

ALMA MATER STUDIORUM

UNIVERSITA' DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Sede di Forlì

Corso di Laurea in
INGEGNERIA MECCANICA

Classe 36/S

ELABORATO FINALE DI LAUREA /

TESI DI LAUREA SPECIALISTICA

In Termofluidodinamica Avanzata LS

STUDIO IN REGIME DINAMICO DI UN
IMPIANTO DI VENTILAZIONE RELATIVO
A UNA PALESTRA

CANDIDATO
Luca Pirazzini

RELATORE
Marco Lorenzini

CORRELATORE
Paolo Valdiserri

Anno Accademico 2014/2015
Sessione III

INDICE

INDICE.....	i
1) INTRODUZIONE.....	1
2) CENNI SULLA VENTILAZIONE NEGLI EDIFICI.....	3
3) PROGRAMMI UTILIZZATI PER LO SVILUPPO DELLA TESI.....	5
3.1 COS'E' SKETCHUP.....	5
3.2 COS'E' TRNSYS17.....	6
4) DESCRIZIONE EDIFICIO.....	7
4.1 DESCRIZIONE IMPIANTO DI VENTILAZIONE E IDRAULICO.....	11
4.1.1 IMPIANTO IDRAULICO.....	11
4.1.2 IMPIANTO DI VENTILAZIONE.....	13
4.1.3 IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE.....	14
5) REALIZZAZIONE IMPIANTI DI VENTILAZIONE.....	15
5.1 RIPRODUZIONE GRAFICA DELL'EDIFICIO TRAMITE IL SOFTWARE SKETCHUP.....	16
5.2 MODELLAZIONE DELL'EDIFICIO TRAMITE IL SOFTWARE TRNSYS17.....	18
5.2.1 WALL TYPE MANAGER.....	21
5.2.3 VENTILATION TYPE MANAGER.....	24
5.2.4 HEATING TYPE MANAGER.....	25
5.2.5 GAIN TYPE MANAGER.....	26
5.2.6 SCHEDULE TYPE MANAGER.....	27
5.3 REALIZZAZIONE DEL SISTEMA DI VENTILAZIONE.....	30
6) SIMULAZIONE E ANALISI DEI DATI DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE PALESTRA.....	45
6.1 ANALISI DEI DATI DI SIMULAZIONE NEL MESE DI GENNAIO.....	49
6.2 ANALISI DEI DATI DI SIMULAZIONE NEL MESE DI AGOSTO.....	60
6.3 CONSUMI ENERGETICI NEI PERIODI DI CONDIZIONAMENTO INVERNALE ED ESTIVO.....	70
7) CONCLUSIONI.....	75
8) BIBLIOGRAFIA.....	77

1) INTRODUZIONE

La tesi in esame nasce dall'esigenza di risolvere una problematica relativa alle condizioni dell'aria all'interno di una palestra denominata LotoFit con sede a Forlì in via Gorzia n° 141. In particolare il problema posto è relativo al periodo invernale in quanto in tale periodo negli orari pomeridiani/serali si ha il massimo numero di persone all'interno della palestra con conseguente aumento della temperatura e dell'umidità relativa oltre le condizioni ottimali considerate di 22°C per la temperatura e del 60% per l'umidità relativa.

E' stato quindi realizzato, in funzione della planimetria, utilizzando un software di riproduzione grafica (Sketchup) l'edificio reale e successivamente tramite un software di simulazione dell'edificio (Trnsys17) è stato realizzato un sistema di ventilazione con lo scopo di dimensionarlo per risolvere la problematica posta dal titolare della palestra.

Successivamente, sono state eseguite diverse simulazioni dell'impianto di ventilazione al variare dei parametri dei componenti e della portata d'aria dell'impianto stesso, al fine di garantire le condizioni ottimali dell'aria durante periodo invernale.

In particolar modo ci si è concentrati nel dimensionare l'impianto andando a considerare il periodo più freddo, individuando la temperatura esterna minima raggiunta in corrispondenza con il funzionamento dell'impianto al fine di garantire una temperatura e un'umidità relativa ottimale all'interno della palestra.

Successivamente è stato considerato anche il periodo estivo, in particolare il periodo più caldo relativo al mese di agosto al fine di verificare se la portata d'aria per la quale si è dimensionato il condizionamento invernale sia adeguata anche per il condizionamento estivo.

Infine è stata fatto un resoconto relativo ai consumi dei vari componenti dell'impianto in funzione del periodo di condizionamento con annesse valutazioni in merito al risparmio energetico.

2) CENNI SULLA VENTILAZIONE NEGLI EDIFICI

La ventilazione degli edifici è un aspetto importante sia per il benessere delle persone che si trovano all'interno di locali chiusi, sia per il mantenimento della qualità d'aria. Lo sforzo innovativo nella ricerca teorica e applicativa ha creato dei modelli matematici per la valutazione delle caratteristiche di qualità dell'aria negli ambienti confinati, dei movimenti dell'aria negli edifici e dei volumi di ricambio. Questi modelli sono utili sia in fase di progettazione che in fase di verifica e di collaudo di un locale chiuso.

Il problema della qualità dell'aria resta senza dubbio una delle priorità assolute per assicurare il benessere. Questo può essere migliorato con intervento diretto sulla sorgente d'inquinamento o con l'aiuto della ventilazione, estesa a tutto l'edificio o localizzata, con estrazioni meccaniche. L'aria proveniente dall'esterno è introdotta nei locali con lo scopo di diluire quella interna, inquinata, e permetterne l'estrazione. Questo movimento può essere indotto tanto da mezzi naturali quanto da mezzi meccanici.

Secondo la norma UNI-CTI 10339, con il termine "qualità dell'aria" deve intendersi la "caratteristica dell'aria trattata (in un impianto aeraulico) che risponde ai requisiti di purezza" specificati come segue "essa non contiene contaminanti noti in concentrazione tali da arrecare danno alla salute e causare condizioni di malessere per gli occupanti. I contaminanti, contenuti sia nell'aria di rinnovo sia in quella ricircolata sono gas, vapori, microrganismi, fumo ed altre sostanze particolari". Tra gli obiettivi di qualunque impianto di ventilazione, dunque, deve essere considerata la diluizione di tutti gli inquinanti noti e più in generale, il mantenimento di condizioni ottimali per il benessere degli occupanti.

Le caratteristiche dell'aria esterna immessa nell'ambiente sono fondamentali per garantire la buona qualità dell'aria interna. L'aria presente all'esterno può essere in alcuni casi molto inquinata, in tal caso è necessario filtrarla prima di inserirla nell'ambiente da ventilare; in particolare è importante posizionare correttamente la presa dell'aria esterna, in quanto il livello

massimo di concentrazione di contaminanti/inquinanti è quello della qualità dell'aria percepita in quel punto.

La presa dell'aria esterna dovrebbe quindi essere situata in posizione tale da assumere il valore minimo di contaminazione da polveri, odori, ecc., quindi non a livello del terreno e non in prossimità di bocche di espulsione dell'aria esausta. Dovrà essere disposta nelle vicinanze della centrale di trattamento al fine di ridurre la lunghezza dei condotti di aria inquinata.

La climatizzazione dell'aria prevede una serie di trattamenti che hanno come fine quello di ottenere nell'ambiente climatizzato condizioni ottimali di temperatura e umidità. Tali trattamenti fanno riferimento ad aria che, nelle applicazioni tipiche del condizionamento, può essere considerata come una miscela binaria di gas perfetti: aria secca e vapore d'acqua.

Sulla base di studi e ricerche eseguite, si sono individuate le condizioni ottimali dell'aria nell'ambiente occupato, in particolare si è visto che il sistema di termoregolazione dell'organismo umano trova il suo equilibrio ideale quando in ambiente le condizioni termoigrometriche assumono valori all'interno dei seguenti intervalli:

CONDIZIONI AMBIENTE	ESTATE	INVERNO
T_a	24÷26°C	18÷22°C
ϕ	40÷60	40÷60

TABELLA 1

3) PROGRAMMI UTILIZZATI PER LO SVILUPPO DELLA TESI

Sketchup e Trnsys17 sono due software grazie ai quali è stato possibile realizzare la tesi in esame; l'utilizzo del primo ha reso possibile la riproduzione grafica e strutturale dell'edificio mentre il secondo permette di impostare i parametri strutturali dell'edificio e la realizzare l'impianto andando ad inserire al suo interno i componenti necessari al fine di determinare la corretta ventilazione da apportare per garantire le condizioni ottimali dell'aria al suo interno.

3.1 COS'E' SKETCHUP

Sketchup è un software di modellazione 3D, in grado di riprodurre bidimensionalmente e tridimensionalmente gli edifici o i singoli oggetti.

Una nota particolare merita la possibilità di strutturare l'oggetto in gruppi e componenti, i quali possono essere ripetuti (copiati) più volte. Attraverso questi elementi è possibile ottenere la ripetizione di particolari del modello, facilitando il lavoro in serie al disegnatore. Le componenti, una volta correttamente posizionate, possono essere modificate simultaneamente agendo solo su una di esse, senza dover aggiornare manualmente e ridefinire ogni singola ulteriore componente inserita.

Le caratteristiche principali di Sketchup sono:

- Un sistema intelligente di disegno (chiamato inference/inferenza);
- Un sistema parametrico per la definizione delle forme grafiche sia 2D che 3D;
- Possibilità di studiare forme tridimensionali attraverso tecniche di estrusione molto intuitive (Push/Pull Technology);
- Definire le coordinate geografiche dell'oggetto (longitudine, latitudine);
- Simulare l'incidenza realistica delle ombre solari sul modello, ad una data ora e periodo dell'anno;

- Possibilità di gestire semplici animazioni della scena;
- I modelli possono essere colorati individualmente grazie a librerie di materiali anche definibili dall'utente;
- Interazione con Google Earth;
- Semplicità d'uso, orientata soprattutto al disegno tecnico;
- L'espansibilità delle funzioni attraverso plugin (macro) in Ruby Script.

3.2 COS'E' TRNSYS17

TRNSYS17 è un software che utilizza un approccio modulare in grado di risolvere problemi legati ad aspetti di tipo energetico relativi al comportamento di un sistema edificio-impianto o di entrambi analizzandoli singolarmente.

L'utilizzo di opportuni codici presenti all'interno del software permette di indentificare il comportamento termico dei componenti sia dell'involucro che dell'impianto, simulando il comportamento del sistema(edificio-impianto) o dei singoli componenti (edificio o impianto).

Utilizza un approccio di tipo modulare, si scompone cioè il problema in più parti semplici in modo tale che la risoluzione di ciascuna parte porti alla risoluzione del problema.

Presenta al suo interno una raccolta di dati relativi alle condizioni meteo da selezionare per impostare la scelta del luogo nel quale è situato il sistema da studiare e una libreria all'interno della quale sono presenti e descritti i comportamenti dei più comuni componenti di impiantistica.

4) DESCRIZIONE EDIFICIO

L'edificio soggetto della presente tesi si trova a Forlì in via Gorizia n°141, è composto da cinque stanze e un corridoio come riportato in Figura 1:

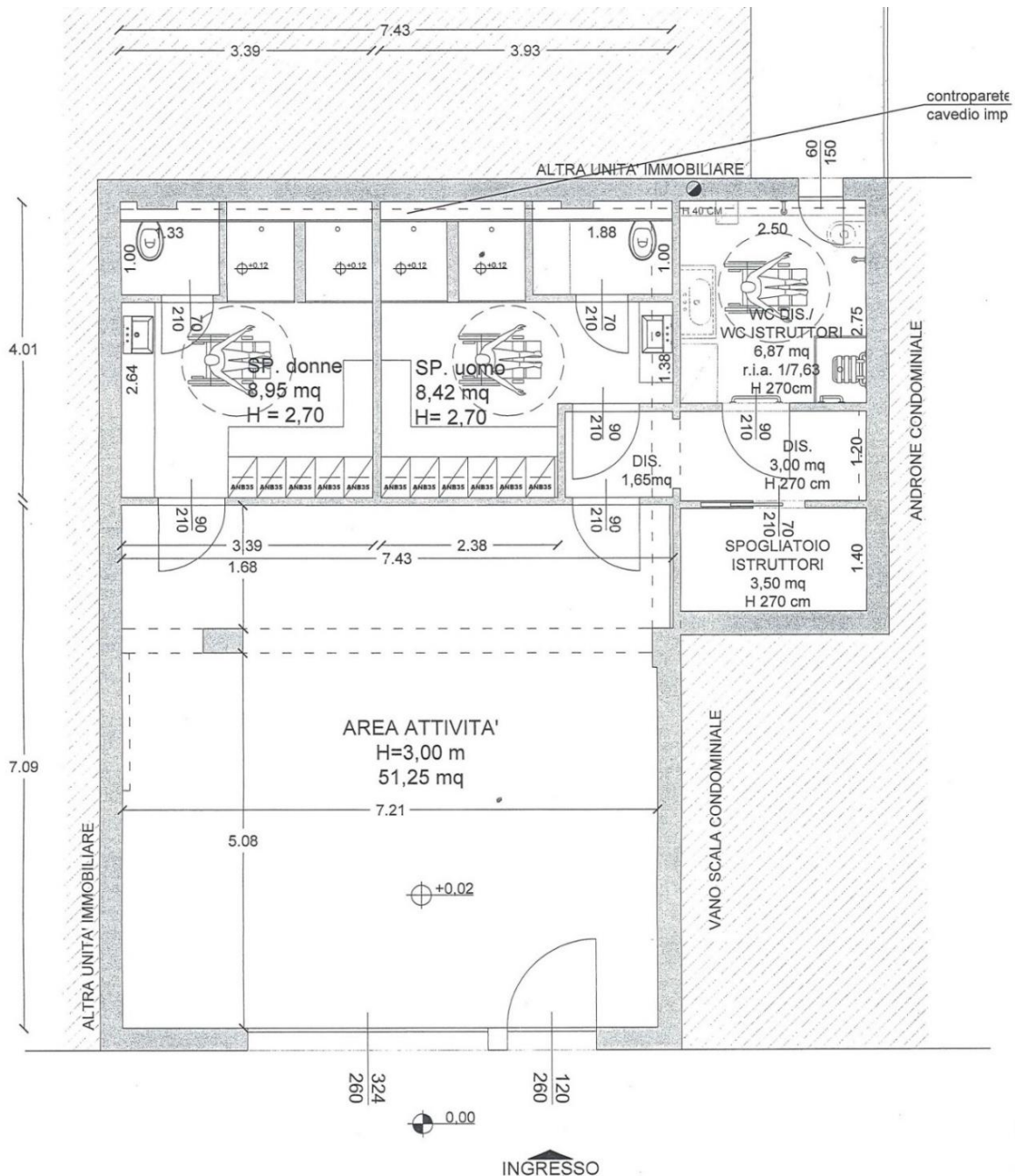


FIGURA 1

Le stanze sono adibite ai seguenti utilizzi:

- Palestra.
- Spogliatoio uomini e spogliatoio donne.
- Spogliatoio istruttori.
- Corridoio.
- Servizi/Impianti.

1. **Palestra**: Stanza all'interno della quale viene svolta l'attività fisica, caratterizzata da esercitazioni senza l'ausilio di opportune macchine. Al suo interno sono installati due split per il condizionamento e la deumidificazione dell'aria.

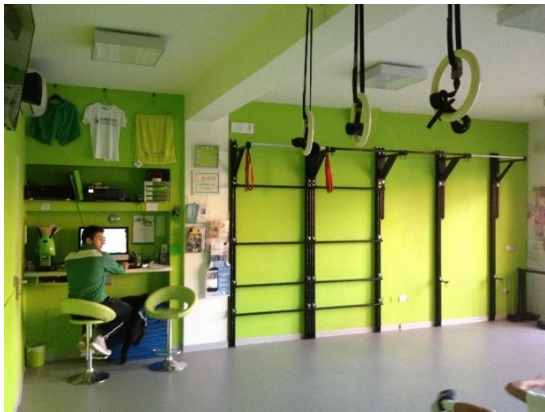


FIGURA 2



FIGURA 3



FIGURA 4

2. **Spogliatoio donne/Spogliatoio uomini**: al loro interno sono presenti apposite docce e una stanza dedicata ai servizi igienici. Le stanze presentano una ventilazione meccanica in aspirazione e mandata.



FIGURA 5



FIGURA 6

3. **Spogliatoio istruttori**: Presenta una ventilazione meccanica in mandata e in aspirazione.



FIGURA 7

4. **Corridoio**: collega la palestra allo spogliatoio uomini, istruttori e alla stanza servizi.

Presenta una ventilazione meccanica in aspirazione e mandata.



FIGURA 8



FIGURA 9

5. **Servizi/impianti**: Stanza nella quale sono presenti gli impianti relativi al trattamento dell'aria e dell'acqua, è presente anche il servizio igienico per gli istruttori. La caldaia è collegata ad un apposito scambiatore di calore a fascio tubiero avente la funzione di accumulo; è presente anche l'impianto di ventilazione meccanica e le unità di trattamento dell'aria sono installate esternamente alla stanza.



FIGURA 10



FIGURA 11

4.1 DESCRIZIONE IMPIANTO DI VENTILAZIONE E IDRAULICO

Gli impianti di riscaldamento e ventilazione installati all'interno dell'edificio sono 3:

- 1) Impianto di ventilazione meccanico.
- 2) Impianto di climatizzazione.
- 3) Impianto di riscaldamento acqua.

4.1.1 IMPIANTO IDRAULICO

In figura 12 è visibile l'impianto idraulico per il trattamento dell'acqua.

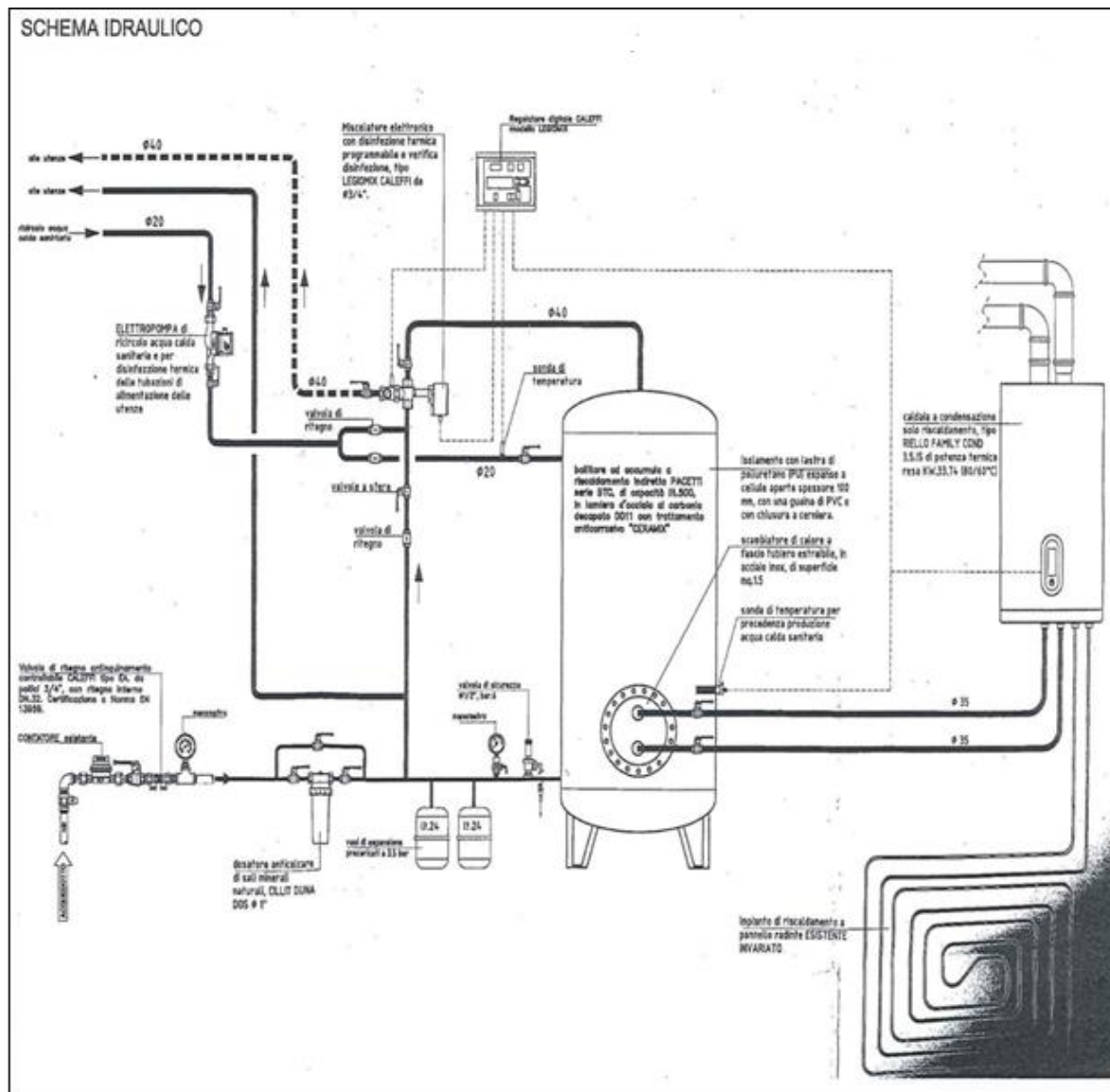


FIGURA 12

L'impianto idraulico è composto da una caldaia a condensazione per il riscaldamento dell'acqua, costituita da uno scambiatore primario in alluminio, una camera di combustione stagna a tiraggio forzato e un bruciatore atmosferico con funzionamento modulante.



FIGURA 13

La caldaia è collegata ad un bollitore ad accumulo (Fig. 13) a riscaldamento indiretto di capacità 500 L, dotato di uno scambiatore di calore a fascio tubiero estraibile di superficie 1.5 m².

A completare l'impianto sono installati i seguenti componenti:

- Vasi di espansione a servizio del bollitore per acqua calda sanitari.
- Miscelatore elettronico completo di regolatore digitale.
- Elettropompa di ricircolo acqua calda.
- Valvole a sfera e di ritegno.
- Tubazioni in rame disossidato al fosforo per il collegamento caldaia-bollitore e tubazioni multistrato in alluminio-polietilene per la realizzazione delle reti di distribuzione dell'acqua calda e fredda.

4.1.2 IMPIANTO DI VENTILAZIONE

L'impianto di ventilazione meccanica per il trattamento dell'aria (Fig. 16) è composto da un'unità di estrazione e rinnovo di aria Riello con portata d'aria nominale di 650 m³/h.

E' presente un igrometro di tipo regolabile per l'avviamento automatico dell'unità di ventilazione meccanica. Il ricircolo dell'aria nelle varie stanze è garantito da apposite canalizzazioni collegate ad opportuni diffusori.



FIGURA 14



FIGURA 15

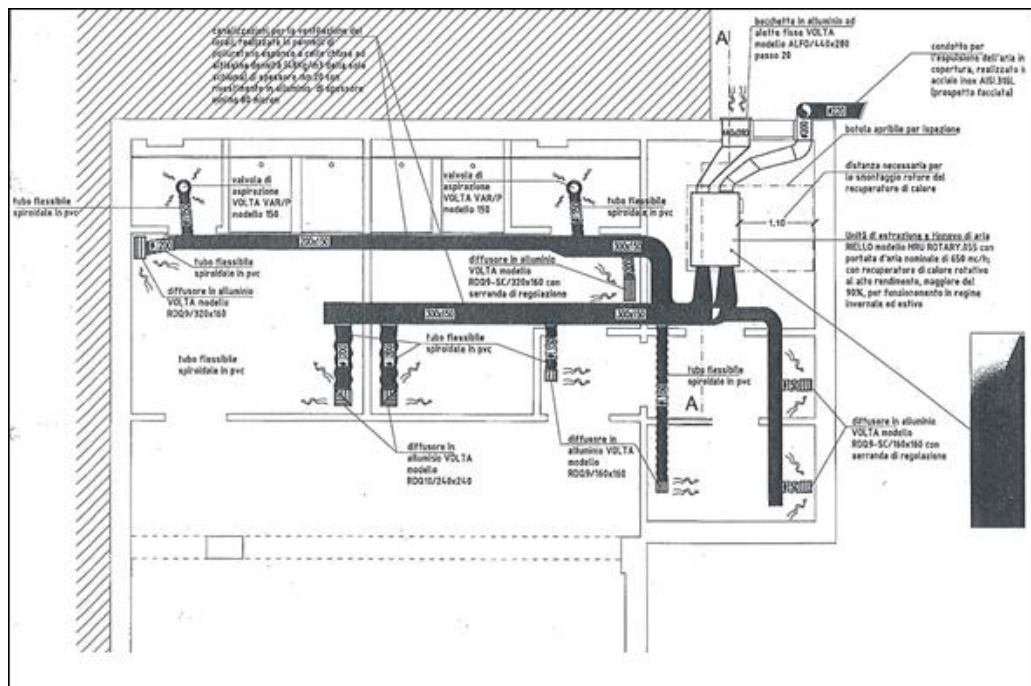


FIGURA 16

4.1.3 IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE



FIGURA 17



FIGURA 18

L'impianto di condizionamento è caratterizzato da due unità di trattamento dell'aria (Fig. 17).

L'aria viene trattata ed immessa all'interno della palestra tramite l'utilizzo di due split (Fig. 18)

posizionati all'interno di quest'ultima, i quali hanno i seguenti dati tecnici riportati in Fig. 19.




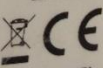
AIR CONDITIONER HEAT PUMP OUTDOOR UNIT		
MODEL	RXS50G2V1B	
SER. NO. / YEAR	J080725 / 2009	
POWER SUPPLY	220-240 V ~	50 Hz
PROTECTION	IPX4	
REFRIGERANT	R410A	1.70 kg
NET WEIGHT	48 kg	
FUSE AMP.		20 A
M. O. P. (PAMAX)	4.17 MPa	(41.7 bar)
MAXIMUM CURRENT	15.5 A	
 Contains fluorinated greenhouse gases covered by the Kyoto Protocol		
DAIKIN INDUSTRIES, LTD. Umeda Center Bldg., 2-4-12, Nakazaki-Nishi, Kita-Ku, Osaka, 530-8323 Japan		
MADE IN CZECH REPUBLIC		
 ENVIRONMENT		R410A  CE 3SB63802-17L

FIGURA 19

5) REALIZZAZIONE IMPIANTI DI VENTILAZIONE

La presente tesi ha lo scopo di realizzare tramite l'utilizzo dei software elencati precedentemente l'impianto di ventilazione dell'edificio in esame per poi effettuare una valutazione dinamica dell'impianto di ventilazione relativo alla palestra apportando opportune modifiche al fine di garantire all'interno di quest'ultima il mantenimento della qualità dell'aria per il benessere delle persone. In particolar modo l'attenzione è concentrata sulla palestra in quanto durante i corsi la qualità dell'aria non rispecchia le condizioni ideali.

E' possibile suddividere il lavoro svolto in quattro fasi:

- Riproduzione grafica dell'edificio tramite il software Sketchup.
- Modellazione dell'edificio tramite il software Trnsys17 (definizione caratteristiche strutturali e ambientali delle singole stanze dell'edificio).
- Realizzazione dell'impianto di ventilazione per la risoluzione del problema energetico (Impostazione tramite l'utilizzo dei componenti impiantistici presenti nella libreria di Trnsys dell'interfaccia grafica del sistema di ventilazione).
- Valutazione risultati ottenuti a seguito di opportune simulazioni.

5.1 RIPRODUZIONE GRAFICA DELL'EDIFICIO TRAMITE IL SOFTWARE SKETCHUP

Come già accennato precedentemente Sketchup è un software di modellazione 3D, in grado di riprodurre bidimensionalmente e tridimensionalmente gli edifici o i singoli oggetti.

Sfruttando questo software, è stato riprodotto sotto forma di modello 3D l'edificio reale, ovviamente vista la valutazione energetica da esaminare è opportuno includere nel modello definitivo anche gli edifici confinanti con l'edificio in esame.

Sketchup è molto semplice da utilizzare, è dotato di un sistema di riferimento cartesiano (Nord, Sud, Ovest Est) dalla cui origine si è disegnato stanza per stanza tutto l'edificio.

Sketchup è un software che associa ad ogni stanza una zona termica, il primo passo è stato quello di definire e nominare la zona termica, tramite un opportuno comando NEW TSNSYS3D ZONE, successivamente è stata creata la stanza all'interno della zona termica utilizzando due comandi che generano inizialmente l'area di base della stanza (Comando Rettangolo) e successivamente l'altezza (Comando Spingi/Tira), praticamente si esegue un'estrusione dell'area di base.

Il procedimento sopra descritto è stata ripetuto per tutte le stanze dell'edificio seguendo la planimetria del progetto e per le unità abitative confinanti.

Molto importante durante la realizzazione delle stanze è stata la definizione delle pareti e dei soffitti, ovvero si sono verificati casi come quello riportato in Fig. 20, dove la parete di una stanza non combaciava in lunghezza con la parete della stanza confinante, questo in alcuni casi comportava l'esistenza di due superfici diverse sia dal punto strutturale che dal punto di vista della composizione materiale.

Al fine di fare riconoscere questa differenza al software, tramite opportuni comandi si è realizzata la divisione delle due pareti in modo da ottenere due pareti combacianti aventi denominazione diversa.

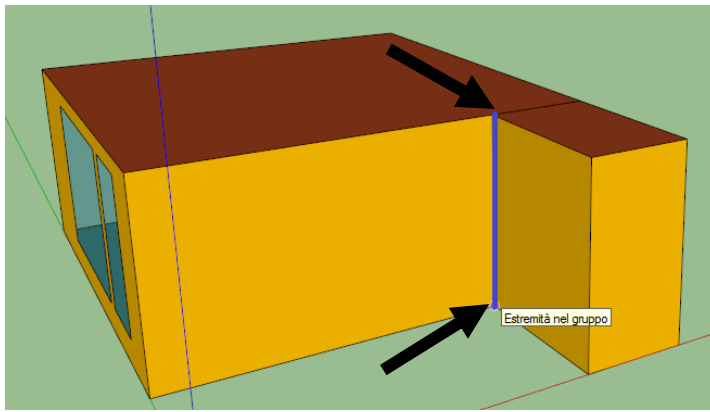


FIGURA 20

Nella Fig. 21 è visibile il modello finale il quale comprende la palestra evidenziata in giallo e le unità immobiliari confinanti, sono anche visibili due finestre molto importanti indicate dalle frecce rosse, la finestra a sinistra permette di visualizzare l'elenco delle zone termiche quindi delle stanze realizzate al fine di selezionarle per apportare eventuali modifiche mentre la finestra di destra permette di visualizzare le caratteristiche della stanza/zona termica selezionata quali la superficie totale, il numero di superfici, la superficie totale delle pareti esterne e permette anche di nominare la stanza/zona.

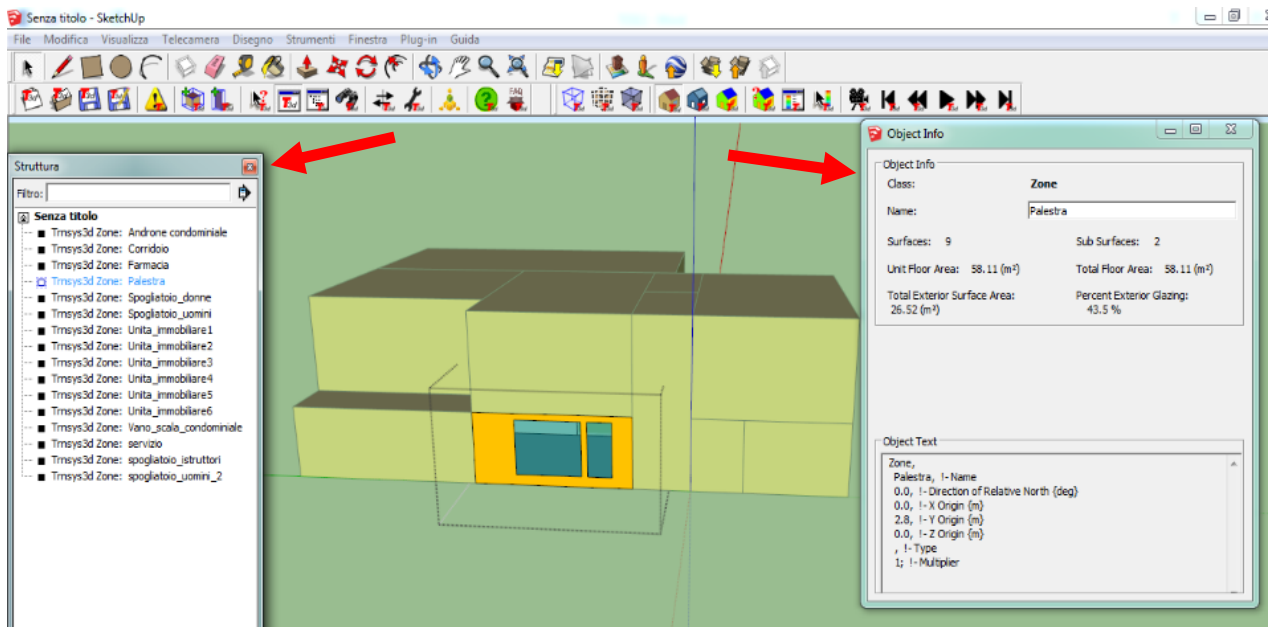


FIGURA 21

5.2 MODELLAZIONE DELL'EDIFICIO TRAMITE IL SOFTWARE TRNSYS17

Realizzato il file contenente il modello 3D dell'edificio e gli edifici confinanti, ai fini dei calcoli termici si procede con l'utilizzo del software Trnsys17 nel quale inizialmente sono state impostate le condizioni meteo della località nella quale l'edificio reale si trova poi si è caricato il file prodotto tramite Sketchup.

I dati meteo a disposizione sono relativi a molte città italiane ed estere (nel nostro caso si è scelta la città più vicina a Forlì tra quelle in elenco, ovvero Bologna) sono messi a disposizione da Meteonorm, un database di informazioni meteorologiche.

L'avvio del software Trnsys consiste nell'apertura della finestra in Fig. 21 denominata **Simulation Studios** che è la principale interfaccia grafica del software ed è composta a sua volta da 2 finestre. La finestra a sinistra, che possiamo definirla "finestra di lavoro", riproduce graficamente secondo la logica di TRNSYS, il file realizzato con il software Sketchup, mentre la finestra a destra racchiude una libreria all'interno della quale sono presenti e descritte le tipologie dei più comuni componenti di impiantistica.

I componenti sono raffigurati sotto forma di Icone/Type, una volta selezionati dalla libreria vengono trascinati all'interno della finestra di lavoro e successivamente collegati con le altre icone presenti. I collegamenti vengono eseguiti tramite delle frecce (da/a) e permettono il trasferimento delle informazioni all'interno del software.

Come già accennato nella finestra di lavoro viene riprodotto graficamente il file di lavoro creato in Sketchup ovvero il nostro sistema iniziale (fig. 22), successivamente aggiungendo i componenti necessari in base alle valutazioni fatte e definendo i parametri in ingresso ed uscita dei vari componenti si ottiene il sistema completo e si procede alla simulazione finale.

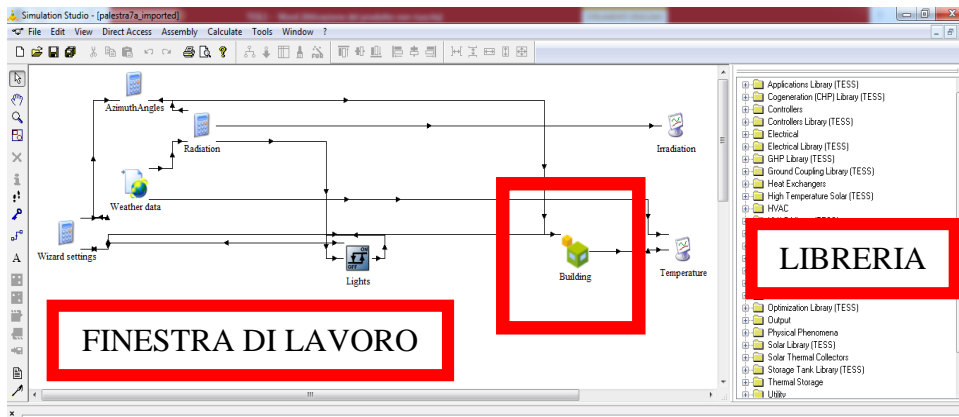


FIGURA 22

Il sistema iniziale è caratterizzato da un'icona in verde denominata Building (Type56), indicata nel riquadro rosso centrale in Fig. 22, rappresenta il software di simulazione dell'edificio, tramite il quale si accede a una successiva finestra TRNBuild, Fig. 23al cui interno, attraverso l'utilizzo delle icone (descritte successivamente) presenti nella barra comandi principale situata nella parte superiore della finestra, riquadro rosso, sono state definite/i:

- Le caratteristiche strutturali dell'edificio (viene definita la tipologia di muri delle stanze e la rispettiva composizione dal punto di vista dei materiali).
- Le caratteristiche ambientali interne, relative alle singole stanze includendo la presenza di infiltrazioni, riscaldamento, ventilazione, condizionamento e guadagni energetici dovuti alla presenza di persone/macchinari o fonti di calore.
- I dati di input/output del sistema.

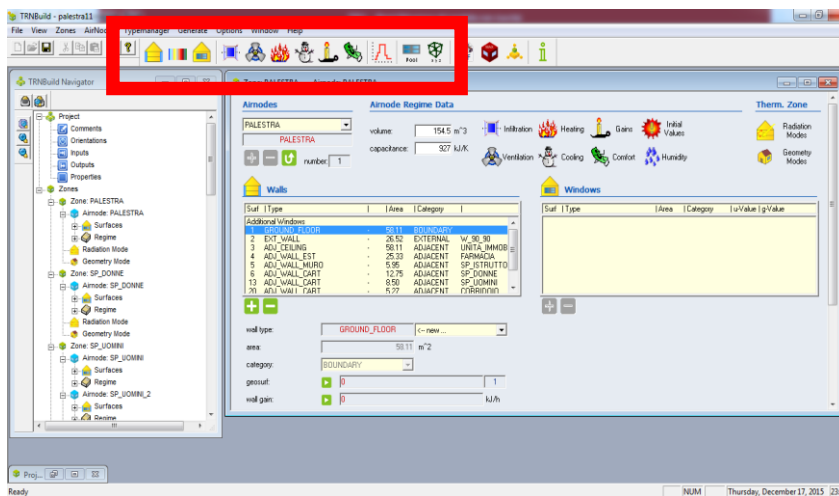
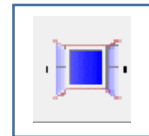


FIGURA 23

Quindi, inizialmente, sono stati definiti i dati relativi alle caratteristiche strutturali e climatiche all'interno delle stanze, tramite l'utilizzo delle seguenti icone, situate nella barra comandi situata nella parte superiore della finestra (riquadro rosso) in Fig. 23:

- 1) WALL TYPE MANAGER RELATIVO ALLA DEFINIZIONE STRUTTURALE DEI MURI DELL'EDIFICIO O DELLE SINGOLE STANZE.
- 2) INFILTRATION TYPE MANAGER RELATIVO ALLA DEFINIZIONE DI EVENTUALI INFILTRAZIONI ALL'INTERNO DELL'EDIFICIO O DELLE SINGOLE STANZE.
- 3) VENTILATION TYPE MANAGER TRAMITE IL QUALE E' POSSIBILE DEFINIRE LA VENTILAZIONE PRESENTE ALL'INTERNO DELL'EDIFICIO O DELLE SINGOLE STANZE.
- 4) HEATING TYPE MANAGER TRAMITE IL QUALE E' POSSIBILE DEFINIRE IL RISCALDAMENTO PRESENTE ALL'INTERNO DELL'EDIFICIO.
- 5) GAINS TYPE MANAGER, TRAMITE IL QUALE E' POSSIBILE DEFINIRE I GUADAGNI ENERGETICI ALL'INTERNO DI UNA STANZA O DI UN EDIFICIO.
- 6) SCHEDULE TYPE MANAGER, TRAMITE IL QUALE E' POSSIBILE DEFINIRE DEI PROFILI DI FUNZIONAMENTO/OCCUPAZIONE.



5.2.1 WALL TYPE MANAGER

L'edificio sul quale è stata sviluppata la tesi presenta diverse tipologie di pareti, due tipologie di solaio e la pavimentazione.

In particolare per quanto riguarda le partizioni verticali sono presenti le seguenti strutture:

- Pareti in cartongesso.
- Contropareti in cartongesso.
- Pareti confinanti con l'ambiente esterno.
- Pareti confinanti con unità abitative.
- Pareti interne all'edificio di diverso spessore.

Per quanto riguarda il solaio, sono presenti due tipologie, in quanto la parte di edificio relativa agli spogliatoi e al corridoio ha il solaio in cartongesso mentre la parte restante è in laterocemento; la pavimentazione è la medesima per tutto l'edificio.

Quindi è stato necessario creare e nominare all'interno del software, le diverse tipologie strutturali sopra descritte al fine riprodurre perfettamente dal punto di vista architettonico l'edificio reale, per questo cliccando sull'icona del **“WallType” Manager** si accede alla finestra in Fig. 24/25, composta da due parti, la prima relativa al WALL TYPE (1) al cui interno sono state create e nominate le diverse tipologie di soffitti e pareti, inclusi il pavimento e il tetto; mentre la seconda parte relativa al LAYER (2) è stata utilizzata per selezionare all'interno di una libreria virtuale collocata nella finestra a fianco, i diversi materiali che caratterizzano le parti descritte precedentemente.

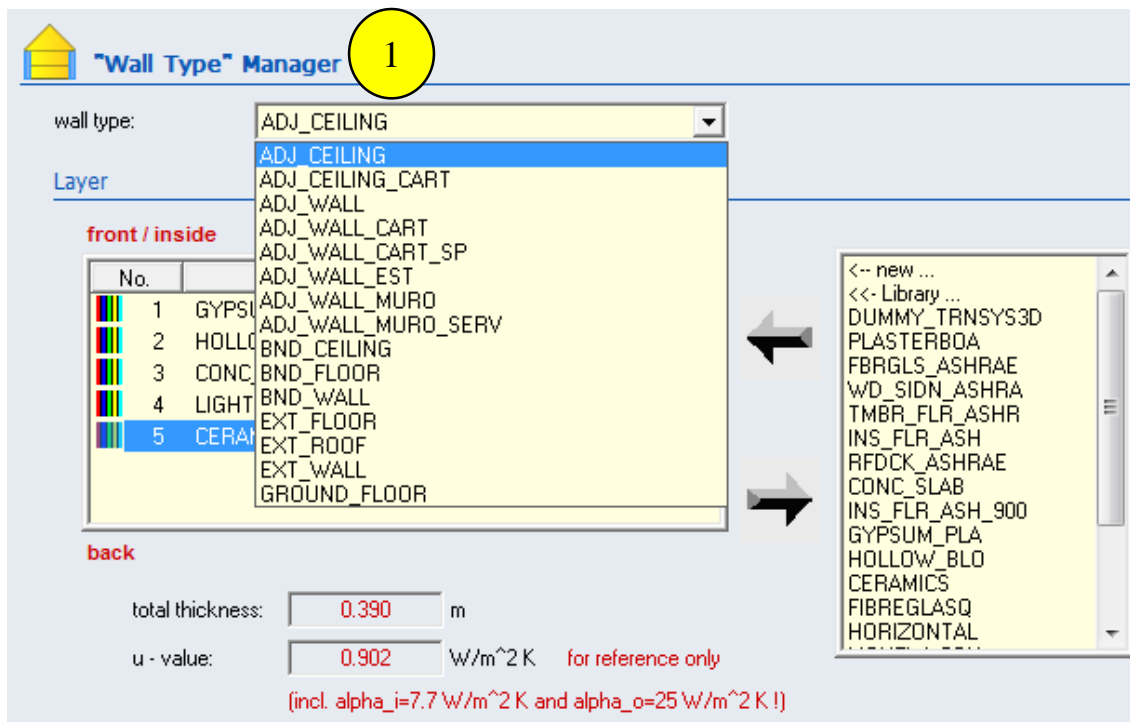


FIGURA 24

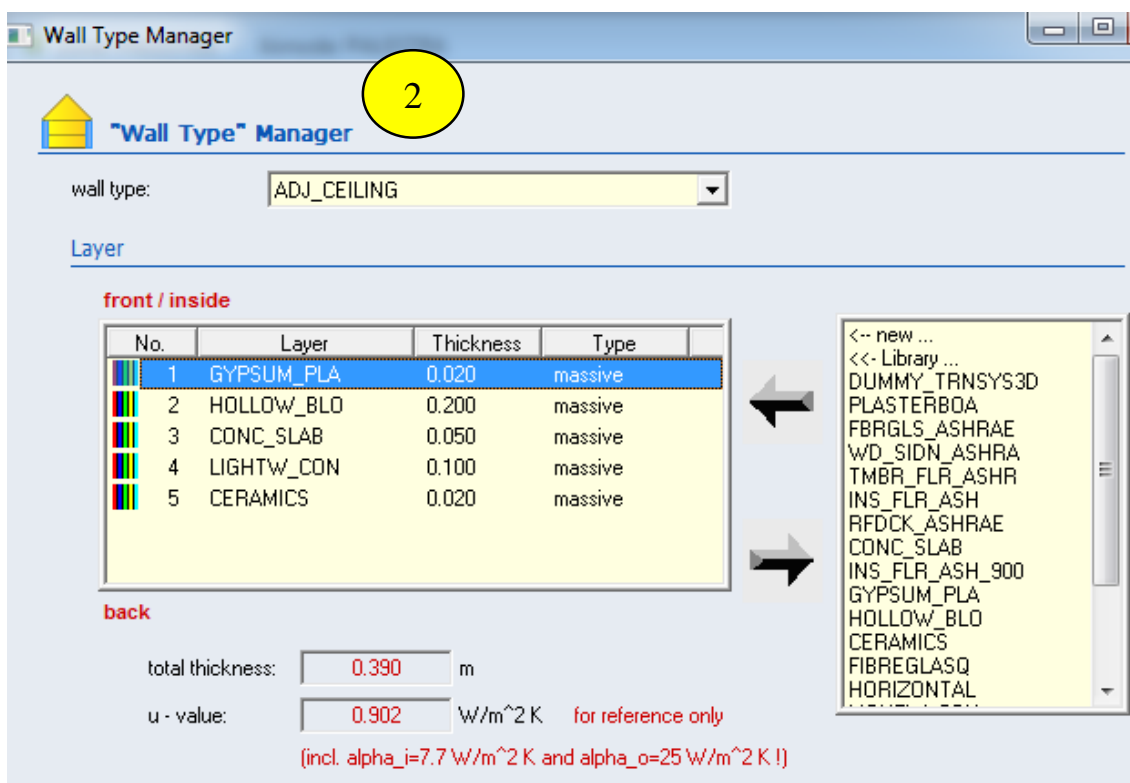


FIGURA 25

5.2.2 INFILTRATION TYPE MANAGER

Successivamente si sono definite le infiltrazioni presenti all'interno della palestra e le infiltrazioni presenti nel vano scala confinante con il muro della palestra cliccando sull'icona relativa alle infiltrazioni.

A tal fine si è valutato di considerare due infiltrazioni di valore costante, una denominata **INF_PAL** relativa alla palestra e una denominata **INF_VANO_SCALA** relativa al vano scala confinante con la palestra.

In Fig. 26 è visibile il procedimento relativo alla definizione dell'infiltrazione relativa alla palestra, la quale viene nominata nell' **"InfiltrationType" Manager** (freccia blu) e definita nell'**Airchange of Infiltration** (freccia rossa).

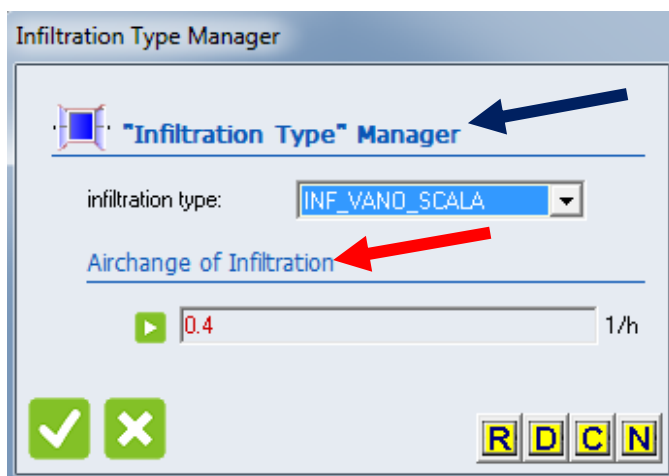


FIGURA 26

5.2.3 VENTILATION TYPE MANAGER

La ventilazione è stata definita all'interno delle varie stanze nelle quali è installato il sistema di ventilazione meccanico.

Per quanto riguarda la definizione della ventilazione all'interno della palestra, cliccando sull'icona relativa alla ventilazione nel quadro comandi principale, si apre una schermata (Fig. 27) all'interno della quale è stata definita e nominata nel **“VentilationType” Manager** come **VENT_PAL**, la ventilazione all'interno della palestra. Successivamente sono stati selezionati i dati relativi a tale ventilazione, ovvero la portata, la temperatura e l'umidità relativa dell'aria.

In seguito cliccando sul riquadro verde indicato dalla freccia rossa presente a fianco ai dati definiti precedentemente, si apre la finestra Fig. 28, nella quale i dati vengono impostati come valori di input del sistema. In questo caso l'esempio è relativo alla portata di aria.

Il procedimento è identico nella definizione delle ventilazioni relative alle altre stanze.

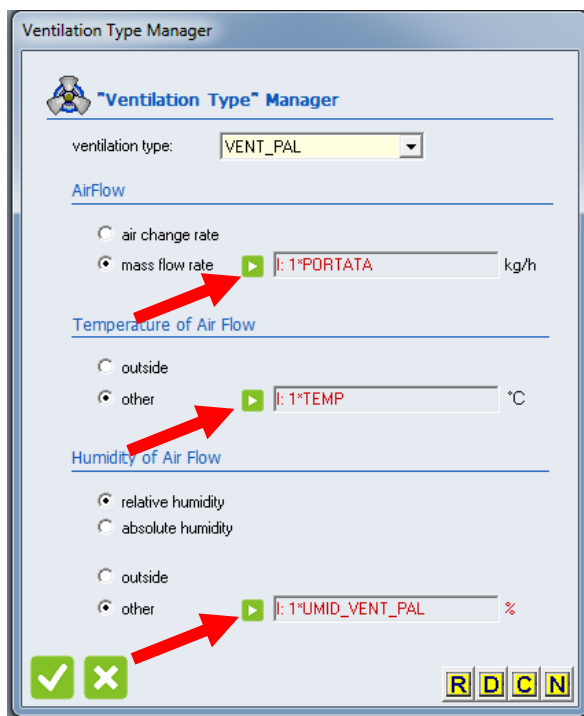


FIGURA 27

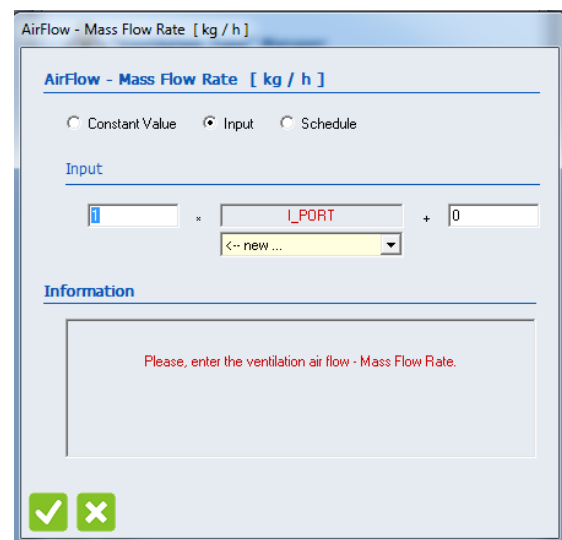


FIGURA 28

5.2.4 HEATING TYPE MANAGER

Il riscaldamento è stato considerato e impostato relativamente al periodo invernale, in particolare è stata definito un riscaldamento costante pari a 20°C relativo agli edifici abitativi e commerciali confinanti con la palestra.

Il procedimento per definire il riscaldamento è visibile nelle Fig. 29 e 30.

Inizialmente cliccando sull'opportuna icona, si apre la finestra in Fig. 29 dove è stato definito e nominato il riscaldamento nel periodo invernale nell' **"HeatingType" Manager**, come **RISC_INVERNO**, poi successivamente nella **Room Temperature Control** cliccando sul riquadro verde indicato dalla freccia rossa, si apre la finestra in Fig. 30 all'interno della quale è stata impostato il valore della temperatura di riscaldamento pari 20°C.

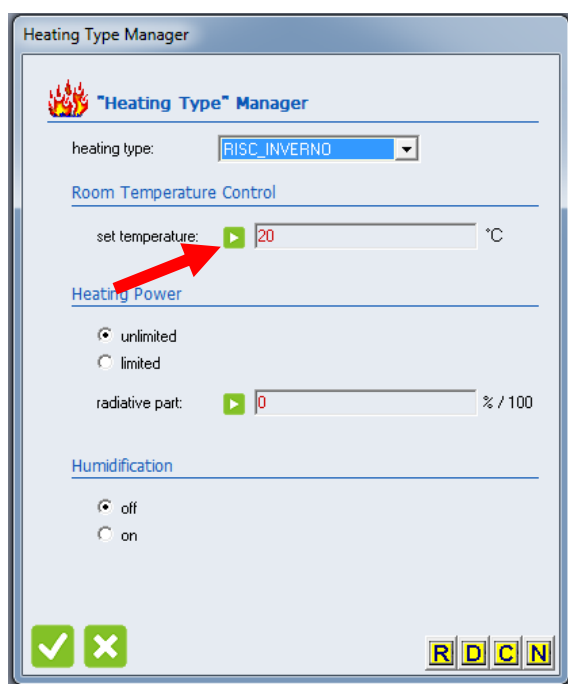


FIGURA 29

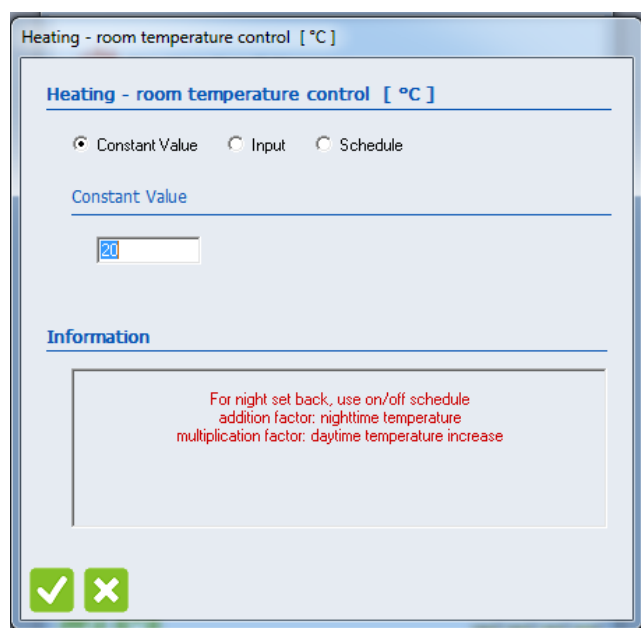


FIGURA 30

5.2.5 GAIN TYPE MANAGER

Il Gain Type Manager ha permesso la definizione degli apporti energetici relativi alla presenza di persone che svolgono attività fisica all'interno della palestra, andando a definire la parte dovuta all'irraggiamento, la parte dovuta alla convezione e l'umidità assoluta.

Cliccando sull'opportuna icona si apre la finestra in Fig. 31 dove è stato definito nel **“Gain Type” Manager** il gain **PERSONE**, successivamente cliccando sui riquadri verdi indicati dalla figura rossa si è aperta un'ulteriore finestra (Fig. 32) all'interno della quale sono stati definiti come valori di input le varie parti relative al guadagno energetico ovvero la parte per irraggiamento e per convezione sotto forma di potenze termiche e l'umidità assoluta.

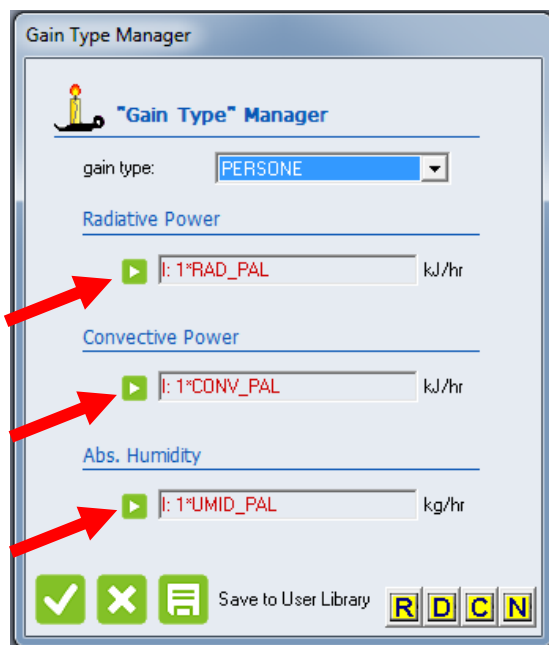


FIGURA 31

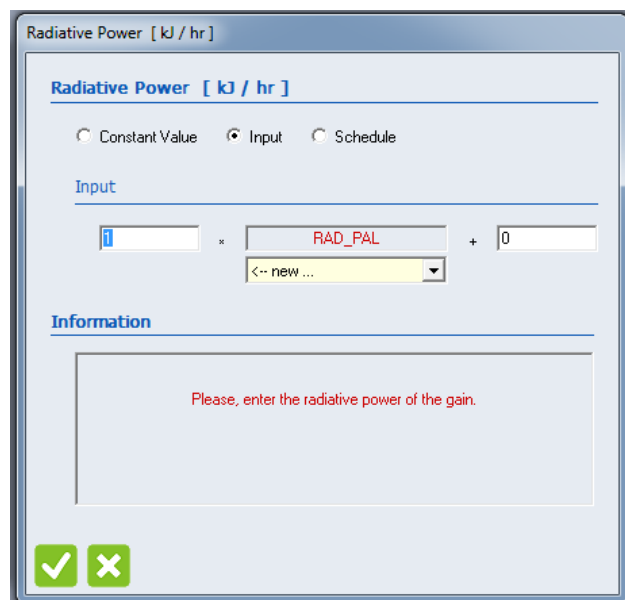


FIGURA 32

5.2.6 SCHEDULE TYPE MANAGER

Si è pensato di inserire nel software i dati relativi agli orari dei corsi tenuti nel locale, per fare ciò si è utilizzata l'icona relativa al **"Schedule Type" Manager**.

Primo passo è stata la definizione della Schedule, **IMPIANTO**, successivamente come visibile in Fig. 33 è stato definito l'orario di funzionamento dell'impianto, considerando il funzionamento settimanale della palestra.

E' stato impostato all'interno del software l'orario di apertura e di chiusura di quest'ultima.

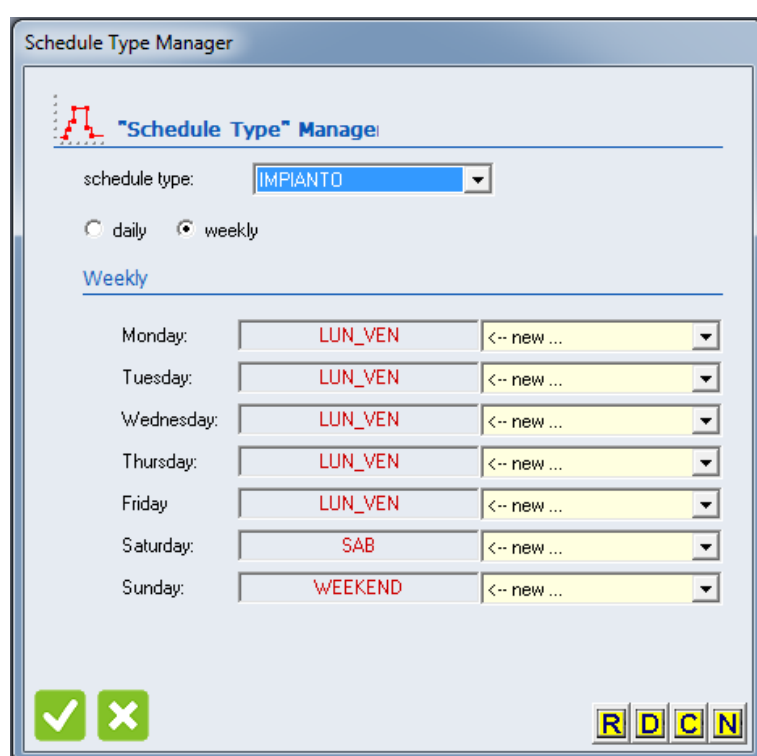


FIGURA 33

Definiti tutti i dati nel quadro comandi principale tramite le icone descritte precedentemente si è passati all'impostazione di tali dati all'interno delle singole stanze in base a quelle che sono le condizioni reali al loro interno, utilizzando la finestra denominata **TRNBuild Navigator** (Fig.34) al cui interno sono presenti l'elenco degli output/input e l'elenco delle stanze/zone termiche dell'edificio.

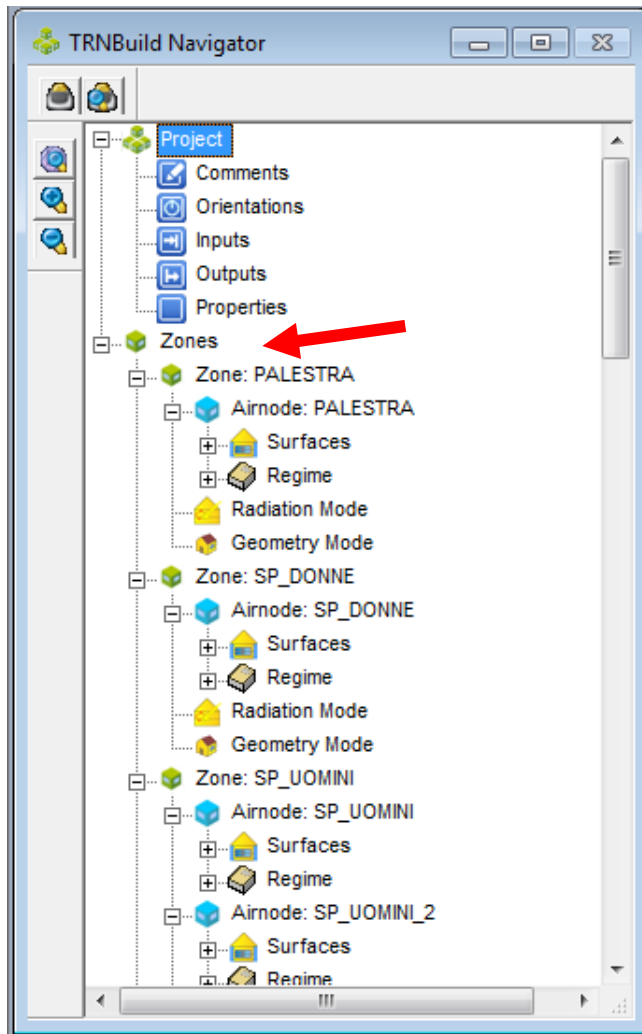


FIGURA 34

In particolare, nella palestra oggetto dello studio in esame, è installato un impianto di condizionamento, sono presenti infiltrazioni causa la presenza di porte e finestre e si generano dei guadagni energetici dovuti alla presenza di persone che svolgono l'attività fisica.

Quindi per riprodurre questi fattori all'interno di tale stanza si è andati a cliccare su **Zone: Palestra** (freccia rossa) in Fig. 34 andando così ad aprire un'ulteriore finestra Fig. 35 composta da 2 parti:

(1) **Airnode Regime Data.**

(2) **Walls.**

Nella (1) sono stati inseriti il valore del volume della stanza e la relativa capacità termica, inoltre sono state attivate tramite le opportune icone presenti anche all'interno della barra comandi, la ventilazione, le infiltrazioni e i guadagni energetici.

Nella (2) sono state richiamate le caratteristiche strutturali della stanza andando a selezionare tra quelle definite precedentemente.

La stessa operazione è stata eseguita per tutte le stanze dell'edificio al cui interno è presente la palestra, inoltre per quanto riguarda le unità abitative confinanti è stata attivata all'interno di ciascuna il riscaldamento pari a 20°C tramite l'opportuno comando. Tutto ciò è stato fatto al fine di garantire una similitudine tra il modello reale e il modello realizzato tramite il software.

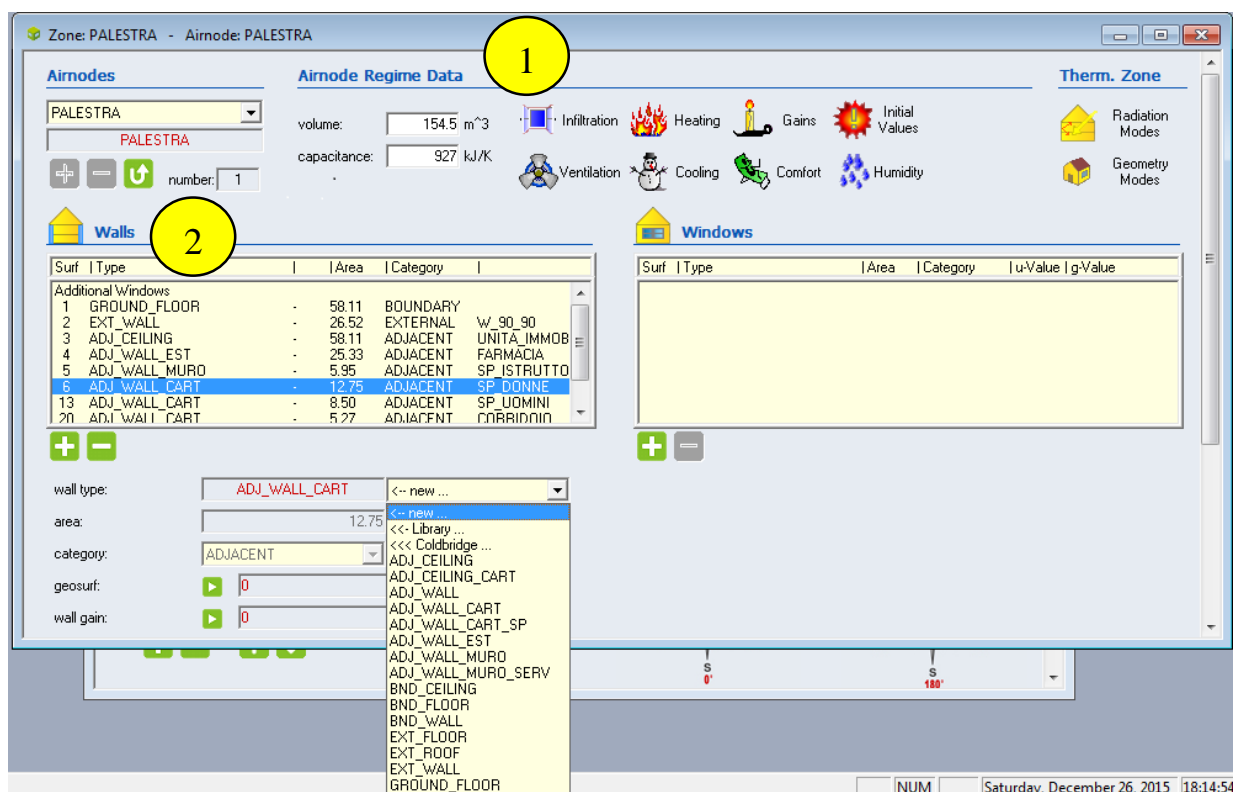


FIGURA 35

5.3 REALIZZAZIONE DEL SISTEMA DI VENTILAZIONE

Definiti tutti i dati necessari utilizzando il software di simulazione dell'edificio, si prosegue nella realizzazione grafica del sistema di ventilazione utilizzando i componenti di impiantistica presenti all'interno della libreria.

In Fig.36 è visibile il sistema iniziale, nel quale sono stati definiti i dati di input e output all'interno dell'edificio; si prosegue poi andando ad aggiungere i componenti dell'impianto di ventilazione visibili sotto forma di Icone/Type.

In particolare la ventilazione è stata divisa in due parti in quanto i due carichi rispettivamente della palestra e degli spogliatoi sono diversi.

Per questo motivo è stata realizzata una ventilazione relativa agli spogliatoi e una ventilazione relativa alla palestra, andando a fare un'analisi dinamica esclusivamente della ventilazione relativa alla palestra.

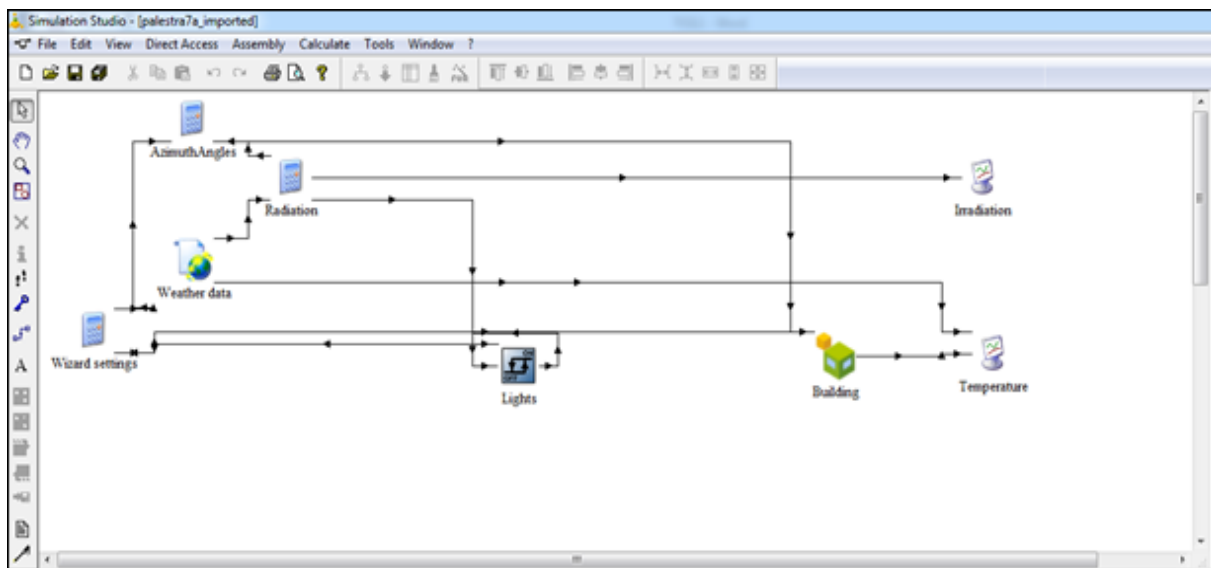


FIGURA 36

La realizzazione del sistema di ventilazione relativo agli spogliatoi è stata sviluppata andando a definire inizialmente i dati di input e output all'interno del Type di calcolo denominato "SPO" sotto forma di equazioni, in particolare sono stati definiti i seguenti valori:

INPUT:

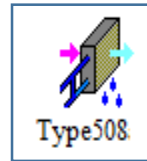
- Volumi degli spogliatoi (V_D ; V_U ; V_I).
- Le temperature all'interno degli spogliatoi (T_D , T_U , T_I).
- Temperature all'interno degli spogliatoi (T_D ; T_U ; T_I).
- Temperatura dell'ambiente esterno (T_E).
- Umidità relativa dell'ambiente esterno (U_E).

OUTPUT:

- Numero di ricambi dell'aria (definito in base al valore della temperatura media).
 - Densità dell'aria.
 - Portata d'aria relativa allo spogliatoioio donne, uomini e istruttori (P_D , P_U , P_I).
 - Portata totale (P_{tot}).
 - Temperatura media dell'aria in quanto le 3 portate vengono contemporaneamente immesse all'interno degli spogliatoi (T_M).
 - Temperature all'interno degli spogliatoi (T_{DD} ; T_{UU} ; T_{II}).
 - Temperatura dell'ambiente esterno (TT_E).
 - Umidità relativa dell'ambiente esterno (UU_E).
- Controllo per l'attivazione della batteria di riscaldamento (control).

- Successivamente sono stati scelti i componenti dell'impianto, ovvero una batteria di deumidificazione e tre batterie di riscaldamento dell'aria, tali componenti presenti all'interno della libreria del software sono rappresentati dai seguenti Type:

1) **Type508 batteria di deumidificazione dell'aria**



La batteria di deumidificazione dell'aria, rappresentata dal Type508, è costituita da un impianto per il ricircolo di acqua all'interno di una serpentina; l'aria prelevata dall'esterno durante il periodo estivo attraversa la serpentina ed esce deumidificata e raffreddata. Come visibile in Fig. 37 all'interno del Type508 si possono impostare diversi valori in input, nel caso in esame è stata valutata una portata di fluido refrigerante pari a 100 Kg h^{-1} , una temperatura del fluido refrigerante pari a 7°C e la pressione dell'aria pari a 1 atm.

(palestra13) Type508a-2						
Parameter Input Output Derivative Special Cards External Files Comment						
		Name	Value	Unit	More	Macro
1		Fluid inlet temperature	7	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2		Fluid flow rate	100	kg/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3		Air inlet temperature	20.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4		Not used	0.005	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5		Air relative humidity (%)	50.0	% (base 100)	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6		Air flow rate	0.0	kg/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7		Air pressure	1.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8		Air-side pressure drop	0.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

FIGURA 37

2) Type930 batteria di riscaldamento dell'aria.



La batteria di riscaldamento dell'aria entra in funzione solamente nell'orario di funzionamento dell'impianto e si attiva quando all'interno degli spogliatoi viene raggiunta una temperatura inferiore di 20°C. In Fig. 38 sono indicati in azzurro i valori di input impostati all'interno del Type930.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
		Name	Value	Unit	More	Macro
1		Inlet air temperature	20.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2		Inlet air humidity ratio	0.008	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3		Inlet air %RH	50.0	% (base 100)	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4		Air flow rate	1000.0	kg/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5		Inlet air pressure	1.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6		Heating capacity	2	kW	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7		Control function	1.0	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8		Air-side pressure drop	0.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

FIGURA 38

E' stato impostato un controllo ON-OFF differenziale con ciclo di isteresi sulla batteria di riscaldamento dell'aria, ottenuto inserendo il Type2b all'interno dell'interfaccia grafica e ponendolo in collegamento tra la batteria di riscaldamento del rispettivo spogliatoio e il Type di calcolo denominato SPO. Tale Type2b genera una funzione di controllo che può avere valore di 1 o 0. Il valore del segnale di controllo viene scelto in funzione della temperatura superiore di input ($T_h=20^\circ\text{C}$), della temperatura di monitoraggio ($T_{in}=20^\circ\text{C}$) e impostando la variazione di temperatura ($\pm 0.5^\circ\text{C}$) rispetto alla temperatura T_h , alla quale il controllo accende o spegne la batteria, in particolare si accende in fase di riscaldamento a $19,5^\circ\text{C}$ e si spegne a $20,5^\circ\text{C}$ per poi riattivarsi quando la temperatura ritorna a $19,5^\circ\text{C}$.

Come visibile in Fig. 39 all'interno del Type2bal fine di garantire l'accensione e lo spegnimento in funzione della temperatura di 20°C sono stati impostati in azzurro i seguenti dati di input.

(palestra13) Type2b

Parameter Input Output Derivative Special Cards External Files Comment

		Name	Value	Unit	More	Macro
1		Upper input temperature Th	20.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2		Lower input: temperature Tl	10.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3		Monitoring temperature Tin	20.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4		Input control function	0	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5		Upper dead band dT	0.5	Temp. Difference	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6		Lower dead band dT	-0.5	Temp. Difference	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

FIGURA 39

Infine l'utilizzo del Type93, posto in collegamento con il software di simulazione Building e il Type di calcolo SPO permette un perfezionamento del sistema in quanto genera un controllo sui valori in base a un passo temporale precedente riuscendo così a modificarli qual ora necessario nel time step successivo.

In conclusione il sistema di ventilazione completo relativo agli spogliatoi, è composto da un'unica batteria di deumidificazione da cui partono 3 portate d'aria uguali, le quali dopo aver attraversato la batteria di riscaldamento, entrano nei rispettivi spogliatoi. Durante il periodo invernale l'aria dall'esterno viene prelevata e riscaldata al fine di garantire quando necessario il raggiungimento della temperatura di 20°C all'interno di ciascuno spogliatoio. Viceversa nel periodo estivo l'aria viene deumidificata, quindi raffreddata e immessa all'interno degli spogliatoi attraversando un'opportuna batteria di riscaldamento.

Realizzata la ventilazione all'interno degli spogliatoi si procede nella realizzazione della ventilazione all'interno della palestra, su tale parte verrà effettuata l'analisi dinamica dell'impianto.

Si è constatato che l'impianto attualmente realizzato e installato al suo interno, non garantisce durante i corsi invernali, il mantenimento della qualità d'aria in quanto si verifica un aumento di

temperatura e di umidità relativa. Questo accade soprattutto nei corsi pomeridiani e serali dove il numero di partecipanti è maggiore rispetto a quelli mattutini.

L'impianto di ventilazione attualmente consiste in un impianto di condizionamento composto da due unità di trattamento dell'aria dotate dei rispettivi split installati nel muro interno della palestra. Si consideri che la palestra ha un volume di circa 154 m³ all'interno del quale svolgono l'attività fisica al massimo 17 persone, nel periodo invernale la temperatura durante i corsi varia di 3-4°C passando dai 20 ai 23.5°C circa mentre l'umidità relativa raggiunge picchi fino al 65-70%.

In particolare bisogna considerare che il carico interno alla palestra è dato esclusivamente dalle persone che svolgono l'attività fisica, in quanto non sono presenti fonti di calore rappresentate da macchinari.

Per questo motivi è fondamentale nella realizzazione del sistema considerare il numero di persone all'interno della palestra e l'attività svolta durante i vari corsi, quindi è stato creato un file che associa l'orario al numero di persone all'interno della palestra, la suddivisione delle 24 ore è stata fatta con un passo temporale composto da intervalli di 5 minuti, ciò ci garantisce una volta terminato il programma una simulazione grafica più dettagliata, relativa all'andamento della temperatura e dell'umidità relativa all'interno della palestra, al fine di apportare le modifiche necessarie all'impianto nel caso i dati riscontrati durante la simulazione non fossero adeguati.

Anche nella realizzazione del sistema di ventilazione relativo alla palestra, sono stati definiti inizialmente i dati di input e output all'interno del Type di calcolo denominato "PAL" sotto forma di equazioni, come visibile in Fig. 40, in particolare sono stati definiti i seguenti valori in input e output:

INPUT:

- Temperatura dell'ambiente esterno (Test).
- Umidità relativa dell'ambiente esterno (UR).
- Temperatura della palestra (T_pal).
- Umidità relativa della palestra (UR_pal).

- (IMP) variabile relativa al funzionamento dell'impianto, ha un valore pari a 0 o 1.
- (Per_batt) relativo al controllo della batteria di riscaldamento.
- (Risc.) relativo al periodo di riscaldamento dell'aria.
- (Raff.) relativo al periodo di raffreddamento dell'aria.

OUTPUT:

- Temperatura dell'ambiente esterno (TT_est) posta uguale a quella in input (T_est).
- Umidità relativa dell'ambiente esterno (UURR) posta uguale a quella in input (UR).
- Densità dell'aria.
- Umidità relativa massima, media e minima all'interno della palestra.
- Umidità relative (UR3, UR2, UR1, UR0) rilevate dal controllo al fine di far variare le portate d'aria in ingresso nella palestra.
- Comando di controllo del recuperatore di calore (Contr_Rec) e della batteria di riscaldamento aria (Contr_Batt).
- Comando di controllo sul recuperatore di calore (T21).
- Valore di portata d'aria invernale al variare dell'umidità relativa rilevata.
- Valore di portata d'aria estiva.

```

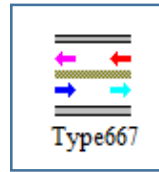
All equations
TT_est = T_est
UURR = UR
dens = 1.22
URmax = 70
URmed = 55
URmin = 40
UR3 = gt(UR_pal,URmax)
UR2 = lt(UR_pal,URmax)*gt(UR_pal,URmed)
UR1 = lt(UR_pal,URmed)*gt(UR_pal,URmin)
UR0 = lt(UR_pal,URmin)
Contr_Rec = IMP*T21*RISC
Contr_Batt = IMP*per_batt
T21 = lt(T_pal,21)
V = dens*(250*UR0+500*UR1+750*UR2+1000*UR3)*IMP
V_est = V*RAFFR

```

FIGURA 40

Successivamente sono stati scelti i componenti dell'impianto, ovvero uno scambiatore di calore, una batteria di deumidificazione d'aria e una batteria di riscaldamento dell'aria, tali componenti presenti all'interno della libreria del software sono rappresentati dai seguenti Type:

1) **Recuperatore di calore aria-aria Type667.**



All'interno di questo componente avviene il recupero di calore, nel periodo invernale, trasferendolo dall'aria in uscita a quella in ingresso proveniente dall'esterno. E' stata impostata una logica di controllo al fine di attivare il recuperatore di calore solamente se la temperatura all'interno della palestra è minore di 21°C nel periodo invernale, in quanto qual ora ci sia una temperatura maggiore significa che c'è un elevata presenza di persone e un elevato carico da smaltire.

Nella Fig. 41 e 42 sono visibili la potenza nominale dello scambiatore pari a 100 Watt e la pressione dell'aria impostata a 1 atm.

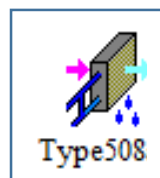
Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1						
		Name	Value	Unit	More...	Macro
		Humidity mode	2	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2						
		Rated power	100	W	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

FIGURA 41

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1						
		Name	Value	Unit	More...	Macro
		Exhaust air temperature	20.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2						
		Not used	0.005	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3						
		Exhaust air %RH	60.0	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4						
		Exhaust air flow rate	0.0	kg/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5						
		Exhaust air pressure	1.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6						
		Exhaust air pressure drop	0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7						
		Fresh air temperature	20.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8						
		Not used	0.005	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

FIGURA 42

2) Batteria di deumidificazione dell'aria Type508.



La batteria di deumidificazione dell'aria, rappresentata dal Type508, è costituita da un impianto per il ricircolo di acqua all'interno di una serpentina, in tal modo l'aria prelevata dall'esterno durante il periodo estivo attraversa la serpentina ed esce deumidificata e raffreddata. Come visibile in Fig. 43 all'interno del Type508 si possono impostare diversi valori in input, nel caso in esame è stata valutata una portata di fluido refrigerante pari a 1000 Kgh^{-1} , una temperatura del fluido refrigerante pari a 7°C e la pressione dell'aria pari a 1 atm.

	Name	Value	Unit	More	Macro
1	Fluid inlet temperature	7	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Fluid flow rate	1000	kg/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Air inlet temperature	20.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Not used	0.005	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Air relative humidity (%)	50.0	% (base 100)	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Air flow rate	100	kg/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Air pressure	1.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Air-side pressure drop	0.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

FIGURA 43

3) Type930 batteria di riscaldamento dell'aria.



La batteria di riscaldamento dell'aria entra in funzione solamente nell'orario di funzionamento dell'impianto quando all'interno della palestra viene raggiunta una temperatura inferiore a 19°C . In Fig. 45 sono indicati i valori impostati nei dati di input impostati ovvero la temperatura (20°C), la pressione (1 atm) dell'aria in ingresso e la capacità di riscaldamento (2 kW).

E' stato impostato un controllo ON-OFF differenziale con ciclo di isteresi sulla batteria di riscaldamento dell'aria, ottenuto inserendo il Type2b all'interno dell'interfaccia grafica e ponendolo in collegamento tra Type di calcolo denominato PAL e il Type93. Tale Type2b genera una funzione di controllo che può avere un valore di 1 o 0. Il valore del segnale di controllo (Fig. 44) viene scelto in funzione della temperatura superiore di input ($T_h=19^\circ\text{C}$), della temperatura di monitoraggio ($T_{in}=20^\circ\text{C}$) e impostando la variazione di temperatura ($\pm 0.5^\circ\text{C}$) rispetto alla temperatura T_h , alla quale il controllo accende o spegne la batteria, in particolare si accende in fase di riscaldamento a $18,5^\circ\text{C}$ e si spegne a $19,5^\circ\text{C}$ per poi riattivarsi quando la temperatura ritorna a $18,5^\circ\text{C}$.

(palestra13) Type2b-4

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
		Name	Value	Unit	More	Macro
1		Upper input temperature T_h	19	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2		Lower input temperature T_l	10.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3		Monitoring temperature T_{in}	20.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4		Input control function	0	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5		Upper dead band dT	0.5	Temp. Difference	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6		Lower dead band dT	-0.5	Temp. Difference	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

FIGURA 44

In Fig. 45 all'interno del Type930 sono stati impostati la capacità di riscaldamento della batteria pari a 2 kW e la pressione dell'aria in ingresso pari a 1 atm.

(palestra13) Type930

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
		Name	Value	Unit	More	Macro
1		Inlet air temperature	20.0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2		Inlet air humidity ratio	0.008	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3		Inlet air %RH	50.0	%(base 100)	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4		Air flow rate	1000.0	kg/hr	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5		Inlet air pressure	1.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6		Heating capacity	2	kW	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7		Control function	1.0	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8		Air-side pressure drop	0.0	atm	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

FIGURA 45

4) Type574



Richiede come parametri il numero di persone all'interno della palestra e permette di impostare la tipologia di attività fisica eseguita dalle persone nella palestra al fine di considerare il guadagno termico dovuto al calore totale sviluppato e all'umidità creata. In questo modo è stato considerato il calore totale come composizione di una parte dovuta a fenomeni radioattivi (**CTrad**) e una parte dovuta a fenomeni convettivi (**CTcon**) in funzione di un valore costante di convezione impostato come **perc_conv**. In Fig. 46 sono visibili i dati di input e output all'interno del Type di calcolo denominato "EQUA" sotto forma di equazioni.

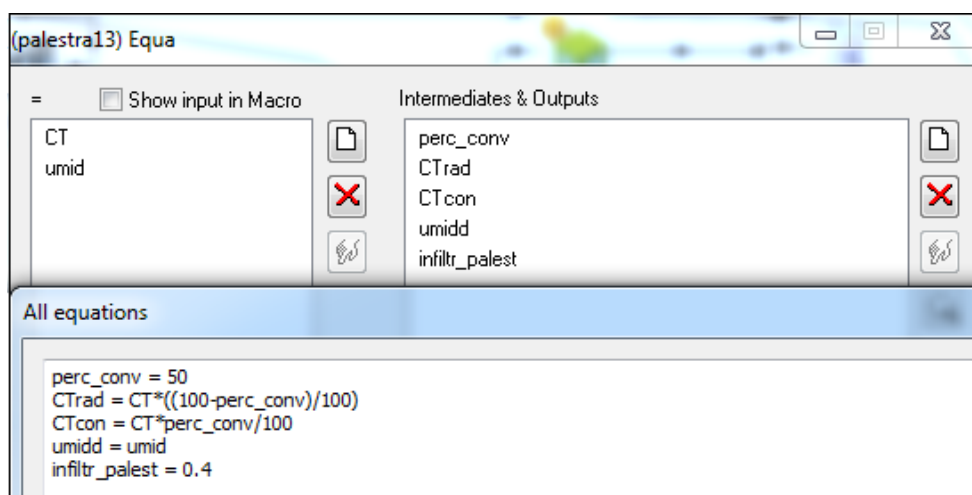
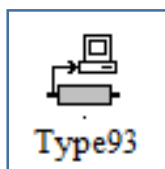


FIGURA 46

Infine sono stati utilizzati altri Type all'interno del software:

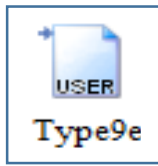
1. Type93



Posto in collegamento con il software di simulazione Building e il Type di calcolo PAL permette un perfezionamento del sistema in quanto genera un controllo sui valori in base a un passo temporale precedente riuscendo così a modificarli qualora necessario nel passo temporale

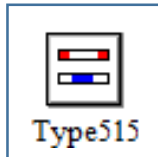
successivo. Quindi è molto utile in quanto sulla base del passo temporale precedente si modifica la portata di ventilazione andando ad aumentarla o a diminuirla.

2. **Type9e**



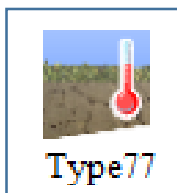
Permette l'inserimento all'interno del software dei dati relativi all'orario dei corsi e al rispettivo numero di persone presenti all'interno della palestra.

3. **Type515**



Permette di considerare il periodo all'interno del quale fare funzionare il condizionamento invernale ed estivo. Per quanto riguarda il condizionamento invernale si è deciso di accenderlo in data 1 ottobre e di spegnerlo in data 30 marzo mentre il condizionamento estivo si accende il 1 aprile e si spegne il 21 settembre.

4. **Type77**



Permette di considerare la temperatura e la diffusività termica del suolo.

In Fig. 47 nella pagina successiva è rappresentato il programma completo relativo alla gestione della ventilazione negli spogliatoi e nella palestra.

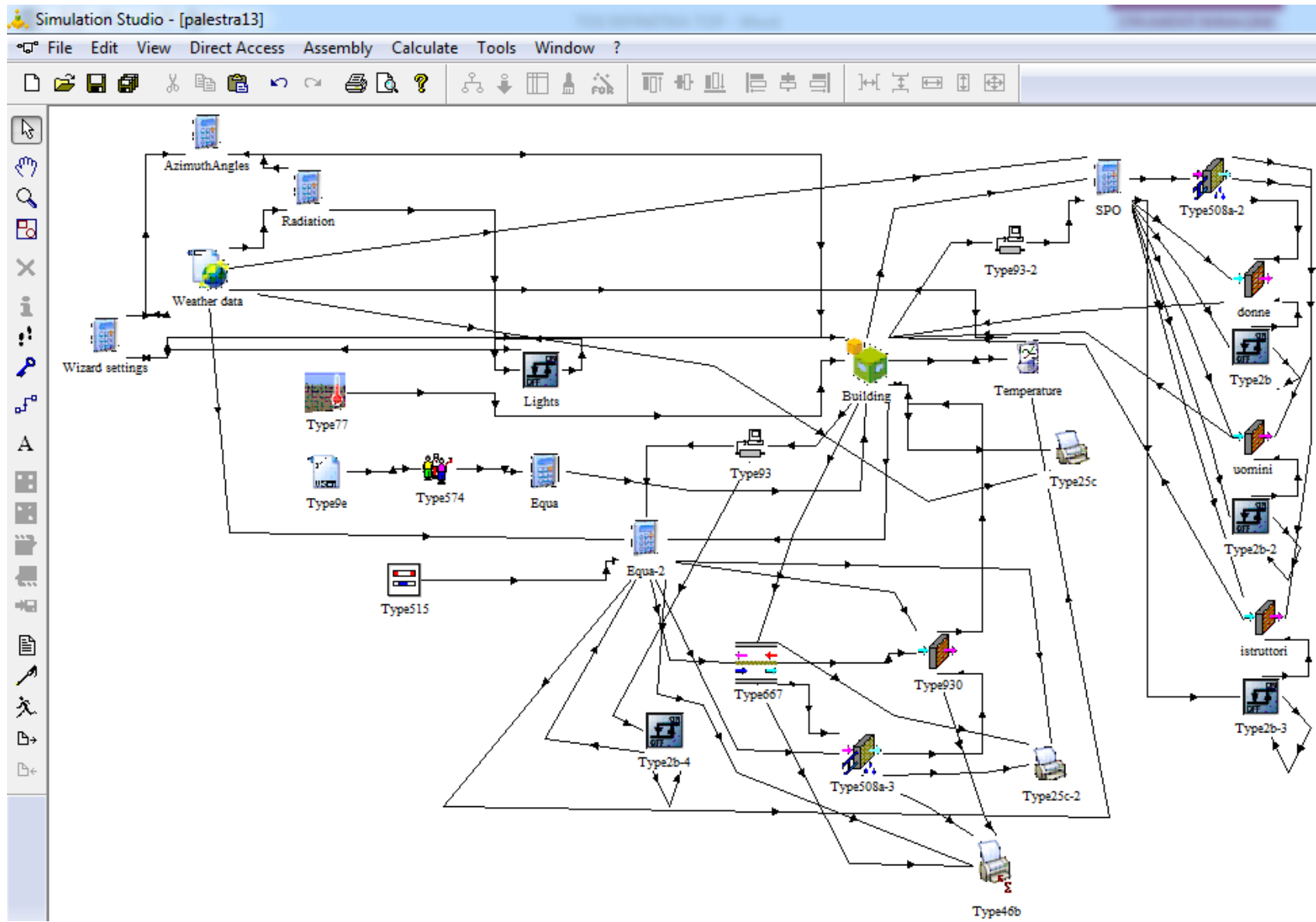


FIGURA 47

Il risultato finale è stata la realizzazione di due sistemi di ventilazione, uno relativo agli spogliatoi e uno relativo alla palestra, quest'ultimo è stato oggetto della valutazione dinamica dell'impianto.

La parte relativa alla ventilazione degli spogliatoi comprende una batteria di deumidificazione dell'aria utilizzata durante il periodo estivo per deumidificare e raffreddare l'aria proveniente dall'esterno, a valle di tale batteria l'impianto si suddivide in 3 parti relative allo spogliatoio uomini, donne e istruttori, all'interno delle quali la portata d'aria è suddivisa raggiungendo in ciascun caso una batteria di riscaldamento dell'aria utilizzata al fine di mantenere gli spogliatoi ad una temperatura di 20°C. Nel periodo invernale si utilizza la batteria di riscaldamento per garantire all'interno degli spogliatoi una temperatura di almeno 20°C.

Per quanto riguarda la parte relativa alla palestra, oggetto di studio dinamico della tesi, è stato realizzato un impianto di ventilazione costituito da uno recuperatore di calore aria-aria, una batteria di deumidificazione e una batteria di riscaldamento dell'aria.

In particolare bisogna distinguere il funzionamento dell'impianto di ventilazione nel periodo invernale e nel periodo estivo.

Nel periodo estivo si deumidifica l'aria prelevata dall'esterno, facendola entrare nella batteria di deumidificazione al cui interno è presente un impianto di ricircolo di acqua a bassa temperatura dentro una serpentina. Il vapore acqueo presente nell'aria calda si condensa quando l'aria entra in contatto con la serpentina a temperatura inferiore, otteniamo così dell'aria raffreddata e deumidificata la quale attraverserà successivamente la batteria di riscaldamento, la quale entra in funzione solamente nell'orario di funzionamento dell'impianto e ha un controllo ON-OFF con ciclo di isteresi, ovvero si accende in fase di riscaldamento a 18,5°C e si spegne a 19,5 °C per poi riattivarsi quando la temperatura ritorna a 18,5°C, per poi entrare nella palestra.

Nel periodo invernale l'aria esterna passa attraverso uno recuperatore di calore aria-aria, il cui funzionamento è stato impostato secondo una logica di controllo che è funzione della

temperatura interna alla palestra, ovvero se la temperatura all'interno della palestra è maggiore di 21°C il recuperatore non funziona. Successivamente la portata d'aria raggiunge la batteria di riscaldamento per poi entrare nella palestra.

La batteria di riscaldamento entra in funzione solamente nell'orario di funzionamento dell'impianto e ha un controllo ON-OFF con ciclo di isteresi, ovvero si accende in fase di riscaldamento a 18,5°C e si spegne a 19,5 °C per poi riattivarsi quando la temperatura ritorna a 18,5°C.

La portata d'aria utilizzata durante il periodo invernale e durante il periodo estivo viene calcolata considerando l'umidità relativa presente all'interno della palestra, in particolare viene calcolata considerando un range composto da 4 valori dell'umidità relativa, ovvero definendo un umidità relativa massima (70%), media (55%) e minima (40%). L'umidità presente all'interno della palestra varierà all'interno di tali valori, potrà essere minore di 40, compresa tra 40 e 55, compresa tra 55 e 70 oppure maggiore di 70. In base ai valori di umidità riscontrati nel passo temporale precedente il sistema di ventilazione modifica il valore successivo della portata d'aria all'interno della stanza.

Il sistema di ventilazione, eroga sempre una portata minima di aria che è 250 m³/h oltre alla quale abbiamo individuato i 4 step di portata (250-500-750-1000 m³/h) che vanno a definire la portata d'aria totale iniziale, la quale varierà in funzione delle condizioni climatiche all'interno della palestra.

L'impianto di ventilazione è stato realizzato considerando un'accensione automatica del condizionamento estivo e invernale in determinati giorni dell'anno, per quanto riguarda l'accensione quotidiana dell'impianto, avviene ovviamente nei giorni della settimana nei quali la palestra è aperta e si verifica un'ora prima dell'apertura al fine di garantire soprattutto nel periodo invernale un temperatura adeguata al suo interno del locale all'arrivo delle persone.

6) SIMULAZIONE E ANALISI DEI DATI DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE PALESTRA

Impostati i parametri necessari per il calcolo ventilazione dell'edificio, si è effettuata un'analisi dinamica di tale sistema concentrandosi sulla parte relativa alla ventilazione all'interno della palestra, in particolare sono state eseguite diverse simulazioni dell'impianto in esame andando a variare i valori di alcuni parametri relativi al deumidificatore dell'aria, alla batteria di riscaldamento dell'aria e alla portata d'aria dell'impianto al fine di determinare l'andamento, in relazione ai valori dell'ambiente esterno, della temperatura e dell'umidità relativa all'interno della palestra con lo scopo di migliorare i parametri termoigrometrici agendo sulle caratteristiche dei componenti dell'impianto.

La simulazione ha un passo temporale della durata di un anno solare considerato pari a 8760 ore, quindi 525600 minuti. L'impostazione data al software prevede la suddivisione delle 24 ore giornaliere in periodi temporali rappresentanti intervalli di 5 minuti, al fine di garantire una simulazione grafica sufficientemente dettagliata. Così facendo si avrà per ciascuna simulazione annuale un campione di 105120 periodi temporali. Ogni mese è composto da 730 ore quindi 43800 minuti, sarà perciò compreso in 8760 periodi temporali di simulazione, infatti moltiplicando $8760 * 12$ mesi si ottiene 105120 periodi.

In Fig. 48 è visibile un esempio di simulazione dell'impianto di ventilazione in cui viene rappresentato l'andamento della temperatura e dell'umidità relativa all'interno della palestra.

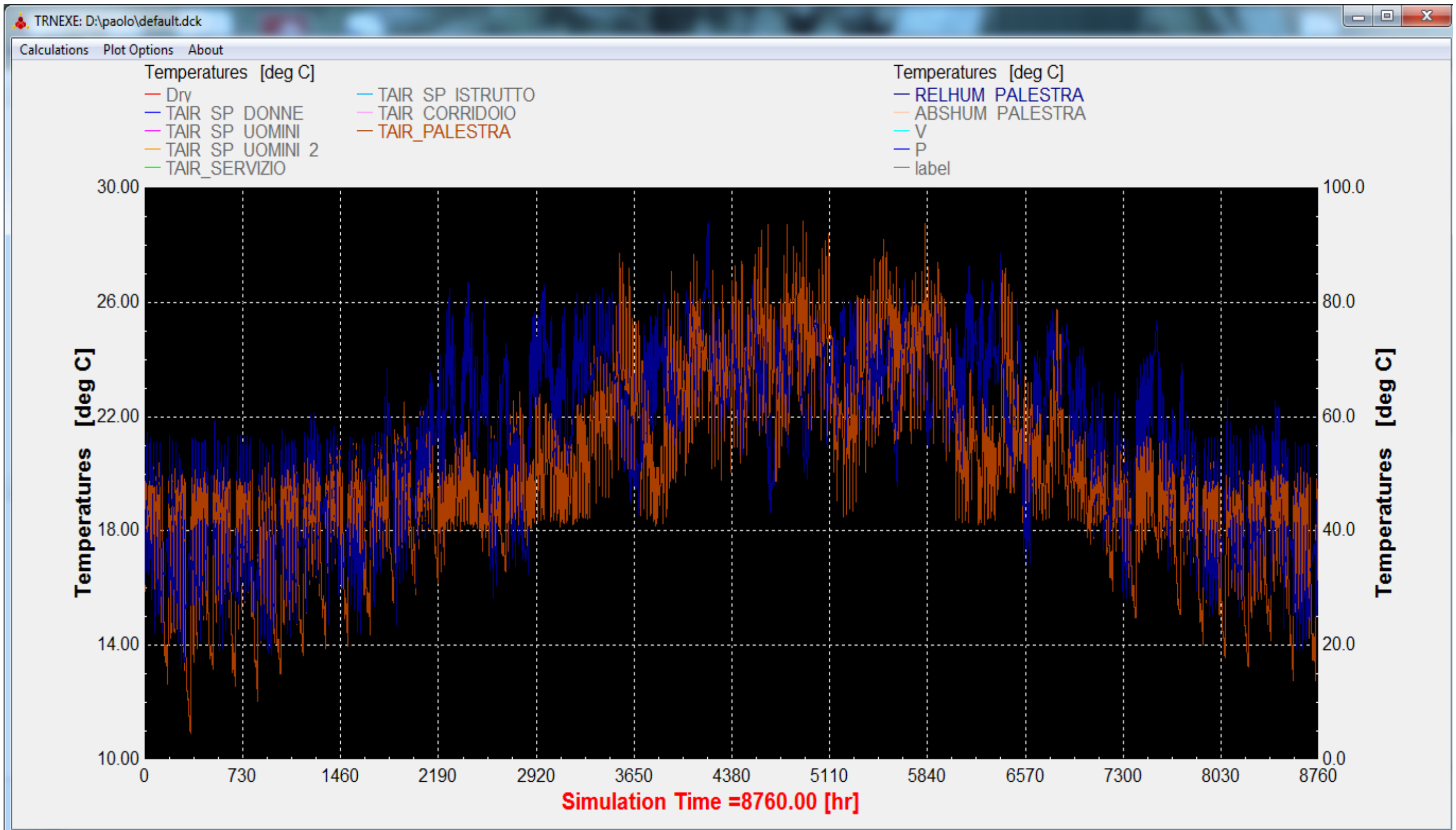


FIGURA 48

Nello svolgere le simulazioni si è posta particolare attenzione ai giorni nei quali è stata raggiunta la temperatura maggiore e minore nell'ambiente esterno quindi dopo un'attenta analisi ci si è concentrati sui mesi di gennaio e agosto all'interno dei quali sono stati individuati i valori più bassi e più alti della temperatura dell'ambiente durante l'anno solare. Successivamente sono state eseguite le simulazioni annuali variando i seguenti tre parametri:

- Temperatura del fluido refrigerante 7°C e 9°C.
- Potenza della batteria di riscaldamento dell'aria 2 kW e 3 kW.
- Portata d'aria dell'impianto di ventilazione.

Per quanto riguarda la portata d'aria dell'impianto di ventilazione sono state considerate quattro portate d'aria diverse:

- $\dot{V} = \rho \cdot (150 \cdot UR_0 + 400 \cdot UR_1 + 650 \cdot UR_2 + 900 \cdot UR_3) \cdot IMP.$
- $\dot{V} = \rho \cdot (250 \cdot UR_0 + 500 \cdot UR_1 + 750 \cdot UR_2 + 1000 \cdot UR_3) \cdot IMP$
- $\dot{V} = \rho \cdot (450 \cdot UR_0 + 700 \cdot UR_1 + 950 \cdot UR_2 + 1200 \cdot UR_3) \cdot IMP.$
- $\dot{V} = \rho \cdot (600 \cdot UR_0 + 850 \cdot UR_1 + 1100 \cdot UR_2 + 1350 \cdot UR_3) \cdot IMP.$

Ciascuna portata d'aria è relazionata alla densità dell'aria (dens) e al funzionamento dell'impianto (IMP), tali portate d'aria considerano un ricambio d'aria minimo pari rispettivamente a 150 m³h⁻¹, 250 m³h⁻¹, 450 m³h⁻¹ e 600m³h⁻¹ per poi aumentare fino a un valore massimo 900 m³h⁻¹, 1000 m³h⁻¹, 1200 m³h⁻¹, e 1350 m³h⁻¹ in funzione dell'umidità relativa rilevata UR₀-UR₁-UR₂-RU₃.

Tali valori di umidità relativa UR₀-UR₁-UR₂-RU₃ sono i seguenti:

- UR₀ per un'umidità relativa con valore minore al 40%.
- UR₁ per un'umidità relativa compresa tra il 40-55%.
- UR₂ per un'umidità relativa compresa tra il 55%-70%.
- UR₃ per un'umidità relativa con valore maggiore al 70%.

Definiti per ciascuna simulazione i corrispondenti parametri dei componenti e la portata d'aria in esame, sono stati riportati all'interno di fogli Excel i dati in uscita dalle simulazioni, con lo scopo di selezionare esclusivamente i periodi temporali di interesse, ovvero il mese

di gennaio e il mese di agosto all'interno dei quali la temperatura dell'ambiente esterno raggiunge i valori più bassi e più alti, a seguito di ciò è stata eseguita un'ulteriore selezione in quanto il valore minimo della temperatura nel mese di gennaio (-7°C) e il valore massimo della temperatura nel mese di agosto (36°C) si verificavano quando l'impianto non era in funzione ovvero nei giorni di chiusura della palestra, per questo motivo ci si è concentrati nel ricercare le temperature più prossime ai valori minimi e massimi in corrispondenza con il funzionamento dell'impianto in particolare :

- 23-24 gennaio corrispondenti ai periodi dal 6624 al 7200 della simulazione.
- 25-26 agosto corrispondenti ai periodi dal 68544 al 69120 della simulazione.

Individuati tali intervalli i valori della temperatura e dell'umidità relativa all'interno della palestra variavano in relazione a questi 5 parametri:

- Temperatura e umidità relativa dell'ambiente esterno;
- Potenza termica della batteria di riscaldamento;
- Temperatura del fluido refrigerante in ingresso alla batteria di deumidificazione;
- Portata d'aria dell'impianto di ventilazione.

In questo modo si è proceduto alla valutazione della portata d'aria con cui dimensionare il sistema di ventilazione al fine di garantire nel periodo invernale le condizioni ottimali dell'aria all'interno della palestra, andando successivamente ad analizzare anche il periodo estivo.

6.1 ANALISI DEI DATI DI SIMULAZIONE NEL MESE DI GENNAIO

Il problema reale che ha portato all'analisi dinamica dell'impianto oggetto della presente tesi è dovuto al fatto che, nel periodo invernale, la temperatura all'interno della palestra durante l'arco della giornata e in particolare negli orari pomeridiani/serali in cui si raggiunge il massimo numero di persone, supera i 22°C arrivando fino a 23°C-23.5°C con picchi di umidità relativa fino a 65-70%.

L'obiettivo è quello di ridurre e cioè di evitare il raggiungimento di tali valori di temperatura e umidità relativa nel periodo in cui è attivato il condizionamento invernale andando a garantire allo stesso tempo una temperatura minima sostenibile all'interno della palestra.

Individuati i due giorni consecutivi nel mese di gennaio, all'interno dei quali la temperatura esterna ha raggiunto, durante il funzionamento dell'impianto, un valore in prossimità del valore minimo mensile, sono stati analizzati i valori della simulazione al fine di poter scegliere tra le varie portate d'aria la più adatta per garantire le condizioni ottimali dell'aria all'interno della palestra.

Tale scelta è stata effettuata confrontando i valori in uscita dalla simulazione al variare della potenza termica della batteria di ventilazione e della portata d'aria dell'impianto.

In particolare, per quanto riguarda l'andamento della temperatura all'interno della palestra nel mese di gennaio è visibile, nella tabella 2, pag.52-53, una raccolta di dati relativa alla giornata nella quale la temperatura raggiunge il valore mensile minimo in corrispondenza del funzionamento dell'impianto. Tale raccolta dati comprendente l'orario, la temperatura dell'ambiente esterno, la potenza termica della batteria di riscaldamento e le temperature all'interno della palestra al variare della portata d'aria e della potenza termica della batteria. Come si può notare a impianto avviato, in corrispondenza con l'inizio dei corsi ore 7:00, la temperatura nell'ambiente esterno risulta essere -5.5° C, in questo caso il raggiungimento della temperatura di 18°C (condizione minima di temperatura) è ottenibile utilizzando la

batteria con capacità di riscaldamento di 3 kW per una portata d'aria dell'impianto di ventilazione pari a $\dot{V} = \rho \cdot (250 \cdot UR_0 + 500 \cdot UR_1 + 750 \cdot UR_2 + 1000 \cdot UR_3) \cdot IMP$.

Si può notare che aumentando la portata d'aria all'interno della palestra a parità di potenza termica della batteria, le temperature al suo interno continuano a scendere anziché aumentare: significa che per tali portate la batteria di riscaldamento dell'aria non ha una potenza termica adeguata.

In conseguenza di tali ragionamenti vengono esclusi i casi con portata d'aria pari a:

- $\dot{V} = \rho \cdot (150 \cdot UR_0 + 400 \cdot UR_1 + 650 \cdot UR_2 + 900 \cdot UR_3) \cdot IMP$.
- $\dot{V} = \rho \cdot (450 \cdot UR_0 + 700 \cdot UR_1 + 950 \cdot UR_2 + 1200 \cdot UR_3) \cdot IMP$.
- $\dot{V} = \rho \cdot (600 \cdot UR_0 + 850 \cdot UR_1 + 1100 \cdot UR_2 + 1350 \cdot UR_3) \cdot IMP$.

Il caso con portata pari a $\dot{V} = \rho \cdot (150 \cdot UR_0 + 400 \cdot UR_1 + 650 \cdot UR_2 + 900 \cdot UR_3) \cdot IMP$ viene escluso in quanto nelle prime ore di funzionamento dell'impianto non permette il raggiungimento della temperatura adeguata per riscaldare l'ambiente.

Si può notare che negli orari successivi la temperatura all'interno della palestra raggiunge un valore massimo alle 13:00 pari a 19.4°C per una temperatura esterna di 4.7°C per poi tornare a calare e a raggiungere un minimo di 18.7°C alle 22:00, orario di fine corsi, in corrispondenza di una temperatura esterna pari a -0.5°C. Si nota che nell'orario dalle 18:00 alle 22:00 all'interno del quale il numero di persone nella palestra raggiunge i livelli massimi, la temperatura della palestra oscilla tra i 18.7 e i 18.9 °C.

Per quanto riguarda l'umidità relativa nella tabella 2 a pag. 52-53, è presente una raccolta di dati relativa alla giornata nella quale la temperatura raggiunge il valore mensile minimo in corrispondenza del funzionamento dell'impianto. Tale raccolta dati comprendente l'orario, l'umidità relativa dell'ambiente esterno, la potenza termica della batteria di riscaldamento e le umidità relative all'interno della palestra al variare della portata d'aria e della potenza termica della batteria.

Usando la portata $\dot{V} = \rho \cdot (250 \cdot UR_0 + 500 \cdot UR_1 + 750 \cdot UR_2 + 1000 \cdot UR_3) \cdot IMP$ scelta precedentemente in funzione della temperatura all'interno della palestra si constata che dall'inizio dei corsi, ore 7:00 alle ore 10:00 l'umidità relativa assume un valore compreso tra il 19% e il 33%, in questo caso sarebbe necessario umidificare l'ambiente ma data l'affluenza minore di persone rispetto agli orari pomeridiani/serali non conviene in relazione ai costi di impianto.

Successivamente l'umidità relativa raggiunge il valore del 42% alle ore 13:00 mantenendosi su tali valori per aumentare dalle ore 18:00 in corrispondenza dell'aumento del numero delle persone all'interno della palestra, raggiungendo un valore massimo del 55% alle 21:00 per poi calare al 33% al termine dei corsi, alle ore 22:00.

In conclusione, dall'analisi dinamica dell'impianto di ventilazione della palestra nel periodo di gennaio si sceglie una batteria di riscaldamento con una potenza termica di 3kw e si dimensiona l'impianto di ventilazione con una portata $\dot{V} = \rho \cdot (250 \cdot UR_0 + 500 \cdot UR_1 + 750 \cdot UR_2 + 1000 \cdot UR_3) \cdot IMP$ variabile in funzione dell'umidità relativa presente all'interno della palestra.

In Fig. 49 e 50 alle pag. 54 e 55 sono visibili gli andamenti di temperatura e umidità relativa nei due giorni analizzati.

Inoltre nelle Fig. 51, 52, 53 e 54 sono visibili i grafici degli andamenti della temperatura e dell'umidità relativa riportati all'interno della Tab. 2.

TEMPERATURA GENNAIO (T)							UMIDITA' RELATIVA GENNAIO (UR%)						
<u>TIME</u>	<u>T.</u> <u>Est.</u>	<u>Pot. Batt.</u> <u>(kW)</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q150</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q250</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q450</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q600</u>	<u>TIME</u>	<u>UR%</u> <u>Est.</u>	<u>Pot. Batt.</u> <u>(Kw)</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q150</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q250</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q450</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q600</u>
07:00	-5.5	2	16.7	16.2	15.3	14.7	07:00	98	2	21	21	22	23
		3	17.0	17.9	16.9	16.3			3	21	19	20	21
9:00	-3.8	2	17.5	16.9	15.7	14.9	9:00	90	2	25	23	22	23
		3	17.8	19.0	17.8	16.9			3	25	20	20	21
10:00	-0.8	2	18.9	18.3	17.1	16.3	10:00	78	2	38	36	34	33
		3	19.1	19.3	19.3	18.4			3	38	33	29	29
13:00	4.7	2	19.7	19.4	19.4	18.6	13:00	59	2	43	42	37	36
		3	19.7	19.4	19.0	19.6			3	43	42	37	34

TABELLA 2

TEMPERATURA GENNAIO (T)							UMIDITA' RELATIVA GENNAIO (UR%)						
<u>TIME</u>	<u>T.</u> <u>Est.</u>	<u>Pot. Batt.</u> <u>(kW)</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q150</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q250</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q450</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q600</u>	<u>TIME</u>	<u>UR%</u> <u>Est.</u>	<u>Pot. Batt.</u> <u>(Kw)</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q150</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q250</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q450</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q600</u>
15:00	4.9	2	19.1	18.5	18.4	18.8	15:00	58	2	47	44	41	36
		3	19.2	18.4	20.0	19.2			3	46	44	39	38
18:00	1.6	2	19.5	19.5	19.3	18.7	18:00	71	2	49	44	40	39
		3	19.7	19.0	18.9	18.6			3	48	46	42	41
19:00	1.1	2	18.8	18.6	19.7	19.5	19:00	72	2	54	53	44	41
		3	18.9	18.7	18.4	19.2			3	55	53	48	42
21:00	0.0	2	18.8	18.6	19.4	18.5	21:00	76	2	55	53	45	43
		3	18.9	18.9	19.4	18.4			3	55	55	45	44
22:00	-0.5	2	18.6	18.3	18.5	17.6	22:00	77	2	34	32	27	26
		3	19	18.7	19.5	18.6			3	33	32	25	25

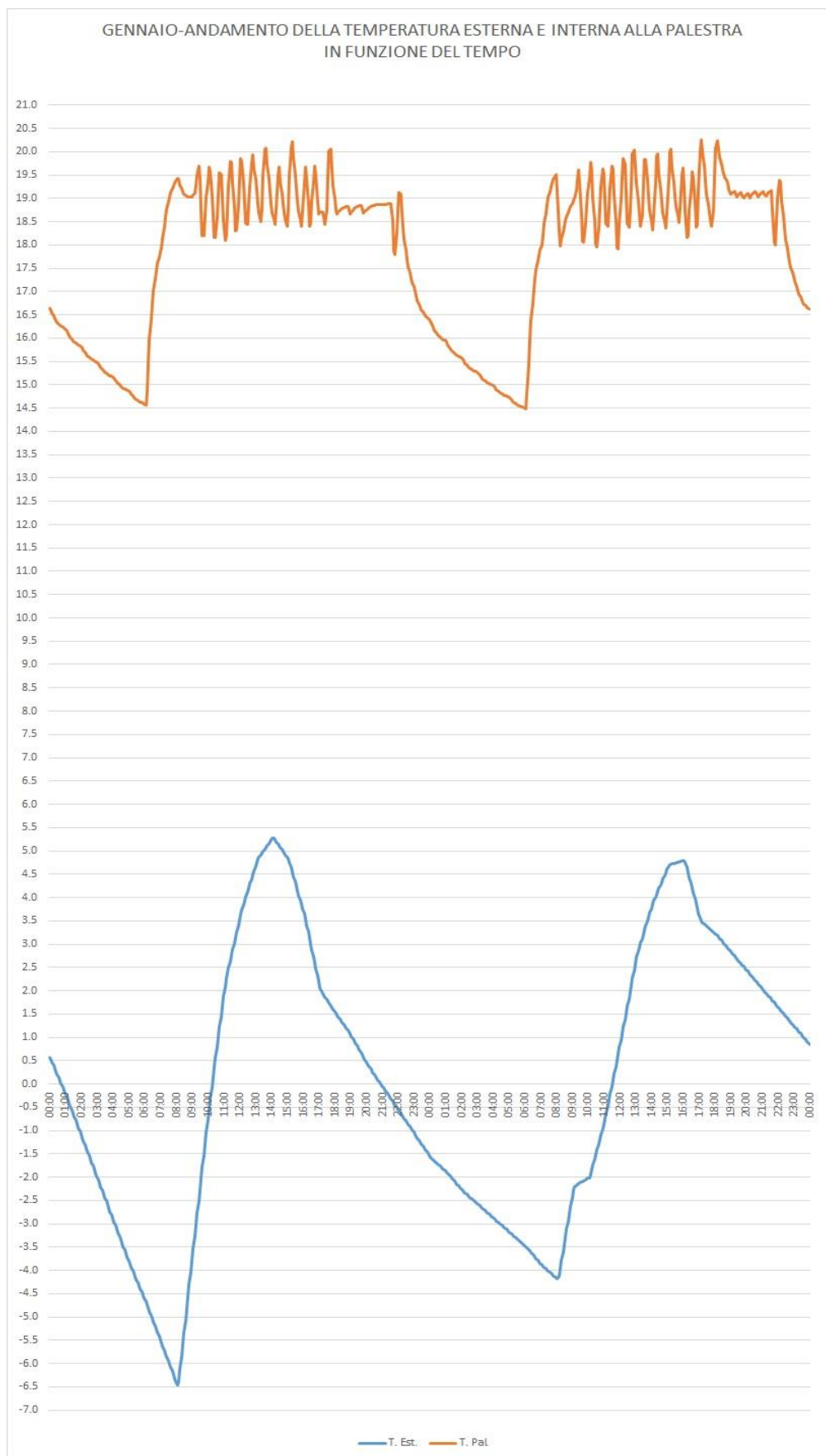


FIGURA 49

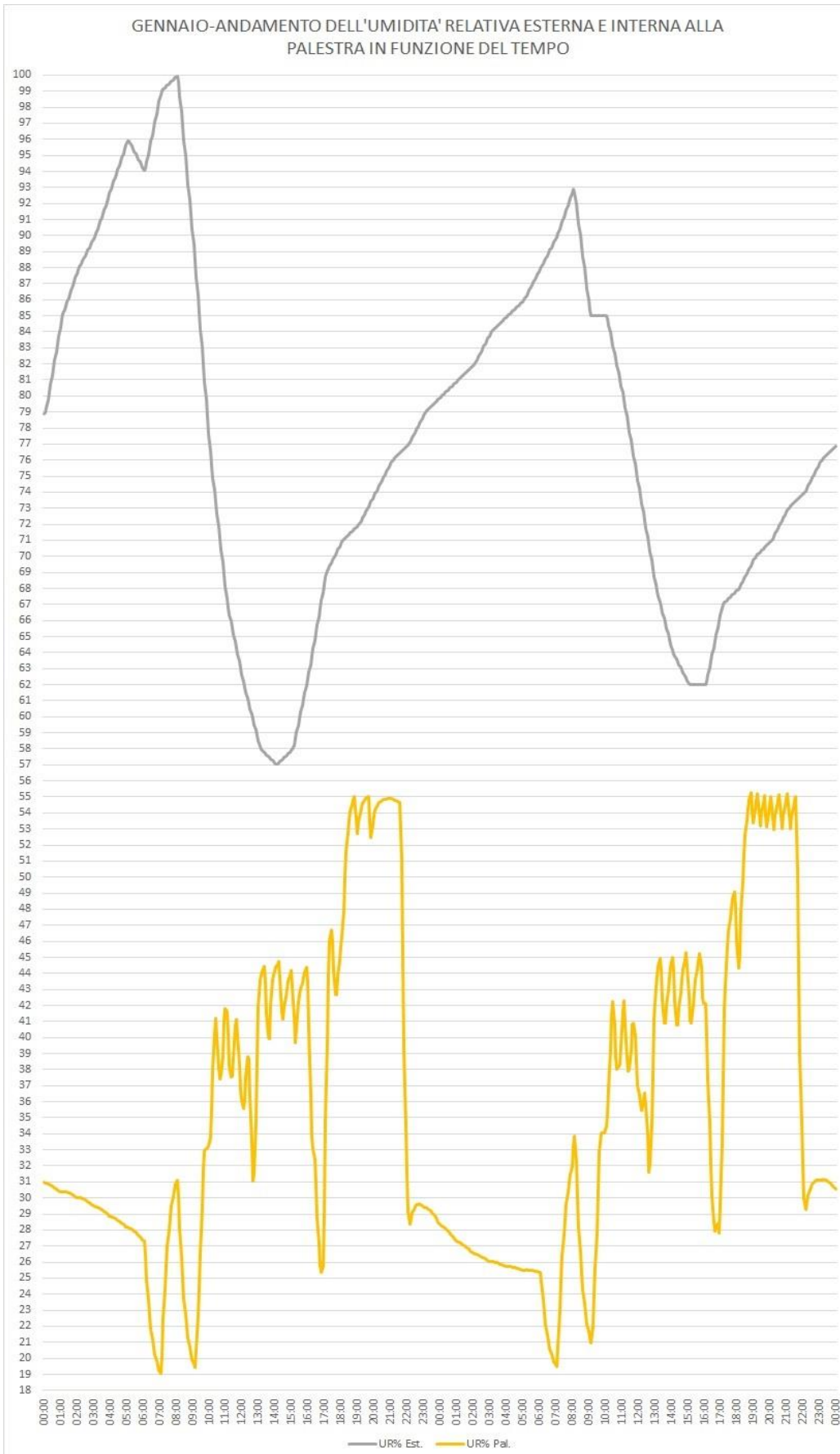


FIGURA 50

ANDAMENTO GIORNALIERO DELLA TEMPERATURA ALL'INTERNO DELLA PALESTRA IN FUNZIONE DEL TEMPO
 CONSIDERANDO UNA POTENZA TERMICA DELLA BATTERIA DI RISCALDAMENTO PARI A 2 kW

GENNAIO

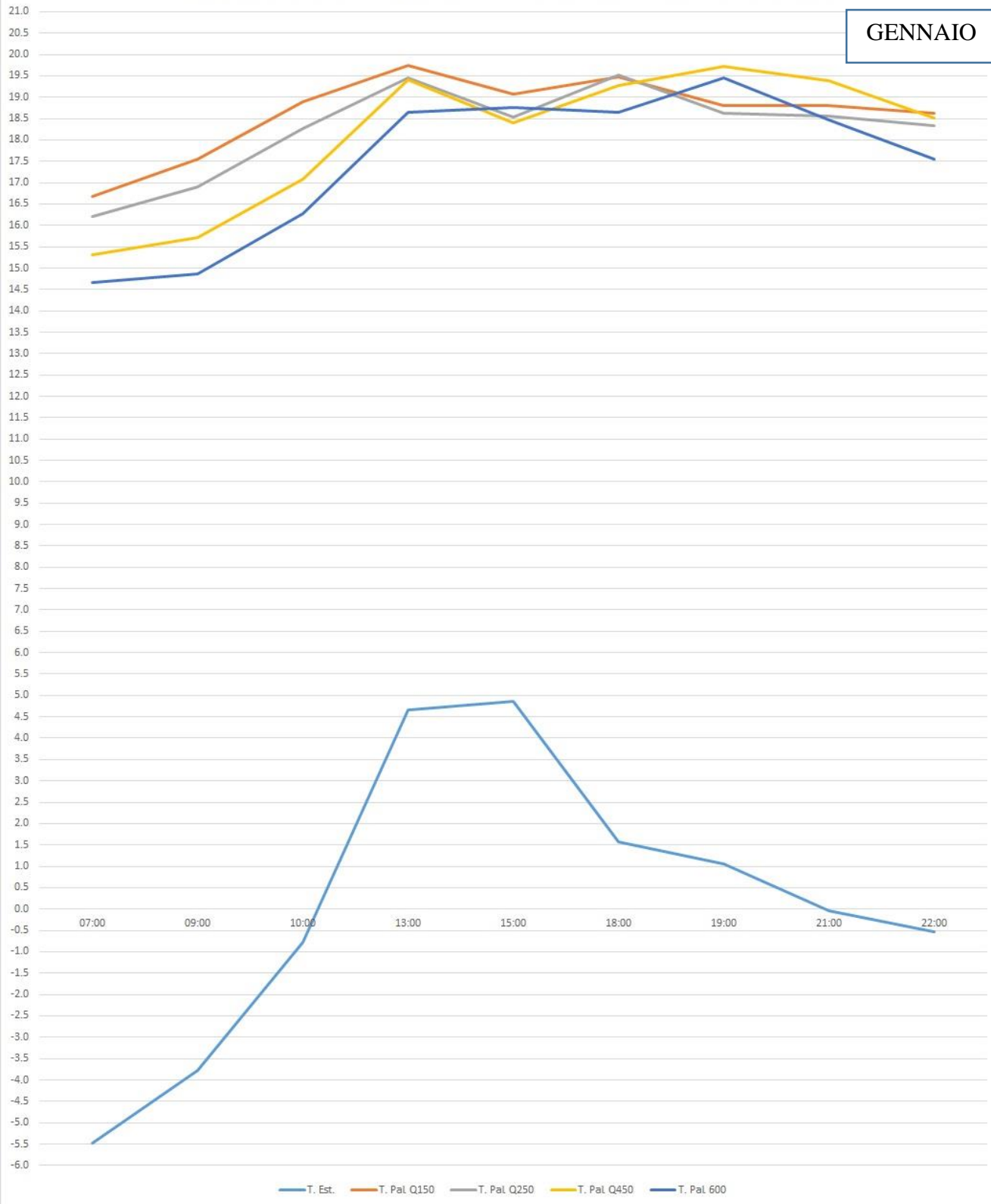


FIGURA 51

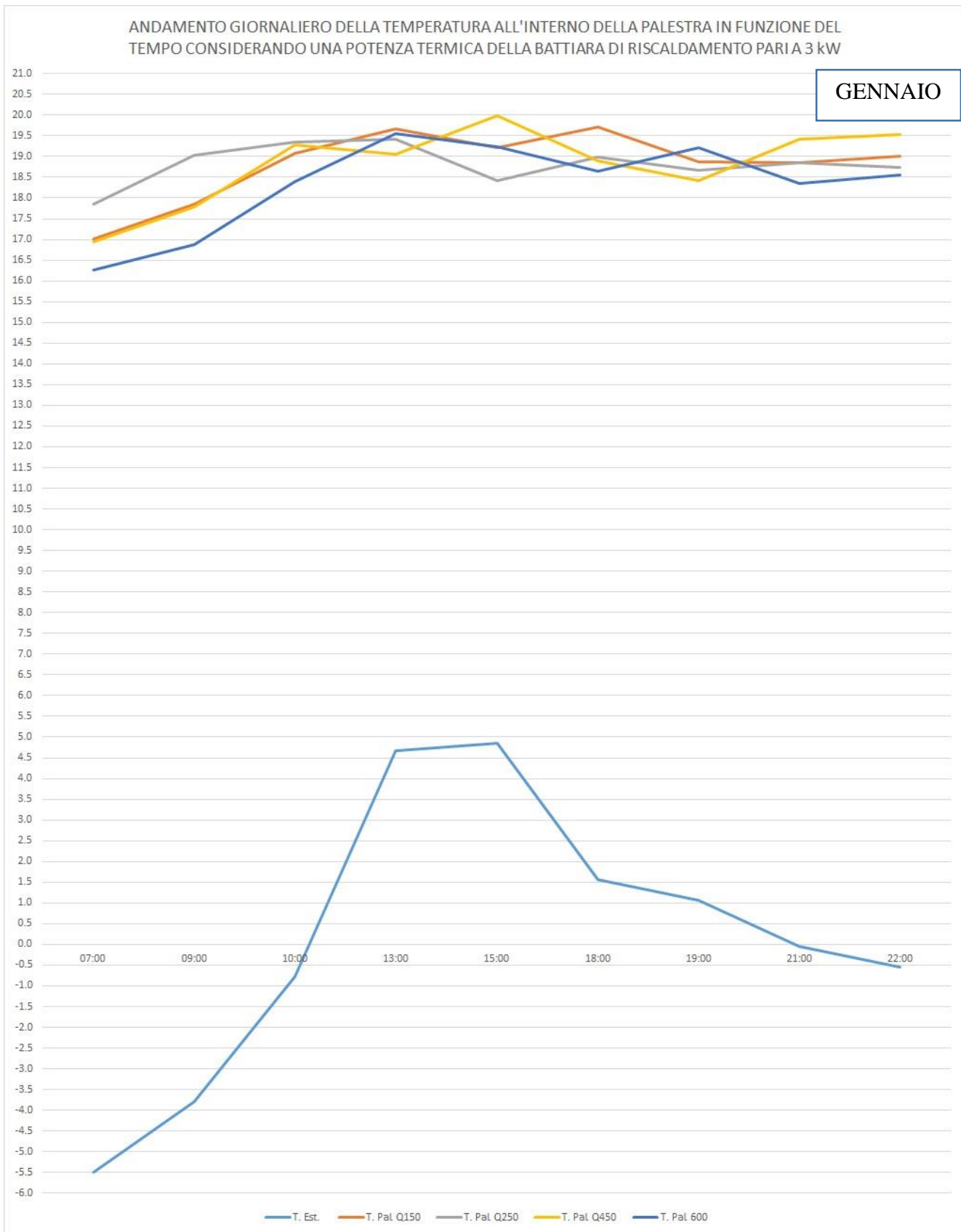


FIGURA 52

ANDAMENTO GIORNALIERO DELL'UMIDITA' RELATIVA ALL'INTERNO DELLA PALESTRA AL VARIARE DEL TEMPO
 CONSIDERANDO UNA POTENZA TERMICA DELLA BATTERIA DI RISCALDAMENTO PARI A 2 kW.

GENNAIO

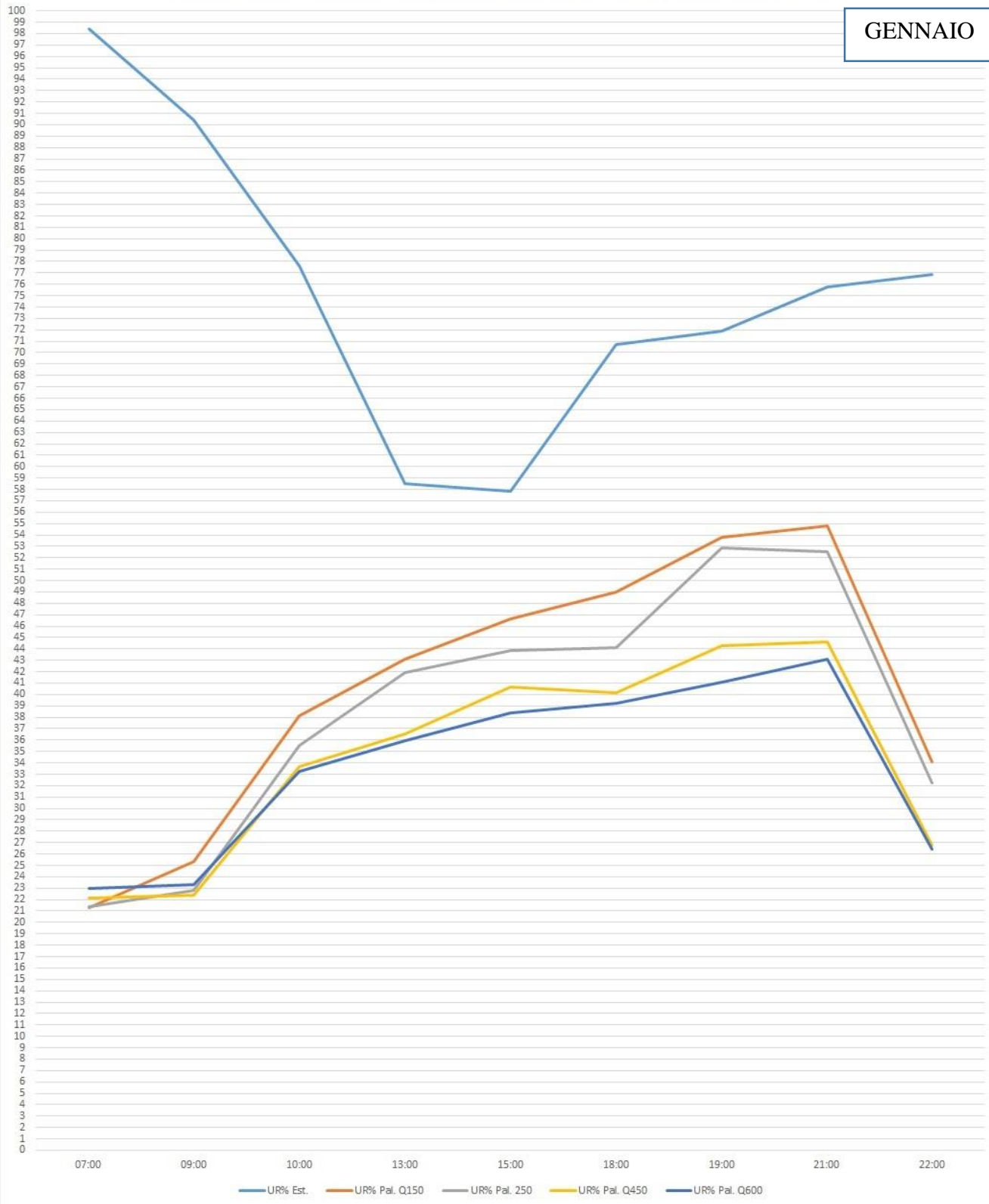


FIGURA 53

ANDAMENTO DELL'UMIDITA' RELATIVA ALL'INTERNO DELLA PALESTRA IN FUNZIONE DEL TEMPO
 CONSIDERANDO UNA POTENZA TERMICA DELLA BATTERIA DI RISCALDAMENTO PARI A 3kW.

GENNAIO

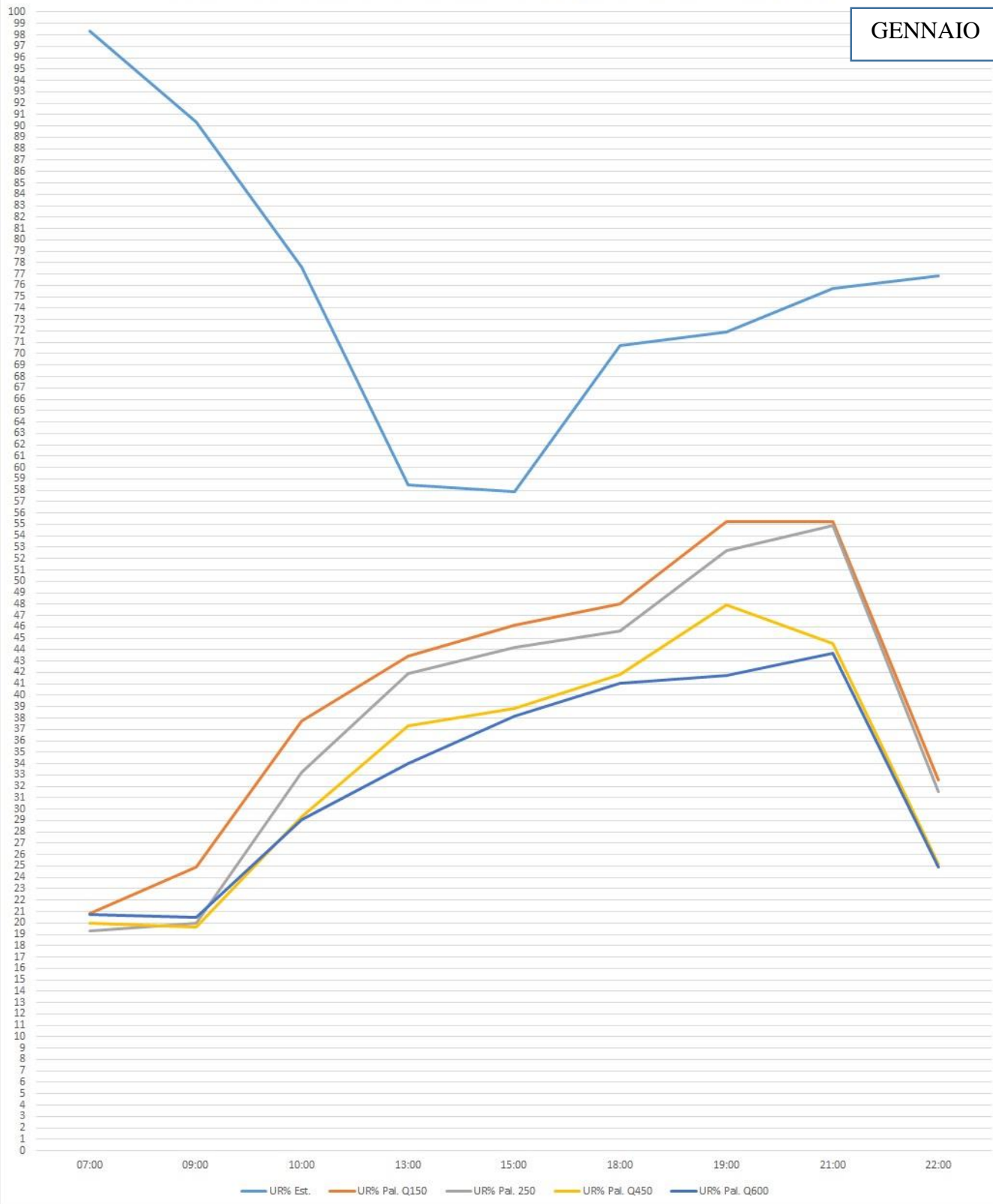


FIGURA 54

6.2 ANALISI DEI DATI DI SIMULAZIONE NEL MESE DI AGOSTO

Si passa poi ad analizzare il mese di agosto, nel quale le temperature raggiungono il valore maggiore; si può notare dalla Tab. 3 alle pag. 62 e 63 che la portata d'aria $\dot{V} = \rho \cdot (250 \cdot UR_0 + 500 \cdot UR_1 + 750 \cdot UR_2 + 1000 \cdot UR_3) \cdot IMP$ scelta nel periodo invernale è adatta anche al periodo estivo in quanto per tale portata la temperatura all'interno della palestra ha valori accettabili, in particolare per il periodo estivo si tratta di considerare la scelta del deumidificatore o, meglio, la scelta della temperatura del fluido refrigerante.

Sono state valutate nelle simulazioni due temperature del fluido refrigerante in ingresso nella batteria di deumidificazione, in particolare 7°C e 9°C.

Con temperatura del refrigerante di 7°C la temperatura all'interno della palestra all'inizio dei corsi, ore 7:00 risulta pari a 19.5°C per poi salire nell'arco della giornata raggiungendo un valore pari a 22.7°C alle ore 15:00 in corrispondenza di una temperatura esterna massima di 32.4°C. Dalle 18:00 fino alle 22:00 orario di fine corsi si può osservare che per una diminuzione della temperatura esterna si verifica un aumento della temperatura interna alla palestra raggiungendo il valore massimo di 23.9°C alle ore 19:00 in corrispondenza di una temperatura esterna di 28.7°C, ciò è dovuto all'aumento dell'affluenza delle persone all'interno della palestra.

Utilizzando una temperatura di 9°C di immissione del fluido refrigerante nella batteria si nota che la differenza della temperatura all'interno della palestra in relazione alla stessa data dal refrigerante alla temperatura di 7°C è minima, in particolare varia tra i 0.5°C e i 0.7°C durante il funzionamento dell'impianto. Quindi si sceglie il caso con una temperatura del refrigerante pari a 9°C considerando anche i minori costi dell'impianto a seguito di tale scelta.

Per quanto riguarda l'umidità relativa si constata dalla tabella 3 a pag. 62 e 63 che indipendentemente dall'utilizzo del refrigerante acqua alla temperatura di 7°C o 9°C l'umidità relativa nel periodo estivo mantiene valori tra il 61% e il 67% e con una differenza

percentuale di umidità relativa tra i due casi dell'1%, andando a ridurre la temperatura di immissione del refrigerante alla batteria fino a 5°C e avviando la simulazione si è osservato che la variazione percentuale rispetto ai casi precedenti è sempre dell'1%, quindi anche in questo caso l'umidità relativa all'interno della palestra rimane comunque alta.

Questa problematica non era stata fatta presente dal titolare della palestra e si è palesata svolgendo la progettazione dell'impianto, in particolare ho valutato che nel periodo estivo l'umidità all'esterno della palestra è nettamente superiore all'umidità all'interno quindi la percezione da parte delle persone che svolgono attività fisica all'interno, inclusi istruttori e titolare dell'attività risulta distorta. Per ovviare a questo problema è valutabile un post-riscaldamento dell'aria prima dell'immissione di quest'ultima all'interno della palestra al fine di aumentare la temperatura, mantenendo l'umidità assoluta costante e quindi ridurre l'umidità relativa.

Nelle Fig. 55 e 56 a pag. 64-65, sono visibili gli andamenti della temperatura e dell'umidità relativi alla palestra in relazione con la temperatura e l'umidità relativa esterna nei due giorni in cui la temperatura esterna ha raggiunto il valore massimo in corrispondenza del funzionamento dell'impianto.

Inoltre nelle Fig. 57, 58,59 e 60 sono visibili i grafici degli andamenti della temperatura e dell'umidità relativa riportati all'interno della Tab. 3.

TEMPERATURA AGOSTO (T)							UMIDITA' RELATIVA AGOSTO (UR%)						
<u>TIME</u>	<u>T.</u> <u>Est.</u>	<u>T_{FLUIDO}</u> <u>REF.</u> <u>(°C)</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q150</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q250</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q450</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q600</u>	<u>TIME</u>	<u>UR%</u> <u>Est.</u>	<u>T_{FLUIDO}</u> <u>REF.</u> <u>(°C)</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q150</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q250</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q450</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q600</u>
07:00	22,2	7	19.9	19.5	18.9	18.6	07:00	77	T7	59	61	64	66
		9	20.3	20.0	19.5	19.2			T9	62	63	66	68
9:00	26,1	7	20.1	19.7	19.2	18.9	9:00	65	T7	61	62	66	68
		9	20.6	20.3	19.8	19.3			T9	63	65	68	73
10:00	27,5	7	21	20.6	20.1	19.6	10:00	60	T7	64	66	68	72
		9	21.5	21.2	20.4	20.2			T9	67	68	72	74
13:00	31,4	7	22.1	21.7	21.2	20.9	13:00	48	T7	64	66	68	70
		9	22.7	22.4	21.7	21.4			T9	66	67	70	73
15:00	32,4	7	23.2	22.7	22.1	21.7	15:00	46	T7	63	64	66	68
		9	23.8	23.4	22.7	22.1			T9	65	66	68	71

TEMPERATURA AGOSTO (T)							UMIDITA' RELATIVA AGOSTO (UR%)						
<u>TIME</u>	<u>T.</u> <u>Est.</u>	<u>T_{FLUIDO}</u> <u>REF.</u> <u>(°C)</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q150</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q250</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q450</u>	<u>T.Pal.</u> <u>Q600</u>	<u>TIME</u>	<u>UR%</u> <u>Est.</u>	<u>T_{FLUIDO}</u> <u>REF.</u> <u>(°C)</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q150</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q250</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q450</u>	<u>UR%</u> <u>Pal.</u> <u>Q600</u>
18:00	30.1	7	24.0	23.5	22.7	22.3	18:00	53	T7	62	63	65	66
		9	24.6	24.1	23.4	23.0			T9	64	64	66	68
19:00	28.7	7	24.5	23.9	23.1	22.6	19:00	46	T7	66	66	67	68
		9	25.1	24.6	23.7	23.3			T9	67	67	69	70
21:00	26,9	7	24.4	23.8	22.9	22.4	21:00	57	T7	66	66	67	68
		9	25.1	24.5	23.6	23.1			T9	66	67	68	69
22:00	26	7	22.3	21.7	20.8	20.3	22:00	67	T7	57	58	61	63
		9	22.9	21.4	21.5	21.1			T9	58	60	63	65

TABELLA 3

AGOSTO-ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA ESTERNA E INTERNA ALLA PALESTRA IN FUNZIONE DEL TEMPO

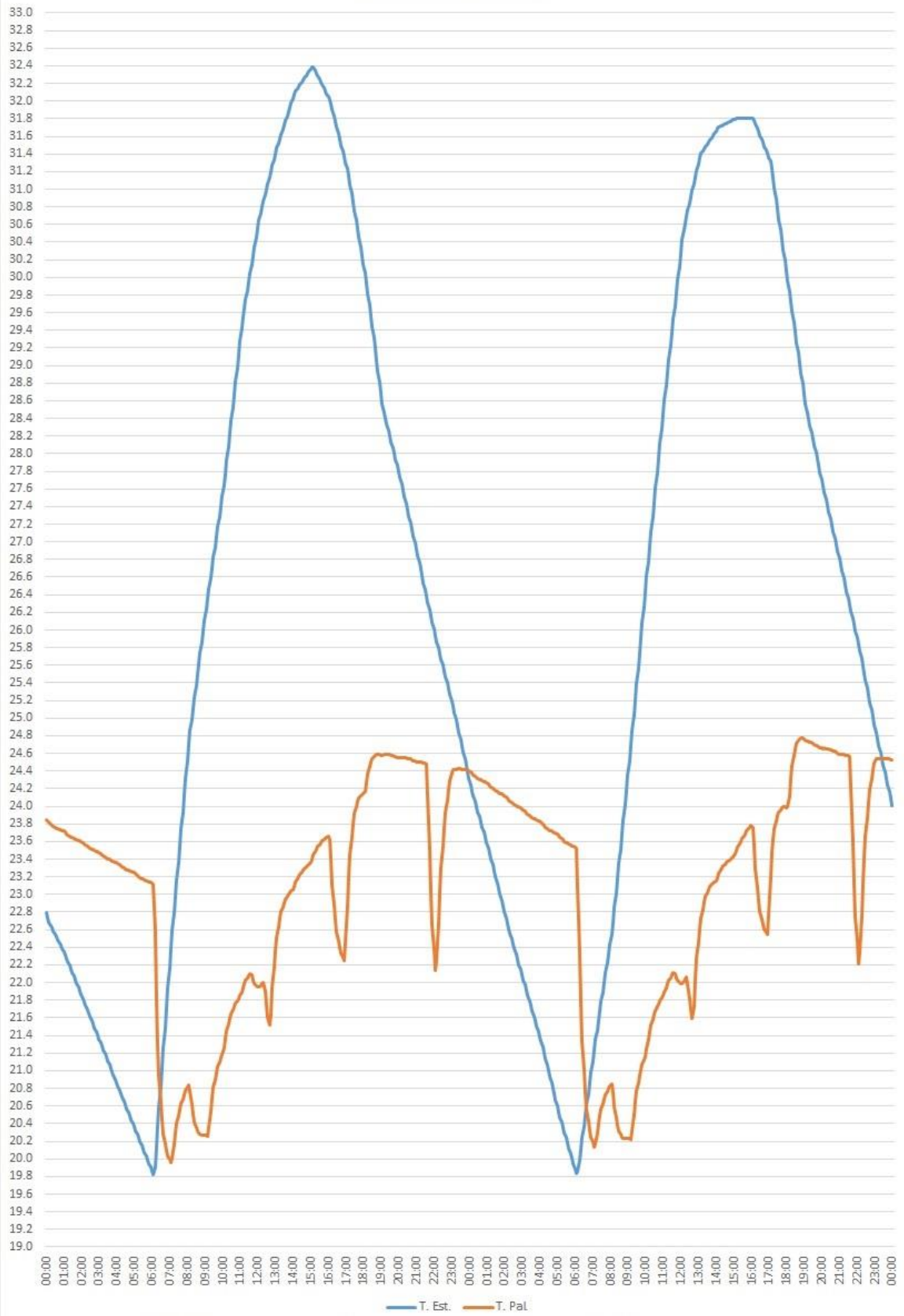


FIGURA 55

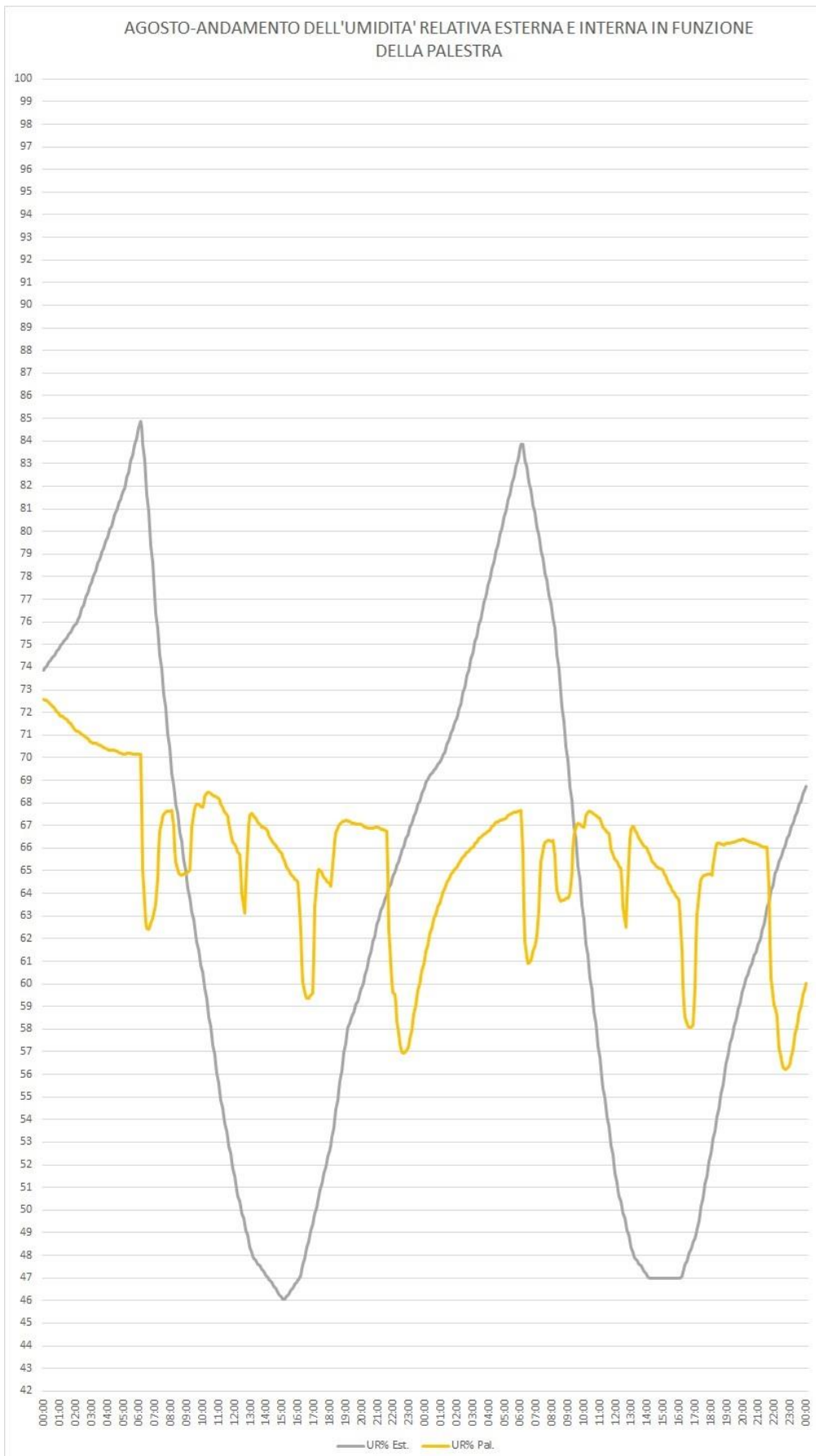


FIGURA 56

ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA INTERNA ALLA PALESTRA IN FUNZIONE DEL TEMPO CONSIDERANDO LA TEMPERATURA DEL FLUIDO REFRIGERANTE PARI A 7°C

AGOSTO

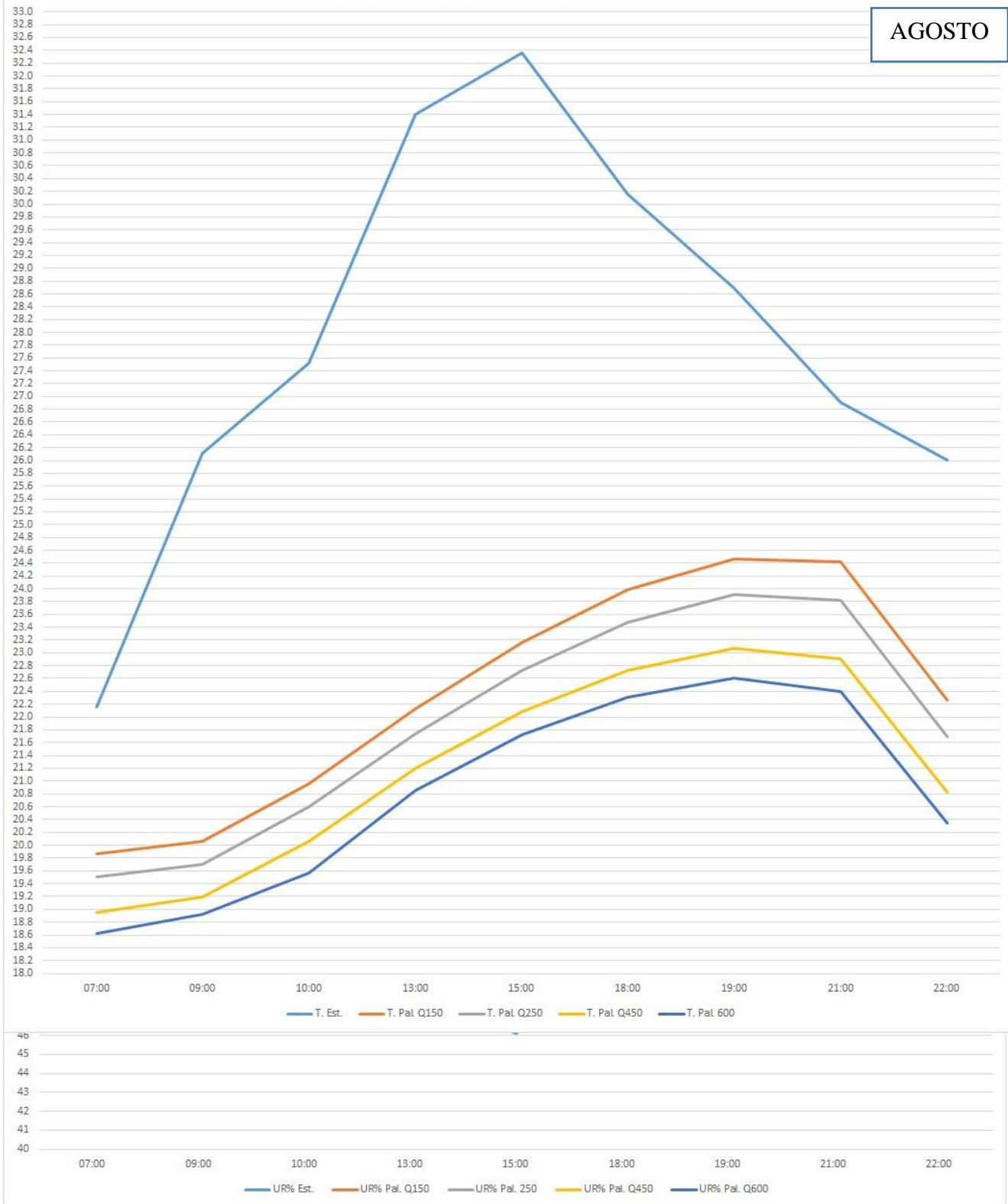


FIGURA 57

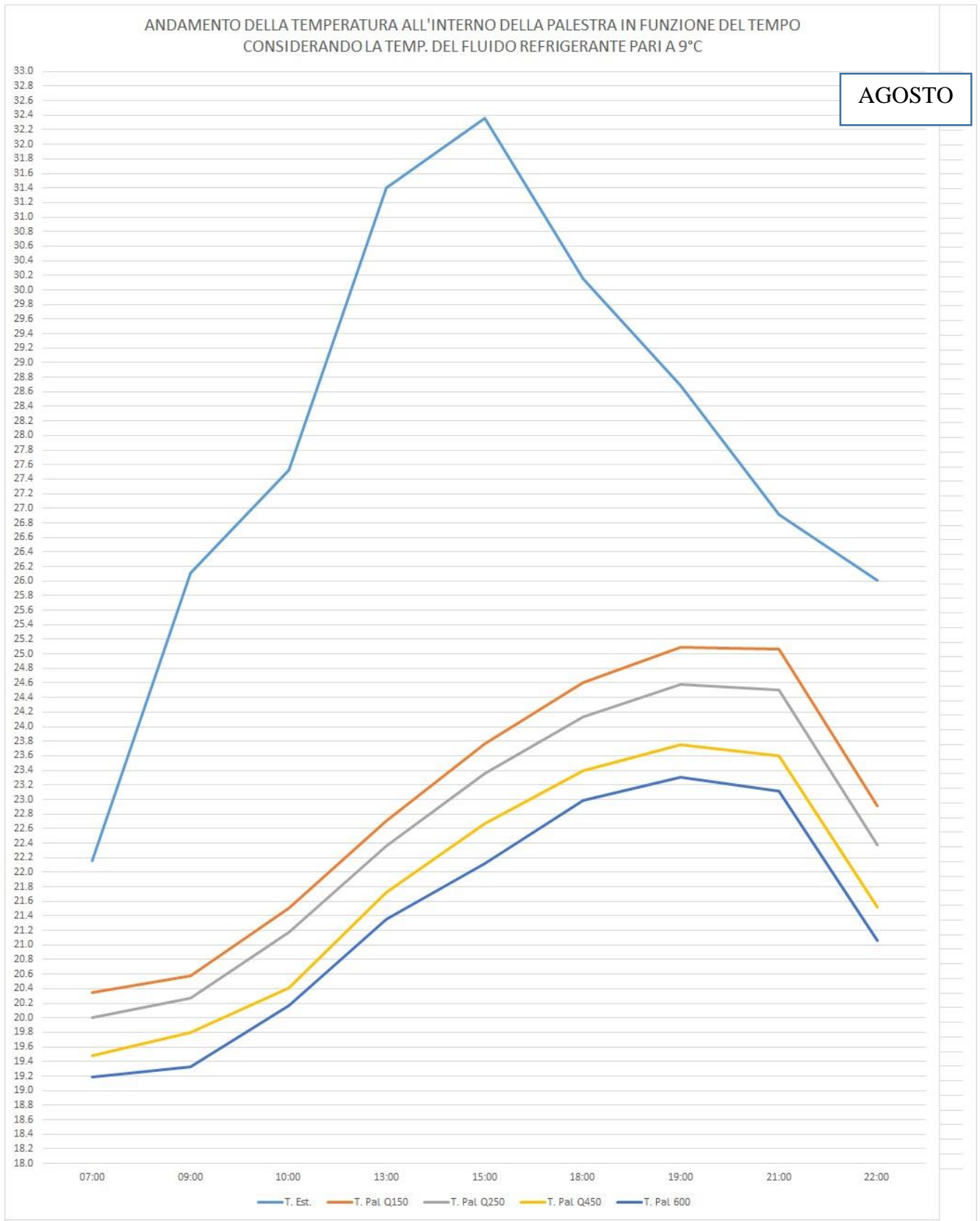


FIGURA 58

ANDAMENTO DELL'UMIDITA' RELATIVA ALL'INTERNO DELLA PALESTRA IN FUNZIONE DEL TEMPO
 CONSIDERANDO LA TEMP. DEL FLUIDO REFRIGERANTE PARI A 7°C

AGOSTO

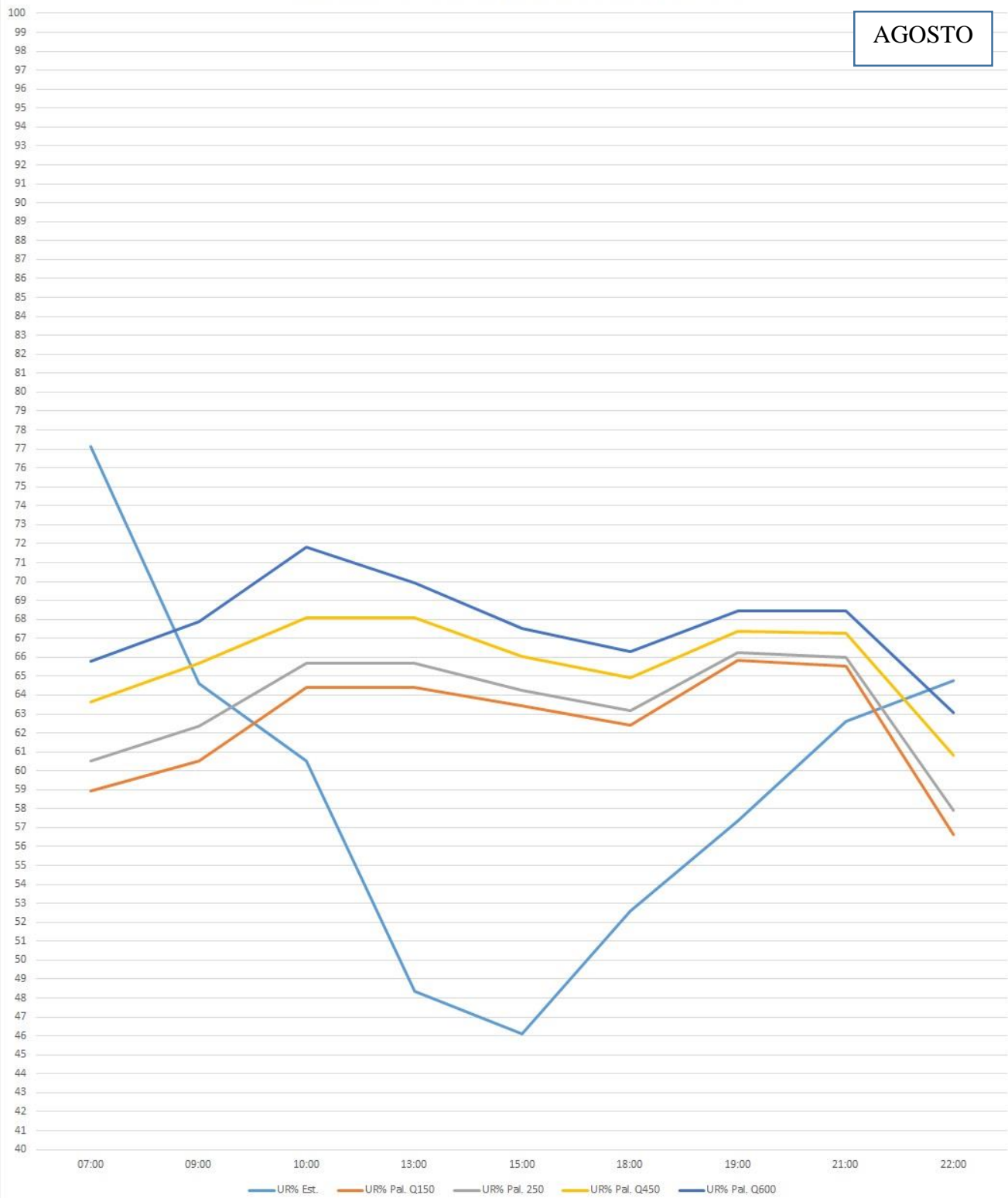


FIGURA 59

ANDAMENTO DELL'UMIDITA' RELATIVA ALL'INTERNO DELLA PALESTRA IN FUNZIONE DEL TEMPO
 CONSIDERANDO LA TEMPERATURA DEL FLUIDO REFRIGERANTE PARI A 9°C

AGOSTO

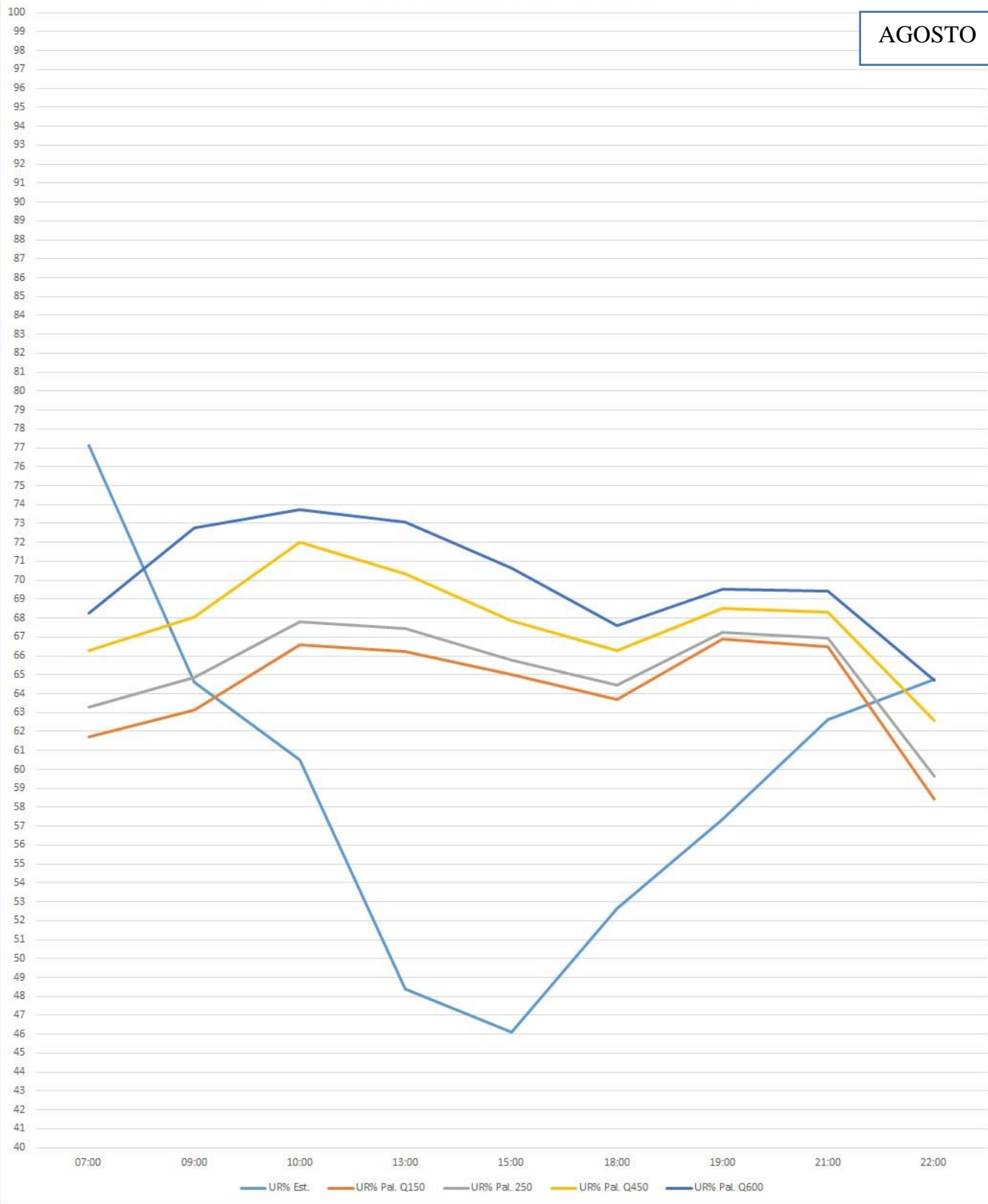


FIGURA 60

6.3 CONSUMI ENERGETICI NEI PERIODI DI CONDIZIONAMENTO INVERNALE ED ESTIVO

Dopo aver analizzato i risultati delle simulazioni e aver scelto la portata d'aria dell'impianto di ventilazione della palestra per garantire una qualità dell'aria ottimale sono stati analizzati i dati relativi ai consumi dei componenti dell'impianto. In particolare sono stati rappresentati i seguenti 4 parametri:

- Energia fornita dalla batteria di riscaldamento (kWh);
- Energia da sottrarre all'aria per deumidificare (kWh);
- Energia consumata dal recuperatore (kWh);
- Energia termica recuperata (kWh).

Tali parametri sono relativi alla batteria di riscaldamento, alla batteria di deumidificazione e al recuperatore di calore aria-aria.

Il dimensionamento dell'impianto è stato eseguito considerando un batteria di riscaldamento con una portata d'aria di $1000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ e una potenza termica di 3 kW, la batteria di deumidificazione ha una portata di fluido refrigerante di $1000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$, il fluido refrigerante ha una temperatura di immissione nella batteria pari a 9°C infine il recuperatore di calore ha una potenza di 100 W.

L'impianto di ventilazione è realizzato impostando tramite l'opportuno Type516, il periodo di accensione e di spegnimento del condizionamento invernale ed estivo ovvero per quanto riguarda il condizionamento invernale si è deciso di accenderlo in data 1 ottobre e di spegnerlo in data 30 marzo mentre il condizionamento estivo si accende il 1 aprile e si spegne il 21 settembre, a seguito di tali scelte sono stati individuati in base ai 4 parametri descritti precedentemente i consumi relativi a tali periodi.

In particolare nella tabella 4 e tabella 5 sono stati calcolati i kWh consumati nel periodo di condizionamento invernale ed estivo, per la scelta della portata d'aria si è risolto il problema andando a verificare tra i dati in uscita della simulazione quale potenza termica relativa alla batteria di riscaldamento, garantisca una temperatura minima all'interno della palestra in funzione della temperatura minima raggiunta dall'ambiente esterno durante il funzionamento dell'impianto. Da

ciò si è dedotta la portata d'aria dell'impianto e la potenza termica della batteria di riscaldamento, successivamente si è verificato se tale portata d'aria dell'impianto garantisse anche nel periodo estivo le condizioni ideali dell'aria all'interno della palestra, andando a valutare come variabile la temperatura del fluido refrigerante all'immissione della batteria di deumidificazione.

In particolare si è scelta una temperatura del refrigerante pari a 9°C in quanto in entrambi i casi le condizioni dell'aria all'interno della palestra erano accettabili, presupponendo maggiori consumi qualora fosse utilizzata una temperatura di immissione del fluido refrigerante nella batteria di deumidificazione pari a 7°C

Tale scelta dal punto di vista del risparmio energetico è confermata andando confrontare, nelle tabelle 4 e 5 a pagina 72 e 73, i periodi di condizionamento estivo della palestra al variare della temperatura del fluido refrigerante in ingresso alla batteria di deumidificazione, in particolare:

1) Caso di fluido refrigerante alla temperatura di 9°C

- Batteria di riscaldamento dell'aria, 564 kWh.
- Batteria di deumidificazione dell'aria, 9538 kWh.

2) Caso di fluido refrigerante alla temperatura di 7°C

- Batteria di riscaldamento dell'aria, 717 kWh.
- Batteria di deumidificazione dell'aria, 10950 kWh.

Si conferma quindi che, utilizzando un fluido refrigerante alla temperatura di 9°C, si ha un risparmio energetico relativo sia alla batteria di riscaldamento dell'aria per un totale di 153 kWh sia alla batteria di deumidificazione dell'aria per un totale di 1412 kWh,

Sommando entrambi i risparmi energetici si evince un risparmio complessivo pari a 1565 kWh

$Q_{\text{Fluido Ref.}} = 1000 \text{ kg/h}$ $T_{\text{Fluido Ref.}} = 9^\circ\text{C}$ $P_{\text{Batt. Risc.}} = 3 \text{ kW}$	PORTATA ARIA IMPIANTO 250-450-750-1000	
	PERIODO DI CONDIZIONAMENTO INVERNALE DELLA PALESTRA	PERIODO DI CONDIZIONAMENTO ESTIVO DELLA PALESTRA
CALORE BATTERIA DI RISCALDAMENTO ARIA (kWh)	1846	564
CALORE DA SOTTRARRE PER DEUMIDIFICARE (kWh)	0	9538
ENERGIA CONSUMATA DAL RECUPERATORE (kWh)	208	0
CALORE RECUPERATO (kWh)	2370	0

TABELLA 4

Q_{Fluido Ref.} = 1000 kg/h T_{Fluido Ref.} = 7°C P_{Batt. Risc.} = 3 kW	PORTATA ARIA IMPIANTO 250-450-750-1000	
	PERIODO DI CONDIZIONAMENTO INVERNALE DELLA PALESTRA	PERIODO DI CONDIZIONAMENTO ESTIVO DELLA PALESTRA
CALORE BATTERIA DI RISCALDAMENTO ARIA (kWh)	1846	717
CALORE DASOTTRARRE PER DEUMIDIFICARE (kWh)	0	10950
ENERGIA CONSUMATA DAL RECUPERATORE (kWh)	208	0
CALORE RECUPERATO (kWh)	2370	0

TABELLA 5

7) CONCLUSIONI

In questo lavoro è stato dimensionato l'impianto di ventilazione utilizzando una portata d'aria:

$$\dot{V} = \rho \cdot (250 \cdot UR_0 + 500 \cdot UR_1 + 750 \cdot UR_2 + 1000 \cdot UR_3) \cdot IMP$$

Per quanto riguarda il dimensionamento dei componenti dell'impianto di ventilazione è stata scelta una batteria di riscaldamento dell'aria con potenza termica pari a 3 kW, una batteria di deumidificazione dell'aria con temperatura di immissione del fluido refrigerante pari a 9°C e un recuperatore di calore con una potenza di 100 W.

Tale scelta è stata effettuata andando ad eseguire diverse simulazioni dell'impianto di ventilazione al variare dei seguenti parametri:

- Temperatura del fluido refrigerante 7°C e 9°C.
- Potenza della batteria di riscaldamento dell'aria 2 kW e 3 kW.
- Portata d'aria dell'impianto di ventilazione.

Per quanto riguarda la portata d'aria dell'impianto di ventilazione sono state considerate quattro portate d'aria diverse:

- $\dot{V} = \rho \cdot (150 \cdot UR_0 + 400 \cdot UR_1 + 650 \cdot UR_2 + 900 \cdot UR_3) \cdot IMP.$
- $\dot{V} = \rho \cdot (250 \cdot UR_0 + 500 \cdot UR_1 + 750 \cdot UR_2 + 1000 \cdot UR_3) \cdot IMP$
- $\dot{V} = \rho \cdot (450 \cdot UR_0 + 700 \cdot UR_1 + 950 \cdot UR_2 + 1200 \cdot UR_3) \cdot IMP.$
- $\dot{V} = \rho \cdot (600 \cdot UR_0 + 850 \cdot UR_1 + 1100 \cdot UR_2 + 1350 \cdot UR_3) \cdot IMP.$

Si è constatato a seguito delle simulazioni che l'utilizzo di una batteria di riscaldamento dell'aria con potenza di 3 kW garantisce nel periodo invernale in corrispondenza di una portata d'aria $\dot{V} = \rho \cdot (250 \cdot UR_0 + 500 \cdot UR_1 + 750 \cdot UR_2 + 1000 \cdot UR_3) \cdot IMP$ il raggiungimento delle condizioni ottimali dell'aria all'interno della palestra sia all'apertura che durante il periodo di maggiore afflusso di persone all'interno di quest'ultima. Andando così a risolvere la problematica posta dal titolare dell'attività relativa al superamento dei

22°C per quanto riguarda la temperatura e del 60% per quanto riguarda l'umidità relativa all'interno della palestra durante il periodo con il maggiore numero di persone durante i corsi (pomeriggio/sera).

Allo stesso modo nel periodo estivo, in corrispondenza di una temperatura massima annuale nel mese di agosto, tale portata d'aria garantisce una temperatura ottimale all'interno della palestra.

Durante l'esecuzione delle simulazioni si è riscontrato un'ulteriore problema all'interno della palestra nel periodo estivo ovvero l'umidità relativa si mantiene a valori superiori al 60%, in particolare ho valutato che nel periodo estivo l'umidità all'esterno della palestra è nettamente superiore all'umidità all'interno quindi la percezione da parte delle persone che svolgono l'attività fisica, inclusi istruttori e titolare dell'attività risulta distorta.

Per ovviare a questo problema è valutabile un post-riscaldamento dell'aria prima dell'immissione di quest'ultima all'interno della palestra al fine di aumentare la temperatura, mantenendo l'umidità assoluta costante e quindi ridurre l'umidità relativa.

Individuata quindi la porta d'aria con cui dimensionare l'impianto è stata scelta in funzione dei costi una temperatura del fluido refrigerante in ingresso alla batteria di deumidificazione pari a 9°C, in quanto sia l'utilizzo di una temperatura di 7°C che di 9°C garantiscono una condizione ottimale dell'aria all'interno della palestra.

In particolare andando ad analizzare i dati relativi ai consumi dei componenti dell'impianto e concentrandosi sul consumo energetico relativo alla batteria di deumidificazione si è constatato come presumibile che:

- 1) Caso di fluido refrigerante alla temperatura di 9°C
 - Batteria di deumidificazione dell'aria consumo pari a 9538 kWh.
- 2) Caso di fluido refrigerante alla temperatura di 7°C
 - Batteria di deumidificazione dell'aria consumo pari a 10950 kWh.

Quindi è stata scelta una temperatura di immissione del fluido in ingresso alla batteria di deumidificazione pari a 9°C.

8) BIBLIOGRAFIA

Gino Moncada Lo Giudice, Livio De Santoli, *Progettazione di impianti – Problemi e applicazioni*,

Seconda edizione 2000