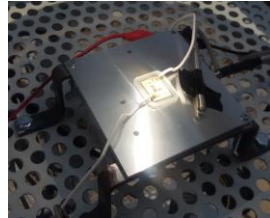


Impianto Sperimentale

Allestimento



Ottica primaria
Lente Fresnel



Cella MJ
5.5x5.5 mm



Ottica secondaria
Caleidoscopio



DataLogger
*5 canali analogici
(± 30V sensori)*



Termo-resistenze
*Pt100, Classe A:
0.15+0,002 |T|
T amb, T sotto
cella, T su cella*

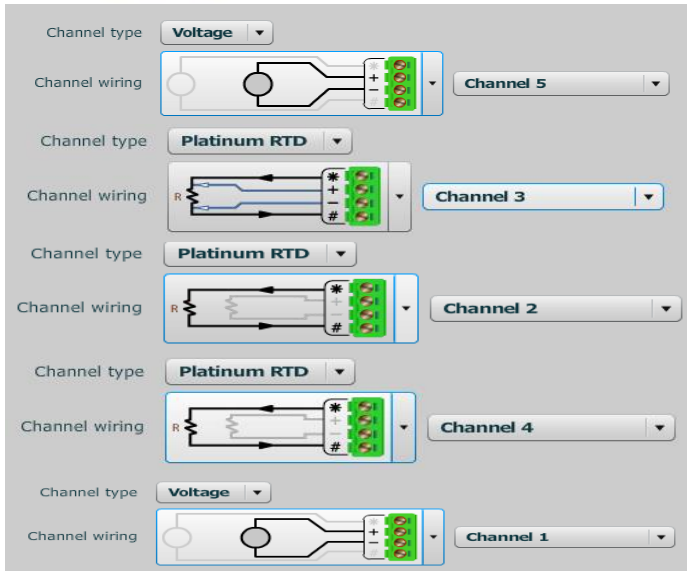


Piranometro
*Range misura: 0-2000 W/m²
Range Spettrale 335-2200 nm*



Impianto Sperimentale

Misure



Luogo: Università degli Studi di Salerno

Periodo prove: 12/2014 – 10/2015

Durata media delle prova: 7 h

Campionamento: 15 s

Misure Principali

1. **Tensione**
2. **Corrente**
3. **Temperature**
4. **Irraggiamento**



Prima Caratterizzazione

Configurazione e parametri

**Analisi a
Concentrazione
Costante**



Configurazione 1
Cella MJ (C=1)

Configurazione 2
Cella + Caleidosc.
C=?

Configurazione 3
Cella+Lente+Cal
C=?



1

• *Stima del fattore C costante*

2

• *Parametri in funzione della configurazione*

3

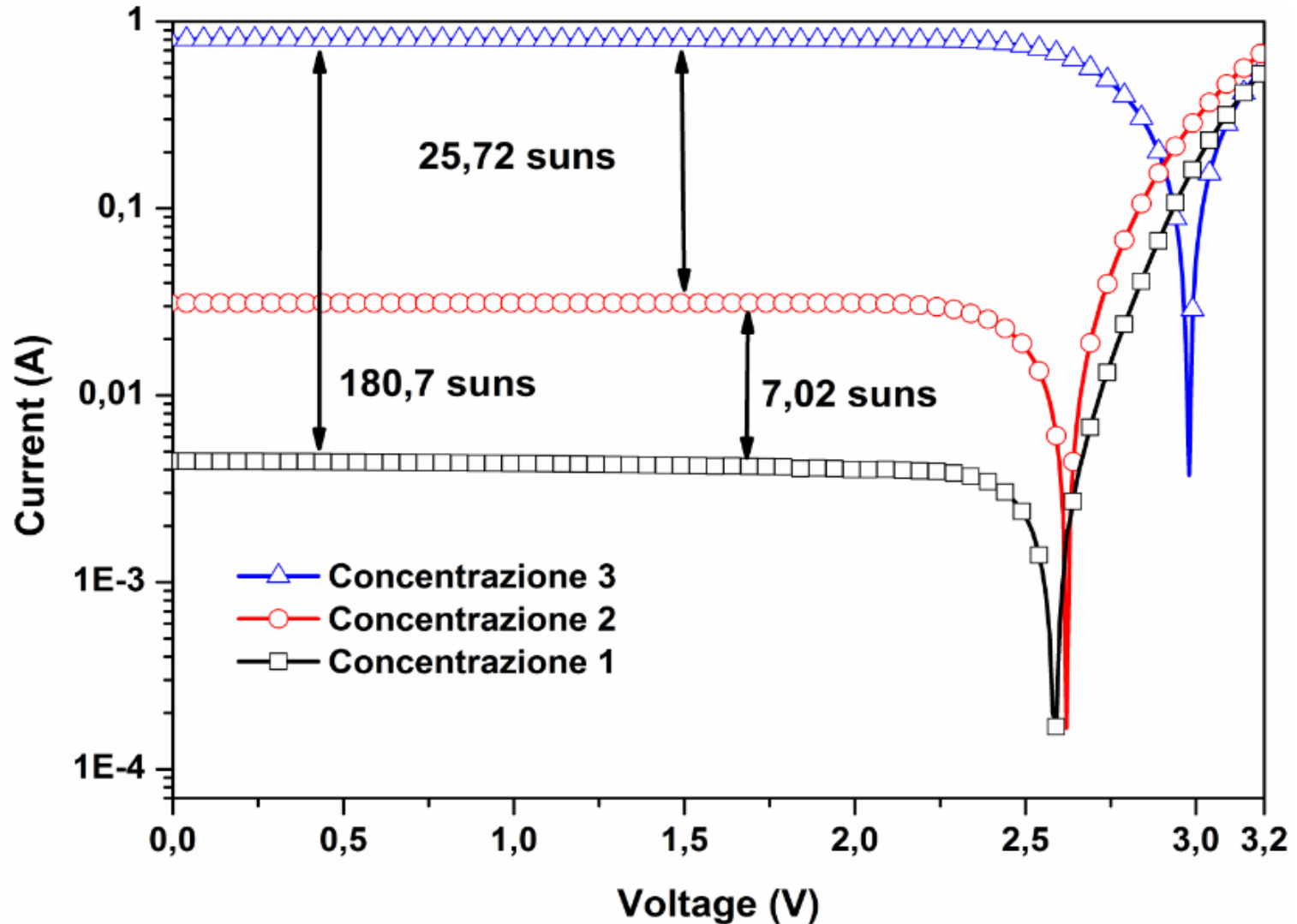
• *Parametri in funzione dell'irraggiamento*

4

• *Effetto della concentrazione sulla T cell*

Prima Caratterizzazione

Concentrazione costante stimata

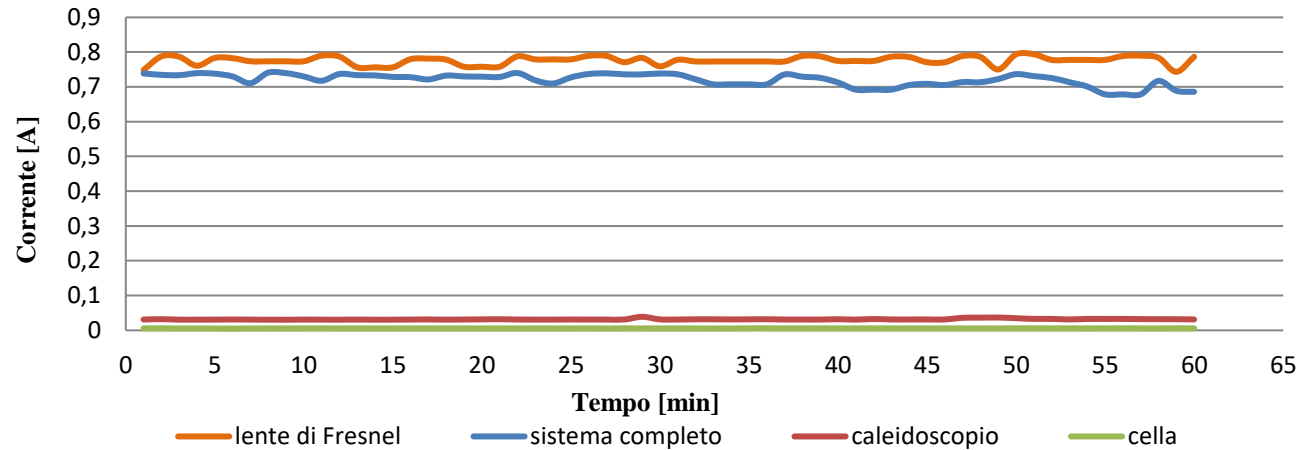


Prima Caratterizzazione

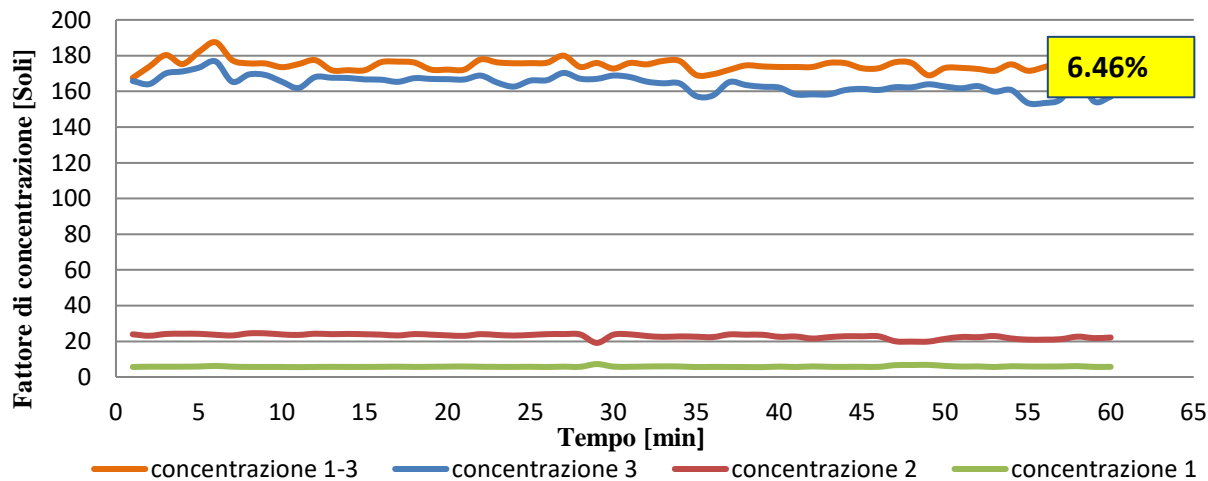
Parametri in funzione della configurazione

Corrente

*Corrente in
funzione della
configurazione*



Fattore di concentrazione

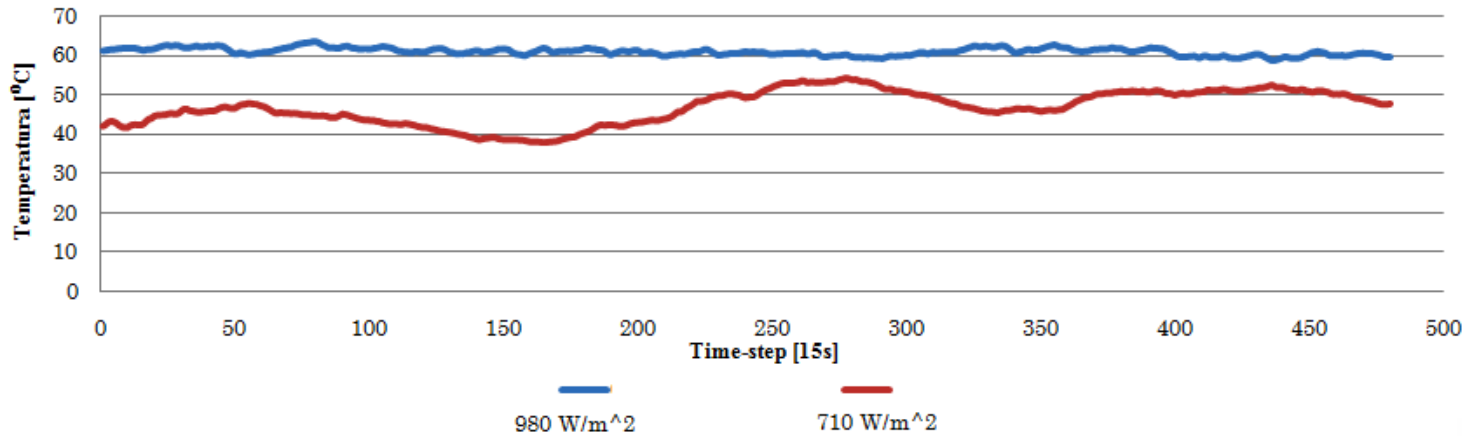


*L'ottica
secondaria riduce
il fattore di
concentrazione
ma uniforma la
luce incidente,
migliorando
l'inseguimento*

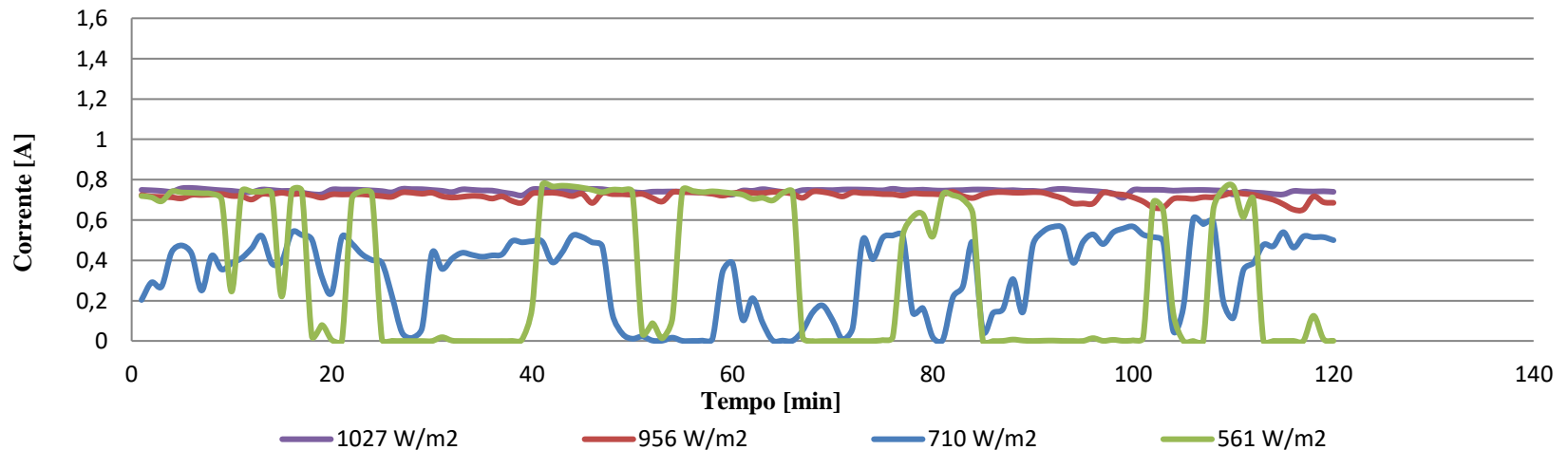
Prima Caratterizzazione

Parametri in funzione dell'irraggiamento

Temperatura cella



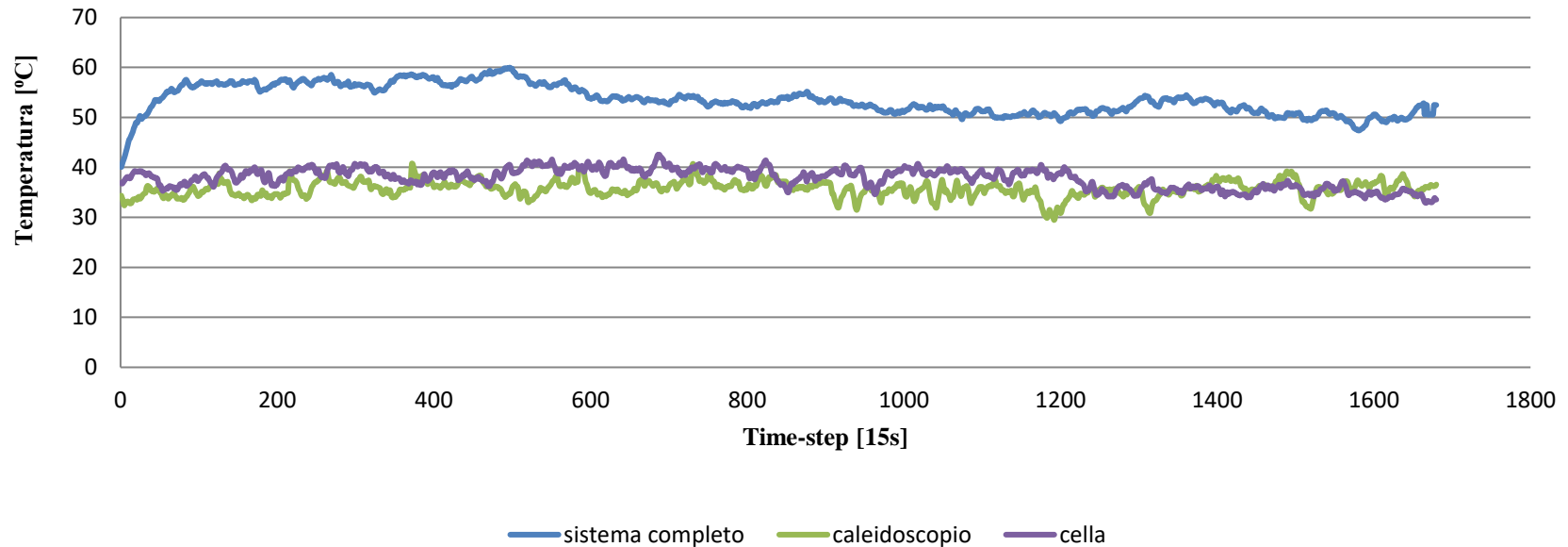
Corrente



Prima Caratterizzazione

Effetto della concentrazione sulla T cella

Temperatura cella



Cambiando configurazione è diverso il fattore di concentrazione ed a parità di condizioni esterne aumenta la temperatura della cella



Modello termico point - focus

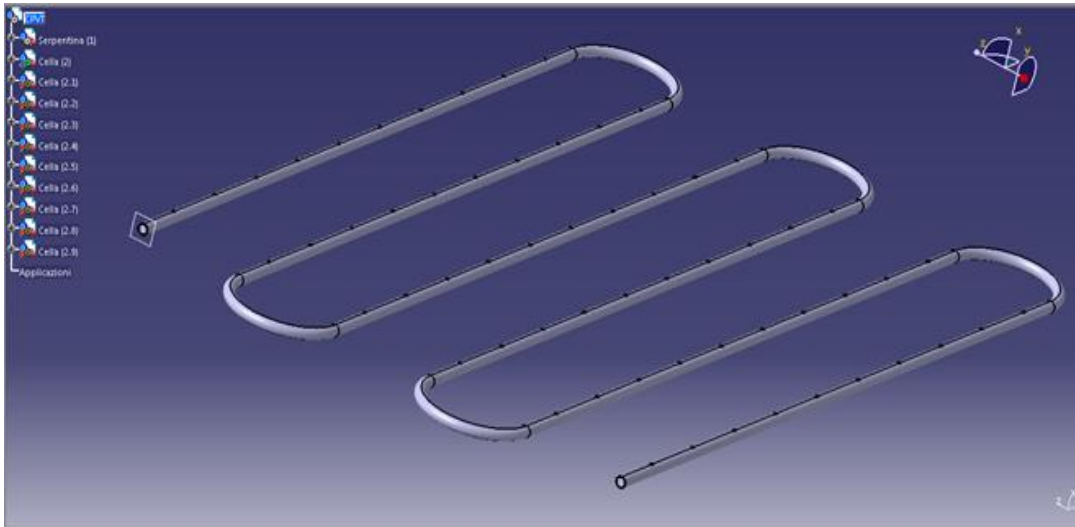
Impostazione iniziale

*Configurazione
point - focus*

Grafica Catia

*Modello
numerico in
Ansys*

*Temperatura
cella costante e
sperimentale*



ANSYS®

OBIETTIVO
*Temperatura fluido
termo – vettore*

Impianto

Celle MJ: 1 modulo da 60 (1 cm^2) su 6 file

Circuito: diametro interno 32 mm – esterno 40 mm

Materiale: Tubo in rame, isolante Aerogel, resina per contatto celle

Modello termico point - focus

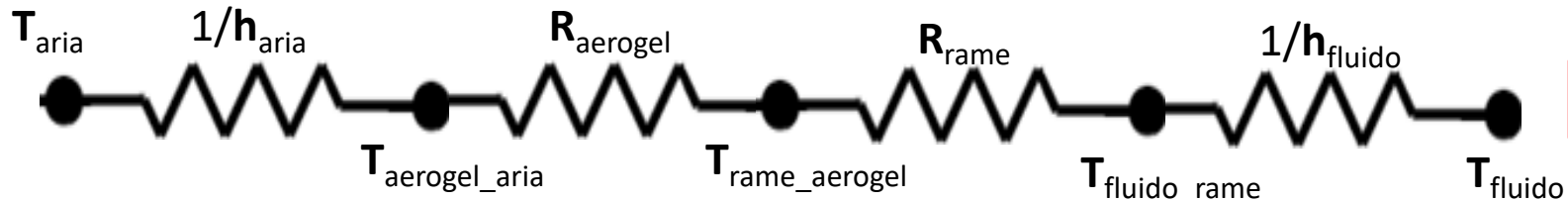
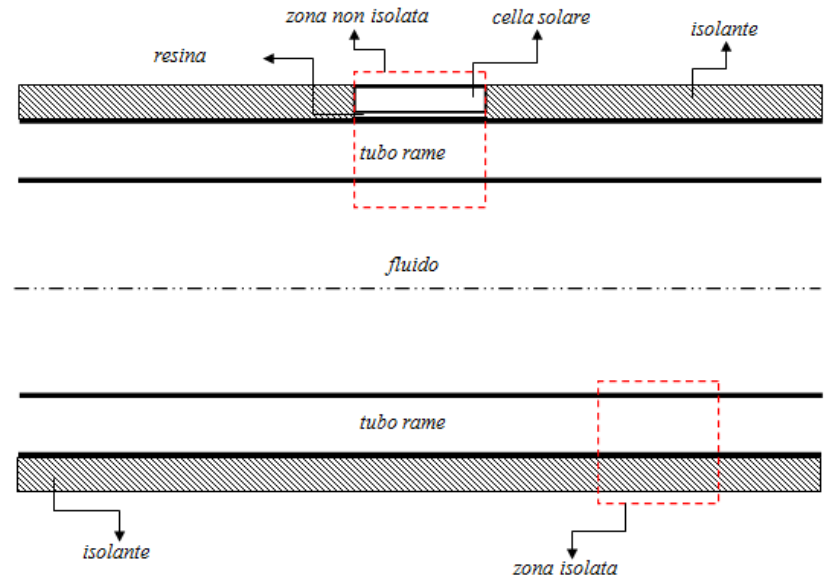
Modello alle resistenze termiche

Scambi termici convettivi:

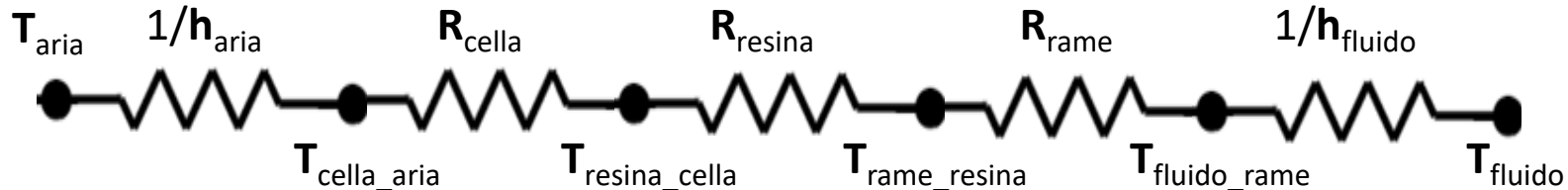
- ✓ *Fluido Termo – vettore*
- ✓ *Aria esterna*

Scambi termici conduttivi:

- ✓ *Cella;*
- ✓ *Resina;*
- ✓ *Isolante*
- ✓ *Rame*



Zona isolata



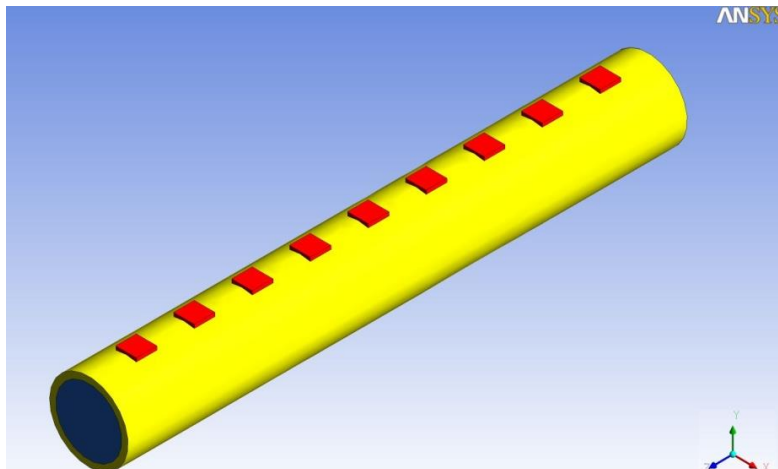
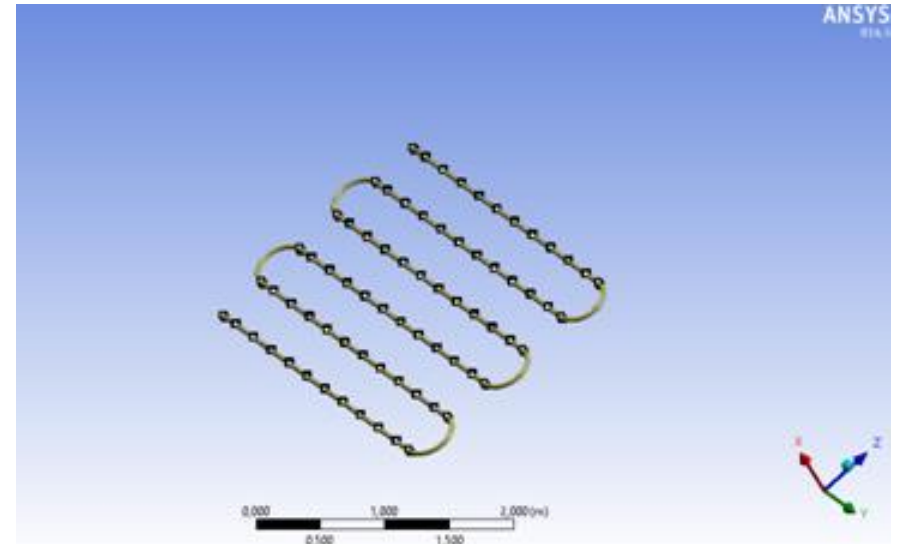
Zona non isolata

Modello termico point - focus

Mesh e domini

GENERAZIONE MESH

- Corpo principale 62 parti
- Elementi trapezoidali
- Incremento della densità di mesh in prossimità di punti importanti per lo scambio termico.



DOMINI

Tube: Solido

Fluido: Liquido

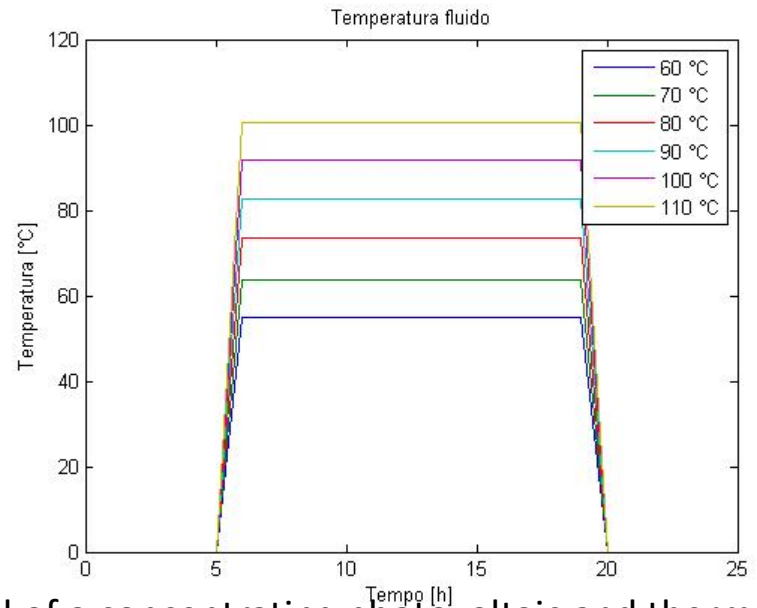
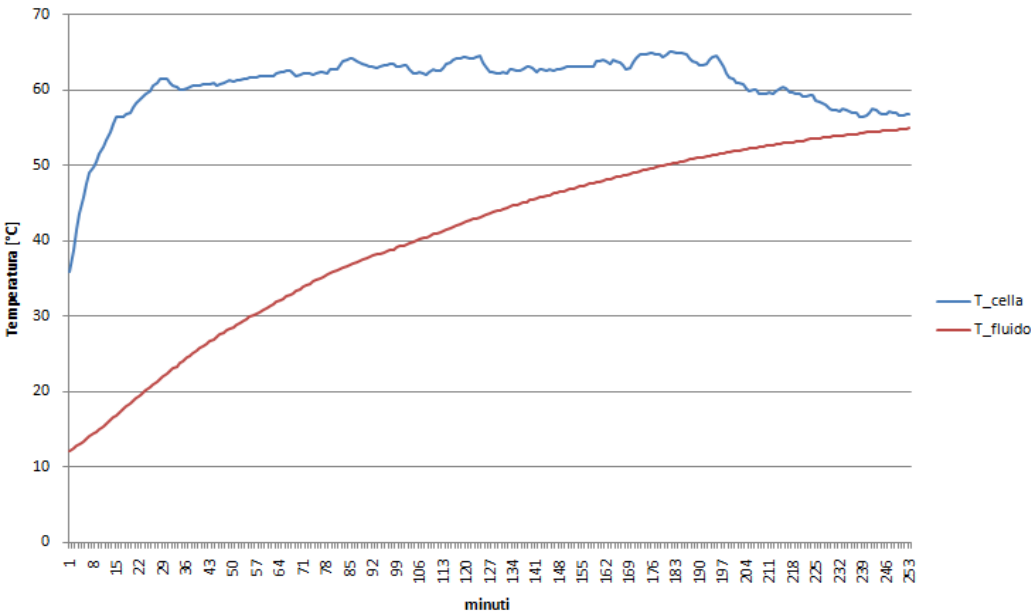
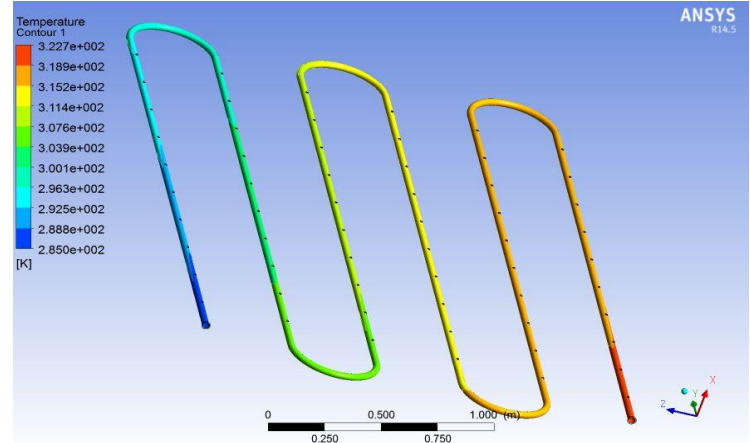
Superfici di scambio:

- *Tube - cella*
- *Tube - fluido*

Modello termico point - focus

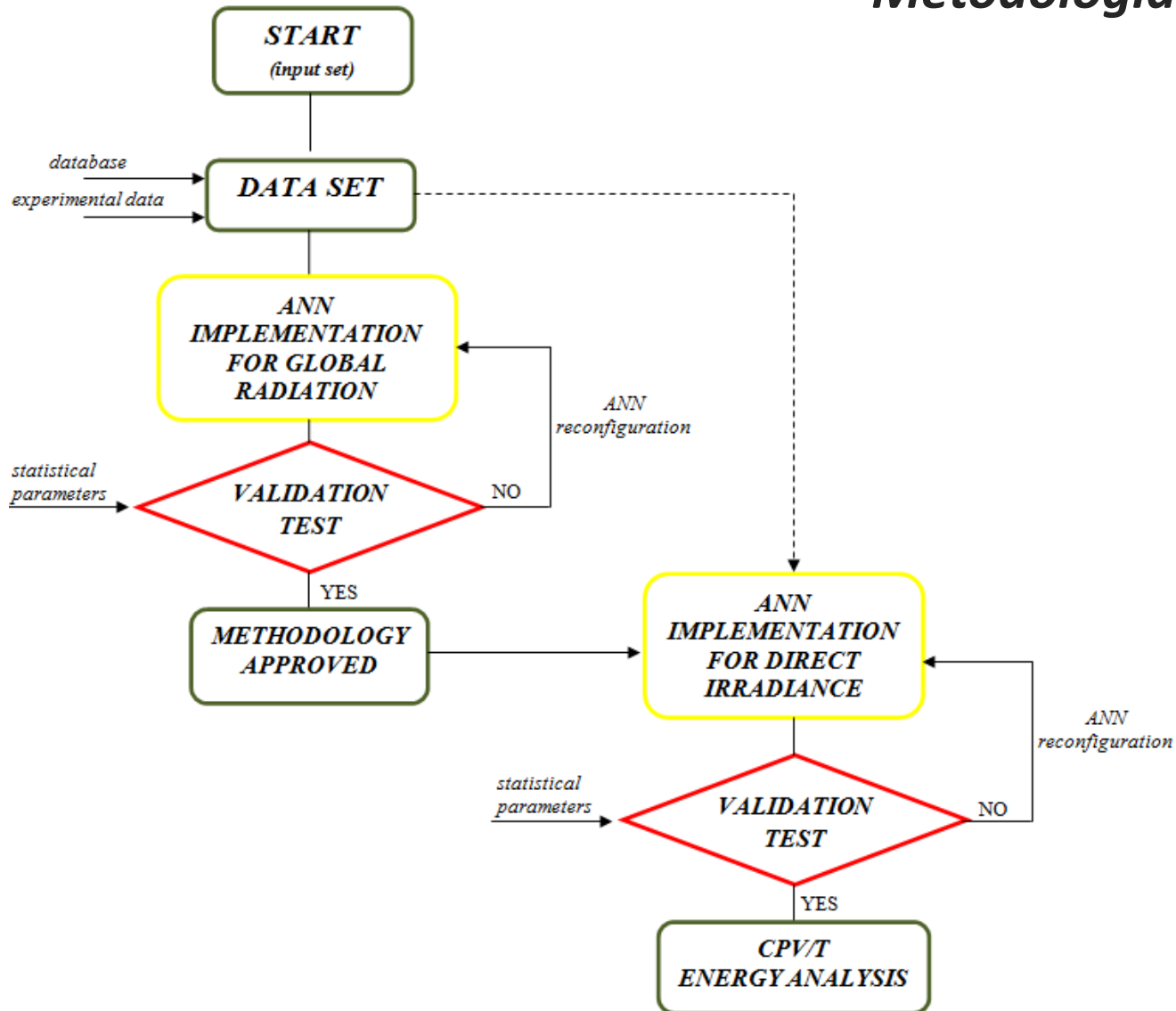
Risultati

Temperatura fluido
T cella costante
T cella sperimentale



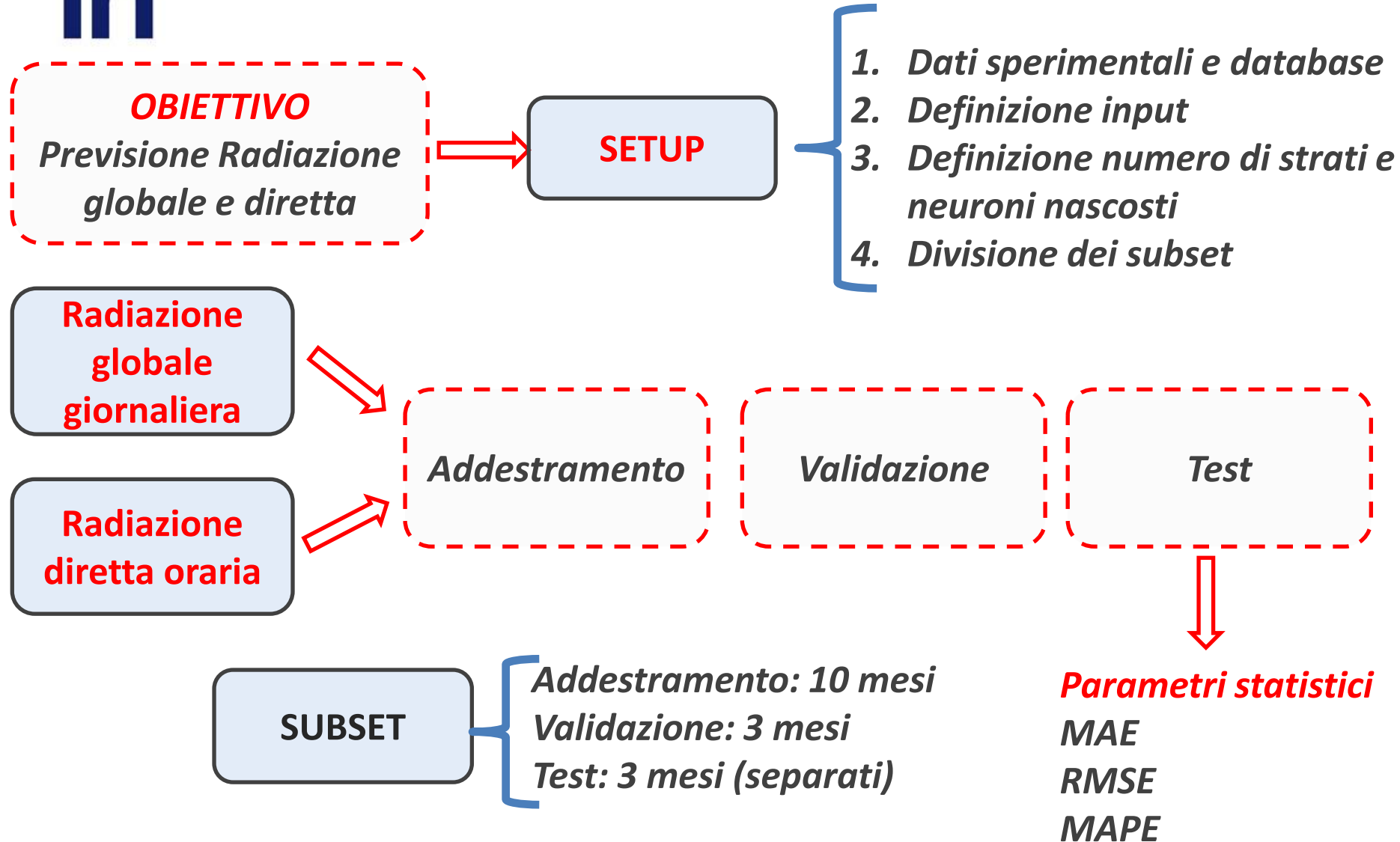
Modelli Reti Neurali

Metodologia di lavoro



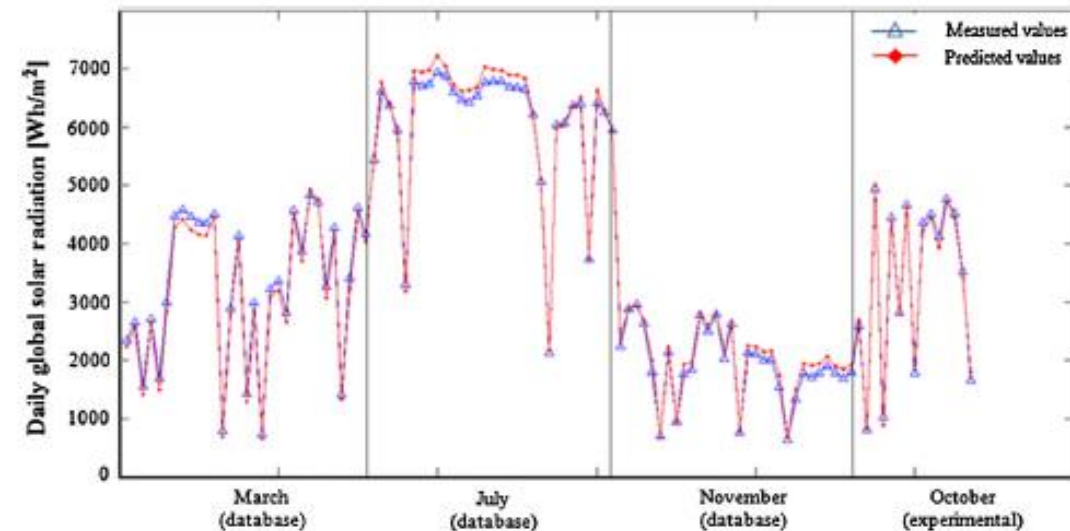
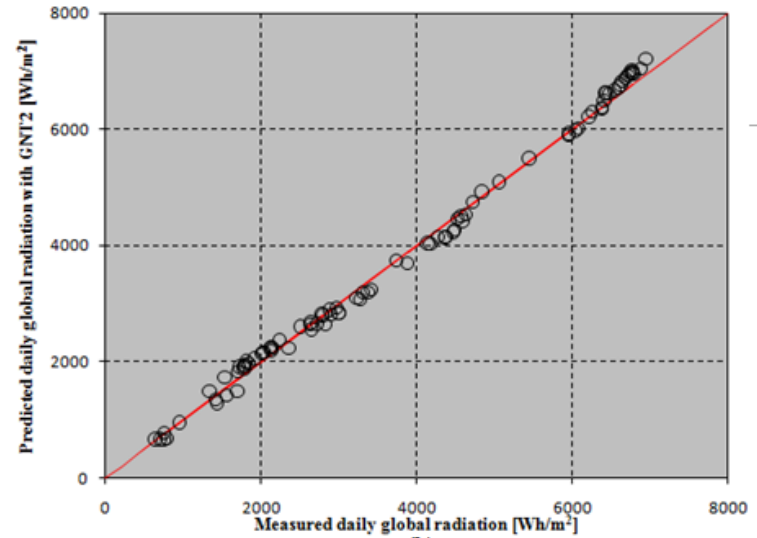
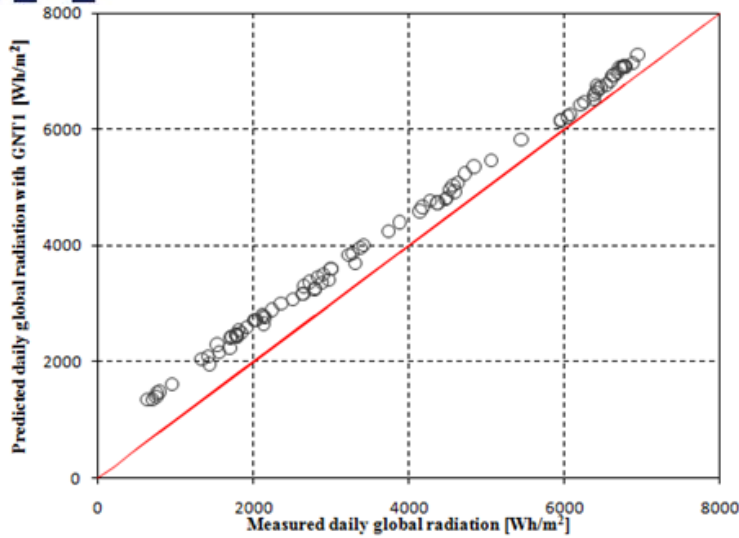
Modelli Reti Neurali

Sviluppo Reti Neurali



Modelli Reti Neurali

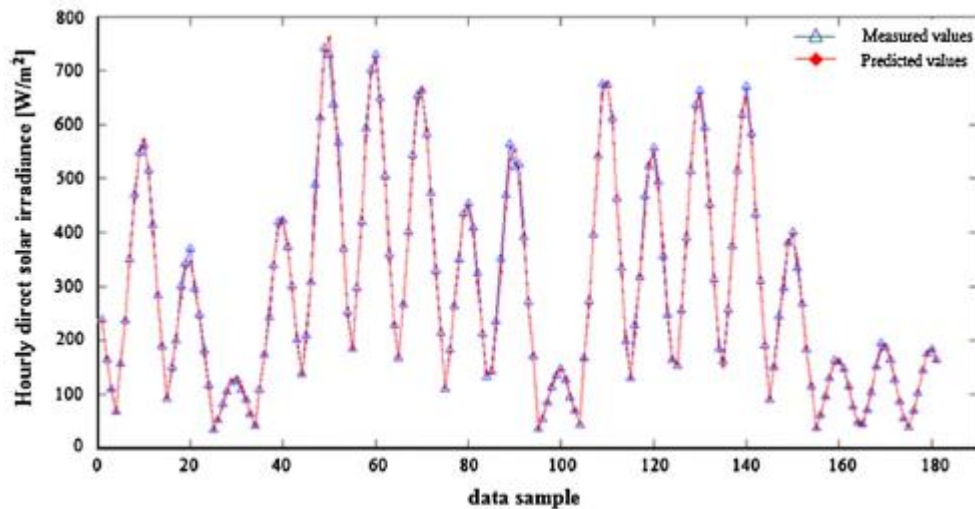
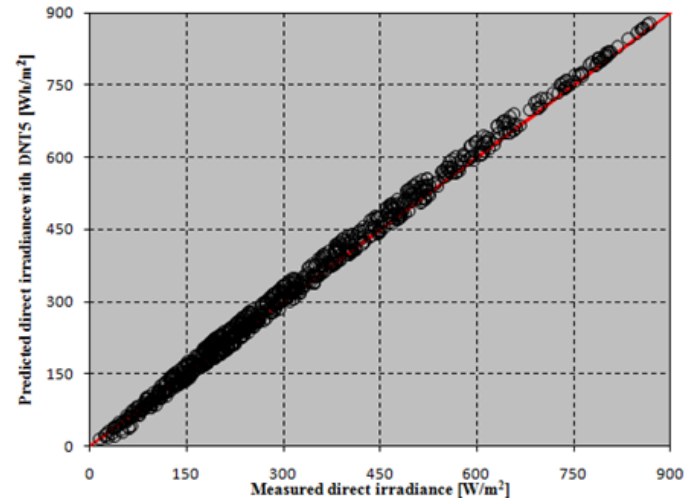
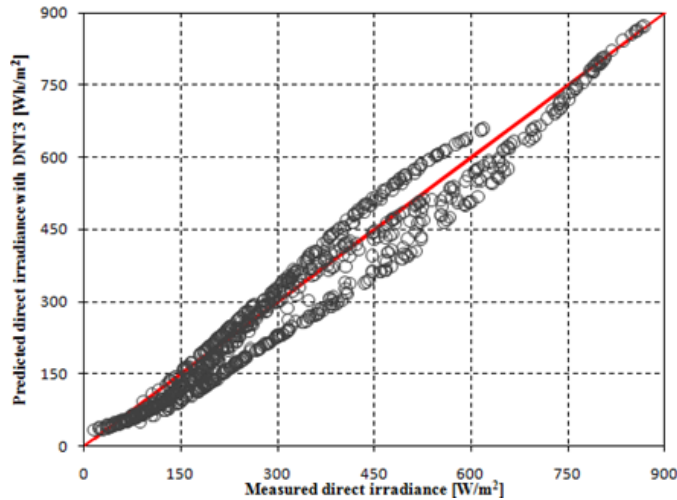
Risultati Radiazione Globale



	MAE (Wh/m ²)	RMSE (Wh/m ²)	MAPE (%)
Overall	117.2	135.2	4.17
March (database)	134.8	144.9	4.98
July (database)	128.2	152.6	2.06
November (database)	104.3	121.1	5.86
October (experimental)	85.3	98.4	3.48

Modelli Reti Neurali

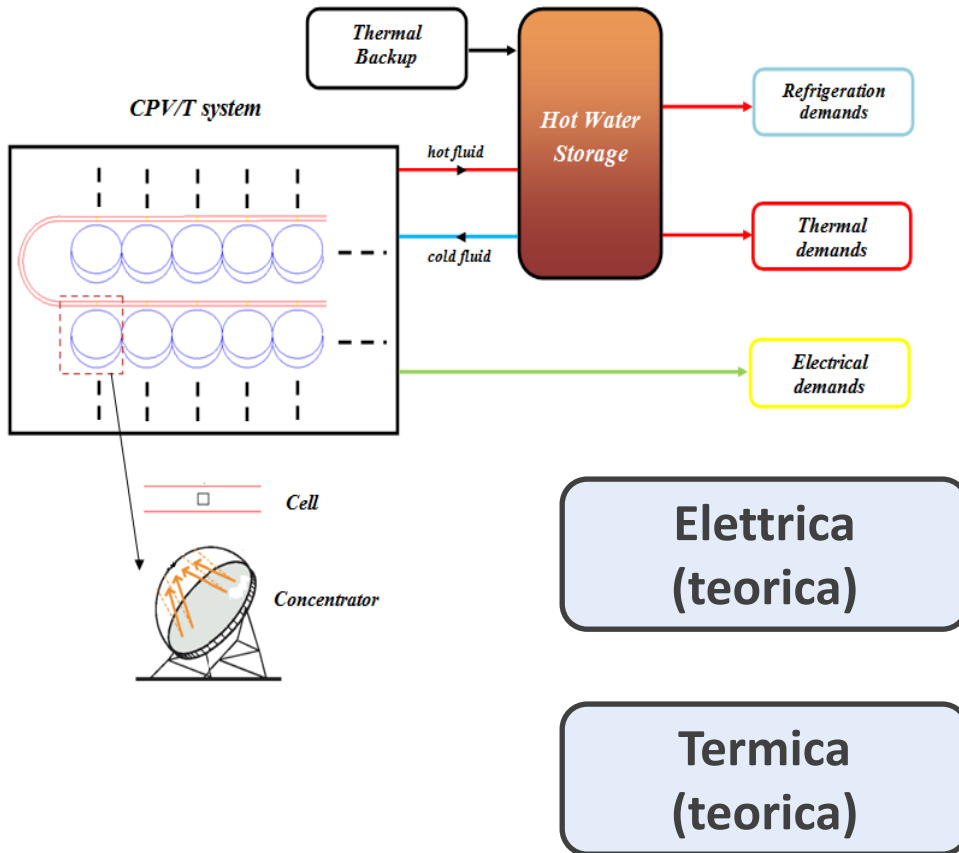
Risultati Radiazione Diretta



Model	MAPE (%)	RMSE (Wh/m ²)	R ²
ANN for direct irradiance Proposed	5.72	14.2	0.992

Modelli Reti Neurali

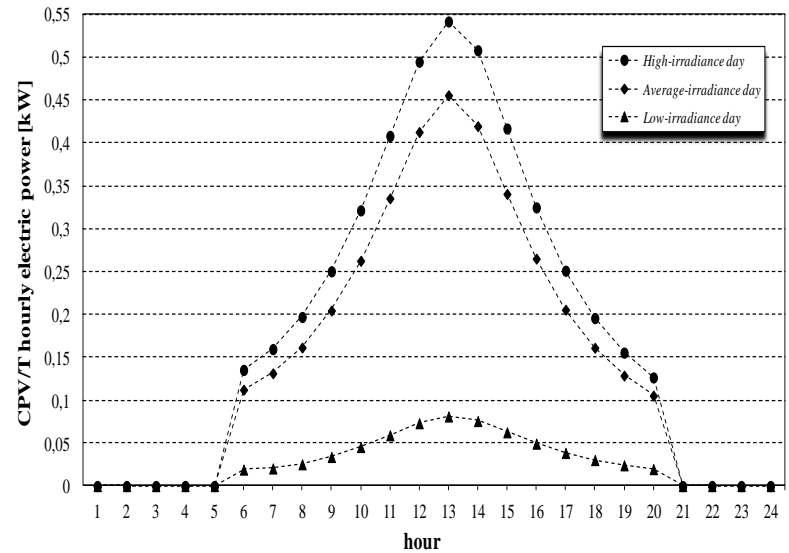
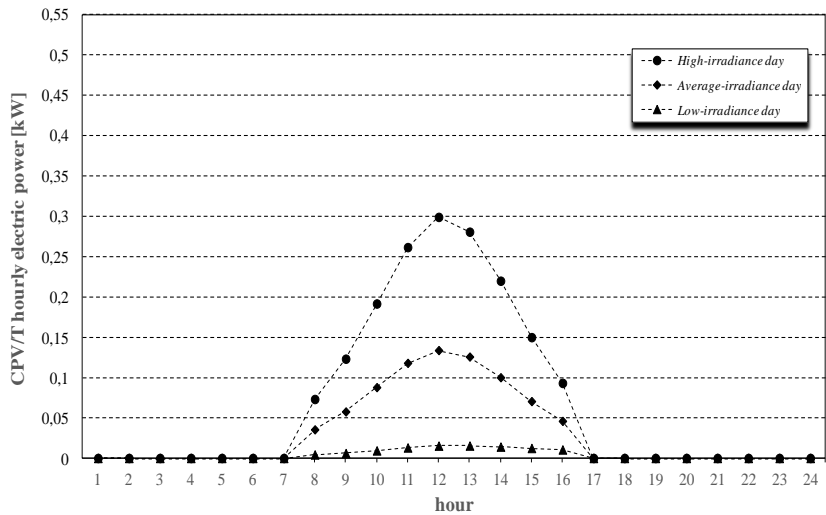
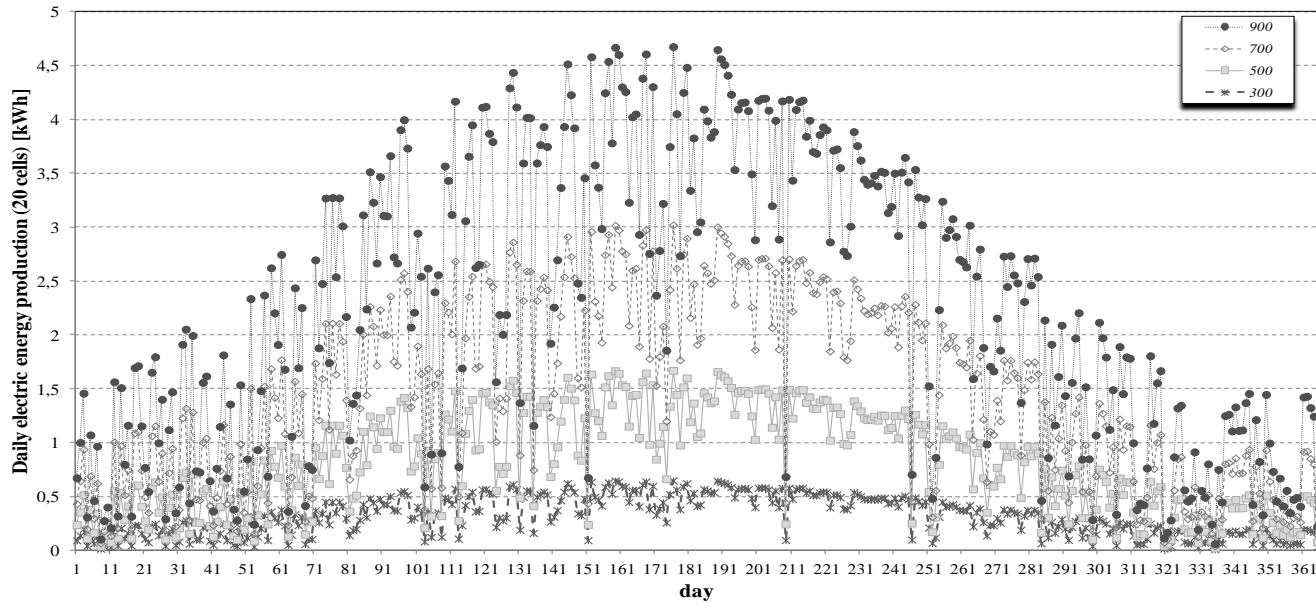
Producibilità CPV/T da ANN

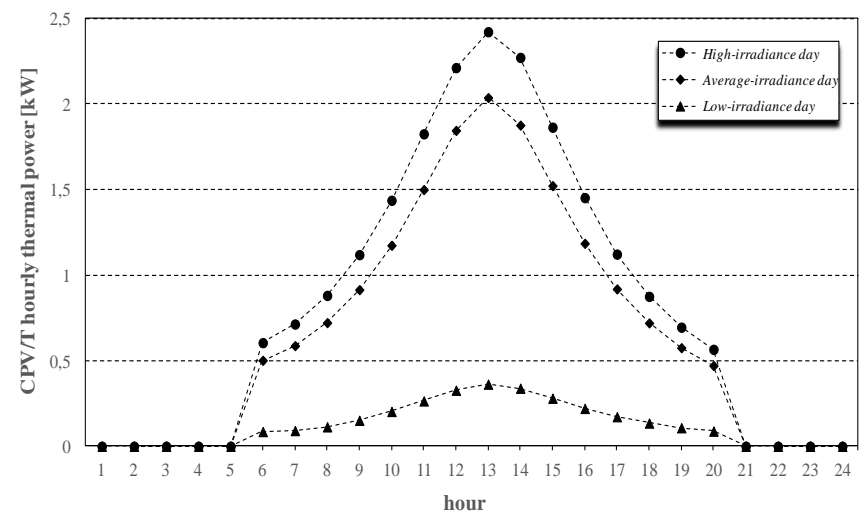
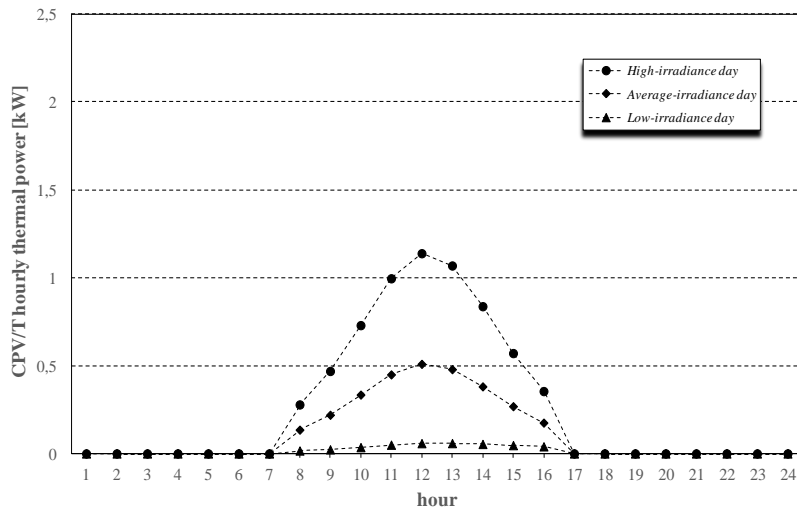
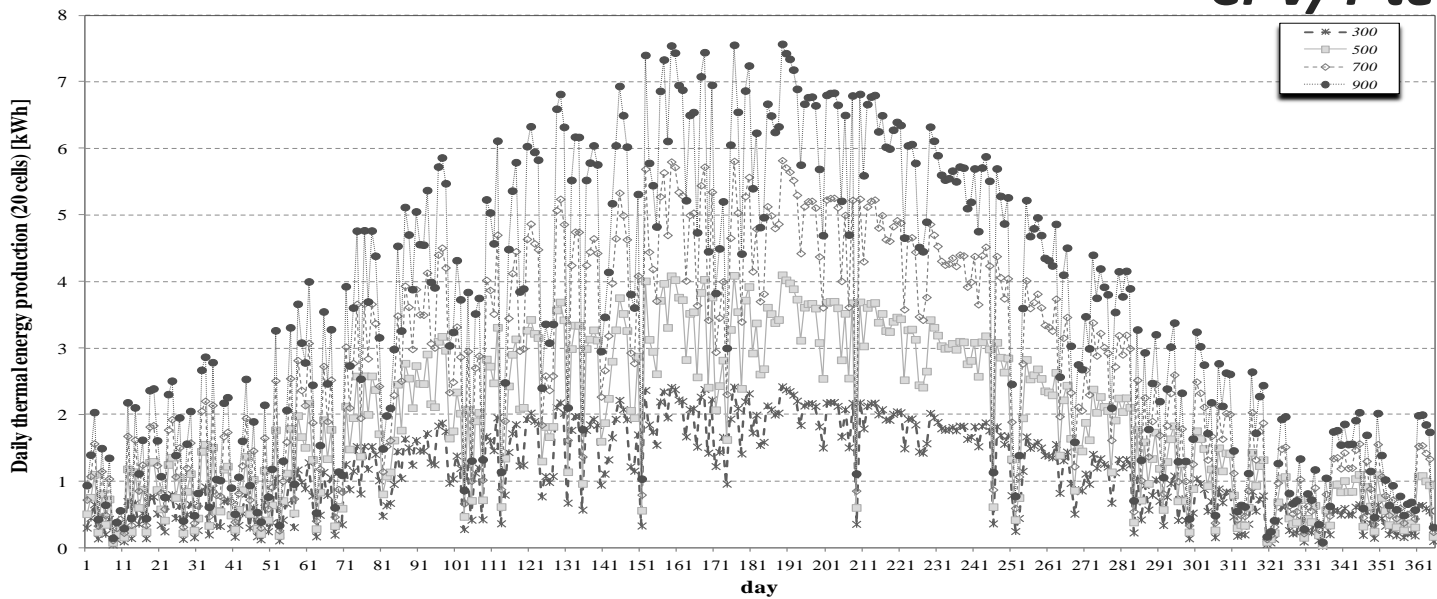


- **Funzione di C:**
 - 300
 - 500
 - 700
 - 900
- **Giornaliera media annua;**
- **In funzione della nuvolosità:**
 - Molto nuvoloso
 - Medio
 - Poco
- **In funzione del periodo:**
 - Estate
 - Inverno

Modelli Reti Neurali

CPV/T elettrica





[C.Renno, F.Petito, A. Gatto. (2015) Artificial neural network models for predicting the solar radiation as input of a concentrating photovoltaic system. *Energy Conversion and management*, 106, 999-1012.

Attività di ricerca svolte (1/2)

1. Metodologia definitiva per lo **sviluppo di reti neurali** per la previsione del **potenziale solare** e realizzazione di **un'app mobile**

2. Analisi **sperimentale: caratterizzazione** della cella al variare della **concentrazione** e nuove stime parametriche

3. Analisi **teorico – sperimentale** della **temperatura della cella** ed implementazione di un modello **Random Forest**

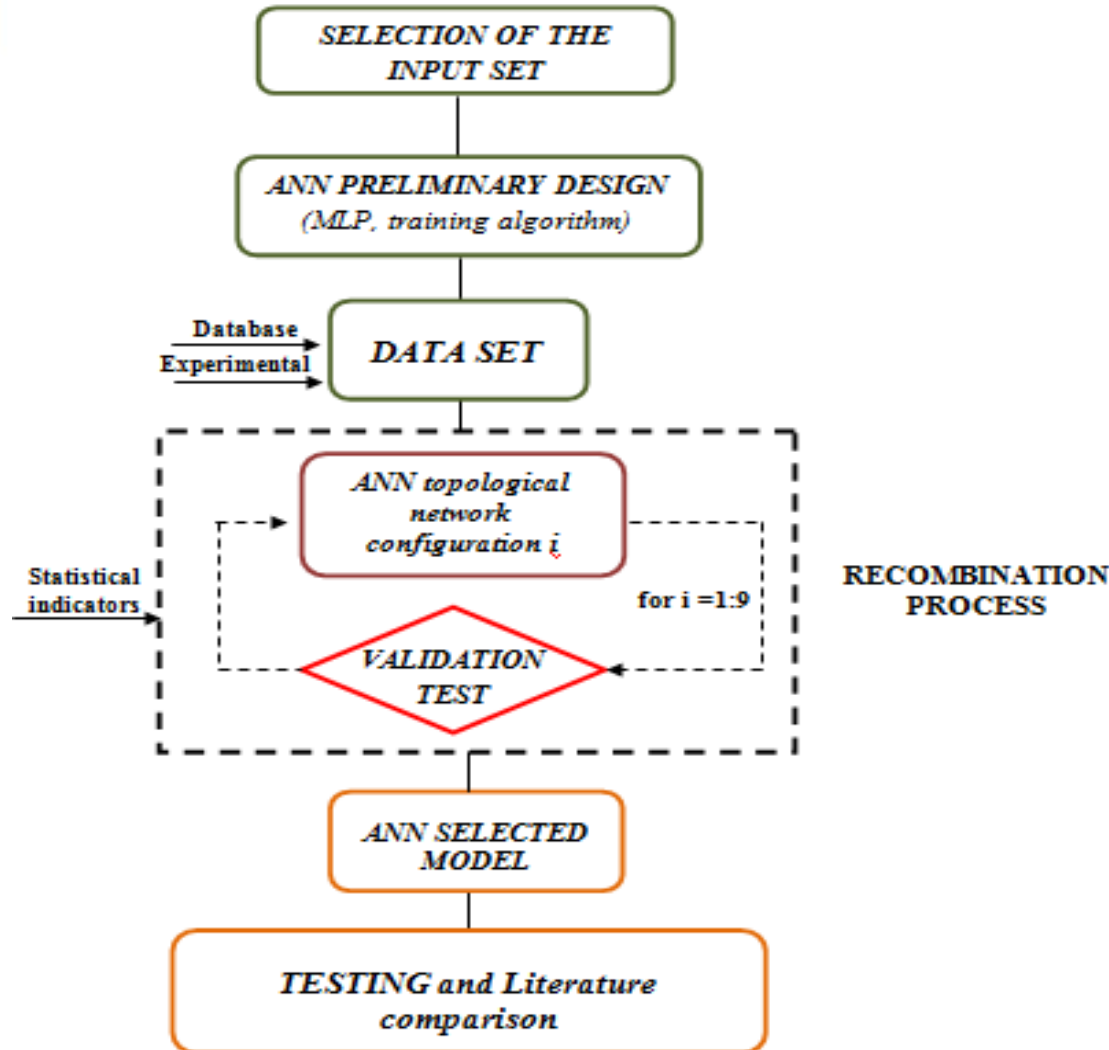
Attività di ricerca svolte (2/2)

4. Modello **transitorio termico generale** in SolidWorks – Ansys per la temperatura del fluido in **sistemi point – focus e line – focus**

5. Progettazione di un **nuovo impianto** sperimentale line - focus

Reti Neurali per potenziale solare

Nuovi metodi di sviluppo



Reti Neurali per potenziale solare

Definizione del target e dati



***4 Stazioni di misura
(database)***

Dati raccolti per 4 anni

***1 Stazione Sperimentale
(Università di Salerno)***

***Dati raccolti per oltre 1
anno***

Reti Neurali per potenziale solare

Selezione dell'input

Definizione per
GR e DNI

$$R = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})(y_k - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2 \sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}}$$

Scelta variabili
di input

Analisi di correlazione:
Indice di Pearson

Scelta del
numero di
variabili

Modelli di rete ed
analisi statistica

Variables	Correlation to GR
Latitude (Lt)	0.241
Longitude (Lg)	0.241
Mean Temperature (T)	0.667
Sunshine Duration (SD)	0.974
Precipitation (P)	-0.767
Declination angle (δ)	0.788
Daylight hours (H)	0.786
Humidity (Hu)	-0.611
Wind speed (WS)	-0.524

Globale

$$GR = f(Lt, Lg, T, SD, P, H, \delta)$$

Diretta

$$DNI = f(k_t, \delta, HRA, G_{ni})$$

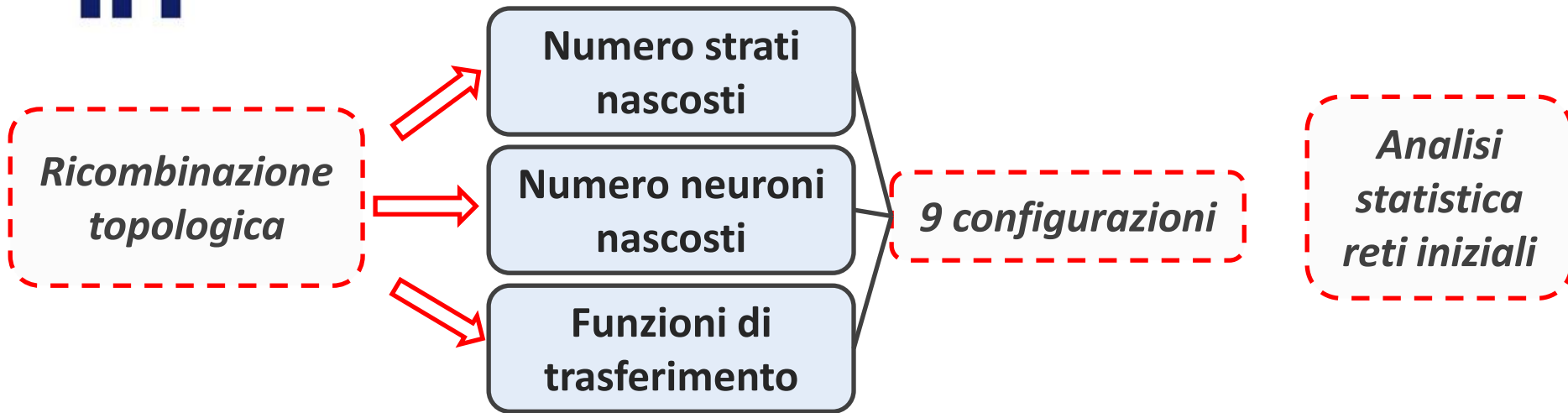
Variables	Correlation to DNI
Hour angle (HRA)	-0.505
Global normal irradiance (Gni)	0.985
Clearness index (Kt)	0.929
Declination angle (δ)	-0.657

	No. Input	Input	nRMSE
1	5	Lt, Lg, SD, T, P	0.090
2	5	Lt, Lg, SD, T, δ	0.095
3	5	Lt, Lg, SD, T, H	0.106
4	5	Lt, Lg, SD, T, HR	0.143
5	5	Lt, Lg, SD, T, W	0.154
6	6	Lt, Lg, SD, T, P, δ	0.043
7	6	Lt, Lg, SD, T, P, H	0.050
8	6	Lt, Lg, SD, T, P, HR	0.063
9	6	Lt, Lg, SD, T, P, W	0.069
10	6	Lt, Lg, SD, T, δ , H	0.046
11	6	Lt, Lg, SD, T, δ , HR	0.066
12	6	Lt, Lg, SD, T, δ , W	0.092
13	6	Lt, Lg, SD, T, H, HR	0.087
14	6	Lt, Lg, SD, T, H, W	0.101
15	6	Lt, Lg, SD, T, HR, W	0.134
16	7	Lt, Lg, SD, T, P, δ , H	0.018
17	7	Lt, Lg, SD, T, P, δ , HR	0.055
18	7	Lt, Lg, SD, T, P, δ , W	0.089
19	7	Lt, Lg, SD, T, δ , H, HR	0.072
20	7	Lt, Lg, SD, T, δ , H, W	0.092
21	7	Lt, Lg, SD, T, H, HR, W	0.105

	No. Input	Input	nRMSE
1	3	G_{gi} , HRA, K_t	0.0458
2	3	G_{gi} , HRA, δ	0.0328
3	3	G_{gi} , K_t , δ	0.0191
4	4	G_{gi} , HRA, K_t , δ	0.00967

Reti Neurali per potenziale solare

Processo di ricombinazione topologica



ANN models for daily global radiation

<i>Network topology</i>	<i>Transfer functions</i>	<i>Number of hidden layers</i>	<i>Number of hidden neurons</i>
GNT 1	sigmoid - linear	1	8
GNT 2	sigmoid - linear	1	10
GNT 3	sigmoid - linear	1	12
GNT 4	tanh - tanh	1	8
GNT 5	tanh - tanh	1	10
GNT 6	tanh - tanh	1	12
GNT 7	tanh - tanh - linear	2	6 - 4
GNT 8	tanh - tanh - linear	2	5 - 3
GNT 9	tanh - tanh - linear	2	7 - 5

ANN models for daily global radiation

<i>Network topology</i>	<i>Transfer functions</i>	<i>Number of hidden layers</i>	<i>Number of hidden neurons</i>
GNT 1	sigmoid - linear	1	8
GNT 2	sigmoid - linear	1	10
GNT 3	sigmoid - linear	1	12
GNT 4	tanh - tanh	1	8
GNT 5	tanh - tanh	1	10
GNT 6	tanh - tanh	1	12
GNT 7	tanh - tanh - linear	2	6 - 4
GNT 8	tanh - tanh - linear	2	5 - 3
GNT 9	tanh - tanh - linear	2	7 - 5

Reti Neurali per potenziale solare

Scelta Reti e Validazione

Scelta rete su base statistica (GR, DNI)



Addestramento e validazione

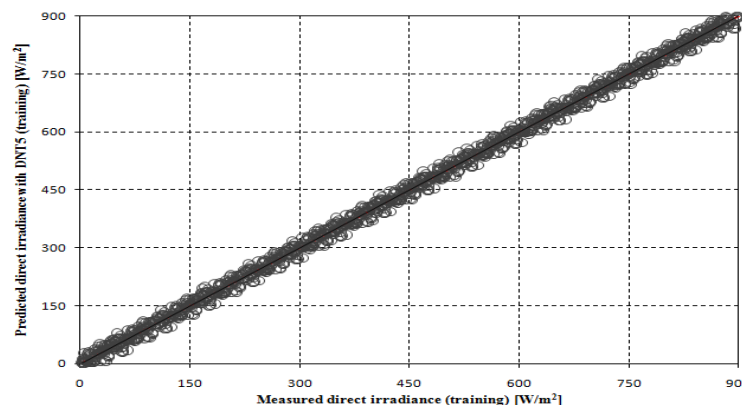
2 anni addestramento
6 mesi validazione



Test

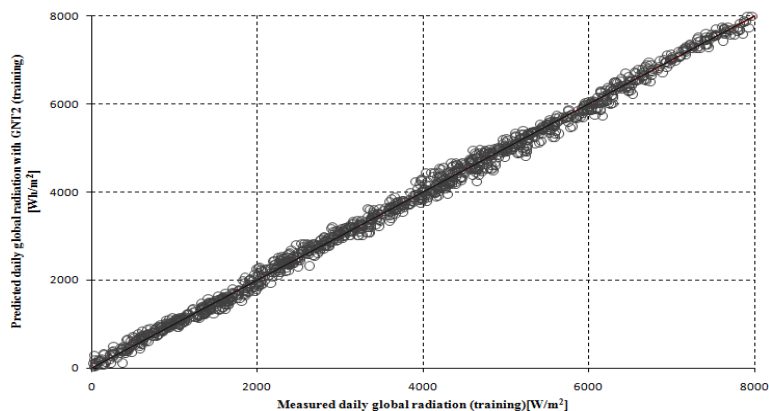
Evaluation of ANN models for global radiation

Configuration	RMSE [Wh/m ²]	MAPE [%]	MAE [Wh/m ²]	R ²
GNT 1	568.0	24.8	501.7	0.9898
GNT 2	153.5	4.46	125.7	0.9923
GNT 3	473.2	21.6	371.2	0.9802
GNT 4	584.8	21.1	471.8	0.9928
GNT 5	341.8	7.59	278.2	0.9970
GNT 6	1033	20.1	847.0	0.9841
GNT 7	348.8	7.49	270.7	0.9926
GNT 8	592.3	12.1	469.3	0.9913
GNT 9	414.1	10.9	336.5	0.9882



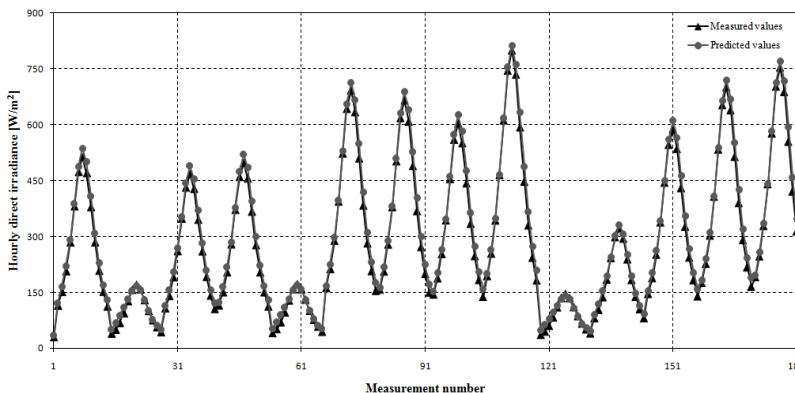
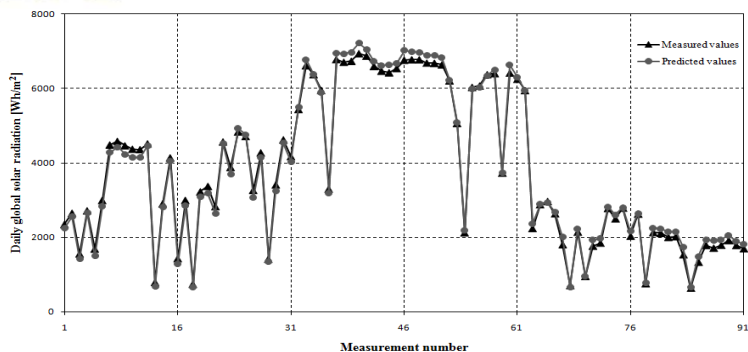
Evaluation of ANN models for direct irradiance

Configuration	RMSE [Wh/m ²]	MAPE [%]	MAE [Wh/m ²]	R ²
DNT 1	18.4	8.08	15.6	0.9938
DNT 2	18.9	7.30	16.6	0.9949
DNT 3	45.1	14.1	36.5	0.9563
DNT 4	20.3	8.27	16.8	0.9955
DNT 5	17.1	5.38	13.4	0.9956
DNT 6	34.8	15.0	30.5	0.9745
DNT 7	30.7	10.5	26.2	0.9892
DNT 8	26.0	8.06	20.1	0.9883
DNT 9	49.2	17.3	42.5	0.9574



Reti Neurali per potenziale solare

Risultati e confronto con la letteratura



Literature Comparison (ANN for daily GR)

Models	MSE [Wh ² /m ⁴]	MAPE [%]	MAE [Wh/m ²]	R ²	RMSE [Wh/m ²]	nRMSE [%]
Proposed	25696	4.57%	131.2	0.9918	160.3	3.54%
Azadeh et al.	-	3.00%	-	0.980	-	2.60%
Wang et al.	-	-	-	0.991 ; 0.964	-	3.31% ; 4.50%
Khatib et al.	135719	5.20%	-	-	342.0	7.96%
Behrang et al.	-	5.21% ; 5.56%	-	0.9957 ; 0.9952	-	-
Zervas et al.	-	-	-	0.985	-	-
Benghanem et al.	-	-	-	0.976	-	1.31%
Yacev et al.	-	-	-	0.9299	-	8.42%
Bilgili et al.	-	9.23%	278.0	0.9508	-	-

ANN for hourly DNI

Model	MAPE [%]	RMSE [W/m ²]	R ²
Proposed	5.57	17.7	0.994
Mellit et al.	-	-	0.967
Kaushika et al.	-	14.5	-

Reti Neurali per potenziale solare

Definizione app mobile

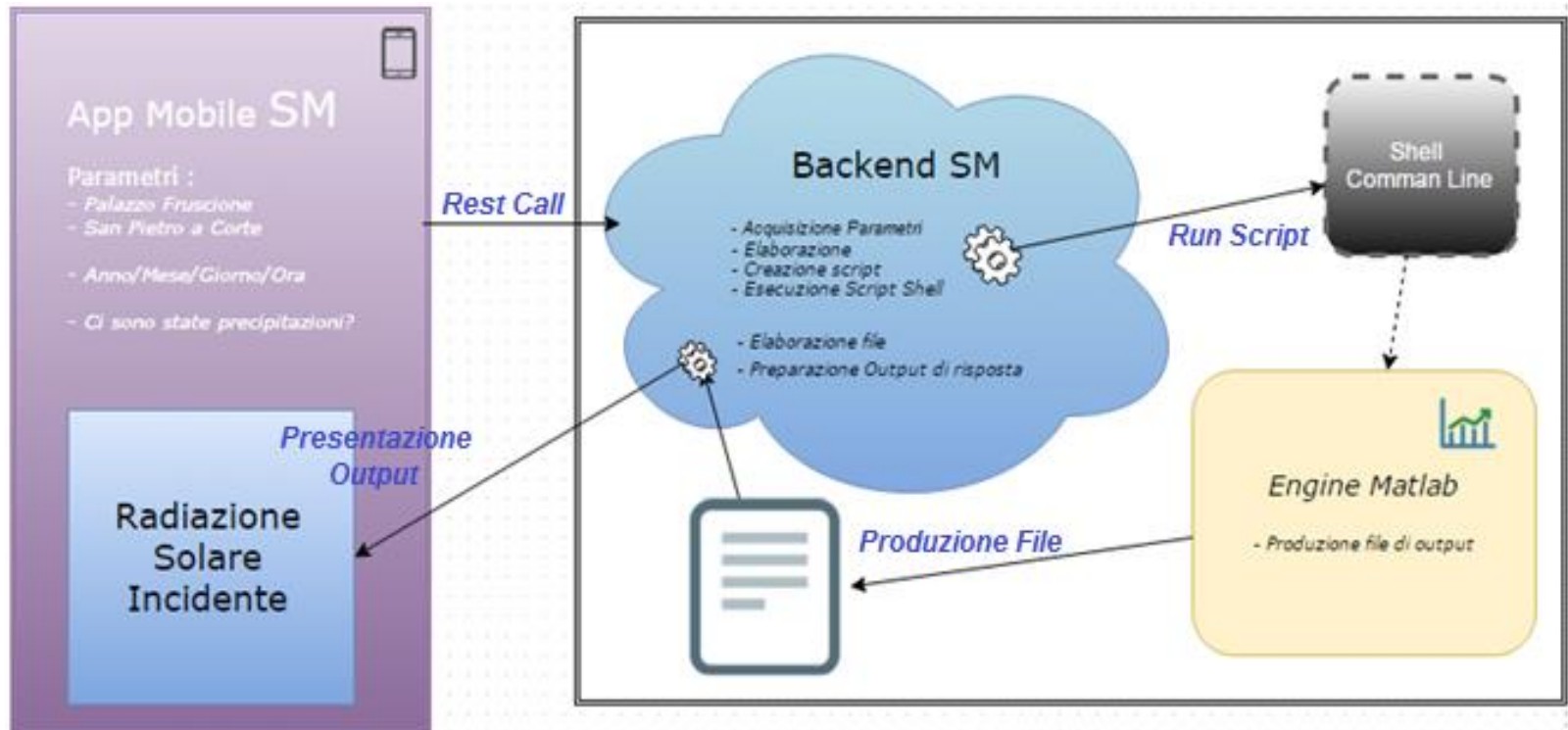
Progetto
Databenc

Previsione
potenziale solare
consumi e
producibilità

Dati
sensori

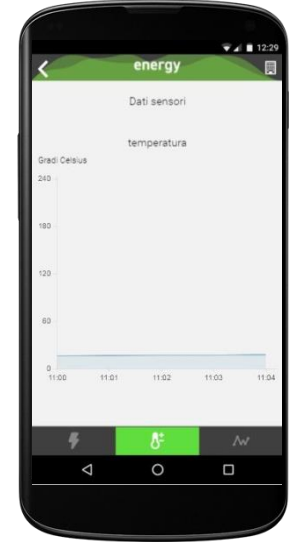
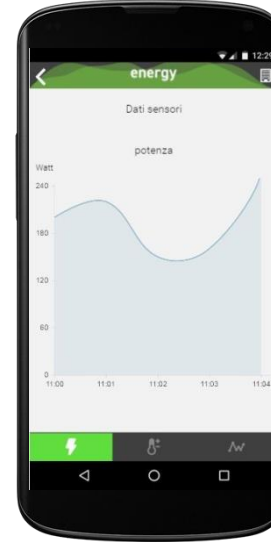
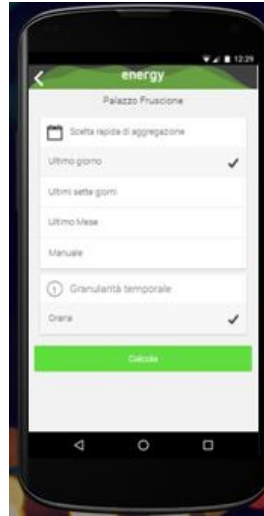
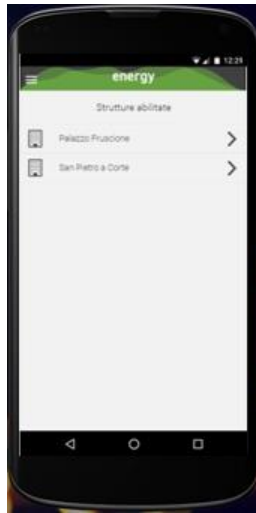
Motore
inferenziale
Rete Neurale

Producibilità
PV



Reti Neurali per potenziale solare

Schermata app



*Scelta struttura
ed analisi
temporale*

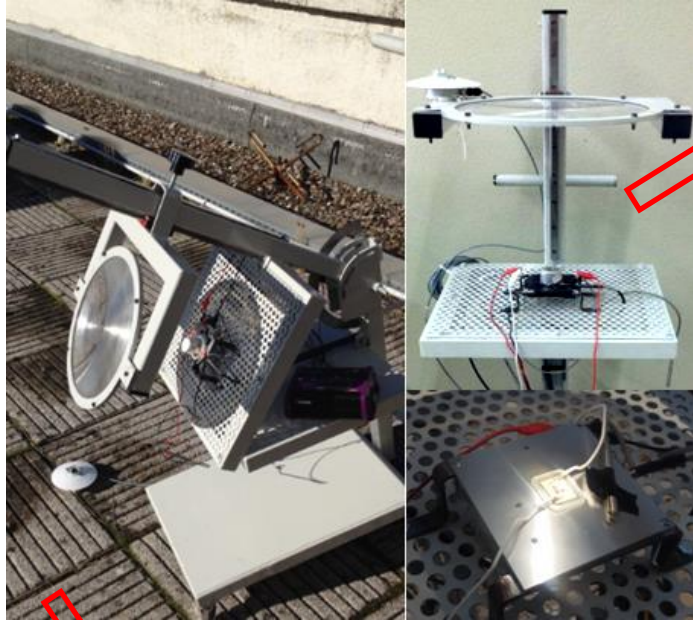
Dati dai sensori

Potenziale solare



Analisi sperimentale

Nuove misure



*Variazione
Distanza Focale*

*Variazione
Concentrazione*

1

• *Caratterizzazione cella*

2

• *Parametri cella in funzione di C*

3

• *Producibilità ed efficienza reali*

4

• *Temperatura cella*

*Source Meter Unit
(SMU)*

*Applicazione
Tensione Variabile*



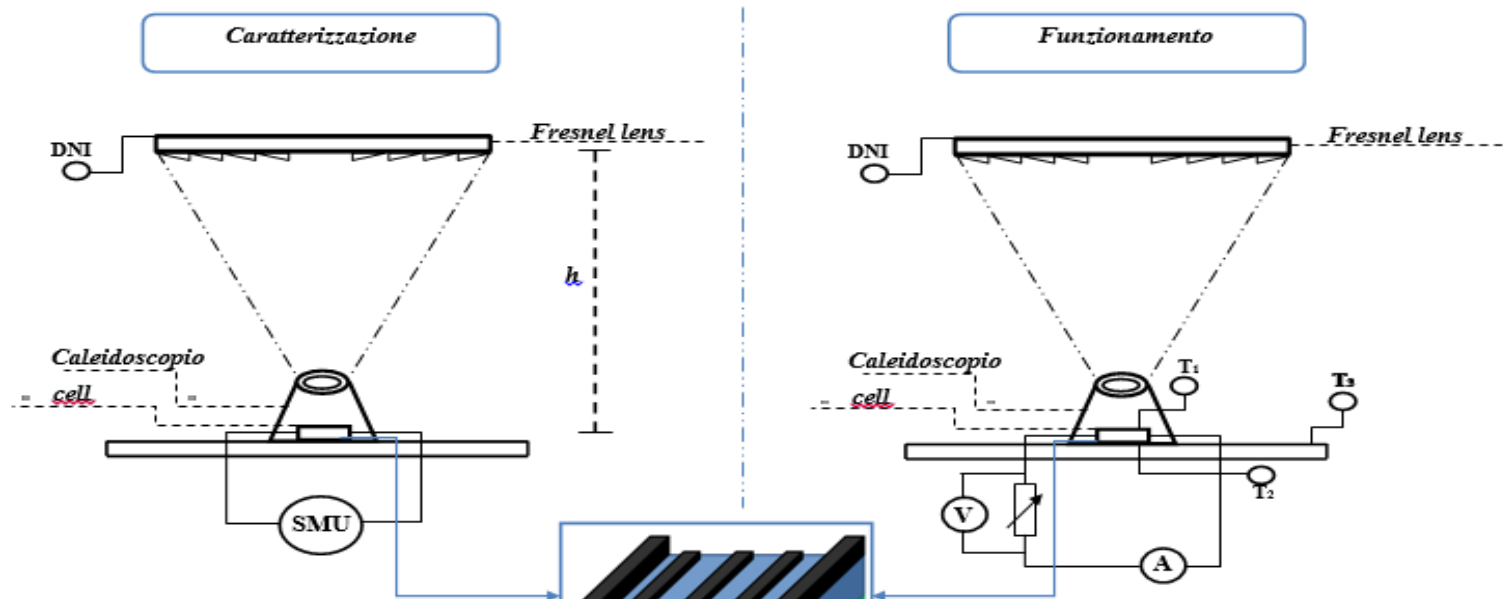
*Luogo: Università degli Studi
di Salerno*

*Periodo prove: 01/2016 –
10/2016*

Durata media delle prova: 6 h

Analisi sperimentale

Caratterizzazione e funzionamento cella



Sistema sperimentale CPV

Configurazione	Point-focus
Cella	TJ - InGaP/GaAs/Ge
Area della cella	5.5x5.5 mm ²
Ottica primaria	Fresnel lens
Diametro dell'ottica	32 cm
Ottica secondaria	Caleidoscopio
Parametri misurati	DNI, T, V, I

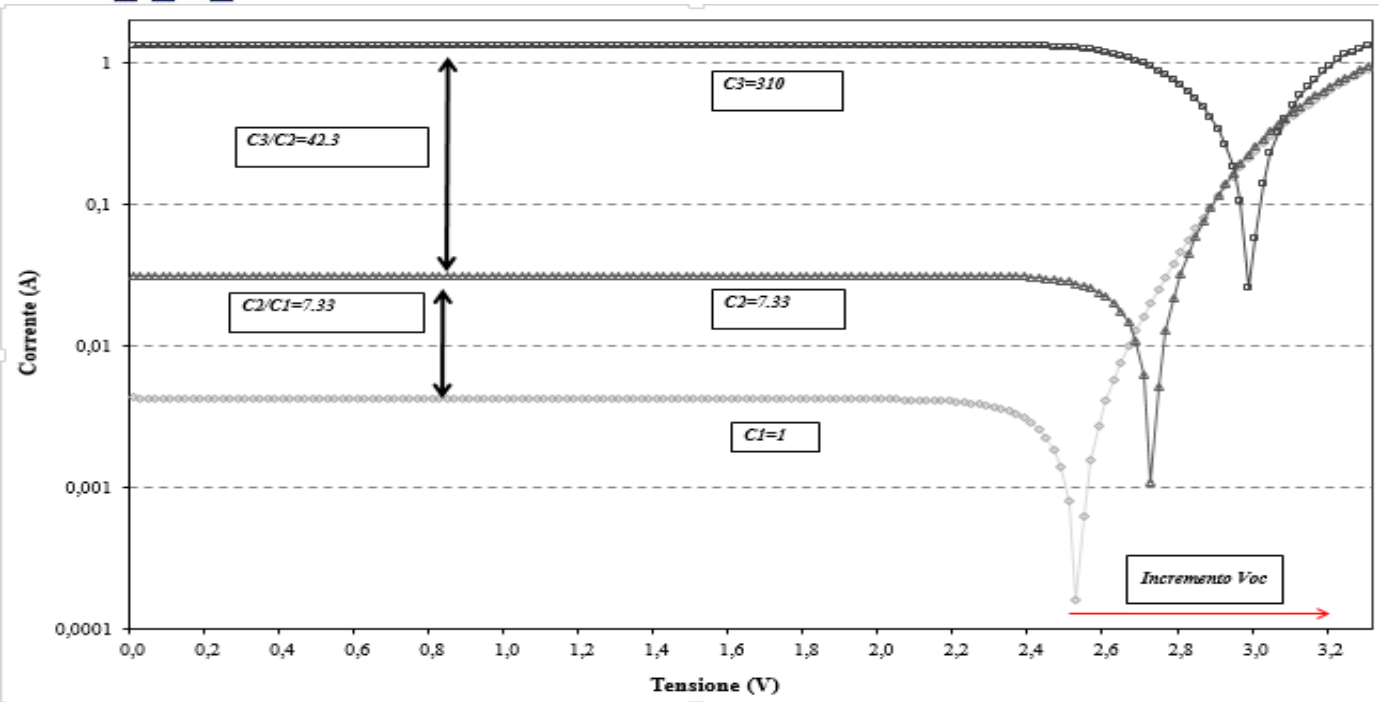
*Parametri della cella in
funzione della C*

Elettroluminescenza

Funzionamento reale

Analisi sperimentale

Risultati caratterizzazione

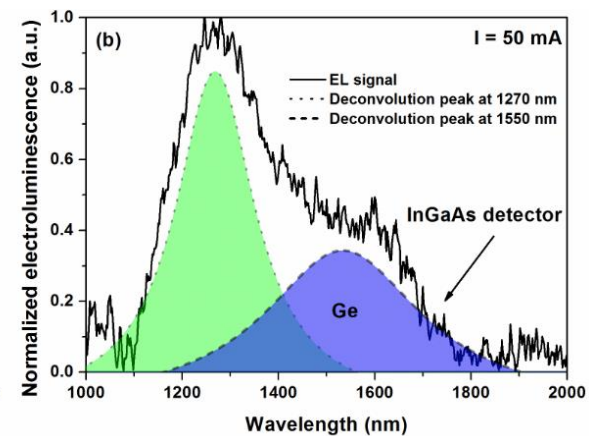
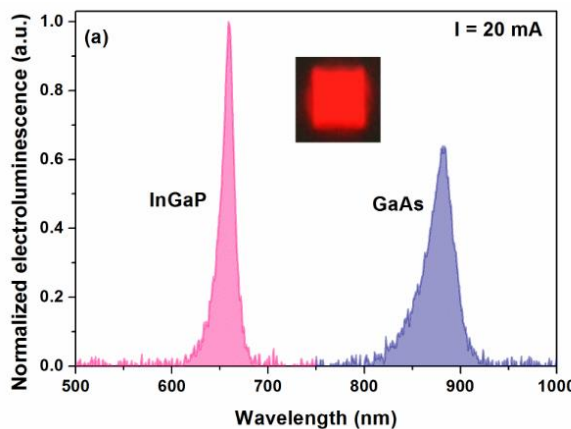


$$C = \frac{I_{sc,CPV}}{I_{sc}}$$

Altezza Lente
24 cm

EL: polarizzata a I
costante tra 500 e
2000 nm

Configurazione	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	C (x)
C1 (cella)	2.56	0.00435	1
C2 (caleidoscopio)	2.72	0.0319	7.33
C3 (cal+lente)	3.01	1.35	310



Analisi sperimentale

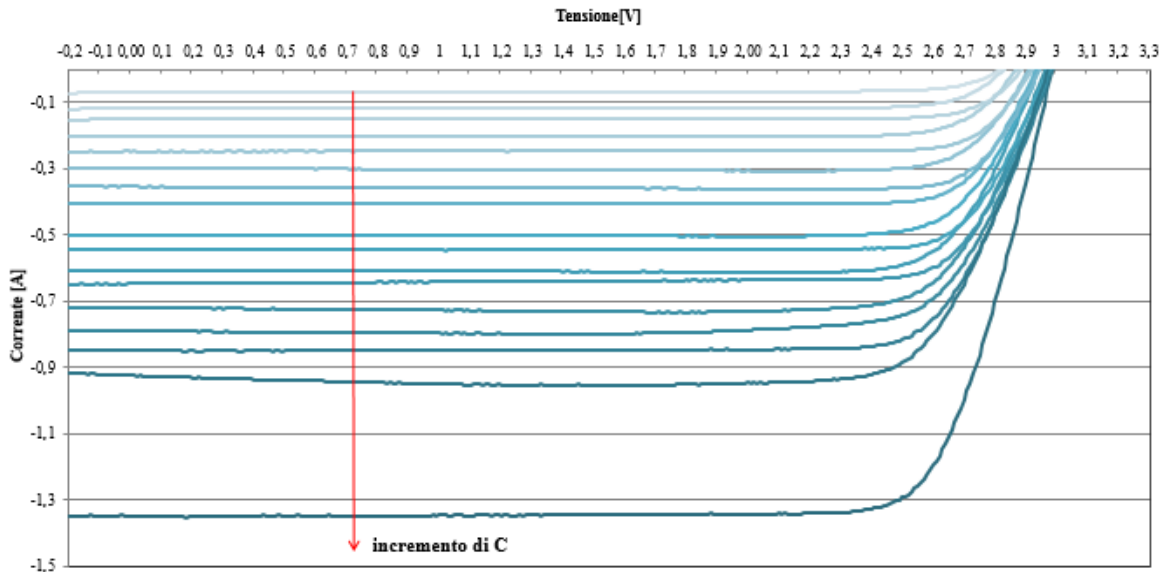
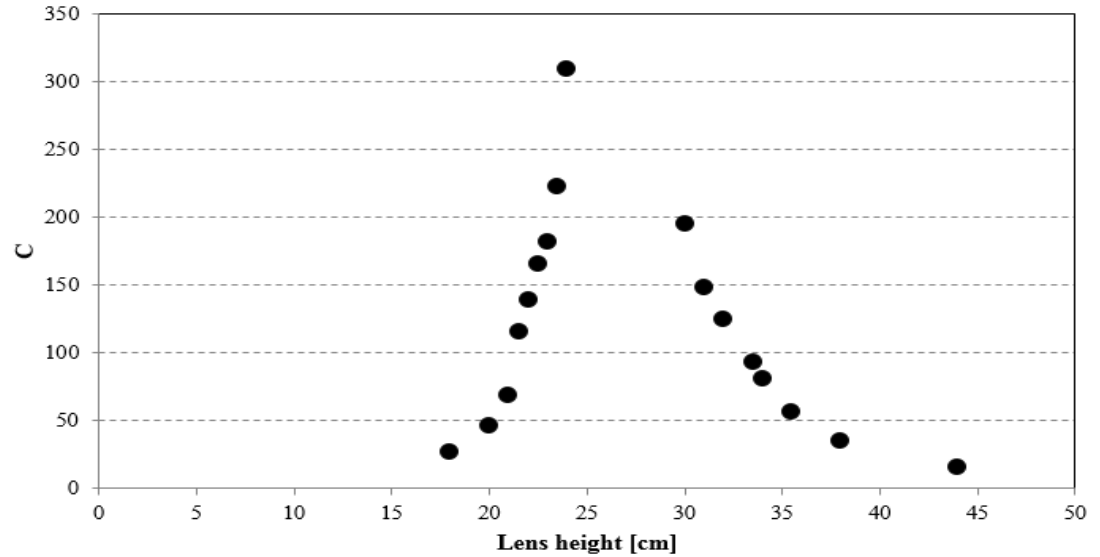
Parametri in funzione di C (1/2)

Parametri Cella

V_{oc} , I_{sc} , η , FF , R_s ,
 R_{sh}



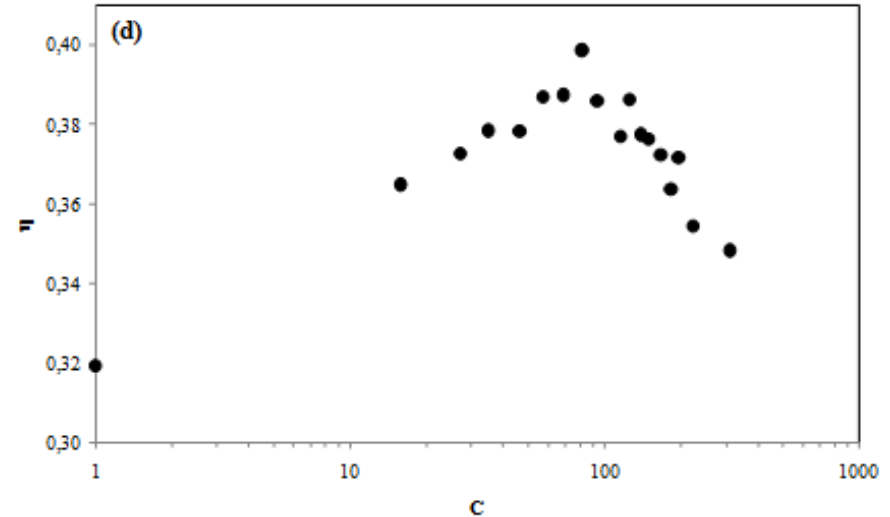
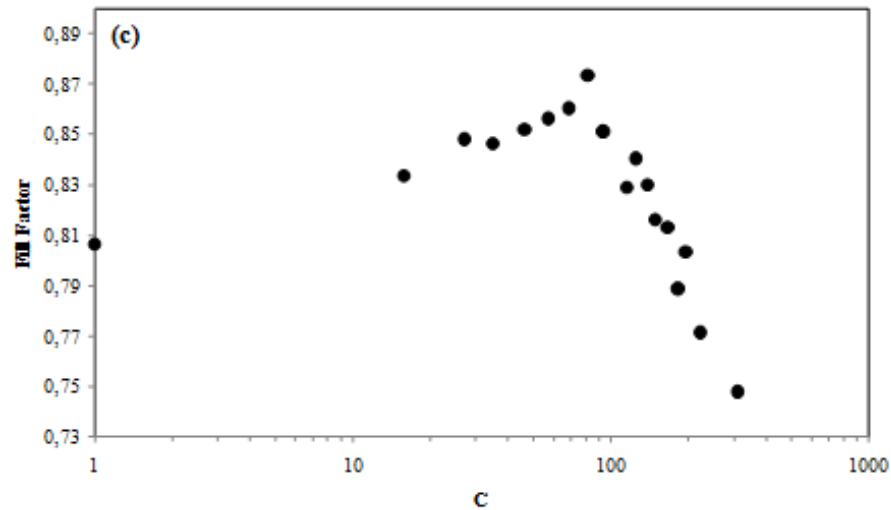
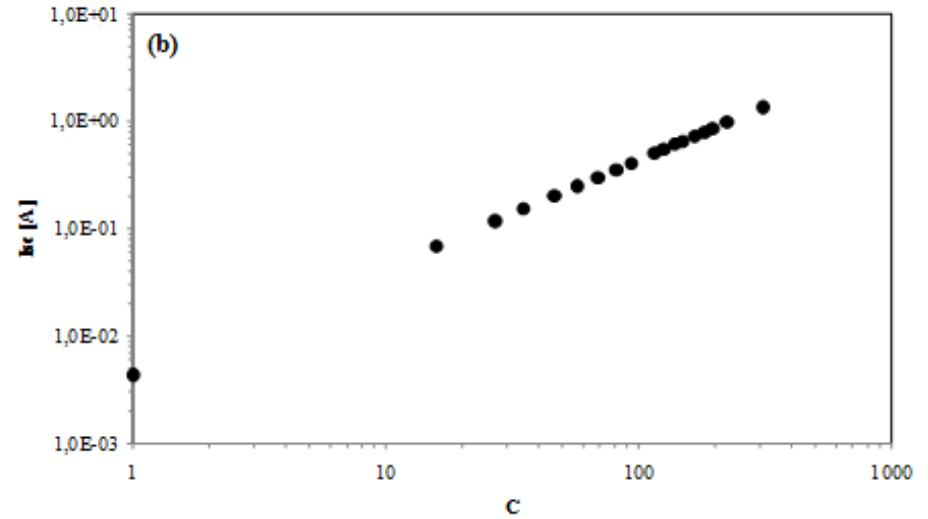
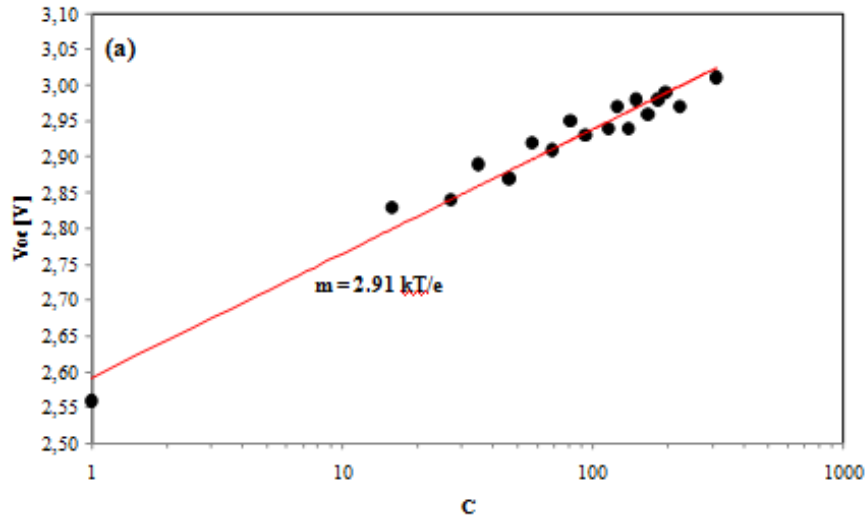
**Variazione Altezza
Lente**



**Caratteristica I-V
a C variabile**

Analisi sperimentale

Parametri in funzione di C (2/2)

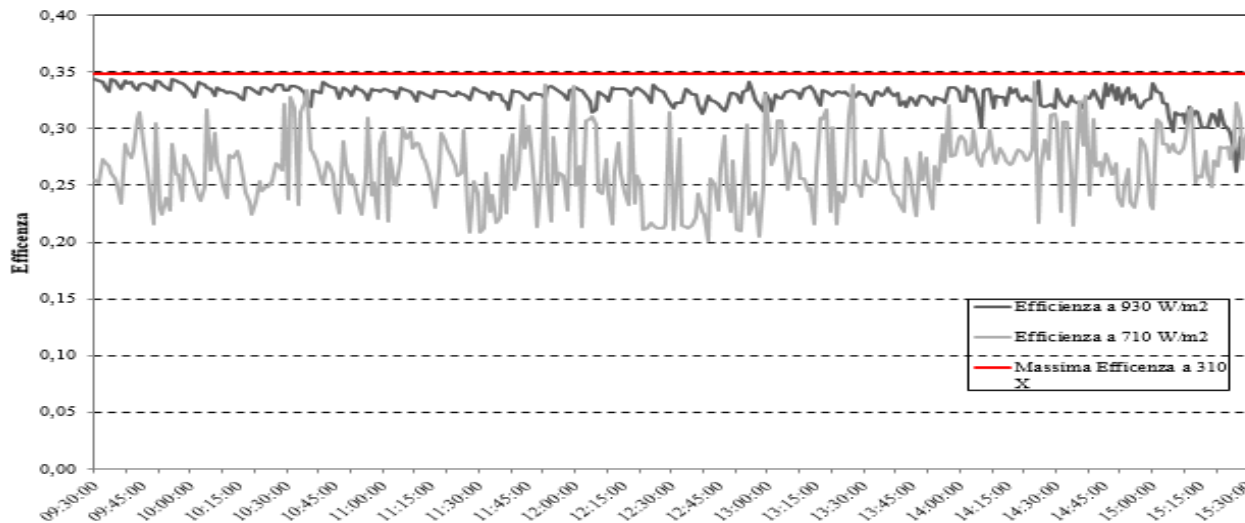
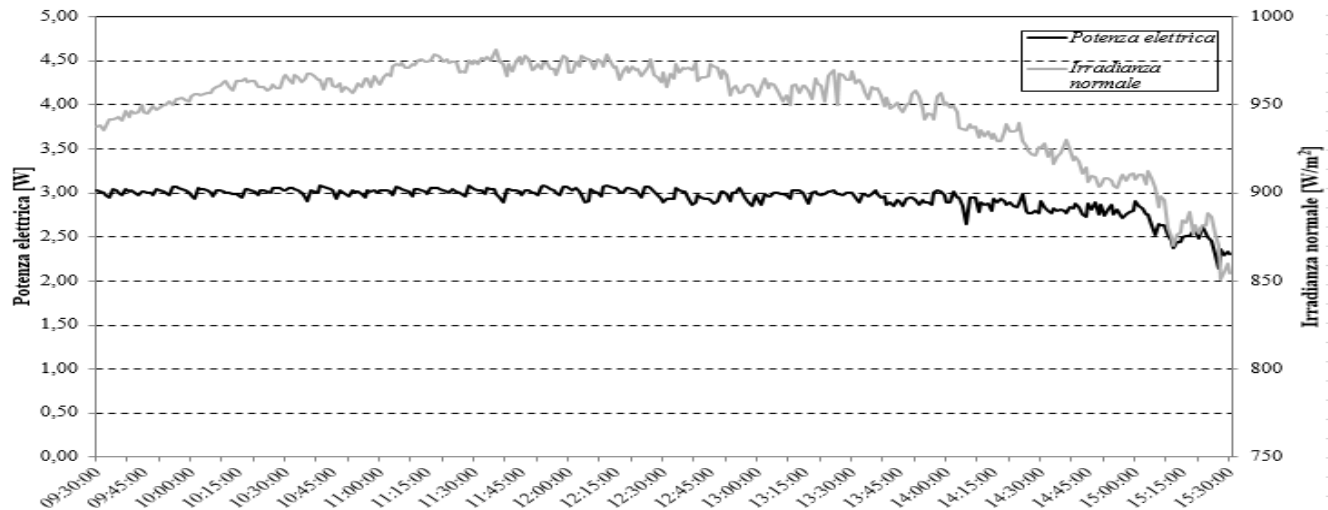


Analisi sperimentale

Funzionamento cella (1/2)

Potenza

$$P_c = V \cdot I$$

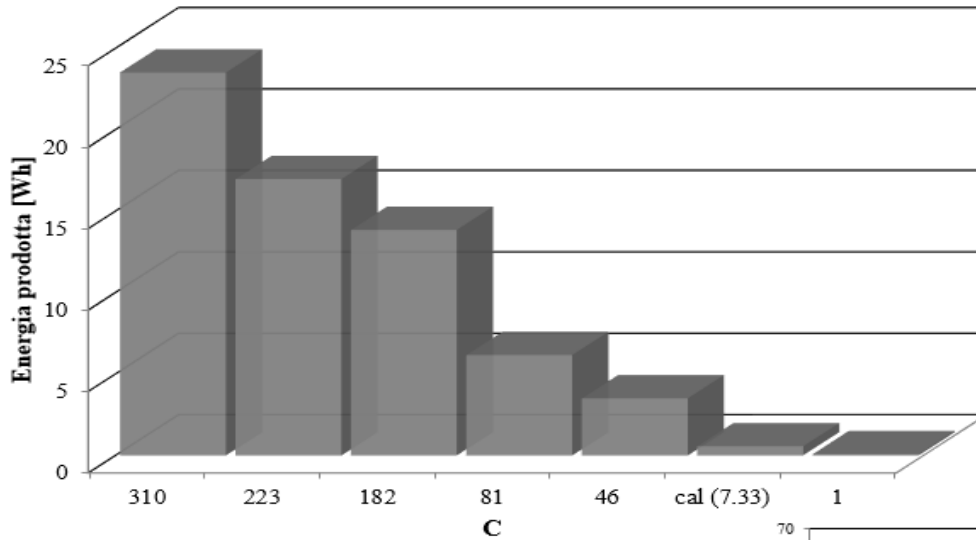


Efficienza

$$\eta_c = \frac{P_c}{DNI_c}$$

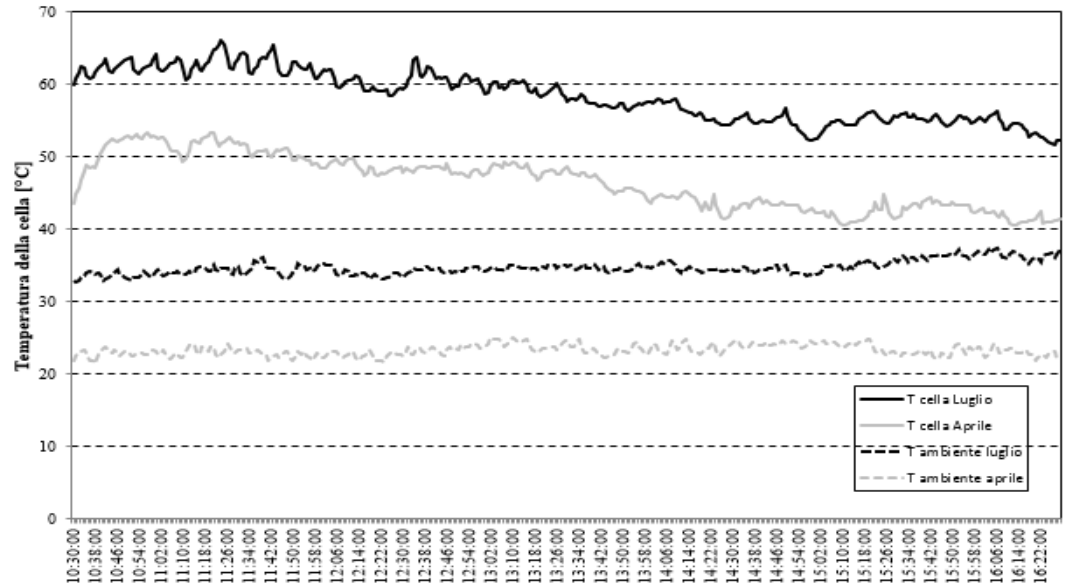
Analisi sperimentale

Funzionamento cella (2/2)



*Energia giornaliera
in funzione della
concentrazione*

*Temperatura
cella in diversi
periodi dell'anno*



Random Forest per T cella

Problematica

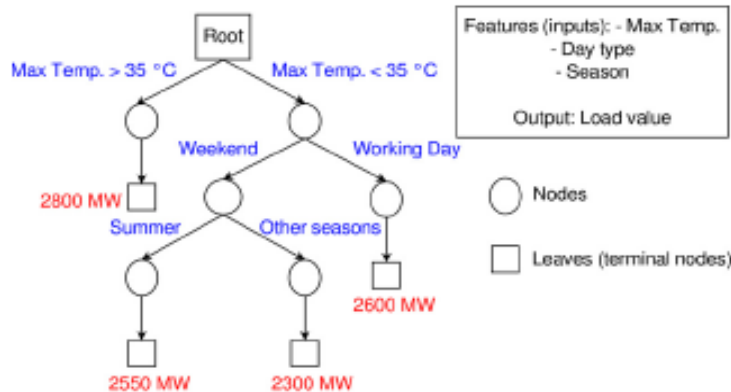
Temperatura della cella in ogni condizione

Modello Teorico - Sperimentale

Data Mining

Albero di decisione (CART)

Random Forest



$$OOBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

Unisce le previsioni di più alberi di decisione (CART)

Sfrutta i dati sperimentali raccolti

Sfrutta un campione n estratto dall'insieme iniziale S

La previsione si ottiene scorrendo l'albero e valutando l'OOBE

Random Forest per T cella

Modello

Raccolta dati
sperimentali

Preparazione data
set (pretrattamento)

Scelta degli input

Implementazione
modelli

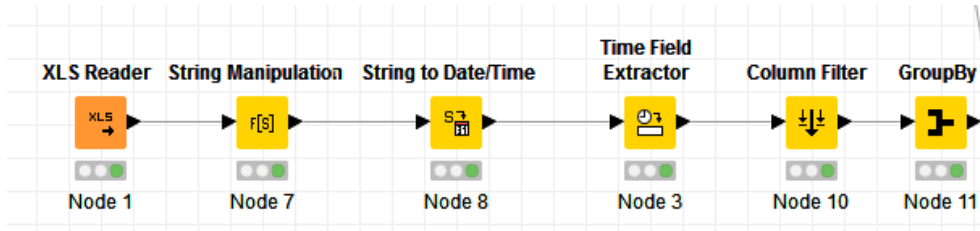


**Eliminazione
Outliers**

1. temperatura sotto cella
2. temperatura su cella
3. temperatura ambiente
4. tensione cella
5. resistenza elettrica
6. corrente foto – generata
7. radianza globale e diretta
8. concentrazione



Software KNIME



Random Forest per T cella

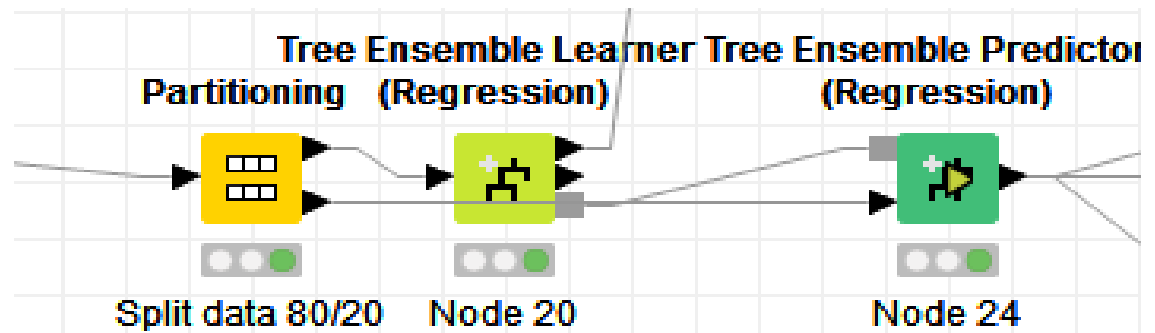
Scelta input ed implementazione

Scelta Input

*Analisi statistica
su dati raccolti*

1. ora del giorno
2. fattore di concentrazione
3. temperatura ambiente
4. radianza globale

Implementazione



Modello non lineare continuo

KNIME implementa una struttura a blocchi

Partitioning suddivide i dati in ingresso in set di training e di test (divisione 80/20)

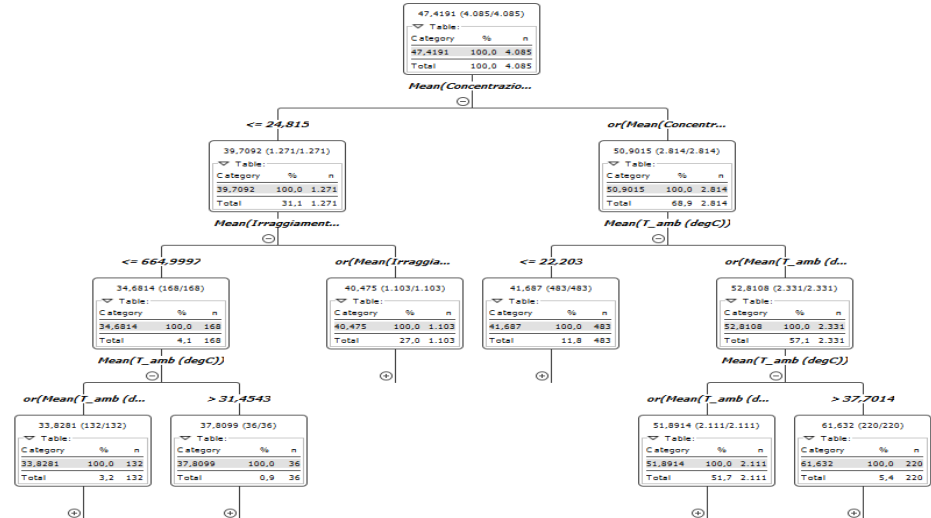
Tree Ensemble Learner (Regression) ha il training set in input ed effettua addestramento

Tree Ensemble Predictor (Regression) ha il test set ed effettua le previsioni

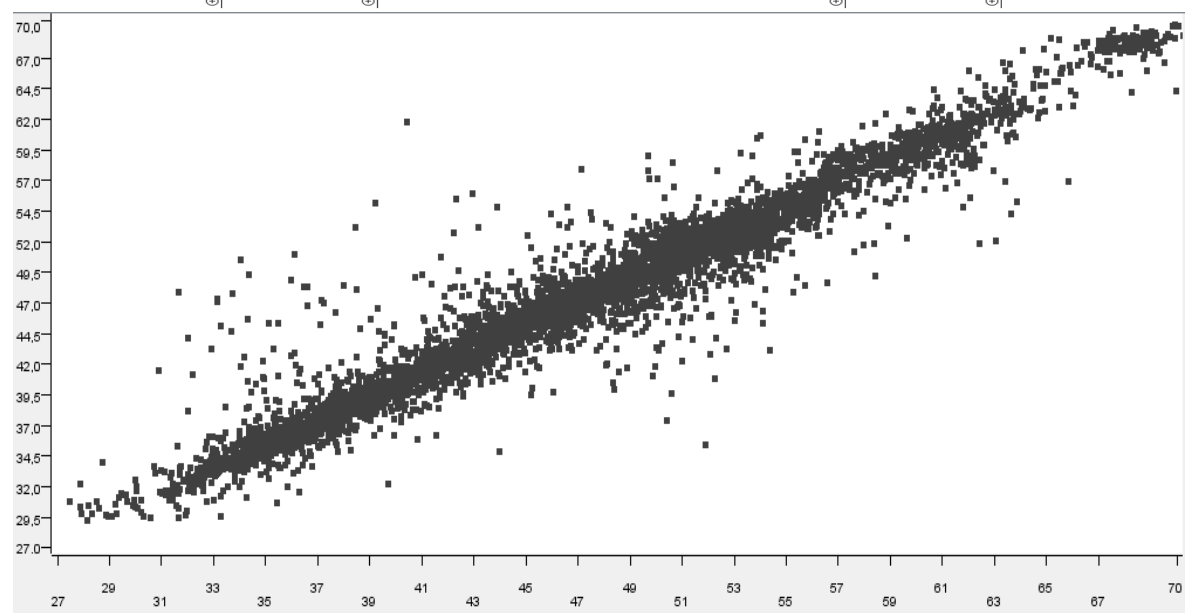
Random Forest per T cella

Risultati (1/3)

Numero di alberi e modelli in cui si scompone la foresta



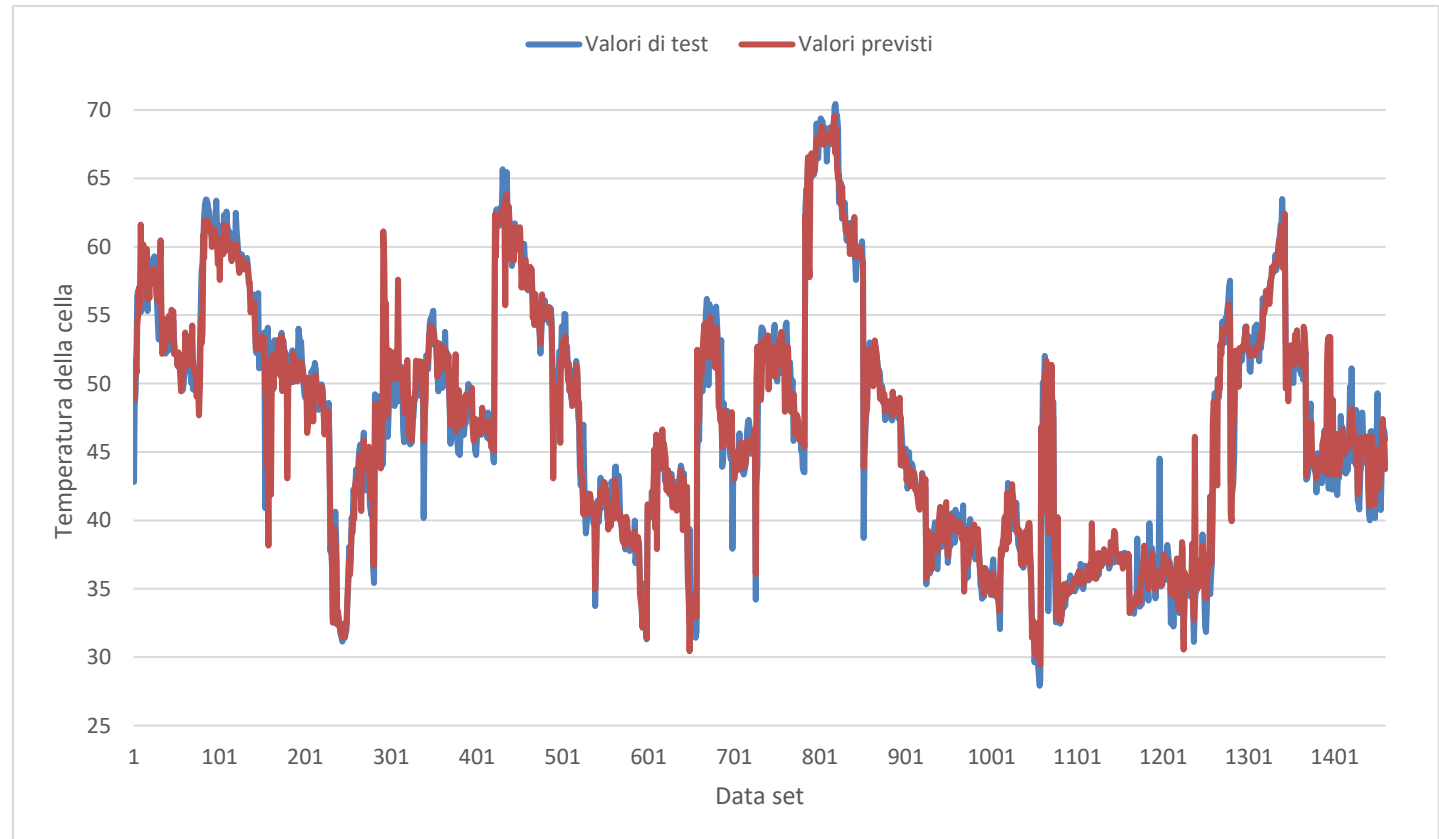
Numero di modelli	Valore di MSE
50	3.935 °C ²
100	3.837 °C ²
200	3.828 °C ²
300	3.821 °C ²
400	3.819 °C ²



Random Forest per T cella

Risultati (2/3)

*Previsioni
rispetto a
test*



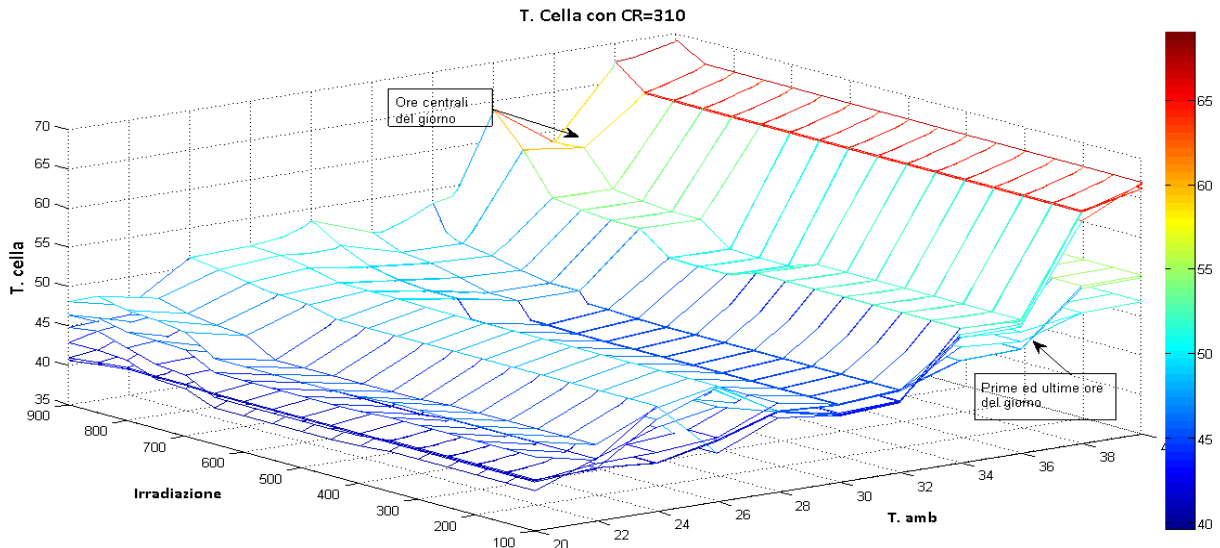
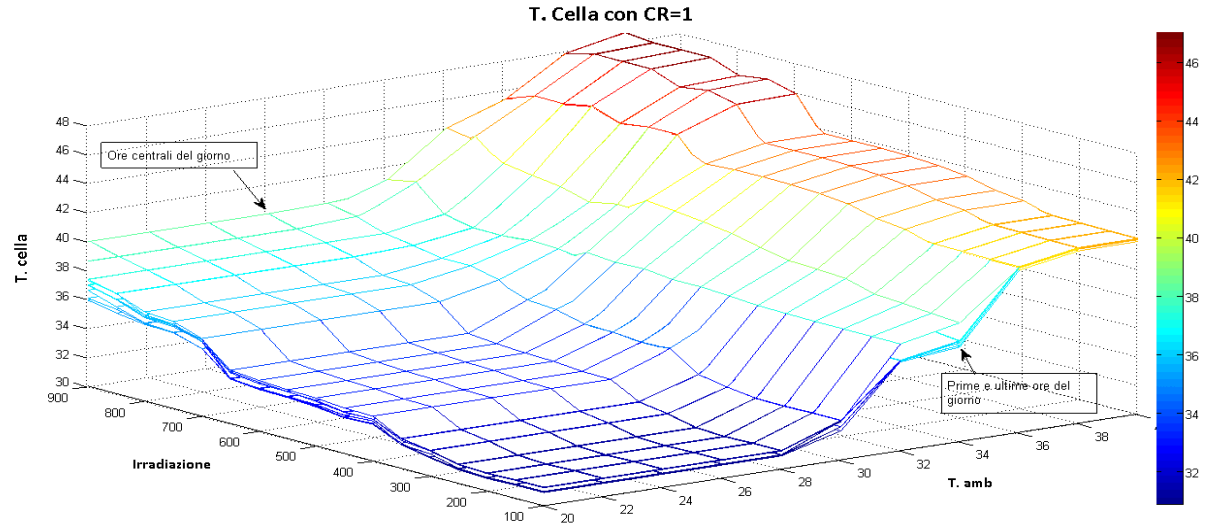
*Analisi statistica
risultati*

Modello	MSE [$^{\circ}\text{C}^2$]	RMSE [$^{\circ}\text{C}$]	MAE [$^{\circ}\text{C}$]	R^2
Random Forest	3.81	1.95	1.17	0.95

Random Forest per T cella

Risultati (3/3)

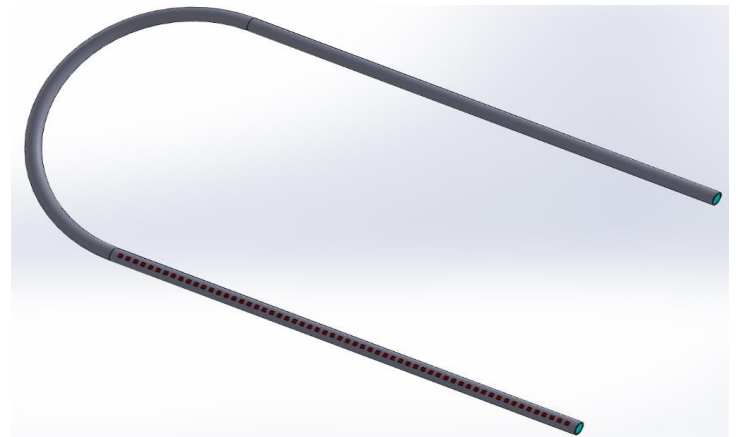
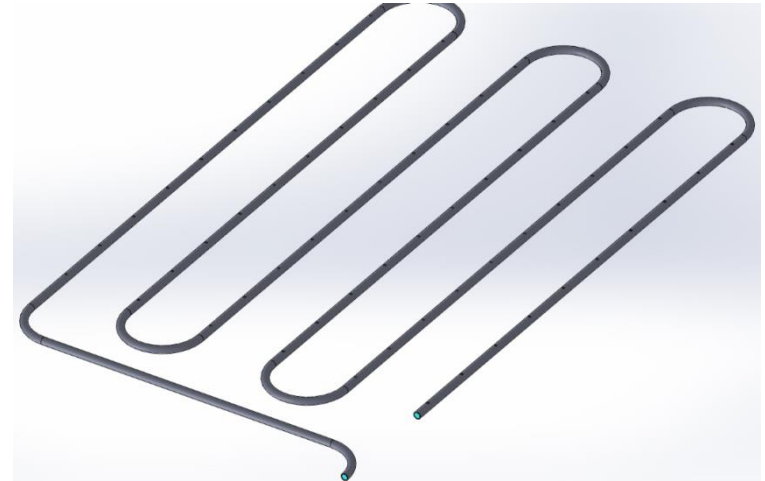
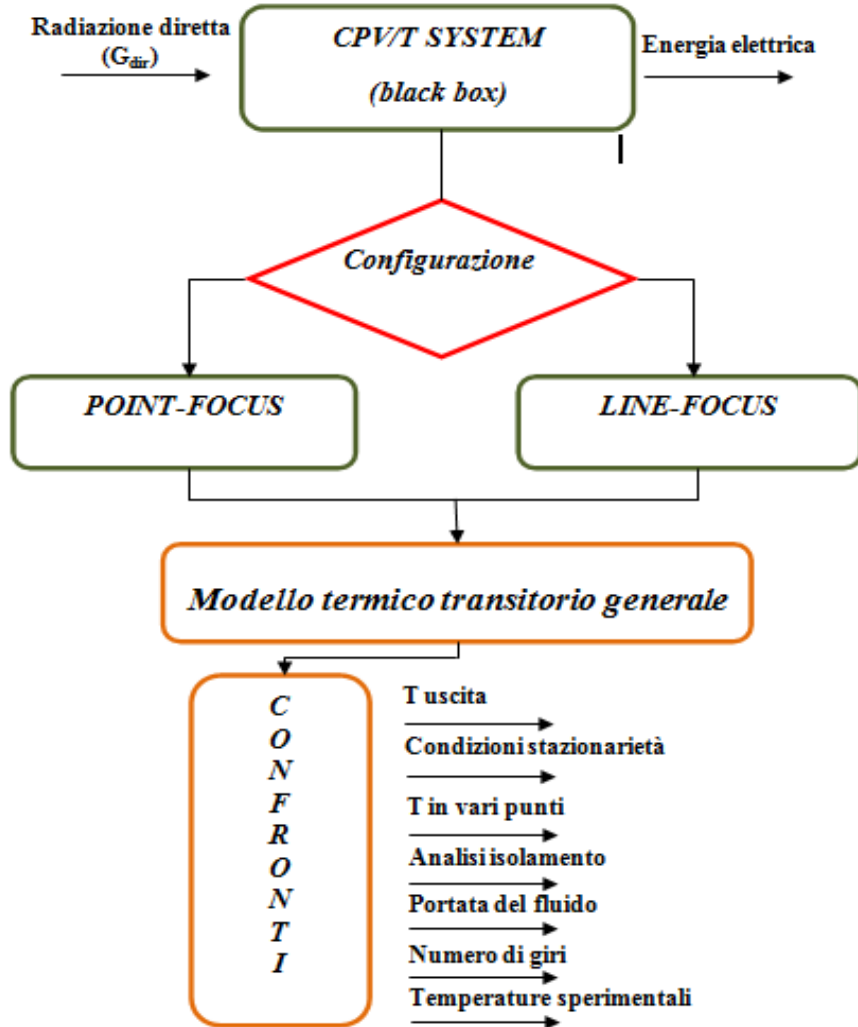
*T cella in base a I
e T ambiente
(C=1)*



*T cella in base a I
e T ambiente
(C=310)*

Modello termico generale

Metodologia



Modello termico generale

Modello (1/3)

*Definizione
Configurazione*

*Temperatura
cella e
concentrazione*

*Modello
termico*

*Risoluzione
numerica*

*Point e line focus
(SolidWorks)*

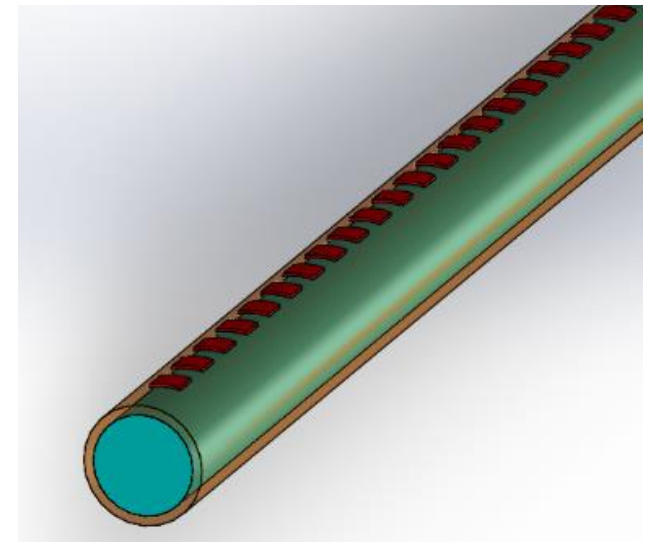
*T sperimentale
T teo – sper
T costante
C variabile*

*Definizione CV
Scambio termico*

Ansys

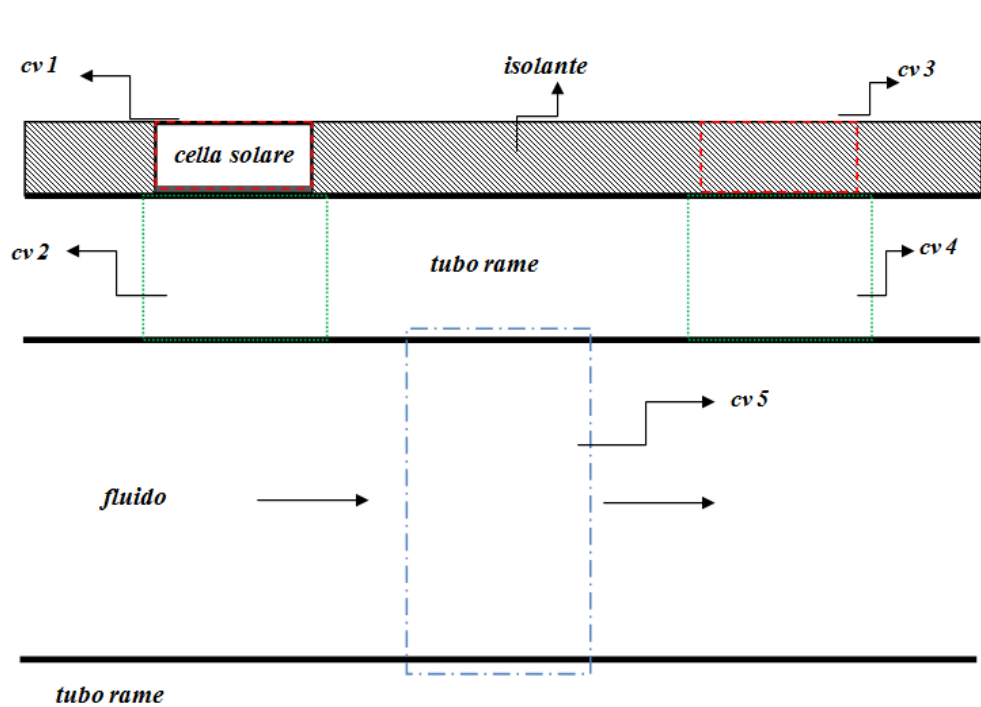
Circuiti

- Point e Line con lo stesso numero di celle MJ
- Distanza tra le celle variabile
- Tubo in rame
- Isolante nelle zone libere variabile (Aerogel)
- Resina epossidica conduttiva



Modello termico generale

Modello (2/3)



Zona non isolata

CV1 ⇒ **Cella - Tubo**

$$\rho_c V_c c_c \frac{\partial T_c}{\partial \theta} = C I_{dir} A_c \alpha_c - \pi d_e \bar{h}_e (T_c - T_a) - A_c K_c (T_c - T_t)$$

CV2 ⇒ **Tubo - Fluido**

$$A_c K_c (T_c - T_t) + A_t K_t \frac{\partial^2 T_t}{\partial X^2} = \pi d_i \bar{h}_i (T_t - T_f) + \rho_t V_t c_t \frac{\partial T_t}{\partial \theta}$$

Zona isolata

CV3 ⇒ **Esterno - Tubo**

$$C I_{dir} A_{ins} \alpha_{is} + A_{is} K_{is} \frac{\partial^2 T_{ins}}{\partial X^2} = A_{is} K_{is} (T_{is} - T_t) + \pi d_e \bar{h}_e (T_{is} - T_a) + \rho_{is} V_{is} c_{is} \frac{\partial T_{is}}{\partial \theta}$$

CV5 ⇒ **Fluido**

$$\dot{m}_f c_f \frac{\partial T_f}{\partial X} + \pi d_i \bar{h}_i (T_t - T_f) = \dot{m}_f c_f \frac{\partial T_f}{\partial \theta}$$

CV4 ⇒ **Tubo - Fluido**

$$A_{is} K_{is} (T_{is} - T_t) + A_t K_t \frac{\partial^2 T_t}{\partial X^2} = \pi d_i \bar{h}_i (T_t - T_f) + \rho_t V_t c_t \frac{\partial T_t}{\partial \theta}$$

Modello termico generale

Modello (3/3)

3 DOMINI

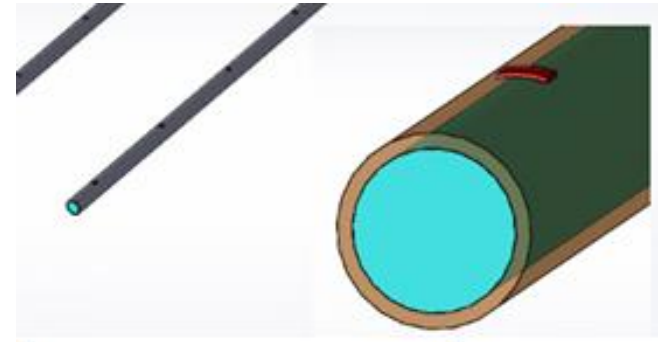
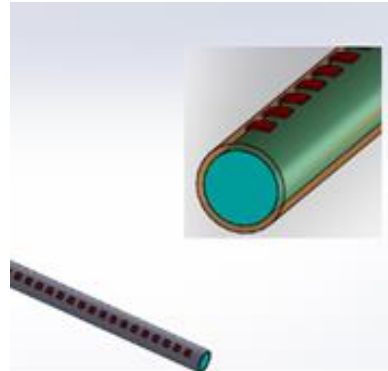
Cella: Solido

Tubo: Solido

Fluido: Liquido

Superfici di scambio:

- *Cella - esterno*
- *Cella - tubo*
- *Tubo – fluido*
- *Isolante - tubo*



IPOTESI

- C variabile
- T variabile
- Velocità variabile del fluido in ingresso
- Pressione atmosferica in corrispondenza della sezione di uscita;
- Temperatura di 12°C nella sezione di ingresso del fluido;
- Condizioni di assenza di slittamento e penetrazione sulle pareti del tubo
- Temperatura esterna di 25° C;
- Radiazione solare tra 500 W/m² e 900 W/m².

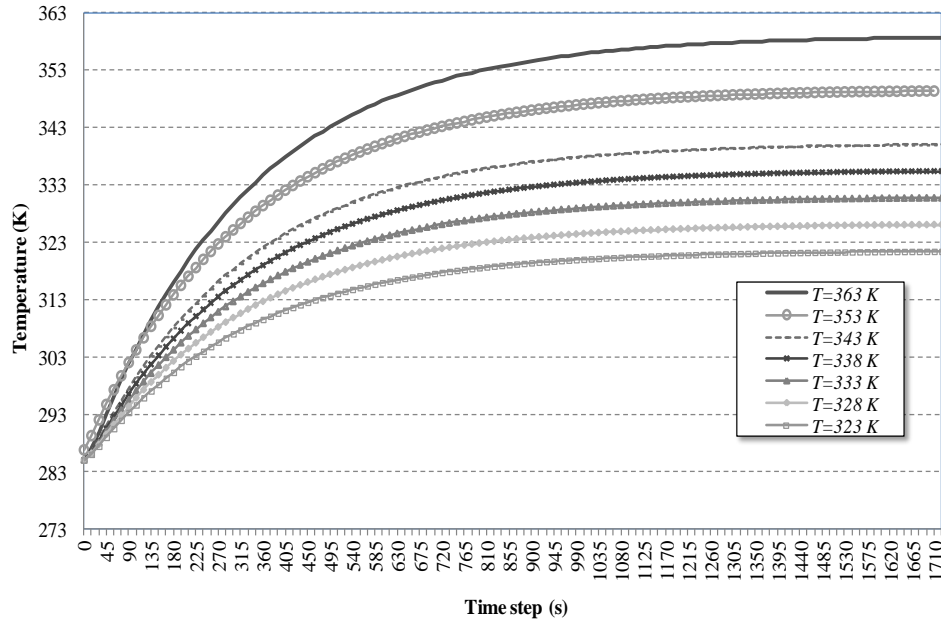
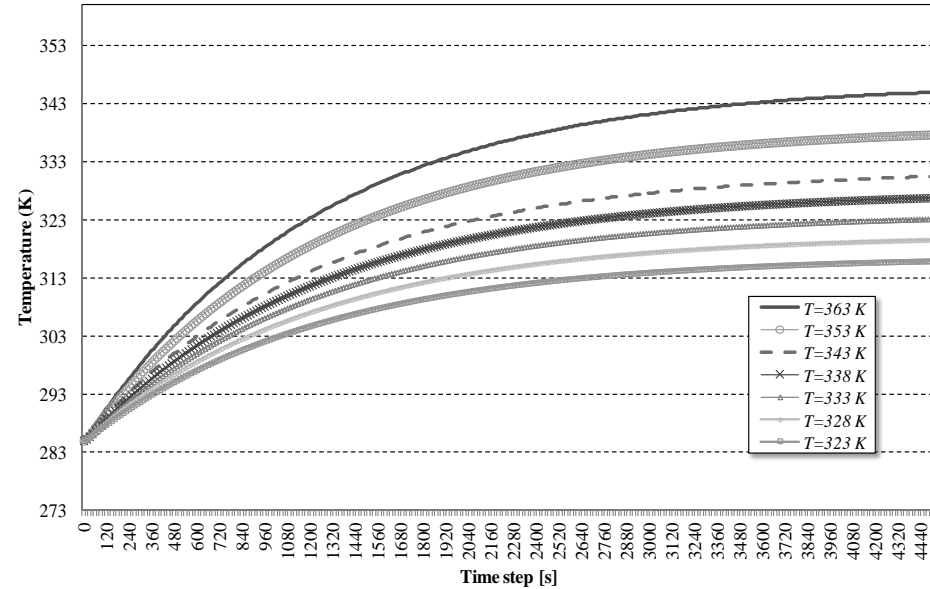
	Spessore [m]	Conducibilità [W/mk]	Resistenza termica [m ² K/W]
Cella	1.00 E-03	148	6.76 E-06
Rame	3.00 E-03	401	7.48 E-06
Resina	1.00 E-4	1.38	7.25 E-05
Isolante	da 5.00 E-3 a 15.0 E-3	0.014	variabile

Modello termico generale

Risultati (1/4)

Point - Focus

Line - Focus



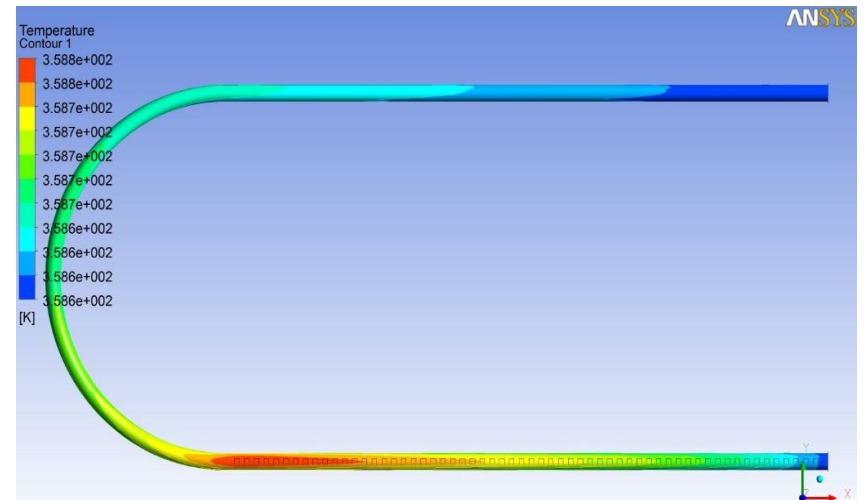
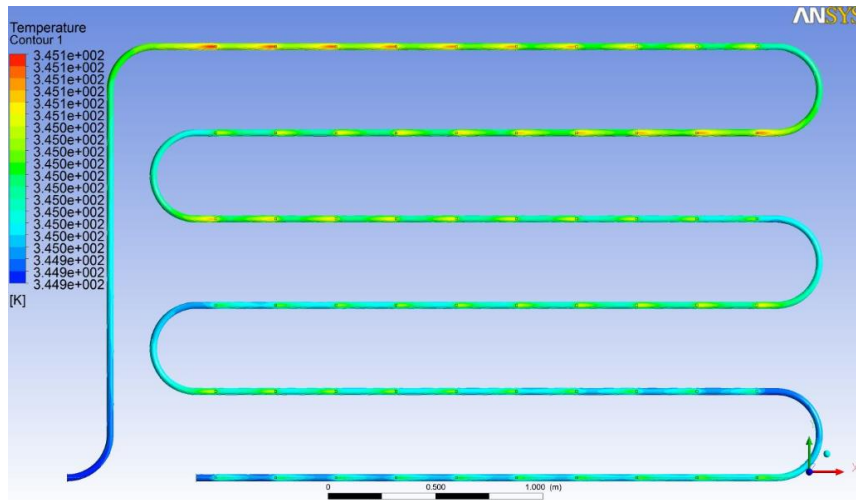
		<i>Temperatura della cella (K)</i>						
		363	353	343	338	333	328	323
<i>Point-focus</i>	<i>Temperatura massima di uscita del fluido (K)</i>	344.8	337.5	330.3	326.7	323.1	319.4	315.8
	<i>Differenza di temperatura a regime</i>	18.2	15.5	12.7	11.3	9.90	8.60	7.20
<i>Line-focus</i>	<i>Temperatura massima di uscita del fluido (K)</i>	358.5	349.2	339.9	335.2	330.5	325.9	321.2
	<i>Differenza di temperatura a regime</i>	4.50	3.80	3.10	2.80	2.50	2.10	1.80

Modello termico generale

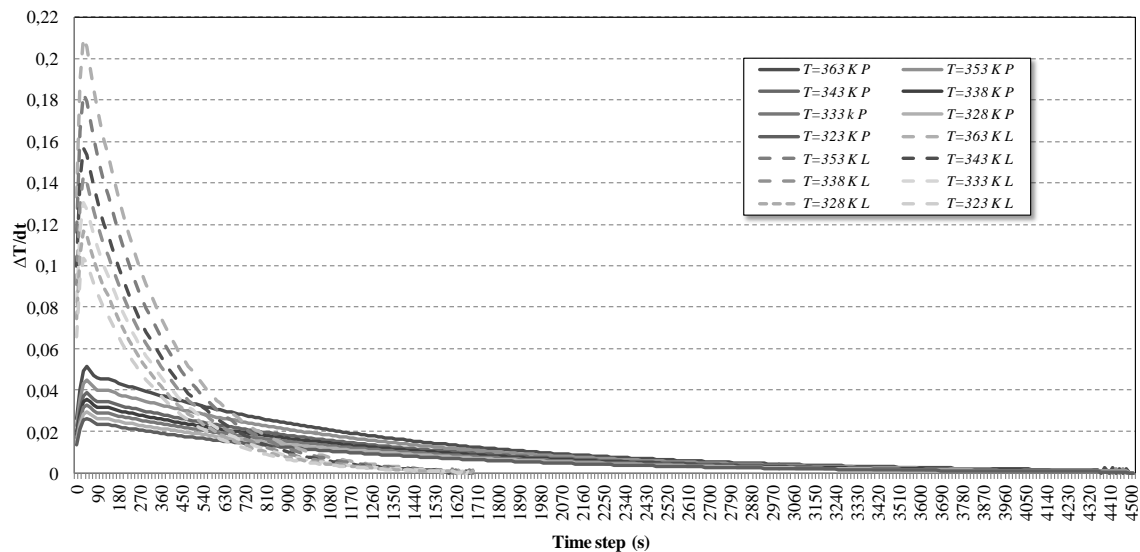
Risultati (2/4)

Point - Focus

Line - Focus



t regime

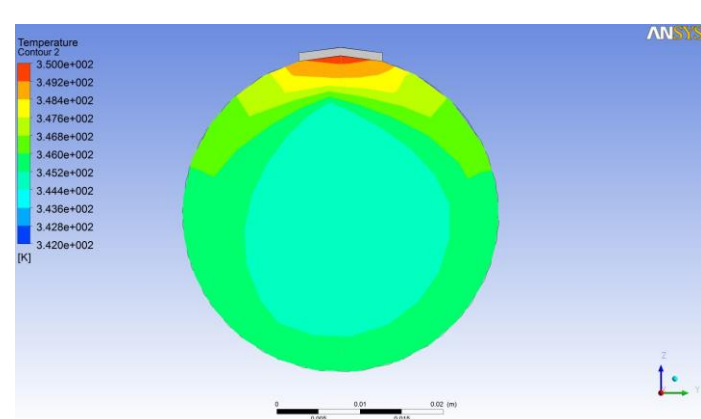
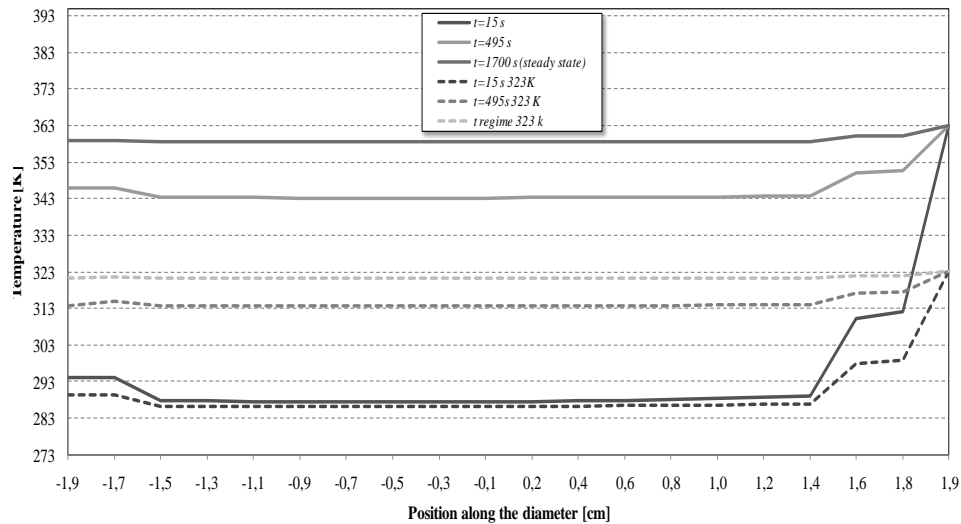
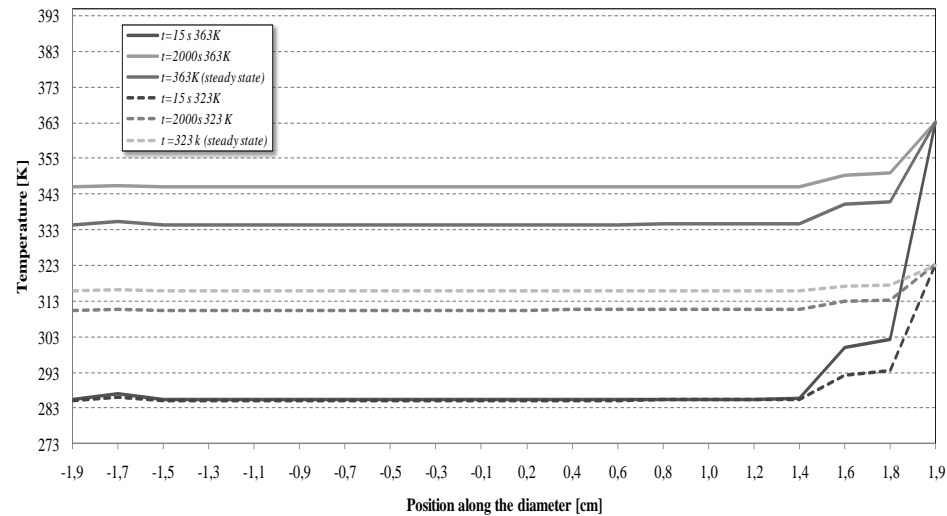


Modello termico generale

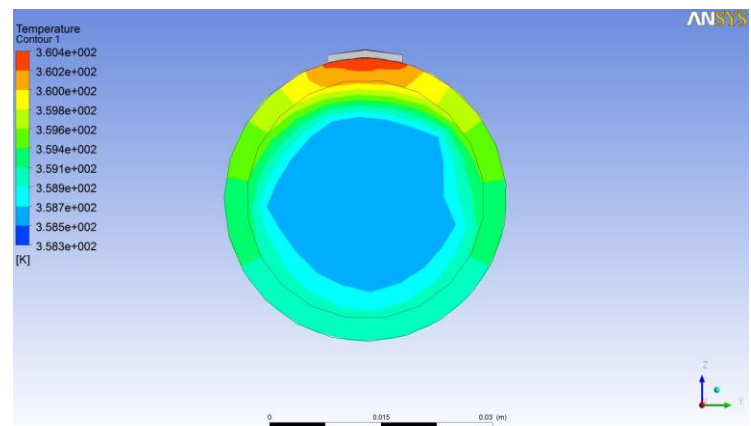
Risultati (3/4)

Point - Focus

Line - Focus



lungo il diametro



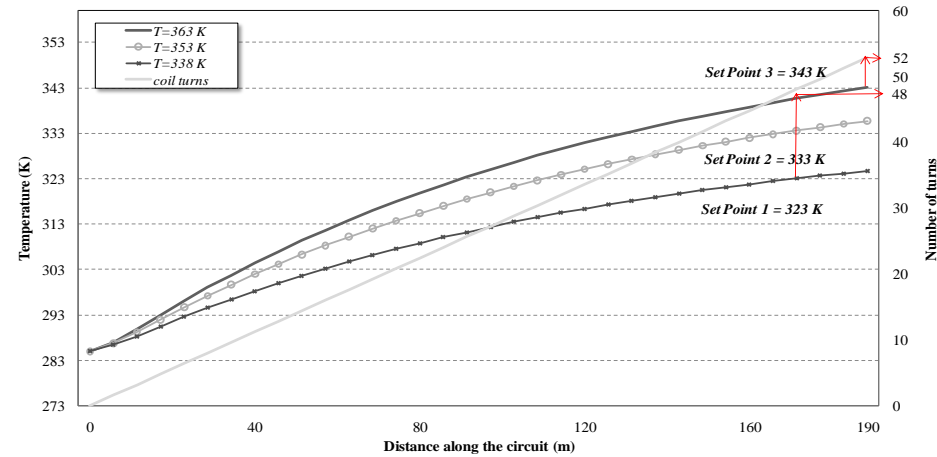
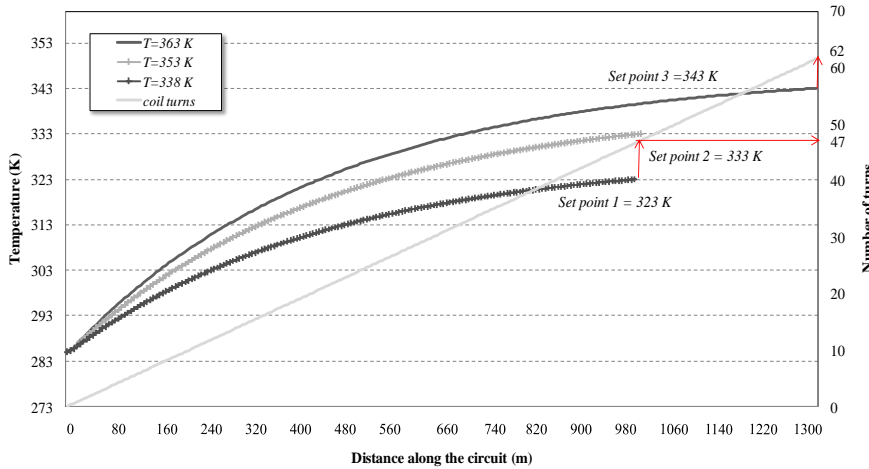
Modello termico generale

Risultati (4/4)

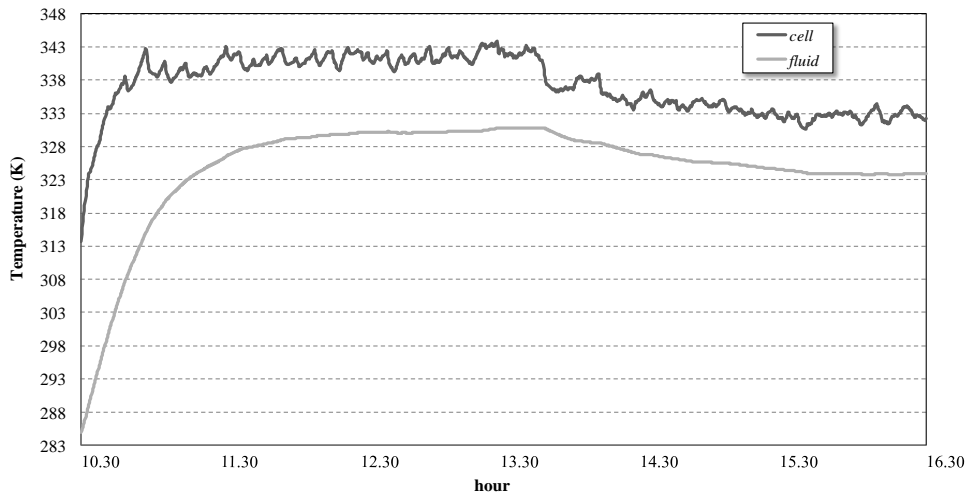
Point - Focus

Set point

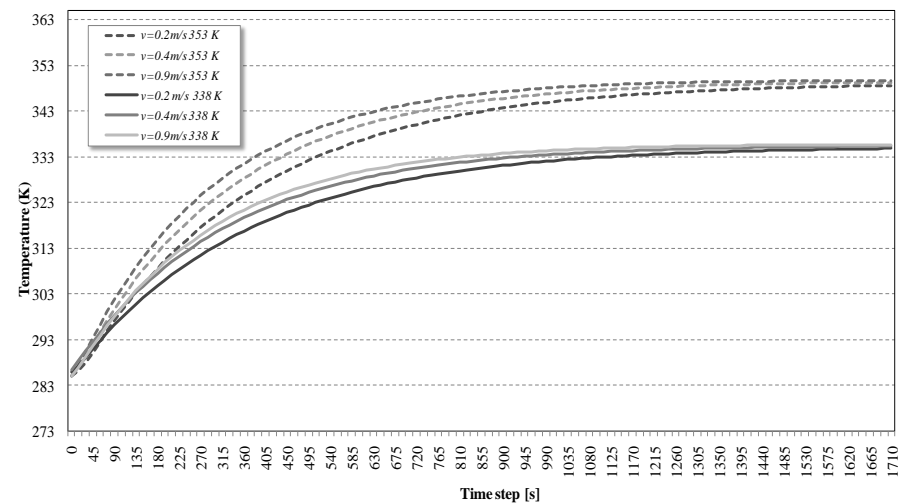
Line - Focus



T sperimentale



v variabile



Progettazione nuovo impianto

Riconfigurazione line - focus

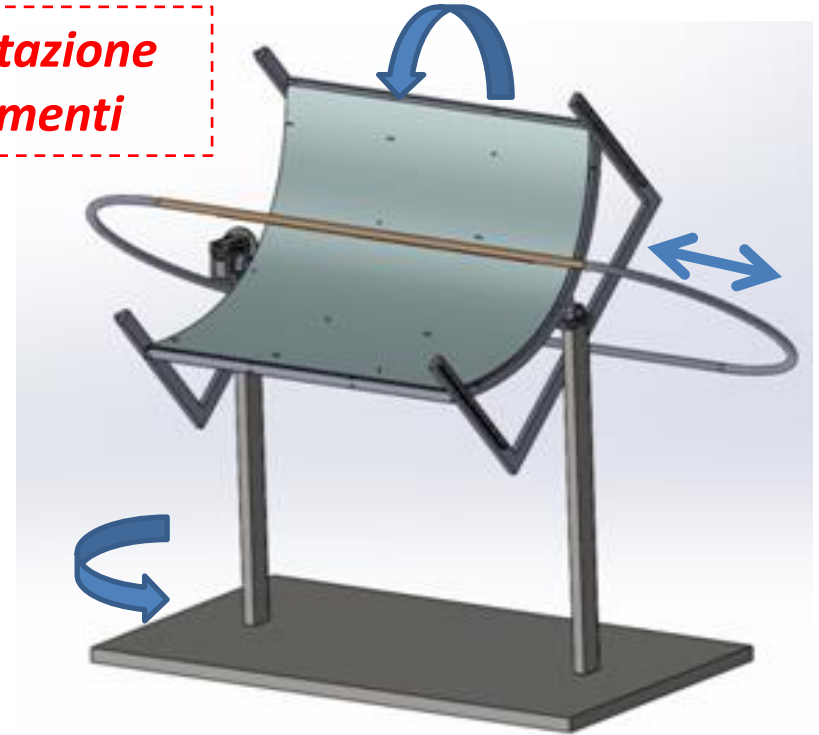
Vantaggi point/Svantaggi line

- Convertibilità ottiche
- Modularità
- Maggiori C raggiunti

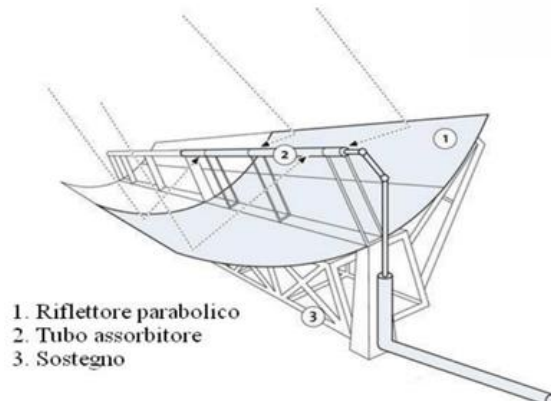
Vantaggi line/Svantaggi point

- >Livelli termici
- <Precisione puntamento
- Celle più vicine

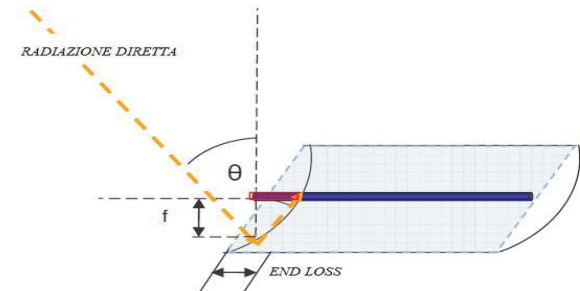
Progettazione Movimenti



Problema Progettazione Ottica

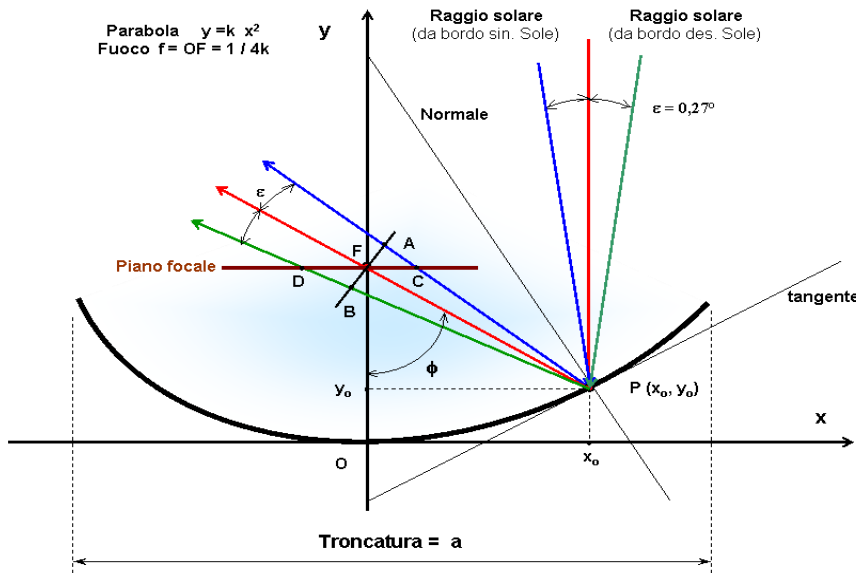


1. Riflettore parabolico
2. Tubo assorbitore
3. Sostegno



Progettazione nuovo impianto

Progettazione ottica

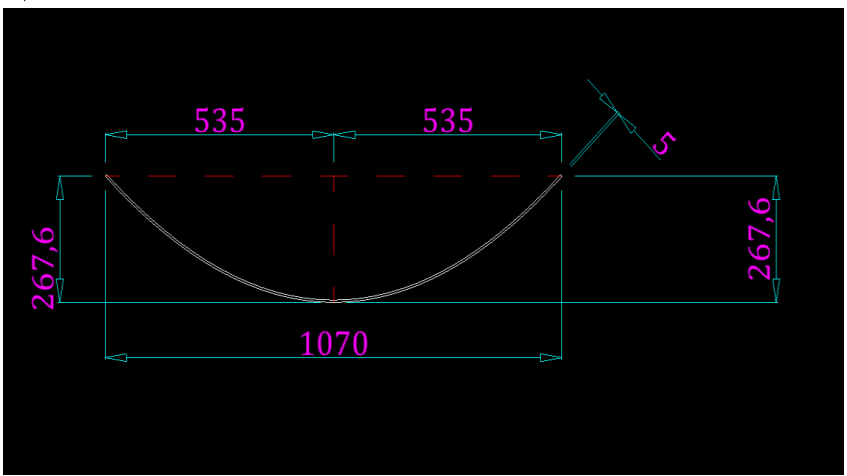


Troncatura ϕ
Focale f
Ampiezza specchio a

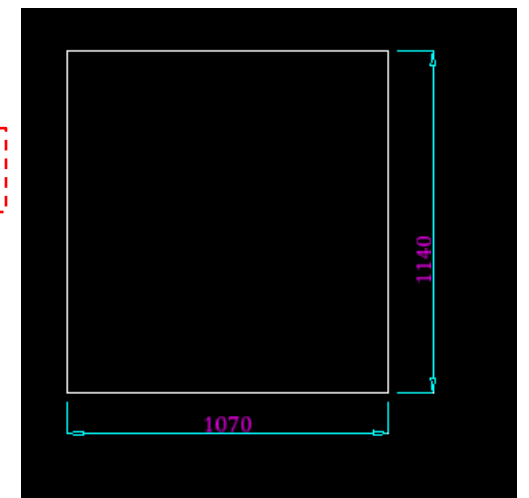
$$\operatorname{tg}\left(\frac{\Phi}{2}\right) = \frac{1}{4 \cdot \left(\frac{f}{a}\right)}$$

$$\operatorname{arco} = \frac{a}{2} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{4h}{2}\right)^2} + 2 \cdot f \cdot \ln \left[1 + \left(\frac{4h}{2}\right)^2 \right]$$

C	Φ	Lato cella	Numero celle	Focale
107	90°	1 cm	60	27 cm



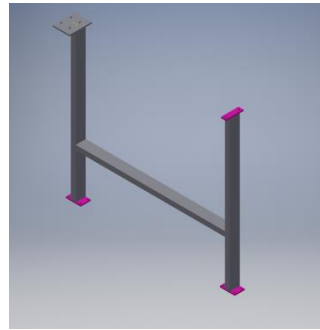
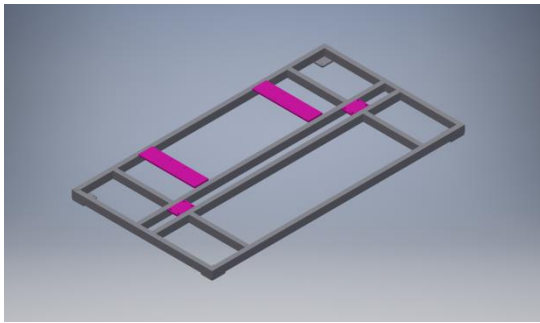
Misure in mm



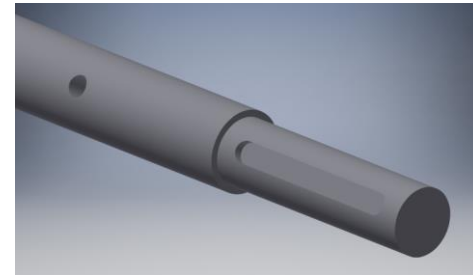
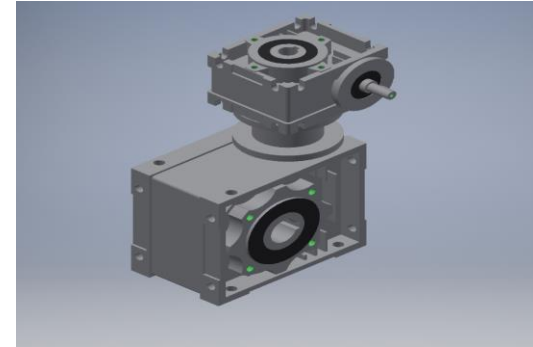
Progettazione nuovo impianto

Movimenti e componenti

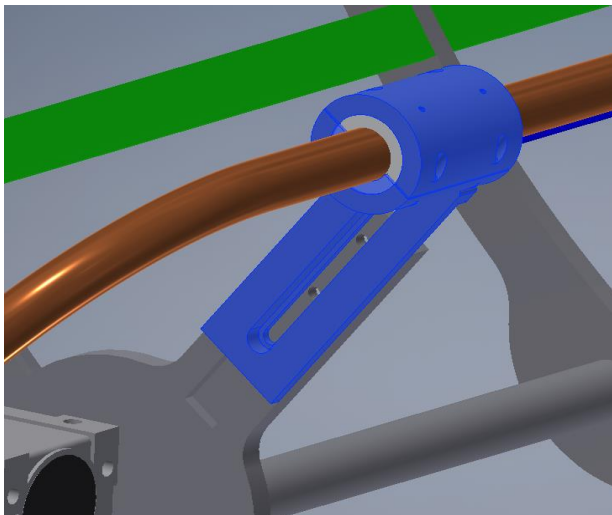
Supporti base e aste



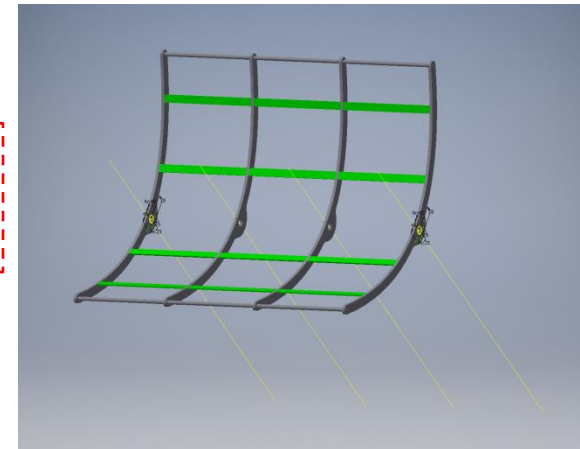
**2 motoriduttori
ed un albero di
rotazione per
movimentazione
nord-sud**



**Elemento
per
variazione
focale**



**Supporto
Concentratore**



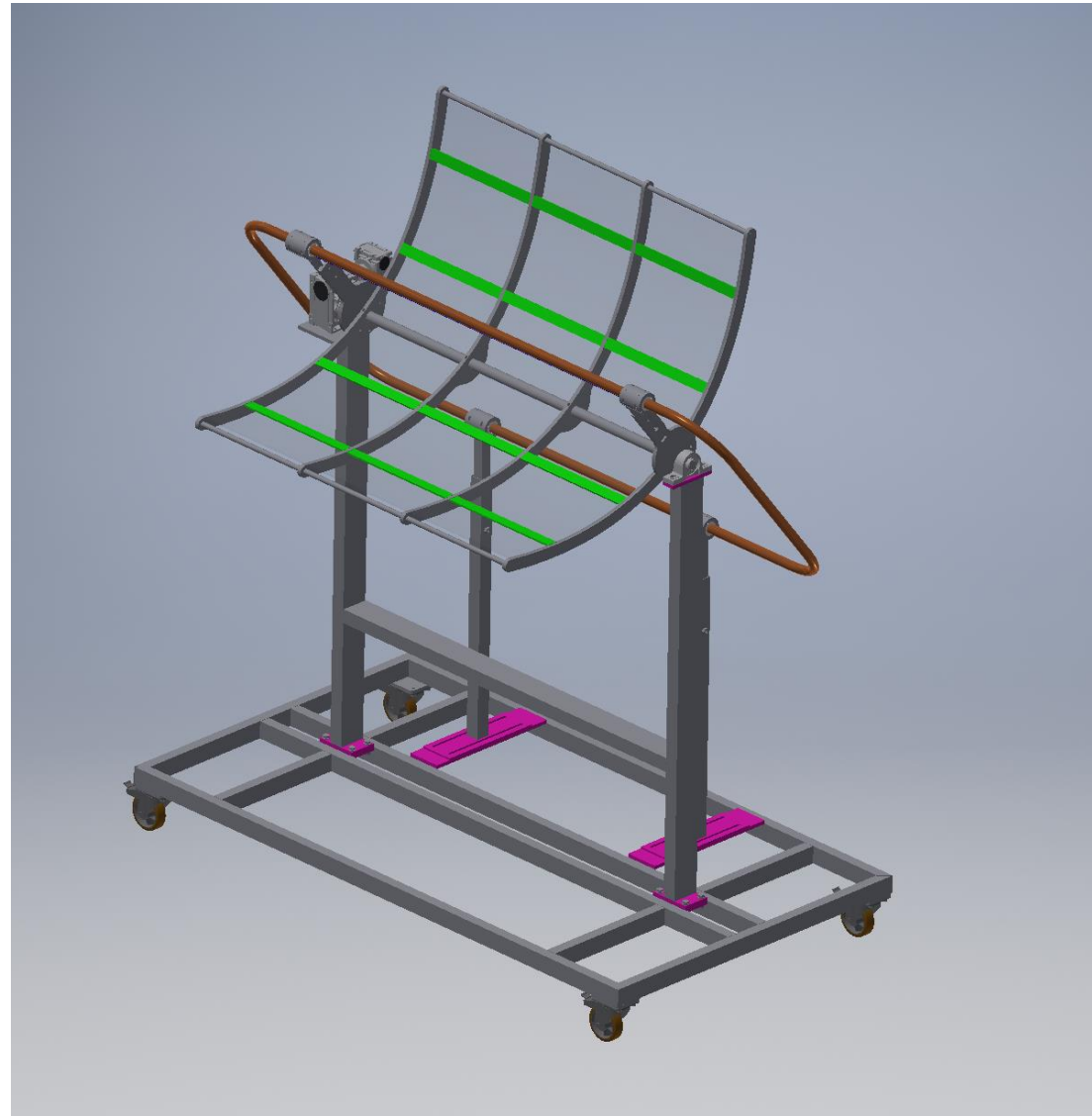
Progettazione nuovo impianto

Progetto definitivo e lancio in produzione

*Assieme
Definitivo*

*Lancio in
produzione*

*Novembre
2016*



Altre attività svolte

Attività formative:

1. Summer School on Smart Grids: “The integration of energy storage resources into today and tomorrow’s grids”, Giugno 2016 (5CFU)
2. Corso “Modellazione dei sistemi produttivi e logistici”, Prof. Iannone (4CFU).
3. Modulo didattico dottorato: “Energy service marketing per la commercializzazione di energia in mercati deregolamentati”, Dott.essa Cosimato.
4. Convegno: “Solar Asset Management Europe 2016”, Novembre 2016.

Attività didattiche:

1. Ricevimento studenti, assistenza prove d’esame;
2. Correlatore per differenti lavori di tesi:
 - ✓ Analisi di un sistema termo – fotovoltaico a concentrazione accoppiato con un ciclo organico di Rankine (ORC);
 - ✓ Analisi del funzionamento di un CPV/T in differenti condizioni di regime di scambio sul mercato energetico, con caso studio su batterie;
 - ✓ Definizione di un impianto sperimentale CPV/T di tipo line – focus (in corso);
 - ✓ Definizione di un modello integrato del funzionamento di un sistema CPV/T (in corso)

1. C.Renno, F.Petito. Design and modeling of a concentrating photovoltaic thermal (CPV/T) system for a domestic application. *Energy and Buildings*, 2013, 62:392-402.
2. C.Renno, F.Petito. Energy analysis of a concentrating photovoltaic thermal (CPV/T) system. *Energy Science and Technology*, 2013, 6:1-11.
3. C.Renno, F.Petito. Choice model for a modular configuration of a point-focus CPV/T system. *Energy and Buildings*, 2015, 92:55-66.
4. C.Renno, F.Petito, A. Gatto. Artificial neural network models for predicting the solar radiation as input of a concentrating photovoltaic system. *Energy Conversion and Management*, 2015, 106:999-1012.
5. C.Renno, S.Miranda, F.Petito. Inefficiencies analysis of a point-focus CPV/T system, *International Journal of Green Energy*, 2016, 13(9): 918-929.
6. C.Renno, F. Petito, G. De Feo, M. Forni. Life cycle assessment and economic analysis of a low concentrating photovoltaic system. *Environmental Technology*, 2016, 37(19):2473-2482.
7. C.Renno, F.Petito, A. Gatto. ANN model for predicting the direct normal irradiance and the global radiation for a solar application to a residential. *Journal of Cleaner production*, 2016, 135:1298.1316.
8. C. Renno, F. Petito. Experimental and theoretical model of a concentrating photovoltaic and thermal system. *Energy Conversion and Management*, 2016, 126:516-525.
9. C.Renno, F.Petito, M.L. Accarino. Thermal comparison between the line and point-focus configurations of a concentrating photovoltaic system by means of an ANSYS model. 2017. Under Review.
10. C. Renno, F.Petito, G.Landi, H.C. Neitzert. Experimental characterization of a concentrating photovoltaic system varying the light concentration. *Energy Conversion and Management*, 2017. Accepted Paper.



Grazie per l'attenzione

