

# POLITECNICO DI TORINO

Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

Orientamento Green Building

Tesi di Laurea Magistrale

## **Studio di tecniche per la climatizzazione estiva passiva**

Analisi di strategie volte al contenimento di apporti termici da  
irraggiamento solare



**Relatore:**

Prof. Paolo Piantanida

**Tutor Aziendale:**

Ing. Giorgio Ciardiello

**Azienda:**

ESIPRO.srl

**Candidato:**

Edoardo Peruzzi

Ottobre 2023

“...mi accorsi che in effetti,  
non c’era alcuna montagna da scalare.  
Fu allora, che decisi di issare le mie vele,  
e finalmente, iniziare il mio viaggio...”

A tutto ciò e a tutti coloro  
che me lo hanno fatto capire in questi anni.

# Indice

Indice delle figure .....	5
Indice delle tabelle.....	6
Abstract.....	7
1. Introduzione.....	8
2. Analisi dello stato di fatto e premesse di calcolo .....	9
2.1 Inquadramento e caratterizzazione climatica .....	9
2.2 Caratterizzazione funzionale e distributiva.....	10
2.3 Caratterizzazione tipologica e costruttiva.....	12
2.4 Premesse di calcolo .....	13
3. Sistema di Ventilazione.....	15
3.1 Obbiettivi.....	15
3.2 Premesse, concetti e definizioni di base .....	15
3.3 La ventilazione notturna naturale.....	16
3.4 La ventilazione notturna meccanica, una climatizzazione “quasi-passiva” .....	16
3.5 Calcolo del livello di qualità d’aria richiesto.....	17
3.6 Predimensionamento del sottosistema di distribuzione dell’impianto di ventilazione...	18
3.7 Influenza della ventilazione notturna sul comportamento termico interno .....	20
3.8 Analisi conclusive.....	21
4. Sistema di ombreggiamento .....	23
4.1 Obbiettivi.....	23
4.2 Premesse .....	23
4.3 Prime proposte progettuali.....	23
4.4 Percorso progettuale del sistema di ombreggiamento .....	25
4.5 La Carta del Sole .....	25
4.6 Dimensionamento degli elementi orizzontali del sistema di ombreggiamento .....	28
4.7 Dimensionamento degli elementi verticali del sistema di ombreggiamento .....	34
4.8 Dimensionamento di un sistema di ombreggiamento bidirezionale a cellule rettangolari .....	35
4.9 Sistema di ombreggiamento bidirezionale obliquo a cellule Triangolari .....	39
5. Analisi dei Sistemi Combinati.....	50
5.1 Obbiettivi.....	50
5.2 Analisi dell’effetto di adozione del sistema di ombreggiamento progettato .....	50

5.3 Analisi dell'effetto di Integrazione dell'Utilizzo notturno del Sistema di Ventilazione ....	55
5.4 Analisi della validità dell'ipotesi di inferenza annuale .....	56
6. Proposta Tecnologica per un sistema di ombreggiamento Innovativo.....	59
6.1 Obbiettivi.....	59
6.2 Requisiti Generali.....	59
6.3 Prime Analisi.....	59
6.4 Sistema di ombreggiamento a Tendaggi Reticolari con Sottostruttura Funicolare .....	60
6.5 Schema tecnologico della soluzione adottata inserita nel contesto applicativo del caso studio in esame .....	66
7. Conclusioni.....	68
Bibliografia .....	71
Ringraziamenti.....	72

## Indice delle figure

Fig. 1 - Ortofoto dell'area oggetto di intervento dell'edificio in analisi.....	9
Fig. 2 - Stralcio della pianta, dello stato di fatto, del piano secondo, dell'edificio oggetto di analisi, con individuazione del locale tipo.....	11
Fig. 3 - Influenza della ventilazione notturna sulla temperatura interna diurna.....	21
Fig. 4 - Vista prospettica dall'interno del locale tipico del sistema di ombreggiamento oggetto di analisi.....	24
Fig. 5 - Carta del Sole 21/08 località Cortemilia.....	26
Fig. 6 - Individuazione specchiatura su carta del sole .....	27
Fig. 7 - Carte Solari dei Punti Estremi della Penisola Italiana (up sx Bardonecchia, up dx Udine, down sx Trapani, down dx Lecce, con posizioni riferite all'orientamento della figura) .....	30
Fig. 8 - Quadro geometrico descrittivo Ombre Portate per cellula rettangolare .....	38
Fig. 9 - Quadro geometrico descrittivo ombre portate per cellula triangolare.....	40
Fig. 10 - 1° Condizione: Vista prospettica, dal centro della stanza, con punto di osservazione ad altezza 1,75 m dal piano di calpestio, con maglia del sistema di ombreggiamento a cellule rettangolari 40x40cm e profondità 30 cm .....	45
Fig. 11 - 2° Condizione: Vista prospettica, da circa 1 m dall'apertura finestrata, con punto di osservazione a 1 m di altezza dal piano di calpestio, con maglia del sistema di ombreggiamento, a cellule rettangolari 40x40cm, e profondità 30 cm.....	46
Fig. 12 - Profili orari mensili, nei giorni rappresentativi, della temperatura interna media operativa.....	55
Fig. 13 - Curve di domanda di tasso di ventilazione notturno minimo, per instaurazione comfort termico interno, per date condizioni al contorno, di temperature medie esterne, diurne e notturne .....	57
Fig. 14 - Verifica del contenimento della temperatura media, diurna e notturna, nei limiti di funzionamento del sistema di ventilazione notturna .....	58
Fig. 15 - Cavo in acciaio con dettaglio dell'andamento longitudinale e trasversale delle membrature .....	61
Fig. 16 - Morsetto per incrocio cavi a 90° .....	61
Fig. 17 - Terminale a occhiello per collegamento fune d'acciaio a tenditore.....	62
Fig. 18 - Tenditore ad occhiello per fune d'acciaio.....	62
Fig. 19 - Elementi costitutivi di un punto di ancoraggio .....	64
Fig. 20 - Nodo costruttivo del sistema di ombreggiamento integrato nella struttura esistente.....	66
Fig. 21 - Risultato finale dell'andamento orario annuale della Temperatura Interna Operativa .....	68
Fig. 22 - Risultato finale dell'andamento orario stagionale (estivo) della Temperatura Interna Operativa.....	69

## Indice delle tabelle

Tab. 1 - Profilo orario delle forzanti climatiche esterne estive del giorno di progetto tipo.....	10
Tab. 2 - Profilo orario base del fattore di occupazione del locale tipo .....	12
Tab. 3 - Parametri Termofisici STEP-input per le componenti opache esterne .....	12
Tab. 4 - Parametri Termofisici STEP-Input per le componenti opache interne non disperdenti .....	12
Tab. 5 - Parametri Termofisici STEP-Input per le componenti trasparenti .....	13
Tab. 6 - Profilo Termico Estivo Medio Operante Diurno dell'ambulatorio tipo .....	20
Tab. 7 - Valori della Temperatura Massima e Media Diurna Operante.....	20
Tab. 8 - Tabella di calcolo del numero di elementi orizzontali, necessari a determinare massimo ombreggiamento, sino all'orario richiesto, in una località di riferimento, per un dato oggetto adimensionale supposto.....	31
Tab. 9 - Tabella di calcolo del numero di elementi orizzontali, necessari a determinare massimo ombreggiamento, sino all'orario richiesto, nella località di progetto, per un dato oggetto supposto .....	31
Tab. 10 - Calcolo riferito alla precedente procedura, corretta, in base alla posizione, relativa azimutale Sole-Finestra .....	33
Tab. 11 - Differenza, in termini di numero di elementi, necessario ad instaurare completo ombreggiamento rispetto ai due approcci, conservativo e reale, rispettivamente.....	33
Tab. 12 - Risultato del calcolo per il caso di oggetto orizzontale 20 cm .....	36
Tab. 13 - Risultato del calcolo per il caso di oggetto orizzontale 45 cm .....	37
Tab. 14 - Calcolo del profilo orario del rapporto di forma massimo.....	42
Tab. 15 - Calcolo del profilo orario del fattore di ombreggiamento con un rapporto di forma trasversale di 1,1 .....	43
Tab. 16 - Profilo orario, dei valori non nulli, dell'irradianza solare diretta equivalente sul piano orizzontale .....	43
Tab. 17 - Risultato di Calcolo STEP .....	44
Tab. 18 - Calcolo del profilo orario del fattore di ombreggiamento, nel caso di rapporto di forma trasversale 0,75 .....	48
Tab. 19 - Nuovo Profilo orario, dei valori non nulli, dell'irradianza solare diretta, equivalente, sul piano orizzontale.....	48
Tab. 20 - Nuovo risultato di calcolo STEP.....	48
Tab. 21 - Calcolo dei profili orari del fattore di ombreggiamento nei giorni rappresentativi dell'anno .....	51
Tab. 22 - Calcolo dei fabbisogni energetici mensili, nei casi di assenza e presenza, del sistema di ombreggiamento .....	52
Tab. 23 - Calcolo delle differenze di fabbisogni elettrici annuali, termici ed elettrici, nel caso di assenza e presenza di sistema di ombreggiamento.....	53
Tab. 24 - Temperature interne medie operative, massime e medie, nei giorni rappresentativi della stagione estiva, per differenti scenari di ventilazione notturna.....	56

## Abstract [IT]

Il presente documento ha lo scopo di studiare metodologie e tecnologie passive, per la climatizzazione estiva di locali interni, dotati di ampie finestrate. In particolare, verrà proposta in risposta alla forzante climatica termica, la riconversione funzionale di un sistema di ricambio di aria primaria, al fine di favorire il raffrescamento notturno degli ambienti interni. Una ventilazione meccanica notturna consente in modo sicuro e controllabile, di raffrescare le masse termiche interne agli ambienti, aumentando la loro inerzia al surriscaldamento durante le ore diurne. L'elaborato prosegue proponendo, in aggiunta, un sistema di ombreggiamento innovativo, in risposta alla forzante climatica solare. L'innovazione risiede nella possibilità, da parte di tale sistema, installato dinanzi all'apertura finestrata, di abbattere in modo sensibile la radiazione solare incidente, non alterando la visibilità esterna, offerta dalla specchiatura. Viene quindi proposta una soluzione tecnologica del sistema, e un'analisi qualitativa della sua fattibilità tecnico-economica. Si dimostrerà, la capacità, da parte del combinato disposto delle due misure, di mitigare in modo sensibile l'intervento di un sistema di climatizzazione attiva negli ambienti.

Il presente lavoro si configura come "Tesi in azienda". Il seguente elaborato è stato prodotto, nell'ambito della redazione di un Progetto di Fattibilità Tecnica Economica, per la Riquilificazione Energetica e Funzionale della struttura ambulatoriale ASLCN2 di Cortemilia. L'incarico di redazione del PFTE è stato conferito allo studio di progettazione ESIPRO.srl, azienda ospitante.

## Abstract [EN]

This document has the scope to study passive methodologies and technologies, related to the management of the indoor climate, of internal environments with windows characterized by large dimensions. In particular, it will be proposed, responding to the thermal driving force, the functional conversion of a primary air change system, to allow the night cooling. A night mechanical ventilation allows in a safe and controllable way, to cool down the internal thermal masses, increasing their inertia to the overheating phenomena during the daily hours. The thesis proceeds proposing, in addition, an innovative shading system, which will respond to the solar driving force. The innovation is related to the possibility, that this system has to limit the incident solar radiation when it will be installed in front to the opening, avoiding limiting, as well, the external visibility. Thus, it will be offered, a technological solution for this system, and a qualitative economical-technical analysis. It will be demonstrated, the capacity of the combination of these two systems to guarantee the internal thermal comfort without the intervention of an active cooling system.

The present work is defined as an internship thesis. The following document it was produced during the design process of an Economical and Technical Feasibility Analysis, made, for the Energetic and Functional retrofitting of a medical structure "ASLCN2", located in Cortemilia. The assignment was given to the design studio "ESIPRO.srl".

# 1. Introduzione

Le specchiature rappresentano dei punti deboli sull'involucro edilizio, sia perché consentono il passaggio diretto della quasi totalità della radiazione solare incidente, sia perché esse possiedono proprietà di inerzia termica trascurabili. Forzanti climatiche di origine solare e termica promuoveranno quindi, attraverso le finestrate, la trasmissione di continui flussi di calore, che verranno accumulati dall'aria interna e dalle masse termiche dell'ambiente interno. Quindi, in assenza di un impianto di climatizzazione attiva, in ambienti dotati di ampie specchiature ben orientate verso il percorso solare, durante le ore diurne, la temperatura interna si porta a valori molto elevati rispetto alla condizione di comfort, comportando perciò il surriscaldamento interno dell'ambiente. Obiettivo del presente documento è quello di studiare tecniche di climatizzazione passiva per limitare il surriscaldamento interno degli ambienti. Si arriverà a dimostrare che un tale approccio possa arrivare a promuovere il comfort termico interno per l'intero periodo di attività diurno senza richiedere l'intervento di un impianto di climatizzazione attiva. In particolare verrà introdotto un sistema di ombreggiamento costituito di elementi in aggetto rispetto al piano delle specchiature, ma ortogonali ad esso, in modo tale da impedire l'ingresso della radiazione solare ma non limitare la visibilità esterna. Inoltre il sistema di ricambio dell'aria verrà riprogettato per poter consentire il raffrescamento delle masse termiche dell'ambiente interno.

Le tecniche di climatizzazione passiva studiate nel presente elaborato saranno applicate ad un caso studio, una struttura ambulatoriale situata ai margini della zona urbanizzata del comune di Cortemilia.



## 2. Analisi dello stato di fatto e premesse di calcolo

### 2.1 Inquadramento e caratterizzazione climatica

L'edificio oggetto di analisi, di cui al presente documento, è ubicato nel comune di Cortemilia, Corso Divisioni Alpine n.115. Il fabbricato si colloca in un'area caratterizzata urbanisticamente come: dedita ad ospitare "Servizi pubblici e funzionali alla residenza di tipo Standard Attrezzature sociali, civili e religiose".

Le aree esterne di pertinenza della costruzione confinano, a N-O, con una stazione dei carabinieri, a S-E, con residenze e insediamenti produttivi e a NE, con un affluente del fiume Bormida. Gli edifici confinanti, in virtù delle loro altezze e della distanza intercorsa con la struttura sotto analisi, non promuovono su di essa ombre portate. Le pertinenze esterne all'edificio sono per due terzi, ricoperte da superficie asfaltata, occupata da parcheggi: per l'utenza dinanzi al prospetto frontale della struttura, per il personale medico e di pronto soccorso, invece, sul lato opposto. Il terzo rimanente, trattasi di area destinata la verde, prospiciente al letto dell'affluente del fiume cittadino, sempre di proprietà della struttura.

Di seguito si riporta un'ortofoto aerea, con l'individuazione delle pertinenze esterne di proprietà dell'edificio oggetto di intervento.



*Fig. 1 - Ortofoto dell'area oggetto di intervento dell'edificio in analisi*

I dati climatici utilizzati si riferiranno genericamente all'ubicazione comunale relativi ai TRY (Test Reference Year) determinati dal CTI (Comitato Termotecnico Italiano).

Nel Corso della redazione dell'elaborato verrà spesso menzionato il termine "giorno di progetto". Per tale dicitura si intende un giorno virtuale caratterizzato dai profili supposti più

gravosi delle forzanti termiche e solari, in termini di profilo della Temperatura Esterna e profilo dell'Irradianza Solare Diretta. Entrambi i profili sono ottenuti dal ventitreesimo giorno del mese di giugno per la temperatura esterna e dal diciottesimo giorno del mese di luglio per l'irradianza solare diretta su piano orizzontale rispettivamente. Di seguito si riportano i profili orari in formato tabellare delle forzanti climatiche prima citate.

Ora	T <sub>e</sub> 23/06 [°C]	I <sub>0,d</sub> 18/06 [W/m <sup>2</sup> ]
0	22.1	0
1	21.3	0
2	20.7	0
3	20.5	0
4	20.7	0
5	22.2	47.6
6	26.6	272.8
7	27.5	574.7
8	29	714.7
9	30	804.8
10	31.1	845.2
11	32.5	821.9
12	33.4	758.2
13	33.8	622.8
14	34.4	464.2
15	33.4	276.8
16	34	117.2
17	34.7	25.7
18	32.8	1.3
19	29.6	0
20	26.6	0
21	24.9	0
22	23.2	0
23	21.7	0

Tab. 1 - Profilo orario delle forzanti climatiche esterne estive del giorno di progetto tipo

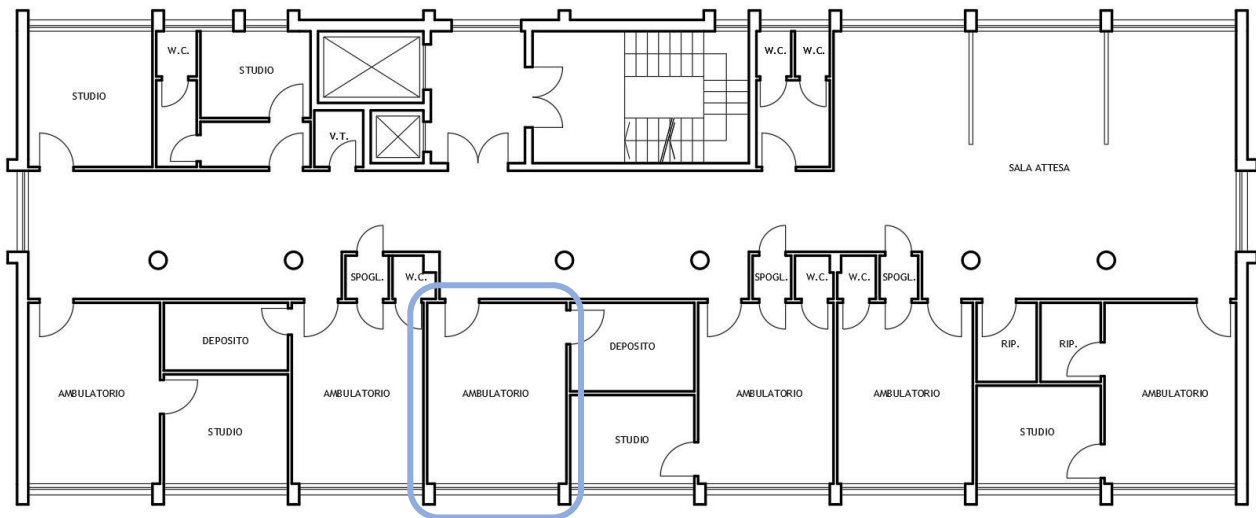
## 2.2 Caratterizzazione funzionale e distributiva

Il fabbricato è classificabile come un "Edificio in linea a blocco scala". Questi ospita quattro piani fuori-terra con l'aggiunta di un piano sottotetto dismesso e di un piano interrato dedicato ad ospitare l'anello di distribuzione dei fluidi-termovettori per l'impianto di riscaldamento a radiatori e l'impianto di fornitura dell'acqua calda sanitaria. Tutti i piani utilizzati possiedono altezza netta interna di 3 m.

Il piano tipo si organizza su tre fasce funzionali parallele all'asse principale del fabbricato. La prima, con esposizione sul prospetto frontale della costruzione, ospita le sale ambulatoriali; la seconda fascia, quella intermedia, definisce il corridoio di distribuzione orizzontale, mentre, la terza, con esposizione tergale, ospita prevalentemente i vani accessori (depositi, servizi igienici e vani di distribuzione verticale).

L'ambiente che verrà preso in considerazione come "Locale Tipico/Tipo" dell'analisi, di cui al presente elaborato, si colloca ad un piano intermedio e localizzato nella prima fascia funzionale. Per comprendere l'estensione in pianta del locale si precisa che l'interasse dei pilastri lungo il prospetto principale è di circa 3,5 m e la profondità della fascia funzionale di appartenenza è di circa 6,5 m.

Di seguito si riporta una immagine della pianta del piano tipo intermedio, con individuazione del locale tipo, oggetto di analisi.



*Fig. 2 - Stralcio della pianta, dello stato di fatto, del piano secondo, dell'edificio oggetto di analisi, con individuazione del locale tipo*

Il locale tipico si configura come un locale ad uso ambulatoriale, posto in una struttura ospedaliera del medesimo regime. Pertanto, la categoria dell'edificio, e degli spazi interni, ai sensi del DPR 412/93, rientra nella classe E.3 "Edifici adibiti a Ospedali, Cliniche o Case di Cura e assimilabili".

L'utilizzo del locale, sotto il profilo termico, è settato a mezzo degli apporti termici endogeni e delle portate di ricambio d'aria interna; mentre quest'ultima sarà oggetto di specifiche nel capitolo dedicato al sistema di ventilazione, gli apporti di calore interni, dovuti a persone e cose, saranno di seguito esplicitati:

- Apporti termici dovuti alla presenza di persone:  $23 \text{ W/m}^2$  (supposta una persona emanare  $100\text{W}$ )
- Apporti termici dovuti all'illuminazione:  $5 \text{ W/m}^2$  (supposta illuminazione da ufficio di  $500 \text{ Lux}$ )

I precedenti dati, si configurano come i valori massimi attribuibili, agli apporti termici interni nel caso di massima occupazione<sup>1</sup> del locale  $f_{occ} = 1$ . Il profilo di occupazione utilizzato per l'ambiente oggetto di analisi viene di seguito riportato.

<sup>1</sup> Il fattore di occupazione indica il rapporto di persone presenti ad una data ora nel locale rispetto alla massima condizione di affollamento possibilmente determinabile nel locale stesso [UNI EN ISO 52016]

ore	<8	[8;19]	>19
$f_{occ}$	0	1	0

Tab. 2 - Profilo orario base del fattore di occupazione del locale tipo

Tale profilo definisce anche le fasce orarie diurne e notturne cui si farà riferimento nei capitoli successivi.

## 2.3 Caratterizzazione tipologica e costruttiva

L'edificio possiede una struttura portante in calcestruzzo armato a telaio. Le tamponature esterne si compongono di due strati, interno ed esterno, realizzati rispettivamente da mattoni in laterizio forato e lastra di calcestruzzo armato prefabbricato; separati da una camera d'aria e rifiniti con intonaco cementizio. I divisori interni sono stati realizzati da blocchi di mattoni in laterizio forato rifiniti da strati di intonaco. Le specchiature esterne, che occupano per circa il 50% la superficie dei prospetti principali, sono caratterizzate da un telaio in alluminio, privo di taglio termico, con apertura a bilico verticale e una vetrocamera con doppio vetro bassoemissivo.

Di seguito si riportano le tabelle riassuntive delle proprietà termofisiche<sup>2</sup> dei componenti edilizi di input per i calcoli condotti nell'elaborato, rispetto all'algoritmo di calcolo del software STEP riferito alla norma tecnica UNI 10375:2011.

Componenti opachi esterni			
Parametro	Un.mis.	1	2
$f_s$	[-]	0.57	0.50
Y	[W/m <sup>2</sup> °C]	3.33	3.84
U	[W/m <sup>2</sup> °C]	1.17	1.10
$f_a$	[-]	0.56	0.26
$\varphi$	[h]	-6.75	-10.56
$\alpha$	[-]	0.60	0.60

Tab. 3 - Parametri Termofisici STEP-input per le componenti opache esterne

Dove si precisa che:

- Il Componente 1: fa riferimento al tamponamento esterno che realizza il parapetto della finestra
- Il Componente 2: fa riferimento al tamponamento esterno che realizza l'architrave della finestra

Componenti opachi interni non disperdenti			
Parametro	Un.mis.	1	2
$f_s$	[-]	0.66	0.32
Y	[W/m <sup>2</sup> °C]	2.65	5.24

Tab. 4 - Parametri Termofisici STEP-Input per le componenti opache interne non disperdenti

<sup>2</sup> In ordine i parametri termofisici necessari all'espletamento delle procedura di calcolo sono: Trasmittanza termica Periodica Y, Trasmittanza termica U, fattore di attenuazione  $f_a$ , sfasamento dell'onda termica  $\varphi$  e assorbanza solare  $\alpha$  [UNI 10375:2011]

Dove si precisa che:

- Il Componente 1: fa riferimento al divisorio interno verticale
- Il Componente 2: fa riferimento alla partizione orizzontale superiore (soffitto) e inferiore (pavimento)

Componenti finestrati		
Parametro	Un.mis.	1
Y	[W/m <sup>2</sup> °C]	2.43
U	[W/m <sup>2</sup> °C]	3.21
g <sub>⊥</sub>	[-]	0.75
τ <sub>eq,⊥</sub>	[-]	0.65
α <sub>eq,⊥</sub>	[-]	0.10

Tab. 5 - Parametri Termofisici STEP-Input per le componenti trasparenti

Viceversa, i calcoli effettuati con software Edilclima-EC700 (vers. 12.23.08), si riferiranno alla condizione dello stato di progetto del locale. L'intervento edilizio, lato comportamento termico, consiste essenzialmente nell'isolamento termico delle componenti edilizie opache, nella sostituzione degli infissi, e la risoluzione dei ponti termici involucro-struttura. Effetto ultimo, è stato quello di attribuire alle componenti dei dati termo-fisici ricalcanti i limiti normativi di cui al DM26/06/16, a cui si rimanda per la definizione dei dati di input termico.

## 2.4 Premesse di calcolo

Rispetto alle procedure di calcolo riferite alla norma tecnica UNI 10375:2011, finalizzata al calcolo della temperatura interna operativa estiva di un locale, si adotteranno le seguenti assunzioni teoriche:

- La temperatura sia uniforme in tutto l'ambiente;
- Le varie superfici degli elementi di involucro siano isoterme;
- La trasmissione del calore attraverso gli elementi di involucro sia unidimensionale;
- Le dimensioni di ciascun componente siano riferite alla faccia interna;
- Le dimensioni dei componenti finestrati comprendano anche il telaio;
- I dati di ingresso climatici, di ventilazione, di apporti interni, abbiano periodicità pari a 24 h;
- La risposta dei componenti venga determinata facendo riferimento ad una matrice di trasferimento calcolata per sollecitazioni sinusoidali di periodo pari a 24 h.
- Gli elementi di involucro edilizio vengano suddivisi in:
  - o Elementi di involucro esterni: essi separano l'ambiente interno da quello esterno o da altre zone termiche;
  - o Elementi d'involucro interni: essi separano l'ambiente interno da altri ambienti nelle stesse condizioni termiche; essi vengono considerati adiabatici.

Considerando inoltre che, nel modello di calcolo, realizzato sul software Edilclima EC700 (vers. 12.23.08), sono state adottate le seguenti scelte di modellazione:

- Assenza di modellazione dello schema di impianto: poiché per il comportamento termico del locale tipico sarà supposto non gestito da sistemi di climatizzazione attiva, ma, solo da fenomeni passivi.

- Assenza di modellazione di ponti termici tra componenti edilizi: poiché nel contesto estivo tali fenomeni incidono in modo limitato nella questione del comfort termico
- I divisori interni caratterizzati come “muro verso ambienti vicini”: poiché si suppone che i locali limitrofi godranno delle medesime scelte adottate per il locale oggetto di studio

Le ipotesi di calcolo adottate in precedenza saranno sostanzialmente le medesime, pur lavorando con set di norme tecniche UNI EN ISO 52016:2018. Pertanto la possibilità di adottare due strumenti di calcolo, sostanzialmente sovrapponibili, risiede, non solo nella volontà di estendere il calcolo a tutto l'arco estivo, ma anche di validare i risultati provenienti dal software complementare.

## 3. Sistema di Ventilazione

### 3.1 Obiettivi

Obiettivo del presente capitolo è quello di comprendere il modo con cui un sistema di ricambio dell'aria interna possa essere riutilizzato come sistema di raffrescamento passivo. Si forniranno inoltre strumenti con cui valutare l'efficacia di tale intervento. L'effettivo studio dell'influenza che tale approccio può determinare sul comportamento termico, del locale tipico, lo si determinerà in seguito; dal momento che, come si evincerà dai successivi risultati, di cui al presente capitolo, l'utilizzo del solo sistema di ricambio dell'aria non risulterà sufficiente a limitare gli effetti della forzante climatica estiva termica sin tanto che non si interverrà lato "forzante solare", introducendo un opportuno sistema di ombreggiamento.

### 3.2 Premesse, concetti e definizioni di base

Il processo di *ventilazione* promuove il "ricambio dell'aria interna"; ciò significa che in un certo intervallo di tempo, parte del volume d'aria interna viene espulsa verso l'esterno e viene ricambiato da un volume d'aria proveniente dall'esterno. Se i due volumi, in termini di quantità, si equivalgono allora parleremo di *ventilazione bilanciata*. Se l'aria esterna è stata immessa a mezzo di una differenza di pressione instaurata artificialmente da un impianto meccanico parleremo di *ventilazione meccanica*, mentre in caso contrario parleremo di *ventilazione naturale*. In tale contesto, parleremo esclusivamente di ventilazione bilanciata, poiché rari e limitati, sono i casi in cui uno dei due flussi, risulti essere predominante sull'altro; un esempio sono i casi dei depositi di materiale "pulito" o "sporco" nelle strutture ambulatoriali, in cui, si cerca di mantenere, e migliorare, la condizione di salubrità interna, andando a immettere, con deficit e surplus di aria, dall'esterno, rispettivamente. Infine, si parlerà di *ventilazione trattata*, nel caso in cui l'aria esterna, prima di essere immessa, subisca una variazione delle sue proprietà termo-igrometriche, nella ovvia intenzione, di immettere in ambiente interno dell'aria, con caratteristiche tali, da promuovere un maggior grado di comfort termico; pertanto, l'aria verrà immessa a livello di set-point per la climatizzazione.

Una *ventilazione bilanciata trattata*, non ha alcuna influenza sul comportamento termico di un ambiente indoor, ma svolge la sola funzione mantenere, un adeguato livello di salubrità dell'aria interna. Nel caso opposto, ossia di *ventilazione bilanciata non-trattata*, invece, in un certo intervallo di tempo, un quantitativo volumetrico d'aria con una temperatura corrispondente a quella interna, viene interamente sostituito, con un medesimo volume d'aria, alla temperatura corrispondente a quella esterna. Un processo di ventilazione così definito influenza la "termica" dell'ambiente indoor, provocando effetti positivi o negativi. Nell'ambito del periodo estivo, in assenza di intervento di un impianto di climatizzazione, attraverso un processo di ventilazione bilanciata non trattata è possibile incidere positivamente sul comfort termico interno se la temperatura dell'aria esterna, immessa in ambiente, si trova ad un livello termico inferiore di quello in cui si trova l'ambiente. Nelle ore diurne di un periodo estivo, questa situazione, è difficile che si possa verificare, o comunque, se tale situazione si verificasse, le differenze di temperature tra interno ed esterno, ci si aspetta che siano molto limitate, e che l'immissione di aria, oltre a favorire la fuoriuscita di aria viziata dall'interno, non possa comportare benefici di natura termica significativi. Durante la notte, viceversa, la situazione viene ribaltata, in modo

ancora più significativo, se l'edificio oggetto di studio si trova a quote altimetriche maggiori, lontano dai centri abitati, e non affollato nelle ore notturne. Il beneficio offerto dal sistema di ventilazione, nelle ore notturne, non si limita alla sola sostituzione del volume di aria interno, per cui di fatto basterebbe un ora di tempo, e un tasso di ventilazione unitario, per raggiungere tale obiettivo. Bensì, tale atto di ventilazione, promuove il raffrescamento delle masse termiche interne all'ambiente. Di fatto, il calore accumulato nelle ore diurne potrà essere estinto, dal momento in cui le superfici di questi ultimi potranno stabilire interazione termica con l'aria interna raffrescata.

### 3.3 La ventilazione notturna naturale

Dall'idea di cui sopra, nasce il concetto di *ventilazione notturna*. Tale procedura è conosciuta e praticata da tutti, poiché è facilmente riconducibile a quella semplice, quanto istintiva azione, di aprire le finestre della propria camera, durante la notte, per far entrare l'aria dall'esterno, raffrescando l'ambiente, evitando di accendere il climatizzatore, o praticando tale atto, proprio in virtù del non possesso di esso. L'atto prima evocato, si inserisce nell'ambito delle *azioni passive*, che è possibile adottare, per gestire, in assenza di intervento di elementi impiantistici, il comportamento termico dell'edificio, proprio perché, trattasi di ventilazione naturale. Considerando inoltre che, un edificio, è anche proprietario di un certo grado di inerzia termica, se i suoi ambienti interni subiscono un processo di raffrescamento notturno, successivamente, durante il giorno, le *forzanti climatiche esterne* (Radiazione Solare, Temperatura dell'aria Esterna) troveranno difficoltà nel promuovere un aumento della temperatura dell'ambiente interno. Risulterebbe pertanto vantaggioso, promuovere la ventilazione notturna per limitare l'utilizzo della climatizzazione durante il giorno, contribuendo così in modo passivo, al risparmio energetico, senza venir meno alla cura del comfort termico dell'ambiente interno.

Purtroppo però, le pratiche di ventilazione naturale presentano problemi importanti, primo fra tutti la controllabilità del fenomeno, la cui intensità e frequenza, sono non progettabili. Per non trascurare gli evidenti problemi di sicurezza, generati dal lasciar aperte le finestre in una struttura pubblica sanitaria, proprietaria di macchinari e prodotti di alto valore, strategico e commerciale. Si vuole precisare che quest'ultimo problema, è ovviabile con l'utilizzo di telai che promuovano la micro-ventilazione, attraverso il perimetro del serramento, ma che comunque può comportare a situazioni di discomfort locale in inverno per la creazione di *correnti d'aria fredda parasite*, o "spifferi", e comunque irrimediabilmente, ad un abbattimento dell'intensità di ventilazione, che altrimenti si instaurerebbe, a parità di condizioni al contorno, disponendo di tutto il serramento aperto. Riassumendo, quindi, si vuol studiare l'adozione di un processo controllabile e sicuro che sfrutti il fenomeno del raffrescamento notturno dell'aria esterna per promuovere la climatizzazione passiva dell'aria interna con un'intensità tale, da incidere significativamente, sul grado di comfort termico interno giornaliero.

Per tutto ciò di cui sopra, questa possibilità, è difficilmente realizzabile a meno di giungere ad un compromesso, che si gioca proprio sul concetto di "soluzione passiva".

### 3.4 La ventilazione notturna meccanica, una climatizzazione "quasi-passiva"

In tal senso, di fatto, è possibile utilizzare l'impianto di "ricambio d'aria" per immettere, in orario notturno, aria esterna, in ambiente interno, bypassando le unità interne dedite al



trattamento (pre-climatizzazione) dell'aria stessa. Tale soluzione trattasi di un processo di "climatizzazione semi-passiva", poiché, nonostante il condizionamento dell'aria interna avviene solo per miscelamento di aria interna "calda" con aria esterna "fredda" che non è stata trattata, viene comunque interpellato un impianto per la movimentazione del flusso di aria esterna, proprio per venire incontro a quell'esigenza di controllabilità che altrimenti, con una ventilazione naturale, sarebbe difficile da ottenere

L'obbiettivo, pertanto, risulterà quello di comprendere se, e come, un impianto di ventilazione dedito al più al ricambio dell'aria interna, possa essere aggiornato per promuovere *ventilazione semi-passiva notturna*, al fine di ottenere un percepibile e significativo miglioramento, del comportamento termico dell'ambiente interno.

Un impianto di ventilazione risulta essere caratterizzato dalla portata d'aria, da immettere/estrarre negli/dagli ambienti, e la velocità, a cui tali portate d'aria vengono immesse/estratte. La seconda caratteristica dipende in buona parte dalla dimensione dei canali dell'impianto di ventilazione, e la prima invece dal ventilatore installato sulla *centrale di trattamento aria*, il macchinario, o complesso di macchinari, che può provvedere a portare l'aria immessa alle caratteristiche di temperatura e umidità desiderate e con il necessario recupero di calore dell'aria invernale espulsa. Il settaggio di queste due componenti segue un iter procedurale ben definito, che verrà successivamente eseguito per comprendere il punto di partenza dell'impianto di ventilazione cui si abbia la volontà di sfruttare per fini di comfort termico oltre che di salubrità interna dell'aria.

### 3.5 Calcolo del livello di qualità d'aria richiesto

Dalla norma tecnica UNI10339:1995 è possibile ricavare il dato minimo di portata d'aria di ricambio, che è necessario instaurare, per mantenere in condizioni di salubrità ottimali l'ambiente interno, nel caso in cui nell'ambiente in analisi sia presente solo una persona  $Q_{op}$ , partendo dai seguenti dati di ingresso:

- Categoria di edificio : Ospedali, Cliniche, Case di Cura e Assimilabili
- Destinazione d'uso dell'ambiente interno: Sala medica/Soggiorno

Dal Prospetto III della UNI 10339:1995 Si ottiene pertanto il seguente risultato:

$$Q_{op} = 30,6 \text{ m}^3/\text{h persona}$$

Il numero delle persone  $N_p$  presenti all'interno dell'ambiente è ottenibile dalla medesima norma tecnica mediante i seguenti dati di input:

- Categoria di edificio: Ospedali, Cliniche, Case di Cura e Assimilabili
- Destinazione d'uso dell'ambiente interno: Soggiorno, Terapia fisica

Dal Prospetto VIII è possibile ottenere l'indice di affollamento del locale  $n_s$  con il seguente valore:

$$n_s = 0,2 \text{ persone/m}^2$$

Pertanto, considerando che la superficie netta calpestabile  $A = 22,44 \text{ m}^2$  media dei locali con tale destinazione d'uso, è possibile così calcolare il numero di persone presenti arrotondato per eccesso:

$$N_p = A \cdot n_s = 22,44 \cdot 0,2 \cong 5 \text{ persone}$$

La Portata di rinnovo  $Q_o$  all'interno dell'ambiente ambulatoriale medio è così ottenibile:

$$Q_o = Q_{op} \cdot N_p = 30,6 \cdot 5 = 153 \text{ m}^3/\text{h}$$

Verranno concentrate le estrazioni d'aria nei servizi igienici e nel corridoio, per rendere il processo di ventilazione complessivamente bilanciato. Data la conformazione dei piani della struttura in esame e il numero medio di locali presenti è possibile supporre che la portata necessaria a promuovere la ventilazione su tutto un piano dell'edificio sia quella necessaria a ventilare un numero equivalente di ambulatori (assimilate a "sale mediche" per UNI 10339:1995) pari a 12. Pertanto, la portata totale da conferire ad un piano  $Q_p$  è così calcolabile:

$$Q_p = Q_o \cdot 12 = 153 \cdot 12 = 1836 \text{ m}^3/\text{h}$$

Si prevede che le dorsali di piano saranno due, e che forniranno ricambio d'aria ad un numero equivalente di locali; pertanto, la dorsale di piano "effettiva" transitante nel corridoio fornirà una portata  $Q_D$  così calcolata:

$$Q_D = Q_p \cdot 0,5 = 1836 \cdot 0,5 = 918 \text{ m}^3/\text{h}$$

Le portate  $Q_p$ ,  $Q_D$ ,  $Q_o$  ci consentiranno di dimensionare rispettivamente la sezione:

- Dello stacco al piano dalla colonna montante
- Della dorsale di piano
- Del singolo stacco dalla dorsale di piano

### 3.6 Predimensionamento del sottosistema di distribuzione dell'impianto di ventilazione

Il dimensionamento preliminare avviene scegliendo la velocità media da instaurare sulla sezione del canale che da buona pratica di progettazione<sup>3</sup>, per le strutture sanitarie o assimilabili, per ragioni di comfort acustico è possibile adottare per le seguenti velocità per i rispettivi tratti elencati:

- $v_p = v_D = 5 \text{ m/s}$
- $v_o = 3 \text{ m/s}$

L'area del tratto di canale corrispondente è quindi così calcolata in termini di  $\text{cm}^2$  e  $\text{m}^2$ :

- $A_p = Q_p/v_p = 1836/5 = 1020 \text{ cm}^2 = 0,102 \text{ m}^2$
- $A_D = A_p/2 = 1020/2 = 510 \text{ cm}^2 = 0,051 \text{ m}^2$
- $A_o = Q_o/v_o = 153/5 = 85 \text{ cm}^2 = 0,009 \text{ m}^2$

---

<sup>3</sup> Dati relativi al criterio di dimensionamento per calcolo a velocità media in sezione costante [La distribuzione dell'aria negli impianti di ventilazione meccanica, Idraulica 62, Caleffi:Giugno 2022]

Nell'ipotesi di tratto a sezione quadrata, è possibile conferire meglio un'idea, delle dimensioni effettive della sezione dei canali precedentemente dimensionate:

- $H_P = \sqrt{A_P} = \sqrt{1020} \cong 32 \text{ cm}$
- $H_D = \sqrt{A_D} = \sqrt{510} \cong 23 \text{ cm}$
- $H_o = \sqrt{A_o} = \sqrt{85} \cong 9,5 \text{ cm}$

È altresì possibile riferendoci ai profilari disponibili sul mercato<sup>4</sup> conferire delle dimensioni tipiche dei canali realmente impiegati nel contesto applicativo:

Sezione *P*: 400x300 mm

Sezione *D*: 400x150 mm

Sezione *O*: 200x150 mm

Adesso ipotizziamo di installare l'impianto di ventilazione precedentemente dimensionato nella struttura in esame. Si necessiterà pertanto, anche, dell'installazione di un controsoffitto che nasconda i canali aria nelle stanze, che da un'altezza utile di 3 m, scenderanno al minimo di 2,7 m, e nei corridoi, che da una preesistente altezza utile eguale a quella delle stanze, scenderanno a 2,4 m per permettere la presenza delle varie dorsali impiantistiche. Ciò, modifica le volumetrie nette interne dei locali, cui, il tipico ambulatorio, passerà ad un valore di volume netto pari a:

$$V = A \cdot h = 22,44 \cdot 2,7 = 60,6 \text{ m}^3$$

Importante risulta essere tale premessa poiché, la norma tecnica UNI 10375:2011, che verrà qui impiegata per calcolare il comportamento termico (profilo di temperatura orario) del locale tipico della struttura in esame, in condizioni estive di progetto, considera come dato di input per la ventilazione il *Tasso di ricambio d'aria*  $n_o$ .

Inizialmente, il ricambio d'aria sarà garantito, ante installazione del sistema di ventilazione dall'apertura delle finestre, e quindi a mezzo di un processo naturale. Sempre la UNI 10375:2011 ci consente di valutarne l'entità del tasso di ricambio aria naturale. Pertanto, utilizzando il Prospetto A.1 e i calcoli effettuati precedentemente è possibile calcolare il tasso di ricambio d'aria garantito dall'apertura delle finestre nelle fasi diurne  $n_{nat}$  e il corrispondente garantito dal sistema di ventilazione precedentemente dimensionato per le portate minime necessarie, sancite dalla norma tecnica UNI 10339:1995  $n_{min}$ .

- $n_{nat} = 2 \text{ Vol/h}$
- $n_{min} = Q_o/V = 153/60,6 \cong 2,5 \text{ Vol/h}$

I due tassi di ricambio aria precedentemente calcolati risultano quasi equivalersi; pertanto, non risulterà esserci sostanziale differenza tra la situazione di un ambulatorio ventilato con sistema naturale solo nelle ore diurne e il caso in cui il medesimo locale venga ventilato meccanicamente solo nelle ore diurne. Pertanto, la condizione di analisi di partenza coinciderà con quella in cui sul locale tipico, si vedrà instaurare il tasso di ricambio d'aria  $n_{min}$ , solo nelle ore diurne.

---

<sup>4</sup> Canali aria a sezione rettangolare in lamiera zincata [Sagomario Alnor]

### 3.7 Influenza della ventilazione notturna sul comportamento termico interno

Procedendo con il calcolo da UNI 10375:2011, imponendo un ricambio d'aria costante di tasso  $n_{min}$  solo nelle ore diurne, si ottiene il seguente andamento della *temperatura media operante*  $T_{op}$  nelle ore diurne:

Ora	Temperatura operante
t	$\theta_{op,m}$
[h]	[°C]
8	41.3
9	41.6
10	41.8
11	41.9
12	42.9
13	43.9
14	44.7
15	45.2
16	45.1
17	44.8
18	44.0
19	42.9

Tab. 6 - Profilo Termico Estivo Medio Operante Diurno dell'ambulatorio tipo

Si precisa che il precedente risultato, è frutto dell'imposizione delle seguenti ipotesi, aggiuntive, rispetto alle premesse di base adottate per la precedente procedura di calcolo:

- I ricambi orari dell'aria interna, con volumi di aria esterna, si ipotizzano costanti, che si manifestano solo nelle ore diurne di attività interna e ottenuti al più, in modo meccanico, dall'impianto di ventilazione
- Si è supposta l'assenza di un sistema di ombreggiamento

Per avere una più agevole lettura dei precedenti e successivi risultati ci si riferirà al più alla *temperatura massima diurna*  $T_M$  e la *temperatura media diurna*  $T_m$ .

Temperatura Operante	
$T_M$ [°C]	45.2
$T_m$ [°C]	43.3

Tab. 7 - Valori della Temperatura Massima e Media Diurna Operante

Il precedente risultato termico considera un tasso di ventilazione nelle ore notturne  $n_{nott} = 0$ . Successivamente si itereranno una serie di simulazioni atte a produrre le coppie di valori  $T_M$  e  $T_m$  per un valore di  $n_{nott}$  progressivamente crescente.

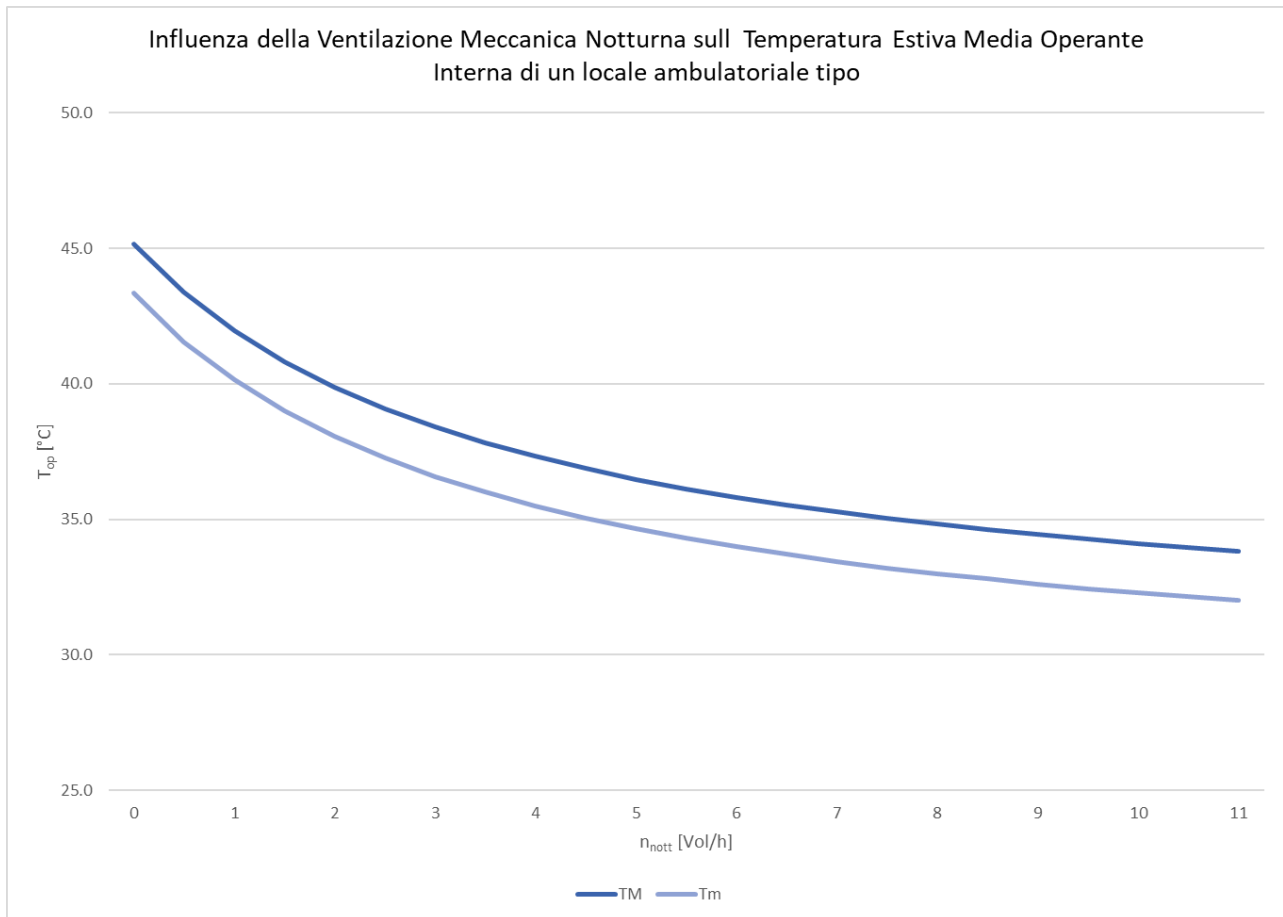


Fig. 3 - Influenza della ventilazione notturna sulla temperatura interna diurna

### 3.8 Analisi conclusive

Grazie al precedente risultato grafico è possibile trarre le seguenti conclusioni:

- Se nelle ore notturne si continuasse a ventilare con le medesime portate minime richieste da norma tecnica UNI 10339:1995, è possibile promuovere un abbassamento della temperatura massima diurna di circa  $10 \div 11^\circ\text{C}$ . Ciò rappresenta un notevole vantaggio, poiché il beneficio di cui prima, non richiede alcuna modifica all'impianto di ventilazione.
- Per promuovere un'ulteriore decrescita della temperatura massima diurna interna di altri  $5^\circ\text{C}$ , sarà necessario portare il livello di ventilazione notturna a  $n_{nott} = 7,5 \text{ Vol/h}$
- Oltre il dato di tasso di ventilazione prima definito non si registra un importante decremento della temperatura operante interna; risulta pertanto poco vantaggioso promuovere un ulteriore incremento del tasso di ventilazione notturna.

Per passare da  $n_{nott} = 2,5 \text{ Vol/h}$  a  $n_{nott} = 7,5 \text{ Vol/h}$ , comportando quindi un incremento di 3 volte dell'intensità di ventilazione sarà possibile agire secondo due modalità:

- Adottare un ventilatore all'interno della centrale di trattamento aria di maggiore potenza che consenta valori di portata tre volte maggiori.
- Aumentare la dimensione caratteristica della sezione dei canali di passaggio dell'aria (supposta quadrata) di  $\sqrt{3}$  volte.
- Promuovere un incremento sia della velocità media in sezione sia della dimensione della sezione stessa.

La possibilità di incrementare di tre volte i valori delle velocità medie in sezione lungo i canali aria è percorribile senza la possibilità di incorrere in problematiche acustiche, dal momento che nelle ore notturne la struttura risulterà non utilizzata. Non sussistono nemmeno problematiche meccaniche di stabilità delle connessioni. Sensibili problematiche acustiche, che riteniamo strettamente correlate a conseguenze meccaniche si presentano per valori di velocità prossimi a  $20 \div 25 \text{ m/s}$ <sup>5</sup>. Dal momento che le velocità massime che si riscontrerebbero non andrebbero a superare i  $15 \text{ m/s}$ , riteniamo che con la sola sostituzione del ventilatore nella centrale di trattamento aria sia possibile attenersi al massimo i possibili vantaggi ricavabili dall'instaurazione di un processo di ventilazione meccanica notturna a fini di climatizzazione passiva in periodo estivo.

---

<sup>5</sup> Dati relativi all'approfondimento sui criteri di progettazione e dimensionamento delle condotte aerauliche [Gazzetta digitalizzazione, Ingegno:Aprile 2021]

## 4. Sistema di ombreggiamento

### 4.1 Obiettivi

Nel capitolo precedente, si è compreso, che un sistema di ricambio dell'aria, possa incidere positivamente, sul comportamento termico estivo, di un locale interno, confinato esternamente da ampie finestrate. Si è inoltre illustrato, "come" possa incidere, e conferito degli strumenti per valutare "quanto" possa incidere. Lo stesso metodo verrà adottato per lo studio del sistema di ombreggiamento, il quale, contribuirà a concorrere all'obiettivo di mantenimento della condizione di comfort termico interno per tutto l'arco estivo. Attenzione, sarà inoltre posta sulla soluzione tecnica del sistema affinché quest'ultima possa inoltre perseguire finalità di comfort visivo. Si perseguirà pertanto il fine di adoperare un sistema capace di limitare il passaggio di radiazione solare, ma non alterare sostanzialmente la visibilità esterna, che altrimenti si avrebbe con un serramento libero da elementi schermanti.

### 4.2 Premesse

Uno dei fattori che contribuiscono significativamente al problema del surriscaldamento interno dei locali è la permeabilità delle aperture finestrate alla radiazione solare. L'apertura finestrata è da intendersi in questo caso come l'insieme di serramento ed eventuale "shading device", quest'ultimo a sua volta da intendersi come uno schermo alle radiazioni, tipo tenda o veneziana, parallelo alla superficie vetrata. In buona sostanza, si vuol intendere un'apertura a cui è possibile associare, a mezzo di un'opportuna procedura di calcolo, una *trasmissione solare equivalente*  $g_{gl+sh}$ <sup>6</sup>, dell'insieme dei due componenti, serramento e schermatura.

Una delle possibili strategie con cui ridurre la problematica di cui sopra, è permettere anche elevati valori di permeabilità alla radiazione solare della finestra, ma agire sulla sorgente delle radiazioni, ovviamente, a valle del suo percorso. In sostanza, si vuole associare un *sistema di ombreggiamento*, che trasporti ombre portate sulla parte vetrata del serramento e quindi aumentare il suo *fattore di ombreggiamento*  $F_s$  definibile come il rapporto tra la superficie del serramento al netto della parte ombreggiata e l'area del serramento stesso.

### 4.3 Prime proposte progettuali

I più comuni sistemi impiegabili sulla facciata oggetto di analisi, per impedire alla radiazione solare di determinare incidenza su di una specchiatura, appartengono alle seguenti famiglie di soluzioni tecnologiche:

- Tende da sole
- Veneziane
- Lamelle frangisole:
  - o Installate al di sopra della specchiatura in oggetto orizzontale
  - o Installate parallelamente al piano della specchiatura:
    - Ad asse verticale
    - Ad asse orizzontale

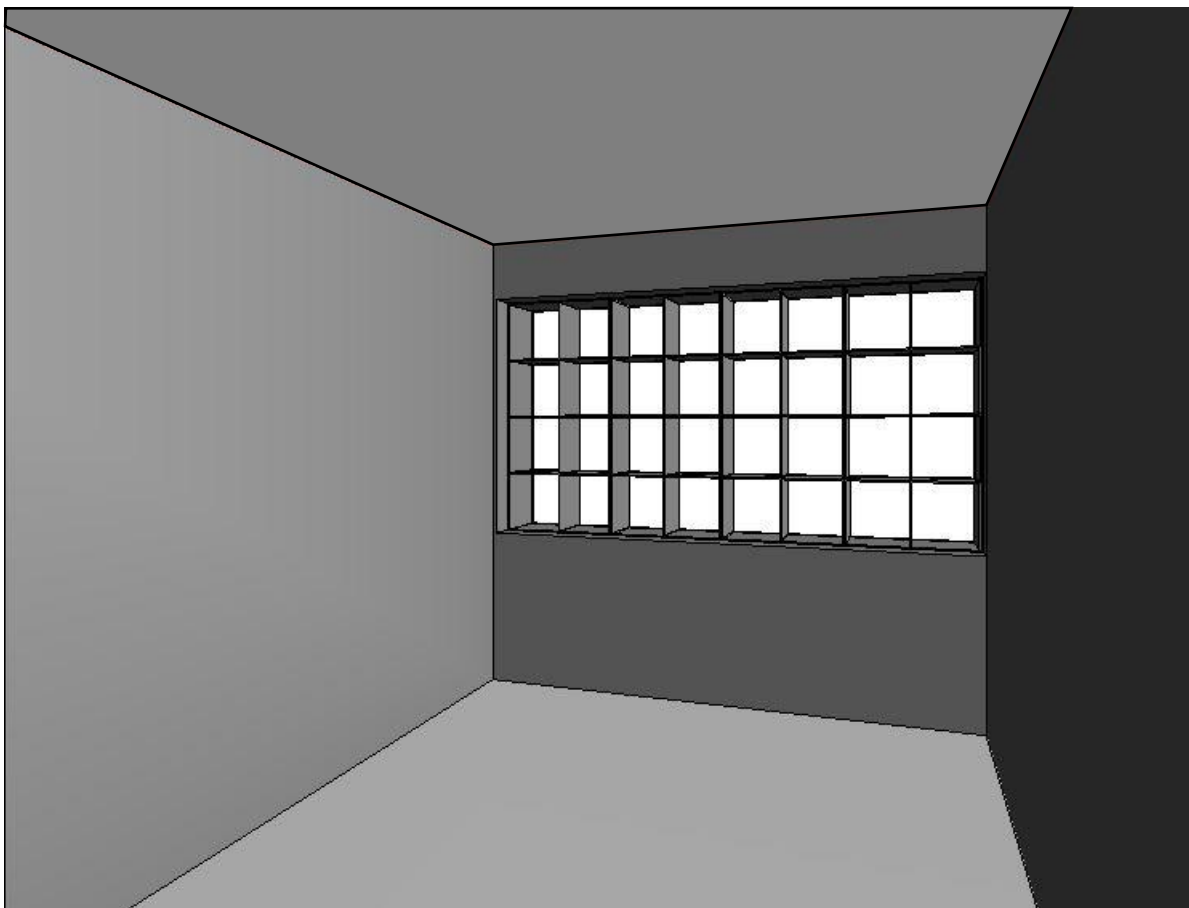
---

<sup>6</sup> Somma dei contributi, relativi al totale, di irradianza globale incidente, su di un componente trasparente schermato, direttamente trasmessi e indirettamente re irradiati, nell'ambiente interno [UNI/TS 11300-1:2014]

Le lamelle frangisole in aggetto orizzontale richiedono una approfondita analisi delle proprietà di resistenza degli elementi strutturali, a cui tali oggetti dovrebbero essere ancorati, andando di fatto, ad alterarne la configurazione di carico non solo in termini di peso proprio trasmesso, ma per tutti gli altri carichi ambientali che a sua volta trasporterebbe alla struttura esistente dell'edificio. Tutti gli altri sistemi viceversa sono accomunati da un altro singolo e comune problema, quello di non riuscire a garantire una buona visibilità verso l'esterno. Di fatto, viene meno il ruolo più importante di una specchiatura, ossia quello, non solo di garantire l'ingresso di luce diffusa, come ad esempio i sistemi frangisole si premettono di conseguire, ma anche quello di permettere la visibilità, dell'esterno, dall'interno degli ambienti dell'edificio.

Obiettivo di tale capitolo sarà quello di studiare un Sistema di ombreggiamento che possa limitare e ben distribuire il carico aggiuntivo trasmesso alla struttura esistente e che possa non impattare in modo sensibile la visibilità esterna attraverso le componenti vetrate.

L'idea di fondo di tale sistema è quello di essere composto di elementi longilinei, in aggetto rispetto al piano della finestra e che in prospettiva risultino tracciare delle sole linee sulla specchiatura. Si offre di seguito una immagine prospettica dell'idea prima esposta attraverso una vista dall'interno del locale tipico della struttura oggetto di analisi.



*Fig. 4 - Vista prospettica dall'interno del locale tipico del sistema di ombreggiamento oggetto di analisi*



#### 4.4 Percorso progettuale del sistema di ombreggiamento

Lo studio seguirà il percorso di analisi di seguito esposto. Verrà ipotizzato, come da immagine precedente, che gli elementi longilinei traccino una trama di linee orizzontali e verticali creando in prospettiva un disegno di cellule rettangolari. Si studierà come poter singolarmente decidere il numero e la dimensione dell'oggetto degli elementi prima orizzontali e poi verticali, evidenziando i limiti e le opportunità, di condurre un'analisi separata di elementi orizzontali e verticali. Seguirà un'analisi combinata dei due elementi e quindi del sistema a cellule rettangolari. Una volta considerate le criticità del sistema composto di soli elementi orizzontali e verticali si proporrà una nuova configurazione della singola cellula e quindi dell'intero disegno di trama del sistema. Ci si propone pertanto di massimizzare le prestazioni di "taglio alla radiazione solare" offerte dal nuovo assetto geometrico "per forma" e un metodo di calcolo per quantificare e progettare tale prestazione, attraverso la sua caratterizzazione geometrica.

Strumento "guida" fondamentale nell'esecuzione delle fasi di cui sopra sarà la *carta del sole* o *carta solare*.

#### 4.5 La Carta del Sole

La carta del sole si ottiene proiettando ortogonalmente, su di un piano orizzontale, il percorso del sole durante ogni mese dell'anno presi al giorno 21 del mese (data corrispondente nei mesi di giugno-dicembre ai solstizi e nei mesi marzo-settembre ai due equinozi). La posizione del sole si identifica a mezzo di un sistema polare caratterizzato da quote zenitali (in altezza) e azimutali (in piano). Date le dissonanze in termini di definizioni che si trovano in letteratura, si precisa che in tale elaborato per "quota zenitale" o "angolo zenitale" o similari si vuol intendere l'inclinazione del Sole rispetto al piano Orizzontale. Per facilitarne meglio la lettura sono stati introdotti due insiemi di elementi geometrici: un fascio di raggi passanti dall'origine del sistema (a "spicchi" di  $10^\circ$  sessagesimali per indicare gli angoli azimutali, con  $0^\circ$  al Nord), e un insieme di circonferenze concentriche all'origine del sistema (con "offset" di  $10^\circ$  sessagesimali tra di esse, per indicare gli angoli zenitali con posizione verticale al centro del sistema e quindi angolo zenitale di  $90^\circ$  sessagesimali). Di seguito si riporta la Carta del Sole elaborata per la località di riferimento per l'edificio in analisi:

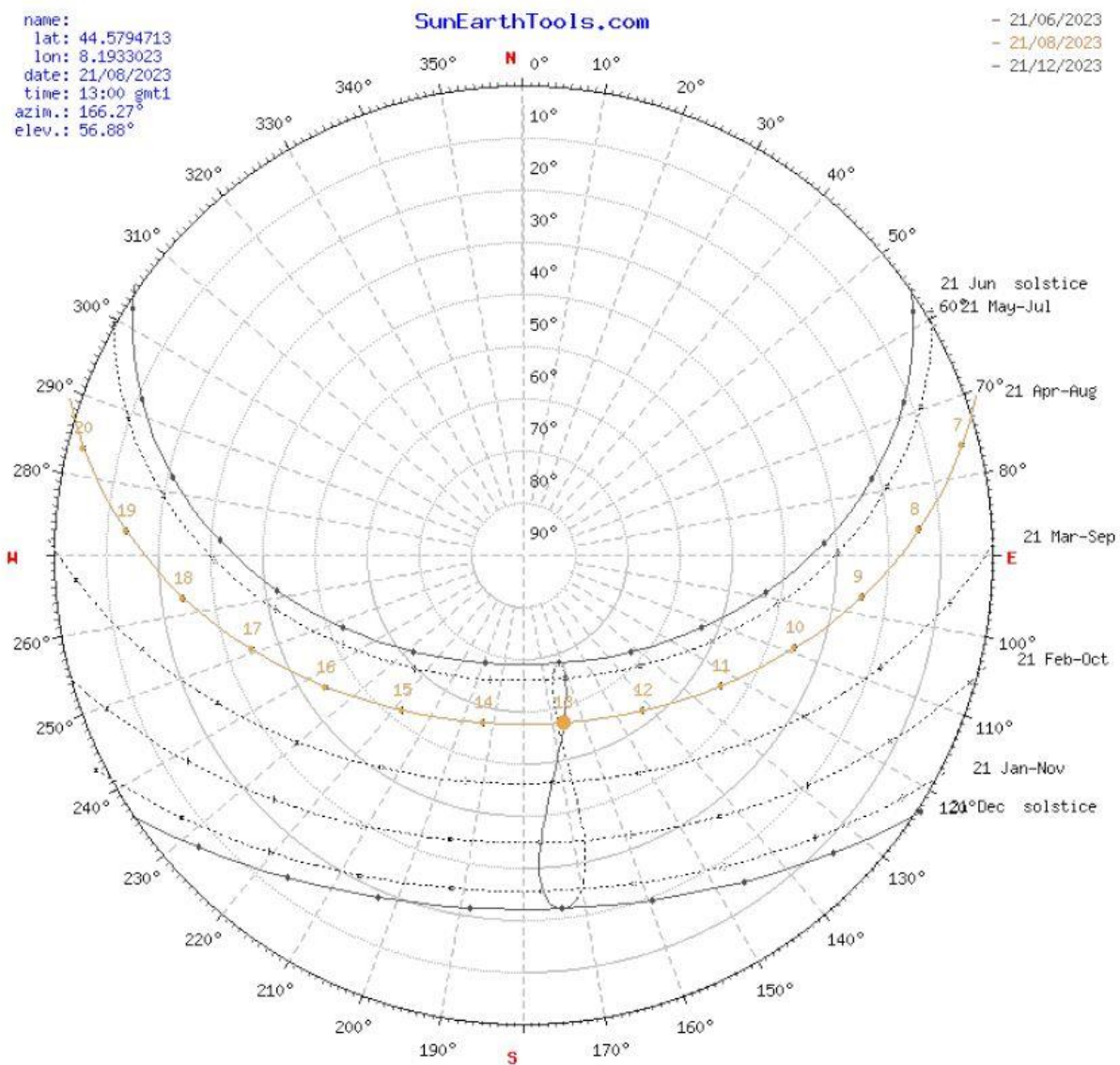


Fig. 5 - Carta del Sole 21/08 località Cortemilia

Il moto apparente del sole, rappresentato in due dimensioni dal grafico di cui sopra, in termini zenitali risulta ciclico, motivo per il quale la traiettoria nel mese di agosto è identica a quella di aprile. La traiettoria a cui ci riferiremo per i fini dei nostri studi è quella del mese di agosto, in particolare del giorno ventunesimo del mese, definito come “giorno di progetto” nella sola sede di dimensionamento geometrico del sistema, non delle analisi termiche. In tal modo, qualunque decisione progettuale verrà intrapresa, potremo esser ragionevolmente sicuri che essa influenzerà completamente tutto l’arco temporale estivo.

Per prima cosa è necessario inserire sulla carta di cui prima, la nostra apertura finestrata, in modo da comprendere, come questa si relazioni geometricamente al percorso del sole, del giorno selezionato. Si consideri che l’apertura si colloca su di una parete verticale; pertanto, sul grafico verrà rappresentata da una linea retta. Una volta individuata l’inclinazione della normale alla parete rispetto al nord, è definitivamente possibile tracciare la retta di rappresentazione; in particolare tale parete si discosta verso Ovest di 60° sessagesimali dal Sud; pertanto, sarà caratterizzata da una giacitura con azimut di 240°. Di seguito si riporta la rappresentazione della giacitura della parete oggetto di analisi.

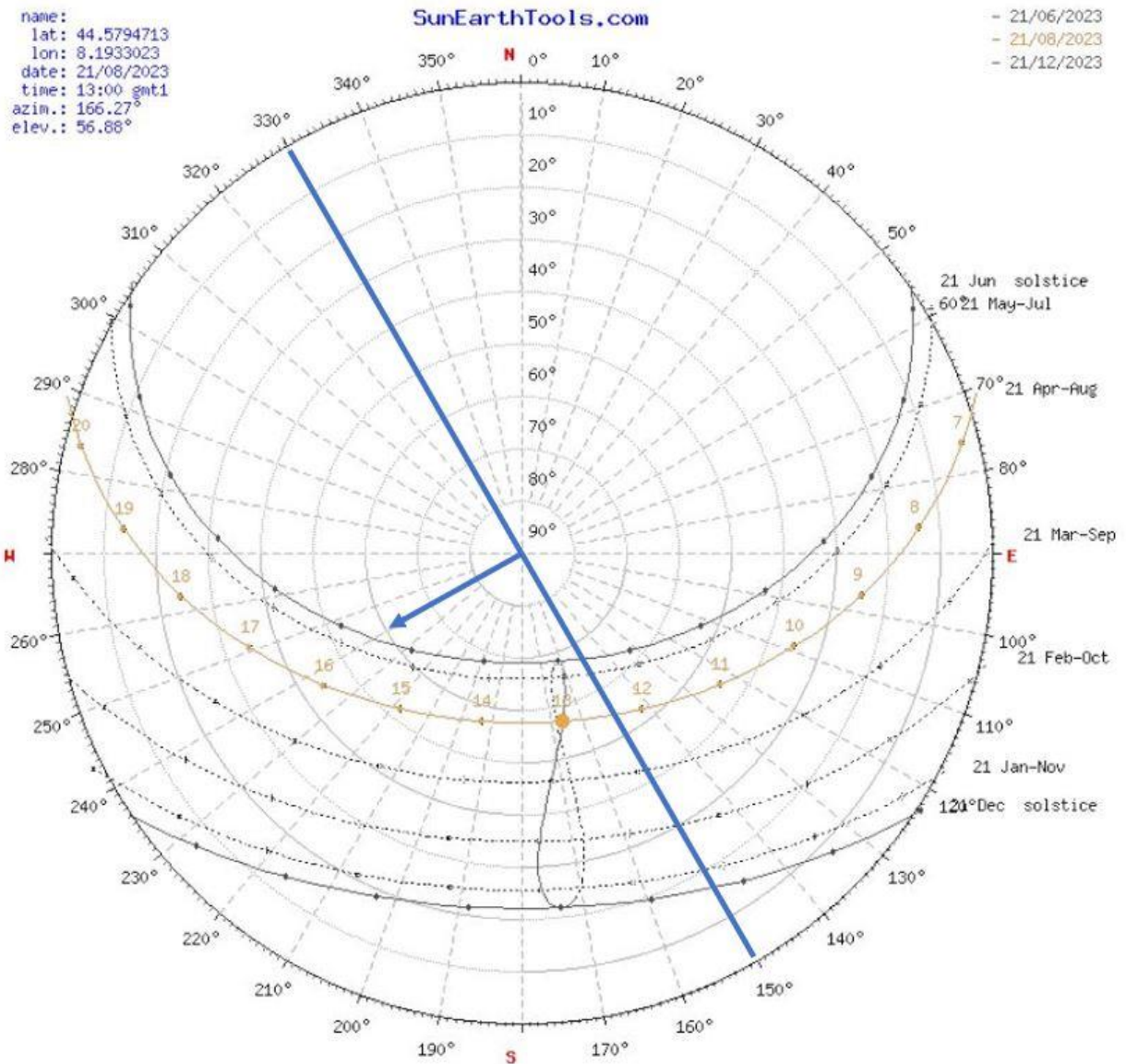


Fig. 6 - Individuazione specchiatura su carta del sole

È già possibile derivare delle prime osservazioni:

- Le posizioni del sole con valori di azimut minori di  $240^\circ - 90^\circ = 150^\circ$  non potranno interagire in termini di irraggiamento diretto con l'apertura oggetto d'esame, poiché in tal contesto, il sole, risulta "fuori dal campo visivo della parete".
- Per ogni altra posizione azimutale del sole, sino al tramonto esso potrà interagire con l'apertura finestrata
- La nostra apertura essendo esposta in una posizione intermedia tra i punti cardinali del Sud e dell'Ovest, interagirà sia con raggi solari con componente zenitale prevalente, ossia sole alto sull'orizzonte, (prime ore del pomeriggio) sia con raggi solari con componente azimutale prevalente sulla zenitale, ossia sole basso sull'orizzonte (ultime ore del pomeriggio e inizio ore della sera).

## 4.6 Dimensionamento degli elementi orizzontali del sistema di ombreggiamento

Si procede al dimensionamento del sistema di ombreggiamento partendo dagli elementi orizzontali. Il sistema di ombreggiamento, costituito dai soli elementi orizzontali, viene caratterizzato dai seguenti parametri:

- $n$  = numero di elementi orizzontali del sistema di ombreggiamento
- $d$  = oggetto orizzontale garantito dal singolo elemento
- $H$  = altezza del serramento da ombreggiare

In tale sede gli elementi orizzontali del sistema di ombreggiamento si supporranno di lunghezza pari a quella del serramento ed equidistanti tra di loro nel loro sviluppo verticale.

Con un approccio conservativo la cui entità sarà oggetto di successivi studi più approfonditi è possibile affermare che, la superficie vetrata interposta tra due elementi orizzontali, si troverà ad essere completamente ombreggiata, per lo meno in sezione verticale (trascurando per il momento il movimento azimutale del sole sulla volta), quando verrà rispettata la seguente condizione:

$$\tan(\alpha_s) \geq \frac{H/n}{d}$$

Dove si vuol precisare che  $\alpha_s$  rappresenta la quota zenitale del sole sul piano orizzontale espressa in gradi sessagesimali.

Si ottiene “condizione di incipiente illuminazione”, in sezione verticale, della porzione su cui insiste uno degli elementi orizzontali del sistema di ombreggiamento, qualora si verifica la seguente condizione:

$$\tan(\alpha_s) = \tan(\alpha_{s,lim}) = \frac{H/n}{d}$$

Si precisa che  $\alpha_{s,lim}$  è l'angolo di incipiente illuminazione espresso in gradi sessagesimali. Attraverso la precedente definizione è possibile riarrangiare la condizione di cui sopra come segue:

$$n = \frac{1}{\tan(\alpha_{s,lim})} \cdot \frac{1}{(d/H)} = \cot(\alpha_{s,lim}) \cdot \cot(\alpha_o)$$

Dove  $\alpha_o$  definisce l'angolo di incipiente illuminazione offerto da un solo elemento orizzontale posto in sommità su tutta la superficie del serramento.

Con l'espressione di cui prima è possibile dimensionare il sistema di elementi orizzontali del sistema di ombreggiamento seguendo la seguente procedura:

- Si stabilisce sino a che quota zenitale solare  $\alpha_{s,lim}$  si vuole spostare il verificarsi della condizione di incipiente illuminazione.
- Si stabilisce l'oggetto adimensionale  $d/H$  (direttamente correlato a  $\alpha_o$ ) che gli elementi orizzontali devono poter ricreare rispetto al piano dell'apertura finestrata

- Attraverso la relazione di cui sopra si calcola il numero di elementi orizzontali, con oggetto  $d$ , per far sì che sulla finestra, di altezza  $H$ , non si verifichi illuminazione prima dell'orario corrispondente alla quota  $\alpha_{s,lim}$ .

Si precisa che non si è utilizzato in modo casuale il verbo “spostare” nel primo punto della procedura. Di fatto, più l'angolo di incipiente illuminazione si determinerà con valori sempre più piccoli, più stiamo ritardando nel tempo il momento in cui il sole “si mostrerà” dinanzi alla superficie del serramento provvedendo ad illuminarla. Esiste una correlazione quasi indipendente dalla posizione del sito, tra le quote zenitali che si verificano nel giorno in analisi e l'orario in cui queste si manifestano. Ciò verrà mostrato nelle successive carte del sole<sup>7</sup>:

---

<sup>7</sup> Analisi solare condotta con lo strumento di posizionamento solare [Posizione del sole, SunEarthTools.com:2009-2023]



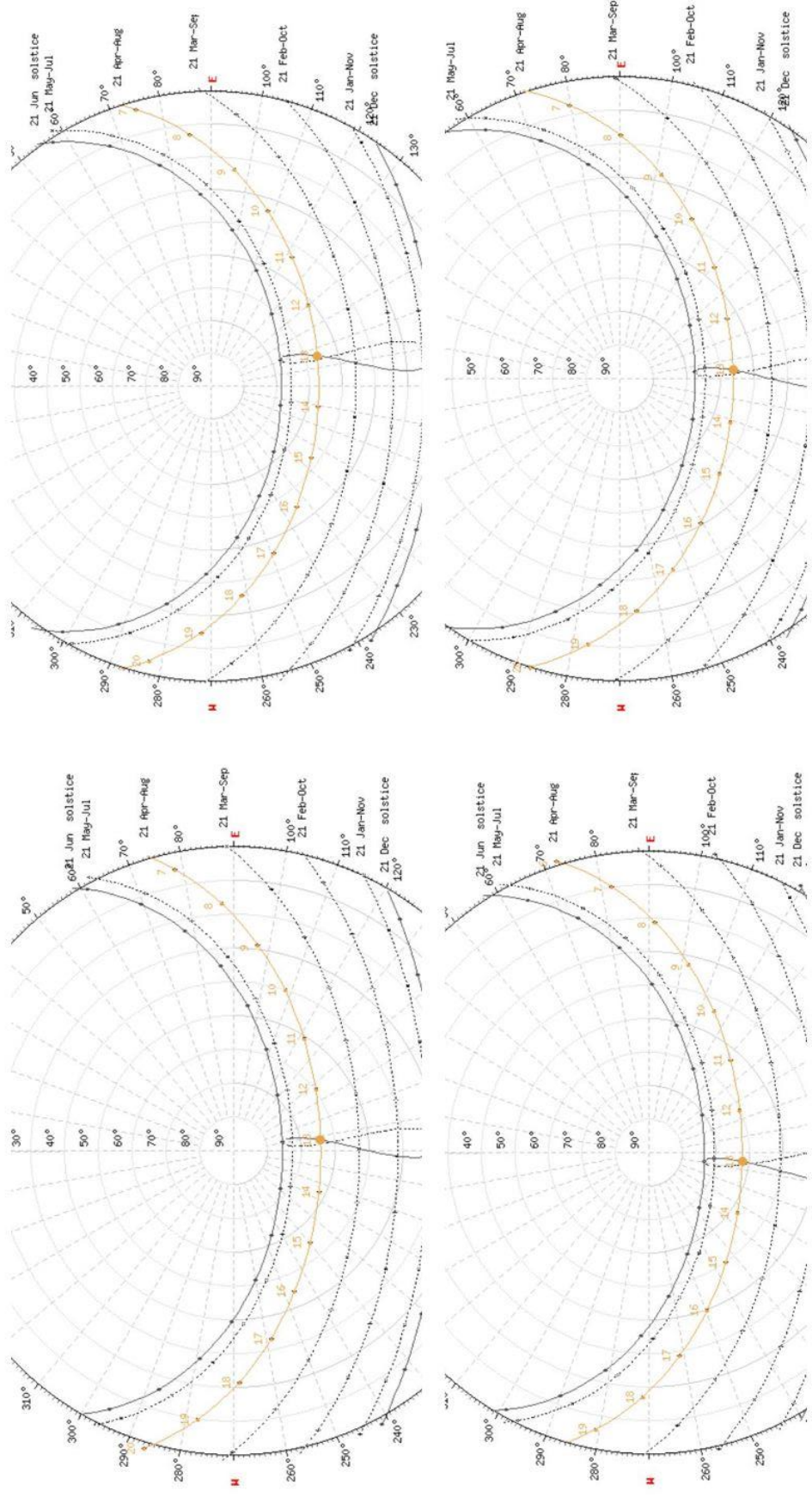


Fig. 7 - Carte Solari dei Punti Estremi della Penisola Italiana (up sx Bardonecchia, up dx Udine, down sx Trapani, down dx Lecce, con posizioni riferite all'orientamento della figura)

È possibile quindi determinare che la quota azimutale che descrive la posizione del sole ad un certo orario ricade in un range di 10° sessagesimali in particolare:

- Per longitudini nell'intorno di 7° (valore molto vicini al sito oggetto di analisi) :
  - o Alle ore 16:00 si osserva una quota azimutale  $\alpha_s \cong 45^\circ$
  - o Alle ore 17:00 si osserva una quota azimutale  $\alpha_s \cong 35^\circ$
  - o Alle ore 18:00 si osserva una quota azimutale  $\alpha_s \cong 25^\circ$
  - o Alle ore 19:00 si osserva una quota azimutale  $\alpha_s \cong 15^\circ$
- Per longitudini nell'intorno di 17° (longitudine cui ricade la città di Lecce) :
  - o Alle ore 16:00 si osserva una quota azimutale  $\alpha_s \cong 35^\circ$
  - o Alle ore 17:00 si osserva una quota azimutale  $\alpha_s \cong 25^\circ$
  - o Alle ore 18:00 si osserva una quota azimutale  $\alpha_s \cong 15^\circ$
  - o Alle ore 19:00 si osserva una quota azimutale  $\alpha_s \cong 5^\circ$
- Per siti con longitudini intermedie otterremo valori intermedi ottenibili per approssimazione con interpolazioni lineari

Con le osservazioni di cui prima è possibile riprodurre in formato tabellare la procedura di dimensionamento.

Long [°]	ore	$\alpha_s$ [°]	d/H [-]											
			0.7	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2	
7	16:00	45	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	5	
	17:00	35	3	3	3	3	3	4	4	5	5	6	8	
	18:00	25	4	4	4	4	5	5	6	7	8	9	11	
	19:00	15	6	6	7	7	8	9	10	11	13	15	19	
17	16:00	35	3	3	3	3	3	4	4	5	5	6	8	
	17:00	25	4	4	4	4	5	5	6	7	8	9	11	
	18:00	15	6	6	7	7	8	9	10	11	13	15	19	
	19:00	5	17	18	20	21	23	26	29	33	39	46	58	

Tab. 8 - Tabella di calcolo del numero di elementi orizzontali, necessari a determinare massimo ombreggiamento, sino all'orario richiesto, in una località di riferimento, per un dato oggetto adimensionale supposto

La tabella è ben impiegabile qualora, sapendo la località, si ipotizza un orario di intervento, si ipotizza un certo oggetto adimensionale del singolo elemento orizzontale, ed è possibile ricavare il numero minimo di oggetti per rispettare quanto di cui sopra. Nel nostro caso viceversa potremmo porre una condizione architettonica relativa al fissare dapprima la dimensione dell'oggetto, pari alla nicchia in cui sono inserite le finestre, e quindi individuare per la nostra località ad ogni orario il numero di oggetti necessari a garantire il livello massimo di schermatura sino a quell'orario, anche per differenti estensioni di oggetti a partire dal primo all'interno della nicchia:

ore	$\alpha_s$ [°]	d [cm]							
		45	50	55	60	65	70	75	80
16:00	45	3	3	3	3	2	2	2	2
17:00	35	5	4	4	4	3	3	3	3
18:00	25	7	6	6	5	5	4	4	4
19:00	15	11	10	9	9	8	7	7	7

Tab. 9 - Tabella di calcolo del numero di elementi orizzontali, necessari a determinare massimo ombreggiamento, sino all'orario richiesto, nella località di progetto, per un dato oggetto supposto

Possiamo trarre le seguenti osservazioni:

- Con l'estensione in aggetto pari alla nicchia con soli tre elementi orizzontali è possibile coprire la parte più calda del pomeriggio
- Praticamente raddoppiando il dato di cui prima è possibile estendere questa fascia d'orario sino praticamente al termine dell'orario di lavoro classico da ufficio
- Per poter estendere di una sola ora la copertura del sistema è necessario invece triplicare la cifra iniziale di elementi orizzontali. Se la convenienza della seconda condizione potrebbe sembrare ottimale, al netto di analisi di comfort visivo più approfondite, quest'ultima invece, se prima potevano esservi dubbi, è da scartare.
- Per poter estendere di un'ora la copertura del sistema mantenendo lo stesso numero di elementi orizzontali è necessario praticamente raddoppiare l'estensione degli elementi stessi in termini di aggetto. Ciò inficerebbe sicuramente in modo pesante sulla visibilità esterna vanificando i reali vantaggi che tale soluzione apporterebbe, oltre che problematica dal punto di vista strutturale

In sintesi, risulta ragionevole, la seguente soluzione:

- Orario corrispondente alla condizione di incipiente illuminazione = 18:00
- $d = 45 \text{ cm}$
- $n = 7$

Si precisa che tuttavia, la dimensione di 45 *cm*, corrisponde sì alla profondità reale della nicchia, ma al lordo della dimensione dell'infisso; pertanto, per voler far sì che questi non si ritrovino in aggetto rispetto all'involucro dovranno diminuire, considerando le tolleranze costruttive, almeno di un 30%, impattando comunque sulla prestazione complessiva del sistema.

Alle ore 18:00 l'apertura risulterebbe ancora del tutto schermata potrebbe essere possibile pensare di anticipare questa condizione alle ore 17:00 per sfruttare il fatto che per l'ora successiva, il sistema, garantirà ancora un apprezzabile grado di ombreggiamento. Ciò richiede almeno 5 elementi. In alternativa nulla vieta di poter anche optare per una soluzione intermedia tra le due garantendo pure un ancor più ampio margine di lavoro del sistema a massima resa (massimo grado di ombreggiamento).

Rimane da precisare un fatto. L'ombreggiamento dato dagli elementi orizzontali si verifica essere totale sulla porzione di infisso su cui insiste ogni elemento, se e solo se, la coordinata azimutale della posizione del sole, coincide con quella dell'apertura finestrata. Viceversa, quanto di cui prima, non si verifica per le porzioni ai margini che invece vengono illuminate.

In verità però questo fatto non accade, proprio in virtù del fatto che tali finestre sono realizzate all'interno di nicchie profonde quanto l'aggetto degli elementi orizzontali. È facile intuire che le ombre portate dei lati della nicchia copriranno perfettamente le porzioni lasciate in luce dal sistema di elementi orizzontali.

Si vuole precisare, inoltre, che il processo di dimensionamento così costruito, risulta derivare da un approccio conservativo. Ciò deriva dal fatto che stiamo supponendo che la dimensione dell'aggetto da proiettare in termini di "raggio d'ombra", risulta essere la stessa durante la giornata. In verità così non è, e dipende di fatto dalla posizione relativa della finestra, rispetto al sole in termini di coordinate azimutali. In particolare, quanto più il sole ha direzione parallela alla giacitura del piano dell'apertura finestrata e più questo effetto si amplifica, poiché l'aggetto,



visto dalla sorgente luminosa, sarà molto più grande dell'estensione perpendicolare alla parete. È altresì vero che, se si volesse ridurre la dimensione dell'oggetto in funzione di tale risultato si dovrebbe considerare il seguente fatto. Quando il sole dall'essere "lontano" in termini azimutali dalla normale dell'apertura finestrata, si trova ad esser vicino, e al limite "davanti" alla finestra, quell'oggetto ridotto non riuscirà a schermare completamente l'apertura. Ciò risulta particolarmente problematico, poiché in particolare, con pareti prevalentemente rivolte verso Sud, questa condizione si verificherebbe nelle ore di picco per l'intensità di radiazione solare incidente.

Al fine di poter beneficiare dell'effetto benefico dovuto alla variazione della posizione azimutale del sole durante la giornata, bisognerebbe, tenendo conto quanto di cui sopra, avviare una procedura di dimensionamento che segue i seguenti passi:

- Si stabilisce un oggetto ed un numero di elementi orizzontali tali da far sì che, quando il sole assume coordinata azimutale coincidente con quella della normale della finestra, si verifichi condizione di incipiente illuminazione
- Per ogni posizione azimutale del sole scostata da quella della normale della finestra, ad un intervallo radiale preimpostato, si determina la sua quota zenitale e si registra l'orario in cui ciò avviene.
- Si verifica che la superficie finestrata mantenga ad ogni altro intervallo orario un totale grado di ombreggiatura
- In alternativa si procede all'aumento dell'oggetto o al numero di elementi orizzontali e si ripete la verifica

ore	$\alpha_s$ [°]	$\gamma_s$ [°]	d [cm]							
			45	50	55	60	65	70	75	80
16:00	45	0	3	3	3	3	2	2	2	2
17:00	35	10	5	4	4	4	3	3	3	3
18:00	25	25	6	6	5	5	4	4	4	4
19:00	15	35	9	8	8	7	7	6	6	5

Tab. 10 - Calcolo riferito alla precedente procedura, corretta, in base alla posizione, relativa azimutale Sole-Finestra

ore	$\alpha_s$ [°]	$\gamma_s$ [°]	d [cm]							
			45	50	55	60	65	70	75	80
16:00	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17:00	35	10	0	0	0	0	0	0	0	0
18:00	25	25	-1	0	-1	0	-1	0	0	0
19:00	15	35	-2	-2	-1	-2	-1	-1	-1	-2

Tab. 11 - Differenza, in termini di numero di elementi, necessario ad instaurare completo ombreggiamento rispetto ai due approcci, conservativo e reale, rispettivamente

Si osserva come il primo metodo adottato, non comporti una sensibile variazione del risultato raggiunto. Si decreta come, non eccessivamente conservativo, il primo approccio adottato.

Si precisa infine, che i dati relativi alle coordinate azimutali relative e zenitali assolute solari  $\gamma_s$  e  $\alpha_s$ , sono state approssimate ad intervalli di 5° sessagesimali, nonostante si voglia assicurare che i valori reali non si discostano per più di 2° sessagesimali, nel seguito ci si riferirà ai valori reali della posizione del sole sulla volta celeste.

#### 4.7 Dimensionamento degli elementi verticali del sistema di ombreggiamento

Un sistema di ombreggiamento costituito di soli elementi verticali risulterebbe nel nostro caso del tutto inutile. Questo perché di fatto, nel pieno pomeriggio del giorno di progetto 16:00 ÷ 16:30 il sole emetterebbe raggi, con direzione in pianta, ortogonali alla giacitura della parete su cui si trova la specchiatura del locale, ed essendo gli elementi verticali ortogonali a loro volta alla superficie vetrata non riuscirebbero a portare alcuna ombra sull'apertura retrostante.

Per ovviare a tale sistema si dovrebbe inclinare gli elementi verticali in modo da poter estendere l'efficacia di ombreggiamento, ma ciò andrebbe ad infierire sulla caratteristica principale della soluzione, che corrisponde pure al motivo per la quale essa è nata, ossia offrire un grado di comfort visivo elevato.

Gli elementi verticali divengono altresì vantaggiosi quando, di fatto, la parete risulta rivolta quasi interamente ad Ovest, in quel caso il momento di coincidenza tra coordinata azimutale della parete e del sole, non riuscirà mai a verificarsi nelle ore di attività interna alla struttura, e quindi poter sfruttare la soluzione ad elementi verticali.

In tal senso, potrebbe esser possibile ruotare le aperture finestrate all'interno della nicchia verso ovest:

Consentendo la rotazione dell'infisso ma impedendo che questo possa uscire dalla nicchia ad esso dedicata si ottiene una rotazione  $\beta$  di tale entità:

- Luce dell'apertura finestrata  $L = 3 \text{ m}$
- Profondità della nicchia  $d = 0,45 \text{ m}$
- Rotazione  $\beta = \tan^{-1}(d/L) = \tan^{-1}(0,45/3) \cong 8,5^\circ$

La rotazione così ottenuta, in prima analisi, potrebbe comportare lo spostamento, della condizione di totale inefficienza del sistema di ombreggiamento, ad elementi verticali, molto vicino alle ore 17:00. Tale condizione quindi non risulta sufficiente, per poter essere comparabile con la soluzione a lamelle orizzontali.

Anziché promuovere una rotazione rigida di tutto il serramento, dal momento che si è supposto suddiviso in 4 ante, si potrebbe pensare di promuoverne:

1. La rotazione completamente inglobata all'interno della nicchia del serramento di due finestre a due ante con un solo meccanismo di apertura a testa:
  - a. Per ciascuna finestra otteniamo:  $\beta = \tan^{-1}(d/L) = \tan^{-1}(0,45/(3/2)) \cong 16,7^\circ$
2. La rotazione completamente inglobata all'interno della nicchia del serramento di tutte e quattro le ante, dovendo quindi inserire quattro meccanismi di apertura differenti:
  - a. Per ciascuna finestra otteniamo:  $\beta = \tan^{-1}(d/L) = \tan^{-1}(0,45/(3/4)) \cong 31^\circ$

Le due casistiche precedenti promuoverebbero altrettante equivalenti rotazioni della giacitura della finestra sul piano della carta del sole, che, sempre adottando la precedente metodologia di analisi, produrrebbero uno spostamento dell'ora di coincidenza tra posizione azimutale del

sole e della finestra, di un'ora e mezza nel primo caso, e di un ulteriore ora e mezza (in totale 3 ore) nel secondo caso.

Un'analisi più approfondita in realtà rivela che le soluzioni di cui prima, non vanno veramente ad promuovere un allontanamento della condizione di completa inefficienza del sistema. Ciò è dovuto al fatto che, per continuare a garantire il livello di comfort visivo richiesto, gli elementi verticali del sistema di ombreggiamento, restano ortogonali alla parete originaria, e non alla superficie della finestra che ad esse risulterà, invece, "di sbieco". Il motivo per il quale si continua a mantenere ortogonali alla giacitura della parete gli elementi verticali del sistema di ombreggiamento deriva dalla volontà di non alterare il grado di comfort visivo dato dalla soluzione del sistema di ombreggiamento qui studiato.

In conclusione potremmo affermare che, mentre è possibile in linea di massima adottare i soli elementi orizzontali per schermare completamente un'apertura finestrata, l'uso dei soli elementi verticali non porta a tale risultato. In buona sostanza gli elementi verticali devono essere sempre accompagnati da elementi orizzontali. Spontaneamente ci si potrebbe chiedere se fosse necessario adottare elementi verticali e orizzontali assieme quando potrebbe essere possibile adottare solo questi ultimi. Ebbene, l'uso degli elementi verticali in linea teorica non sopprime la necessità degli orizzontali ma ne può attenuare il dimensionamento, oltre al fatto di creare una possibile trama, flessibile e modificabile, tale da conferire libertà architettonica in sede di progettazione estetica dei prospetti dell'edificio. Si prosegue quindi con il dimensionamento dell'intero *sistema di ombreggiamento bidirezionale a cellule rettangolari*.

#### **4.8 Dimensionamento di un sistema di ombreggiamento bidirezionale a cellule rettangolari**

Il sistema di ombreggiamento, di cui al titolo del paragrafo, si riferisce al primo schema ipotizzato all'inizio del capitolo.

La procedura di dimensionamento del sistema di cui sopra è caratterizzata dalle seguenti grandezze:

- Condizioni al Contorno:
  - Altezza dell'apertura finestrata  $H = 140 \text{ cm}$
  - Larghezza dell'apertura finestrata  $B = 300 \text{ cm}$
- Parametri da dimensionare
  - Numero di elementi orizzontali  $n$
  - Numero di elementi verticali  $m$
  - Aggetto degli elementi orizzontali  $d_h \text{ [cm]}$
  - Aggetto degli elementi verticali  $d_v \text{ [cm]}$
- Variabili dimensionanti:
  - Quota zenitale del sole all'ora  $t$ :  $\alpha_s(t) \text{ [}^\circ\text{deg]}$
  - Quota azimutale del sole all'ora  $t$ :  $\gamma_s(t) \text{ [}^\circ\text{deg]}$

La procedura di dimensionamento evolverà come segue:

- Verranno supposte delle dimensioni di aggetto  $d$  per gli elementi orizzontali ad intervalli di  $5 \text{ cm}$  a partire da una dimensione minima supposta necessaria di  $20 \text{ cm}$ .

- Per ogni oggetto orizzontale vengono calcolati il numero di elementi orizzontali minimo  $n_{min}$  per garantire totale ombreggiamento nel momento di ortogonalità tra la direzione dei raggi solari e la giacitura della parete.
- Verrà quindi calcolato al variare della coordinata azimutale (verso ovest) del sole l'angolo di ombreggiamento offerto da un elemento orizzontale. Non viene calcolato verso est poiché il sole si alzerebbe sull'orizzonte assicurando un totale e garantito ombreggiamento.
- Il calcolo viene interrotto quando l'inclinazione del sole sull'orizzonte diviene minore dell'inclinazione d'ombra reale offerta dall'oggetto predimensionato. Si identificherà quindi un angolo limite  $\alpha_{s,lim}$ .
- A tale punto viene calcolato il numero di elementi verticali con oggetto iniziale  $d_v = d_h$  necessario per poter offrire massimo ombreggiamento sulla finestratura
- Viene anche calcolato il numero di elementi verticali necessario alla funzione di cui sopra anche nel caso in cui tali elementi possiedano un oggetto incrementato rispetto a quelli orizzontali. Ciò nel caso in cui il numero di elementi verticali divenga troppo elevato.
- Il calcolo viene quindi ripetuto per un numero di elementi orizzontali superiore al minimo, e per differenti valori di oggetto orizzontale  $d$ .

$\alpha_{s,lim} [^\circ]$			$d_h [cm]$							
			20	20	20	20	20	20	20	
$t [h]$	$\gamma_s(t) [^\circ]$	$\alpha_s(t) [^\circ]$	$n_{min}$	$n_{min} + 1$	$n_{min} + 2$	$n_{min} + 3$	$n_{min} + 4$	$n_{min} + 5$	$n_{min} + 6$	$n_{min} + 7$
			8	9	10	11	12	13	14	15
16:30	245	38	41	38	35	32	30	28	26	25
17:00	250	35	41	37	35	32	30	28	26	25
17:30	255	30	40	37	34	32	29	27	26	24
18:00	263	28	39	36	33	30	28	26	25	23
18:30	268	22	38	34	32	29	27	25	24	22
19:00	274	18	36	33	30	28	26	24	23	21
$\gamma_{s,max} [^\circ]$			-	245	250	250	263	263	263	-
$m$	$d_v [cm]$	20	-	172	86	86	36	36	36	-
$B/m$		20	-	1.7	3.5	3.5	8.3	8.3	8.3	-
$m$		25	-	138	69	69	29	29	29	-
$B/m$		25	-	2.2	4.3	4.3	10.3	10.3	10.3	-
$m$		30	-	115	57	57	24	24	24	-
$B/m$		30	-	2.6	5.3	5.3	12.5	12.5	12.5	-
$m$		35	-	98	49	49	21	21	21	-
$B/m$		35	-	3.1	6.1	6.1	14.3	14.3	14.3	-
$m$		40	-	86	43	43	18	18	18	-
$B/m$		40	-	3.5	7.0	7.0	16.7	16.7	16.7	-
$m$		45	-	77	38	38	16	16	16	-
$B/m$		45	-	3.9	7.9	7.9	18.8	18.8	18.8	-

Tab. 12 - Risultato del calcolo per il caso di oggetto orizzontale 20 cm con esposizione a Sud-Ovest

$\alpha_{s,lim} [^\circ]$			$d_h [cm]$				
			45	45	45	45	45
			$n_{min}$	$n_{min} + 1$	$n_{min} + 2$	$n_{min} + 3$	$n_{min} + 4$
$t [h]$	$\gamma_s(t) [^\circ]$	$\alpha_s(t) [^\circ]$	4	5	6	7	8
16:30	245	38	38	32	27	24	21
17:00	250	35	37	31	27	24	21
17:30	255	30	37	31	27	23	21
18:00	263	28	36	30	26	22	20
18:30	268	22	34	29	25	21	19
19:00	274	18	33	27	23	20	18
$\gamma_{s,max} [^\circ]$			245	255	263	268	-
$m$	$d_v [cm]$	45	77.0	25.0	16.0	13.0	-
$B/m$		45	3.9	12.0	18.8	23.1	-

Tab. 13 - Risultato del calcolo per il caso di aggetto orizzontale 45 cm

Si dimostra così che, quando utilizziamo elementi orizzontali con un valore di aggetto ridotto, per esempio 20 cm, accade che il numero di elementi verticali di cui si necessita per offrire massimo ombreggiamento dall'ora in cui gli elementi orizzontali non riescono più a offrire tale risultato superano il centinaio con interasse tra elementi verticali dell'ordine del centimetro, comportando evidenti problemi di visibilità esterna. Se il numero di elementi orizzontali salisse, mantenendo lo stesso valore di aggetto, fino a non precludere una visuale minima di 20 cm di interasse tra elementi orizzontali si otterrebbe che al limite gli elementi verticali necessari si riducono ma nel frattempo il sistema di elementi orizzontali è divenuto capace di offrire un grado di ombreggiamento totale fino alle ore 18:00, rendendo quindi inutile l'adozione di elementi verticali. Tali risultati rimangono pressoché inalterati se aumentiamo l'aggetto degli elementi orizzontali o di quelli verticali rispetto agli elementi orizzontali.

Motivo del fallimento di tale analisi si annida nella non volontà, di voler permettere, che nelle varie ore del giorno il sistema di ombreggiamento possa permettere, che una porzione seppur minima della specchiatura, venga illuminata dai raggi solari in modo diretto. Ciò permetterebbe di valutare in modo realmente combinato il sistema di elementi verticali ed orizzontali.

Quindi l'obiettivo sarà quello di dimensionare un sistema di ombreggiamento a cellule rettangolari che permetta di offrire un certo grado di ombreggiamento nell'arco giornaliero. Il grado di ombreggiamento lo si valuterà attraverso il *fattore di ombreggiamento*  $F_s$ <sup>8</sup> definito come il rapporto tra l'area illuminata in prospetto di una singola cellula del sistema di ombreggiamento  $A_l$  e l'area totale in prospetto, confinata dalla medesima cellula  $A$ . Per poter assolvere alla procedura di dimensionamento occorrerà, pertanto, trovare una correlazione analitica tra  $F_s$  e le caratteristiche geometriche che definiscono le dimensioni di una cellula del sistema di ombreggiamento, in particolare nel caso rettangolare, l'interasse tra elementi verticali  $b$  e quello tra elementi orizzontali  $h$ .

Data la particolare esposizione della facciata su cui si collocano le specchiature da ombreggiare, come in altre occasioni, in tale capitolo, polarizzeremo l'attenzione su cosa accade in termini di

<sup>8</sup> Quota parte di Irradianza solare diretta incidente su componente finestrato al netto non oscurata dal sistema di ombreggiamento [UNI/TS 11300-1:2014]

“resa di ombreggiamento” dall’orario in cui i raggi solari sul piano orizzontale assumono una direzione perpendicolare alla facciata oggetto di analisi, all’orario di tardo pomeriggio, circa le 18:00 – 18:30, in cui la struttura comincerà a trovarsi in stato di inattività interna. Il motivo di questa scelta sta nell’ovvia considerazione che, se venisse permesso al sistema di ombreggiamento di non ombreggiare anche una minima parte dell’area delle specchiature retrostanti, allora, questo amplificherebbe in modo significativo l’inefficienza del sistema nelle ore successive. I paragrafi precedenti hanno dimostrato come non sia complicato assicurare ombreggiamento prima dell’orario di coincidenza tra coordinate azimutali dei raggi solari e della normale della facciata; pertanto, le successive analisi si concentreranno sull’intervallo temporale prima indicato.

Si riporta di seguito un’immagine esplicativa, di come, date le dimensioni della singola cellula rettangolare del sistema di ombreggiamento  $b$  e  $h$  e data l’inclinazione dei raggi solari sull’orizzonte  $\alpha$  e lo scostamento relativo azimutale  $\gamma$  tra la direzione dei raggi solari sul piano orizzontale e la direzione, sullo stesso piano, della normale del piano della specchiatura, sia possibile risalire alla forma e alla dimensione della porzione illuminata  $A_i$  dell’area totale preclusa dalla cellula in prospetto  $A$ .

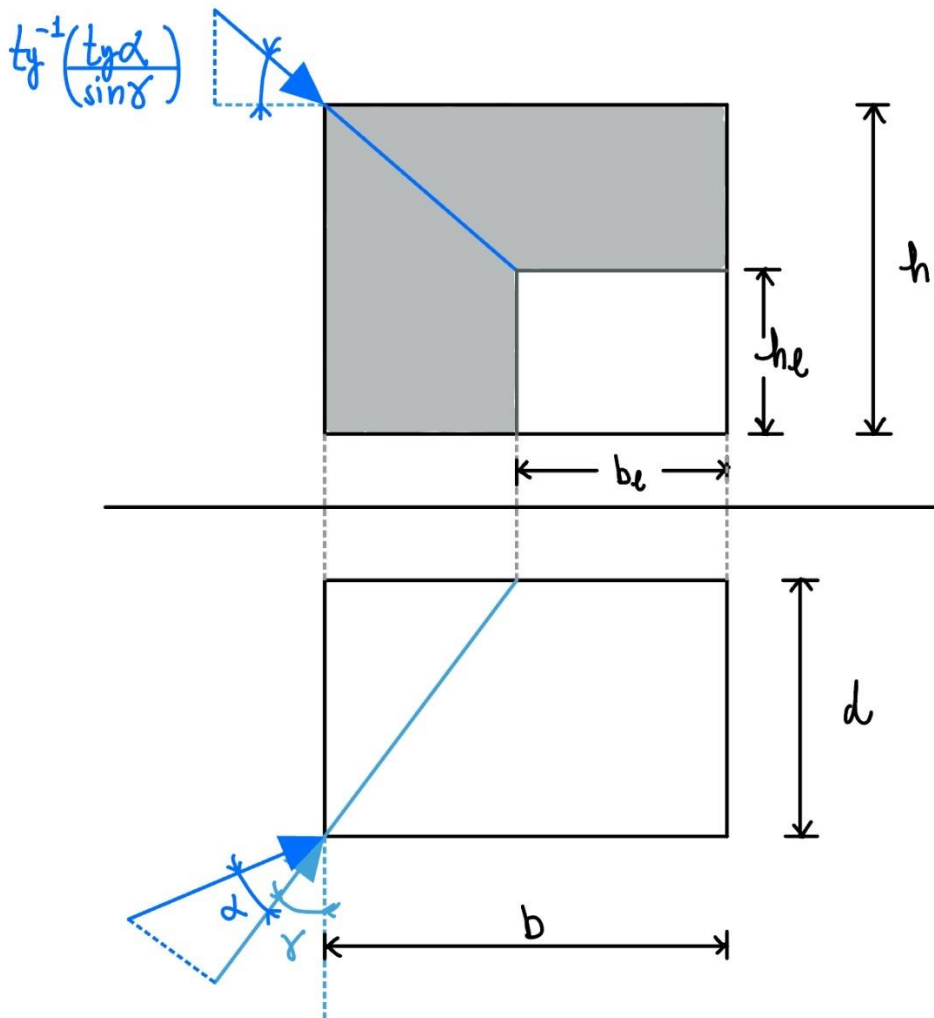


Fig. 8 - Quadro geometrico descrittivo ombre portate per cellula rettangolare

L'immagine precedente, definibile anche come *quadro geometrico-descrittivo delle ombre portate*<sup>9</sup> utilizza i principi basilari della geometria descrittiva nell'ambito delle proiezioni ortogonali. Tali regole ci hanno condotto a comprendere, come la porzione di area illuminata sia rettangolare e caratterizzata dalle dimensioni  $b_l$  e  $h_l$  legate alle dimensioni originarie della cellula del sistema di ombreggiamento, a mezzo della posizione relativa dei raggi solari attraverso le seguenti relazioni:

$$b_l = b - d \cdot \tan(\gamma)$$

$$h_l = h - d \cdot \frac{\tan(\alpha)}{\cos(\gamma)}$$

Attraverso le precedenti osservazioni e definizioni è possibile esprimere attraverso relazioni le quantità  $A_l$  e  $F_s$  come segue:

$$A_l = b_l \cdot h_l$$

$$F_s = \frac{A_l}{A} = \frac{b_l \cdot h_l}{b \cdot h} = \frac{[b - d \cdot \tan(\gamma)] \cdot \left[ h - d \cdot \frac{\tan(\alpha)}{\cos(\gamma)} \right]}{b \cdot h}$$

Prima di procedere col dimensionamento utilizzando la precedente relazione cerchiamo di domandarci se la forma rettangolare sia effettivamente la configurazione che meglio performa in termini di grado di ombreggiamento rispetto ad altre possibilità. Si dimostrerà in seguito che viceversa sarà la forma triangolare che, a parità di area, consentirà alla specchiatura di godere di un maggior effetto di ombreggiamento.

#### 4.9 Sistema di ombreggiamento bidirezionale obliquo a cellule triangolari

Obiettivo di tale paragrafo, risulta quello di dimostrare che una forma triangolare, rispetto ad una rettangolare, performa meglio in termini di livelli target di ombreggiamento da raggiungere e, ovviamente quello di poterla dimensionare. Partendo dalla seconda esigenza ripercorriamo il percorso logico che ci ha condotto alla relazione analitica di  $F_s$  per il sistema di ombreggiamento a cellule rettangolari, partendo dal Quadro geometrico-descrittivo delle ombre portate:

---

<sup>9</sup> Rappresentazione in proiezione ortogonale delle superfici proiettate su piani coordinati, da un punto all'infinito di oggetti, geometricamente ben definiti ed orientati, nello spazio geometrico euclideo [Tecniche grafiche e rappresentazione degli elementi dell'architettura, Alinea, Firenze, 2001]

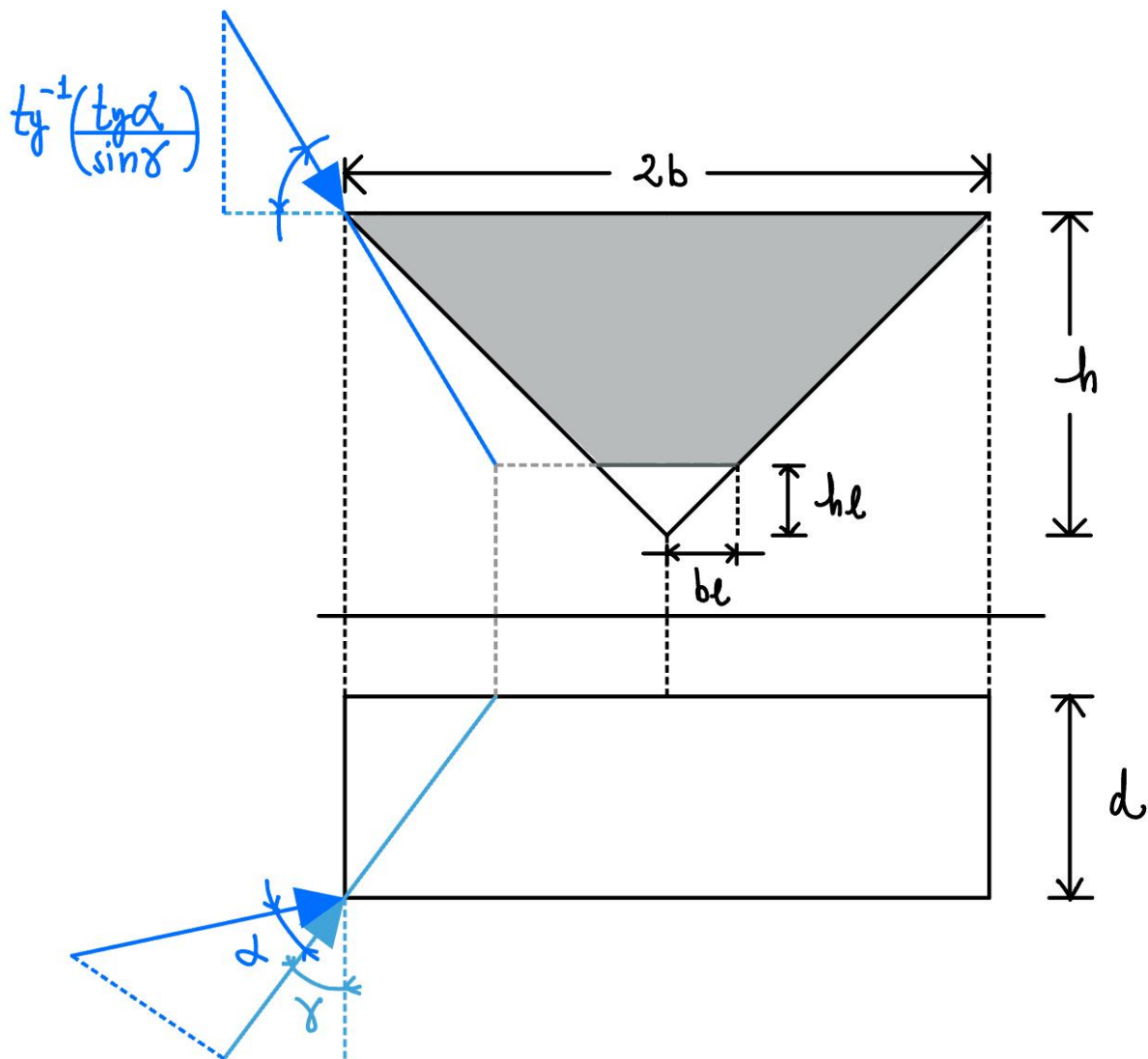


Fig. 9 - Quadro geometrico descrittivo ombre portate per cellula triangolare

Si vuole precisare che lo schema precedente è valido fin tanto che, la direzione dei fasci d'ombra sulla proiezione verticale risulterà più inclinata, rispetto alla direzione orizzontale, dell'inclinazione del lato obliquo della cellula triangolare, in altre parole quando risulta esser sempre verificata la seguente relazione:

$$\frac{\tan(\alpha)}{\sin(\gamma)} \geq \frac{h}{b}$$

Nello schema precedente, inoltre, si ipotizza che le dimensioni  $b$  e  $h$  che caratterizzano la cellula triangolare siano eguali a quelle di una cellula rettangolare, in tal modo, le aree della specchiatura confinate in prospettiva saranno eguali tra di loro, in modo da poter ragionevolmente ipotizzare che le due forme possano promuovere il medesimo grado di visibilità esterna.



Proseguiamo ora a dedurre, dal quadro delle ombre portate, le relazioni che ci consentono di relazionare, il grado di ombreggiamento, offerto dal sistema di ombreggiamento, con le sue caratteristiche geometriche, all'evolvere della posizione relativa sulla volta dei raggi solari:

$$h_l = h - d \cdot \frac{\tan(\alpha)}{\cos(\gamma)}$$

$$b_l = \frac{h_l}{h/b}$$

$$A_l = h_l \cdot b_l$$

$$F_s = \frac{A_l}{A} = \frac{\left[ h - d \cdot \frac{\tan(\alpha)}{\cos(\gamma)} \right]^2 \cdot \frac{b}{h}}{b \cdot h}$$

Con  $F_{s,R}$  e  $F_{s,T}$  ci si riferirà ai fattori di ombreggiamento determinati sulla specchiatura in analisi di sistemi di ombreggiamento a cellule rettangolari e triangolari a parità di caratteristiche geometriche  $b$ ,  $h$  e  $d$ , alla medesima ora di osservazione del medesimo giorno solare.

La forma triangolare meglio performa quando si verifica la seguente relazione:

$$F_{s,R} > F_{s,T}$$

Utilizzando le precedenti definizioni è possibile così tradurre la precedente condizione:

$$\frac{\tan(\alpha)}{\sin(\gamma)} \geq \frac{h}{b}$$

Si desume che fino a che si verifica la condizione di ombreggiamento, espressa nel quadro delle ombre portate per la forma triangolare, allora, il triangolo performa meglio in termini di grado di ombreggiamento della forma rettangolare.

Motivo di tale fatto risiede nel comportamento delle due forme non appena la parte sottostante della cellula inizia ad illuminarsi.

Nel momento in cui, la parte bassa della cellula inizia ad essere illuminata dai raggi solari, nel caso della cellula triangolare si forma "un piccolo cuneo di luce triangolare", viceversa, nel caso della cellula rettangolare si forma una striscia di luce la cui altezza risulterà pari a quella del cuneo. È così evidente che la forma triangolare performi meglio della rettangolare, questo fatto però si realizza nel momento in cui vale la relazione sul rapporto di forma della cellula triangolare prima indicata.

Valutiamo pertanto che valori dovrebbe assumere il *rapporto di forma*<sup>10</sup>  $R_f = h/b$  per poter garantire tale vantaggio morfologico. Per fare ciò calcoliamo al variare dell'ora il rapporto  $\tan(\alpha)/\sin(\gamma)$ , definibile pure come il *rapporto di forma massimo*  $R_{f,M}$ <sup>11</sup>:

$t$ [h]	$\gamma(t)$ [°]	$\alpha(t)$ [°]	$R_{f,M}$
16:30	5	38	9.0
17:00	10	35	4.0
17:30	15	30	2.2
18:00	23	28	1.4
18:30	28	22	0.9
19:00	34	18	0.6

Tab. 14 - Calcolo del profilo orario del rapporto di forma massimo

Considerata la definizione del rapporto di forma massimo ci si aspettava che questo scendesse di valore a mano a mano che l'orario di osservazione si spingesse verso orari serali. Pertanto, basterà considerare l'orario supposto di inattività interna della struttura (18:30) e selezionare il relativo rapporto di forma massimo associato per dimensionare la nostra cellula triangolare. Si decide pertanto di conferire un Rapporto di Forma  $R_f = 1$  che risulta maggiore dal massimo, alle 18:30, ma consente sicuramente di oltrepassare le ore 18:00 e semplificare la realizzabilità del sistema.

A questo punto, si dovrà procedere col dimensionamento del sistema, ossia dato un certo  $F_s$  obiettivo, capire che dimensioni dovremo conferire alla nostra cellula, e quindi all'intero sistema di ombreggiamento. Ricorreremo pertanto alla seguente relazione prima determinata:

$$F_s = \frac{A_l}{A} = \frac{\left[ h - d \cdot \frac{\tan(\alpha)}{\cos(\gamma)} \right]^2 \cdot \frac{b}{h}}{b \cdot h}$$

Tale relazione è possibile riscriverla nel seguente modo:

$$F_s(d/h) = \left( 1 - \frac{d}{h} \cdot \frac{\tan(\alpha)}{\cos(\gamma)} \right)^2$$

In sostanza per poter ottenere un certo  $F_s$  obiettivo sarà necessario settare un nuovo rapporto di forma definibile come *rapporto di forma trasversale*<sup>12</sup>  $R_{ft} = d/h$ . Tale indice è possibile predimensionarlo richiedendo che all'orario in cui si manifesta ortogonalità, tra la direzione sul piano orizzontale dei raggi solari, e la giacitura della specchiatura ci sia massimo ombreggiamento. Tale condizione sarà assoluta se verrà soddisfatta la seguente relazione:

$$R_{ft} = \tan(\alpha(t \cong 16:15))^{-1} = \tan(42^\circ)^{-1} \cong 1,11$$

<sup>10</sup> Valore adimensionalizzato dell'altezza della cellula del sistema di ombreggiamento rispetto all'estensione della metà del lato di base

<sup>11</sup> Valore massimo attribuibile, al rapporto di forma, per consentire un più durativo corso, della condizione di massima performance della forma triangolare, rispetto alle altre forme poligonali

<sup>12</sup> Profondità normalizzata rispetto all'estensione in altezza della cellula, direttamente correlato all'angolo di incipiente illuminazione in sezione trasversale della cellula del sistema di ombreggiamento.

Una volta predimensionato il rapporto di forma trasversale è possibile osservare quali gradi di ombreggiamento tale cellula produce al variare degli orari di osservazione passando dalla condizione di ortogonalità prima espressa alle ore serali inoltrate. Utilizzando la relazione di cui sopra otteniamo i successivi risultati tabellari per  $R_{ft} = 1,1$ .

$t$ [h]	$\gamma(t)$ [°]	$\alpha(t)$ [°]	$F_s[R_{ft} = 1,1]$
14:30	-35	55	0.00
15:00	-21	52	0.00
15:30	-12	48	0.00
16:00	0	42	0.00
16:30	5	38	0.02
17:00	10	35	0.05
17:30	15	30	0.12
18:00	23	28	0.13
18:30	28	22	0.25
19:00	34	18	0.32

Tab. 15 - Calcolo del profilo orario del fattore di ombreggiamento con un rapporto di forma trasversale di 1,1

Il Fattore di ombreggiamento in termini di modellazione può essere interpretato come una riduzione alla fonte del valore dell'*irradianza solare diretta incidente*. Pertanto, per comprendere che effetto ha un sistema di ombreggiamento a cellule triangolari con Rapporti di Forma  $R_f = 1$  e  $R_{ft} = 1,1$  sul comportamento termico del locale tipico della struttura oggetto di analisi, verrà condotto il calcolo della *indoor summer temperature*, e variabili annesse, come da UNI 10375:2011, con riferimento il giorno di progetto relativo, descritto nel capitolo di analisi dello stato di fatto. Verrà inoltre utilizzato, come dato di input, un profilo orario dell'irradianza solare diretta così ridotta:

- Fino alle ore 16:00 del 100%, essendo che fino a tale orario la forma delle cellule del sistema di ombreggiamento, e i rapporti di forma delle stesse, sono tali da garantire un totale ombreggiamento.
- Alle ore 17:00, 18:00 e 19:00 del 95%, 87% e dell'78% rispettivamente come da tabella soprastante.
- Oltre le ore 19:00 non sarà necessario misurare l'effetto di riduzione poiché i valori propri del profilo dell'Irradianza Solare Diretta nel giorno di progetto assumono un valore sostanzialmente nullo, o comunque non influente

Si riportano i valori modificati dell'*irradianza solare diretta sul piano orizzontale*  $I_o$  nei soli orari in cui questa non manifesta valore nullo a seguito delle precedenti modifiche:

$I_o$	17:00	18:00	19:00
[W/m <sup>2</sup> ]	17.9	25.3	13.2

Tab. 16 - Profilo orario, dei valori non nulli, dell'irradianza solare diretta equivalente sul piano orizzontale

Adottando il precedente dato di input, e non alterando rispetto allo stato di fatto del locale tipico, gli altri dati climatici del giorno di progetto, e dati di comportamento e gestione dell'utenza, e quindi assenza di ventilazione notturna  $n_{nott} = 0$ , e della caratterizzazione

dell'involucro, si ottiene in termini di *temperatura interna operante media diurna*  $T_m$  e *temperatura interna massima operante diurna*  $T_M$  i seguenti risultati:

$n_{nott} [Vol/h]$	0
$T_M [^{\circ}C]$	27.7
$T_m [^{\circ}C]$	27.6

Tab. 17 - Risultato di Calcolo STEP

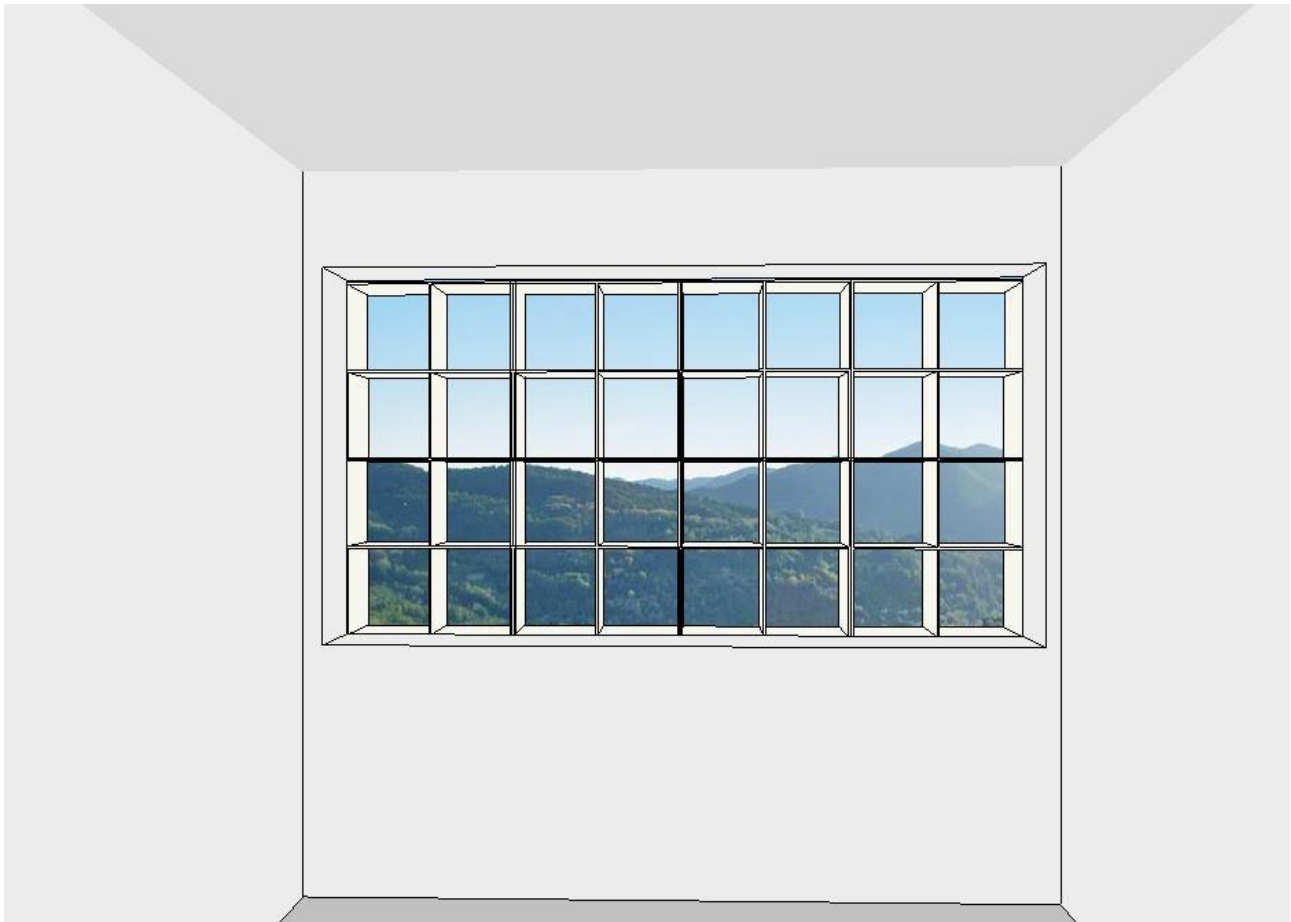
Il risultato si discosta poco dalla condizione di comfort di set point per la destinazione d'uso ospedaliera cui il locale tipico fa riferimento.

Al momento però il sistema di ombreggiamento è stato definito solo in termini di Rapporti di Forma e non attraverso dimensioni vere e proprie.

Ponendo l'ipotesi di voler mantenere il sistema di ombreggiamento all'interno delle nicchie delle specchiature allora, considerato che la profondità di queste risulta di 45 cm, e che un infisso ancorché posto al filo interno occupi uno spessore di 10 cm, garantendo un gioco di tolleranze costruttive di almeno 5 cm, l'oggetto  $d$  del sistema di ombreggiamento non supererà l'ordine dei 30 cm.

Considerato il rapporto di forma trasversale  $R_{ft} = 1,1$ , si imporrà un valore massimo all'altezza della cellula non superiore a  $h = 27$  cm. Avendo inoltre posto il rapporto di forma  $R_f = 1$ , allora, anche metà della base del triangolo identificata con  $b$ , dovrà assumere il medesimo valore di  $h$ .

La soluzione adottata per il sistema di ombreggiamento aveva l'obiettivo di mediare, tra esigenze di comfort, legate sia all'aspetto termico, sia a quello di percezione visiva. È necessario sottoporre le dimensioni supposte ad un processo di validazione, volendo mediare tra i due interessi. Il grado di visibilità esterna non dipende solo da come il sistema di ombreggiamento è stato dimensionato, dipende, forse anche in larga parte, dal punto di vista dell'osservatore. In particolare, si distinguono due condizioni.



*Fig. 10 - 1° Condizione: Vista prospettica, dal centro della stanza, con punto di osservazione ad altezza 1,75 m dal piano di calpestio, con maglia del sistema di ombreggiamento a cellule rettangolari 40x40cm e profondità 30 cm*

La prima, risulta la situazione in cui l'osservatore si collochi ad una distanza "importante" dall'apertura finestrata. La figura di introduzione al sistema illustra bene questa situazione, dove, il punto prospettico è stato messo ad una altezza di 1,8 m e ad una distanza di circa 3 m dalla specchiatura (fascia centrale del locale). In tale contesto si osserva come, gli effetti prospettici si riducono al minimo, per poterli percepire bisognerebbe orientare la propria vista in modo sensibilmente non ortogonale, rispetto al piano dell'apertura finestrata, come riportato, di fatto, nell'immagine prima presa come riferimento. In sostanza, la vista verso l'apertura finestrata diviene simile, ad una proiezione ortogonale su piano verticale. In tal caso, la questione, da tridimensionale passa a bidimensionale, e per conferire un buon grado di visibilità esterna sarà necessario realizzare, gli elementi costituenti il sistema di ombreggiamento con uno spessore particolarmente sottile, dell'ordine del millimetro.



*Fig. 11 - 2° Condizione: Vista prospettica, da circa 1 m dall'apertura finestrata, con punto di osservazione a 1 m di altezza dal piano di calpestio, con maglia del sistema di ombreggiamento, a cellule rettangolari 40x40cm, e profondità 30 cm*

Caso opposto è quello dell'osservatore che determina una interazione ravvicinata con l'apertura. In tal caso gli effetti prospettici sono importanti e non possono esser trascurati. Si ha un riscontro in letteratura<sup>13</sup> che per punti di osservazione ad altezza vicina all'estensione di un parapetto sarà necessario consentire un'apertura visuale, che, in misura angolare zenitale a partire dal piano orizzontale ad altezza davanzale, si estenda almeno per 27° sessagesimali. In altre parole, data la distanza dell'osservatore dalla finestra, quest'ultima dovrà possedere un'estensione, in altezza, di almeno la metà di quella distanza. Si prosegue adesso un percorso di analisi, delle ipotesi alla base del risultato prima esposto, per comprenderne l'effettiva applicabilità al caso in esame. Anzitutto tale riferimento, suppone un'apertura finestrata a filo interno rispetto all'involucro esterno. L'estensione dell'involucro esterno è ben confrontabile con la dimensione supposta per la profondità delle cellule triangolari del sistema di ombreggiamento. Inoltre, l'altezza del punto di osservazione è in aggiunta ben confrontabile, allo stesso tempo, con la posizione da seduta di un utente. Essendo la destinazione d'uso del locale di tipo ambulatoriale, un medico assumerà prevalentemente due posizioni all'interno della stanza. La prima, centrale ed in piedi, al fine di visitare il paziente; la seconda "in seduta" e alla scrivania vicino all'apertura finestrata. Il primo caso è già stato studiato e risolto. Il secondo rientra nella casistica del nostro riscontro in letteratura. Si suppone che una distanza di 80 cm possa essere ragionevole per la posizione della seduta del medico e che quindi una

<sup>13</sup> Enciclopedia pratica per progettare e costruire, Nuefert, Hoepli, 2013

dimensione di 40 cm dell'altezza delle cellule del sistema di ombreggiamento possa essere altrettanto ragionevole per consentire, anche in tal caso, un buon grado di visibilità esterna.

Pertanto, sarà adesso necessario aggiornare il rapporto di forma trasversale che passerà al seguente valore:

$$R_{ft} = \frac{d}{h} = \frac{30}{40} = 0,75$$

Prima di riaggiornare il profilo orario del grado di ombreggiamento prodotto, sarà necessario considerare due ulteriori effetti dati dall'allargamento della trama del sistema di ombreggiamento in prospetto:

1. La diminuzione del Rapporto di Forma Trasversale fa sì che l'oggetto non riesca più a consentire, completo ombreggiamento, sino all'orario in cui si manifesta ortogonalità tra la direzione dei raggi solari sul piano orizzontale e la giacitura del piano della specchiatura. In particolare, riuscirà a mantenere condizione di completo ombreggiamento, fin tanto che il sole non scenderà della seguente inclinazione sull'orizzonte:

$$\alpha_m = \tan^{-1}(1/0,7) \cong 55^\circ$$

Consultando la Carta del Sole del sito, nel giorno di progetto, il risultato precedente, comporta che la condizione di massimo ombreggiamento, la si determina sino alle ore 14:30, si perde circa 1,5 h rispetto alla condizione precedente. Ciò comporta, che il Fattore di ombreggiamento, assumerà valori non nulli negli orari precedenti alle 16:00 e almeno a ritroso sino alle ore 14:30. Negli orari successivi alle 16:00 il Fattore di ombreggiamento, aumenterà di valore rispetto a quando si era ipotizzato un Rapporto di Forma Trasversale  $R_{ft} = 1,1$

2. Il Considerare le tolleranze costruttive significa anzitutto che la cellula del sistema di ombreggiamento potrebbe essere realizzato con un oggetto inferiore di quello progettato e che si troverà, questo sicuramente distaccato dal piano della specchiatura. Si è supposto che le tolleranze costruttive ricadano totalmente nel range di 5 cm, quindi globalmente l'oggetto troverà ad essere meno esteso di 2,5 cm lato specchiatura e 2,5 cm lato esterno. L'effetto di distacco, non è percepibile in termini di alterazione del Fattore di ombreggiamento, poiché il sistema di ombreggiamento abbiamo supposto essere precluso all'interno della nicchia della specchiatura.

Incluse le due ultime osservazioni è possibile a mezzo delle precedenti relazioni calcolare il profilo orario del Fattore di ombreggiamento totale per una singola cellula del sistema di ombreggiamento caratterizzata da:

- Rapporto di Forma in piano  $R_f = \frac{h}{b} = 1$
- Rapporto di Forma Trasversale  $R_{ft} = \frac{d}{h} = 0,75$
- Oggetto effettivo della cellula  $d = 30 \text{ cm}$

$t$ [h]	$\gamma(t)$ [°]	$\alpha(t)$ [°]	$F_s [R_{ft} = 1,1]$	$F_s [R_{ft} = 0,75]$
14:30	-35	55	0.00	0.00
15:00	-21	52	0.00	0.00
15:30	-12	48	0.00	0.02
16:00	0	42	0.00	0.11
16:30	5	38	0.02	0.17
17:00	10	35	0.05	0.22
17:30	15	30	0.12	0.30
18:00	23	28	0.13	0.32
18:30	28	22	0.25	0.43
19:00	34	18	0.32	0.50

Tab. 18 - Calcolo del profilo orario del fattore di ombreggiamento, nel caso di rapporto di forma trasversale 0,75

Si vuole precisare, prima di trarre le conseguenze in termini di comportamento termico interno, del locale tipico, che, seguendo le ipotesi in tema di tolleranze costruttive, di cui sopra, per il calcolo, si sarebbe dovuto considerare un aggetto di almeno 32 cm e quindi un Rapporto di Forma Trasversale di 0,8, ciò non è stato fatto a favore di sicurezza rispetto ai risultati di calcolo.

Si osserva che la condizione di massimo ombreggiamento, si ottiene alle ore 15:00 e non alle dopo le 14:30, differentemente rispetto a quanto preventivato, poiché la prima ipotesi era conservativa e non teneva conto del movimento planimetrico del sole.

Si accoglie con meno entusiasmo il fatto che verso le ore serali il Fattore di ombreggiamento quasi raddoppia il valore che possedeva in precedenza. Si riporta di seguito il profilo orario dell'Irradianza Diretta sul piano orizzontale equivalente, nelle ore in cui questa, non assume un valore nullo:

$I_o$	16:00	17:00	18:00	19:00
[W/m <sup>2</sup> ]	58.8	82.0	61.2	20.3

Tab. 19 - Nuovo Profilo orario, dei valori non nulli, dell'irradianza solare diretta, equivalente, sul piano orizzontale

Utilizzando la precedente informazione come dato di input per la procedura di calcolo prima adottata seguendo la norma tecnica UNI 10375:2011 otteniamo il seguente risultato in termini di coppia di valori *Temperatura interna media e massima operative diurne*  $T_m$  e  $T_M$ :

$n_{nott}$ [Vol/h]	0	7.5
$T_M$ [°C]	28.8	25.3
$T_m$ [°C]	28.4	24.8

Tab. 20 - Nuovo risultato di calcolo STEP

La precedente tabella mostra come si crei un incremento evidente dell'effetto termico, dovuto al "rilassamento della trama" del sistema di ombreggiamento. D'altra parte però, la combinazione del sistema di ombreggiamento e del sistema di ventilazione, supposti adottati per la struttura, riescono a mitigare il problema del surriscaldamento interno del locale, e inoltre, riescono a climatizzarlo passivamente e in totale assenza di intervento di un impianto di climatizzazione estiva attiva, durante il giorno di progetto, e senza venire meno, al meglio



possibile, di un buon comfort visivo, in termini di visibilità esterna attraverso la finestra del locale, schermata dal sistema di ombreggiamento precedentemente adottato.

Si rimanda al capitolo successivo per una più approfondita analisi della combinazione dei sistemi di ventilazione ed ombreggiamento.

## 5. Analisi dei Sistemi Combinati

### 5.1 Obiettivi

Nei precedenti capitoli sono state anzitutto definite, le modalità con cui un sistema di ventilazione, e un sistema di ombreggiamento, possano instaurare un effetto di climatizzazione passiva, nel rispetto delle condizioni di comfort termico e visivo. In concomitanza sono stati forniti strumenti e procedure di calcolo per poter quantificare tali prestazioni. Dal momento che per raggiungere gli obiettivi di comfort termico, sarà necessario adottare entrambe le soluzioni, in tal sede si vuol valutare se le analisi e i predimensionamenti, precedentemente effettuati, possano assicurare l'instaurazione di una effettiva e duratura condizione di comfort termico, combinando gli strumenti e le procedure adottate nei passati capitoli.

### 5.2 Analisi dell'effetto di adozione del sistema di ombreggiamento progettato

Si è supposto l'impiego di un sistema di ombreggiamento composto di oggetti rettilinei ortogonali al piano della specchiatura a "cellule triangolari" (fig.9), con oggetto precluso all'interno della nicchia della finestra da schermare, e che, al netto delle tolleranze costruttive, presenta i seguenti rapporti di forma e dimensione dell'oggetto:

- Rapporto di Forma in piano  $R_f = \frac{h}{b} = 1$
- Rapporto di Forma Trasversale  $R_{ft} = \frac{d}{h} = 0,75$
- Oggetto effettivo della cellula  $d = 30 \text{ cm}$

A mezzo dell'adozione delle formule trigonometriche, utili a relazionare le caratteristiche geometriche, del sistema di ombreggiamento, al grado di ombreggiamento offerto dallo stesso, espressa in forma parametrica dal fattore di ombreggiamento  $F_s$ , si è potuto calcolare nei giorni, supposti rappresentativi, di ogni mese dell'anno, grazie allo studio delle carte solari di tali giorni, per la località interessata dall'analisi, il profilo orario del fattore di ombreggiamento offerto dal sistema di ombreggiamento sulla specchiatura retrostante. Si riportano di seguito tali profili orari nelle ore rappresentative in cui vi è interazione tra il fascio di raggi solari e la specchiatura retrostante al sistema di ombreggiamento. Segue dalle relazioni studiate nel capitolo precedente, che, si manifesta interazione tra i raggi solari, e le porzioni di specchiatura individuate in prospetto dal sistema di ombreggiamento, quando sono soddisfatte le seguenti relazioni:

$$\frac{\tan(\alpha)}{\cos(\gamma)} < \frac{1}{R_{ft}}$$

$$\tan(\gamma) < \frac{2}{R_{ft}}$$

$$|\gamma| < 90^\circ$$

Fs	bef-13:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	aft-21:00
21/01/2023	0.00	0.00	0.23	0.48	0.68	0.84	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00
21/02/2023	0.00	0.00	0.23	0.17	0.36	0.55	0.76	0.80	0.00	0.00	0.00
21/03/2023	0.00	0.00	0.00	0.05	0.21	0.39	0.59	0.69	0.00	0.00	0.00
21/04/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.23	0.41	0.56	0.40	0.00	0.00
21/05/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.12	0.27	0.46	0.29	0.00	0.00
21/06/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.20	0.43	0.27	0.08	0.00
21/07/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.24	0.48	0.32	0.13	0.00
21/08/2023	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.22	0.40	0.57	0.41	0.00	0.00
21/09/2023	0.00	0.00	0.00	0.08	0.24	0.43	0.80	0.66	0.00	0.00	0.00
21/10/2023	0.00	0.06	0.38	0.26	0.45	0.65	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00
21/11/2023	0.00	0.06	0.34	0.57	0.75	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21/12/2023	0.00	0.02	0.28	0.51	0.70	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tab. 21 - Calcolo dei profili orari del fattore di ombreggiamento nei giorni rappresentativi dell'anno

Dalla precedente tabella emergono i seguenti fatti:

1. Per il solo fatto che il sistema di ombreggiamento crea un sistema di aggetti, dinanzi al piano della specchiatura, esso "ritarda", il momento in cui i raggi solari vanno ad intercettare la superficie finestrata. "L'angolo di ritardo"  $\Delta\gamma_{del}$  corrisponderà a quanto, in termini di variazione di quota azimutale, il sole deve spostarsi, sul piano orizzontale, affinché i suoi raggi, intercettino la superficie finestrata. Discende dalle precedenti relazioni trigonometriche, che, tale parametro, si potrà calcolare nel seguente modo:

$$\Delta\gamma_{del} = \tan^{-1}\left(\frac{R_{ft}}{2}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0,75}{2}\right) \cong 20,6^\circ$$

La medesima definizione si può introdurre in termini di  $\Delta\alpha_{del}$ , ed è la ragione per la quale nei mesi estivi rispetto a quelli invernali il momento in cui si comincia a determinare incidenza di radiazione solare sulla specchiatura è più tardivo di quello riscontrato nei mesi invernali.

Lo spostamento in termini di orario cambia da mese a mese ma in generale l'interazione non si manifesta mai prima delle ore 13:00 mentre nei mesi invernali, in assenza di sistema di ombreggiamento, questa si manifestava anche alle ore 11:30, ciò porta inevitabilmente a minimizzare gli apporti solari attraverso i componenti vetrati. In particolare, si osserva che in piena stagione invernale, da Novembre a Gennaio, è necessario aspettare le ore 15:00, per far sì, che la specchiatura esponga il 60% della sua superficie finestrata alla radiazione solare, mentre nei mesi di febbraio-Ottobre-Marzo, dobbiamo aspettare le ore 17:00, perché si manifesti la stessa condizione. La problematica, sopra esposta, causa una maggiorazione del fabbisogno energetico nel periodo invernale, in condizioni di esercizio dell'impianto. Non vi è viceversa pericolo che l'impianto eventualmente progettato, in termini di potenza da erogare, possa essere inficiato dalla questione. Di fatto in sede di progetto, gli apporti energetici sia questi esogeni o endogeni, si suppongono nulli in partenza. La "sovra-domanda" può essere mitigata a mezzo di tre possibili soluzioni:

- Si vada ad utilizzare un sistema di ombreggiamento che si possa utilizzare solo durante la stagione estiva
- Si vada a riprogettare l'intervento sull'involucro al fine di massimizzare le prestazioni globali di isolamento termico e così assorbire la mancanza di apporti termici
- Si vada a comprendere se il guadagno estivo risulta significativamente maggiore della perdita invernale in termini di costi dell'energia

Le prime due opzioni aprono capitoli decisionali, che esulano dal contesto di studio del presente documento. Pertanto, successivamente, verrà analizzato il terzo scenario. Il calcolo si esegue adottando l'algoritmo di calcolo, del software EC700 (vers.12.23.08), relativo al computo dei fabbisogni di energia media mensile, per i servizi di riscaldamento invernale e raffrescamento estivo, a valle dell'impianto, come da set di norme tecniche UNI/TS 11300. Si precisa che la presenza del sistema di ombreggiamento, è stata modellata associando dei tendaggi al componente edilizio vetrato esterno del locale tipico. Tale associazione si è fatta specificando i seguenti parametri:

- Fattori tendaggi stagione invernale  $f_{c,inv} = 0,20$
- Fattori tendaggi stagione estiva  $f_{c,est} = 0,10$

Tali parametri, rappresentano, la quota parte di irradianza solare diretta media mensile, incidente sui componenti vetrati, che verrà inclusa nel bilancio energetico, per i calcoli dei fabbisogni. Tali valori, sono stati decisi in modo conservativo, come il massimo valore del fattore di ombreggiamento realizzato nella stagione estiva, entro l'orario del tramonto (per cui si instaurano valori di irradianza solare percepibili), e il più piccolo valore, del medesimo parametro, per la stagione invernale. Quanto di cui prima, è verificabile dalla tabella dedicata al calcolo dei fattori di ombreggiamento orari, per giorni rappresentativi nell'anno. Si prosegue esplicitando una tabella riassuntiva del calcolo prima descritto.

Mese	Assenza Sistema Ombreggiamento		Presenza Sistema Ombreggiamento		Calcolo delle Differenze	
	QH,nd [kWh]	QC,nd [kWh]	QH,nd [kWh]	QC,nd [kWh]	$\Delta QH,term$ [kWh]	$\Delta QC,term$ [kWh]
gennaio	2	0	27	0	25	0
febbraio	0	0	1	0	1	0
marzo	0	0	0	0	0	0
aprile	0	258	0	76	0	-245
maggio	0	321	0	147	0	-201
giugno	0	348	0	185	0	-217
luglio	0	402	0	197	0	-167
agosto	0	364	0	154	0	-156
settembre	0	310	0	117	0	-193
ottobre	0	0	0	0	0	0
novembre	0	0	2	0	2	0
dicembre	2	0	23	0	21	0
<b>TOTALE</b>	<b>4</b>	<b>2003</b>	<b>53</b>	<b>876</b>	<b>49</b>	<b>-1179</b>

Tab. 22 - Calcolo dei fabbisogni energetici mensili, nei casi di assenza e presenza, del sistema di ombreggiamento

Prima di proseguire si conferiscono le seguenti specifiche:

- Per la stagione invernale i consumi sono particolarmente bassi; ciò è dovuto all'aver considerato gli interventi di isolamento termico esterno dell'involucro, e la sostituzione degli infissi, nella caratterizzazione termofisica dei componenti edilizi.

- Per la stagione estiva si assiste ad un salto di richiesta energetica nei mesi estremali della stagione; ciò è dovuto ad una variazione manuale conservativa dei risultati. Di fatto il calcolo mensile non considera le specificità orarie dell'intera stagione. Mentre un calcolo mensile avrebbe mostrato una richiesta costantemente non nulla in tutti i mesi dell'anno, un calcolo più approfondito limitava invece le richieste ai soli mesi riconosciuti non nulli nella tabella soprastante.

Le differenze, per poter essere confrontate, devono essere tradotte nei consumi elettrici determinati dai sistemi in Pompa di Calore VRV supporti adottati come unità esterne di generazione per l'impianto di climatizzazione invernale ed estiva. Riferendoci ai coefficienti di prestazione<sup>14</sup>, medi stagionali, di tali macchinari, si determina la seguente analisi in termini stagionali:

<b><math>\Delta QH,term</math></b> <b>[kWh]</b>	<b><math>\Delta QC,term</math></b> <b>[KWh]</b>
49	-1179
<b>COP</b>	<b>EER</b>
5.69	4.14
<b><math>\Delta QH,el</math></b> <b>[kWh]</b>	<b><math>\Delta QC,el</math></b> <b>[KWh]</b>
8.61	-284.72

Tab. 23 - Calcolo delle differenze di fabbisogni elettrici annuali, termici ed elettrici, nel caso di assenza e presenza di sistema di ombreggiamento

Si nota come la sovra-domanda di fabbisogno energetico di energia elettrica per riscaldamento, dovuto alla presenza del sistema di ombreggiamento, sia di circa 33 volte inferiore alla perdita di domanda, lato raffrescamento estivo. Si deve comunque tenere presente, che ancora non è stato inserito, in tale valutazione, l'effetto benefico del raffrescamento notturno, delle masse termiche, dovuto, ai ricambi d'aria interna, nelle ore di non attività. Ciò potrà produrre un sostanziale e completo abbattimento, dei fabbisogni energetici per il raffrescamento, massimizzando ancor di più, il vantaggio prima calcolato. A tal punto coincideranno i fabbisogni elettrici per il raffrescamento con i soli consumi elettrici necessari al funzionamento del sistema di ventilazione nel periodo notturno.

2. Nel giorno di osservazione del mese di agosto si manifesta un profilo orario eguale a quello analizzato nel capitolo precedente, proprio perché corrisponde al giorno utilizzato per il dimensionamento. Tale scelta trova ragione nel fatto che il sole nei mesi precedenti, facenti parte della piena stagione estiva, trova ad assumere posizioni "più alte" sulla volta celeste e quindi a determinare più importanti effetti di ombreggiamento, come supposto. Però, nel mese di settembre, dove le temperature risultano ancora in parte tali da far ricadere, parte del mese nella piena stagione estiva, la prestazione di ombreggiamento cala dalle prime ore di interazione (~16:00) di 4 volte fino a solo del 20% nelle ultime ore del pomeriggio (~19:00). Ciò a cui si dovrà porre attenzione, è che anzitutto, i primi giorni di settembre sono più vicini al giorno di osservazione di agosto, e quindi il comportamento del sistema di ombreggiamento sarà più simile a quello

<sup>14</sup> [Pompe di Calore: i parametri fondamentali per la redazione di un APE, Gazzetta Abitare, Ingenio: Febbraio 2019]

analizzato in tale giorno. In seconda battuta, bisognerà osservare se il decremento di prestazione del sistema di ombreggiamento è bilanciato nella riduzione naturale dell'irradianza solare diretta emanata dal corpo solare. Tale problema risulta sostanzialmente inesistente, e legato al fatto che la grande efficacia del Sistema di ombreggiamento nei mesi estivi non è tanto legata alle prestazioni “post-momento di prima interazione” ma, in virtù della morfologia del sistema, a quanto questo ritardi il momento di prima interazione tra componente finestrata e raggi solari, poiché magari, come accade in tal caso, l'irradianza diretta ha raggiunto livelli talmente bassi da non rendere significativo, addirittura, il fatto che in quelle ore l'apertura finestrata venga addirittura completamente esposta alla radiazione solare. Pertanto si comprende qui un nuovo iter di progettazione che si possa svolgere nelle seguenti fasi:

- Si determini l'orario fino al quale è necessario ritardare il momento di prima interazione nei giorni rappresentativi della stagione estiva, supponendo che, oltre il quale, la superficie finestrata venga totalmente esposta alla radiazione solare. Per tale fase è necessario l'utilizzo di un software che svolga un calcolo dinamico. La scelta dell'orario dipenderà da quello oltre il quale non si avrà un significativo miglioramento del comportamento termico interno, o in base ad altre esigenze di progettazione.
- Si determini i rapporti di forma del sistema di ombreggiamento conseguenti.
- Si associ delle dimensioni che risultino non precludere la vista esterna. Se si necessita di modificare i rapporti di forma si dovrà valutare che la nuova configurazione, con un calcolo dettagliato, offra una prestazione nei giorni di analisi rappresentativi della stagione estiva, tale da non alterare significativamente, il risultato ottenuto dalla procedura semplificata iniziale.

Sulla base della procedura prima descritta può esser ragionevole supporre che avendo invece nel precedente capitolo perseguito la volontà di perseguire la massima performance di ombreggiamento non volendo ledere di visibilità esterna, adesso, se utilizzassimo la procedura di dimensionamento prima esposta si potrebbe adottare un sistema che a sostanziale parità di risultato in termini di comfort termico, offra un comfort visivo più elevato andando a “rilassare” i rapporti di forma del sistema. Ciò per sottolineare che l'approccio prima perseguito, alla luce della recente osservazione non è sbagliato bensì è più conservativo.

3. Il profilo orario del giorno utilizzato per il dimensionamento, risulta differire per le ore 19:00, poiché si verifica, come in altre occasioni nel corso dell'anno una differente configurazione del quadro delle ombre portate. Si verifica di fatto che, il raggio d'ombra in proiezione verticale assume una inclinazione minore di quella data dal lato obliquo del triangolo, rispetto all'orizzontale, che preclude le cellule del sistema di ombreggiamento.

Pertanto, è semplice dimostrare come il Fattore di ombreggiamento è calcolabile attraverso la seguente relazione, anziché quella utilizzata per gli altri orari nel giorno di progetto e che motiva la differenza prima enfatizzata:

$$F_s = \left(1 - \frac{d}{2b} \cdot \tan(\gamma)\right)^2$$

Verranno utilizzati tali profili orari per ridurre i valori del profilo orario dell'Irradianza Solare Diretta, ed utilizzarla come dato climatico equivalente di input, al software di calcolo Edilclima EC700 (versione 12.23.08), che operi un calcolo dinamico orario sulla base del set di norme tecniche UNI EN ISO 52016:2018 sul locale tipico della struttura oggetto di analisi. Da tale calcolo, si determinano i seguenti risultati in termini di profili di temperatura interna media operativa, nei giorni rappresentativi dei mesi dell'anno, per cui è stato condotto un calcolo dettagliato dei profili orari dei Fattori di Ombreggiamento:

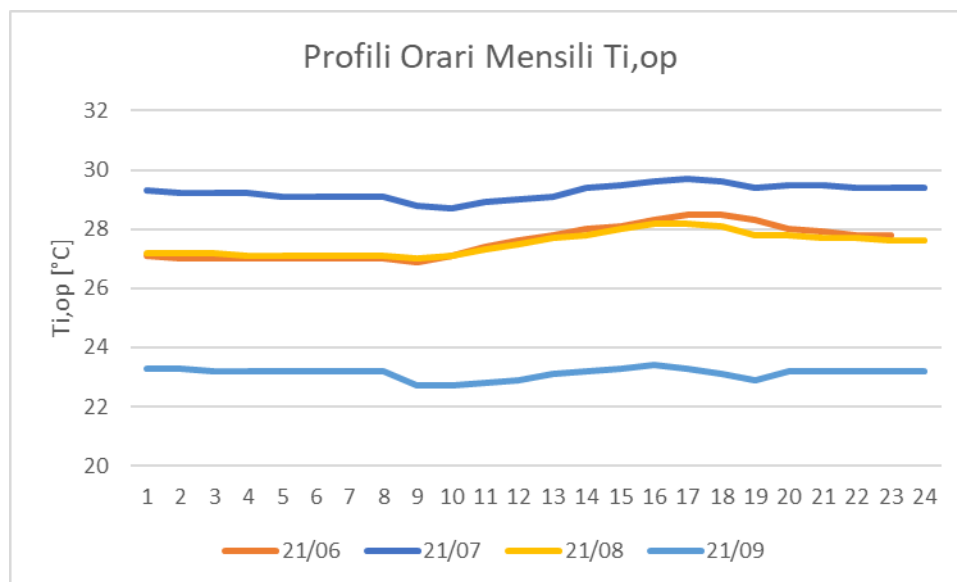


Fig. 12 - Profili orari mensili, nei giorni rappresentativi, della temperatura interna media operativa

Il comportamento termico interno, indotto nel locale tipico, ancora non evade il problema del surriscaldamento interno dell'ambiente. A tal fine, si dovrà combinare l'adozione di tale sistema di ombreggiamento, con la variazione al processo di gestione in esercizio dell'impianto di ventilazione meccanica controllata.

### 5.3 Analisi dell'effetto di Integrazione dell'Utilizzo notturno del Sistema di Ventilazione

Per cercare di mitigare definitivamente il problema del surriscaldamento interno si provvederà a consentire al sistema di ventilazione da installare di promuovere ventilazione notturna negli ambienti. Obiettivo del presente paragrafo, è studiare nuovamente, a seguito dell'adozione del sistema di ombreggiamento, il valore del tasso di ventilazione notturno  $n_{nott}$ , necessario per abbattere il surriscaldamento interno dei locali e controllare, se come da capitolo precedente sia effettivamente possibile, attraverso queste due tecniche passive, di evadere la necessità, per lo meno dal punto di vista di calcolo, di intervento dell'impianto di climatizzazione estiva.

Riprendendo il modello energetico, realizzato su Edilclima EC700 (versione 12.23.08), connesso alla procedura dinamica oraria, secondo set di norme tecniche UNI EN ISO 52016:2018, polarizzeremo l'attenzione sui giorni estivi rappresentativi, per l'analisi dell'efficacia prestazionale del sistema di ombreggiamento, in particolare i mesi di Giugno, Luglio, Agosto e Settembre. Andremo a progressivamente innalzare, il tasso di ventilazione notturno, per tutto il dominio parametrico, già valutato nel capitolo dedicato alla ventilazione,

e si registreranno i valori medi e massimi della temperatura media operativa interna, del locale tipico. Si riporta di seguito il risultato di tale analisi in forma tabellare

$n_{nott}$ [Vol/h]		0	1	2.35	3	4	7	10
21-giu	$T_m$	27.9	25.9	24.6	24.2	23.8	23.0	22.6
	$T_M$	28.5	26.6	25.4	25.0	24.6	23.9	23.5
21-lug	$T_m$	29.2	26.7	24.9	24.4	23.7	22.6	22.0
	$T_M$	29.7	27.2	25.5	25.0	24.4	23.3	22.7
21-ago	$T_m$	27.7	25.2	23.6	23.2	22.7	21.8	21.4
	$T_M$	28.2	25.8	24.3	23.9	23.4	22.5	22.2
21-set	$T_m$	23.0	20.9	19.5	19.1	18.7	18.0	17.6
	$T_M$	23.4	21.2	19.9	19.5	19.1	18.4	18.1

Tab. 24 - Temperature interne medie operative, massime e medie, nei giorni rappresentativi della stagione estiva, per differenti scenari di ventilazione notturna

Si conclude che l'intervento, e la necessità di adozione del processo di ventilazione meccanica, dipende dalla gestione degli apporti solari esterni, e che più questi vengono mitigati nella stagione estiva e più l'intervento di tale procedura è meno necessario. In particolare si desume che, anche non alterando il ventilatore, o la dimensione dei canali e quindi adottando un tasso di ventilazione eguale al minimo normativo per necessità di salubrità interna<sup>15</sup>,  $n_{nott} = n_{min} = 2,35$  è possibile, nei vari giorni rappresentativi, e desumiamo per inferenza sugli altri giorni della stagione estiva, sopprimere completamente il problema del surriscaldamento interno ed eludere la necessità di intervento della climatizzazione estiva.

#### 5.4 Analisi della validità dell'ipotesi di inferenza annuale

L'analisi condotta in precedenza, si limitava al calcolo del profilo orario della temperatura interna operativa, nel ventunesimo giorno di ogni mese dell'anno. Ogni giorno dell'anno, però, presenta delle proprie peculiarità in termini di intensità delle forzanti termica e solare. Mentre l'adozione del sistema di ombreggiamento progettato consente di mitigare sostanzialmente in modo completo la forzante solare, il sistema di ventilazione notturna deve la sua efficacia alle condizioni climatiche esterne, che, come sappiamo, godono di un importante livello di incertezza. Di fatto, più la *temperatura esterna media notturna*  $T_{e,night,mean}$  assumerà valori elevati, e tanto più, anche con l'adozione di elevati tassi di ricambio dell'aria notturna, sarà difficile, da parte del sistema di ventilazione preparare l'ambiente interno a resistere alle forzanti termiche giornaliere. Per di più, l'inefficienza aumenta, quando pure la *temperatura esterna media giornaliera*  $T_{e,day,mean}$  assume valori considerevolmente alti. In virtù di tutto ciò, si eseguiranno delle simulazioni, che, nell'ipotesi di sostanziale completa assenza di forzante solare, per coppie di valori  $T_{e,night,mean}$  e  $T_{e,day,mean}$  si calcolerà il valor del tasso medio di ventilazione notturna minimo  $n_{nott,min}$  tale da realizzare condizione di comfort termico estivo ( $T_{i,op} \leq 26 \pm 0,2^\circ C$ ). Si riporta di seguito in forma grafica il risultato di tale analisi:

<sup>15</sup> Portata d'aria minima per l'allontanamento dei volumi d'aria viziata per esposizione alle componenti edilizie e ai processi comportamentali di persone e cose [UNI10339:1995]



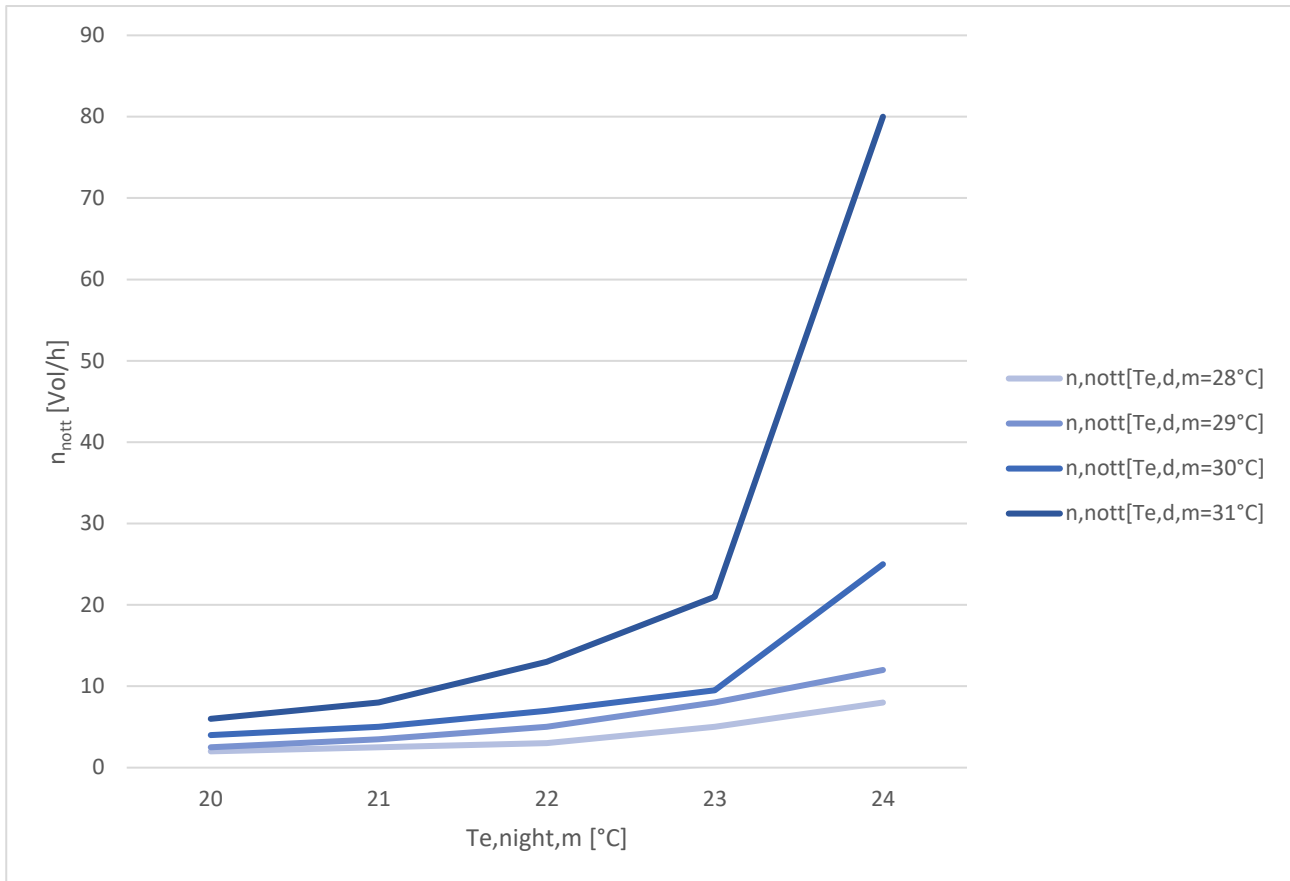


Fig. 13 - Curve di domanda di tasso di ventilazione notturno minimo, per instaurazione comfort termico interno, per date condizioni al contorno, di temperature medie esterne, diurne e notturne

Si vuole precisare che per “sostanziale completa assenza di forzante solare” si vuol intendere che il sistema di ombreggiamento consente di ridurre al minimo l’influenza del carico termico radiativo. Di fatto come si può notare dall’analisi condotta sul profilo orario annuale del fattore di ombreggiamento la percentuale residua della radiazione solare diretta risulta nulla sino al pomeriggio inoltrato 15:00 ÷ 16:00 dove successivamente però il valore della radiazione diretta scende sensibilmente di intensità nell’ordine delle decine di  $W/m^2$ , che poco, si può ragionevolmente affermare può infierire sulla termica del locale. Viceversa la componente di *irradianza diffusa* rimarrà per sua definizione intatta, ma il considerarsi della sua presenza in termini di calcolo sposta del solo ordine del quarto di °C il risultato in termini di  $T_{i,op}$ , motivo per il quale si è introdotta la tolleranza di misura della Temperatura interna operativa obbiettivo.

Dal precedente grafico apprendiamo che, è sufficiente un tasso di ricambio d’aria notturno medio di 10 Vol/h per realizzare le condizioni di comfort termico interno, fin tanto che sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- $T_{e,night,mean} \leq 21^{\circ}C = T_{e,night,mean,MAX}$
- $T_{e,nday,mean} \leq 30^{\circ}C = T_{e,nday,mean,MAX}$

La realizzazione di un tale tasso di ricambio dell’aria, può essere facilmente instaurato, dal sistema di ventilazione predimensionato nel capitolo dedicato, senza incorrere in problematica di natura meccanica, rispetto all’integrità dei singoli componenti e delle giunzioni realizzate tra

le stesse. Quanto di cui prima è dimostrabile, a mezzo delle relazioni e degli asserti tratti nel capitolo dedicato al sistema di ventilazione.

È altresì ovvio che però, le condizioni di cui sopra, non potranno essere soddisfatte sempre durante la stagione estiva. Si riporta un grafico che riporta l'andamento delle grandezze  $T_{e,night,mean}$  e  $T_{e,day,mean}$  durante la stagione estiva.

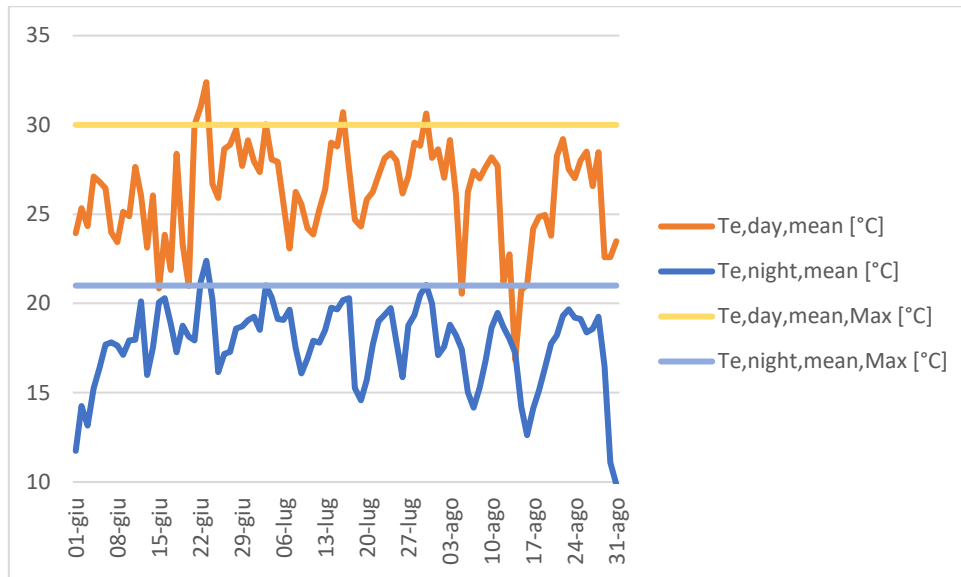


Fig. 14 - Verifica del contenimento della temperatura media, diurna e notturna, nei limiti di funzionamento del sistema di ventilazione notturna

La condizione limite non viene pertanto soddisfatta solo in 5 giorni della stagione estiva, che rappresenta circa il 5% dell'intero arco estivo.

Si dimostra così che il combinato disposto dei sistemi di ventilazione e di ombreggiamento possono in tale contesto climatico poter promuovere la quasi integrale climatizzazione estiva in modalità passiva mitigando la necessità di intervento del sistema di climatizzazione estiva attiva.

## 6. Proposta Tecnologica per un sistema di ombreggiamento Innovativo

### 6.1 Obbiettivi

Nel capitolo relativo allo studio del sistema di ombreggiamento, si è discussa la possibilità applicativa di un sistema di elementi “tipo lamelle”, ortogonali al piano della specchiatura, tali da formare un reticolo che con il loro grado di “infittimento” della trama, e il grado di aggetto relativo, ossia attraverso i così definiti Rapporti di Forma in piano e trasversali, sarebbe stato possibile mitigare, l’esposizione di una apertura finestrata alla radiazione solare. In tale capitolo si proporrà una soluzione tecnologica di tale sistema.

### 6.2 Requisiti Generali

Un sistema che si premette di svolgere il ruolo di sistema di ombreggiamento, da installare su struttura esistente, ci si aspetta che, ragionevolmente, possa compiutamente assolvere, ai seguenti requisiti:

- In Fase di Pre-Installazione e di Installazione:
  - Economicità: al fine di incentivare l’adozione del sistema;
  - Trasformabilità Dimensionale: al fine di agevolare il trasporto di una grande quantità;
  - Leggerezza: al fine di limitare l’uso di mezzi di cantiere per la mobilitazione;
  - Economicità Temporale: al fine di velocizzare l’attività di installazione;
- In Fase di Post-Installazione:
  - Short Term:
    - Resistenza Meccanica: al fine di resistere alle azioni comuni del vento e dei depositi nevosi e alle sollecitazioni eccezionali come precipitazioni importanti e grandinate;
    - Resistenza alle Variazioni Termiche e Raggi UV: al fine di assicurare la funzionalità nel tempo del sistema;
    - Impermeabilità: al fine di limitare l’esposizione a cicli assorbitivi ed evaporativi del materiale costitutivo;
    - Agevole Pulizia: al fine di poter agevolare la rimozione dello sporco con praticità e non mettendo a rischio l’incolumità dell’operatore e limitare il suo tempo di attività;
  - Long Term:
    - Durabilità: al fine di poter garantire in modo semplice e immediato le operazioni di rimozione, sostituzione e ripristino garantendo una vita utile il più possibile comparabile con quella della struttura asservita.

### 6.3 Prime Analisi

Le prime proposte ipotizzate seguivano la volontà di interpretare il sistema di ombreggiamento come costituito essenzialmente di tre entità:

- Elementi ombreggianti
- Nodi tra elementi
- Sistema di ancoraggio

Gli elementi ombreggianti si era supposto potessero essere realizzati da “lamelle” in acciaio, alluminio o legno e conseguentemente, i nodi tra elementi, potevano essere di tipo bullonato o saldato nel caso dell'acciaio, realizzati attraverso perni, spinotti, chiodature o sistemi ad incastro nel caso del legno, e in ultimo attraverso collegamenti ad incastro mediati da piastrene o avvitature, nel caso dell'alluminio.

Tutte le soluzioni prima esposte hanno un comune denominatore, la rigidità degli elementi costitutivi. Tale caratteristica, comporta evidenti problemi nella fase di cantiere, in modo più o meno intenso, a seconda del materiale prima scelto. Di fatto, se si vuole risparmiare, in termini di costruzione, in sede di cantiere, si dovrà pre-assemblare l'intero manufatto, o porzioni dell'interno manufatto, in officina; però poi, queste, potranno essere difficili da movimentare in sede di cantiere, e occuperanno maggiore spazio, in fase di trasporto. Viceversa, se si opterà per l'approccio alternativo, ossia de-costruire, il più possibile, il sistema, per poi assemblarlo interamente in sito, si incorrerà ad un risparmio, in termini di trasporto e movimentazione ma, in linea generale, ad un incremento importante dei tempi di montaggio. Ovviamente, nel caso si adottino tali soluzioni, si opterà per una condizione intermedia, che trovi il punto di ottimo tra le due problematiche e minimizzi, la difficoltà realizzativa. In tale sede però, si opterà per un totale cambio di paradigma, passando dall'utilizzo di elementi rigidi, a quello di elementi flessibili o semi-rigidi si propone, in tale sede, una soluzione per un sistema di ombreggiamento che definiremo “*A Tendaggi Reticolari*”

## **6.4 Sistema di ombreggiamento a Tendaggi Reticolari con Sottostruttura Funicolare**

### **Descrizione Generale**

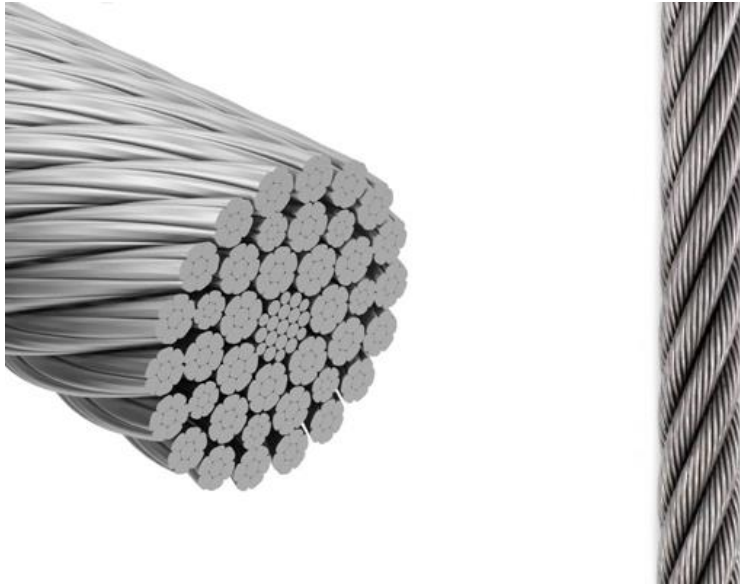
Il sistema di ombreggiamento qua descritto come “a tendaggi reticolari” si comporrà essenzialmente di tre componenti:

- Membrane in Tessuto Oscurante
- Sottostruttura in Funi d'acciaio e Morsetti
- Sistema di Ancoraggio in staffe d'acciaio

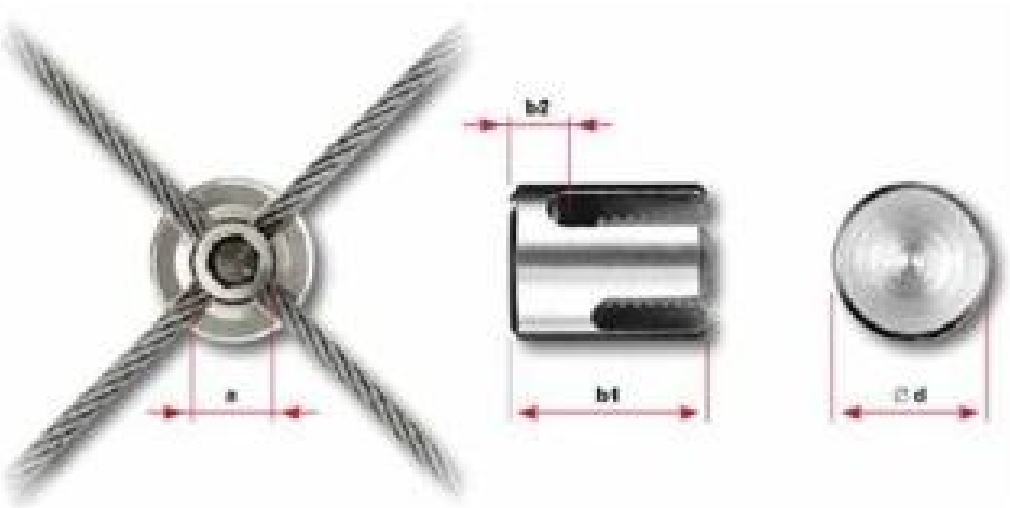
### **Sottostruttura Metallica**

La Sottostruttura si compone di Funi e Nodi. Le funi, saranno composte da trecce di cavi d'acciaio ad alta resistenza, e limitata sezione trasversale. Tali funi, interagiranno tra di esse, a formare un reticolo, e con il sistema di ancoraggio. Tali interazioni rappresentano un nodo, e verranno realizzati da “Morsetti da incrocio di cavi a 90°” nel caso dei nodi di interazione tra due o più funi, e da “Morsetti di chiusura a cappio” ed eventualmente “Tenditori”, nel caso di interazione tra fune e sistema di ancoraggio. A seguito di quanto di cui prima, e delle immagini seguenti, ben si comprende il motivo nel precedente capitolo, nell'adottare forma di cellule, che il più possibile, creassero nodi di incrocio a 90° o comunque ad andamenti verticali, od orizzontali per i nodi. Di fatto, morsetti che consentano un incrocio rigido, e fisso, tra funi ad angoli regolabili sono pochi, e comunque più costosi della soluzione basica prima elencata. Nel caso dell'interazione tra sistema di ancoraggio e fune, in uno dei due nodi si integrerà un “tenditore” al fine di poter assorbire, le tolleranze costruttive, legate alle differenti fasi di montaggio. Un sistema così fatto crea un reticolo su di un piano. Il sistema prevede la

realizzazione di due reticoli tra di loro paralleli, posti ad una distanza pari alla profondità progettata per le cellule del sistema di ombreggiamento. Due funi che corrono paralleli tra i due piani verranno legati viceversa dagli elementi in tessuto. Di seguito si riportano immagini esplicative degli elementi prima esposti:



*Fig. 15 - Cavo in acciaio con dettaglio dell'andamento longitudinale e trasversale delle membrature*



*Fig. 16 - Morsetto per incrocio cavi a 90°*



*Fig. 17 - Terminale a occhiello per collegamento fune d'acciaio a tenditore*



*Fig. 18 - Tenditore ad occhiello per fune d'acciaio*

## Elementi in Tessuto

Gli elementi in tessuto si differenziano in base al materiale, e al modo con cui queste si connettono al sistema di funi del sistema di ombreggiamento.

Per quanto concerne il materiale, al fine di rispondere alle esigenze espresse dai requisiti generali, si propone l'uso del POLIESTERE<sup>16</sup>, un materiale in fibra sintetica riciclabile, che offre buone proprietà di resistenza meccanica alle sollecitazioni, alle variazioni termiche e ai raggi UV (caratteristica assai importante per un materiale il cui obiettivo è quello di venir esposto continuamente alla Radiazione Solare), che risulta essere impermeabile e versatile.

Dal punto di vista delle connessioni tra tessuto e funi è possibile esporre la seguente classificazione:

- Connessioni realizzate off-site:
  - o A fune nascosta: es. tessuto cucito su misura attorno alla fune
  - o A fune in vista: es. connessione ad "occhiello"
- Connessioni realizzate in-site:
  - o A fune nascosta: es. tessuto risvoltato sulla fune e unito con "straps" o "ganci nascosti"
  - o A fune in vista: es. tessuto legato a mezzo di porzioni di tessuto aggiuntivo impiegabile per creare nodi sulle funi

Le soluzioni precedenti si differenziano per estetica, per attenzione in fase di realizzazione in officina, di tempo nella cantierizzazione, facilità di manutenzione, sostituibilità degli elementi e resistenza alle sollecitazioni.

Per consentire la deformabilità del sistema si potrebbe integrare il tessuto con bande elastiche deformabili, od viceversa adottare tessuti deformabili per loro natura.

## Sistema di Ancoraggio

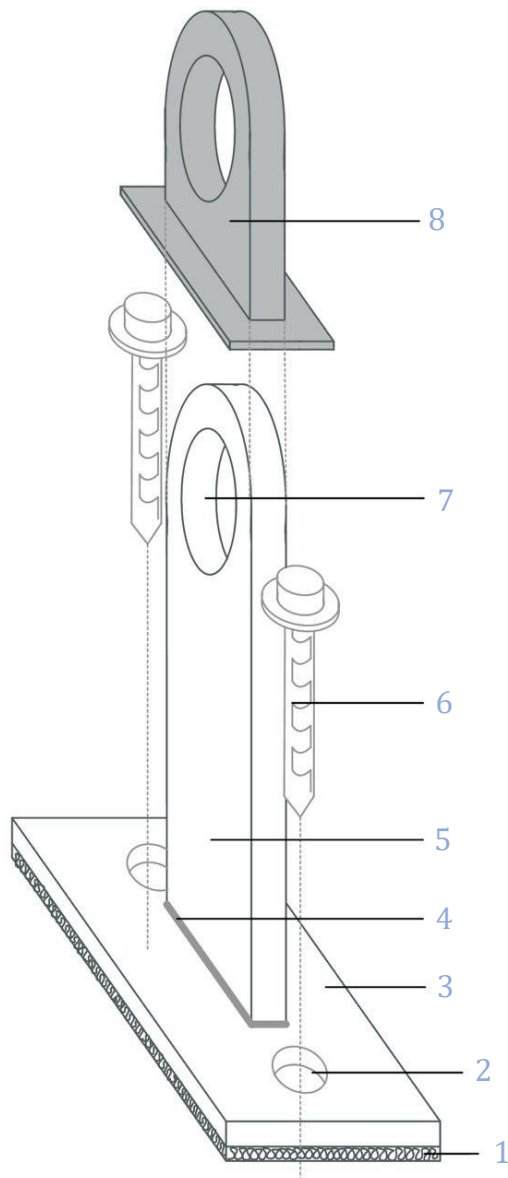
Il sistema di ancoraggio determina la connessione del sistema di ombreggiamento alla struttura esistente. Di seguito, si propone lo schema di un tipo di un elemento di ancoraggio e si seguirà con la descrizione dei vari elementi costituenti.

Di seguito si premette la caratterizzazione di ogni elemento elencato della seguente immagine:

- 1- Fascia pre-accoppiata di neoprene
- 2- Foro asolato di alloggiamento per il tassello di ancoraggio
- 3- Piastra di base in acciaio
- 4- Cordone di saldatura
- 5- Piastra di collegamento alla sottostruttura funicolare del sistema di ombreggiamento
- 6- Tassello di ancoraggio a struttura esistente in ca
- 7- Foro di alloggiamento per collegamento a sistema di ancoraggio
- 8- Piastrina di copertura e finitura dell'elemento di ancoraggio

---

<sup>16</sup> [Eco-friendly e up-to-date: la nuova collezione di tessuti Gibus 2023, Gazzetta Abitare, Ingenio:Luglio 2023]



*Fig. 19 - Elementi costitutivi di un punto di ancoraggio*

L'elemento di ancoraggio trattasi di una staffa a T, e quindi di una staffa di base parallela al piano di ancoraggio e di una ulteriore ad essa perpendicolare. La piastra di base interpone uno strato di neoprene pre-accoppiato, per mitigare l'interazione abrasiva tra una superficie liscia ed una ruvida (quella in calcestruzzo) e minimizzare la formazione di micro-ponti termici. Sempre la piastra di base offre due asole di alloggiamento, per i bulloni di collegamento con la struttura. Le piastre perpendicolari offriranno fori di passaggio per la connessione con i due piani di funi e saranno di lunghezza tale, da fuoriuscire dall'eventuale cappotto termico successivamente disposto. Pertanto, il sistema si compone di due fasi, la prima di predisposizione degli ancoraggi e la successiva di connessione con il sistema di ombreggiamento, in fase intermedia può esservi la realizzazione, ripristino e finitura del cappotto termico o qualunque altro sistema di facciata esterno.

Particolare attenzione dovrà esser posta all'ancoraggio inferiore, poiché non essendo direttamente presente un elemento strutturale ma bensì un parapetto, si proporrà di collegare le funi pose nella parte inferiore, prima, ad un traverso metallico, e in seguito di collegare



quest'ultimo ai pilastri laterali a mezzo di piastre di ancoraggio preventivamente disposte in sito.

### 6.5 Schema tecnologico della soluzione adottata inserita nel contesto applicativo del caso studio in esame

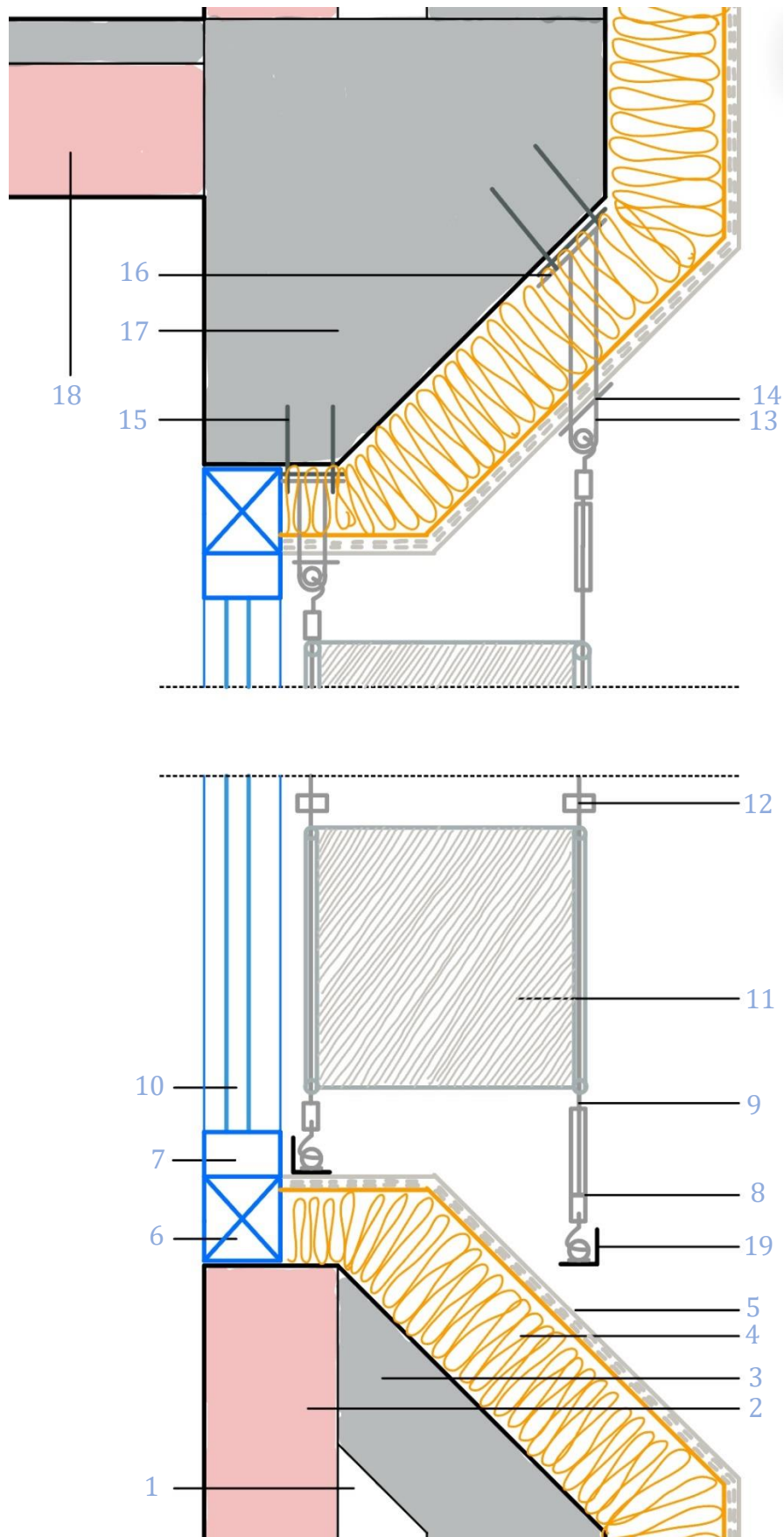


Fig. 20 - Nodo costruttivo del sistema di ombreggiamento integrato nella struttura esistente

Di seguito si riporta l'elenco degli elementi catalogati nell'immagini soprastanti:

- 1- Intercapedine d'aria interna
- 2- Strato interno del parapetto costituito da mattoni forati finito internamente con intonaco cementizio
- 3- Strato esterno del parapetto costituito da setto in ca prefabbricato e finito esternamente con intonaco cementizio
- 4- Strato di isolamento termico a cappotto
- 5- Strato di finitura a intonaco del sistema a cappotto
- 6- Controtelaio del serramento esterno finestrato nascosto da finitura in lastre in cartongesso
- 7- Telaio del serramento esterno finestrato
- 8- Tenditore
- 9- Filo d'acciaio
- 10- Vetrocamera
- 11- Tessuto oscurante costituente i diaframmi del sistema di ombreggiamento
- 12- Morsetto per incrocio fili d'acciaio
- 13- Piastra di aggancio della sottostruttura
- 14- Piastrina plastica di finitura
- 15- Tasselli di ancoraggio
- 16- Piastra di Base del sistema di ancoraggio
- 17- Trave di bordo in ca prefabbricato
- 18- Partizione orizzontale con struttura in laterocemento

## 7. Conclusioni

Segue dalle precedenti analisi, condotte nei passati capitoli, che per gli ambienti dell'edificio oggetto di studio, al fine di eliminare, con approccio totalmente passivo, la questione del surriscaldamento interno, dovranno essere introdotti/modificati i seguenti sistemi, di integrazione "edificio-impianto", con le seguenti specifiche:

- Sistema di Ombreggiamento con elementi di aggetto ortogonali al piano finestrato a cellule triangolari:
  - Rapporto di Forma in piano  $R_f = \frac{h}{b} = 1$
  - Rapporto di Forma Trasversale  $R_{ft} = \frac{d}{h} = 0,75$
  - Aggetto effettivo della cellula  $d = 30 \text{ cm}$
- Sistema di Ventilazione a funzionamento integrativo notturno:
  - Tasso di ventilazione medio notturno massimo modulabile  $n_{nott} = 10 \text{ Vol/h}$

Effettuando una simulazione con software di calcolo EDILCLIMA (versione 12.23.08), con calcolo dinamico orario, sulla base del set di norme tecniche UNI EN ISO 52016:2018, sul locale tipico, è possibile ottenere il seguente risultato in termini di Temperatura Interna Operativa.

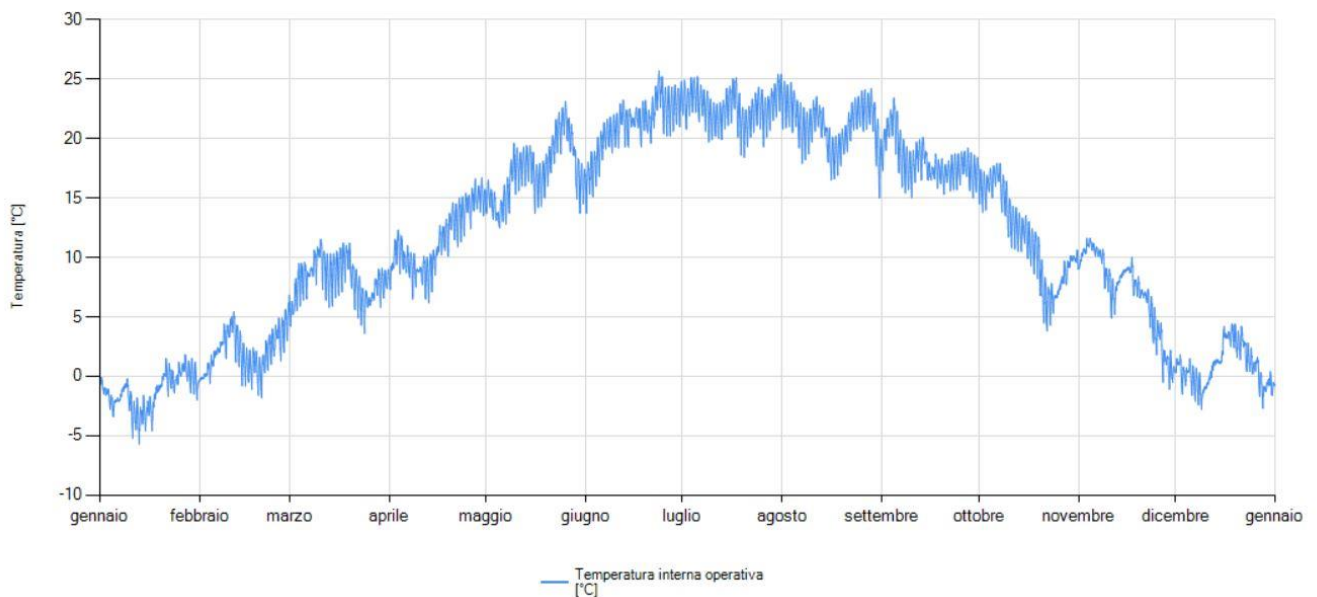
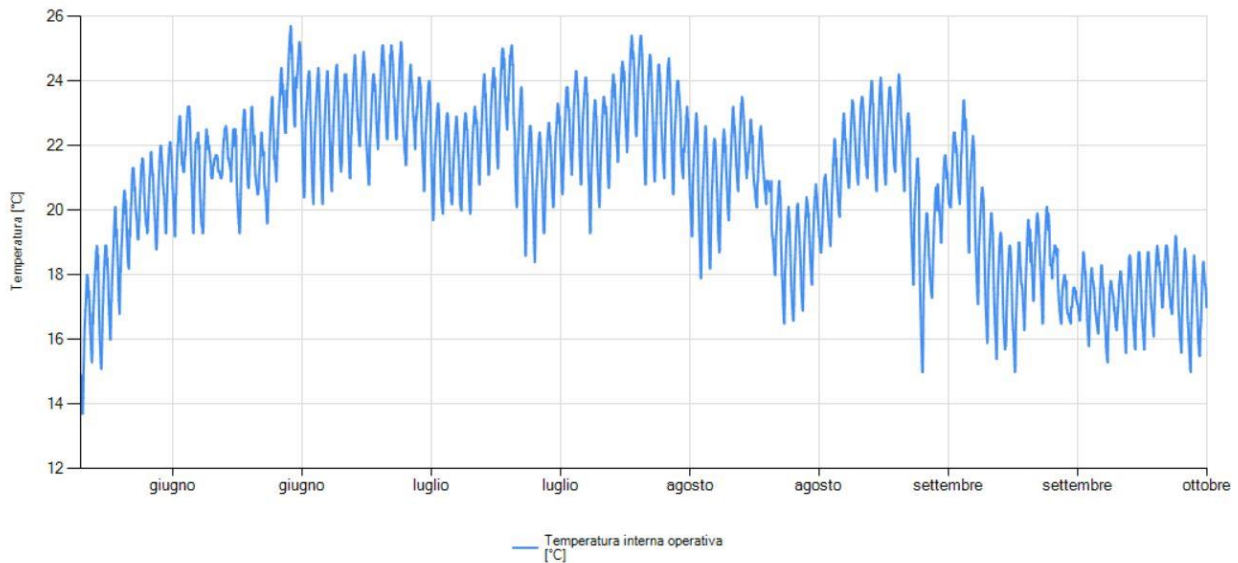


Fig. 21 - Risultato finale dell'andamento orario annuale della Temperatura Interna Operativa

Si precisa che il precedente grafico è stato ottenuto ipotizzando "spento" l'impianto di climatizzazione, dando ragione alle temperature molto basse, riscontrate nella stagione invernale. Di seguito si propone un focus sulla sola stagione estiva.



*Fig. 22 - Risultato finale dell'andamento orario stagionale (estivo) della Temperatura Interna Operativa*

Si evince da tale grafico che l'analisi di validità condotta, rispetto alla possibilità di azione del sistema di ventilazione, era corretta e conservativa. Di fatto, si ottiene condizione di comfort termico, persino durante le giornate in cui si supposeva l'impossibilità, da parte dei sistemi a funzionamento passivo, di abbattere completamente il problema del surriscaldamento interno. Viene così, di fatto, neutralizzata, la domanda energetica di climatizzazione estiva attiva.

Attenzione però dovrà comunque esser posta sulla stagione invernale. Di fatto, l'adozione di un sistema di ombreggiamento fisso comporta la riduzione degli apporti solari anche nella stagione di riscaldamento, comportando un aumento del fabbisogno energetico, che, in taluni casi, può anche equiparare il vantaggio ottenuto nella stagione estiva. Come già ipotizzato, una soluzione, sarebbe quella di rendere il sistema di ombreggiamento "a scomparsa", ossia consentire il suo utilizzo solo quando richiesto dall'utenza.

Si precisa, inoltre, che nei due grafici precedenti la ventilazione notturna, è stata supposta costante per tutti i giorni dell'arco estivo. Così però non sarà, e la portata notturna dovrà essere regolata in base alle disponibilità termiche, e dalle richieste di raffrescamento delle masse termiche dei singoli locali.

Si dimostra così, che, limitatamente al caso studio in analisi, un approccio olistico, con logica passiva, che investa l'intero insieme edificio-impianto, possa abbattere sensibilmente i consumi energetici, senza impattare negativamente sugli aspetti di benessere termico degli utenti.

Si evince inoltre però che l'approccio passivo alla climatizzazione ha comunque dei limiti dettati dalle condizioni climatiche esterne. Di fatto, nonostante si possa anche assicurare, la completa mitigazione, dei carichi termici dovuti all'irraggiamento, il profilo termico esterno, se elevato, impedisce al funzionamento passivo del sistema di ventilazione di completare l'atto di climatizzazione, non riuscendo a raffrescare quanto desiderato le masse termiche interne. È ragionevole supporre, date le previsioni climatiche future, che tale problema si presenterà con intensità sempre maggiori. L'adattamento climatico, con l'utilizzo di impianto di

condizionamento dell'aria, è quindi indispensabile ma altrettanto importante rimane la mitigazione del suo dimensionamento ed utilizzo.

Il progettista è chiamato a prendere atto della questione fornendo soluzioni tecniche e metodologiche innovative. In tale contesto, però, il fine non giustifica sempre i mezzi. Il benessere viene parcellizzato in "termico", "acustico", "visivo", "olfattivo" solo per convenzione progettuale ma il così-detto "comfort" è percepito dall'utenza nella sua interezza. La soluzione conferita per il sistema di ombreggiamento, ad esempio, prende le mosse proprio da questo principio mediando gli interessi energetici, di praticità-economicità realizzativa e di visibilità esterna. Scegliere però significa dividere e una soluzione porta con sé altre problematiche che richiedono un costante processo di studio, revisione e di continua messa in discussione.

## Bibliografia

- [1] UNI, UNI/TS 11300-1, Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale, ottobre 2014
- [2] UNI, UNI 10375, Metodo di calcolo per la temperatura interna di un locale nel periodo estivo, ottobre 2011
- [3] UNI, UNI EN ISO 52016-1, Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo, marzo 2018
- [4] UNI, UNI EN ISO 7730, Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale, Ottobre 2006
- [5] UNI, UNI 10339:1995, Impianti aerulici al fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura, giugno 1995
- [6] UNI, UNI EN 16798-1, Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica - Modulo M1-6, giugno 2019
- [7] UNI, UNI EN 13363-1, Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate - Calcolo della trasmittanza solare e luminosa - Parte 1: Metodo semplificato, Marzo 2018
- [8] ALNOR, Sistemi di Ventilazione, Sagomario per cancali di sistemi di ventilazione e ricambio dell'aria interna, marzo 2020
- [9] Condizionamento dell'aria e refrigerazione 3<sup>a</sup>, Pizzetti Carlo, Hoepli, 1986
- [10] I criteri di dimensionamento delle canalizzazioni aeruliche, Ing. Mattia Tomasoni – Ing. Elia Cremona, Idraulica Caleffi, giugno 2022
- [11] Criteri di progettazione e dimensionamento delle condotte aeruliche, Agostino Piazzese – Mariachiara Pinto, Abitare Ingenio, aprile 2021
- [12] Enciclopedia pratica per progettare e costruire, Neufert Ernst, Hoepli, gennaio 2013
- [13] Eco-friendly e up-to-date: la nuava collezione di tessuti Gibus, Gibus – Goodwill, Abitare Ingenio, luglio 2023

## Ringraziamenti

“A chi mi ha tenuto per mano, realizzando il totale, col totale necessario...”. Così, riportavano le prime righe della dedica nella mia tesi di laurea triennale. A distanza di due anni, nulla è cambiato, mi domando come potrebbe essere altrimenti, ciò che è cambiata invece, è la platea di persone a cui, tale dedica, mi sento oggi per l'appunto, di dedicare.

È stato un percorso lungo, difficile, a tratti anche troppo, non tanto per gli esami, ma per ciò che gli esami a volte ti portano a fare, o soprattutto, ti portano a non dover fare.

Ti portano a dover rinunciare alle vacanze, alle serate con gli amici, a tutti quei tempi e quegli spazi necessari, e indissolubilmente indispensabili. Io, purtroppo o per fortuna, l'ho imparato a mie spese. E forse, al netto delle tanto necessarie competenze, ciò che veramente mi rimarrà di questi disastri anni, è la consapevolezza che, la felicità, pur dipendendo da noi stessi, non solo “ce la creiamo”, ma, “si crea” grazie alle persone che hai accanto, e che, parlando di me, mi sono state accanto pur, aver deciso, inconsapevolmente, di allontanarle. A loro, e a tutte quelle che si sono presentate nel corso di questi lunghi anni, rivolgo, i miei più sinceri ringraziamenti.

Ringrazio quelli che oggi, purtroppo o per fortuna, posso definire i miei, “amici di giù”. Grazie alla Marce, con la quale non ho mai perso, e mai perderò, la voglia di discutere e confrontarmi, ma soprattutto discutere. Grazie a Damian che, nel bene o nel male, mi ricorda sempre che i nostri limiti, in fondo, ce li poniamo solo noi. Grazie al Nero, cui eleggo, persona più paziente mai vista, perché, senza mai batter ciglio, è riuscito a dar forma alle mie follie. Grazie a Daniel, per me punto di arrivo inarrivabile, in quanto a conciliazione tra pace dei sensi e arrivismo senza limiti. Grazie a Giulia che ha sempre il potere di condensare in un solo abbraccio, un affetto, che non è possibile far equivalere a mille chiacchierate. Grazie al Bardi, a cui penso di aver detto già tutto, ma a cui non smetterò mai di ricordare, che anche interagendo con tutti gli studenti e gli ingegneri tra Firenze e Torino, non troverò una persona, con lo stesso interesse e piacere per ciò che fa, anche non manifesto, ma sicuramente intrinseco, perché l'ho sempre visto. Grazie al Mencio, cui spero con tutto me stesso, che un giorno, avrò la possibilità di stare di nuovo a quattro mani su una pianta. Grazie ad Arlind che per me è inconcepibile come possa esistere una persona con così tanta voglia di fare, ma soprattutto di vivere. E ovviamente, a tutte le altre persone che hanno incrociato il mio cammino in quel di Toscana, dai compagni di Università, Francesche, Giulia, e i miei “amici di Quarrata” che tra elementari, medie ecc. se ne sono passate talmente tante, da definire in modo netto la base di cui sono oggi.

A ingegneria ho appreso la parola “duale”, l'ho usata in N esami, scritta in decine di quaderni e ripetuta ad altrettanti orali, tutt'oggi ancora però credo di non aver ben capito il suo significato, so però, che si usa in questi contesti: “avendo ringraziato tutti voi di giù, non posso tralasciare voi duali al Nord”. Devo ringraziare Sara, perché nella mia umiltà, ho sempre pensato di avere una quasi irraggiungibile passione per ciò che faccio, dopo averti conosciuto e aver visto il tuo entusiasmo, tralasciando le vicissitudini, forse devo ammettere, che mi sbagliavo. Ringrazio Marti, che dopo la storia del Castello Wang, non mi stancherò mai di prenderti in giro, perché la tua semplicità, intesa come genuinità, è un tratto impareggiabile. Grazie a Nadia, con cui ho scoperto, che nel caso di fallimento come ingegneri potremmo avere comunque un futuro come soci per uno studio di progettazione nella progettazione architettonica delle piazze.



Ringrazio i miei coinquilini, con cui sono sopravvissuto in quella casa per due anni, tra feste con due volte gli indici di affollamento massimi, tra chiacchierate fino a tarda notte, che solo il richiamo fisiologico del sonno poteva spezzare, e le lunghe, ma fantastiche, lucubrazioni filosofiche sull'universo mondo. Grazie a Ema, Ciccio e Ale. Ringrazio ovviamente tutti gli altri miei colleghi di corso, di progetti e più in generale di università, che mi hanno accompagnato in questa avventura.

Sempre dualmente, ringrazio la ESIPRO, che prima ancora di una azienda ho percepito essere una comunità, unita, bella, dinamica, ma soprattutto umana, nella quale mi sono sentito accolto, discriminato per l'assenza di cialde al ginseng, ma comunque accolto. Non nego di aver provato paura in procinto di uscire dall'università; paura per come veramente sarebbe stato il mio lavoro, ma se tutto là fuori fosse come lo ho conosciuto io in questi mesi, mi sento di affermare, senza ombra di dubbio che non potevo prendere scelta migliore 6 anni fa.

Ringrazio il mio tutor, l'Ing. Giorgio Ciardiello che mi ha accompagnato in questo lavoro di tesi e ringrazio, allo stesso tempo, il mio relatore, il Prof. Paolo Piantanida, con il quale, una volta di più, mi trovo a dovermi convincere della bontà degli scontri dialettici, perché, pur essendo scontri, da essi si trae, sempre e comunque, le giuste e buone sintesi.

Ci ho pensato molto, ma in definitiva, ho ritenuto opportuno di ringraziare anche questa università, il Politecnico di Torino, grazie alla quale nonostante i trascorsi, mi ha permesso di incontrare te. Te, che mi hai fatto finalmente capire, che quel "ti portano a dover fare", di cui parlavo all'inizio, non è nient'altro che un "potrebbe portarti a fare". Perché, non è sempre così, non lo è, ma molte volte, le nostre paranoie, difficoltà o frustrazioni sono più che altro autogenerate. Paranoie che non ti permettono di apprezzare, che le vere gioie, non sono quelle che ottieni con lo sguardo ansioso e fisso sull'orologio che scorre, ma quelle in cui ti anneghi negli occhi di qualcun altro e ti dimentichi pure, che tutto, attorno a te, sta scorrendo, ineluttabilmente. Grazie Marti. Di fatto, come disse un grande poeta e critico contemporaneo, in un giorno caldo davanti alla stazione di Santa Maria Novella "La vita è semplice, sono le persone che la complicano".

E come base da cui tutto parte, e tutto si fonda, in ultimo, non posso che ringraziare la mia famiglia. Ringrazio mio padre, che voglio descrivere senza mezzi termini, anche rischiando di portarmi al limite dell'infantilismo, come l'eroe della mia vita, perché in fondo, almeno per me, non c'è niente di più eroico, che alzarsi ogni giorno dal letto alle 6 della mattina, tornare alle nove di sera, e senza tregua: caricare, scaricare, sagomare, raccordare, legare, trasportare e installare; guaine di silicone, pezzi di alluminio, telai metallici e lastre di vetro, tutto questo, praticamente ogni giorno, per più di quarant'anni; e, sempre in tutto questo, trovare quei dieci minuti per scaldare il latte la mattina, e preparare le focacce, per i figli che andavano a scuola. Ringrazio mia madre che di minuti ne doveva impiegare anche molti di più, e non solo per scaldare il latte, ma starci dietro, a me e mio fratello, per i guai da bambini e le paranoie che ci facciamo ormai da adulti, ma, sempre con il giusto equilibrio tra comportamento punitivo da temuta professoressa delle medie, quale è, e le dolci carezze materne che mi hanno reso, entrambe, quello che sono oggi. Ringrazio mio fratello, dietro al quale, ho camminato a lungo nella mia vita, non solo per ammirazione o stima, ma per quell'affetto, anche se a tratti non

manifesto, che mi ha sempre, dato sicurezza; la sicurezza di un porto a cui sento di dover tornare, tutte le volte, che ho bisogno di prendere una decisione. E siccome parliamo di famiglia, c'è un'ultima persona che voglio ringraziare. Si tratta di un ragazzino, mi verrebbe da dire, di 19 anni. Un ragazzino di 19 anni, che oggi, libero da vergogna, rimorsi e sensi di colpa, non esito a definire spaventato, spaventato, per scelte, percepite inoppugnabili che ritiene di aver sbagliato, per un cammino errato che sente di aver preso, e per la totale assenza di armi con cui affrontarlo, che in effetti, oggettivamente, non aveva. A lui, voglio dire grazie, grazie di non aver mollato, forse anche troppo in certi passaggi, perché in fondo, pur rimanendo veri tutti i ringraziamenti di cui sopra, il vero lavoro, lo hai fatto tu. Grazie Edo. Hai visto che ci sei riuscito alla fine?