



Ricerca di Sistema elettrico

Caratterizzazione di una stazione di prova indoor per la sperimentazione di collettori solari termici in condizioni controllate

L. Contuzzi, D. Marano, L. Fallucchi, V. Sabatelli

CARATTERIZZAZIONE DI UNA STAZIONE DI PROVA INDOOR PER LA SPERIMENTAZIONE DI COLLETTORI SOLARI TERMICI IN CONDIZIONI CONTROLLATE

L. Contuzzi, D. Marano, L. Fallucchi, V. Sabatelli (ENEA)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: RAZIONALIZZAZIONE E RISPARMIO NELL'USO DELL'ENERGIA ELETTRICA

Progetto: Utilizzo del calore solare e ambientale per la climatizzazione

Obiettivo: Facility per la caratterizzazione di componenti solari per applicazioni a media ed alta temperatura

Responsabile del Progetto: Nicolandrea Calabrese, ENEA

Indice

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| SOMMARIO..... | 4 |
| 1 INTRODUZIONE | 5 |
| 1.1 OBIETTIVI GENERALI | 5 |
| 1.2 OBIETTIVI RELATIVI ALLA LINEA DI ATTIVITÀ B | 5 |
| 2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI..... | 6 |
| 2.1 INTRODUZIONE | 6 |
| 2.2 DIMENSIONAMENTO DEL “CIELO ARTIFICIALE” E DEFINIZIONE DEI PARAMETRI PROGETTUALI | 6 |
| 2.3 VERIFICA PRELIMINARE DELLE SCELTE PROGETTUALI | 9 |
| 2.4 PROGETTAZIONE ESECUTIVA DEI VARI COMPONENTI | 11 |
| 2.4.1 <i>Progettazione della struttura metallica che costituisce il “Cielo artificiale”</i> | 11 |
| 2.4.2 <i>Progettazione del circuito di raffreddamento</i> | 14 |
| 3 CONCLUSIONI..... | 18 |

Sommario

In continuità con quanto già fatto nella precedente annualità, sono state portate avanti le attività di messa a punto della facility di test per l'esecuzione di prove indoor su collettori solari, implementando un sistema, detto "cielo artificiale", in grado di riprodurre in ambiente chiuso lo scambio radiativo nell'infrarosso che normalmente avviene tra un collettore solare termico e la volta celeste nelle ore diurne, in presenza di radiazione solare. Tale sistema ha principalmente la funzione di schermare la radiazione termica prodotta dalle lampade utilizzate per la generazione artificiale della radiazione solare, la cui temperatura superficiale (intorno a 150°C), essendo sensibilmente maggiore di quella apparente del cielo, produce uno scambio radiativo nell'infrarosso tra collettore solare e lampade molto più elevato di quello che avviene nella realtà, alterando così la resa termica del collettore. Il documento riassume le attività di primo dimensionamento e di successiva progettazione esecutiva, propedeutiche alla realizzazione del dispositivo.

1 Introduzione

L'impiego dell'energia solare nella stagione estiva per il condizionamento dell'aria costituisce una soluzione tecnica molto interessante dal punto di vista energetico, vista la coincidenza della domanda con la disponibilità di energia solare. Attualmente esistono diverse componenti tecnologiche per la realizzazione di sistemi di raffrescamento solare, tuttavia non esiste ancora una soluzione tecnologica integrata di facile applicazione, con il risultato che gli impianti di questo tipo sono ancora per lo più di tipo sperimentale e come tali molto costosi e poco competitivi.

In quest'ambito, il progetto a cui afferisce la presente attività (Progetto C.3: "UTILIZZO DEL CALORE SOLARE E AMBIENTALE PER LA CLIMATIZZAZIONE") ha lo scopo di definire e sviluppare un sistema integrato che sia robusto, competitivo e di riferimento per il "sistema Italia", in grado di assolvere l'intero compito della climatizzazione sia estiva che invernale. Il progetto consentirà inoltre di comprendere in quali condizioni climatiche, con quali tecnologie e con quale politica di supporto possa essere avviata un'azione che porti ad una diffusione di massa di sistemi di climatizzazione basati sull'energia solare o comunque assistiti da fonti rinnovabili.

Lo scopo principale del progetto è dunque quello di favorire una crescita nel ricorso a queste tecnologie avanzate di climatizzazione degli edifici. Tale obiettivo richiede parallelamente lo sviluppo di:

- a. componenti innovativi e competitivi, in grado di fornire adeguate prestazioni a costi contenuti;
- b. una varietà di soluzioni tecnologiche che consentano la scelta ottimale per ogni situazione climatica presente nel territorio nazionale.

1.1 Obiettivi generali

In generale l'attività sulla climatizzazione innovativa si sviluppa su due linee di attività fondamentali, concentrando gli sforzi e le risorse verso la realizzazione di laboratori e lo sviluppo di componenti innovativi:

- la prima linea è quella dello sviluppo e qualificazione di tecnologie per lo sfruttamento della componente rinnovabile per il condizionamento estivo. In particolare vengono studiate pompe di calore ad assorbimento, pompe elettriche elio-assistite, heat-pipe, pompe di calore a CO₂, sistemi desiccant, pompe geotermiche. A questo scopo si realizzeranno impianti prototipali, laboratori di qualificazione e si assicurerà la partecipazione a network di ricerca internazionali (IEA);
- la seconda linea di attività riguarda l'integrazione del sistema di climatizzazione, cioè la costruzione di sistemi integrati che possano essere robusti e competitivi assolvendo l'intero compito della climatizzazione sia estiva che invernale. In questo contesto si svilupperanno: sistemi integrati pilota e dimostratori dove tali sistemi sono integrati nell'edificio; sistemi di controllo ed ottimizzazione in linea della integrazione tra sistema di climatizzazione ed edificio e telediagnostica con sistemi di monitoraggio remoto.

Nell'ambito delle attività finalizzate allo sviluppo e qualificazione di tecnologie per lo sfruttamento delle energie rinnovabili per il condizionamento estivo, rientra anche la **linea di attività B** dal titolo "*Facility per la caratterizzazione di componenti solari per applicazioni a media ed alta temperatura*".

1.2 Obiettivi relativi alla linea di attività B

Le attività afferenti alla linea di attività B hanno previsto sia l'analisi sperimentale e la qualificazione di componenti solari a concentrazione ottimizzati per applicazioni a media temperatura sia la messa a punto della facility di test per prove indoor su collettori solari.

In quest'ambito le attività hanno riguardato:

- B1. Attività di **ricerca, sperimentazione e qualificazione di componenti solari a concentrazione** ottimizzati per applicazioni distribuite di piccola taglia a media temperatura (quali la climatizzazione degli ambienti, la produzione di calore di processo, la produzione di freddo) in particolare nei settori industriale, commerciale e terziario. In quest'ambito sono state ulteriormente approfondite le problematiche di carattere ottico e termo-fluidodinamico allo scopo di ottimizzare i diversi componenti che sono stati analizzati e/o sviluppati nelle fasi progettuali precedenti.
- B2. Elaborazione di **studi per valutare le potenzialità di applicazione di sistemi co- e tri-generativi di piccola taglia** che utilizzano mini e micro CSP abbinati a cicli a fluido organico (ORC), oppure di sistemi ibridi quali quelli del tipo Dish/Stirling o quelli basati su tecnologie termo-fotovoltaiche a concentrazione (CTPV).
- B3. In continuità con le attività già avviate nella precedente annualità, è stata **messa a punto la facility di test per prove indoor** su collettori solari, implementando un sistema ("cielo artificiale") in grado di riprodurre lo scambio radiativo nell'infrarosso che avviene tra un collettore e la volta celeste nelle ore di insolazione.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Introduzione

In continuità con le attività già avviate nella precedente annualità, sono state portate avanti le attività di messa a punto della facility di test per l'esecuzione di prove indoor su collettori solari, implementando un sistema, detto "cielo artificiale", in grado di riprodurre in ambiente chiuso lo scambio radiativo nell'infrarosso che avviene normalmente tra un collettore solare termico e la volta celeste nelle ore diurne, in presenza di radiazione solare.

Tale sistema ha principalmente la funzione di schermare la radiazione termica prodotta dalle lampade utilizzate per la generazione artificiale della radiazione solare, la cui temperatura superficiale (intorno a 150°C), essendo sensibilmente maggiore di quella apparente del cielo (che si mantiene entro un range compreso tra 5 e 30°C), produce uno scambio radiativo nell'infrarosso tra collettore solare e lampade molto più elevato di quello che avviene nella realtà tra un collettore e il cielo naturale, alterando così la resa termica del collettore.

Al tal fine è stato progettato uno specifico sistema di schermaggio della radiazione termica prodotta dalle lampade, costituito essenzialmente da un telaio metallico provvisto di due superfici vetrate, tra le quali viene fatta fluire, mediante degli opportuni convogliatori, dell'aria fredda. In tale maniera è possibile asportare il calore in eccesso derivante flusso radiativo nell'infrarosso proveniente dalle lampade e quindi riprodurre, in condizioni indoor, uno scambio radiativo del tutto simile a quello che si realizzerebbe in una prova convenzionale condotta all'aperto.

2.2 Dimensionamento del "cielo artificiale" e definizione dei parametri progettuali

In prima analisi è stato condotto uno studio preliminare atto a determinare i parametri utili al corretto dimensionamento del cielo artificiale e dei componenti ad esso associati.

Nello specifico sono stati individuati i parametri geometrici caratteristici del cielo artificiale, sono state valutate le potenze termiche scambiate in corrispondenza di diverse condizioni di temperatura ed infine sono state determinate le portate d'aria da inviare tra le superfici vetrate del cielo artificiale, necessarie ad asportare il calore in eccesso e quindi a riprodurre uno scambio radiativo del tutto simile a quello di una prova convenzionale condotta all'aperto.

Lo scambio radiativo tra il sistema di lampade ed il cielo artificiale è stato assimilato a quello tra due superfici piane, parallele ed opache in condizioni di equilibrio termico permanente. Trascurando gli effetti di bordo, lo scambio radiativo può essere espresso dall'equazione di Stefan-Boltzmann:

$$\Phi = A \cdot \sigma \cdot \varepsilon_{12} \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad [\text{W}]$$

dove :

- T_1 la temperatura superficiale delle lampade, espressa in gradi kelvin [K]
- T_2 la temperatura della superficie vetrata, espressa in gradi kelvin [K]
- A l'area delle superfici tra le quali avviene lo scambio radiativo espressa in $[\text{m}^2]$
- σ costante di Stefan-Boltzmann pari a $5,76 \cdot 10^{-8} \text{ [W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)]$

$$\varepsilon_{12} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

coefficiente di emissione mutua, dove ε_1 ed ε_2 sono le emissività delle superfici

Il valore di temperatura T_1 è stato determinato sperimentalmente misurando direttamente, in condizioni stazionarie, la temperatura della superficie esterna di una lampada agli alogenuri metallici di potenza pari ad 1 kW, utilizzata per la generazione artificiale della radiazione solare (proiettore THORN QQ1000 1kW HIR-CSI G38). Superata la fase transitoria, è stata effettuata la misura a mezzo di una termocoppia di tipo K che ha mostrato come la temperatura del vetro esterno della lampada sia prossima a $T_1 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$.

L'insieme dei proiettori che generano il flusso luminoso richiesto, sono collocati su di una struttura di supporto comprendente una griglia metallica avente dimensioni in pianta pari 2,95 x 3,06 m.

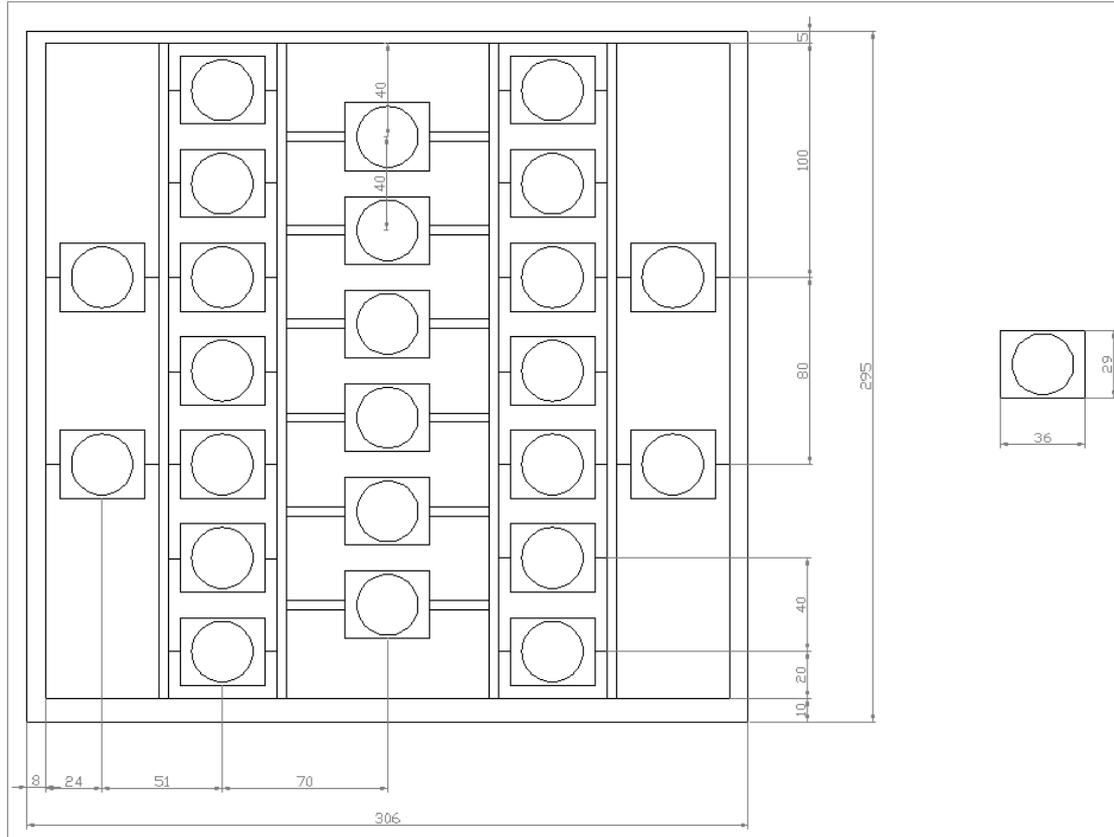


Figura 1 - Schema quotato relativo alla disposizione delle lampade

Alla luce di quanto esposto si è deciso di realizzare una struttura, atta ad ospitare le superfici vetrate necessarie alla realizzazione del cielo artificiale, di estensione pari 2 x 3 m in modo da essere ricompresa all'interno delle dimensioni della griglia metallica di alloggiamento delle lampade.

È stata successivamente valutata la potenza termica scambiata tra lampade e cielo artificiale al variare della temperatura T_2 in un range compreso tra i 15 ed i 50 °C, salvo verificare in un secondo momento, con analisi specifica, che la T_2 ricada effettivamente in tale intervallo di temperatura. Il grafico seguente mostra come la variazione di potenza termica scambiata in tale range, sia limitata e compresa tra i 5,7 kW, ottenuti per i più elevati valori di temperatura, ed i 6,7 kW ottenuti in corrispondenza dei valori più bassi di temperatura.

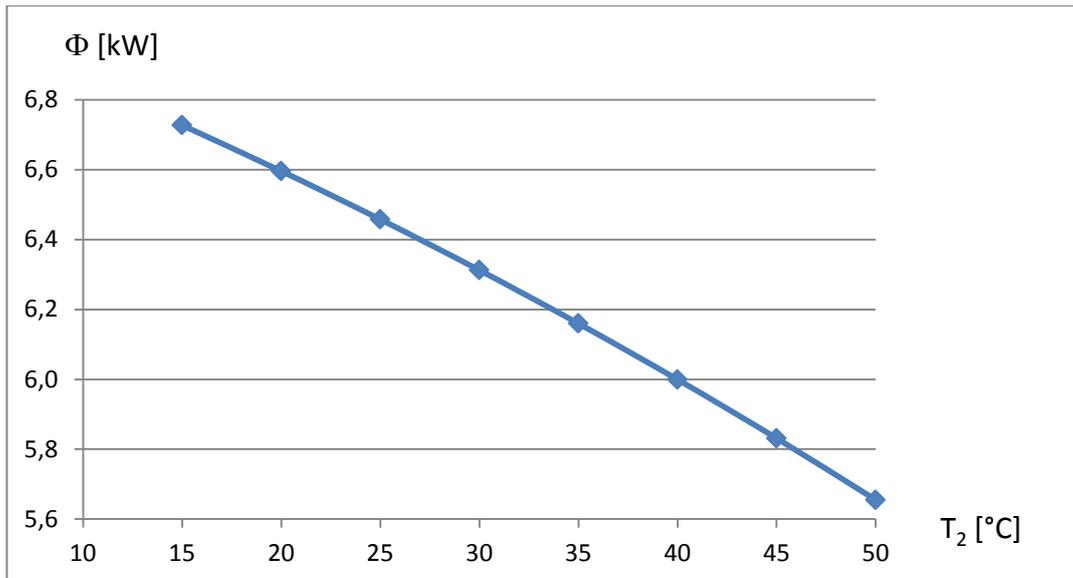


Figura 2 - Potenza termica scambiata tra lampade e cielo artificiale al variare della temperatura T_2

Il chiller utilizzato per il raffreddamento dell'aria da inviare al cielo artificiale, dovrà essere in grado di fornire un valore di potenza termica compreso nell'intervallo indicato.

Il salto termico dell'aria, tra ingresso ed uscita del cielo artificiale, dovrà essere limitato in maniera tale da garantire quanto più possibile una distribuzione di temperature costante sulla superficie vetrata che si affaccia sul collettore solare e compresa nel range 5 ÷ 30°C. Quest'ultimo intervallo è corrispondente ai valori di temperatura apparente del cielo e qualora non fosse rispettato, contribuirebbe ad alterare la resa termica del collettore inficiando i risultati delle prove.

È stata valutata la portata massica G dell'aria da inviare al cielo artificiale al variare della potenza termica scambiata, tramite la seguente relazione:

$$G = \frac{\Phi}{C_p \cdot \Delta T} \quad [\text{kg/sec}]$$

avendo posto:

- Φ potenza termica da asportare espressa in [kW]
- C_p calore specifico a pressione costante dell'aria pari a 1,005 [kJ/(kg · °C)]
- ΔT salto termico tra aria in ingresso ed uscita del cielo artificiale pari a 5°C

Il seguente grafico mostra una variazione limitata di portata nell'intervallo di potenze considerato, tra 1,13 ed 1,34 kg/sec.

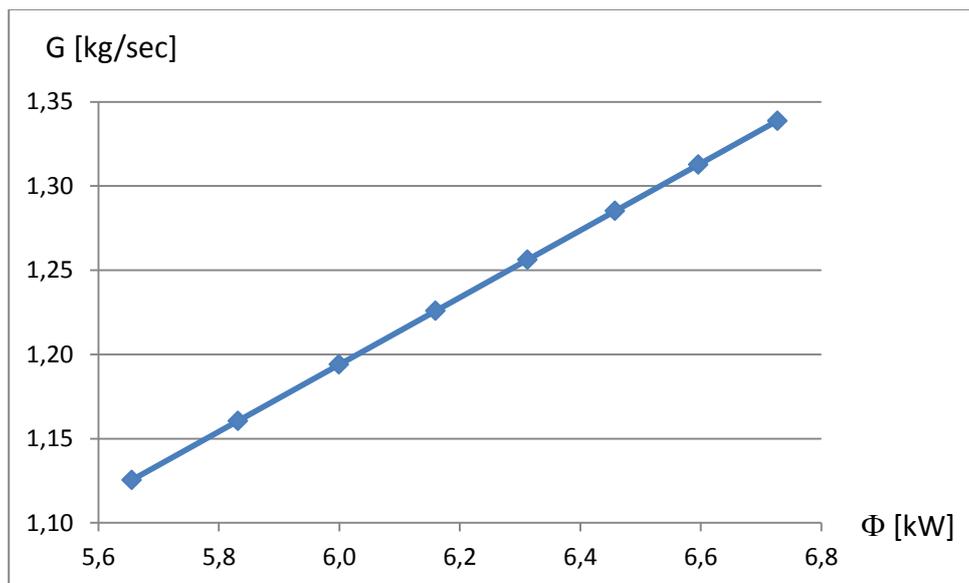


Figura 3 - Portata di aria di raffreddamento in funzione delle potenza termica scambiata

Infine, assumendo una distanza tra le superfici vetrate del cielo artificiale pari a 9 cm si è valutata anche la velocità dell'aria pari a circa 5 m/sec, in linea con i valori caratteristici consigliati e tale da limitare il contributo delle perdite di carico e fenomeni di rumorosità eccessiva.

Riassumendo, la progettazione preliminare ha portato a determinare le dimensioni di massima del cielo artificiale ed a dimensionare il chiller utilizzato per il raffreddamento dell'aria.

I risultati ottenuti sono stati riassunti nella tabella sottostante:

Tabella 1 – Principali parametri di progetto

| | | |
|----------------------------|--------------------------------------------|------------------|
| Dimensioni della struttura | - larghezza netta della superficie vetrata | 2 m |
| | - altezza netta della superficie vetrata | 3 m |
| | - distanza tra le superfici vetrate | 0,09 m |
| Chiller | - potenza termica | 5,7÷6,7 kW |
| | - portata d'aria trattata | 1,13÷1,34 kg/sec |
| Vetro | - tipologia | Extrachiaro |
| | - spessore | 4 mm |

A questa analisi preliminare ne segue è una più dettagliata nella quale viene considerato quanto attualmente trascurato, primo fra tutti l'irraggiamento non uniforme sulla superficie vetrata del cielo artificiale.

Pertanto si è simulata la termo-fluidodinamica della struttura con il software agli elementi finiti *Comsol-Multiphysics*, ottenendo risultati in ottimo accordo con i dati progettuali preliminari.

2.3 Verifica preliminare delle scelte progettuali

Mediante un'analisi agli elementi finiti, sono state condotte delle simulazioni dello scambio termico tra lampade e struttura del cielo artificiale permettendo di verificare la bontà delle scelte progettuali adottate. Di seguito sono riportate le figure del campo di velocità dell'aria su tutta la struttura e la figura del campo termico nella parte superiore per mettere in evidenza le lampade

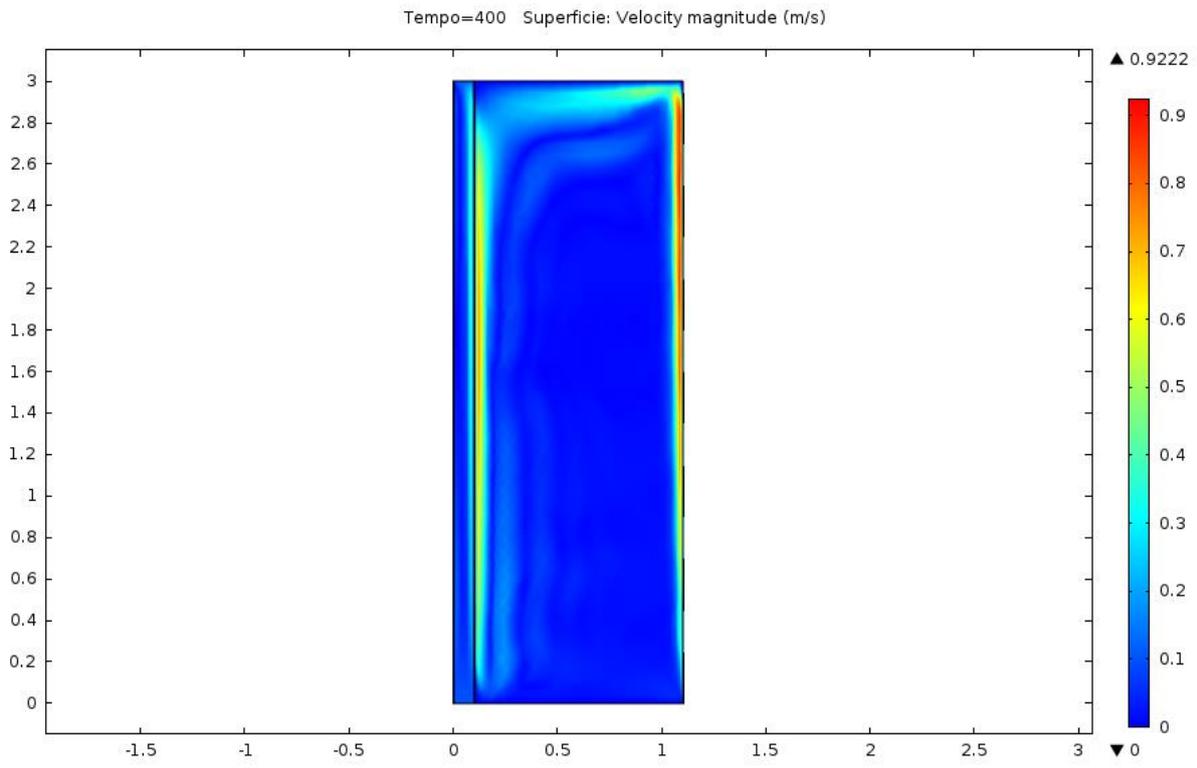


Figura 4 – Campo di velocità nel cielo artificiale.

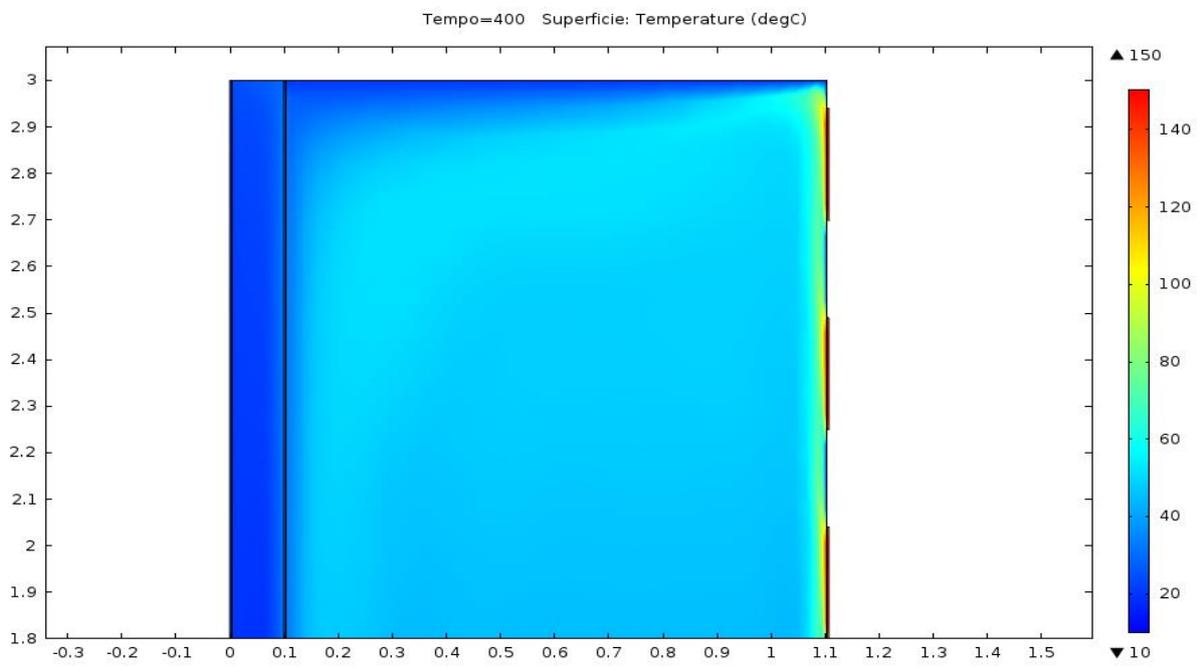


Figura 5 – Dettaglio del campo di temperature nel cielo artificiale

2.4 Progettazione esecutiva dei vari componenti

Sulla base di quanto emerso dalle valutazioni preliminari effettuate nelle fasi precedenti, è stata eseguita la progettazione esecutiva, sulla base della quale sono state stilate le specifiche tecniche necessarie per l'acquisizione di quanto necessario alla realizzazione del dispositivo.

2.4.1 Progettazione della struttura metallica che costituisce il "Cielo artificiale"

Con riferimento alla figura seguente, la struttura che costituisce il "cielo artificiale" è composta essenzialmente da un telaio costituito da profilati estrusi in alluminio delle dimensioni in pianta pari a 2090 x 3120 mm.

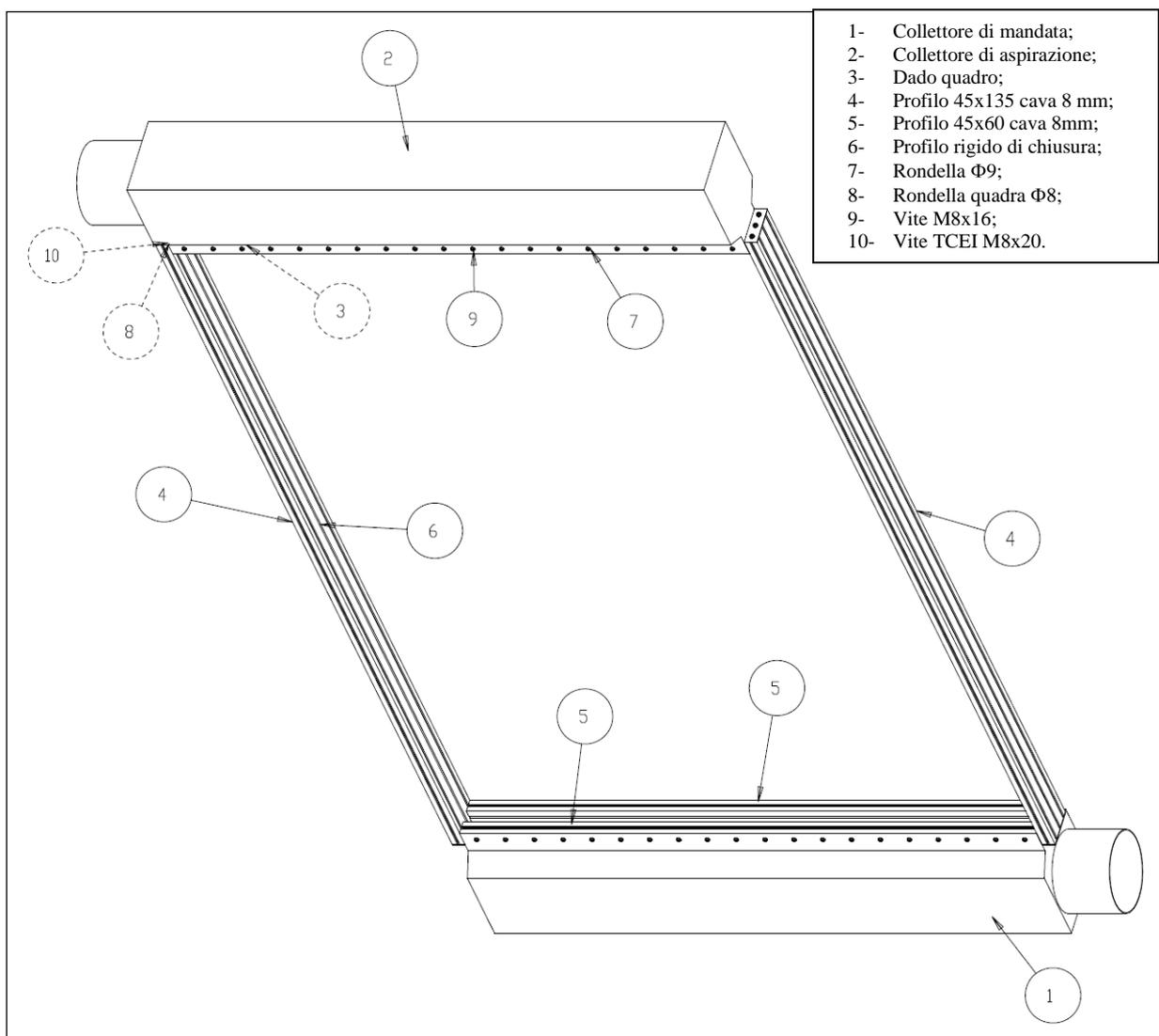


Figura 6 - Vista assometrica del cielo artificiale

Per i due montanti sono stati utilizzati profilati aventi una sezione di 45x135 mm con cava da 8 mm, mentre per i quattro traversi sono stati utilizzati profilati 45x60 mm con cava da 8mm. In figura sono riportate le immagini dei profili estrusi in alluminio utilizzati per la realizzazione dei montanti e dei traversi.

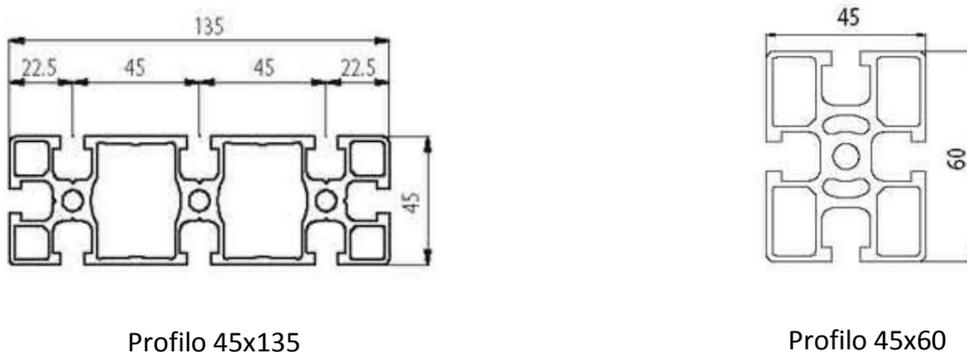


Figura 7 – Profilo dei montanti e delle traverse in alluminio estruso utilizzati per il telaio del cielo artificiale

Relativamente alla schermatura della radiazione termica indotta dal flusso radiativo prodotto dalle lampade solari, tra i due profilati di alluminio estruso sono stati inseriti due vetri, atti a formare una camera d’aria all’interno della quale fluirà aria opportunamente climatizzata mediante un impianto di trattamento aria dedicato, avente lo scopo di garantire la massima asportazione di calore all’interno della camera d’aria stessa.

Per garantire che l’intercapedine sia attraversata su tutta la sua superficie dalla stessa portata d’aria, è stato progettato un opportuno sistema di convogliatori d’aria. Nello specifico il sistema è costituito da due collettori uno inferiore di mandata e uno superiore di aspirazione, installati sulla traversa superiore e su quella inferiore del telaio. Tali collettori sono stati realizzati in lamierino metallico in acciaio Inox dello spessore di 1 mm. Lamierino da 3 mm verrà adoperato esclusivamente in corrispondenza dei tratti di tubazione DN300 posti sulla mandata e sull’aspirazione dell’aria di raffreddamento. Il collettore di mandata al suo interno è dotato di setti separatori in grado di fornire una perdita di carico tale da garantire che la distribuzione del flusso di aria sia costante su tutta la sezione della camera d’aria.

Le figure seguenti riportano parte degli esecutivi relativi ai collettori di mandata e di aspirazione.

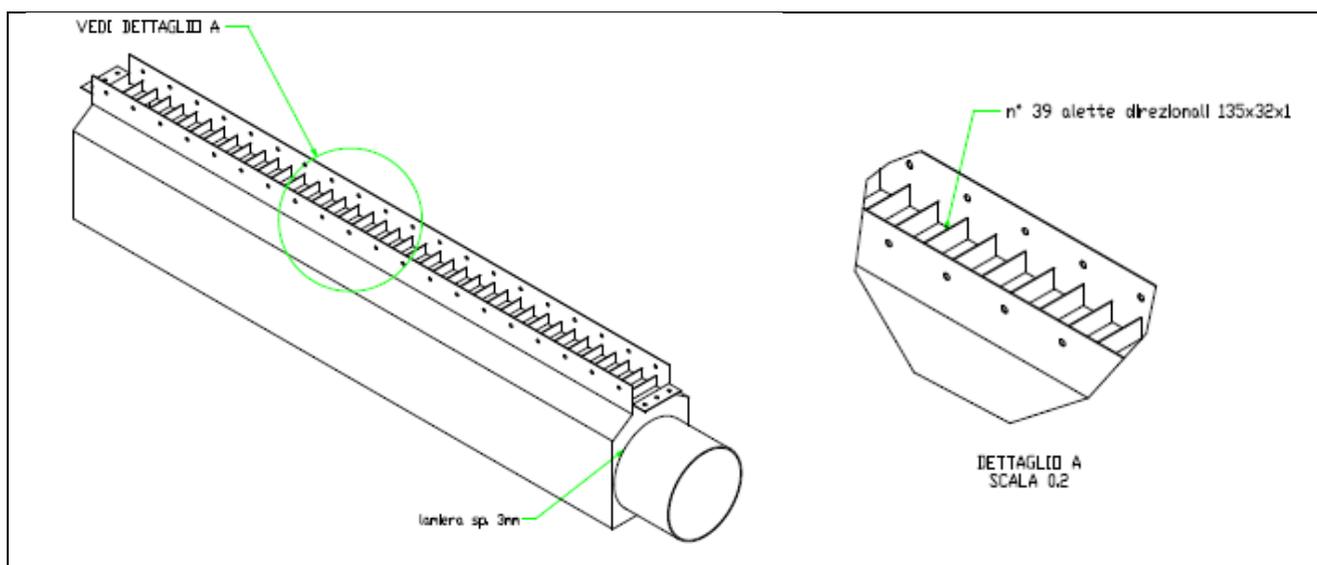


Figura 8 – Collettore di mandata e dettaglio dei setti separatori.

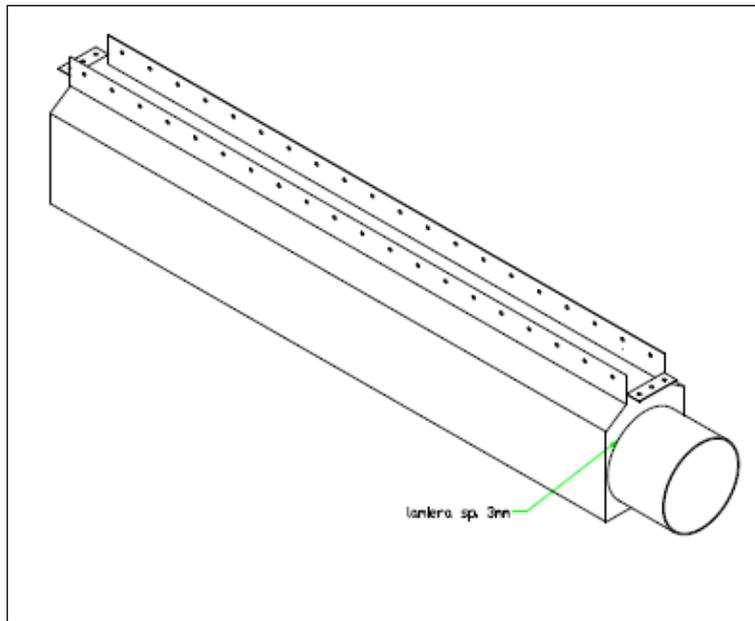


Figura 9 – Collettore di aspirazione

La struttura metallica del cielo artificiale verrà ancorata a una struttura di supporto provvista di 4 ruote girevoli con freno aventi ciascuna una portata non inferiore a 120 kg. La struttura di supporto è stata realizzata utilizzando profilati 45x60 mm e 45x90 mm, tutti con cava da 8 mm ed assemblati a mezzo di angolari di fissaggio in alluminio. In figura è riportato il rendering della struttura portante del cielo artificiale .



Figura 10 – Vista assometrica del “cielo artificiale” nella sua configurazione completa

2.4.2 Progettazione del circuito di raffreddamento

Contestualmente alla progettazione esecutiva della struttura metallica relativa al cielo artificiale, è stata eseguita la progettazione esecutiva dell'impianto adibito alla climatizzazione della camera d'aria prevista all'interno dei due vetri che costituiscono il cielo artificiale. La progettazione dell'impianto di raffreddamento a circuito chiuso è basato su una unità di trattamento aria (UTA) servita da un refrigeratore d'acqua.

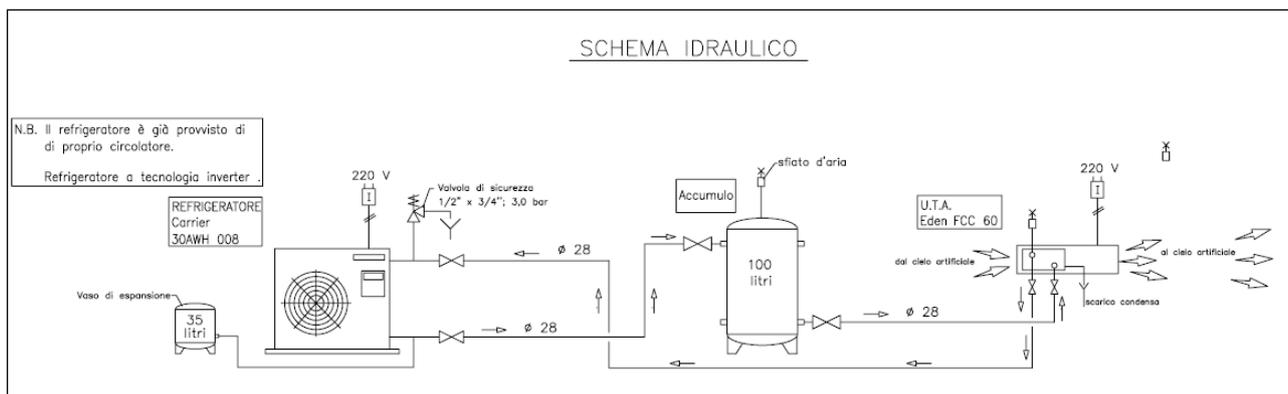


Figura 11 – Schema idraulico del circuito di raffreddamento del “cielo artificiale”

La progettazione ha riguardato il dimensionamento della sezione idraulica e il dimensionamento della sezione aeraulica.

SEZIONE IDRAULICA

Relativamente alla sezione idraulica l'impianto per il trattamento dell'aria a servizio del cielo artificiale è ascrivibile ad una variante del classico impianto di climatizzazione estiva a servizio di involucri edilizi con tecnologia idronica.

I componenti principali che costituiscono l'impianto idronico sono:

- *Refrigeratore* con potenza frigorifera non inferiore a 5,5 kW. È essenzialmente una pompa di calore a tecnologia inverter, con scambiatore aria-acqua, dotata inoltre di un circolatore, nonché di compressori DC inverter twin-rotary, ventilatori a bassa rumorosità e comando con microprocessore. Il fluido refrigerante utilizzato sul circuito primario è R-410;
- *Accumulo della capacità C=100 litri* che svolge la funzione di volano termico;
- *Unità di trattamento aria (U.T.A.)* del tipo canalizzabile, dotata di filtro su lato aspirazione e di batteria di scambio a due tubi con alette in alluminio, in grado di trattare la portata d'aria (3000 mc/h) necessaria ad asportare la potenza termica che insiste sul cielo artificiale pari a circa (P=5,0 kW);

In figura è riportata un immagine del refrigeratore a pompa di calore con tecnologia inverter della *Carrier* impiegato nella realizzazione dell'impianto.



Figura 12 – Refrigeratore a pompa di calore con tecnologia inverter della Carrier - mod. 30AWH008HB

Il collegamento di tutto l'impianto idraulico è stato eseguito mediante tubazione in rame coibentato con cospelle di poliuretano espanso a celle chiuse, aventi diametro esterno Φ 28. Per il dettaglio di tutti gli altri dispositivi e apparecchiature di sicurezza si rimanda allo schema idraulico riportato in figura 11.

Il dimensionamento dell'impianto ed i relativi calcoli per il progetto idraulico si sono basati sulle due seguenti informazioni desunte dalle valutazioni preliminari descritte nei paragrafi precedenti:

- Potenza termica generata dal flusso radiativo delle lampade sulla superficie del cielo artificiale pari a circa $P_t = 5.0$ kW;
- Portata di aria che deve fluire attraverso l'intercapedine delle due lastre di vetro poste nella struttura del telaio del cielo artificiale, pari a circa $G = 3000$ mc/h.

Di seguito si riportano i risultati di calcolo propedeutici alla scelta delle macchine idrauliche descritte in precedenza (*pompa di calore/refrigeratore, tubazioni in rame, accumulo ed U.T.A.*):

- Carico entalpico richiesto: $\Delta J = 1,43$ frig/mc
- Carico entalpico fornito: $\Delta J \geq 1,50$ frig/mc ;
- Portata d'acqua circolante nel circuito idraulico: $G = 950$ l/h ;
- Differenza max di temperatura tra mandata e ritorno: $\Delta T \leq 5^\circ\text{C}$;
- Perdita di carico unitaria ammessa: $\Delta Y = 20$ mm c.a./m
- Perdita di carico totale del circuito idraulico: $\Delta H \leq 3,5$ m c.a. ;
- Prevalenza max disponibile: $H = 3,9$ m c.a. ;
- Velocità del fluido termovettore: $v = 0,55$ m/s ;
- Potenza frigorifera max erogata: $Q_{FR} = 5,5$ kW ;

SEZIONE AERAUICA

Il dimensionamento ed il calcolo di progetto dell'impianto aeraulico invece è stato condotto partendo dal valore di portata di aria G pari a 3000 mc/h. Essa identifica la portata d'aria necessaria a garantire l'asportazione completa della potenza termica incidente sul cielo artificiale $P_t = 5,0$ kW .

I componenti principali che costituiscono l'impianto aeraulico sono:

- *Unità di trattamento aria (U.T.A.)* del tipo canalizzabile, dotata di filtro su lato aspirazione e di batteria di scambio a due tubi con alette in alluminio, in grado di trattare la portata d'aria richiesta (3000 mc/h);
- *Condotti circolari flessibili metallici*, aventi diametro ϕ 300, e completi di plenum, cuffie, raccordi e pezzi speciali necessari al collegamento con le macchine a cui fornire l'aria trattata (cielo artificiale) ed a quella che ne esegue il trattamento (UTA).



Figura 13 – Unità di trattamento Aria utilizzata EDEN FCC 60

Nello specifico l’impianto aeraulico è costituito da condotti circolari flessibili metallici, aventi diametro ϕ 300 che collegano, attraverso plenum, curve, raccordi e pezzi speciali l’U.T.A, sia in mandata che in ripresa, al cielo artificiale. Il collegamento è fisicamente realizzato con il cielo artificiale mediante i collettori di mandata e di aspirazione installati sulla struttura metallica.

Nelle figure successive sono riportati lo schema aeraulico dell’impianto di climatizzazione ed i dettagli del collegamento tra l’UTA ed il cielo artificiale.

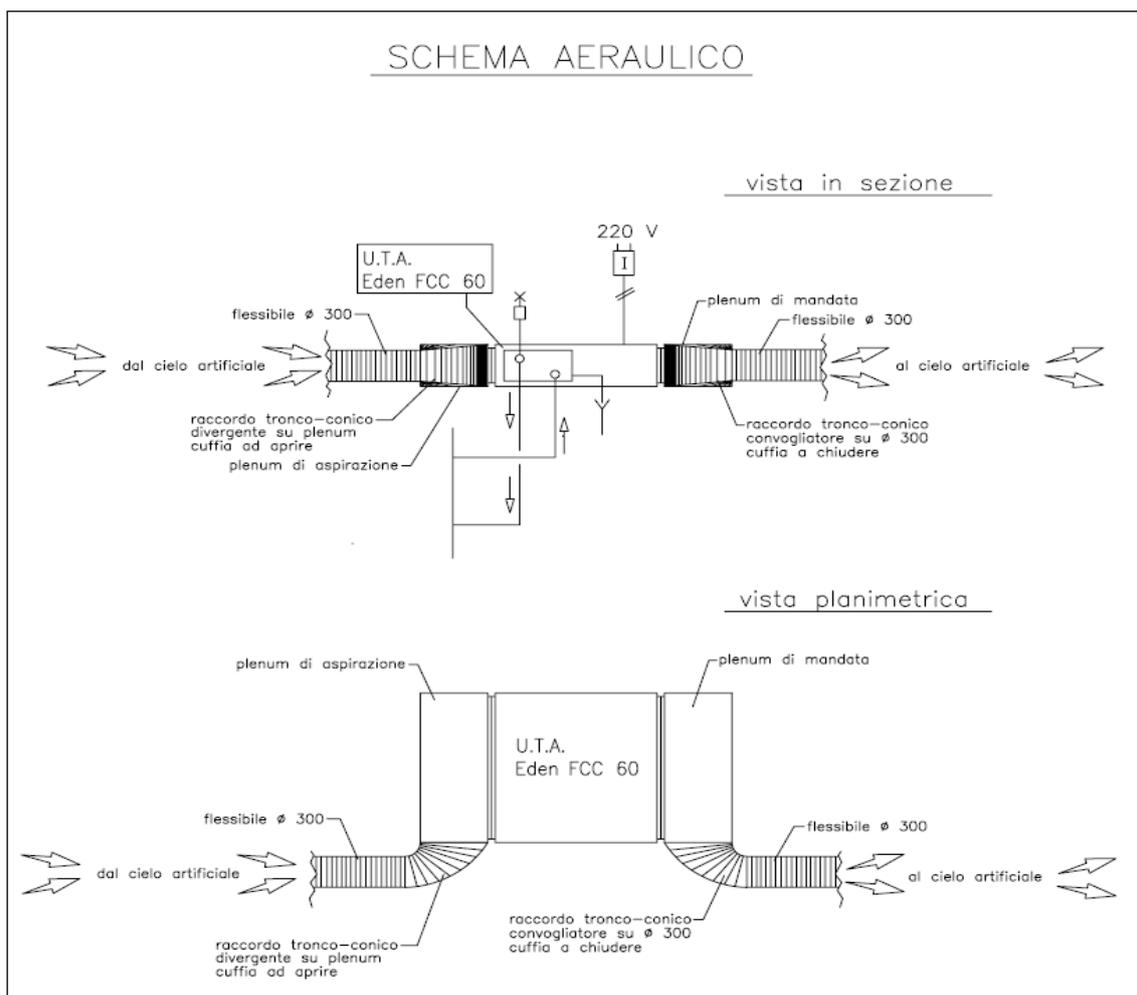


Figura 14 – Schema impianto aeraulico

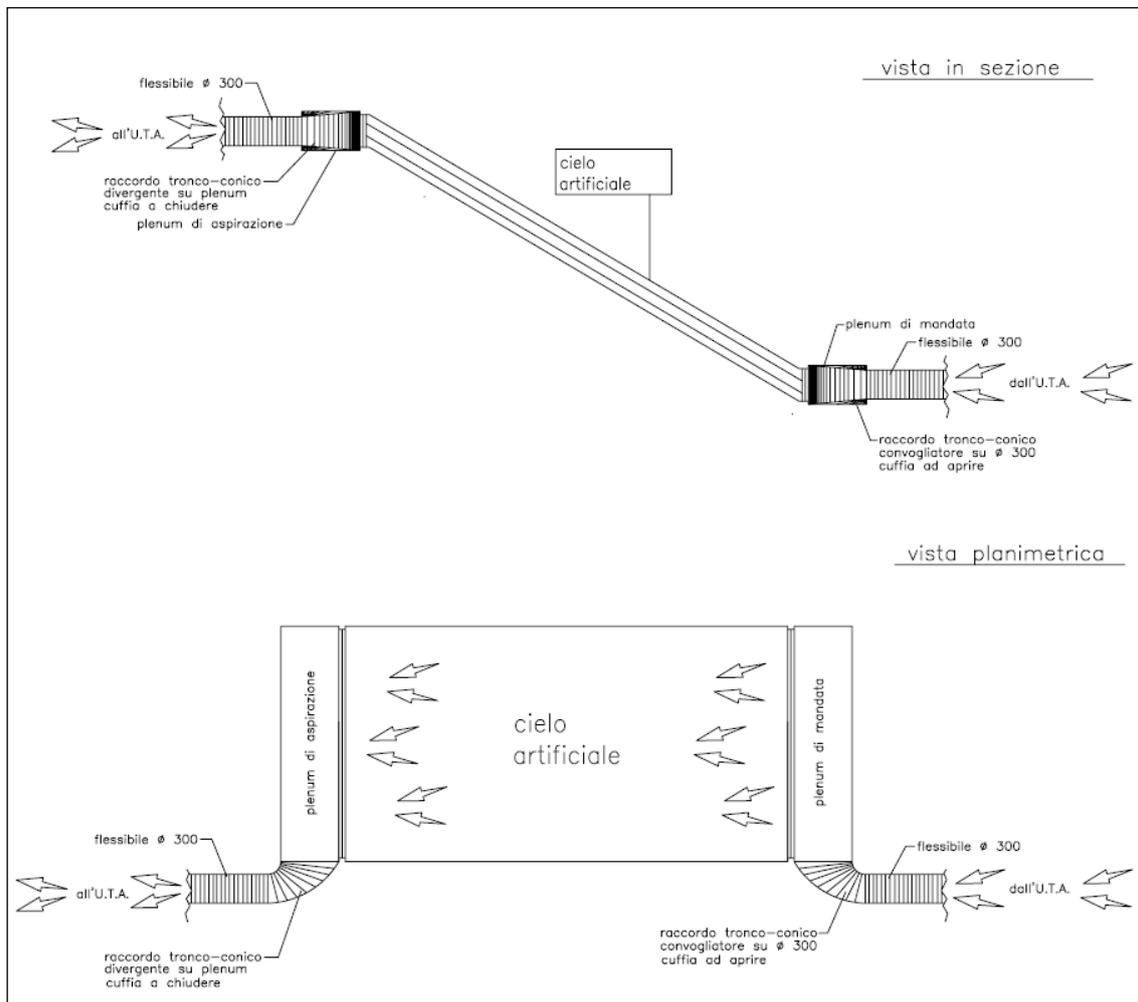


Figura 15 – Vista in pianta ed in sezione del collegamento aeraulico relativo al cielo artificiale

Di seguito si riportano i risultati di calcolo propedeutici alla scelta dell'U.T.A, al dimensionamento della sezione dei condotti circolari dei flessibili e dei plenum :

- Perdita di carico unitaria ammessa (ϕ 300): $\Delta Y = 0,80$ mm c.a./m
- Perdita di carico totale del circuito aeraulico: $\Delta H \geq 13,0$ mm c.a. ;
- Prevalenza max disponibile UTA: $H = 15,0$ mm c.a. ;
- Velocità dell'aria: $v = 12,0$ m/s ;
- Potenza frigorifera max erogata: $Q_{FR} = 5,5$ kW ;
- Portata d'aria min da trattare in esercizio (impostazione UTA): $P_{min} = 3200$ mc/h ;
- Portata d'aria max da trattare in esercizio (impostazione UTA): $P_{max} = 4600$ mc/h ;
- Portata d'aria trattata in esercizio dall'UTA: $P_{min} = 2000$ mc/h ;
- Differenza max di temperatura tra mandata ed aspirazione: $\Delta T \geq 5^{\circ}\text{C}$;

L'impianto è stato predisposto per essere controllato e comandato da remoto, pertanto sia il refrigeratore che l'UTA sono dotati di quadro di comando installato a bordo macchina e remotizzabile.

3 Conclusioni

Con riferimento all'obiettivo B3, il presente report riassume le attività di primo dimensionamento e di successiva progettazione esecutiva, necessarie alla realizzazione del dispositivo detto "cielo artificiale" da utilizzarsi come sistema di schermatura della radiazione termica generata dalle lampade utilizzate per simulare la radiazione solare in ambiente chiuso. In particolare le attività si sono articolate come segue:

1. *Progettazione preliminare del "cielo artificiale" con l'obiettivo di dimensionare sia la struttura metallica in termini di larghezza dell'intercapedine entro cui far fluire l'aria di raffreddamento, sia di potenza frigorifera necessaria per mantenere l'aria alla temperatura desiderata.* Nello specifico sono stati individuati i parametri geometrici caratteristici del "cielo artificiale", sono state valutate le potenze termiche scambiate in corrispondenza di diverse condizioni di temperatura ed infine sono state determinate le portate d'aria da inviare tra le superfici vetrate del cielo artificiale, necessarie ad asportare il calore in eccesso. Lo scambio radiativo tra il sistema di lampade ed il cielo artificiale è stato assimilato a quello tra due superfici piane, parallele ed opache in condizioni di equilibrio termico permanente.
2. *Verifica preliminare delle scelte progettuali operate.* Mediante un'analisi agli elementi finiti, sono state condotte delle simulazioni dello scambio termico tra lampade e struttura del cielo artificiale permettendo di verificare la bontà delle scelte progettuali adottate. La figura seguente mostra un esempio di analisi effettuata.
3. *Progettazione esecutiva dei vari componenti e progettazione del circuito di raffreddamento,* costituito da una unità di trattamento aria (UTA) munita di un refrigeratore ad acqua della potenza nominale di circa 5 kW. Nello specifico sono stati elaborati i progetti esecutivi dell'intera struttura che costituisce il "cielo artificiale" e quelli relativi alle sezioni idrauliche ed aerauliche a servizio del simulatore solare.