

civico4LAB

*progetto di un centro civico a Milano Isola con applicazione di materiali innovativi
a memoria di forma in sistemi di oscuramento di facciata*

Relatore: Prof. Ing. Gabriele Masera

Co-relatori: Prof. Arch. Marco Muscogiuri
Dr. Ing. Marco Pesenti
Dr. Ing. Giulio Zani

Tesi di Laurea di:

Anna Stringile 746994
Matteo Piazzolla 716488



POLITECNICO DI MILANO
Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile-Architettura
Anno Accademico 2014/15

ABSTRACT_italiano

L'area "lunetta" è sempre stata, fino ad oggi, il margine fra il quartiere Isola e le infrastrutture ferroviarie che l'hanno storicamente isolata dal resto della città.

Con il concorso internazionale del 1991-1992, promosso da AIM (Associazione Interessi Metropolitan) e dall'Amministrazione Comunale, ha avvio il suo processo di trasformazione. Tuttavia è solo nel 1999, su iniziativa di privati, insieme al Comune di Milano e alla Regione Lombardia, che si hanno risultati concreti: progettazione e successiva realizzazione di quanto oggi è possibile vedere nell'area.

In questo clima di cambiamenti si colloca il bando di concorso internazionale, con procedura aperta, bandito dal Comune di Milano per la progettazione del Centro Civico del quartiere Isola-Garibaldi, da realizzare nel parco pubblico *La Biblioteca degli Alberi*, nell'ambito del Programma Integrato di Intervento Garibaldi-Repubblica.

Il nostro lavoro è stato quello di prendere le direttive del bando e dare al progetto una caratterizzazione che avesse anche una relazione con il numero 4, numero civico di quella che era la preesistenza in quel lotto. L'idea che è nata è stata quella di creare il *civico4LAB*: un centro civico *for laboratories* in cui fossero inseriti *4 laboratori* tematici, quali cucito, fai da te, cucina e agricoltura BIO.

Inoltre l'edificio, con struttura in acciaio, vede la particolare applicazione di sistemi di oscuramento azionati da elementi in lega a memoria di forma, materiale comunemente considerato "intelligente" per la sua risposta unica alle variazioni di temperatura, posti all'interno di una *double-skin*. L'analisi dei comfort illuminotecnico ed energetico, ottenuti mediante l'applicazione di sistemi di oscuramento innovativi esistenti, si è focalizzata su una singola

stanza.

I risultati hanno permesso l'ideazione di un nuovo sistema, *Kinetic Lid*, che unisce i punti di forza delle soluzioni analizzate. Come l'occhio umano cerca di adattarsi alle condizioni di luce esterna, variando la dimensione della pupilla e l'apertura delle palpebre, così *Kinetic Lid* è pensato per rispondere alla variazione di luce all'interno di un ambiente. Si compone di due elementi essenziali che insieme lavorano come un sistema integrato: le molle per la movimentazione in NiTiNol e la geometria pieghevole dell'elemento oscurante.

ABSTRACT_inglese

"Lunetta" area has always been the edge between Isola neighbourhood and the rail infrastructures, that had historically cut it off from the rest of the city. The international competition promoted in the 1991-1992 by the AIM (Association of Metropolitan Interests) and the council admisitration marked the beginning of his process of transformation.

Despite this, the first real results had occurred only in 1999 at the initiative of some privates together with the Coucil of Milan and Regione Lombardia: the design and construction of what it's today clearly visible in the aera in question

During this period of changes the Coucil of Milan announced the open international competition for the designing of the Civic Centre in Isola-Garibaldi neighbourhood, which was supposed to be realised in the public park The Library of Trees, according to the Integrated Programme on Garibalid-Repubblica.

Starting from the assumptions contained in the tender notice, our intention was to create a connection between the project and the number 4, according to its symbolical connection with the land as it was the civic number of the pre-existence building. The out-coming idea is the *civico4LAB*: a civic centre for laboratories, in which there have been inserted four thematic laboratories, like the needlecraft, do-it-yourself, cooking and organic agriculture. Moreover the building is characterized by a steel structure and an "intelligent" shading system activated by shape memory alloy elements. This particular shading system is located in a double-skin façade.

The lighting and energetic comfort is obtained with an innovative existing shading system, and the related analysis were concentrated on one single room.

The results came out with the ideation of a new system, Kinetic Lid, that merges the strong points of the two analysed solutions. Kinectik Likd is thought to react at the light variations of an inner ambiance in the same way as the human eye tries to adapt itself to the external light conditions, varying the opening of the pupil and the eyelids. It is composed by two essential elements that work together in an integrated system: the springs for the movement in NiTiNol and the foldable geometry of the shading element.

INDICE

PARTE 1 _ANALISI PRELIMINARI

| | | |
|---|------|----|
| 1.1 Bando di concorso | pag. | 3 |
| 1.1.1 Analisi critica | pag. | 3 |
| 1.2 Inquadramento storico di Milano Isola | pag. | 5 |
| 1.3 Isola oggi | pag. | 14 |
| 1.3.1 Edifici di interesse area Isola | pag. | 20 |
| 1.4 Inquadramento territoriale di Milano | pag. | 25 |
| 1.4.1 Inquadramento generale | pag. | 25 |
| 1.4.2 Inquadramento Milano isola | pag. | 31 |
| 1.5 Analisi climatiche | pag. | 40 |
| 1.5.1 Temperatura dell'aria esterna | pag. | 40 |
| 1.5.2 Energia radiante | pag. | 45 |
| 1.5.3 Precipitazioni | pag. | 51 |
| 1.5.4 Vento | pag. | 51 |
| 1.5.5 Umidità | pag. | 53 |
| 1.5.6 Ombreggiamenti | pag. | 54 |

PARTE 2 _PROGETTO ARCHITETTONICO

| | | |
|---|------|----|
| 2.1 Analisi del bando di concorso | pag. | 59 |
| 2.2 Analisi lotto ed evoluzione volumetrica | pag. | 62 |
| 2.3 Organizzazione funzionale | pag. | 72 |
| 2.4 Piante architettoniche | pag. | 76 |

pag. 1

| | | |
|------------------------------|------|----|
| 2.5 Sezioni architettoniche | pag. | 82 |
| 2.6 Concept delle facciate | pag. | 84 |
| 2.7 Prospetti architettonici | pag. | 86 |
| 2.8 Riferimenti progettuali | pag. | 92 |

PARTE 3 _PROGETTO TECNOLOGICO

| | | |
|---|------|-----|
| 3.1 Involucro dell'edificio | pag. | 98 |
| 3.1.1 Rivestimenti esterni | pag. | 98 |
| 3.1.2 Scelta degli isolanti | pag. | 99 |
| 3.1.3 Partizioni verticali | pag. | 100 |
| 3.1.4 Pacchetti tecnologici | pag. | 101 |
| 3.1.5 Nodi tecnologici | pag. | 117 |
| 3.2 Schematic design | pag. | 124 |
| 3.3 Comfort illuminotecnico | pag. | 125 |
| 3.3.1 L'importanza della luce | pag. | 125 |
| 3.3.2 Variabili in gioco: Daylight | pag. | 126 |
| 3.3.3 Variabili in gioco: Qualità | pag. | 127 |
| 3.3.4 Variabili in gioco: Elementi influenzanti | pag. | 128 |
| 3.3.5 Variabili in gioco: Grandezze | pag. | 131 |
| 3.4 Materiali a Memoria di Forma | pag. | 134 |
| 3.4.1 Che cos'è un <i>materiale a memoria di forma?</i> | pag. | 135 |
| 3.4.2 Cenni storici | pag. | 135 |
| 3.4.3 Perché il NiTi? | pag. | 135 |

pag. 95

| | | |
|---|------|-----|
| 3.4.4 Com'è possibile la variazione di forma? | pag. | 136 |
| 3.4.5 La struttura cristallina | pag. | 137 |
| 3.4.6 Fase di trasformazione | pag. | 139 |
| 3.4.7 Comportamento termodinamico | pag. | 141 |
| 3.4.8 Modulo di Young | pag. | 141 |
| 3.4.9 Mappa sforzi-temperature | pag. | 141 |
| 4.9.10 Applicazioni | pag. | 142 |
| 3.5 Kinetic Solar Skin | pag. | 146 |
| 3.5.1 Air Flow(er) | pag. | 149 |
| 3.5.2 Pixel Skin | pag. | 150 |
| 3.5.3 Flectofin | pag. | 151 |
| 3.5.4 Homeostatic | pag. | 152 |
| 3.6 Analisi dei modelli | pag. | 153 |
| 3.6.1 Parametri generali dell'intorno | pag. | 153 |
| 3.6.2 Simulazioni del sistema schermante tramite il software Diva for Rhino | pag. | 155 |
| 3.6.3 Analisi dei sistemi SMA | pag. | 163 |
| 3.6.4 I 4 modelli per le analisi | pag. | 165 |
| 3.7 Kinetic Lid | pag. | 183 |
| 3.7.1 Concept | pag. | 184 |
| 3.7.2 Analisi del modello | pag. | 188 |
| 3.7.3 Luce artificiale | pag. | 193 |
| 3.7.4 Comportamento termico nelle Double-Skin | pag. | 196 |
| 3.7.5 Analisi energetica | pag. | 201 |

| | | |
|--|------|-----|
| PARTE 4_ PROGETTO STRUTTURALE | pag. | 211 |
| 4.1 Analisi dei carichi | pag. | 214 |
| 4.1.1 Carichi permanenti non strutturali | pag. | 214 |
| 4.1.2 Carichi variabili: Affollamento | pag. | 216 |
| 4.1.3 Carichi variabili: Azione del vento edificio | pag. | 217 |
| 4.1.4 Carichi variabili: Azione dei vento copertura | pag. | 221 |
| 4.1.5 Carichi variabili: Neve | pag. | 223 |
| 4.2 Solai in lamiera grecata | pag. | 224 |
| 4.3 Predimensionamento e verifica travi in acciaio | pag. | 225 |
| 4.3.1 Travi secondarie | pag. | 225 |
| 4.3.2 Travi primarie | pag. | 238 |
| 4.3.3 Travi a sbalzo | pag. | 243 |
| 4.4 Predimensionamento e verifica pilastro in acciaio | pag. | 245 |
| 4.5 Verifica delle classi | pag. | 248 |
| 4.6 Predimensionamento e verifica plinto di fondazione | pag. | 251 |
| 4.7 Verifica dei controventi in c.a. | pag. | 254 |
| 4.8 Esempio di unione bullonata | pag. | 256 |
| 4.8.1 Verifica dell'unione bullonata | pag. | 259 |
| 4.9 Focus copertura. Due soluzioni a confronto | pag. | 261 |
| 4.9.1 Prima soluzione | pag. | 262 |
| 4.9.2 Seconda soluzione | pag. | 269 |
| BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA | pag. | 273 |

PARTE 1

ANALISI PRELIMINARI

- 1.1 BANDO DI CONCORSO
- 1.2 INQUADRAMENTO STORICO MILANO ISOLA
- 1.3 ISOLA OGGI
- 1.4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE
- 1.5 ANALISI CLIMATICHE

1.1 BANDO DI CONCORSO

La nostra attenzione si è rivolta alla progettazione del Centro Civico all'interno del nuovo Parco pubblico "La Biblioteca degli Alberi" in corso di realizzazione tra Via De Castillia, Largo De Benedetti, Via Sassetti e Viale Melchiorre Gioia, oggetto di un bando conclusosi a settembre 2014. L'ambito di intervento è situato nella zona di decentramento 9 del comune di Milano ed è parte integrante del piano di riqualificazione previsto dal Programma Integrato di Intervento Garibaldi Repubblica.

Le indicazioni progettuali previste nel bando sono nate da un approccio partecipato alla progettazione che ha coinvolto Amministrazione, Consiglio di Zona e cittadini: obiettivo del progetto era l'integrazione dei desideri della comunità con le risorse dell'Amministrazione.

Si è partiti dalla convinzione che agire sul territorio concretamente significa creare occasioni di incontro, scambio, conoscenza, condivisione e dialogo, in grado di coinvolgere la realtà del territorio con proposte che sappiano porre le condizioni per la costruzione di relazioni positive; significa assumere una valenza innovativa, concentrando l'attenzione sulla ricerca di un benessere comune per realizzare attrezzature capaci di fornire servizi proponendo esperienze partecipative.

È stata fissata una superficie massima lorda di 900 mq ed è stata esclusa la possibilità di creare piani interrati. Le scelte architettoniche da prediligere sono quelle che consentano forme di organizzazione indipendenti dalle diverse funzioni. Gli spazi devono essere caratterizzati da flessibilità, integrabilità e facilità di modifiche per adattarsi alla trasformazione degli usi temporali nel tempo, anche nell'ambito della giornata stessa.

Nel bando sono inoltre definite le attività e gli spazi necessari: ambienti flessibili all'interno dei quali prevedere spazi dove svolgere attività quali ludi-

co-ricreativo; sale prove e ascolto musica, riproduzione video; spazi specifici dedicati ad associazioni di quartiere; sale per piccoli concerti o proiezioni film; centro per anziani ed adolescenti; sala per la libera lettura, consultazione telematica e multimediale; sala per conferenze che potrà essere usata per spettacoli, concerti, eventi; spazi per servizi specifici al cittadino; punto ristoro; uffici per la gestione e relativi spazi di servizi.

Un punto importante riguarda l'eco-sostenibilità basata sull'uso di tecnologie a basso consumo energetico e a minor impatto ambientale e l'elaborazione di scelte tipologiche e formali in grado di aumentare il comfort ambientale interno degli spazi per le attività (orientamento, ombreggiamento, aperture, ...), e il raggiungimento di benefici ambientali e di benefici in termini di bilancio energetico attraverso il ridotto utilizzo delle risorse energetiche tradizionali e dal conseguente minore inquinamento.

1.1.2 ANALISI CRITICA

Da una prima analisi del bando si evince subito come il numero e la diversità delle varie funzioni richieste siano elevati rispetto quella che è la metratura massima fissata. Ogni funzione necessita di spazi minimi e di spazi adeguati. Si pensi ad esempio ad uno spazio in cui organizzare un corso. Affinchè quest'ultimo possa "nascere" è necessario un numero minimo di iscritti a cui garantire un minimo spazio.

Le differenti funzioni devono essere inoltre indipendenti le une dalle altre. Da qui la necessità di dividere in compartimenti in cui raggruppare gli spazi in base alla tipologia di funzioni e di utenza.

Il bando nasce da un processo di progettazione di tipo partecipato. Quello che va evitato però è di inserire spazi e funzioni già presenti nell'immediato intorno. Bisogna quindi cercare di creare un'integrazione e un parallelismo

tra il centro civico e le strutture già esistenti. Importante sarebbe anche dare una caratterizzazione alla nuova struttura grazie ad una funzione più emergente rispetto le altre.

Essendo necessario maggiore spazio è interessante la possibilità di espandersi al lotto vicino creando un edificio passante su uno degli assi principali di accesso al parco “La Biblioteca Degli Alberi” da Via De Castilla. L'edificio deve creare un punto focale all'interno del parco, con un piano terra quanto più possibile aperto e pubblico.

Un problema nella progettazione di un centro civico in Italia è la mancanza di esempi progettuali rilevanti. A livello europeo il Civic Centre ha un ruolo importante all'interno della comunità e per la sua realizzazione sono dedicati spazi e fondi rilevanti. Inoltre al loro interno è sempre ospitata la biblioteca pubblica. Nel nostro caso ques'ultima funzione è di difficile inserimento in quanto includerebbe di presupporre l'inserimento di un contributo comunale, oltre al fatto di non essere una delle necessità emerse durante il processo di progettazione.

ATTIVITÀ E SPAZI DEL CENTRO CIVICO



Sale prove e ascolto musica



Sale di riproduzione video



Spazi per associazioni di quartiere



Sale per piccoli concerti, riproduzione video e conferenze



Sale lettura, consultazione telematica e multimediale



Punto ristoro



Uffici per la gestione e spazi di servizio

1.2 INQUADRAMENTO STORICO MILANO ISOLA

Milano Porta Nuova si forma e acquista visibilità con l'avvento della rete ferroviaria. La nascente industrializzazione del territorio lombardo, verso la prima metà dell'Ottocento, accelera il processo di inurbamento del territorio, fenomeno correlato alla forte crescita della popolazione che avviene in questi anni. Milano, che nella prima metà dell'Ottocento conta circa 150.000 persone, nel 1861 assiste ad un aumento del 60% passando a 243.000 abitanti e, a distanza di soli 20 anni, nel 1881, conta circa 350.000 abitanti. Lo sviluppo urbano, come nuovo approccio economico capitalistico della fine dell'Ottocento, si struttura su un'idea di città fondata sulla produzione, con relazioni a grande scala che cambiano i tempi della città. Milano, fino alla prima metà dell'Ottocento, vede il suo sviluppo solo all'interno della città spagnola; le uniche eccezioni di sviluppo esterno erano localizzate lungo le direttrici storiche con presenza di un tessuto urbano consolidato, mentre la restante parte del territorio fuori dalle mura era totalmente agricola. Con l'inurbamento massiccio del territorio Lombardo si innesca un processo sempre più frenetico di espansione e di nuove necessità alla quale la città non è preparata.

La storia e la costruzione dell'area Garibaldi-Repubblica si inserisce proprio all'interno di questo quadro. La conformazione urbana di questa parte della città di Milano si genera intorno alla costruzione delle infrastrutture ferroviarie. E' verso la metà dell'Ottocento che questa porzione di territorio vive la sua prima urbanizzazione. Nel 1838 inizia la realizzazione del progetto della linea Milano-Venezia, contemporaneo al progetto della Milano-Como, e nel 1840 viene inaugurata la linea ferroviaria Milano-Monza con la prima



1884: Piano Beruto

stazione di testa situata fuori Porta Nuova, ancora oggi visibile all'inizio di via Melchiorre Gioia. Nel 1857, in corrispondenza dell'attuale piazza della Repubblica, si dà avvio alla grande costruzione della nuova stazione centrale passante di Milano, infrastruttura funzionale a raccogliere le linee di diversa provenienza. Questo, oltre a determinare una sorta di "chiusura" della città, causa di uno sviluppo poco organico, provoca continue frammentazioni urbane e interrompe il reticolo di strade storiche che costituivano l'ossatura di questa parte di territorio.

Il primo tentativo di regolarizzare ed indirizzare il disegno di questa parte di città avviene con la stesura del Piano Regolatore di Milano di Cesare Beruto del 1889. Il disegno Berutiano tenta di organizzare, attraverso grandi isolati urbani, compresi tra la città dei bastioni e il limite più esterno, immaginato da Beruto in un grande asse stradale (attuale circonvallazione esterna), il disegno della nascente città, che, così immaginato, si sovrappone e insiste su un sistema di infrastrutture che ne recide la continuità degli ideali assi stradali. Il disegno stesso della connessione della linea ferroviaria di Monza con le linee ferroviarie afferenti alla nuova stazione centrale in Piazza della Repubblica, definisce inequivocabilmente la contraddizione dei due disegni: la città costruita e la città immaginata. La formazione delle due lunette (raccordo ferroviario delle linee provenienti da Venezia con quelle in direzione Monza-Como e il secondo raccordo proveniente dalle linee direzione Torino sempre con quelle in direzione Monza-Como) così costruite determineranno, in modo inconfondibile, il disegno futuro.

Nel 1906 e il 1908 il movimento migratorio verso la città di Milano tocca le sue punte più alte. La superficie fabbricata in attuazione del piano Beruto era di 6,6 milioni di metri quadrati, che raggiungono i 9,7 nel 1901 e i 14 nel 1911. Questo fa sì che l'inizio del Novecento sia caratterizzato dall'insorgenza di nuove esigenze sociali.

Sono questi gli anni in cui si ha la fondazione dell'Istituto Case Popolari



1894-1902: Nuovo Catasto Terreni

del 1908. In questo quadro di forte sviluppo edilizio pubblico e privato si colloca il nuovo piano regolatore Pavia Masera (1911). Oltre a rispondere ad una domanda sempre crescente di nuove abitazioni, il piano si caratterizza come il piano di riassetto delle infrastrutture di trasporto, definito da molti studiosi come "la carta infrastrutturale della città", dove sono presenti l'arretramento della stazione centrale, l'introduzione del nuovo scalo ferroviario Farini, l'eliminazione dello scalo del Sempione e altri interventi che contraddistinguono definitivamente il sistema del nodo ferroviario di Milano. Con il Piano Regolatore di Angelo Pavia e Giovanni Masera si attiva il processo di ridisegno complessivo delle infrastrutture in ambito cittadino, ma è solo con l'arretramento della stazione centrale da piazza della Repubblica all'attuale sede in piazzale Duca d'Aosta che si darà inizio ad un processo di rivisitazione urbanistica di questa parte di città.

In questi anni si ha lo sfacelo del Lazzaretto, diviso prima dalla ferrovia e poi distrutto totalmente con la costruzione degli edifici residenziali ancora oggi presenti. L'errore di via Vittor Pisani e della giacitura della nuova stazione centrale fuori asse rispetto al viale, descritto in maniera inequivocabile dal de Finetti in "Milano, costruzione di una città", ci dà il senso del procedere senza una attenzione al disegno della città. I risultati evidenziano come l'elaborazione del piano urbano avvenne sistematicamente per frammenti.

Il piano Pavia Masera conclude il dibattito sul futuro sviluppo urbano di Milano, definendo nelle sue linee programmatiche lo sviluppo in continuità con il disegno Berutiano e definendo l'assetto della rete infrastrutturale come risposta alla città monocentrica, in controtendenza rispetto a quella che era e resta la specificità policentrica di una regione. Tale discordanza si ritroverà qualche anno più tardi, nel 1927, con il nuovo concorso per il Piano Regolatore di Milano. Nel progetto vincitore, firmato dall'arch. Piero Portaluppi e dall'ing. Marco Semenza, si evince la tesi della costruzione di una rete infrastrutturale regionale atta a soddisfare l'esigenza di una forte città poli-

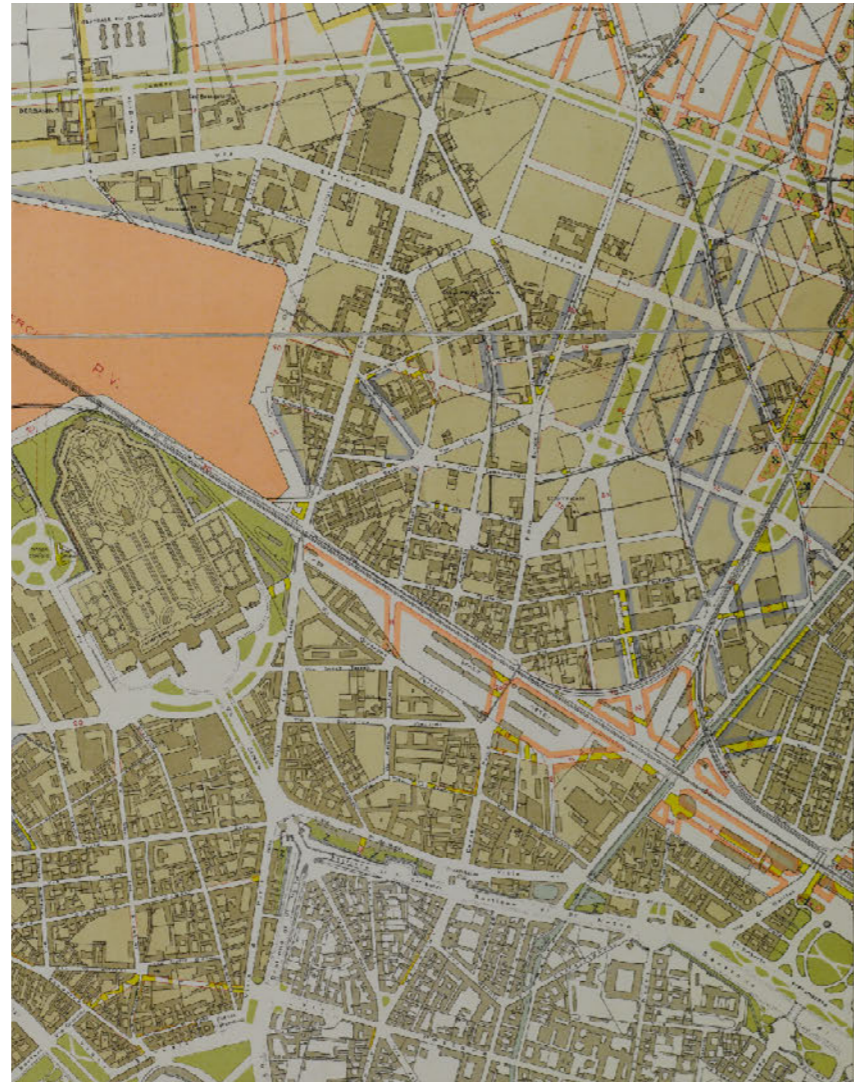


1896: MILANO Presente e Avvenire

centrica, insieme ad una rete di metropolitane urbane sull'esempio di altre realtà urbane europee

La crisi del 1929 porterà, però, in tutt'altra direzione, anche se poi, qualche anno più tardi, tutte le previsioni quantitative previste da Portaluppi e Semenza si concretizzeranno. Le aree tra la stazione di Garibaldi e piazza della Repubblica resteranno per decenni prive di un concreto disegno urbano. La soluzione della stazione di testa innesca un insieme di interventi e ipotesi progettuali sull'area che la caratterizzerà e porterà alla definizione dell'attuale disegno: la formazione della via Vittor Pisani; la formazione di piazza della Repubblica; il viale Fulvio Testi che passa per la via Volturno e si attesta sui Bastioni; la proposta di allargamento di Melchiorre Gioia, con la copertura del naviglio della Martesana; il mantenimento delle due lunette simmetriche. Se da un lato si dà un concreto disegno urbano e una diffusa monumentalità alla parte più in diretta connessione con la nuova stazione ferroviaria, la restante parte dell'area evidenzia un insieme di elementi disarmonici, frutto ancora della sovrapposizione del disegno Berutiano al sistema delle infrastrutture presenti nell'Ottocento e di nuova formazione all'inizio del secolo. Tale contraddizione e frammentazione urbana viene rivisitata nel nuovo Piano Regolatore Albertini del 1934. Il Piano Albertini è la risposta in negativo al piano Portaluppi Semenza. La città è vista come una "grande metropoli", la previsione della città di 2 milioni di abitanti si sviluppa fino al suo confine amministrativo senza interruzione alcuna.

Il Piano, specificamente sulle aree Garibaldi-Repubblica, conferma l'arretramento delle ferrovie in Carlo Farini; il disegno complessivo dell'area si struttura sul nuovo disegno stradale che comporta il prolungamento del viale Tunisia sino alla connessione con la via Carlo Farini mentre il viale Fulvio Testi, attraverso la via Volturno, si attesta sul prolungamento della via Palmarena attraverso la via Andrea Doria. L'attenzione che esso pone sull'arretramento del sistema ferroviario in corrispondenza dell'attuale stazione di Porta



1910: Piano Pavia-Masera

Garibaldi, diventerà la questione principale che alimenterà il dibattito, su cui poi si incentrerà tutta la politica urbanistica nel dopoguerra, specificamente per questa parte di Milano, e porterà alla redazione del Piano del '53, dove saranno poste le basi per la costruzione del nuovo centro direzionale.

E' solo dopo la guerra che, per la prima volta, con la definizione del Piano del 1953, cambia il rapporto storico tra rete infrastrutturale e sistema produttivo, per passare ad un rapporto strategico tra accessibilità e localizzazione dei nuovi servizi informazionali, direzionali e funzionali alla crescente domanda della città. Per la prima volta si definisce e si concretizza, la vera specificità dell'area in chiave regionale, delle accessibilità intese come possibile scambio di servizi e informazioni tra la città di Milano e il resto della Lombardia. Si rompe quindi definitivamente la concezione delle reti di trasporto legate alla produzione.

Agli inizi degli anni '50 nasce una nuova visione dello spazio urbano da quella che poi diventerà la vera rivoluzione in termini di trasporto: l'automobile è il mezzo della libertà di movimento per eccellenza e tutto si struttura e si definisce solo in funzione del mezzo privato. Il Piano del 1953 nasce sulla spinta innovativa di una visione di crescita economica e urbana esponenziale, dettata dalla voglia di ricostruzione. Per la prima volta un piano viene redatto sulla scorta di una legge urbanistica nazionale, la n° 1150 approvata nel 1942, la quale definisce norme e disciplina funzionalmente, con il concetto di zonizzazione, l'intero territorio comunale.

I criteri fondamentali del nuovo Piano regolatore di Milano e ne determinano le caratteristiche più salienti vanno ricercati nell'inserimento del piano urbano in uno schema di Piano Regionale, nel decentramento industriale, nella creazione di un centro direzionale regionale, nella zonizzazione dell'intero territorio comunale, nella costruzione di grandi assi attrezzati di penetrazione della città. Il Centro in cui dovranno essere ubicate le sedi di quasi tutte le industrie e attività regionali, si trova all'incrocio degli assi attrezzati,



1937: Istituto Geografico Militare

funzionanti da collettori di tutte le arterie di penetrazione provenienti dalla Lombardia oltre che dal traffico cittadino, in modo da rompere il tradizionale sistema circolatorio, conservato da tutti i piani precedenti.

Risolta la questione dell'arretramento delle ferrovie Varesine e sulla base dei principi espressi dal piano del 1953, viene redatto dagli uffici comunali il primo piano particolareggiato del nuovo centro direzionale.

L'impostazione del disegno nasce e si struttura sulla costruzione dell'asse attrezzato che partendo da piazzale Lagosta, terminale dell'asse stradale di Fulvio Testi, ridisegna il quartiere Isola, scavalca il nuovo fascio di binari con l'ipotizzata nuova stazione di Garibaldi, per poi proseguire, ridisegnando tutta la parte urbana attraversata, verso i Bastioni di Porta Volta e connettersi al proseguimento del previsto asse stradale a sud-ovest verso Genova. Il piano Particolareggiato verrà più volte cambiato nel corso degli anni, proprio a sottolineare la forte impossibilità tecnica-amministrativa di dare un assetto definitivo a questa parte di città.

Gli ambiti urbani prossimi all'area Garibaldi-Repubblica hanno visto dalla seconda metà degli anni '50 fino agli inizi degli anni '70, un forte sviluppo. Viene definito l'assetto del sistema di piazza della Repubblica-via Vittor Pisani, dove si insediano i primi grattacieli rappresentanza delle grandi industrie lombarde ad esprimere la nuova immagine del capitalismo Lombardo. Milano e la sua area metropolitana vivono il maggiore incremento di popolazione. La popolazione dell'area metropolitana Milanese che aveva 1.860.000 abitanti nel 1951 sale a 2.460.000 nel 1961 e a 3.120.000 nel 1971. Lo sviluppo edilizio residenziale, produttivo e terziario si estende sempre più su tutto il territorio.

L'area che, nelle intenzioni degli estensori prima del PRG e poi del Piano Particolareggiato, doveva diventare il motore informazionale e di servizio della città e della Regione non riesce ad avere un disegno compiuto. Tale inerzia nel definire l'assetto urbano di questa parte di città va ricercata in parte nella



1953: Piano Regolatore Generale

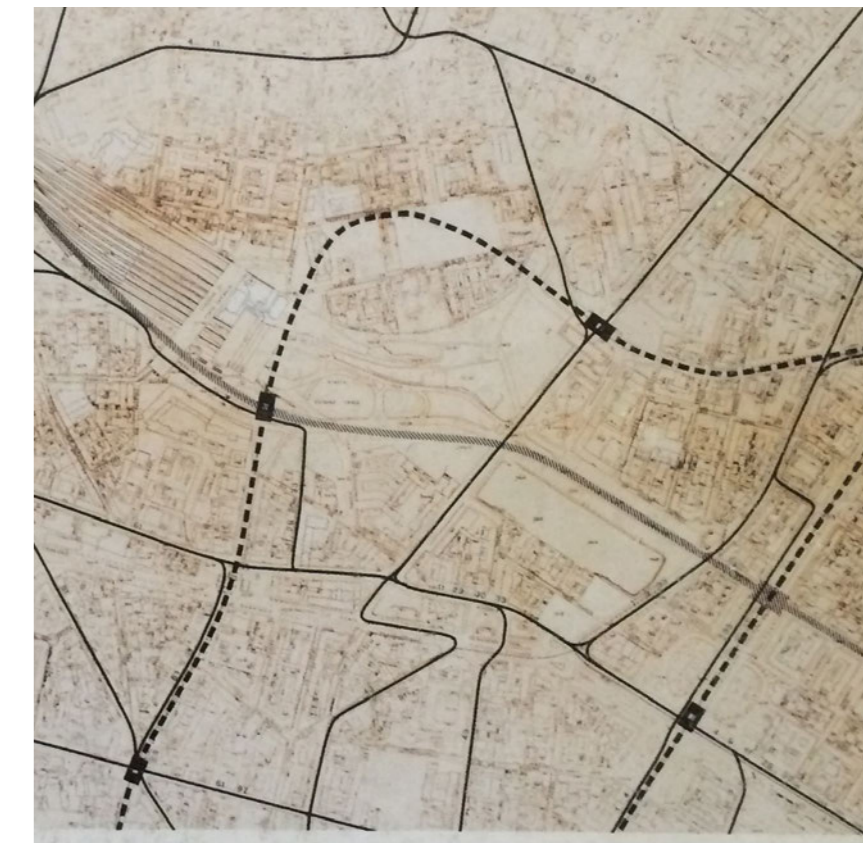
rigidità del modello imposto di centro direzionale e nella contraddizione che si protrae dall'origine della storia di questo luogo, ovvero la sovrapposizione di un'idea di città alla città costruita, che non ha permesso di cogliere e interpretare la vera essenza della struttura urbana presente. Ad eccezione di alcuni interventi sporadici come i nuovi grattacieli delle ferrovie, che meriterebbero una storia a parte, e poche meritevoli iniziative a livello accademico e culturale, che si preoccupano di proporre un nuovo approccio alla definizione urbana di queste aree riviste in una logica di riproposizione dello spazio pubblico, per riattualizzare il dibattito sul destino urbanistico di questa parte di città bisogna attendere i primi anni '90, con il concorso di Garibaldi- Repubblica e, poco prima, con la predisposizione del Documento Direttore del Passante Ferroviario 1983 e con i relativi progetti d'area.

Nel 1980 viene definitivamente approvato il Piano Regolatore di Milano, dopo decenni di attesa. L'innovazione introdotta dalle linee di indirizzo del piano è il demandare ad una fase più attuativa e di programmazione (Piani Complessi) la risoluzione di problematiche urbane e di partecipazione. Collegato al PRG, un altro strumento di pianificazione, il Piano Comunale dei Trasporti, crea una forte integrazione tra tendenza insediativa e previsioni infrastrutturali. All'interno del Piano Comunale dei Trasporti viene inserito il Passante ferroviario, infrastruttura nodale per tutto il sistema ferroviario Lombardo: una struttura passante che mette in connessione il sistema di Bovisio e Porta Vittoria. Tale integrazione, connettendo le linee ferroviarie FS e Ferrovie Nord, detta le basi per la costruzione dell'attuale servizio ferroviario regionale, che in Milano vede il suo polo passante.

Si arriva finalmente ad una nuova gestione del territorio: si pensa di governare la complessità non attraverso semplici previsioni di piano, ma con strumenti capaci di programmare le diverse problematiche urbanistiche anche con il concorso dei privati. L'infrastruttura del passante ferroviario, come si ricordava prima, detta l'avvio dello studio dei grandi progetti d'area, pro-








muovendo anche un processo di dismissione funzionale e rivisitazione di parti di città.

Tratto dal saggio "Dall'idea di città alla città costruita: l'area di Garibaldi Repubblica" di P.A. Cimino.



1991: Concorso Internazionale



-  1884_Piano Beruto
-  1896
-  1910_Piano Pavia Masera
-  1937_IGM
-  1953_PRG
-  1991_Concorso Internazionale
Tavole di Pierluigi Nicolini
-  2015_Stato di fatto

1.3 ISOLA OGGI

Le aree di Garibaldi-Repubblica, con l'introduzione della nuova infrastruttura del passante ferroviario, divengono un luogo di massima accessibilità, sia a livello regionale sia a livello nazionale. La connessione del sistema passante con tutto il sistema aeroportuale e il sistema ormai strutturato delle metropolitane urbane lo candidano a luogo di eccellenza per le relazioni territoriali regionali e oltre.

Rimane in essere, anche alla luce delle nuove infrastrutture, l'idea riattualizzata del centro direzionale. Si prevede la possibilità di insediare funzioni legate al mondo delle assicurazioni, al mondo della finanza e al sistema informazionale regionale con l'insediamento di grandi strutture commerciali e poli culturali. Questo mix funzionale costituirà la base del nuovo concorso degli anni Novanta.

È con il concorso internazionale del 1991-1992, promosso da AIM (Associazione Interessi Metropolitani) e dall'Amministrazione Comunale, vinto da Pierluigi Nicolin, che ha avvio il processo di trasformazione, sviluppato per tappe intermedie, che ha portato a realizzare quanto è possibile vedere oggi nell'area.

Attraverso le proposte presentate si evince una forte internazionalizzazione dell'architettura, un momento di rottura con tutta una tradizione architettonica che si era omologata e perpetuata fino agli anni Ottanta. Il progetto vincitore dell'architetto Pierluigi Nicolin è strutturato su una accurata lettura delle infrastrutturazioni stradali, reinterpretando attentamente le diverse esigenze pubbliche e private, anticipando in maniera inequivocabile il futuro della città, ponendo le basi sia urbanistiche sia architettoniche al disegno definitivo. Il progetto cerca di interagire con i diversi "livelli di realtà" ormai rinvenibili in loco storici, infrastrutturali, sociali, territoriali e urbani, cercan-

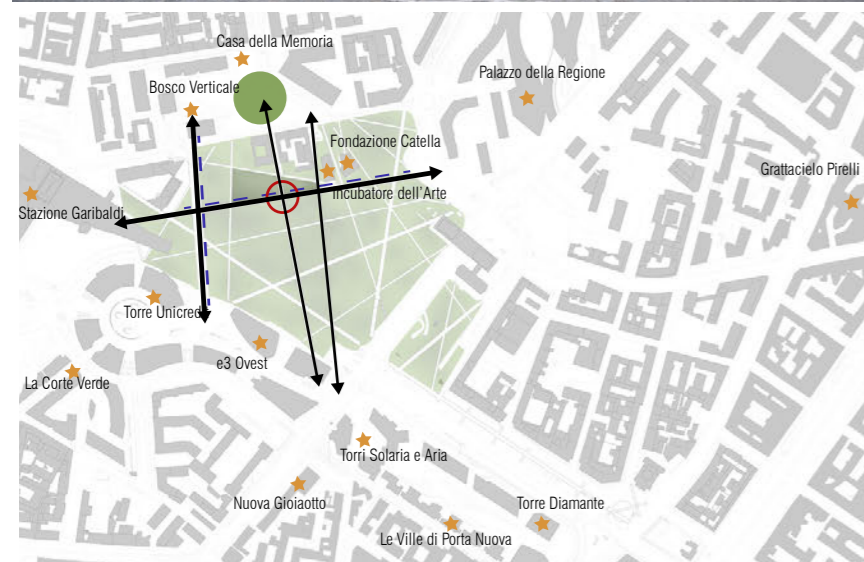
do non soltanto di imporre una nuova forma al sito quanto anche derivarla dalla situazione.

L'attenzione che il vincitore del concorso pone nel disegno e nei segni della città, la si può ritrovare, seppure con le dovute differenze stilistiche maturate in seguito all'attualizzazione delle diverse esigenze pubbliche e private sorte nel tempo, negli interventi che oggi si mostrano nella loro interezza. L'idea di città di Nicolin, che anticipa quello che poi avverrà, è già tutta scritta e disegnata, attuabile per parti e in un tempo diverso, ma sempre all'interno di un disegno stratificato nella città.

La complessità dell'intervento avrà poi una travagliata storia amministrativa, tra cui una sentenza di annullamento su ricorso di alcuni residenti. Le funzioni previste dal documento direttore del passante, fatte proprie dal bando di concorso, saranno oggetto di complesse trattative, che trasformeranno quel luogo da città informazionale a città del consumo. In seguito al concorso del '91, il Comune di Milano ha avviato uno studio urbanistico dell'area che ha portato alla definizione di un PII elaborato con la consulenza dello stesso Nicolin e basato su una disposizione attorno ad un parco centrale.

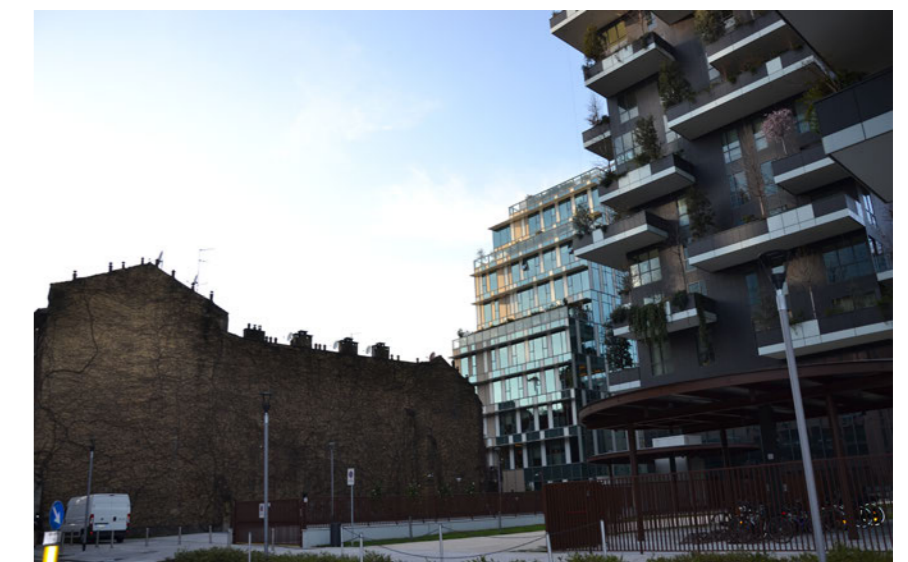
Solo nel 1999, su iniziativa di privati, insieme al Comune di Milano e alla Regione Lombardia, si è avviato concretamente il processo di trasformazione che ha portato, nel 2003, al bando di concorso per la sede della Regione Lombardia vinto da Pei Cobb Freed Partners, Caputo Partnership e Sistema Duemila e, nel 2004, a quello per il parco centrale, i giardini di Porta Nuova, vinto da Petra Balisse dello studio Inside/Outside, con il progetto "Biblioteca degli alberi". Nello stesso anno viene effettuato lo studio di fattibilità per la progettazione della torre per gli uffici comunali su via Melchiorre Gioia, affidato a Raffaello Cecchi e Vincenza Lima, il cui progetto però al momento è sospeso. Nel 2005 Nicolin vince il concorso per la progettazione del MODAM, laboratorio multidisciplinare della moda, dell'arte, della comunicazione, posto a sud dei giardini di Porta Nuova, altro progetto attualmente so-

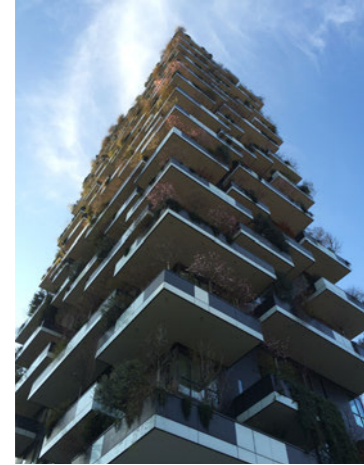




speso in seguito alla valutazione delle nuove esigenze per l'area. Sempre nel 2005 il Comune di Milano e Hines, il principale soggetto privato promotore dell'intervento insieme al Comune, stipulano la convenzione attuativa del PII Garibaldi- Repubblica; l'anno successivo Hines acquisisce Le Varesine srl e rileva le aree del PII Isola Lunetta, affidando il progetto del planivolumetrico di Città della Moda a Cesar Pelli, il progetto di massima delle ex Varesine a Lee Polissano dello studio Kohn Pedersen Fox e il nuovo studio planivolumetrico Isola-Lunetta a Studio Boeri. Nel 2007 l'attuatore del PII presenta istanza di variante a seguito della realizzazione della nuova fiera di Rho-Pero, che ridimensiona la necessità di nuovi spazi espositivi e fa sì che venga meno l'idea di creare un nuovo comparto dedicato esclusivamente alla moda. Con i suoi 350.000 mq di edificazione e 160.000 mq di aree verdi e pedonali, l'intervento PII Porta Nuova rappresenta la più grande operazione di riqualificazione urbana in corso. In particolare gli interventi che fanno parte del progetto Porta Nuova possono essere suddivisi nelle aree: Porta Nuova Garibaldi-Repubblica, caratterizzato dal masterplan redatto da Cesar Pelli e basato sulla realizzazione di un podio centrale che si pone come nuova piazza urbana, che persegue i criteri di connessione, pedonalità, l'accessibilità e l'idea di centralità dell'area come nuovo centro direzionale; aree porta Nuova Varesine, con il rappresentativo edificio per uffici in acciaio e vetro, la Torre Varesina B, ovvero il Diamantone; aree Porta Nuova Isola, il cui masterplan è stato redatto dallo Studio Boeri, che ha progettato anche le due torri residenziali denominate Bosco Verticale.

Tratto dal saggio "Dall'idea di città alla città costruita: l'area di Garibaldi Repubblica" di P.A. Cimino.





*Bosco Verticale, Boeri Studio
2009-2014*



*Casa della Memoria, Studio Associato Baukuh
2013-2015*



*Torre Diamante, Kohn Pederson Fox
2010-2012*



*Nuova Gioiaotto, Park Associati
2014*



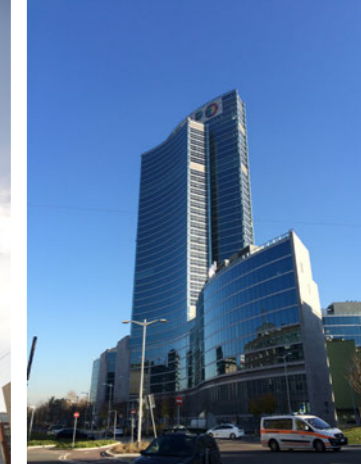
*Torri Solaria e Aria, Studio Arquitectonica
2010-2013*



*Torre Unicredit, Cèsar Pelli
2009-2012*



*Grattaciolo Pirelli, Gio Ponti
1952-1961*



*Palazzo Lombardia, Caputo Partnership, Pei Cobb Freed & Partners, Sistema Duemila
2007-2010*



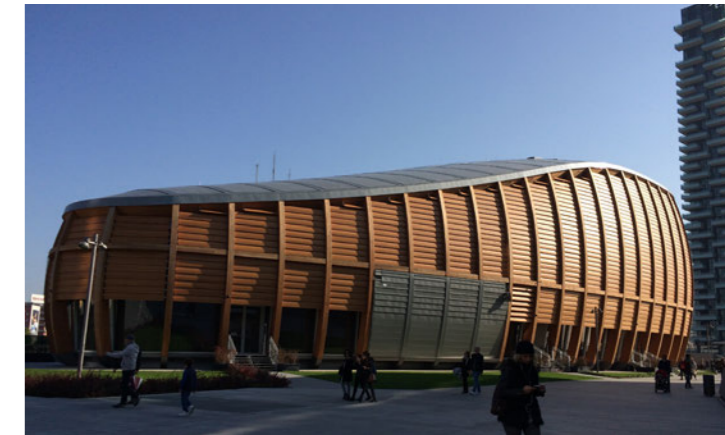
*La Corte Verde, Cino Zucchi
2006-2013*



*Le Ville di Porta Nuova, Studio M2P Associati
2013*



*Incubatore dell'Arte, Boeri Studio
2010-2011*



*e3 Ovest, Michele De Lucchi
2014-2015*

1.3.1 EDIFICI DI INTERESSE AREA ISOLA

TORRE UNICREDIT

Il complesso è opera dall'architetto César Pelli, ed è caratterizzato da tre edifici alti in acciaio e vetro riflettente che racchiudono la piazza. Torre Unicredit, il grattacielo più alto dell'intero progetto Porta Nuova, ricoperto per tutta la sua superficie da una membrana vetrata "a vela", con i suoi 31 piani per 231 metri di altezza, di cui 85 metri della scultorea guglia (lo "Spire") in acciaio e vetro elicoidale e rastremata, rappresenta il più alto edificio non solo di Milano, ma d'Italia. L'intento appare quindi quello di contribuire, insieme agli altri progetti, a disegnare la nuova immagine della città.

Accanto alla prima torre più alta, disposte circolarmente, vi sono la Torre B, 22 piani e circa 100 metri di altezza, e la Torre C, 11 piani per circa 50 metri. Le loro forme curve racchiudono una piazza circolare di 2.300 metri quadrati detta Podio. La piazza, intitolata all'architetto e designer italiana Gae Aulenti, è rialzata di 6 metri rispetto al piano stradale per convogliare le auto verso un passaggio sotterraneo e realizzare così un collegamento interamente pedonale che conetterà la stazione al parco, a corso Como e, verso est, alle Varesine.

BOSCO VERTICALE

Si tratta di due torri progettate da Boeri Studio alte rispettivamente 110 e 76 metri (23 e 16 piani), con 17.960 mq di superficie residenziale e 205 mq di superficie commerciale, caratterizzate da terrazze su cui sono collocati circa 900 alberi alti fino a 9 metri, arbusti e altre specie vegetali, per un equivalente di quasi 10.000 mq di superficie boschiva.

Lo scopo è quello di rigenerare l'ambiente e la biodiversità urbana senza

implicare un'espansione della città nel territorio.

L'utilizzo della vegetazione, oltre a creare un effetto estetico sulle facciate dato dalle modifiche cromatiche dovute ai cambiamenti stagionali, avrà il compito di migliorare il confort e il microclima, assorbire CO₂ e polveri sottili, mitigare l'inquinamento acustico e proteggere dall'irraggiamento e dal vento.

PALAZZO LOMBARDIA

Nel 2003 è promosso dalla Regione Lombardia un bando di concorso internazionale per la Nuova Sede il cui vincitore è il raggruppamento composto da "Pei Cobb Freed & Partners Architects LLP", "Caputo Partnership S.r.l." e "Sistema Duemila S.r.l."

L'intervento, che rappresenta il primo dei nuovi progetti di rilancio del "costruire alto" a Milano è posto su un'area di 33.700 mq ed è caratterizzato da un impianto formato da una torre e da corpi più bassi in cemento armato e vetro ad andamento sinusoidale, che si uniscono sulle tangenti. Da questa disposizione scaturiscono cortili destinati ad uso pubblico, il più grande dei quali è coperto da una superficie vetrata arcuata. La trama di questo intreccio si apre verso le vie laterali, mentre la torre di 39 piani e 161 metri di altezza costituisce il fulcro del progetto.

Il nuovo grattacielo della Regione, con la sua forma aperta e concava, si pone in antitesi con la forma chiusa del Pirellone, ma, come in quest'ultimo, l'obiettivo è ottenere una visione mutevole in base ai diversi punti di vista. Internamente nei corpi bassi si collocano al piano terra le funzioni pubbliche, piazze, spazi commerciali e servizi; al primo piano funzioni miste pubblico-privato, sale riunioni e convegni, archivi e biblioteche; ai piani superiori gli uffici politico-amministrativi del protocollo regionale.

Nella torre sono posti la sala della giunta, la sala stampa e la Presidenza. Gli

ultimi piani con terrazzo e belvedere sono invece aperti al pubblico.

L'8 Maggio 2009 la torre di Palazzo Lombardia ha superato l'altezza del Palazzo Pirelli, che dal 1960 per 50 anni aveva mantenuto il primato di edificio più alto di Milano.

LA CORTE VERDE

Il progetto chiamato Corte Verde ideato dall'architetto Cino Zucchi di corso Como si colloca al margine sud dell'intervento PII Garibaldi-Repubblica, tra via Viganò e via Rosales, lungo l'asse est-ovest, a ridosso del tessuto urbano esistente. La sfida è stata innanzitutto quella di creare una connessione fra la nuova "città che sale" e gli edifici esistenti di fine Ottocento. Tale collegamento viene cercato attraverso il riferimento al tema della corte, tipologia tipicamente milanese, migliorandone la vivibilità tramite l'uso di tecnologie per il risparmio energetico all'avanguardia.

La matrice dell'isolato storico definisce la conformazione del basamento verde sul quale due corpi edilizi di altezze diverse si elevano a formare una corte longitudinale, che costituisce da un lato l'elemento di connessione dell'edificio al contesto della città e dall'altro l'espedito per ricreare un ambiente più intimo e confortevole verso l'interno, in particolare tramite lo sviluppo di ampi terrazzi e la realizzazione di un giardino interno privato. Il corpo lineare con struttura in calcestruzzo e caratterizzato da grandi terrazze, è rivestito di pietre sabbiate o levigate ed elementi in rame. La partitura del telaio a vista viene deformata per seguire e assecondare i percorsi tra corso Como e la nuova piazza circolare del podio. Gli edifici a gradoni, le ampie terrazze interne, i volumi "sezionati" sottolineano il passaggio tra la dimensione prettamente locale e quella metropolitana.

La tradizione storica delle corti e delle terrazze verdi che caratterizzano le residenze milanesi è stata rivisitata attraverso lo studio del percorso del sole

e dell'umidità relativa nelle varie stagioni, tramite i quali è stato possibile generare spazi di transizione tra ambienti interni ed esterni. Le scansioni architettoniche dei prospetti così definiti, le terrazze e l'uso dei materiali per il rivestimento (cotto decolorato, pietra chiara, pannelli scorrevoli in alluminio colorati) sono la dimostrazione della ricerca di quel "lessico urbano" contemporaneo capace di rapportarsi e dialogare con la città esistente.

CASA DELLA MEMORIA

Progettata dallo studio associato Baukuh, vincitore del concorso tenutosi, è da vedersi come archivio della memoria individuale e collettiva milanese dell'ultimo secolo, omaggio alle vittime del terrorismo, ai deportati, ai partigiani italiani. Un edificio concepito per essere un luogo non solo commemorativo, ma anche di scambio e di vivace dibattito, aperto alla cittadinanza. Impresse sull'involucro ci sono immagini della deportazione nei campi di concentramento, della Liberazione, dell'attentato di piazza Fontana e 19 ritratti per ricordare la moltitudine di persone che ha animato la città nel dopoguerra.

LE VILLE DI PORTA NUOVA

Le Ville Urbane, disegnate da M2P Associati, sono sei ville indipendenti situate nella zona Porta Nuova Varesine – tra piazza della Repubblica e corso Como – ognuna delle quali ha una superficie di 1.500 metri quadrati. Ogni villa può essere un'unica struttura oppure essere suddivisa in più appartamenti, a seconda di quelle che saranno le richieste dei potenziali acquirenti, inoltre possono essere utilizzate come strutture solo residenziali (con appartamenti che vanno da uno a un massimo di sette), ma sono concepite anche per essere unicamente spazi di lavoro, uffici o showroom. A completare il progetto sono 4 mila metri quadrati di giardini. Le ville sono rivestite di

grandi lastre di pietra artificiale, molto materica, e immense vetrate verso i giardini.

E3 WEST

Il nuovo edificio E3 West, progettato dall'Arch. Michele De Lucchi, costituisce il completamento della piazza Gae Aulenti in Milano e sarà un luogo di incontro ed espositivo nel cuore della nuova "district area" del capoluogo meneghino.

La struttura portante dell'involucro è composta da centine in legno lamellare curvato. L'involucro è costituito da vetro nella parte bassa per mantenere una relazione visiva con il podio e con il parco. La scelta di un involucro vetrato a tutta altezza nella parte bassa permette un'illuminazione adatta ad uno spazio destinato ad attività collettive. La parte alta dell'involucro è composta da un moderno rivestimento metallico che ne riflette il parco e l'intorno.

TORRE DIAMANTE

Nuovo fulcro della prospettiva da viale Tunisia e Porta Venezia, la Torre Diamante rappresenta la più alta costruzione con struttura portante metallica in Italia; ospita uffici e attività commerciali. Il progetto architettonico è dello studio Kohn Pederson Fox Associates (KPF), mentre ARUP ha sviluppato il progetto strutturale. Peculiarità dell'edificio, realizzato su una base di 30 x 50 m, è la sua geometria irregolare. Le colonne perimetrali di questa torre sono infatti inclinate rispetto all'asse verticale; gli elementi portanti orizzontali sono realizzati interamente in acciaio mediante travi IPE/HE, come interamente in acciaio sono le colonne. Un sistema reticolare orizzontale riporta al nucleo centrale in cemento armato le forze orizzontali di notevole intensità create dalle colonne inclinate. Il progetto architettonico, tenendo conto della forma stretta e lunga del sito, è orientato verso la verticalità.

L'edificio si sviluppa dunque in altezza ma al contempo è "mosso" dall'inclinazione dei pilastri e da un'articolazione volumetrica e caratterizzata da sbalzi che interrompono la linearità della facciata. Il layout interno è contraddistinto invece da un nucleo centrale attorno al quale si sviluppa lo spazio. Tale soluzione permette di massimizzare l'ingresso della luce naturale e consente la vista sulla città. Nello spazio centrale sono contenuti tutti i servizi. Una pelle di vetro definisce la facciata, concepita come un involucro dalle alte prestazioni isolanti, con infissi a taglio termico e profili in alluminio.

NUOVA GIOIAOTTO

Il Residence Porta Nuova in via Melchiorre Gioia, ultimato nel 1970, è stato realizzato su progetto degli architetti Marco Zanuso e Pietro Crescini. Esso si è sviluppato in un'area di intensa sperimentazione, da anni votata all'idea di sviluppo del nuovo centro direzionale, insieme ad altri significativi interventi edilizi nella zona. L'edificio costituisce pertanto uno dei più significativi esempi dell'attività architettonica a Milano del periodo che va dagli anni della ricostruzione fino agli anni '70, oltre ad essere anche un importante esempio dell'architettura brutalista sviluppatasi negli stessi anni.

La costruzione è caratterizzata dall'utilizzo di elementi prefabbricati e dall'uso del cemento a vista, del vetro, dell'acciaio e del legno. Tali elementi, insieme alla scansione orizzontale dei prospetti, definita dalle fasce orizzontali marcapiano in cemento prefabbricato alternate alle lunghe vetrate continue, rendono "leggero" questo imponente edificio e contribuiscono a definire il rapporto tra l'edificio e la strada, sottolineando la matrice orizzontale della costruzione, oggi ancora più accentuata dalla contrapposizione con la verticalità dei nuovi edifici sorti nella zona.

Il palazzo è stato sottoposto a restauro e adeguamento. Nel Marzo 2012 infatti Hines Italia ha bandito un concorso di progettazione privato a inviti per

la riqualificazione di questo stabile, vinto nel Giugno dello stesso anno dallo studio Park Associati. L'obiettivo principale del progetto di recupero è stato il riuso dell'edificio, attraverso la destinazione di una porzione di esso ad uffici oltre che ad albergo; inoltre è stata effettuata la riqualificazione della facciata attraverso un intervento che ne rispettasse linguaggio e ritmica.

INCUBATORE PER L'ARTE

L'Incubatore per l'Arte nasce per preservare le realtà socio culturali della Stecca degli Artigiani: il progetto di Studio Boeri prevede la realizzazione di spazi dedicati alle attività artigianali e alle attività associative, per un totale di 487 mq. Questo mira a restituire al quartiere nuovi giardini e spazi pubblici, costituendo con il Parco della Biblioteca degli Alberi e la Fondazione Catella un nuovo significativo spazio di socializzazione e incontro.

TORRI SOLARIA E ARIA

La Torre Solaria con i suoi 37 piani e 143 metri di altezza è l'edificio residenziale più alto di Milano e d'Italia; la torre Aria è alta invece 17 piani. La progettazione delle torri è stata sviluppata dallo Studio Arquitectonica di Miami, e lo studio Dolce Vita Homes, insieme ai partner Antonio Citterio, Patricia Viel and Partners e Coima Image, ha curato la realizzazione delle aree comuni e degli interni. Solaria è composto da tre ali ben distinte, ognuna con un'altezza differente, che convergono in un nucleo centrale da dove arriva la luce naturale. La torre ospita oltre 100 appartamenti, anche duplex e triplex. Ogni appartamento è studiato per avere la massima esposizione alla luce naturale e la massima funzionalità. L'edificio è inoltre dotato di spazi multiuso riservati ai residenti e ai loro ospiti.

GRATTACIELO PIRELLI

Il Grattacielo Pirelli con i suoi 127,10 m è stato per 50 anni il più alto edificio della città, fino alla realizzazione del nuovo Palazzo della Regione. Sorge sul terreno della Brusada, area dismessa su cui era collocato uno storico stabilimento industriale della Pirelli distrutto dai bombardamenti aerei del 1943. Nato come prestigiosa sede centrale della stessa azienda da cui prende il nome, è divenuto in quegli anni il simbolo della rinascita della città e il suo maggior rappresentante all'estero. La tipologia a torre è stata deliberatamente scelta perché ritenuta la più adatta a creare un'immagine riconoscibile. Gio Ponti tramite questa opera realizza il suo ideale architettonico della "forma finita", imm modificabile, "pura", attraverso quella ricerca che per Ponti è una "volontà di giungere nelle forme a quella essenzialità, dove nulla è da togliere e nulla da aggiungere". Per la sua costruzione utilizza tecniche e materiali innovativi, frutto del progresso tecnologico, e si avvale di un importante team di collaboratori, tra cui Fornaroli, Rosselli, Valtolina, Dell'Orto, Nervi e Danusso. Il grattacielo si colloca su un basamento che ospita gli spazi di servizio e l'auditorium; verso piazza Duca d'Aosta è posto l'ingresso principale. La forma della torre è molto particolare; si tratta infatti di un esagono "schiacciato", molto allungato e stretto, che origina il tipico profilo a "diamante", lungo più di 70 metri e largo solo 18,50, una vera innovazione rispetto ai classici edifici alti a pianta rettangolare. La facciata tripartita è definita dal posizionamento dei quattro "pilastri-parete", stretti ma profondi 2 metri alla base e rastremati fino a soli 50 cm alla sommità, che risolvono i problemi strutturali dovuti all'altezza di una costruzione così sottile, insieme alle quattro "semipunte triangolari" alle due estremità del grattacielo, rivestite a mosaico ceramico. La sommità dell'edificio è costituita da un coronamento sospeso costituito da un'esile soletta in cemento armato. Nella sua chiarezza e semplicità, con il caratteristico volume imponente e

allo stesso tempo sottile, il grattacielo Pirelli, anche grazie alla sua posizione su un terreno libero, non chiuso ai margini, riesce ad assumere immagini differenti in base ai diversi punti da cui lo si osserva, passando dalla visuale del fronte ampio, all'immagine sottile e slanciata delle due testate rastremate.

Descrizioni e informazioni sugli edifici tratte da:

<https://www.unicredit.it/>

<https://www.comune.milano.it/>

<http://www.ordinearchitetti.mi.it/>

<http://www.lacorteversedicorsocomo.com/>

<http://www.residenzeportanuova.com/>

1.4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE MILANO

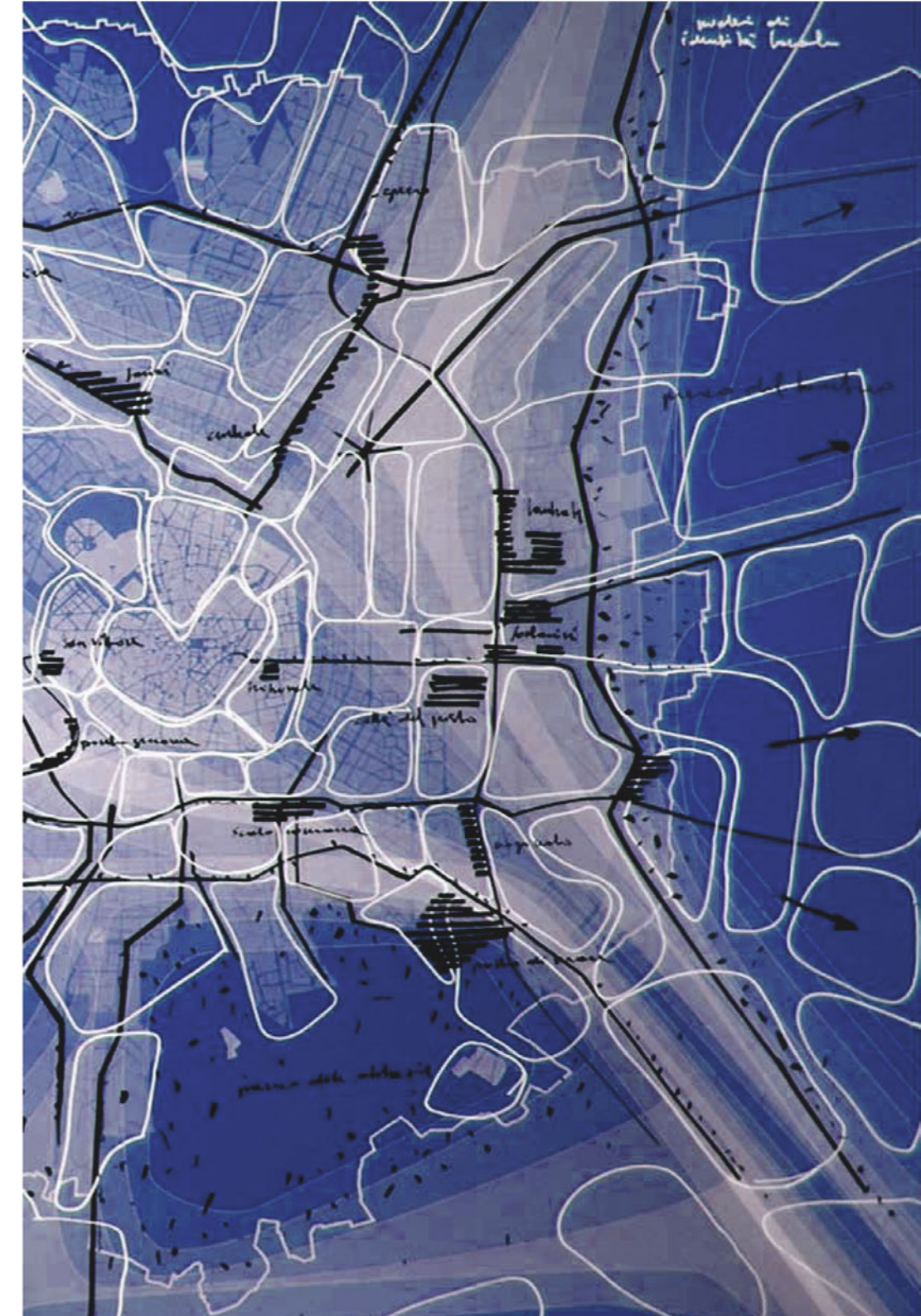
1.4.1 INQUADRAMENTO GENERALE

La città di Milano è il centro del sistema metropolitano lombardo, un sistema di assoluta rilevanza economica e demografica a livello europeo: con 7.400.000 abitanti è la prima area metropolitana italiana e la terza area metropolitana dell'intera Unione Europea. Si estende da Orio al Serio a Malpensa, dall'Adda al Ticino, da Como e Lecco fino alla pianura agricola del Parco Sud, disegnando una struttura metropolitana caratterizzata da nuclei urbanizzati con identità insediative differenti tra loro come grandi e piccole aree residenziali, sistemi commerciali, distretti industriali, nuclei storici, aree miste diffuse, parchi, sistema delle acque, aree agricole.

All'interno di questa vasta area metropolitana le modalità di vita e di lavoro sono caratterizzate da movimenti articolati e complessi; ci si muove per lavorare, per abitare, per studiare, per accedere alle aree commerciali ed ai luoghi turistici: "La città è una struttura complessa, un organismo unitario, un corpo vivente soggetto a continue evoluzioni e trasformazioni che ne costituiscono la vita, in costante relazione con le azioni umane, individuali e collettive che in essa si svolgono." (Giuseppe De Finetti)

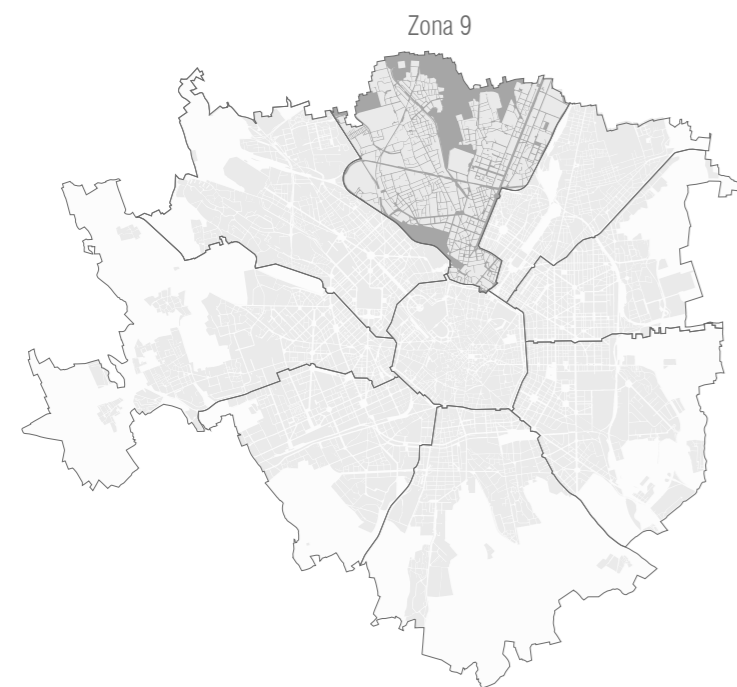
Milano ha un'estensione di 181,76 km² e vi risiedono 1 339 622 abitanti (ISTAT 28 febbraio 2014).

È divisa amministrativamente in 9 zone di decentramento (fino al 1999 era-



no 20), ciascuna delle quali ha un proprio Consiglio.

- Zona 1: Centro storico
- Zona 2: Stazione Centrale, Gorla, Turro, Precotto, Greco, Crescenzago
- Zona 3: Città Studi, Lambrate, Venezia
- Zona 4: Vittoria, Forlanini
- Zona 5: Vigentino, Chiaravalle, Gratosoglio
- Zona 6: Barona, Lorenteggio
- Zona 7: Baggio, De Angeli, San Siro
- Zona 8: Fiera, Gallaratese, Certosa, Quarto Oggiaro
- Zona 9: Stazione Garibaldi, Niguarda

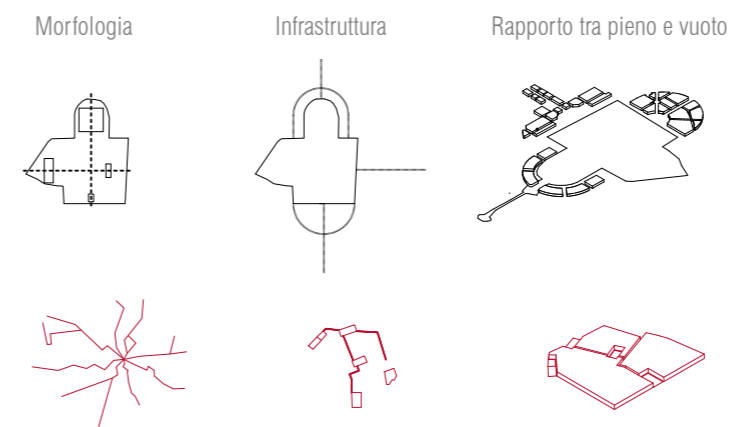


1.4.1.1 LETTURA DEL TERRITORIO

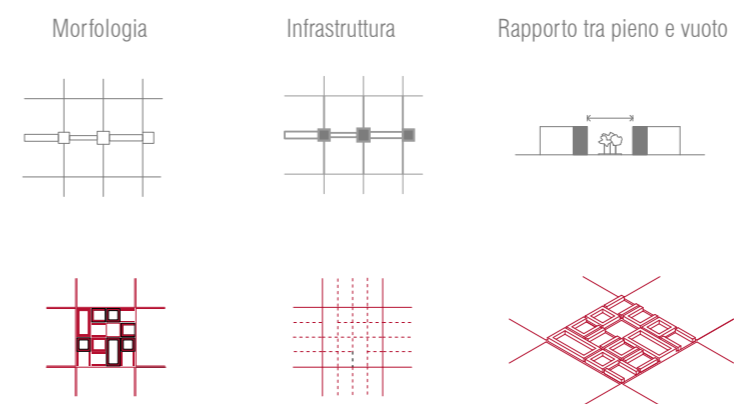


Leggendo il territorio comunale si riscontrano differenti caratteri urbani da un punto di vista tipo-morfologico, cioè sono riconoscibili varie strutture urbane caratterizzanti la specificità di un dato luogo. All'interno della città, sono è facile distinguere 5 differenti modi di abitare, che dividono il centro da atri 4 tipi di sviluppo orientati lungo gli assi principali.

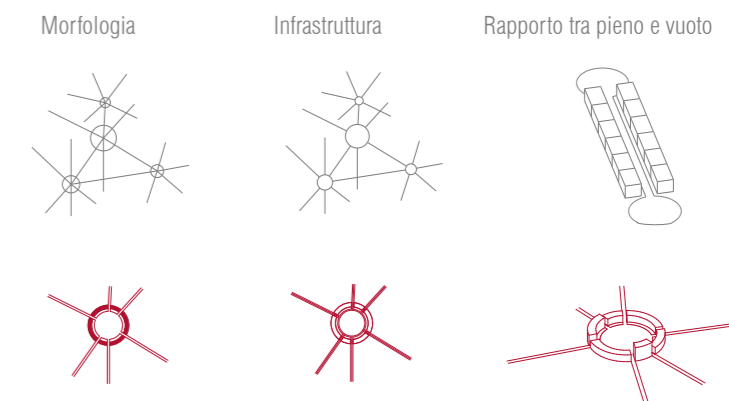
1. Il centro storico delimitato dall'impronta delle mura spagnole all'interno del quale si sono nel corso del tempo, sovrapposti i diversi strati storici della città, dalla città romana fino a quella odierna



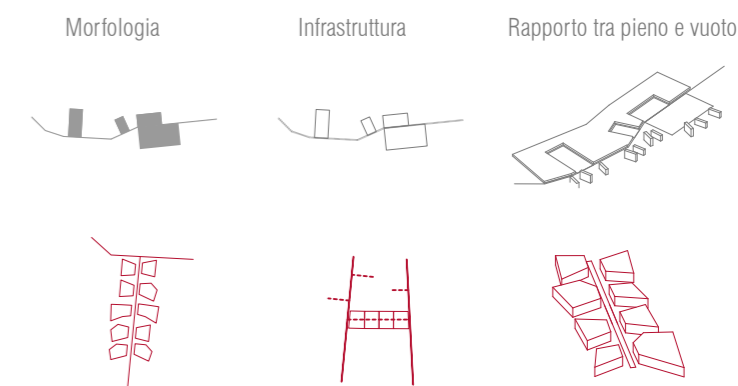
2. La città 'reticolare' ad est, che unisce i bastioni al recinto ferroviario e che arriva al fiume Lambro per continuare poi fino al fiume Adda;



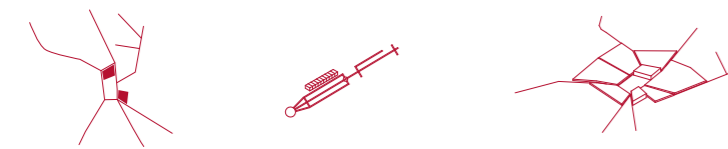
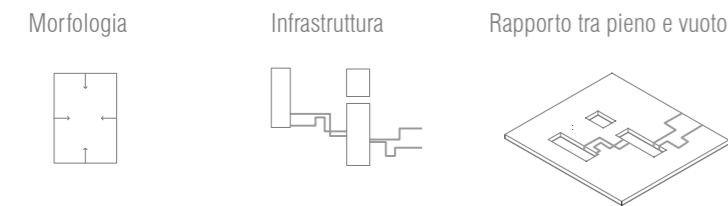
3. la città 'stellare' a ovest, che disegna, diversamente dal settore est, il sistema di spazi aperti e di strade fino a toccare i grandi recinti di San Siro, del Parco di Trenno e del più vasto Parco Sud;



4. La città che collega il centro storico con gli insediamenti agricoli del Parco Sud, caratterizzata dal sistema infrastrutturale storico dei Navigli e dal conseguente sviluppo costruito lineare;



5. La città a nord del centro storico che è caratterizzato da un importante insieme infrastrutturale (ferrovie più arterie viabilistiche) e che si collega al sistema della Brianza, il quale penetra sino al centro di Milano.



1.4.1.2 SISTEMA DELLE INFRASTRUTTURE

RETE STRADALE E AUTOSTRADALE

L'area metropolitana di Milano possiede una rete stradale ed autostradale ben sviluppata e ben connessa con le principali città italiane e con l'Europa.

- la A1 collega Milano a Bologna, Firenze, Roma e Napoli,
 - la A4 attraversa la Lombardia unendola a Torino, Venezia e Trieste
- Per il futuro è prevista la realizzazione di nuove opere infrastrutturali che vadano ad intensificare il già fitto collegamento tra la città e l'esterno.

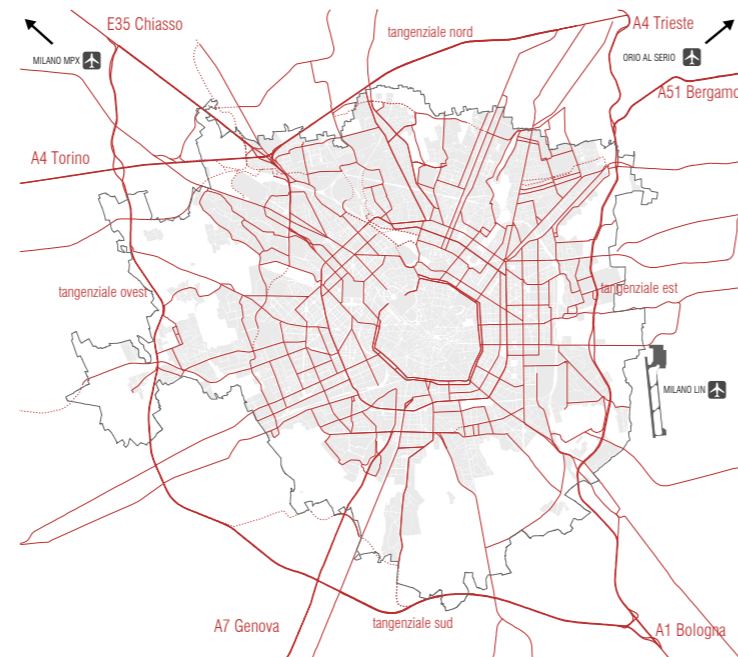
RETE FERROVIARIA

Il sistema ferroviario cittadino è abbastanza capillare; tre importanti stazioni sono: stazione Centrale di Milano, stazione di Milano Porta Garibaldi e sta-

zione Milano Cadorna. È anche presente un passante ferroviario che permette di attraversare la città in treno da est ad ovest.

AEROPORTI

Attualmente la città di Milano è servita principalmente da tre aeroporti: Milano Malpensa, Milano Linate e Bergamo Orio al Serio.



SISTEMA METROPOLITANO E SUBURBANO

All'interno dell'area urbana è presente una rete di trasporti su ferro strettamente interconnessi tra loro: la rete della metropolitana di Milano e la rete ferroviaria suburbana.

Il PGT prevede una rete di trasporto su ferro che metta a sistema le diverse radiali milanesi e faccia da supporto agli ambiti di trasformazione. Le linee metropolitane esistenti sono la MM1, MM2, MM3, parte della MM4, e vi è in programma una quinta linea MM5 oltre al completamento della MM4.



1.4.1.3 SISTEMA DEL VERDE

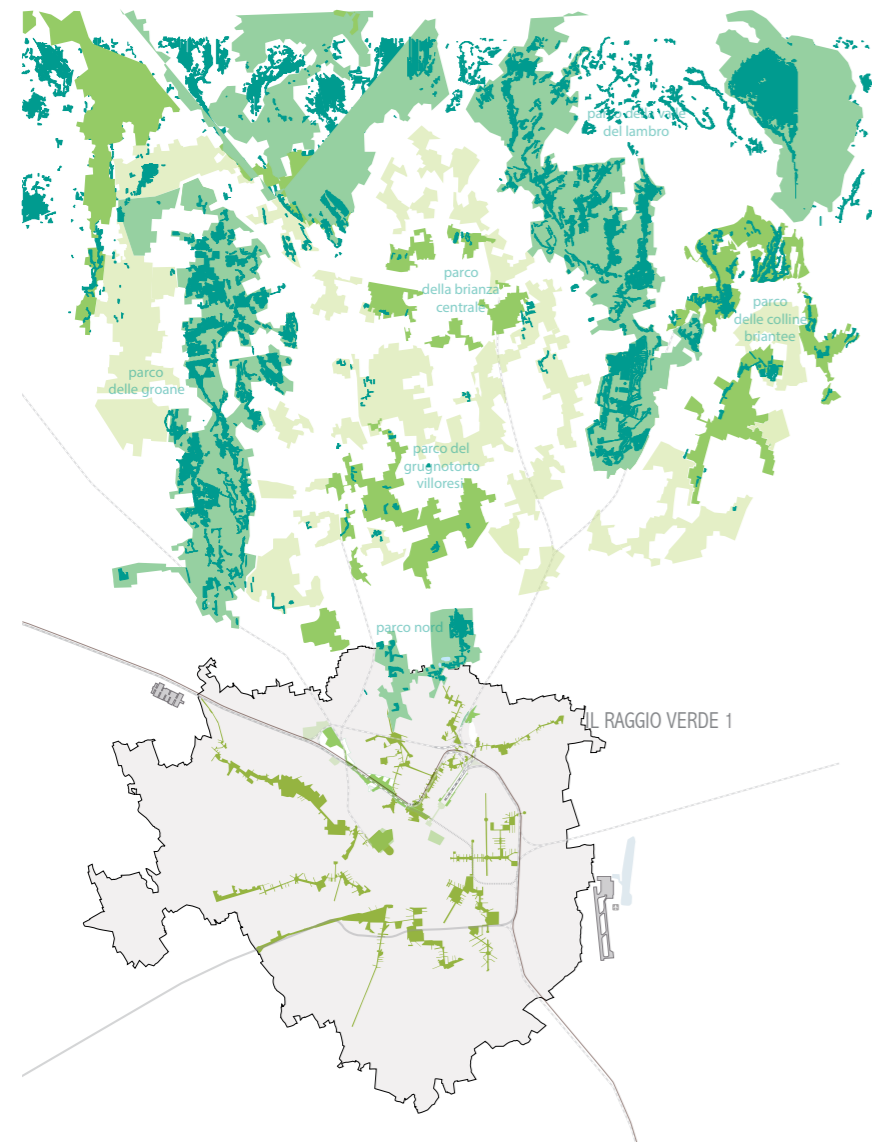
La città di Milano si apre solo in pochi punti a spazi verdi e a zone pubbliche, limitando in questo modo la qualità degli spazi aperti urbani. Nel PGT si prende coscienza di questa situazione e si cerca di dare una soluzione al problema progettando di ricollegare questi spazi. La stessa problematica è stata riscontrata dal comune di Milano nella progettazione di EXPO 2015.

PGT E "L'ARCO VERDE"

La naturalità dei grandi polmoni verdi, dei grandi parchi regionali come il Parco delle Groane, il Parco del Grugnotorto Villorosi, il Parco della Valle del Lambro, il Parco delle colline Briantee, entra a forza nella parte nord della città. Lo sviluppo e l'ingresso di questo sistema ambientale nel contesto più urbano di Milano è stato sottolineato attraverso l'istituzione del Parco nord. Il progetto dell'arco Verde, definito dei Giardini Lombardi, disegna un lungo corridoio ambientale che, dal territorio, penetra a Quarto Oggiaro, s'incunea sino a Garibaldi Repubblica, risale lungo la Stazione centrale, fino all'area di Greco, per fuoriuscire dai confini amministrativi del comune di Milano, nei pressi dell'area Bicocca, verso Sesto San Giovanni.

La forma a V disegna un unico sistema e ricompone due direzioni strategiche di relazione tra la città ed il territorio della Brianza, a nord. Il tessuto urbano discontinuo a nord (dalla Bovisa a via Jenner, da Stazione centrale a Greco), seppur a tratti molto denso, si presta alla messa in opera di un importante progetto di parco lineare, capace di riconnettere la frammentazione dei brani urbanizzati più deboli e disconnessi.

Da nord-ovest, l'arco attraversa, partendo dall'esistente Parco Certosa, il futuro Parco Scientifico della Bovisa (passando per il campus del Politecnico e la nuova Triennale), giungendo sino al quartiere Isola, attraverso il futuro



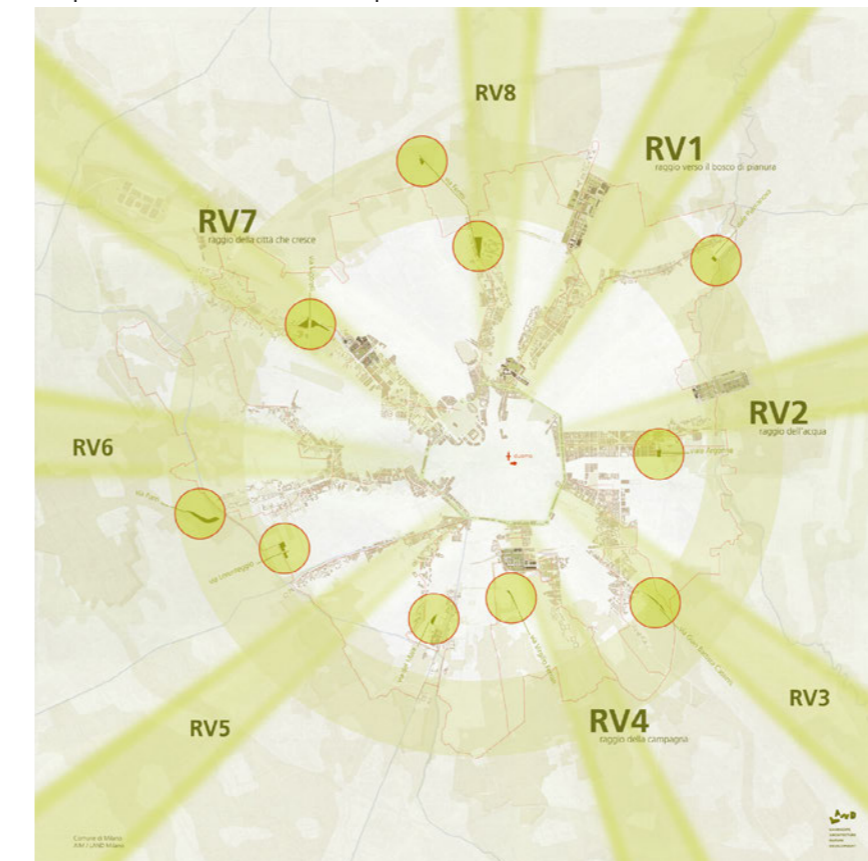
Parco Farini. Confluisce, infine, nella Biblioteca degli alberi, il parco in costruzione nell'area di Porta nuova. Da nord-est, l'arco risale lungo viale V. Pisani, che diviene così un ingresso privilegiato verso il cuore della città in questa direzione.



EXPO 2015 E I "RAGGI VERDI"

Attraverso la strategia dei "raggi verdi" è stata ideata una rete di percorsi ciclo-pedonali che per l'appunto si orienta con otto raggi inglobando anche altri spazi aperti già esistenti o di nuova creazione. Partendo dalle mura spagnole questo sistema si estende per tutta l'area urbana e confluisce in una cinta di verde alla periferia della città. Lunga 72 km.

In questa direzione la Milano postindustriale ha modo di trasformarsi attra-



verso le dismissioni delle diverse aree produttive: Bicocca Ex Pirelli, l'Ex Maserati, l'Ex OM Fiat, l'Ex Alfa Romeo, fino all'ex scalo ferroviario Garibaldi Repubblica.

PORTA NUOVA

L'intervento di Porta Nuova, iniziato nel 2000 e composto dai tre progetti Porta Nuova Garibaldi, Porta Nuova Varesine e Porta Nuova Isola, sorge su un'area dismessa complessiva di 290.000 mq, vuoto storico prodotto dai cambi di assetto ferroviario. Il tema dell'intervento è definito dalla forte permeabilità degli spazi urbani: attraverso il controllo e la regia dei collegamenti, si è contribuito a plasmare e a definire la continuità delle corti e dei giardini corollari e di connessione al nuovo grande Parco degli Alberi.

1.4.2 INQUADRAMENTO MILANO ISOLA

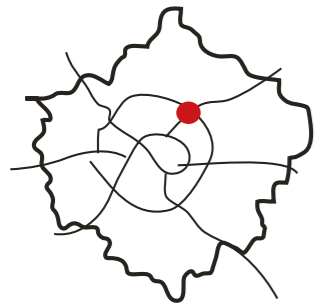
Il quartiere Milano Isola è oggi interessato dal progetto di riqualificazione Porta Nuova, il quale si pone come obiettivo il connubio tra l'identità cittadina e una visione europea.

Il progetto include, oltre ad edifici di cui si è già parlato, un sistema pedonale continuo che garantisce un collegamento continuo tra i diversi quartieri coinvolti ed è caratterizzato da aree verdi, piazze, ponti e un grande parco.

VIABILITÀ E TRASPORTI

Il quartiere Isola presenta un efficiente sistema di trasporti, che lo connettono all'intera rete nazionale, il cui fulcro è la stazione di Porta Garibaldi da cui si diramano diverse possibilità.

Il percorso ferroviario connette il quartiere Isola, oltre che al territorio italia-



Superficie Totale: 0,786 km²

Analisi della struttura della popolazione

Residenti: 5.282 ab
 Stranieri: 10,3 % pari a 544 unità
 Nazionalità prevalente: peruviana
 Bambini da 0 a 5 anni
 4,9 % / 257 unità
 Anziani oltre 75 anni
 10,3 % / 544 unità

Densità abitativa 6.723 ab/km²

Città diurna 16.391 ab
 Città notturna 5.802 ab

Popolazione che si sposta giornalmente
 Popolazione in entrata 13.586 ab
 Popolazione in uscita 2.643 ab

Proiezioni demografiche (2027) 5.992 ab
 Bambini da 0 a 5 anni: 4,3 % / 257 unità
 Anziani oltre 75 anni : 10,4 % / 625 unità



Destinazione d'uso prevalente degli edifici categoria

NIL / media milano

abitazione
 73,8 % / 83,1%
 ufficio
 13,3 % / 3,7 %
 commercio industria
 1,1 % / 6,9 %
 servizi pubblici
 2,3 % / 3,4 %
 altro
 9,5 % / 2,9 %
 abitazioni in affitto
 35,3 % / 35,6 %
 Attività produttive
 1.082 unità locali

no, all'intero sistema ferroviario del nord Europa. La fermata della metropolitana è inserita nella stazione ferroviaria, ed è uno snodo tra la linea verde e la linea viola. Il passante ferroviario, linea ferroviaria che congiunge le linee provenienti da nord-ovest (le statali Milano-Torino, Milano-Domodossola e le regionali gestite delle FerrovieNord) con quelle provenienti da est e sud-est (per Genova, Bologna e Venezia), passa sotto la stazione. Il sistema di taxi ha sede davanti l'ingresso della stazione. Inoltre un sistema di bus per-

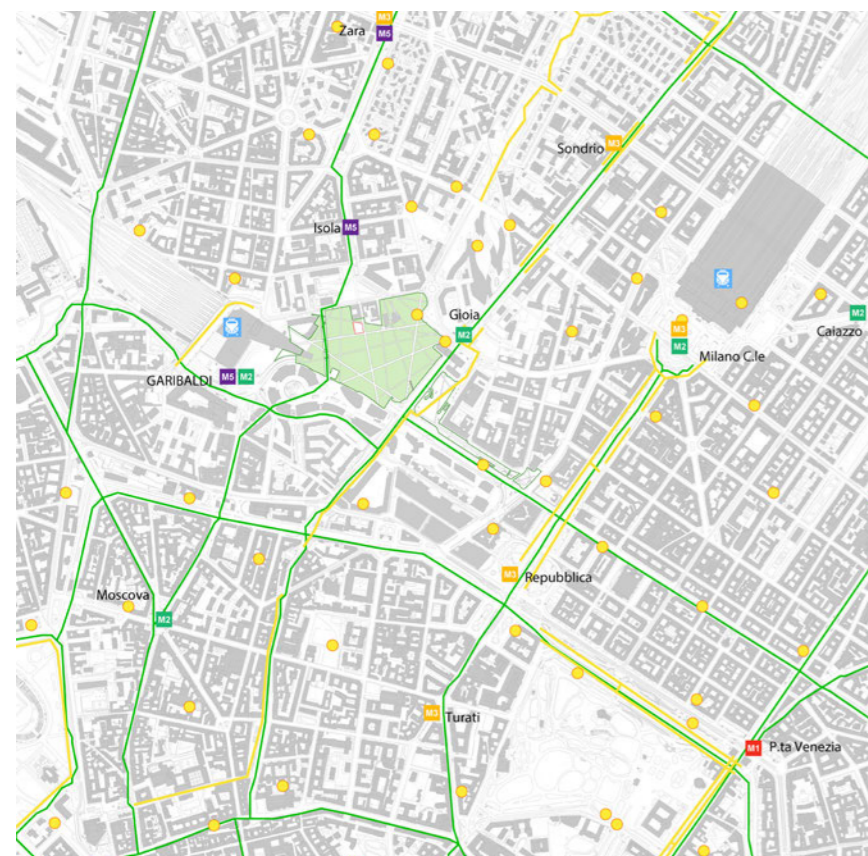


- LINEE METROPOLITANA
M1 M2 M3 M4
- PASSANTE FERROVIARIO
- LINEE AUTOBUS

mette ai viaggiatori dell'intero interland milanese di raggiungere facilmente l'area.

Con il progetto di rinnovamento del quartiere isola il comune di Milano ha preso in considerazione la riconnessione di tutti i percorsi pedonali e ciclabili. Si prevede uno scenario futuro, in cui, l'area di progetto sarà connessa a una fitta rete di mobilità ciclopedonale, arricchita da diverse stazioni per il bike-sharing.

Ad oggi l'area è facilmente raggiungibile in modo pedonale sia da Porta Nuova sia da Porta Garibaldi.



- STAZIONE BIKE-SHARING
- PERCORSO CICLABILE IN PROGETTO
- PERSORSO CICLABILE ESISTENTE

SERVIZI

Per la determinazione della posizione e dalla qualità dei servizi nell'intorno del quartiere isola, si è fatto ricorso al PGT, in particolare al Piano dei Servizi (allegato S_02). Per la verifica delle informazioni dedotte si è ricorsi sia ad un sopralluogo sia a strumenti informatici quali Google Earth.

L'analisi condotta sul sistema dei servizi, in prima battuta, si è concentrata sulle categorie che contribuiscono a definire la qualità sociale dell'ambiente urbano: istruzione, cultura, impianti sportivi, servizi sociali, servizi assistenziali, servizi amministrativi.

Per quanto riguarda l'istruzione si evidenzia la presenza di scuole appartenenti ai vari livelli, situate in modo diffuso su tutto il territorio comunale. Sono inoltre presenti a meno di 5Km dal sito di progetto diverse università tra cui: Accademia di Brera, Università Statale, Università Cattolica, Politecnico di Milano(Piola), Politecnico di Milano(Bovisa), Università Bicocca e Università Bocconi.

La città è ben servita dal punto di vista delle attrezzature sanitarie e socio-assistenziali. Sono presenti, infatti, strutture ospedaliere e diversi altri centri ed ambulatori.

C'è anche una cospicua presenza di centri sportivi nell'immediato intorno dell'area di progetto. Di particolare rilevanza la struttura sportiva di Parco Sempione.

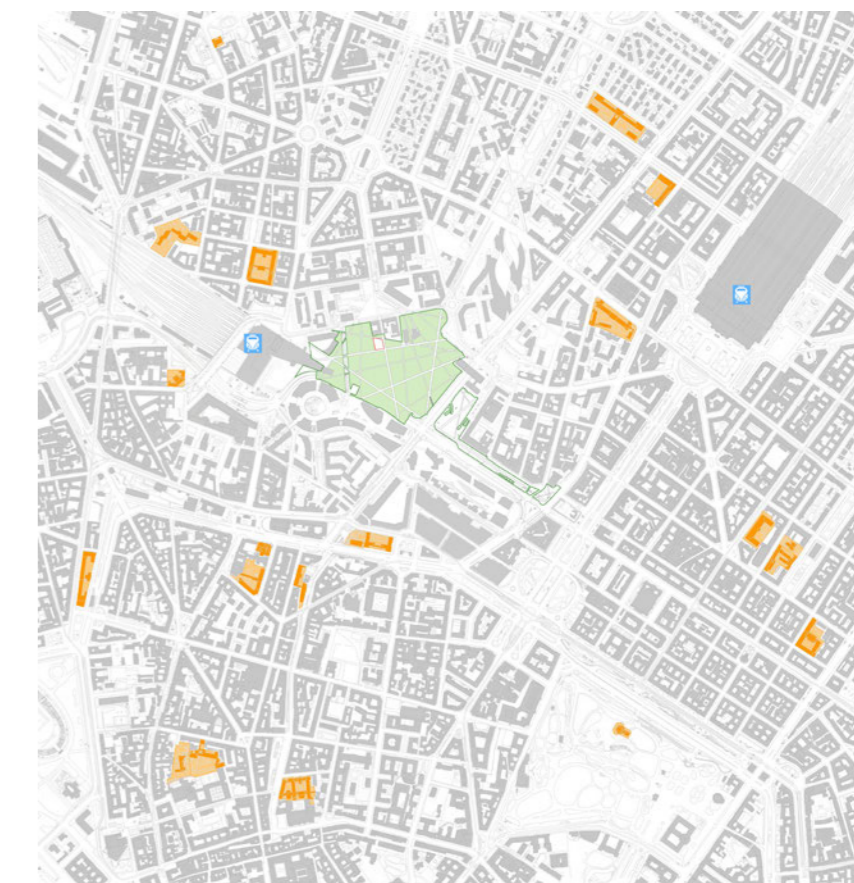
Il sistema delle attività culturali è ben distribuito sul territorio.

Nell'area Porta Nuova sono previsti oltre 80.000 mq di parcheggi privati e pubblici così suddivisi:

- Porta Nuova Garibaldi 1.150 mq
- Porta Nuova Varesine 2.000 mq
- Porta Nuova Isola 500 mq



- CULTURA
- ISTRUZIONE
- SALUTE
- SERVIZI SOCIALI
- SPORT
- UNIVERSITÀ E RICERCA



- CULTURA
- ISTRUZIONE
- SALUTE
- SERVIZI SOCIALI
- SPORT
- UNIVERSITÀ E RICERCA



- CULTURA
- ISTRUZIONE
- SALUTE
- SERVIZI SOCIALI
- SPORT
- UNIVERSITÀ E RICERCA



- CULTURA
- ISTRUZIONE
- SALUTE
- SERVIZI SOCIALI
- SPORT
- UNIVERSITÀ E RICERCA



- CULTURA
- ISTRUZIONE
- SALUTE
- SERVIZI SOCIALI
- SPORT
- UNIVERSITÀ E RICERCA

1.4.2.1 "LA BIBLIOTECA DEGLI ALBERI"

Città: Milano

Anno: 2010

Cliente: Comune di Milano

Design: Inside Outside

Architetto del paesaggio locale: Franco Giorgetta

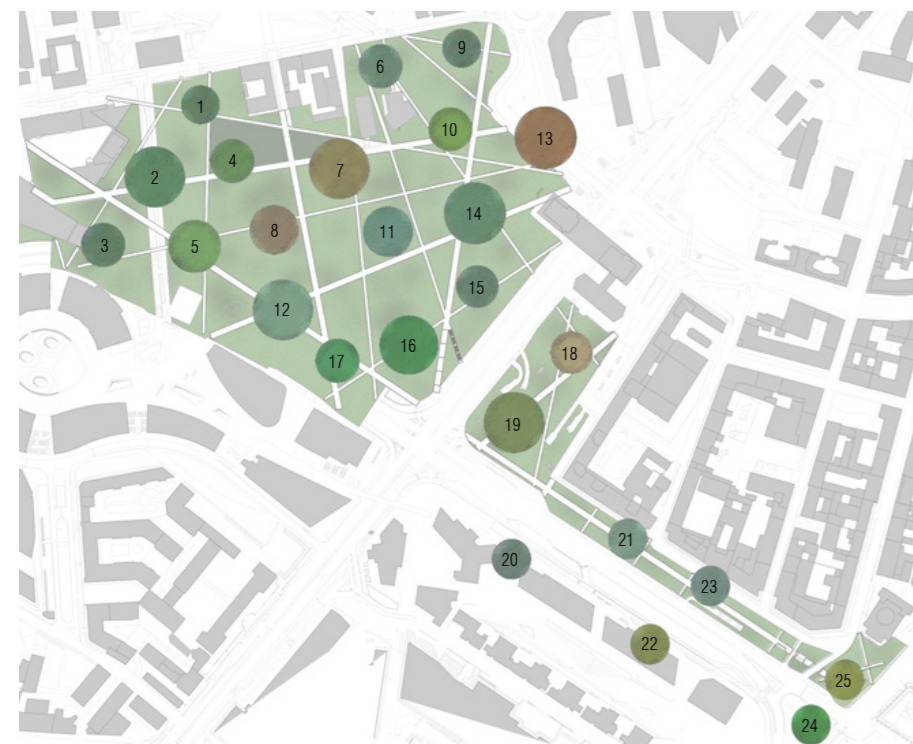
Consulente impianto: Piet Oudolf

OBIETTIVI PROGETTUALI GENERALI

- creare un sistema di connessioni tra le differenti realtà urbane che circondano l'area: residenze, uffici e servizi; questo risulterà rafforzato sia dalla nuova centralità del parco sia dalla rete dei percorsi che ne collegano in modo puntuale e diretto i bordi, raccordando le differenze altimetriche delle aree a contorno, con dislivelli fino a 6 metri;
- garantire lo svolgimento di una molteplicità di funzioni che rendano attrattiva l'area, in particolare attraverso la diversificazione dei tipi di fruizione: culturale, di svago e di incontro;
- esaltare la caratterizzazione botanica del parco, che nella "Biblioteca degli Alberi" suggerisce un'interpretazione moderna del giardino botanico.

ELEMENTI DEL PARCO

La rete dei percorsi lineari, che attraversa il parco in tutte le sue parti, consente sia un facile accesso da molti punti della città sia una notevole perme-



- | | | |
|--------------------------------|--|---------------------------|
| 1. PAULOWNIA TORNENTOSA | 11. LIQUIDAMBAR STYRACUFLUA | 19. ILEX AQUIFOLIA |
| 2. POPULUS ALBA | 12. ACER RUBRUM "OCTOBER GLORY" | 20. CELTIS AUSTRALIS |
| 3. ILEX CRENATA "BLONDIE" | 13. LIRIODENDROM TULIPIFERA | 21. PINUS NIGRA |
| 4. BETULA PAPHYRIFERA | 14. QUERCUS COCCINEA "SPLENDENS" | 22. QUERCUS ROBUR |
| 5. CEDRUS ATLANTICA "GLAUCA" | 15. PLATANUS X HISPANICA | 23. GLEDITSIA TRIACANTHOS |
| 6. QUERCUS X RUBRA | 16. CRYPTOMERIA JAPONICA "CRISTATA" | 24. ACER CAMPESTRE |
| 7. SOPHORA JAPONICA | 17. MALUS PROFUSION | 25. CEDRUS LIBANII |
| 8. GINKGO BILOBA "AUTUMN GOLD" | 18. PYRUS CALLERYANA "CHANTICLEER-CLIPPED" | |
| 9. POPULUS NIGRA "ITALICA" | | |

- | | | |
|--|---|--|
| 1  Altezza: 15-20 m Diametro: 10 m | 10  Altezza: 15-20 m Diametro: 12 m | 19  Altezza: 10 m Diametro: 3 m |
| 2  Altezza: 30 m Diametro: 20 m | 11  Altezza: 25-35 m Diametro: 10 m | 20  Altezza: 25 m Diametro: 8-10 m |
| 3  Altezza: 3 m Diametro: 2 m | 12  Altezza: 15-20 m Diametro: 6 m | 21  Altezza: 20-30 m Diametro: 6 m |
| 4  Altezza: 20 m Diametro: 6-7 m | 13  Altezza: 20-30 m Diametro: 3 m | 22  Altezza: 25 m Diametro: 10 m |
| 5  Altezza: 30 m Diametro: 15 m | 14  Altezza: 15-20 m Diametro: 10 m | 23  Altezza: 25-30 m Diametro: 10-12 m |
| 6  Altezza: 25-30 m Diametro: 15 m | 15  Altezza: 25-30 m Diametro: 7-9 m | 24  Altezza: 7-12 m Diametro: 6 m |
| 7  Altezza: 10-15 m Diametro: 4-8 m | 16  Altezza: 40 m Diametro: 3 m | 25  Altezza: 30-40 m Diametro: 12 m |
| 8  Altezza: 30-40 m Diametro: 9 m | 17  Altezza: 8-12 m Diametro: 4-7 m | |
| 9  Altezza: 25-30 m Diametro: 12 m | 18  Altezza: 8-12 m Diametro: 4-6 m | |

abilità all'interno dell'area.

La pendenza massima viene sempre contenuta all'interno del 5% e viene garantito il collegamento e l'accesso al parco per ogni categoria d'utenti. La rete di percorsi lineari che collegano il parco con le parti di città adiacenti sono gerarchicamente suddivisi in percorsi principali, larghi 5 metri e percorsi secondari, larghi 2,5 metri, con pavimentazioni in calcestruzzo spazzolato grigio.

I campi sono le aree individuate dalle intersezioni dei percorsi lineari che, a seconda delle dimensioni e della giacitura, saranno organizzate secondo un carattere specifico proprio, per esempio giardini fioriti, prati, piazze dure, spazi liberi, al fine di assicurarne la massima flessibilità d'uso.

Le foreste circolari sono stanze naturali coperte dalle chiome degli alberi, in contrapposizione con gli spazi liberi del parco e diventano spazi attrezzati per la sosta, per lo svago e per il gioco, luoghi fondamentali dal punto di vista del programma e degli usi del parco.

Informazioni relative all'inquadramento territoriale tratte da:

<http://www.comune.milano.it/>

PGT Comune di Milano, allegato 3

A. Kipar, G. Sala + Partners, "Raggi Verdi. Green vision for Milano 2015", Aedes Land.

Descrizione e informazioni parco tratte da: http://www.comune.milano.it/wps/portal/ist/it/servizi/territorio/pianificazione_urbanistica_attuativa/progetti_attuazione/grandi_progetti/parco_biblioteca_alberi



1.5 ANALISI CLIMATICHE

L'area di progetto è situata nel Comune di Milano in via Palermo, a occidente del bacino dell'Alta Pianura Padana, ed è caratterizzato da un clima temperato continentale delle medie latitudini o subcontinentale secondo la classificazione di Koppen. Questo è contraddistinto da temperature miti, piogge intense e frequenti durante i mesi primaverili ed autunnali; gli inverni sono piuttosto freddi e secchi mentre le estati sono caratterizzate da temperature abbastanza elevate e scarse precipitazioni.

Come in tutte le grandi città del mondo, l'effetto isola di calore innalza le temperature rispetto alle campagne circostanti. Infatti i quartieri centrali godono di minime lievemente più alte (+2 ÷ 3 °C) rispetto alle aree periferiche che risentono delle masse di aria fredda ed umida ristagnanti sulle campagne; inoltre i quartieri meridionali della città sono più frequentemente interessati dalla nebbia durante l'inverno, così che, talvolta, in caso di nebbia fitta, le zone centrali e meridionali della città presentano temperature massime inferiori fino a 2 °C rispetto alla campagna circostante.

Le temperature minime in inverno nel centro risultano più alte che in periferia, e in estate questa differenza si attenua.

I dati di progetto e le coordinate geografiche per Milano sono:

- Altitudine 122 m.s.l.m.
- Zona altimetrica Pianura
- Latitudine 45° 28' 38" N
- Longitudine 09° 10' 53" E

Di seguito sono riportate le informazioni riguardanti la caratterizzazione dei venti, delle precipitazioni, dell'umidità relativa, dell'irradianza e delle temperature che interessano l'area del Comune di Milano.

A seguito di un'analisi accurata delle fonti accessibili per il reperimento dei

dati climatici dell'area di Milano, sono state definite attendibili e rilevanti ai fini progettuali i monitoraggi eseguiti dalle seguenti stazioni metereologiche:

- Milano Linate
- Milano Malpensa
- Milano via Juvara
- Milano osservatorio di Brera

opportunamente integrati con i valori forniti da:

- dati climatici annuali 2011 I.S.T.A.T. (Istituto Nazionale di Statistica)
- U.N.I. (Ente Nazionale Italiano di Unificazione)
- C.T.I.2000 (Comitati Termotecnico italiano, Energia e Ambiente)
- A.R.P.A. Lombardia

Di seguito si analizzano le temperature dell'aria esterna medie giornaliere orarie, medie mensili e medie annuali del periodo di tempo compreso tra il 1990 e il 2011.

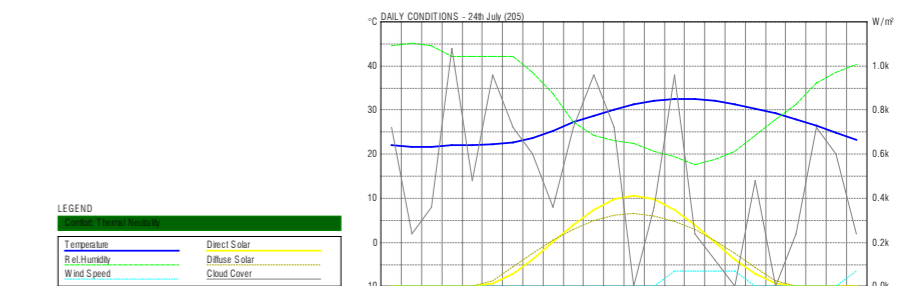
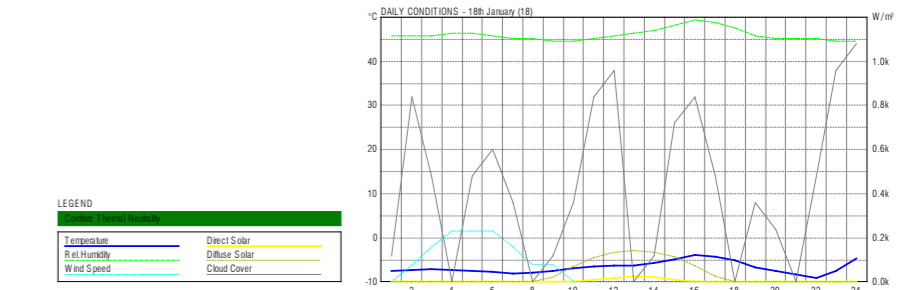
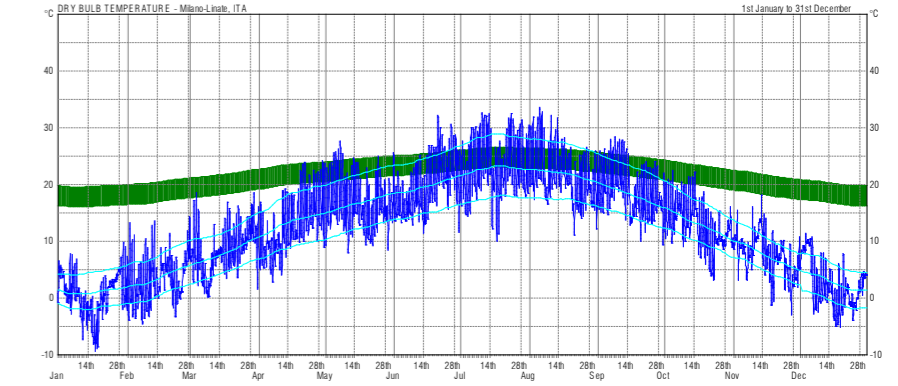
1.5.1 TEMPERATURA DELL'ARIA ESTERNA

Il clima è caratterizzato da un'ampia escursione termica annuale con temperature medie basse in inverno (0° ÷ 4 °C) ed alte in estate (le temperature massime estive oscillano tra i 25 °C ai 30 °C). Inoltre, nella stagione fredda, le temperature minime raggiungono anche diversi gradi al di sotto dello zero nelle ore notturne, e talvolta rimangono negative o prossime allo zero anche durante le ore centrali della giornata (specialmente in caso di nebbia); nella stagione invernale, infatti, proprio a causa del ristagno dell'aria, le temperature massime si attestano su valori decisamente bassi: in alcuni casi si possono registrare, anche se di poco, giornate di ghiaccio ossia con valori termici che restano negativi.

In estate ed in caso di anticiclone sub-tropicale, invece, le temperature massime possono toccare punte di +38° e talvolta superiori.

TEMPERATURE MEDIE GIORNALIERE ED ORARIE

| GG | MESE | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
| 1 | 2,9 | 7,4 | 3,3 | 9,4 | 17,1 | 23,1 | 23,2 | 23,0 | 20,9 | 15,5 | 13,5 | 6,6 |
| 2 | 3,0 | 7,0 | 2,3 | 11,1 | 14,7 | 24,0 | 22,8 | 24,0 | 23,1 | 15,6 | 12,5 | 5,8 |
| 3 | 0,7 | 10,0 | 2,3 | 8,4 | 14,0 | 21,2 | 23,3 | 24,5 | 25,0 | 16,5 | 11,0 | 5,4 |
| 4 | 1,2 | 4,8 | 5,0 | 8,9 | 11,2 | 20,4 | 25,2 | 23,5 | 25,9 | 16,0 | 10,8 | 5,0 |
| 5 | 0,9 | 5,5 | 9,0 | 11,9 | 10,4 | 19,0 | 23,1 | 25,6 | 25,4 | 16,4 | 10,8 | 5,0 |
| 6 | 2,2 | 6,5 | 10,1 | 12,7 | 13,0 | 16,1 | 20,2 | 27,2 | 23,8 | 16,0 | 10,5 | 7,7 |
| 7 | 1,8 | 9,1 | 8,1 | 11,6 | 16,5 | 17,4 | 21,8 | 26,6 | 23,4 | 15,3 | 9,4 | 7,3 |
| 8 | 2,9 | 6,7 | 6,4 | 12,6 | 15,1 | 16,7 | 25,1 | 26,3 | 23,5 | 14,0 | 7,3 | 4,6 |
| 9 | 3,8 | 10,3 | 8,3 | 10,6 | 13,8 | 16,3 | 26,1 | 27,6 | 23,2 | 14,1 | 6,3 | 3,0 |
| 10 | 4,5 | 9,0 | 8,7 | 9,5 | 13,8 | 21,2 | 26,1 | 26,8 | 21,4 | 13,8 | 6,7 | 1,3 |
| 11 | 4,4 | 6,5 | 9,3 | 10,3 | 14,7 | 22,0 | 25,5 | 23,4 | 21,6 | 15,0 | 6,3 | 0,6 |
| 12 | 4,1 | 7,6 | 10,0 | 11,6 | 16,9 | 22,5 | 27,0 | 18,7 | 19,5 | 14,3 | 8,0 | 1,5 |
| 13 | 3,0 | 7,0 | 13,1 | 13,0 | 18,3 | 24,2 | 21,2 | 19,9 | 19,2 | 13,9 | 10,4 | 0,5 |
| 14 | 3,3 | 8,0 | 12,9 | 13,6 | 18,4 | 26,0 | 19,9 | 21,2 | 18,3 | 14,0 | 10,4 | -1,2 |
| 15 | 0,7 | 7,5 | 13,0 | 12,7 | 19,9 | 27,0 | 18,4 | 23,3 | 19,5 | 15,0 | 7,1 | -0,6 |
| 16 | 1,0 | 6,9 | 12,5 | 11,9 | 22,4 | 27,6 | 19,0 | 22,4 | 16,6 | 16,3 | 6,9 | 0,3 |
| 17 | 1,3 | 7,5 | 9,7 | 9,6 | 22,6 | 27,6 | 22,3 | 21,8 | 19,2 | 17,7 | 6,5 | 0,5 |
| 18 | 0,2 | 7,3 | 11,4 | 9,4 | 20,4 | 28,5 | 22,3 | 23,3 | 19,6 | 16,0 | 6,0 | 0,2 |
| 19 | 1,4 | 6,7 | 14,1 | 14,1 | 19,2 | 28,7 | 21,9 | 24,4 | 19,7 | 14,4 | 7,1 | 0,7 |
| 20 | 3,7 | 9,0 | 13,9 | 19,0 | 19,9 | 28,4 | 24,8 | 22,4 | 20,9 | 12,8 | 5,8 | 1,8 |
| 21 | 5,9 | 8,0 | 12,6 | 20,2 | 19,9 | 28,4 | 24,2 | 22,8 | 21,3 | 11,4 | 3,6 | 1,4 |
| 22 | 3,3 | 5,6 | 15,9 | 21,0 | 20,6 | 29,4 | 25,6 | 22,8 | 21,6 | 11,9 | 4,5 | 1,9 |
| 23 | 3,2 | 5,0 | 16,2 | 19,4 | 17,8 | 30,2 | 25,0 | 23,0 | 22,0 | 14,5 | 7,0 | 3,2 |
| 24 | 3,6 | 5,8 | 14,8 | 15,2 | 18,8 | 29,2 | 26,0 | 23,9 | 19,6 | 14,1 | 5,6 | 1,3 |
| 25 | 5,2 | 7,6 | 15,4 | 17,1 | 19,1 | 24,5 | 23,9 | 23,9 | 16,6 | 12,5 | 4,7 | 2,1 |
| 26 | 6,6 | 7,4 | 14,3 | 17,8 | 18,5 | 23,4 | 22,7 | 23,8 | 17,1 | 15,7 | 6,0 | 2,0 |
| 27 | 8,2 | 9,2 | 13,6 | 17,9 | 16,7 | 24,7 | 23,8 | 21,9 | 16,6 | 14,1 | 5,0 | 5,3 |
| 28 | 4,6 | 9,2 | 8,4 | 15,1 | 17,6 | 24,1 | 25,7 | 23,8 | 16,9 | 16,1 | 5,6 | 3,9 |
| 29 | 4,1 | | 8,9 | 15,3 | 20,4 | 22,4 | 26,5 | 19,7 | 17,3 | 13,0 | 3,5 | 1,9 |
| 30 | 3,4 | | 8,7 | 18,1 | 21,8 | 21,8 | 26,5 | 21,2 | 19,1 | 12,4 | 4,8 | 5,3 |
| 31 | 4,6 | | 13,1 | | 22,6 | | 24,1 | 22,5 | | 13,7 | | 5,7 |



TEMPERATURE MEDIE MENSILI

Le temperature medie mensili, espresse in gradi centigradi [°C], dell'aria esterna seguono l'andamento caratteristico del clima della Pianura Padana.

| MESE | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| t° | 4,5 | 6,6 | 10,3 | 13,9 | 19,2 | 23,8 | 25,4 | 24,7 | 20,1 | 15,3 | 9,4 | 4,9 |
| giornaliera | | | | | | | | | | | | |
| t° media | 7,4 | 10,5 | 15,7 | 19,3 | 25,0 | 29,6 | 31,2 | 30,4 | 25,5 | 19,7 | 12,9 | 7,6 |
| max | | | | | | | | | | | | |
| t° media | -0,2 | 0,6 | 4,6 | 8,4 | 13,4 | 18,4 | 19,6 | 19,0 | 14,7 | 10,9 | 5,7 | 0,4 |
| min | | | | | | | | | | | | |

La norma UNI 10349, Prospetto VI (Norma Italiana dati climatici, raffrescamento e riscaldamento degli edifici) recita quanto segue:

I valori medi mensili delle temperature medie giornaliere dell'aria esterna per i capoluoghi di provincia italiani sono riportati, ordinati per sigla di provincia e per ogni mese dell'anno, nel Prospetto VI. I dati sono relativi ai singoli capoluoghi ed alla loro quota di riferimento, riportata nel prospetto. Per le località non comprese è possibile calcolare una temperatura corretta che tenga conto della diversa localizzazione ed altitudine, rispetto al capoluogo, applicando il seguente criterio:

- si identifica la località di riferimento, ovvero il capoluogo di provincia più vicino in linea d'aria e sullo stesso versante geografico di quella considerata (non necessariamente il capoluogo della provincia di appartenenza)
- si apporta una correzione al valore della temperatura della località di riferimento per tenere conto della differenza di altitudine tra questa e la località considerata, secondo la seguente relazione:

$$\Theta_{\theta} = \Theta_{\theta,r} - (z - z_r)\delta$$

Dove:

$\Theta_{\theta,r}$ è la temperatura nella località di riferimento

z è l'altitudine s.l.m. della località considerata

z_r è l'altitudine s.l.m. della località di riferimento

δ è il gradiente verticale di temperatura, i cui valori sono indicati nel prospetto II, in funzione della zona geografica

| Zona geografica | (°C/m) |
|-----------------------------------|--------|
| Italia settentrionale transpadana | 1/178 |
| Italia settentrionale cispadana | 1/200 |
| Italia centrale e meridionale | 1/147 |
| Sicilia | 1/174 |
| Sardegna | 1/192 |

Per la città di Milano i dati sono forniti dalla tabella del Prospetto VI: n°49 MI. Confrontando i dati ottenuti con questa tabella si notano valori differenti soprattutto per quelli registrati nei mesi più freddi (gennaio, febbraio, novembre e dicembre) dove risultano più bassi (fino a quasi $\Delta t^{\circ} = 3^{\circ}\text{C}$).

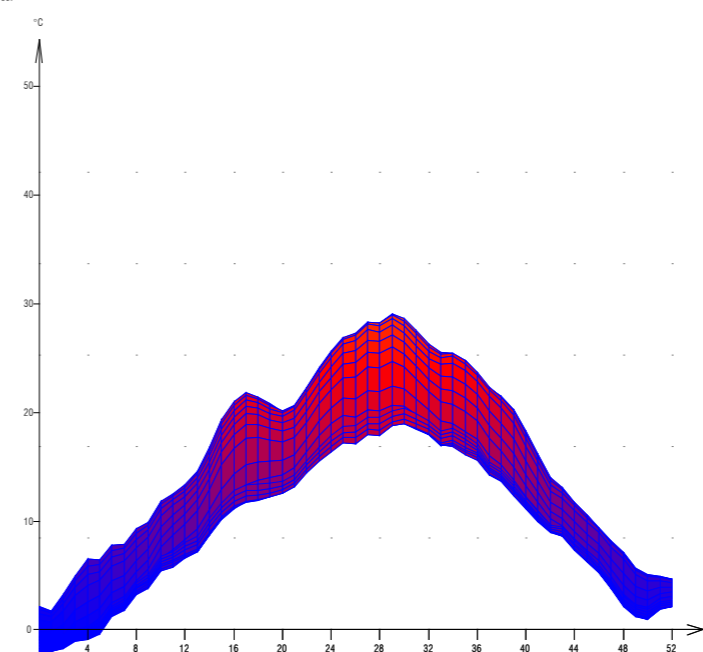
| MESE | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|-------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| t° | 1,7 | 4,2 | 9,2 | 14 | 17,9 | 22,5 | 25,1 | 24,1 | 20,4 | 14 | 7,9 | 3,1 |

Questo perché la Norma UNI 10349 risale al 1994 e da allora i cambiamenti climatici hanno spostato i valori su quelli registrati nei vent'anni successivi, come dimostrato dai calcoli effettuati. Inoltre si ricorda che il lotto di progetto si colloca nel cuore della città, che si configura all'interno dell'isola di calore caratterizzata da valori climatici lievemente più alti rispetto alla norma.

TEMPERATURE MEDIE ANNUALI

Di seguito sono riportate le temperature rilevate nel periodo tra il 2000 e il 2009 nell'area di Milano.

Weekly Summary
Average Temperature (°C)
Location: Milano-Linate, ITA (45.4°, 9.3°)
© Weather Tool



| Anno | T | σ | TM | σ_M | T_m | σ_m | PP | σ_{PP} | E | σ_E |
|--------------|-------|----------|-------|------------|-------|------------|-------|---------------|------|------------|
| 2000 | 13,7 | 1,1 | 18,3 | 1,2 | 9,0 | 1,0 | 1722 | 69,4 | 0,0 | 0,2 |
| 2001 | 13,3 | 0,7 | 17,9 | 0,8 | 8,6 | 0,6 | 689 | -32,2 | 9,8 | 0,2 |
| 2002 | 13,4 | 0,8 | 17,8 | 0,7 | 8,9 | 0,9 | 1214 | 19,5 | 9,4 | -0,2 |
| 2003 | 14,2 | 1,6 | 19,1 | 2,0 | 9,2 | 1,2 | 656 | -35,4 | 9,1 | 0,8 |
| 2004 | 13,4 | 0,9 | 18,0 | 0,9 | 8,8 | 0,8 | 765 | -24,7 | 8,8 | 0,1 |
| 2005 | 12,9 | 0,3 | 17,5 | 0,4 | 8,2 | 0,2 | 701 | -31,0 | 9,2 | 0,2 |
| 2006 | 13,6 | 1,1 | 18,3 | 1,2 | 8,9 | 0,9 | 682 | -32,9 | 9,4 | 0,3 |
| 2007 | 13,9 | 1,4 | 19,0 | 1,9 | 8,8 | 0,8 | 650 | -36,0 | 9,0 | 1,1 |
| 2008 | 13,7 | 1,1 | 18,4 | 1,3 | 8,9 | 0,9 | 914 | -10,1 | 9,2 | 0,4 |
| 2009 | 13,4 | 0,8 | 18,4 | 1,3 | 8,4 | 0,4 | 851 | -16,3 | 10,2 | 0,9 |
| Valore Medio | 13,52 | 0,97 | 18,27 | 1,17 | 8,77 | 0,77 | 884,4 | -12,97 | 8,41 | 0,4 |
| Valore Max | 14,15 | 1,6 | 19,1 | 2,0 | 9,2 | 1,2 | 1722 | 69,4 | 10,2 | 1,1 |

T media annua della temperatura media per provincia [°C]

σ_T scarto della media annua della temperatura media dal corrispondente valore medio [°C]

TM media annua della temperatura massima [°C]

σ_{TM} scarto della media annua della temperatura massima dal corrispondente valore medio [°C]

T_m media annua della temperatura minima [°C]

σ_{Tm} scarto della media annua della temperatura minima dal corrispondente valore medio [°C]

PP media annua della precipitazione totale per provincia [mm]

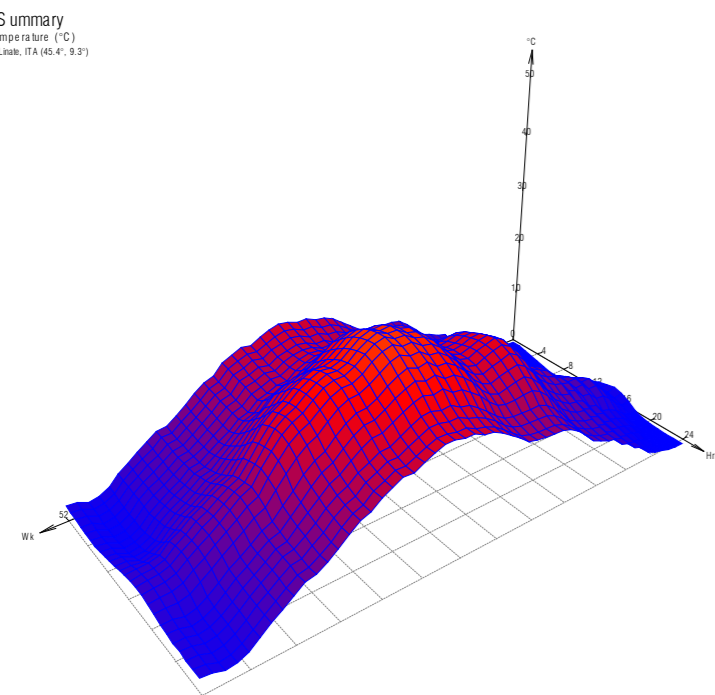
σ_{PP} scarto della media annua della precipitazione totale dal corrispondente valore medio [mm]

V velocità media annuale del vento [km/h]

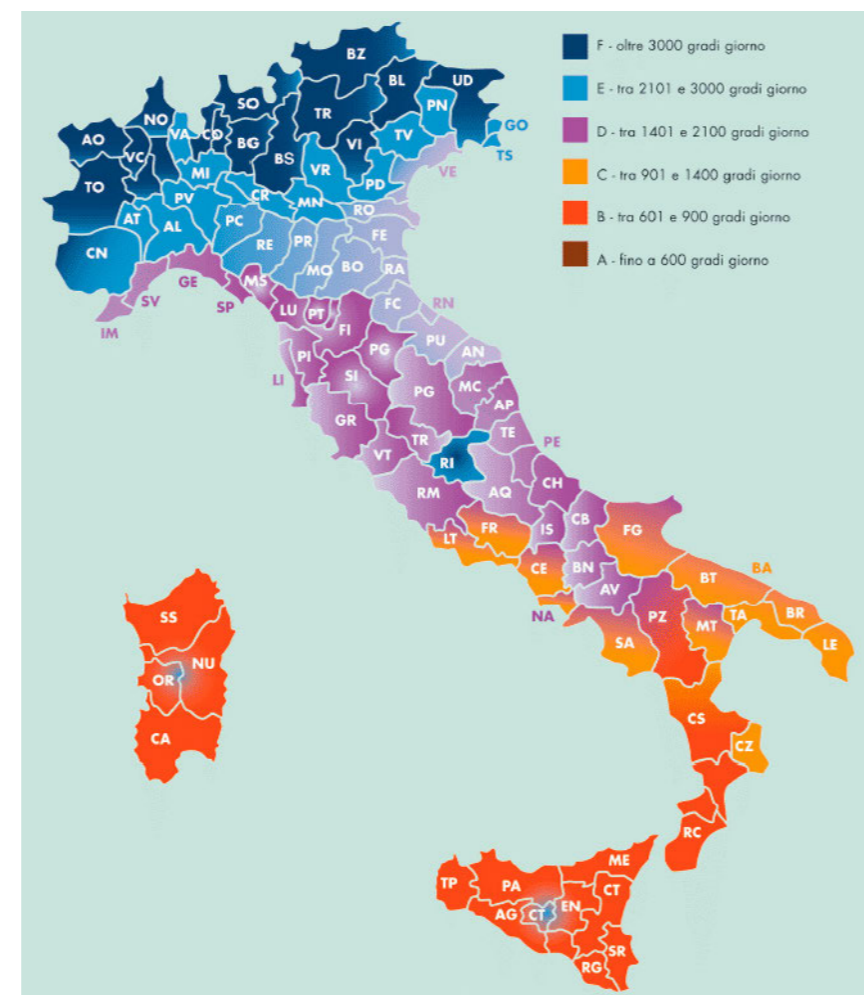
E escursione termica media annua della temperatura [°C]

σ_E scarto dell'escursione termica media annua della temperatura dal corrispondente valore medio [°C]

Weekly Summary
Average Temperature (°C)
Location: Milano-Linak, ITA (45.4°, 9.3°)
© Weather Tool



Di seguito è riportata la mappa climatica italiana estrapolata dal DLGS 29-12-2006 n.311 che mostra la suddivisione in province del territorio italiano definendo le zone climatiche in funzione dei gradi giorno.



Inoltre, in riferimento al DPR 26-8-1993 n. 412 'Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n.10' è possibile ricavare, per ogni località, il valore dei gradi giorno (definito come: la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20 C° e la temperatura media esterna giornaliera; l'unità di misura utilizzata è il grado giorno) e conseguentemente la zona climatica.

| Località | Gradi Giorno | Zona Climatica | Periodo annuale di riscaldamento | Durata giornaliera di attivazione |
|----------|--------------|----------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Milano | 2404 | E | 15 ott - 15 apr | 14 h (lim max) |

L'Art. 3 (Classificazione generale degli edifici per categorie) stabilisce che gli edifici sono classificati in base alla loro destinazione d'uso da cui si ricavano le categorie prevalenti:

- E.1 Edifici adibiti a residenza e assimilabili
 - E.1 (1) abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, collegi, conventi, case di pena, caserme
 - E.1 (2) abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria, quali case per vacanze, fine settimana e simili
 - E.1 (3) edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari
- E.2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili: pubblici o privati, indipendenti o contigui a costruzioni adibite anche ad attività industriali o artigianali, purché siano da tali costruzioni scorporabili agli effetti dell'isolamento termico
- E.3 Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili ivi compresi quelli adibiti a ricovero o cura di minori o anziani nonché le strutture protette per l'assistenza ed il recupero dei tossico-dipendenti e di altri sog-

- getti affidati a servizi sociali pubblici
- E.4 Edifici adibiti ad attività ricreative, associative o di culto e assimilabili
 - E.4 (1) quali cinema e teatri, sale di riunione per congressi
 - E.4 (2) quali mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto
 - E.4 (3) quali bar, ristoranti, sale da ballo
- E.5 Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili: quali negozi, magazzini di vendita all'ingrosso o al minuto, supermercati, esposizioni
- E.6 Edifici adibiti ad attività sportive:
 - E.6 (1) piscine, saune e assimilabili
 - E.6 (2) palestre e assimilabili
 - E.6 (3) servizi di supporto alle attività sportive
- E.7 Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
- E.8 Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili

1.5.2 ENERGIA RADIANTE

L'energia radiante è l'energia emessa, trasportata o ricevuta in forma di onde elettromagnetiche.

L'energia irradiata dal sole deriva dai processi di fusione termo-nucleare dell'idrogeno al suo interno. L'energia solare si propaga simmetricamente nello spazio fino ad investire la terra, in particolare la fascia esterna della atmosfera terrestre. La potenza irradiata complessivamente dal sole è pari ad oltre 60.000 kW/m². La potenza disponibile decresce via via che aumenta la distanza dal sole, e dopo aver percorso i circa 150 milioni di km che separano la terra dal sole assume un valore molto più ridotto, di poco superiore ad 1,35 kW/m². Tale valore assume il nome di costante solare, che si assume

pari a 1,367 kW/m² (valore medio di riferimento).

Sulla superficie terrestre si registra un valore della potenza inferiore rispetto alla costante solare, a causa dei fenomeni di assorbimento e riflessione che hanno luogo nel percorso attraverso l'atmosfera. Sia nelle normative di riferimento che nella pratica impiantistica, il valore massimo della radiazione disponibile istantaneamente al suolo si assume pari a circa 1 kW/m². La radiazione solare che raggiunge la superficie terrestre si distingue in: radiazione diretta, radiazione diffusa e radiazione riflessa. La radiazione diretta colpisce una qualsiasi superficie con un unico e ben definito angolo d'incidenza. La radiazione diffusa incide invece su tale superficie con vari angoli. Una superficie inclinata, può ricevere, inoltre, la radiazione riflessa dal terreno o da specchi d'acqua o da altre superfici (es. pareti di edifici adiacenti). Tale contributo si chiama albedo e deve essere valutato con attenzione. Se chiamiamo ID la radiazione diretta, IS quella diffusa ed R l'albedo, allora si ha che la radiazione solare totale che incide su una superficie è:

$$I_{tot} = I_D + I_S + R$$

È banale ricordare come l'inclinazione e l'orientamento della superficie siano molto importanti: una superficie orizzontale riceve la massima radiazione diffusa e la minima riflessa; la componente riflessa aumenta al crescere dell'inclinazione.

IRRADIAZIONE SOLARE GIORNALIERA MEDIA MENSILE SUL PIANO ORIZZONTALE

L'irradiazione è il rapporto tra l'energia radiante che incide su una superficie e l'area della medesima superficie misurata in MJ/m².

I principali valori sono:

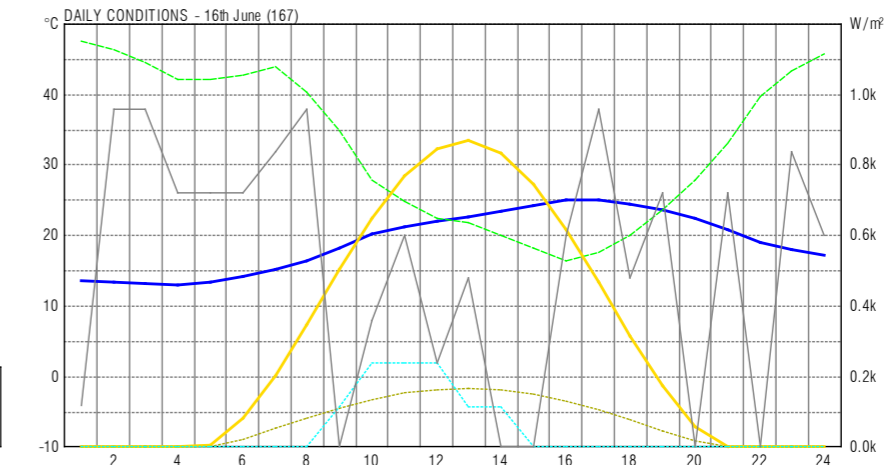
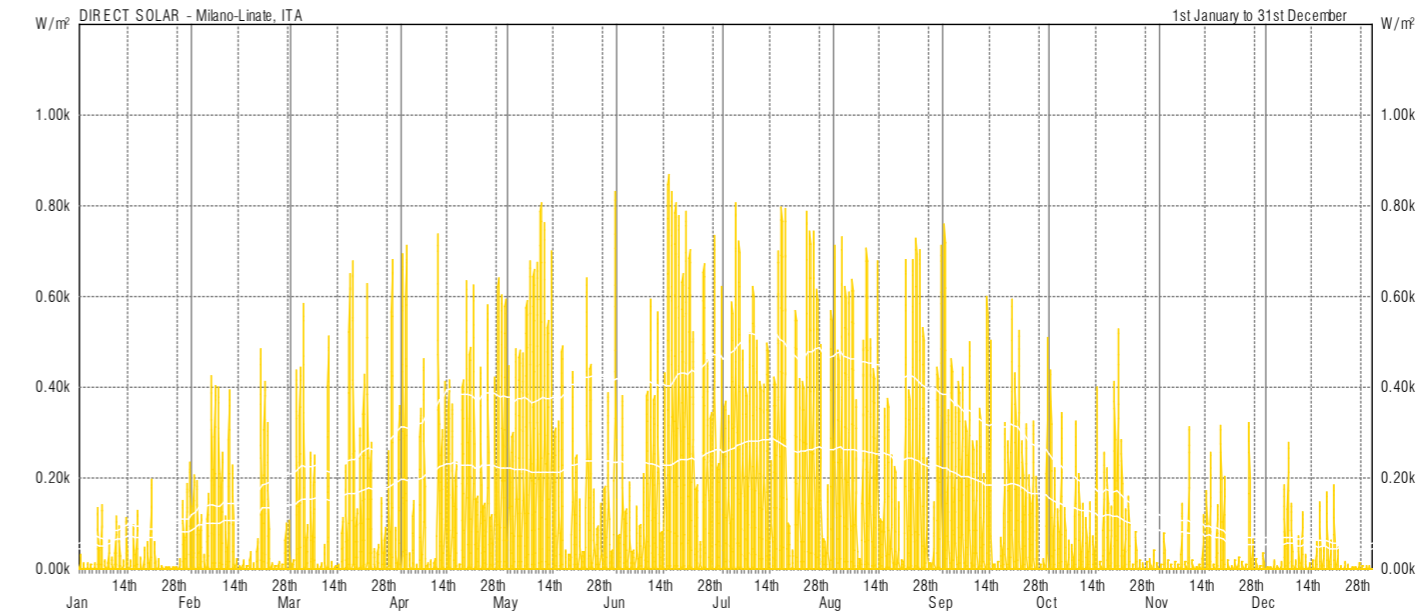
- \bar{H} irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale
- \bar{H}_{bh} irradiazione solare giornaliera media mensile diretta sul piano orizzontale
- \bar{H}_{dh} irradiazione solare giornaliera media mensile diffusa sul piano orizzontale

$$\bar{H} = \bar{H}_{r1} + \frac{\bar{H}_{r2} - \bar{H}_{r1}}{\varphi_{r2} - \varphi_{r1}}(\varphi - \varphi_{r1})$$

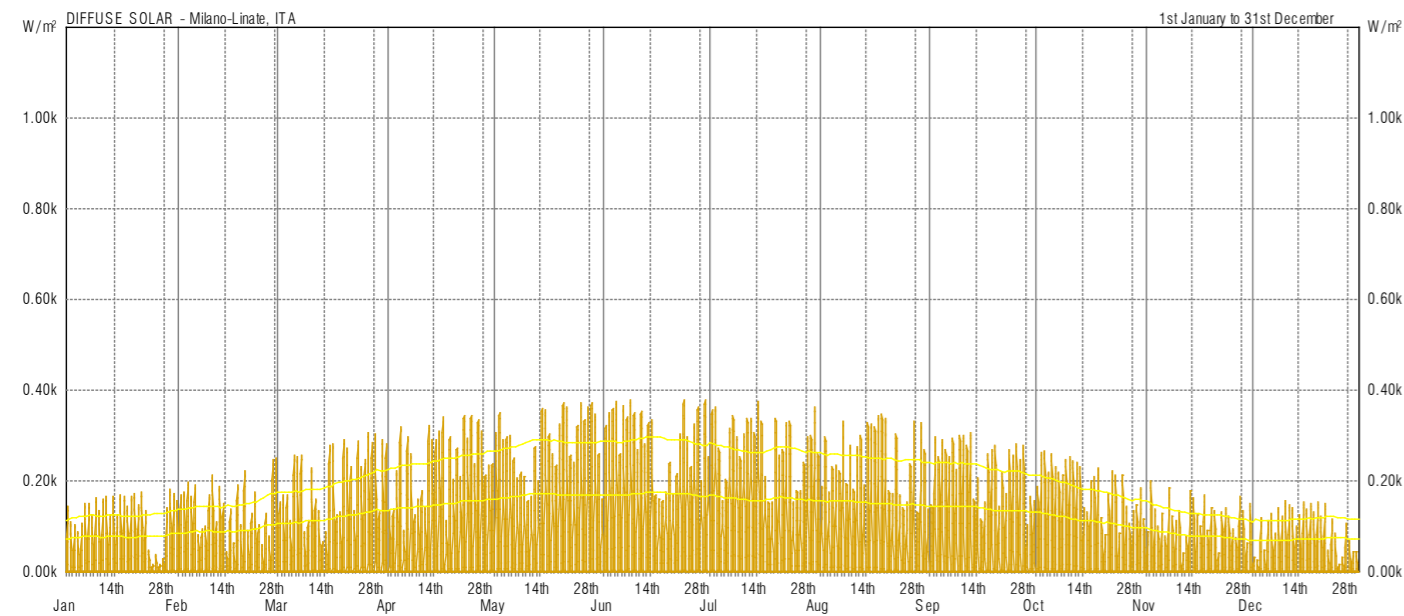
- \bar{H}_{r1} è l'irradiazione solare nella prima località di riferimento
- \bar{H}_{r2} è l'irradiazione solare nella seconda località di riferimento
- φ è la latitudine della prima località di riferimento
- φ_{r1} è la latitudine della seconda località di riferimento
- φ_{r2} è la latitudine della località considerata

I valori dell'irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale per i capoluoghi di provincia sono riportati nel Prospetto VIII della norma UNI 10349.

| Milano | MESE | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
| \bar{H}_{dh} | 2,3 | 3,5 | 5,1 | 6,7 | 7,9 | 8,3 | 7,5 | 6,9 | 5,6 | 3,9 | 2,5 | 2 |
| \bar{H}_{bh} | 1,5 | 3,2 | 5,6 | 9,8 | 12,1 | 13,9 | 16,5 | 12,5 | 8,4 | 4,5 | 1,9 | 1,3 |
| \bar{H}_{TOT} | 3,8 | 6,7 | 10,7 | 16,5 | 20 | 22,2 | 24 | 19,4 | 14 | 8,4 | 4,4 | 3,3 |



Radiazione solare diretta sul piano orizzontale riferita al sito di progetto.



IRRADIAZIONE SOLARE GIORNALIERA MEDIA MENSILE SUL PIANO VERTICALE

Sempre secondo la Norma UNI 10349 sono riportati nei prospetti IX, X, XI, XII e XIII, rispetto all'orientazione della superficie e per ogni mese dell'anno, i valori di irradiazione solare giornaliera media mensile su superficie verticale.

| Milano | MESE | | | | | | | | | | | |
|--------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
| S | 6 | 8,7 | 11,2 | 10,9 | 10 | 9,8 | 10,8 | 11,3 | 11,8 | 10,3 | 6,7 | 5,4 |
| SO-SE | 4,8 | 7,3 | 10,6 | 12,1 | 12,3 | 12,5 | 14 | 13,3 | 11,8 | 8,9 | 5,4 | 4,3 |
| E-O | 2,9 | 5,1 | 8,5 | 11,4 | 13,2 | 14,4 | 15,8 | 13,2 | 10,1 | 6,4 | 3,4 | 2,6 |
| NO-NE | 1,6 | 2,9 | 5,3 | 8,2 | 10,7 | 12,2 | 12,8 | 9,8 | 6,5 | 3,6 | 1,9 | 1,4 |
| N | 1,5 | 2,4 | 3,7 | 5,4 | 7,8 | 9,4 | 9,2 | 6,4 | 4,2 | 2,8 | 1,7 | 1,3 |

I valori massimi di irradiazione cambiano l'orientamento nel corso dell'anno. Mentre da ottobre a marzo l'irradiazione massima è diretta sulle superfici verticali orientate a sud, durante i mesi di maggio, giugno e luglio l'irradiazione massima è assorbita dalle superfici orientate ad est e ad ovest. Inoltre si può notare che le superfici esposte a nord sono quelle che ricevono un'irradiazione solare globale giornaliera inferiore a quelle di tutte le altre superfici, in qualsiasi mese dell'anno.

IRRADIANZA SOLARE ESTIVA MASSIMA: DISTRIBUZIONE GIORNALIERA

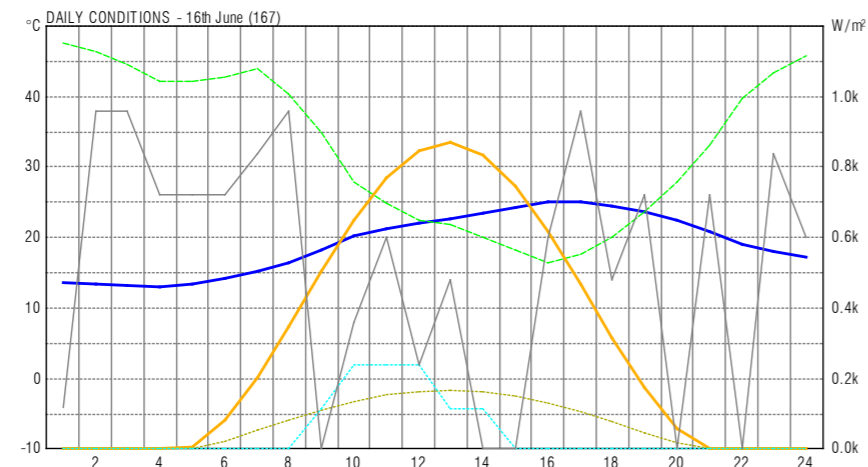
Per calcolare l'irradianza solare massima estiva incidente su una certa superficie verticale, ad una specifica ora del giorno, bisogna conoscere la latitudine della località in esame per interpolare linearmente con i valori relativi alle latitudini tabulate. Le coordinate geografiche della città di Milano sono, secondo il Prospetto VII della norma UNI 10349:

- altitudine 122 m.s.l.m.
- latitudine 45° 28' 38" N
- longitudine 09° 10' 53" E

I prospetti XVII, XVIII, XIX e XX riportano rispettivamente i valori: dell'irradianza solare massima estiva incidente su superfici verticali diversamente orientate e sul piano orizzontale in funzione delle ore del giorno e della latitudine; dell'irradianza solare massima estiva trasmessa attraverso vetro semplice, sia disposto verticalmente e diversamente orientato sia disposto orizzontalmente in funzione delle ore del giorno e della latitudine; dell'angolo d'incidenza dell'irradianza solare massima estiva; dell'altezza solare ed azimutale in funzione delle ore del giorno e della latitudine relativi all'irradianza solare massima; dell'angolo d'incidenza solare in funzione delle ore del giorno e della latitudine relativo all'irradianza solare massima; dell'angolo di altezza solare ed azimutale massimo estivo.

Questi valori sono esplicitati per le latitudini 46°, 44°, 42°, 40° e 38°. Quindi per trovare i valori d'irradianza a Milano, dobbiamo calcolarli con i valori stabiliti per le latitudini 46° e 44°, interpolando con la formula:

$$I_T(\varphi_{Milano}) = I_T(\varphi_{r1}) + \frac{I_T(\varphi_{r2}) - I_T(\varphi_{r1})}{\varphi_{r2} - \varphi_{r1}} (\varphi_{Milano} - \varphi_{r1})$$



| LEGEND | |
|---------------|---------------|
| Temperature | Direct Solar |
| Rel. Humidity | Diffuse Solar |
| Wind Speed | Cloud Cover |

Radiazione solare diffusa sul piano orizzontale riferita al sito di progetto.

- IT è l'irradianza solare massima relativa ad una superfce di orientamento T
- Φ è la latitudine della località in esame
- Φ_{r1} è la latitudine riportata nel Prospetto XVII ubito più grande della località
- $IT_{(\varphi r1)}$ è l'irradianza solare massima relativa alla superfce di orientamento T rilevata dal prospetto XVII per la latitudine φ_{r1}
- Φ_{r2} è la latitudine riportata in prospetto XVII subito più piccola della località
- $IT_{(\varphi r2)}$ è l'irradianza solare massima relativa alla superfce di orientamento T rilevata dal prospetto XVII per la latitudine φ_{r2}

Di seguito sono riportati i valori espressi in W/m² ottenuti considerando la posizione di Milano.

| Ora | S | S-E | E | N-E | N | N-O | O | S-O | Diffusa | Orizzontale |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-------------|
| 5 | 11 | 58 | 137 | 143 | 71 | 11 | 11 | 11 | 11 | 30 |
| 6 | 50 | 312 | 562 | 511 | 192 | 50 | 50 | 50 | 50 | 198 |
| 7 | 86 | 509 | 750 | 595 | 147 | 79 | 79 | 79 | 79 | 381 |
| 8 | 177 | 631 | 764 | 536 | 109 | 102 | 102 | 102 | 102 | 552 |
| 9 | 321 | 679 | 713 | 402 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 698 |
| 10 | 439 | 655 | 568 | 234 | 133 | 133 | 133 | 140 | 133 | 810 |
| 11 | 515 | 576 | 347 | 148 | 141 | 141 | 141 | 250 | 141 | 881 |
| 12 | 541 | 427 | 156 | 144 | 144 | 144 | 156 | 427 | 144 | 909 |
| 13 | 515 | 250 | 141 | 141 | 141 | 146 | 347 | 567 | 141 | 881 |
| 14 | 439 | 140 | 133 | 133 | 133 | 234 | 568 | 655 | 133 | 810 |
| 15 | 321 | 120 | 120 | 120 | 120 | 402 | 713 | 679 | 120 | 698 |
| 16 | 177 | 102 | 102 | 102 | 109 | 536 | 764 | 631 | 102 | 552 |
| 17 | 86 | 79 | 79 | 79 | 147 | 595 | 750 | 509 | 79 | 381 |
| 18 | 50 | 50 | 50 | 50 | 192 | 511 | 562 | 312 | 50 | 198 |
| 19 | 11 | 11 | 11 | 11 | 71 | 143 | 137 | 56 | 11 | 30 |

I prospetti XIX e XX riportano i valori dell'angolo d'incidenza dell'irradiazione solare massima estiva e l'angolo di altezza solare ed azimutale massimo estivo, in funzione dell'ora del giorno e della latitudine. Siccome la latitudine di Milano è 45°28'38", cioè quasi 46°, riportiamo soltanto i valori esplicitati dalla norma per la latitudine 46°.

| Ora | S | S-E | E | N-E | N | N-O | O | S-O | Orizzontale |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| 5 | 90° | 70,5° | 26,0° | 20,3° | 64,7° | 90° | 90° | 90° | 64,5° |
| 6 | 90° | 61,4° | 21,5° | 33,1° | 75,2° | 90° | 90° | 90° | 74,7° |
| 7 | 90° | 54,7° | 26,0° | 46,1° | 85,3° | 90° | 90° | 90° | 64,5° |
| 8 | 85,4° | 51,2° | 36,3° | 59,1° | 90° | 90° | 90° | 90° | 54,1° |
| 9 | 77,4° | 51,7° | 48,7° | 71,9° | 90° | 90° | 90° | 90° | 43,9° |
| 10 | 71,1° | 56,1° | 62,3° | 84,3° | 90° | 90° | 90° | 90° | 34,5° |
| 11 | 66,9° | 63,4° | 76,1° | 90° | 90° | 90° | 90° | 83,9° | 27,4° |
| 12 | 65,5° | 72,9° | 90° | 90° | 90° | 90° | 90° | 72,9° | 24,9° |
| 13 | 66,9° | 83,9° | 90° | 90° | 90° | 90° | 76,1° | 63,5° | 27,4° |
| 14 | 71,1° | 90° | 90° | 90° | 90° | 84,3° | 62,3° | 56,1° | 34,5° |
| 15 | 77,4° | 90° | 90° | 90° | 90° | 71,9° | 48,9° | 51,7° | 43,9° |
| 16 | 85,6° | 90° | 90° | 90° | 90° | 59,1° | 36,3° | 51,3° | 54,1° |
| 17 | 90° | 90° | 90° | 90° | 85,3° | 46,1° | 26,1° | 54,7° | 64,5° |
| 18 | 90° | 90° | 90° | 90° | 72,5° | 33,0° | 21,5° | 61,5° | 74,7° |
| 19 | 90° | 90° | 90° | 90° | 64,7° | 20,5° | 26,1° | 70,6° | 84,5° |

| Ora | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Altezza solare | 5,5 | 15,3 | 25,5 | 35,9 | 46,1 | 55,4 | 62,6 | 65,5 |
| Altezza azimutale | 115,5 | 105,3 | 95,2 | 84,3 | 71,6 | 55,1 | 31,5 | 0 |

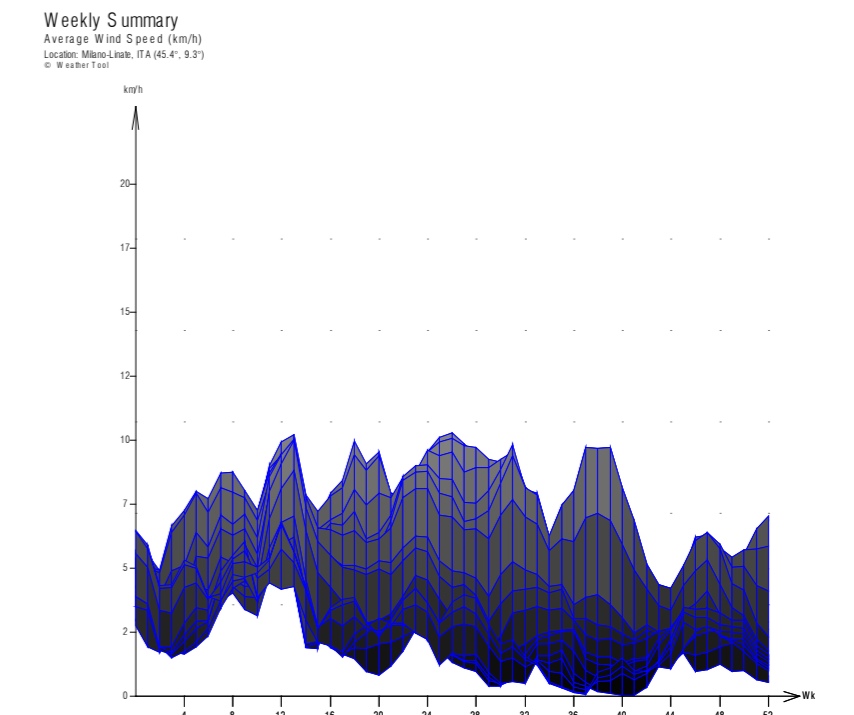
1.5.3 PRECIPITAZIONI

La normativa UNI 10349 non fornisce alcun tipo di valore relativo alla distribuzione e intensità degli eventi meteorici in Italia. Sono stati quindi analizzati i dati d'archivio dell'ISTAT in modo da definire un quadro generale delle precipitazioni registrate a Milano dal 2000 al 2009.

| | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|--------------------------------------|---------|------|------|-----------|------|------|--------|------|------|---------|------|------|
| Precipitazioni medie mensili [mm] | 27,1 | 22,4 | 29,6 | 54,1 | 56,2 | 32,3 | 41,2 | 57,7 | 48,7 | 49 | 88,3 | 22,9 |
| Giorni con idrometeora [gg] | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 7 | - | - | - | 8 | 14 | 5 |
| | Inverno | | | Primavera | | | Estate | | | Inverno | | |
| Precipitazioni medie stagionali [mm] | 26,4 | | | 47,5 | | | 49,2 | | | 53,4 | | |
| Precipitazioni medie annua [mm] | 884,1 | | | | | | | | | | | |

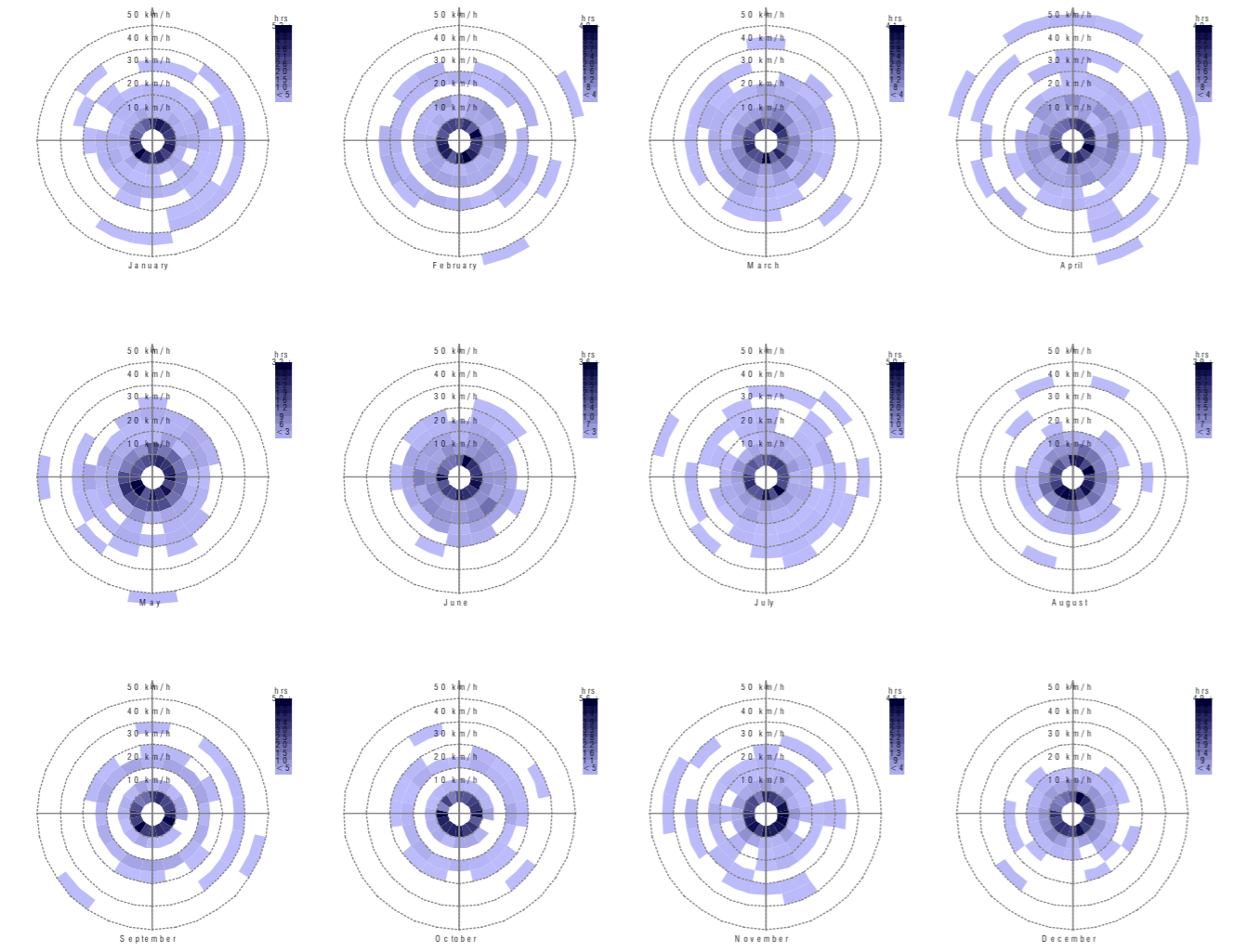
1.5.4 VENTO

Come per le precipitazioni, anche per i venti non esiste alcuna normativa di riferimento. Sono in seguito riportati i grafici estrapolati dal software Ecotect, che mostrano l'andamento annuale, mensile e giornaliero della velocità del vento relativo al sito di progetto.



Prevailing Winds

Wind Frequency (Hrs)
 Location: Milano-Linate, ITA (45.4°, 9.3°)
 Date: 1st January - 31st December
 Time: 00:00 - 24:00

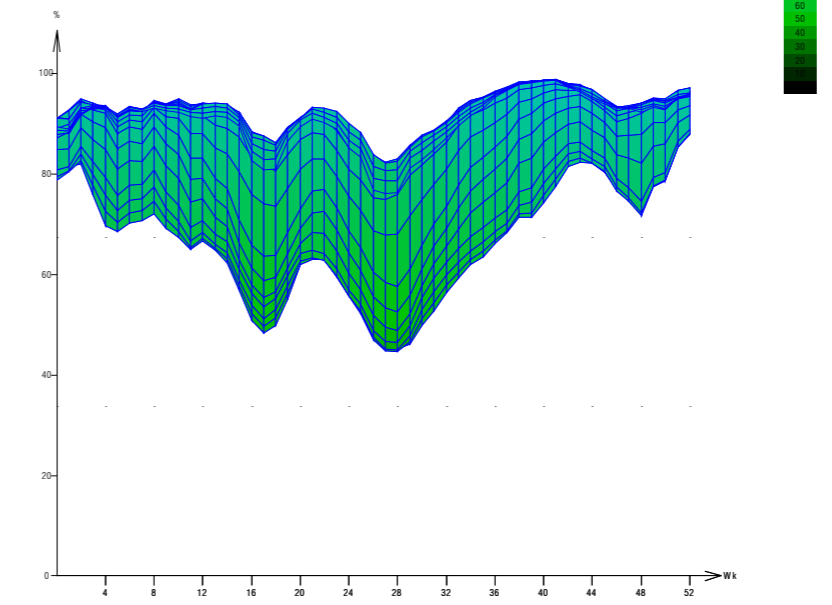


1.5.5 UMIDITÀ

Il problema del controllo dell'umidità relativa (UR) è correlato al percezione dell'uomo delle sensazioni di caldo o freddo. In condizioni di umidità relativa superiore al 70%, l'ambiente riduce la capacità di accumulare il sudore emesso dal corpo umano, impendendo il meccanismo naturale di regolazione della temperatura corporea, quindi accentuando la sensazione di caldo; al contrario, in una condizione di umidità relativa inferiore al 20%, le membrane mucose si seccano, aumentando le possibilità di infezione. Vengono inseguito riportati gli andamenti della UR, relativi al sito di progetto.

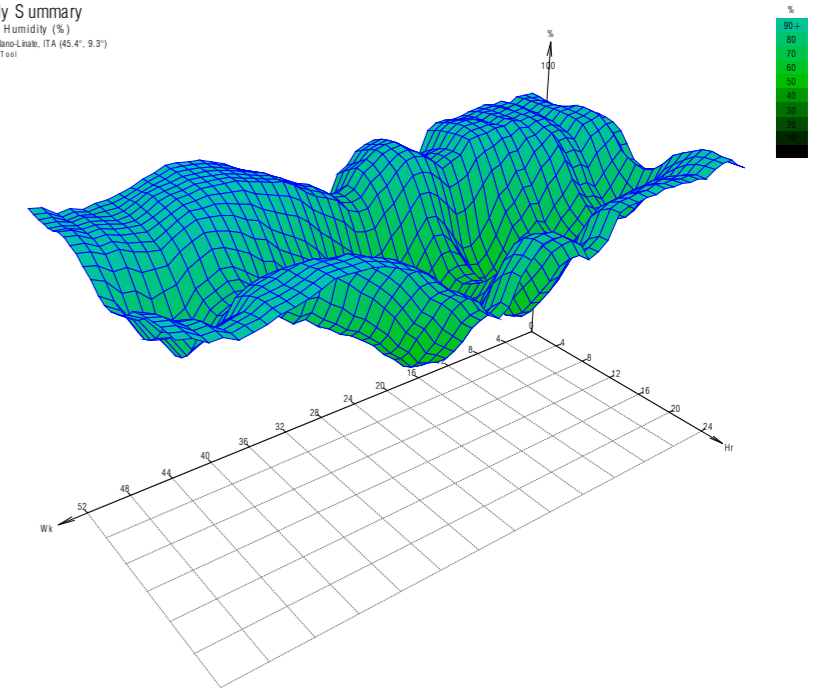
Weekly Summary

Relative Humidity (%)
 Location: Milano-Linate, ITA (45.4°, 9.3°)
 © Weather Tool



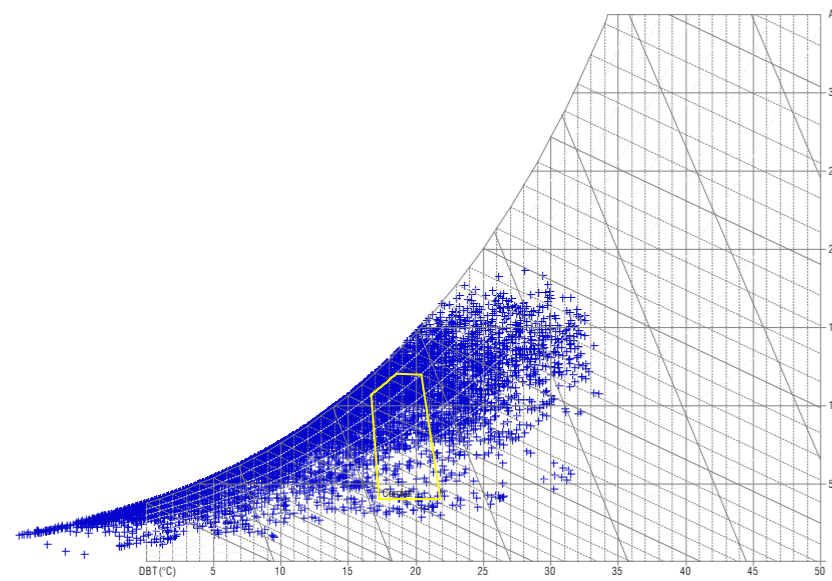
Weekly Summary

Relative Humidity (%)
 Location: Milano-Linate, ITA (45.4°, 9.3°)
 © Weather Tool



Psychrometric Chart

Location: Milano-Linate, ITA
 Date Points: 1st January to 31st December
 Weekday Times: 00:00-24:00 Hrs
 Weekend Times: 00:00-24:00 Hrs
 Barometric Pressure: 101.36 kPa
 © Weather Tool



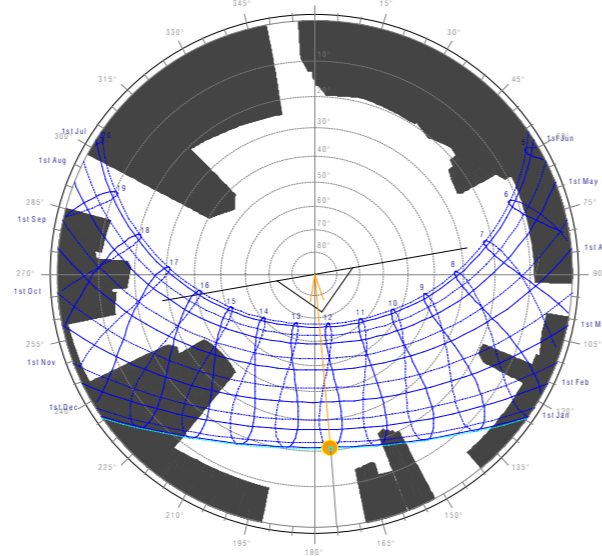
1.5.6 OMBREGGIAMENTI

In quanto il progetto è calato in un contesto caratterizzato da edifici alquanto alti, è stato utile, al fine di una progettazione intelligente delle aperture e dell'inserimento dei sistemi di oscuramento, valutare le ombre che il contesto proietta durante l'arco della giornata, e come questo varia nel corso dell'anno. Per fare ciò si è ricorsi nuovamente al software Ecotect.

Per la maggior parte delle ore il sito non risulta in ombra. Gli edifici che incidono maggiormente sull'ombreggiamento del parco sono la Torre Solaria e la Torre Aria e la Torre Unicredit.

Stereographic Diagram

Location: 45.4°, 9.3°
 Obj 2908 Orientation: 169.9°, -90.0°
 Sun Position: 175.0°, 21.0°
 HSA: 5.1°
 VSA: 21.0°

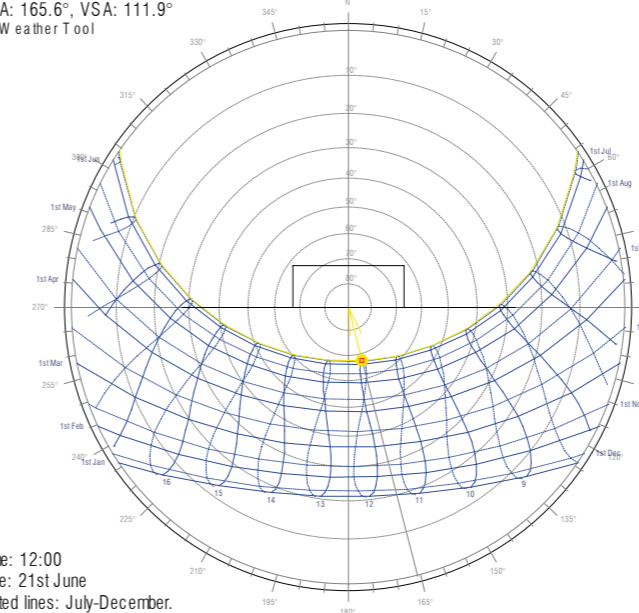


Time: 12:00
 Date: 21st Dec (355)
 Dotted lines: July-December.

Cammino solare solstizio d'estate. E tabella riassuntiva dei vari angoli d'inclinazione solare.

Stereographic Diagram

Location: Milano-Linate, ITA
 Sun Position: 165.6°, 67.5°
 HSA: 165.6°, VSA: 111.9°
 © Weather Tool



Time: 12:00
 Date: 21st June
 Dotted lines: July-December.

Tabulated Daily Solar Data

Latitude: 45.4°
 Longitude: 9.3°
 Timezone: 15.0° [+1.0hrs]
 Orientation: 0.0°

Date: 21st June
 Julian Date: 172
 Sunrise: 04:40
 Sunset: 20:08

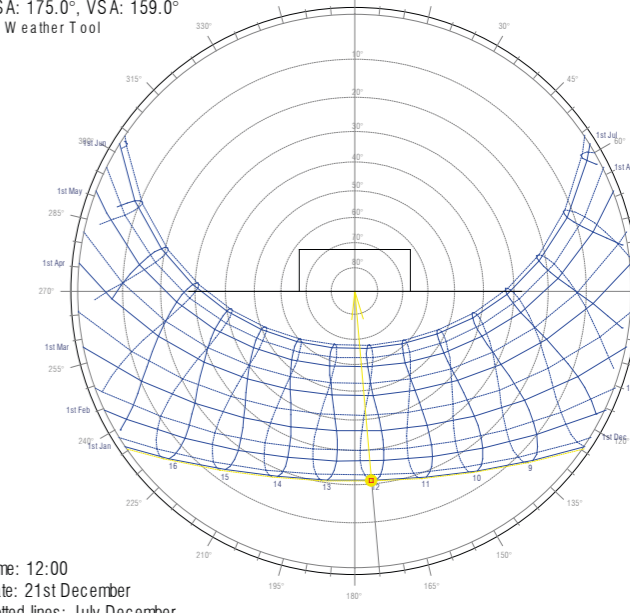
Local Correction: -24.4 mins
 Equation of Time: -1.6 mins
 Declination: 23.4°

| Local | (Solar) | Azimuth | Altitude | HSA | VSA |
|-------|---------|---------|----------|---------|--------|
| 05:00 | (04:35) | 59.0° | 2.9° | 59.0° | 5.7° |
| 05:30 | (05:05) | 64.1° | 7.6° | 64.1° | 16.9° |
| 06:00 | (05:35) | 69.1° | 12.4° | 69.1° | 31.6° |
| 06:30 | (06:05) | 74.0° | 17.4° | 74.0° | 48.6° |
| 07:00 | (06:35) | 78.9° | 22.5° | 78.9° | 65.1° |
| 07:30 | (07:05) | 83.9° | 27.7° | 83.9° | 78.5° |
| 08:00 | (07:35) | 89.0° | 33.0° | 89.0° | 88.5° |
| 08:30 | (08:05) | 94.5° | 38.2° | 94.5° | 95.6° |
| 09:00 | (08:35) | 100.4° | 43.5° | 100.4° | 100.8° |
| 09:30 | (09:05) | 107.0° | 48.6° | 107.0° | 104.5° |
| 10:00 | (09:35) | 114.7° | 53.5° | 114.7° | 107.2° |
| 10:30 | (10:05) | 123.8° | 58.1° | 123.8° | 109.1° |
| 11:00 | (10:35) | 135.0° | 62.2° | 135.0° | 110.5° |
| 11:30 | (11:05) | 148.8° | 65.4° | 148.8° | 111.4° |
| 12:00 | (11:35) | 165.3° | 67.5° | 165.3° | 111.8° |
| 12:30 | (12:05) | -176.6° | 68.0° | -176.6° | 112.0° |
| 13:00 | (12:35) | -158.8° | 66.9° | -158.8° | 111.7° |
| 13:30 | (13:05) | -143.3° | 64.3° | -143.3° | 111.1° |
| 14:00 | (13:35) | -130.5° | 60.7° | -130.5° | 110.0° |
| 14:30 | (14:05) | -120.2° | 56.4° | -120.2° | 108.5° |
| 15:00 | (14:35) | -111.7° | 51.7° | -111.7° | 106.3° |
| 15:30 | (15:05) | -104.4° | 46.7° | -104.4° | 103.2° |
| 16:00 | (15:35) | -98.1° | 41.5° | -98.1° | 99.1° |
| 16:30 | (16:05) | -92.4° | 36.3° | -92.4° | 93.2° |
| 17:00 | (16:35) | -87.0° | 31.0° | -87.0° | 85.1° |
| 17:30 | (17:05) | -82.0° | 25.8° | -82.0° | 73.9° |
| 18:00 | (17:35) | -77.0° | 20.6° | -77.0° | 59.2° |
| 18:30 | (18:05) | -72.2° | 15.5° | -72.2° | 42.2° |
| 19:00 | (18:35) | -67.2° | 10.6° | -67.2° | 25.7° |
| 19:30 | (19:05) | -62.2° | 5.8° | -62.2° | 12.3° |
| 20:00 | (19:35) | -57.0° | 1.3° | -57.0° | 2.3° |

Cammino solare solstizio d'inverno. E tabella riassuntiva dei vari angoli d'inclinazione solare.

Stereographic Diagram

Location: Milano-Linate, ITA
 Sun Position: 175.0°, 21.0°
 HSA: 175.0°, VSA: 159.0°
 © Weather Tool



Time: 12:00
 Date: 21st December
 Dotted lines: July-December.

Tabulated Daily Solar Data

Latitude: 45.4°
 Longitude: 9.3°
 Timezone: 15.0° [+1.0hrs]
 Orientation: 0.0°

Date: 21st December
 Julian Date: 355
 Sunrise: 08:05
 Sunset: 16:36

Local Correction: -20.7 mins
 Equation of Time: 2.1 mins
 Declination: -23.5°

| Local | (Solar) | Azimuth | Altitude | HSA | VSA |
|-------|---------|---------|----------|---------|--------|
| 08:30 | (08:09) | 129.1° | 3.5° | 129.1° | 174.5° |
| 09:00 | (08:39) | 134.7° | 7.4° | 134.7° | 169.5° |
| 09:30 | (09:09) | 140.7° | 10.9° | 140.7° | 166.0° |
| 10:00 | (09:39) | 147.0° | 14.1° | 147.0° | 163.4° |
| 10:30 | (10:09) | 153.6° | 16.7° | 153.6° | 161.5° |
| 11:00 | (10:39) | 160.5° | 18.7° | 160.5° | 160.2° |
| 11:30 | (11:09) | 167.6° | 20.2° | 167.6° | 159.4° |
| 12:00 | (11:39) | 174.9° | 21.0° | 174.9° | 159.0° |
| 12:30 | (12:09) | -177.7° | 21.1° | -177.7° | 158.9° |
| 13:00 | (12:39) | -170.4° | 20.5° | -170.4° | 159.2° |
| 13:30 | (13:09) | -163.2° | 19.3° | -163.2° | 159.9° |
| 14:00 | (13:39) | -156.2° | 17.5° | -156.2° | 161.0° |
| 14:30 | (14:09) | -149.5° | 15.1° | -149.5° | 162.6° |
| 15:00 | (14:39) | -143.1° | 12.2° | -143.1° | 164.9° |
| 15:30 | (15:09) | -137.0° | 8.8° | -137.0° | 168.0° |
| 16:00 | (15:39) | -131.2° | 5.0° | -131.2° | 172.4° |
| 16:30 | (16:09) | -125.7° | 0.9° | -125.7° | 178.5° |

PARTE 2

PROGETTO ARCHITETTONICO

- 2.1 ANALISI DEL BANDO DI CONCORSO
- 2.2 ANALISI LOTTO ED EVOLUZIONE VOLUMETRICA
- 2.3 ORGANIZZAZIONE FUNZIONALE
- 2.4 PIANTE ARCHITETTONICHE
- 2.5 SEZIONI ARCHITETTONICHE
- 2.6 CONCEPT DELLE FACCIATE
- 2.7 PROSPETTI ARCHITETTONICI
- 2.8 RIFERIMENTI PROGETTUALI

2.1 ANALISI DEL BANDO DI CONCORSO

Come anticipato nel primo capitolo delle analisi, il bando di concorso include, oltre a vincoli su metrature e numero di piani, anche l'elenco delle funzioni che devono essere inserite all'interno del centro civico. Per evitare ridondanze e dissonanze con ciò che già offrono le strutture e le associazioni dell'intorno, abbiamo effettuato una ricerca per verificare quelle effettivamente già presenti. Sono emersi da questa analisi: l'Isola Art Center; Il Circolo Arci Metissage, il quale organizza corsi di disegno, laboratori di scrittura, corsi di tango e musica per bambini, e ha al suo interno spazi per anziani e per stranieri; la Fondazione Catella che si occupa della sostenibilità nello sviluppo del territorio; l'Incubatore per l'Arte, che accorpa 9 differenti associazioni, tra cui l'Associazione Italiana Agricoltura Biologica.

La nostra volontà è stata, alla luce di questa analisi, di dare una caratterizzazione al Centro Civico, pur sempre inserendo la maggior parte delle richieste del bando. Volevamo, inoltre, che questa caratterizzazione avesse una relazione con il numero 4, numero civico di quella che era la preesistenza in quel lotto. L'idea che è nata è stata quella di creare il *civico4LAB*: un centro civico *for laboratories* in cui fossero inseriti 4 *laboratori* tematici, quali cucito, fai da te, cucina e agricoltura BIO.

Ad ogni laboratorio è stata destinata un'aula accessoriata. Inoltre a quello di agricoltura BIO è stato dedicato un apposito spazio esterno al terzo piano in cui sono presenti piccole vasche-orti, e spazio esterno al piano terra di veri e propri orti recintati, per permettere la loro chiusura serale.

Le altre funzioni inserite sono: caffetteria; auditorium; scacchiera all'aperto; parete per arrampicata; area ludico-ricreativa; sale prova; aule studio; spazi

per le associazioni; spazio ricreativo-artistico per bambini MUBA; aula studio; spazio di book-crossing; postazioni multimediali e di accesso ad internet.

Rispetto quanto indicato dal bando, la nostra decisione è stata quella di espanderci sul lotto adiacente. La metratura a disposizione era limitata già solo considerando le richieste comunali. Il tutto è stato fatto nel rispetto sia dei cerchi di alberi presenti nel progetto del parco sia degli assi di penetrazione. In particolare, uno degli assi è come se forasse il volume dell'edificio e creasse una piazza al coperto.

Ogni piano dell'edificio, come indicato, è indipendente l'uno dall'altro: i piani sono collegati tra di loro attraverso due blocchi scala con porta REI di accesso ad ogni piano. Inoltre, essendo presenti due blocchi scala asimmetrici, è possibile eventualmente chiudere una delle due parti dell'edificio.

RICHIESTE DEL BANDO

- INDIPENDENZA DELLE DIVERSE FUNZIONI
- SPAZI FLESSIBILI
- ECO-SOSTENIBILITÀ
- FUNZIONI RICHIESTE



Sale prove e ascolto musica



Sale lettura, consultazione telematica e multimediale



Sale di riproduzione video



Punto ristoro



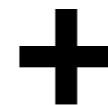
Spazi per associazioni di quartiere



Uffici per la gestione e spazi di servizio



Sale per piccoli concerti, riproduzione video e conferenze



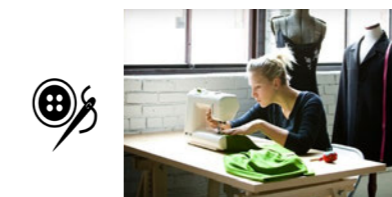
VOLONTÀ PROGETTUALI

DARE UNA CARATTERIZZAZIONE FUNZIONALE AL PROGETTO IN RELAZIONE ALL'ANALISI DELL'INTORNO

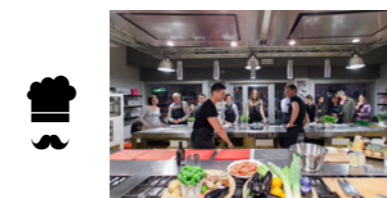
Laboratorio di agricoltura BIO



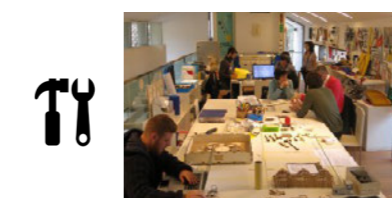
Laboratorio di cucito



Laboratorio di cucina



Laboratorio di fai-da-te



Spazio ricreativo-artistico bambini: MUBA



civico4LAB

2.2 ANALISI LOTTO ED EVOLUZIONE VOLUMETRICA

Oltre ad una analisi dell'intorno, presente nel Blocco 1, è stata svolta un'analisi sul lotto di progetto. Questo nasce dall'intersezione tra i percorsi del progetto del parco "La Biblioteca degli Alberi". Di questi percorsi, sono stati evidenziati quelli importanti per il nostro caso specifico, dividendoli in principali e secondari, in relazione a quella che sarà la loro larghezza effettiva, 5 metri e 2,5 metri.

Dall'incrocio tra un asse principale e uno secondario, adiacenti al lotto, è scaturito quello che, nel nostro progetto, è un nodo importante di interesse: la piazza.

È stata inoltre evidenziata la natura dei vari percorsi, pedonale e carrabile. Unico tratto carrabile è quello di accesso a civic4LAB da via De Castilia.

Come già detto, il parco presenta un dislivello fino a 6 metri. Il nostro lotto è caratterizzato, da nord a sud, da una pendenza che porta dalla quota 0,00 ad una di 1,20 metri.

Gli step concettuali della progettazione del centro civico, che tengono conto di tutte queste considerazioni, sono a seguito descritti.

ADDITION

Il centro civico è uno spazio di transizione tra il sistema edilizio e quello del verde.

PATHS

Il parco è disegnato da diverse linee direttrici. Due delle più importanti attraversano l'area di progetto (via bianca e via gialla), creando un'intersezione

che dà origine ad un nodo progettuale.

FILL

È stata massimizzata la volumetria.

UP

Si alza il volume lasciando libera parte del piano terra per creare uno spazio importante per un edificio pubblico, dal quale accedere alle varie funzioni: la piazza.

SHAPE

A nord si allinea il prospetto al fronte già edificato per creare un fronte "cittadino".

A sud si ruota la facciata per creare un "imbuto" di accesso al centro civico.

HOLE

Presenza di un elemento di collegamento verticale che permetta la ventilazione degli spazi interni.

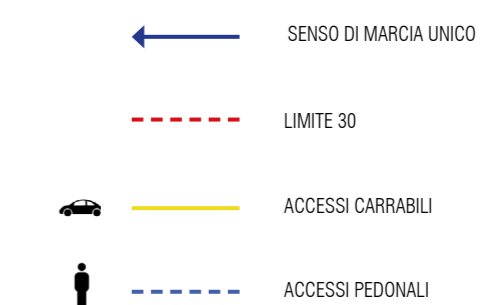
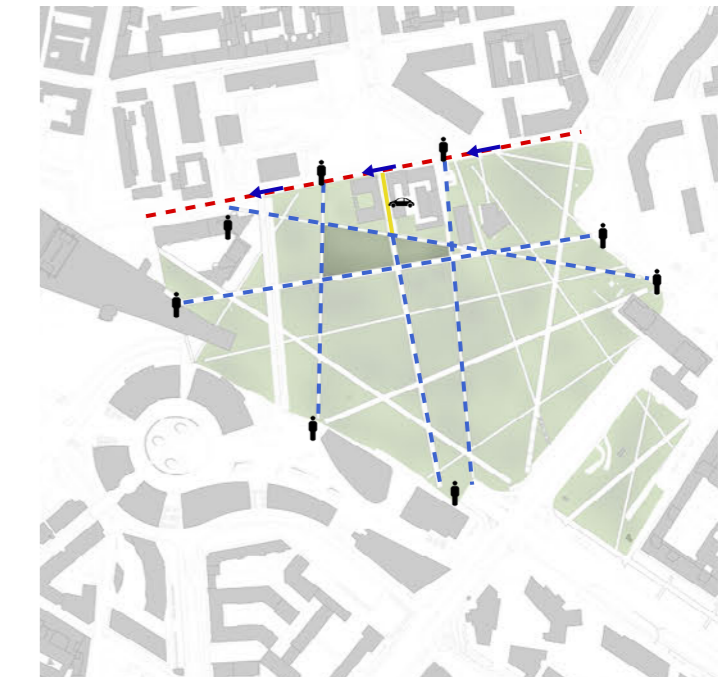
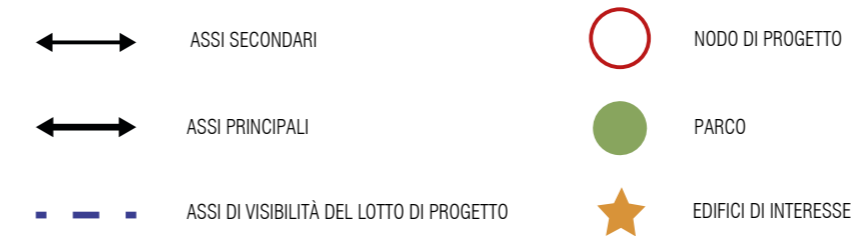
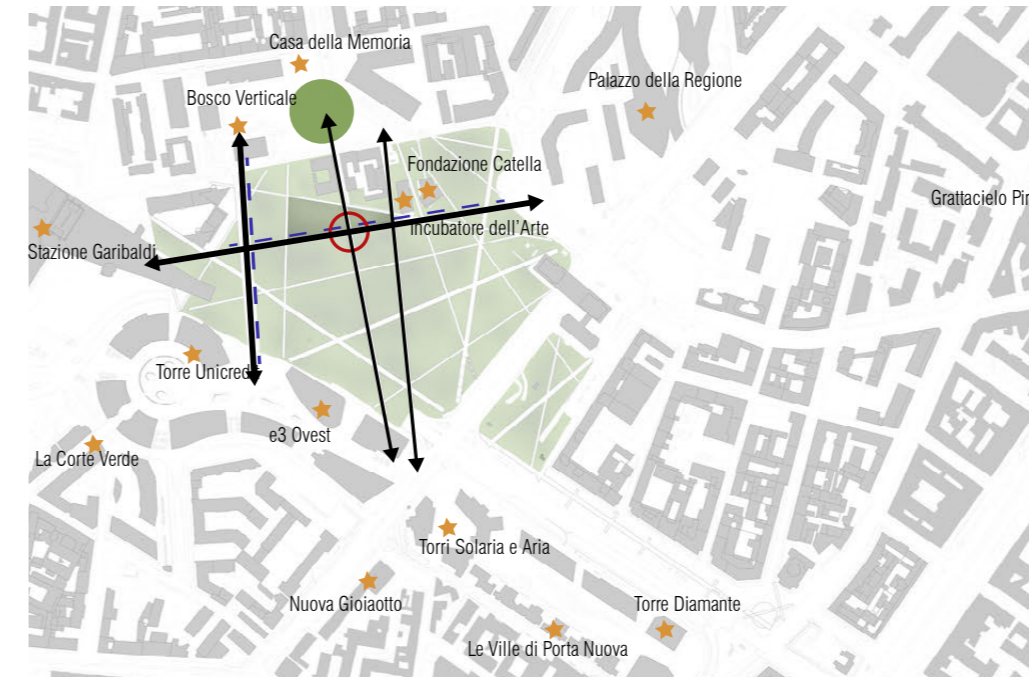
RECONNECTION

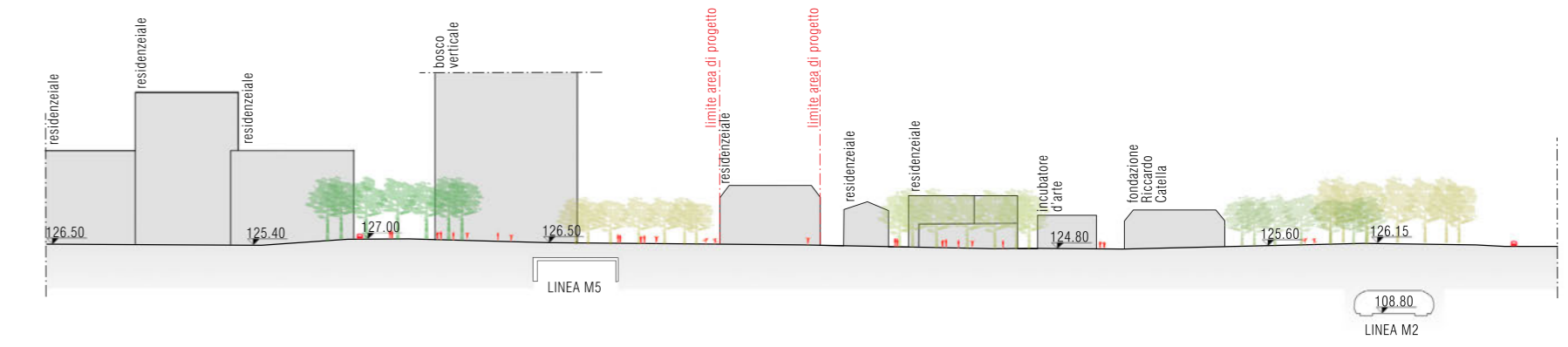
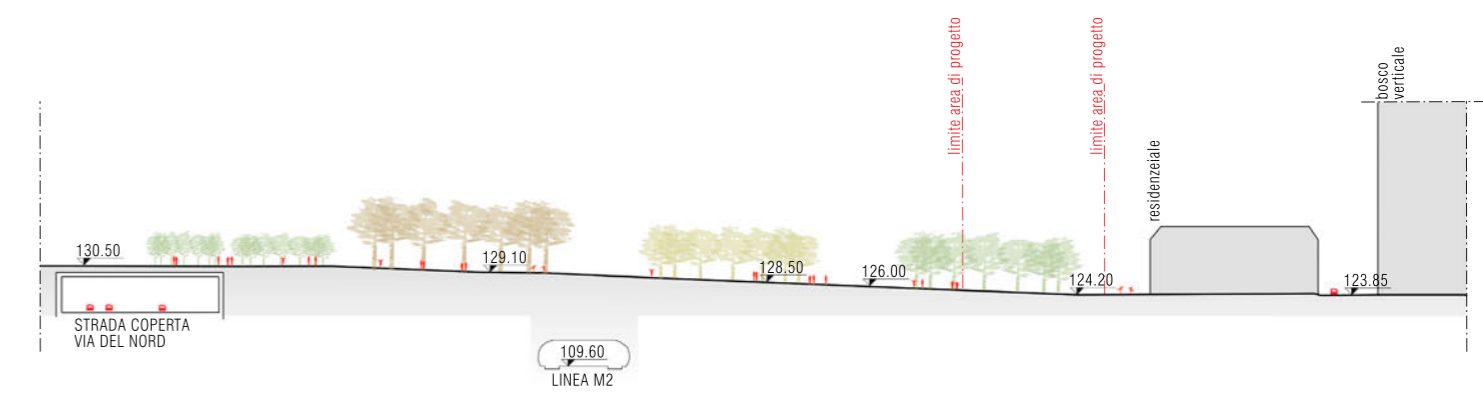
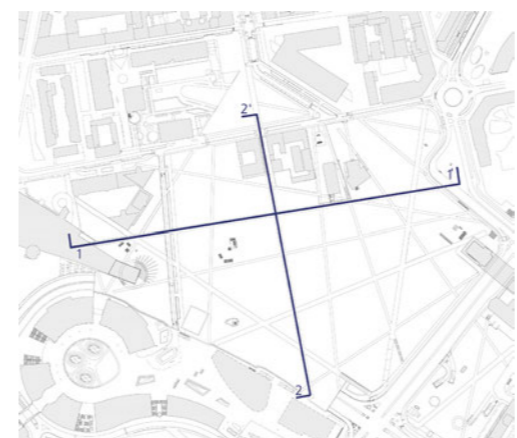
L'area è interessata da un lieve dislivello. La piazza riconnette l'area urbana al parco, superando il dislivello.

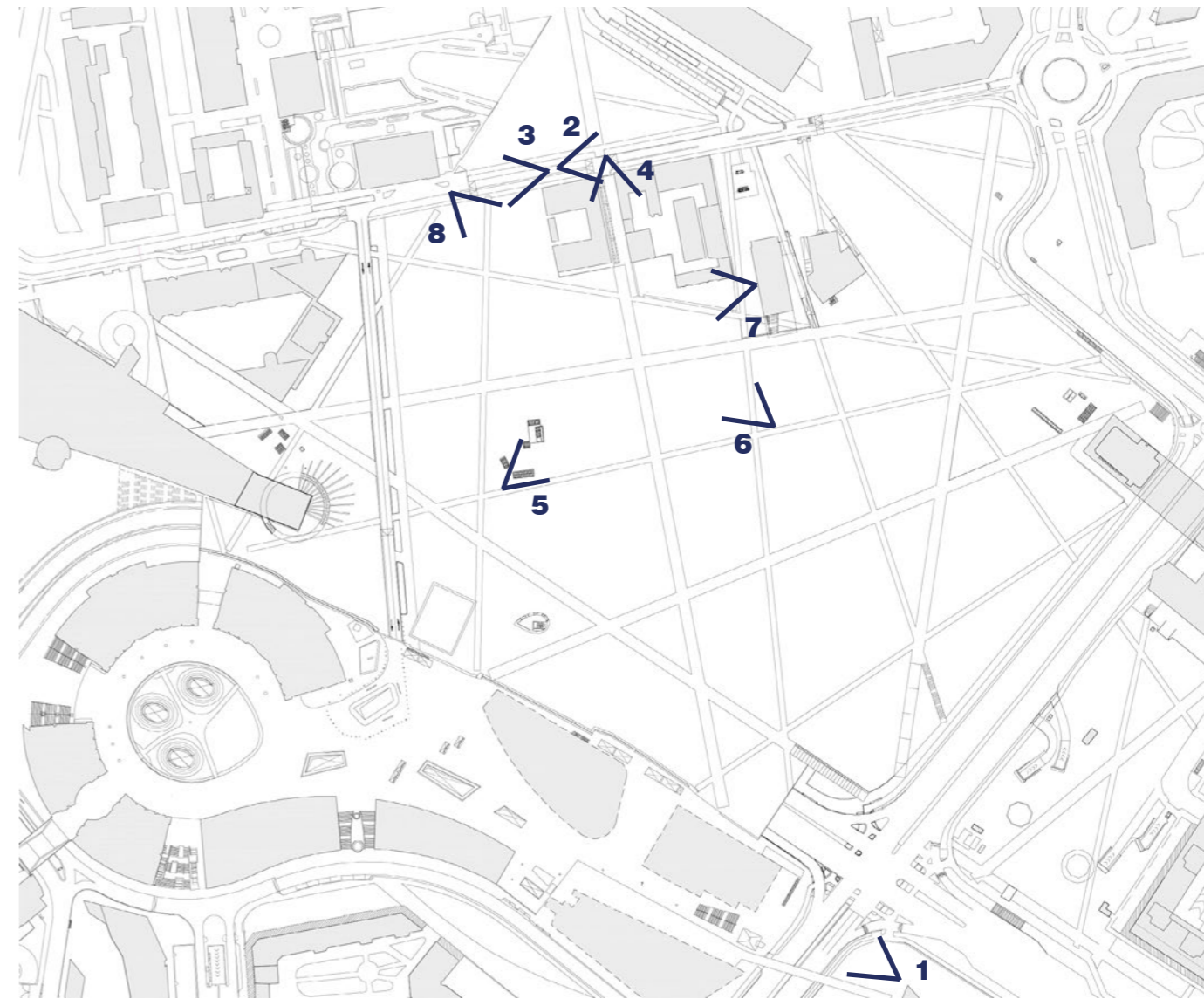
SUN

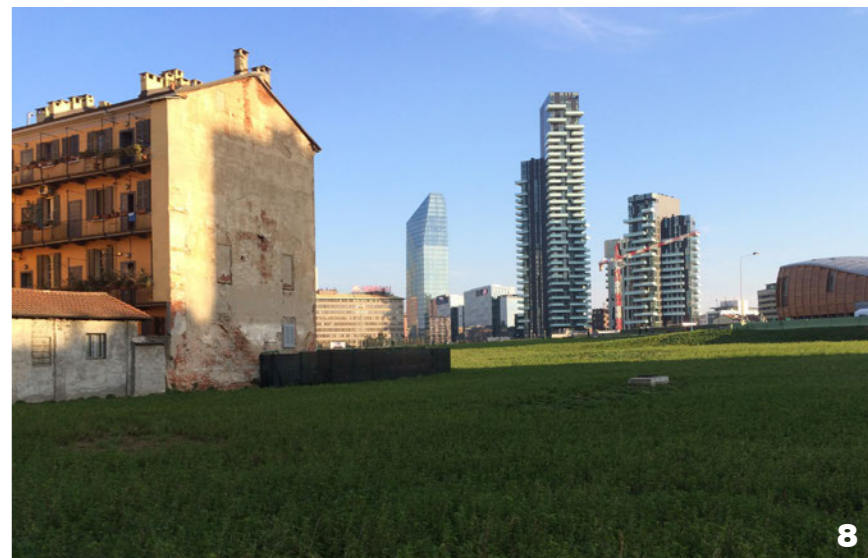
È presente un sistema oscurante con attivatori a memoria di forma.

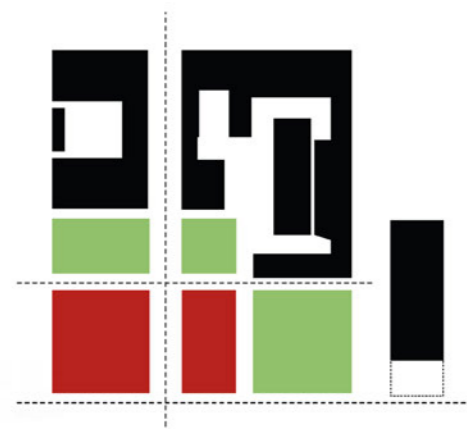
Nelle pagine successive sono inseriti i vari schemi di studio del lotto e il riassunto grafico dei vari step.



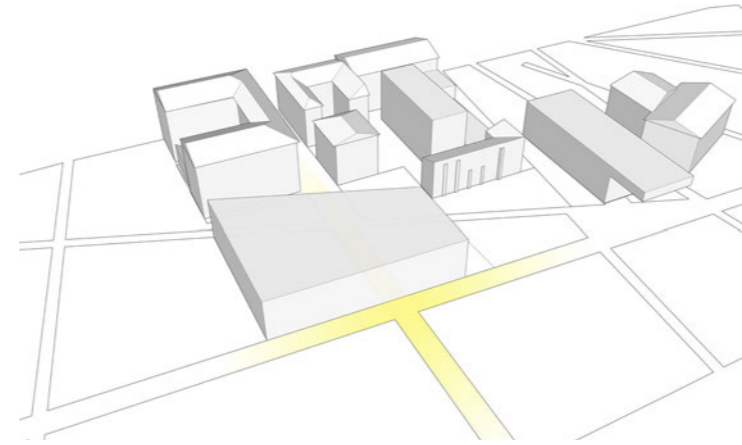




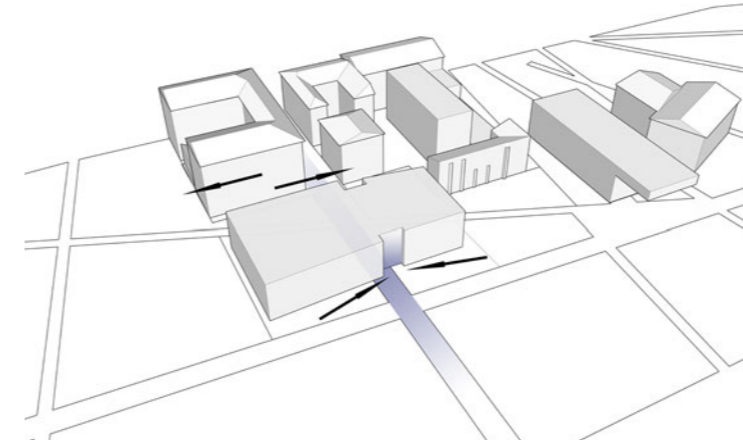




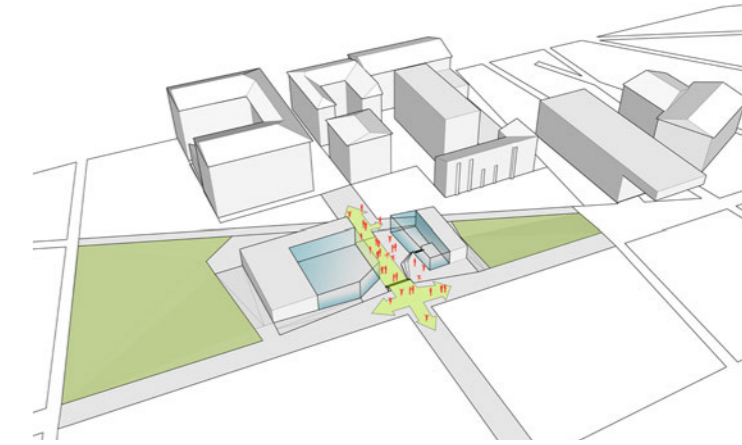
ADDITION



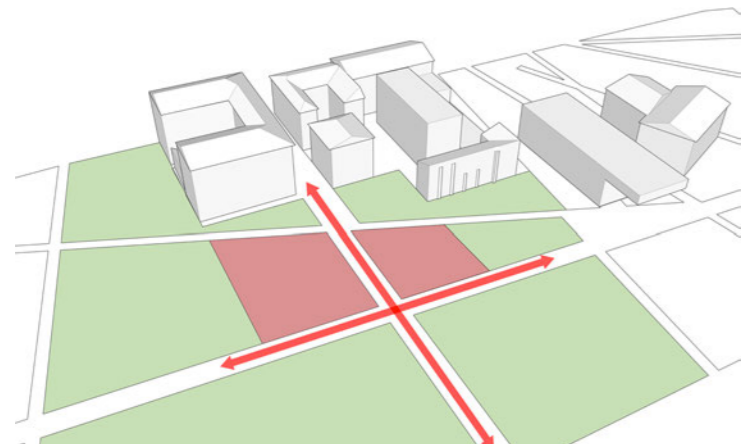
FILL



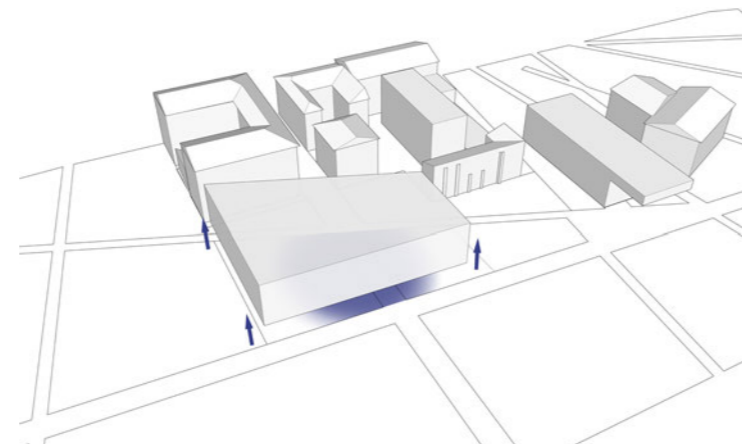
SHAPE



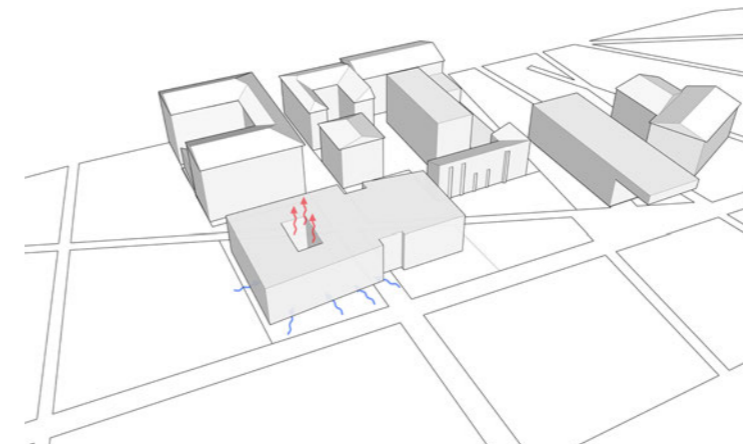
RECONNECTION



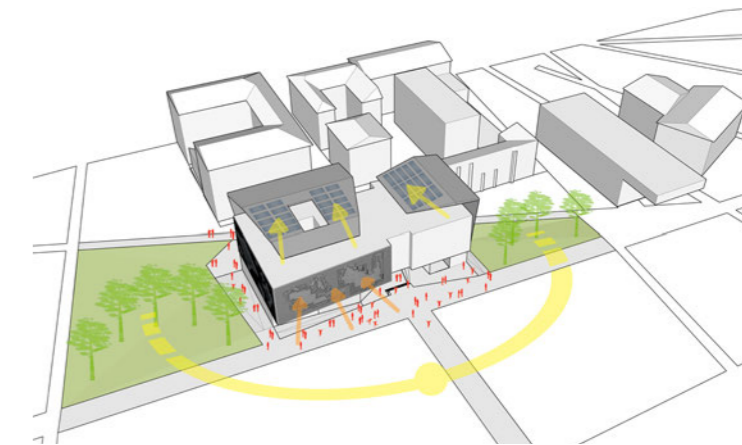
PATHS



UP



HOLE



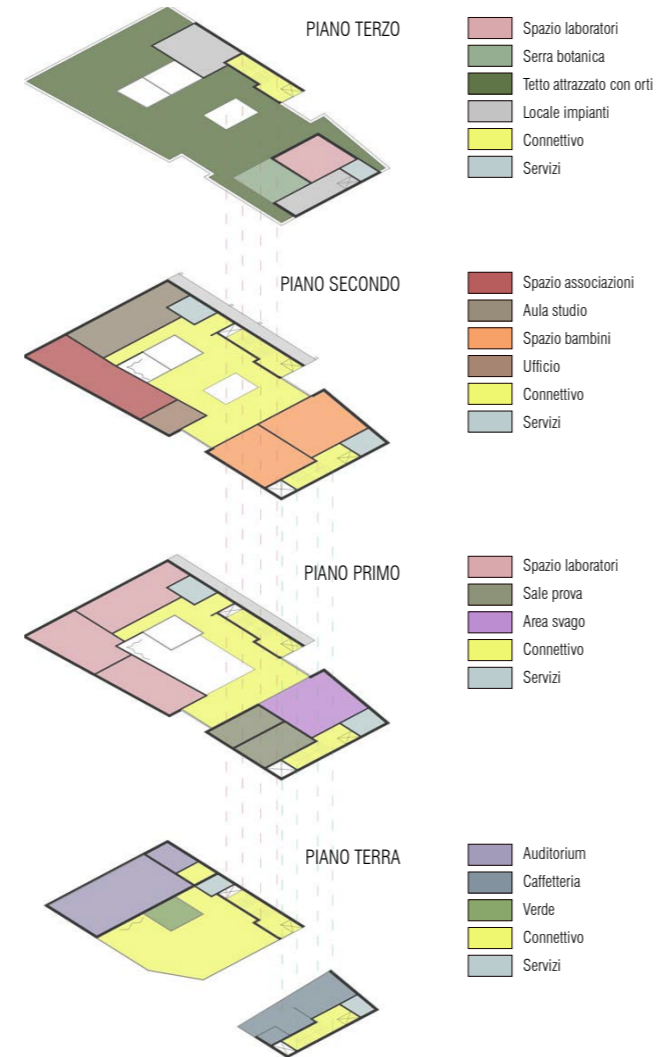
SUN

2.3 ORGANIZZAZIONE FUNZIONALE

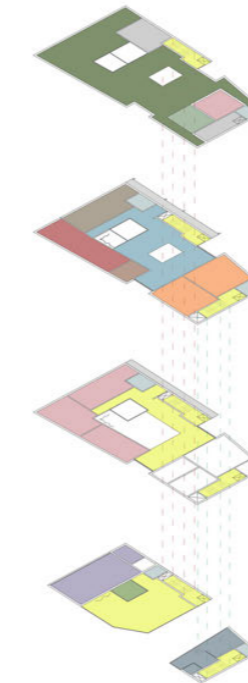
civico4LAB è composto da un piano terra più pubblico, diviso in due da una piazza-passaggio, e da tre piani fuori terra, sui quali sono divise le svariate funzioni ivi contenute. Ogni piano, come anticipato, risulta indipendente l'uno dall'altro per quanto concerne gli accessi: oltre ad un ingresso principale al piano terra, vi è un ingresso secondario in corrispondenza dei blocchi scala, unico collegamento verticale "reale" tra i vari piani. Ad ogni piano è presente una porta, richiudibile, attraverso cui accedervi. I piani sono tra di loro connessi verticalmente in modo "virtuale" da un cortile interno a tutta altezza vetrato, con funzione anche di garantire una debole ventilazione naturale, e dalla parete per arrampicata; entrambi sono accessibili solo dal piano terra.

Le varie funzioni sono state dislocate e accorpate in relazione al grado di rumorosità che ne deriva, tranne per quanto riguarda la caffetteria e l'auditorium, che sono stati posti al piano terra in quanto funzioni più "pubbliche". Al primo piano sono stati inseriti: i laboratori di cucina, cucito e fai da te; le sale prova; l'area svago. Al piano secondo invece troviamo: lo spazio per le associazioni; l'aula studio; lo spazio dedicato ai bambini; l'ufficio per la gestione del centro. All'ultimo piano, in prevalenza terrazza, invece si hanno: il laboratorio di agricoltura BIO con spazi dedicati per piccoli orti e serra botanica; i locali per impianti.

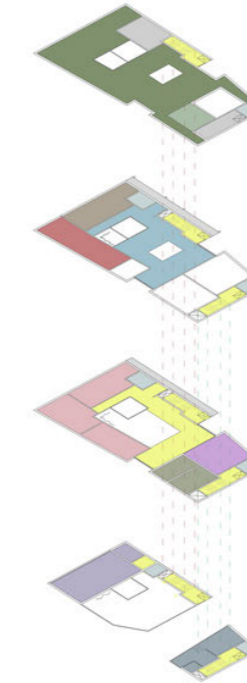
Nella pagina a lato è presente uno schema di quello che potrebbe essere l'utilizzo orario e settimanale di civico4LAB, distinguendo tra settimanale feriale diurno, settimanale feriale serale e weekend. Quest'ultimo conterà il momento di massima affluenza.



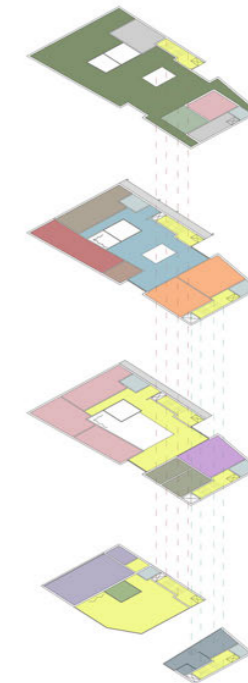
UTILIZZO QUOTIDIANO
feriale diurno

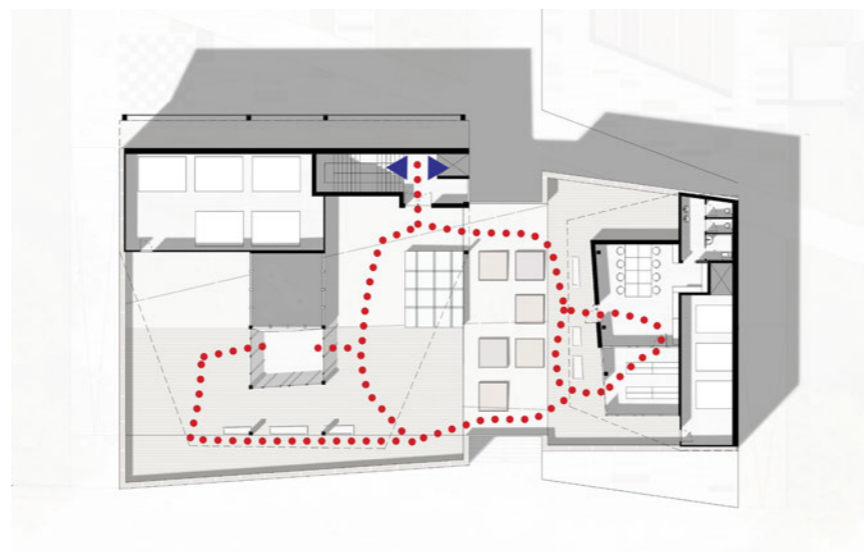
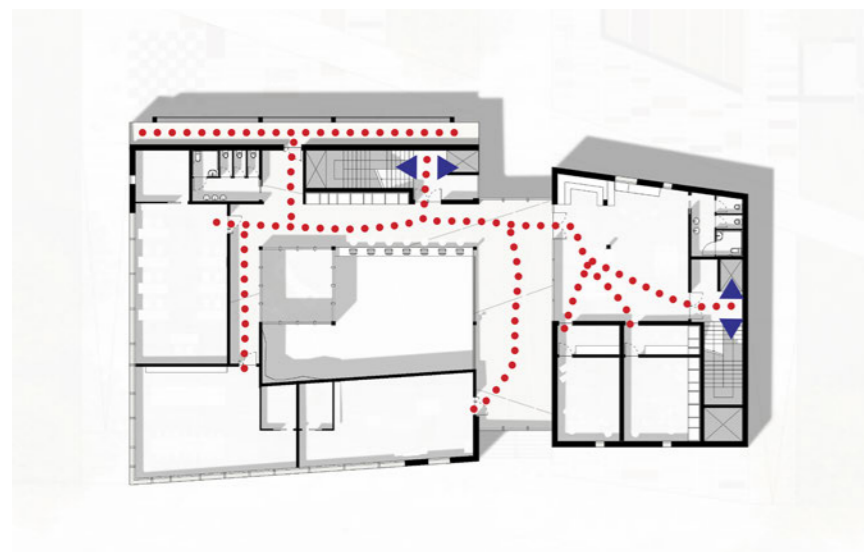
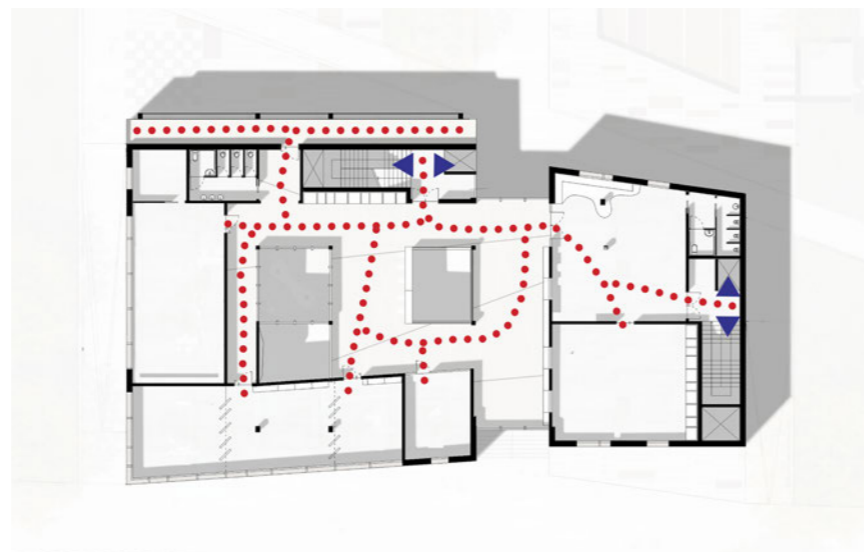
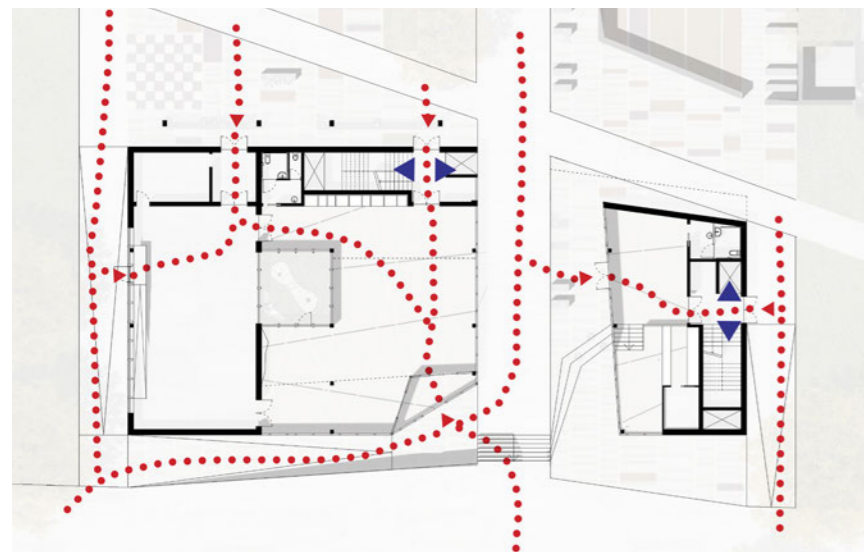


UTILIZZO QUOTIDIANO
feriale serale



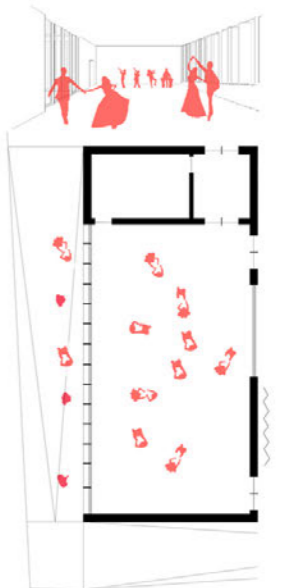
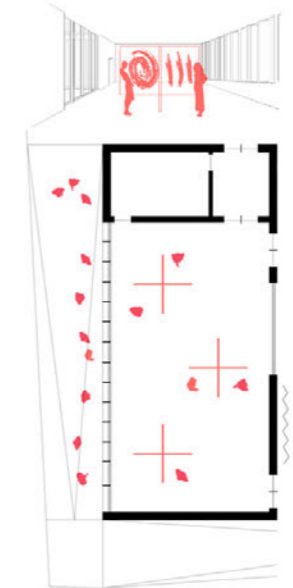
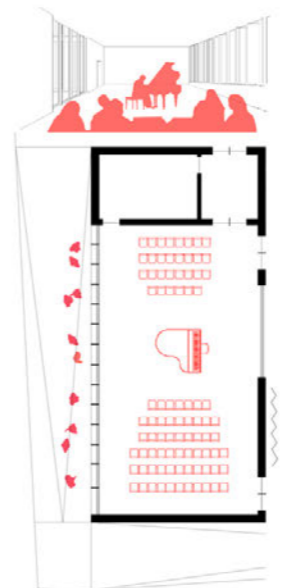
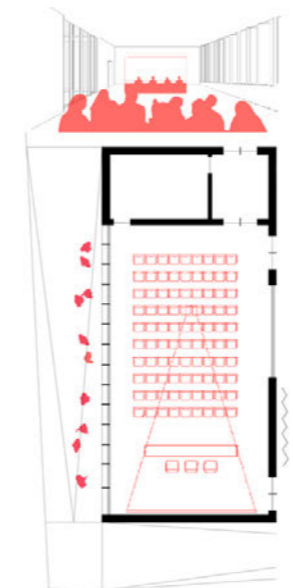
UTILIZZO MASSIMO
weekend





A lato sono schematizzati i flussi che potrebbero caratterizzare il centro civico, mentre qui sotto sono ipotizzate quattro differenti utilizzazioni e configurazioni dell'auditorium. Questo spazio ha un accesso totalmente indipendente dal centro civico e uno spazio di deposito dedicatogli e strettamente connesso. La prima immagine di riferisce all'auditorium utilizzato come sala per conferenze; nella seconda immagine invece è rappresentato come spazio per concerti musicali.

Nella terza immagine lo spazio è stato attrezzato per un'esposizione temporanea. Nella quarta e ultima ipotesi l'auditorium è trasformato in uno spazio per feste, corsi e competizioni di danza, ricevimenti.



2.4 PIANTE ARCHITETTONICHE

PLANIVOLUMETRICO

Il progetto del piano terra comprende anche aree esterne, sia del lotto di progetto sia dei lotti adiacenti, al fine di creare una maggiore integrazione sia con il parco in progetto sia con gli edifici preesistenti. L'asse del parco "passante" nel centro civico è stato pensato con pavimentazione uguale agli altri ed è stato quindi lasciato invariato. L'integrazione tra i lotti è stata creata con una particolare pavimentazione che riprende la frammentazione e il ritmo delle facciate dell'edificio: il ritmo è creato attraverso la cromia, mentre la frammentazione è data da aiuole che si fanno largo in riquadri della pavimentazione e che, man mano, procedendo verso nord, e quindi verso le preesistenze, diventano veri e propri orti. Abbiamo infatti inserito sia un giardino dei profumi, lato ovest, sia orti botanici recintati e richiudibili. Tale recinto riempie e armonizza un angolo vuoto. Si noti come siano stati ripresi gli allineamenti e i parallelismi dell'intorno.

Come da richiesta del bando, è stata inserita una scacchiera all'aperto.

Il parco presenta, per quel lotto, un dislivello di 1,2 m che va salendo da nord a sud. Il percorso principale vedrà inserita una gradonata che ci ha permesso di tenere tutto il piano terra ad un unico livello, e cioè alla quota di 1,2 m. Per garantire l'accessibilità a tutti, sono state inserite due rampe ai lati est e ovest dell'edificio.

PIANO PRIMO

Dal piano prima il passaggio diventa edificio, ed ospita funzioni più "libere". Questo è il piano più "movimentato", in quanto ospita i laboratori, spazi ludico-ricreativi, sale prova e postazioni internet.

In prossimità del blocco servizi, tra i bagni e il blocco scale, vi è l'accesso

ai balconi, protetti dalla scocca metallica forata.

Ogni laboratorio è attrezzato e arredato in modo più consono in relazione alle attività a cui è dedicato. Ad ognuno è dedicato un deposito il cui accesso è garantito solo dal laboratorio stesso.

Nella parte centrale è inserito un foro che permette la vista del foyer d'ingresso. Al piano successivo è ridotto ad un quarto.

PIANO SECONDO

Lo spazio di connessione, pensato attrezzato da librerie e destinato al book-crossing, permette l'accesso all'aula studio, dotata di un deposito per eventuali diversi utilizzi, allo spazio per le associazioni, spazio flessibile e che può essere suddiviso a seconda delle necessità, all'ufficio per la gestione del centro. Al secondo piano, accessibile dal secondo blocco scala, vi è lo spazio interamente dedicato ai bambini, in cui svolgere attività didattiche, sensoriali, in cui avvicinare i bambini all'arte.

TERZO PIANO

Il terzo piano è dedicato al laboratorio di agricoltura BIO. Oltre ad un'aula dedicata, è presente una piccola serra, e delle vasche-orti per l'apprendimento pratico da attuarsi nei veri e propri orti al piano terra.

La terrazza è totalmente pavimentata in tech.

A questo piano, opportunamente camuffati attraverso listellatura verticale, sono dislocati gli impianti dell'intero centro civico.

COPERTURA

La copertura è parte delle scocche metalliche che avvolgono l'edificio. È rivestita da cassette metalliche, di cui di vedranno i dettagli nel BLOCCO3. È sostenuta verticalmente solo al centro, mentre lateralmente risulta in parte a sbalzo, come si vedrà meglio nelle sezioni.





Pianta Piano Primo



Pianta Piano Secondo



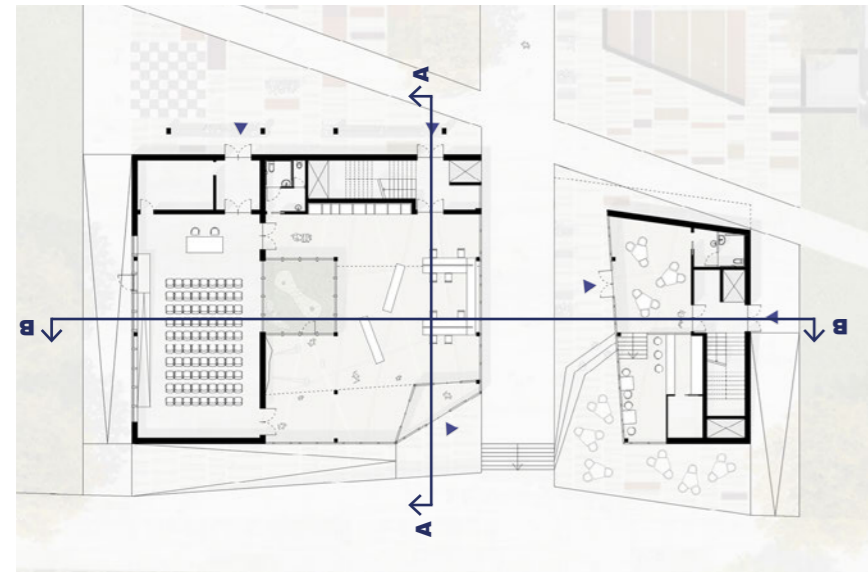
Pianta Piano Terzo

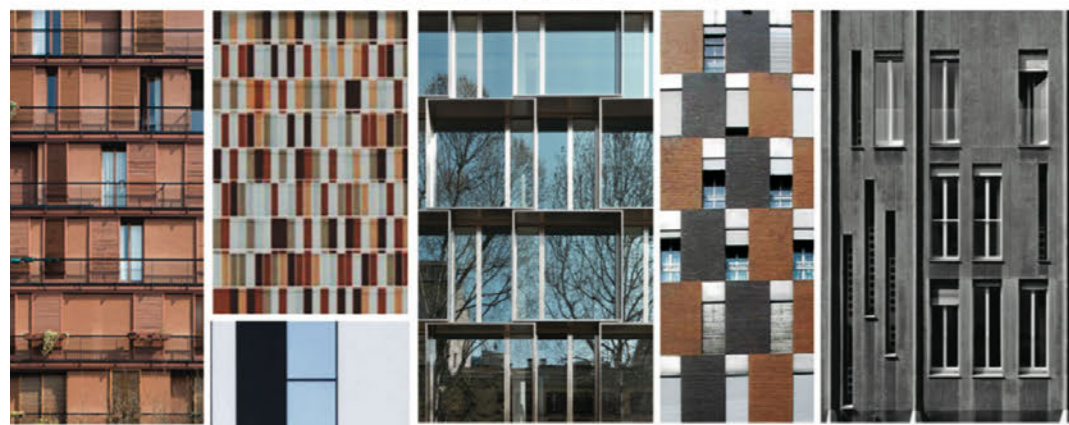


Pianta Copertura

2.5 SEZIONI ARCHITETTONICHE

Le sezioni architettoniche permettono di chiarire meglio alcuni degli aspetti di cui si è già parlato nei capitoli precedenti: la presenza di un foro al piano primo, che si riduce al piano secondo, che permette una connessione visiva; la presenza della parete d'arrampicata che sale fino al secondo piano; la presenza di balconi sul lato nord e coperti/protetti dalla scocca metallica; la scocca che in parte risulta a sbalzo in copertura; la presenza di un giardino vetrato su quattro lati, interno, apribile in copertura e ai vari piani, e che, quindi, permette una debole ventilazione naturale.



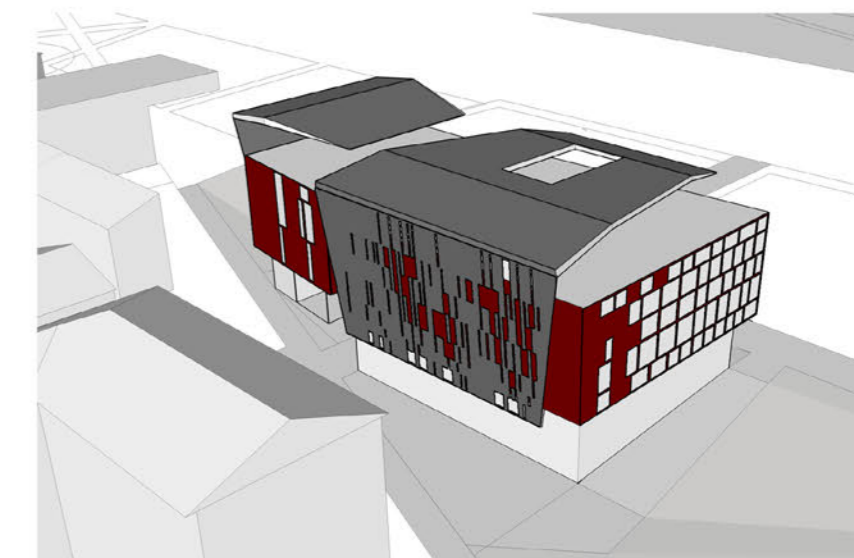
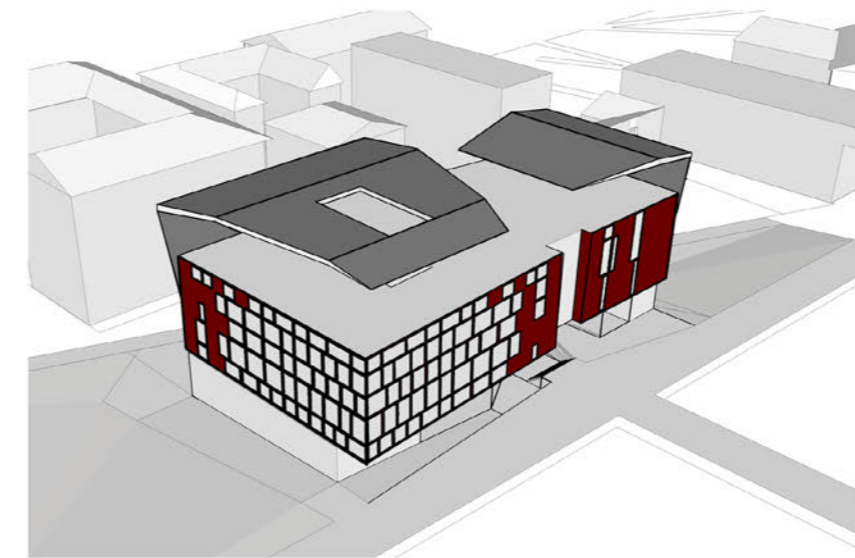
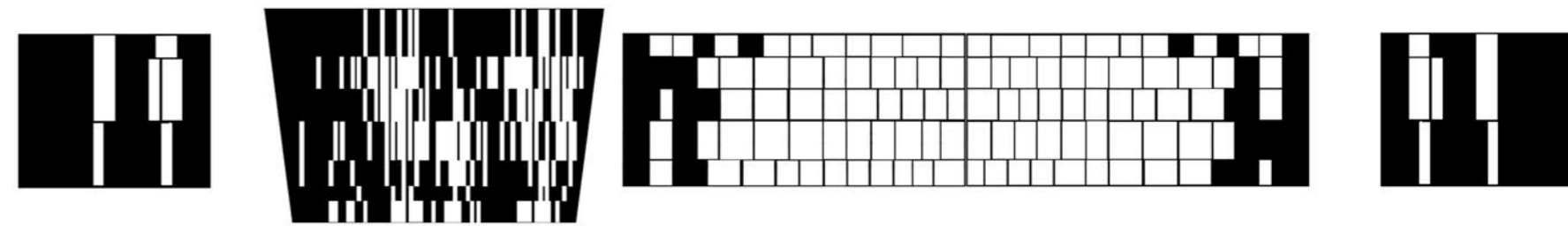


- Luigi Caccia Dominioni, Condominio in via Massena 1963
- Saurbruch e Hutton, Maciachini Centre in via Imbonati, 2010
- Piuarch, Dolce e Gabbana Headquarter, 2006
- Mariani e Perogalli, Condominio in via Beatrice d'Este, 1956
- Vico Magistretti, Edificio in via San Gregorio
- Gio Ponti, Edificio per uffici Palazzo Montedoria in via Pergolesi, 1970
- Stefano Boeri Architetti RCS Headquarter, 2008
- Vico Magistretti, Edificio per uffici in corso Europa, 1957
- Mangiarotti e Morassuti, Edificio residenziale in via Quadronno, 1963
- Grafton Architects, Università Luigi Bocconi, 2010
- Mangiarotti e Morassuti, Edificio residenziale in via Quadronno, 1963
- Mangiarotti Collection, Multiuse
- Luigi Caccia Dominioni, Edificio per uffici e negozi in corso Europa, 1959



2.6 CONCEPT DELLE FACCIATE

Le facciate del volume di "civico4LAB" sono come ricoperte da un nastro che parte pieno da ovest e che poi gradualmente si frangia e frastaglia formando la traccia di quelle che saranno le aperture dell'edificio. Il disegno di queste aperture si ispira a scansioni, modularità e ritmo di edifici milanesi che vanno dai "classici" di Luigi Caccia Dominioni, Vico Magistretti, Gio Ponti, ad edifici più attuali di Stefano Boeri, Saurbruch e Hutton, e Piuarch. Le facciate milanesi hanno un carattere forte, che si esprime attraverso basamenti e fasce marcapiano, scansioni verticali e/o orizzontali. Mentre i colori e i volumi si mantengono sobri, il ritmo è quello che contraddistingue un edificio, che crea la sua peculiarità. In più il volume del nostro edificio è "abbracciato" da due scocche metalliche, una delle quali forata secondo gli stessi canoni, che sono insieme facciata e copertura dell'edificio.



2.7 PROSPETTI ARCHITETTONICI

I prospetti di **civico4LAB** riprendono i concetti precedentemente descritti e riassumibili con il concetto di nastro che avvolge l'edificio e si sfrangia. Essi si compongono di fasce orizzontali, date dalle fughe dei materiali, è presente un basamento, di materiale e colore differente dai successivi piani, il ritmo verticale è sfalsato tra piano e piano, le aperture seguono il ritmo sfalsato dei pannelli. Le due scocche metalliche che avvolgono l'edificio sono asimmetriche; una risulta forata per permettere l'ingresso della luce sui balconi da esse nascosti.

PROSPETTO NORD

È il fronte che si relaziona con la città, che quindi risulta più chiuso. La scocca presenta un ritmo sfalsato dato dalla foratura delle cassette metalliche. Il prospetto risulta "forato" da uno degli assi di accesso al parco. Si possono notare, ai due lati, le rampe per garantire l'accesso a qualsiasi utente, e la gradonata "centrale".

PROSPETTO SUD

Il prospetto, più "pieno" nella parte destra e che man mano si sfrangia andando verso sinistra, è caratterizzato dall'utilizzo di moduli oscuranti azionati da molle in materiale a memoria di forma, che dà alla facciata un particolare disegno e una particolare cromia. L'andamento orizzontale dei fronti è qui più accentuato.

In questo caso il basamento si apre grazie all'inserimento di vetrate, che consentono l'ingresso al centro, più precisamente alla parete per arrampicata, all'auditorium e al bar.

PROSPETTO EST E OVEST

Questi due fronti sono uno l'antitesi dell'altro: il prospetto est risulta completamente chiuso al contrario di quello ovest, quasi completamente vetrato e anche esso, come quello sud, caratterizzato dal particolare sistema di oscuramento.

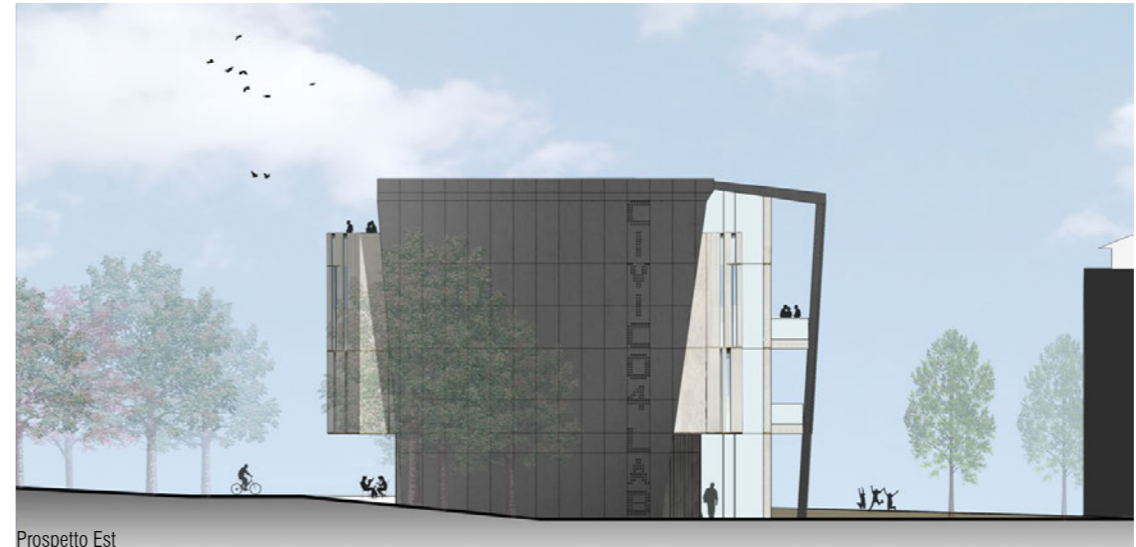
A loro adiacenti si trovano le rampe di accesso.



Prospetto Nord



Prospetto Sud



Prospetto Est



Prospetto Ovest



2.8 RIFERIMENTI PROGETTUALI



NESTLÉ HEADQUARTERS

Park Associati
Assago (MI)

Prospetti articolati in più corpi, che lasciano leggere una composizione frammentata. Ciò è stato ottenuto suddividendo l'intero edificio in più porzioni, 'scatole sospese' di diversa dimensione e altezza, con leggera inclinazione delle facciate per ognuna di esse.



VALLETTA CITY GATE

Renzo Piano
Malta

Il rivestimento non è inteso come semplice finitura esterna dell'edificio, ma alla pietra sono state affidate nuove funzioni (energetica e di controllo della luce) che vanno oltre quelle di una generica protezione. Il prospetto si frammenta per permettere l'ingresso della luce e l'integrazione dei brise-soleil nella tessitura dell'edificio.



CENTRO DIREZIONALE LAVAZZA

Cino Zucchi
Torino

L'andamento dell'edificio è altamente orizzontale. Non esistono allineamenti verticali. Da ciò ne deriva un particolare ritmo sfalsato da un piano all'altro dato dall'alternarsi delle aperture e del rivestimento di facciata.



RESTAURO DE "LA SERENISSIMA"

Park Associati
Milano

In pianta si può notare la presenza di un "imbuto" che indirizza e accompagna gli utenti al penetrare all'interno.

PARTE 3

PROGETTO TECNOLOGICO

- 3.1 INVOLUCRO DELL'EDIFICIO
- 3.2 SCHEMATIC DESIGN
- 3.3 COMPORT ILLUMINOTECNICO
- 3.4 MATERIALE A MEMORIA DI FORMA
- 3.5 KINETIC SOLAR SKIN
- 3.6 ANALISI DEI MODELLI
- 3.7 KINETIC LID

Luce ed energia sono essenzialmente connessi al clima interno, il quale racchiude tutti gli elementi di: temperatura, umidità, illuminazione, qualità dell'aria e qualità della vista.

In quanto gran parte della nostra vita è spesa in ambienti chiusi, bisognerebbe rivolgere maggiore attenzione agli spazi interni rispetto a quelli esterni. Gli edifici spesso offrono riparo, calore, ombra e sicurezza, ma limitano l'utilizzo di aria fresca, luce naturale e ventilazione.

È necessario ricordare che, anche se passiamo la maggior parte del nostro tempo all'interno, siamo ancora "animali da spazi aperti" (Baker N., 2009). La genetica che ha formato l'uomo si trova nelle pianure, nelle foreste e nelle montagne, e non nelle camere da letto con riscaldamento centralizzato o nelle postazioni di lavoro ergonomiche. Ci siamo adattati alla vita interna, ma il nostro codice genetico è ancora definito per la vita all'aria aperta. È quindi imperativo che gli edifici e gli spazi in cui passiamo molto del nostro tempo siano progettati con tali esigenze: tornare indietro alla natura, all'illuminazione naturale e alla ventilazione naturale.

Non esistono, però, metodi generali che riassumano in una formula la soluzione a tali questioni. Ci sono, tuttavia, diversi indicatori che supportano i nostri bisogni biologici e fisiologici, quali, ad esempio: il tasso per la ventilazione naturale, i livelli di luce da raggiungere, i livelli di radiazione solare di esposizione, i livelli di temperatura confortevole, i livelli di umidità relativa. Nei successivi capitoli si affrontano alcuni di questi indicatori e si propongono soluzioni ai livelli specifici che devono essere raggiunti per creare un buon clima interno.



3.1 INVOLUCRO DELL'EDIFICIO

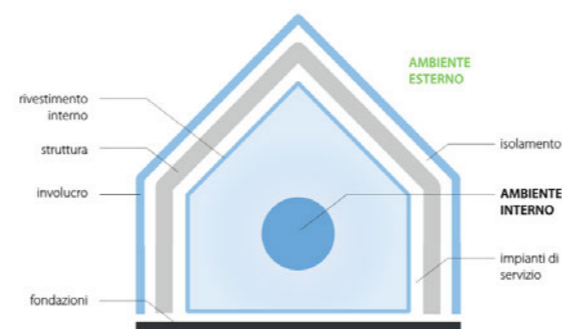
La tecnologia adottata per l'involucro di civico4LAB è una tecnologia struttura-rivestimento (S/R).

La caratteristica principale del sistema costruttivo a secco consiste nell'utilizzo di soluzioni costruttive realizzate assemblando elementi diversi, tramite collegamenti meccanici, senza l'impiego di materiali di connessione destinati a consolidarsi dopo la posa. Questo sistema costruttivo, grazie alla sua flessibilità, offre la possibilità di ottenere standard qualitativi e prestazionali in grado di ottemperare alle normative tecniche in termini di qualità funzionale (isolamento termico, acustico, etc.), ed operativa (assemblabilità, ispezionabilità, manutenibilità, etc.). Lo spostamento delle lavorazioni dal cantiere all'officina, consentito dalla leggerezza dei suoi componenti, favorisce il rispetto dei tempi e costi di costruzione, consentendo una totale corrispondenza tra elaborazioni progettuali ed esiti realizzativi. Inoltre, esso è un metodo totalmente reversibile i cui componenti, a seguito dello smontaggio, sono in buona parte riciclabili. Il sito di costruzione di un edificio realizzato con queste tecnologie consente un maggior grado di ordine e pulizia, e spesso evita l'utilizzo di grossi impianti di cantiere. Il sistema stratificato a secco, ovvero S/R (struttura/rivestimento) è composto principalmente da tre componenti:

- involucro esterno: la sua funzione è controllare le sollecitazioni dell'ambiente esterno e filtrare i flussi di scambio con l'ambiente interno; deve quindi proteggere dalle intemperie e dai rumori proveniente dall'esterno verso l'interno;
- struttura portante: il suo scopo è quello di sorreggere il carico proprio, i carichi dei rivestimenti e di servizio. Inoltre deve rispondere alle sollecitazioni orizzontali generate da sisma e vento;

sollecitazioni orizzontali generate da sisma e vento;

- rivestimento interno: deve ottemperare alle prescrizioni di comfort visivo e tattile, proteggere la struttura dal fuoco e limitare le dispersioni acustiche tra gli ambienti interni, oltre che consentire la distribuzione degli impianti di servizio.



3.1.1 RIVESTIMENTI ESTERNI

Il piano terra di civico4LAB è rivestito con Trespa® Meteon®, pannello decorativo compatto, laminato ad alta pressione (HPL) con superficie decorativa integrata realizzata utilizzando le esclusive tecnologie in-house Dry-Forming (DF) ed Electron Beam Curing (EBC).

Nei processi produttivi Trespa utilizza materiali provenienti da fonti naturali: carta (nucleo di carta Kraft impregnata) o scaglie di legno. Il processo DF consiste nell'impregnare le fibre di legno con resine e riscaldarle in condizioni di pressione elevata, creando così un materiale in fibre naturali.

I raggi solari diretti e la pioggia – anche quella acida – non sortiscono pressoché alcun effetto sui pannelli Trespa® Meteon®, grazie alla tecnologia

EBC. La maggior parte delle tinte cromatiche non mostreranno pertanto alcuna significativa variazione per almeno dieci anni, mantenendo come nuovo l'aspetto delle facciate.

I pannelli sono, inoltre, robusti e resistenti agli urti, possono essere installati in modo semplice e veloce. Il materiale è inoltre progettato per mantenere la forma e il colore originari, anche nelle applicazioni esterne più impegnative e nelle condizioni ambientali più difficili. Sono infatti dotati di una superficie chiusa e non porosa. Non necessitano di alcuna verniciatura o copertura protettiva per contribuire alla pregevolezza e alla durabilità delle facciate.



Per il rivestimento opaco dei piani superiori si è invece optato per StoVentec, sistema di facciata ventilata continua con una lastra portaintonaco innovativa in granulo di vetro espanso, un materiale ecologico dalle caratteristiche eccezionali: ridotta dilatazione termica, resistenza alle intemperie, peso ridotto. Questo sistema offre pitture e intonaci per facciate StoLotusan, che offrono notevoli vantaggi grazie alle eccezionali proprietà fisiche del Lotus-Effect®: grazie alla particolare superficie microstrutturata degli intonaci e delle pitture StoLotusan, le particelle di sporcizia che si depositano con il tempo sugli esterni degli edifici, scivolano via con la pioggia. E le facciate si mantengono pulite e belle nel tempo.

Si sistema è composto da:



- 1 Sottostruttura
- 2 Isolamento
- 3 Lastra portaintonaco in vetro riciclato
- 4 Rete di armatura
- 5 Rete di armatura
- 6 Rivestimento finale: intonaco

Per quanto invece riguarda la scocca metallica, questa è formata da una sottostruttura, in alluminio elettrolucido, formata da profili a C fissati con sistema ad incastro e da cassette metalliche in alluminio elettrolucido, alcune delle quali risultano forate per il passaggio della luce e a fini decorativi.

3.1.2 SCELTA DEGLI ISOLANTI

Gli isolanti scelti per l'involucro dell'edificio, a parte casi particolari come terrazza e pavimento contro terra, sono di origine naturale e prodotte da aziende eco-compatibili.

Una delle aziende produttrici è Celenit, la quale ha scelto di utilizzare una materia prima che soddisfa i più elevati standard di qualità e la cui origine è controllata; il legname infatti proviene da foreste gestite in maniera sostenibile (certificato PEFC per la Catena di Custodia).

Tutti i prodotti Celenit sono realizzati in lana di legno di abete rosso PEFC, che certifica la sostenibilità della Catena di Custodia. Inoltre, il 15% in peso è costituito da carbonato di calcio. Tale componente è considerato materiale riciclato poiché deriva dalla lavorazione del marmo. Questo riduce la necessità di estrarre materia prima ed accresce il risparmio energetico. I pannelli in lana di legno, secondo la valutazione ANAB-ICEA, non emettono radiazioni che inquinano l'ambiente interno, ovvero radon, formaldeide e VOC (composti organici volatili) e presentano una ridotta quantità di energia incorporata. Tale valutazione stima il consumo di energia diretta, indiretta e proveniente dallo sfruttamento di materie prime.

3.1.3 PARTIZIONI VERTICALI

Il rivestimento interno di tutte le pareti, partizioni e chiusure, presentano una doppia lastra in gesso rivestito Knauf: Diamant e GKB+B.V. per le chiusure; Diamant e Silentboard per le partizioni.

Grazie all'innovativo ed esclusivo nucleo di gesso modificato, le lastre Silentboard hanno un potere insonorizzante, quindi sono indicate per il nostro caso in cui convivono funzioni differenti e con un grado di rumorosità, in alcuni casi, elevato. Per quanto riguarda invece Knauf Diamant, in caso di forti urti oppure elevate sollecitazioni, dimostra efficacemente quanto resistenti possono essere i sistemi costruttivi a secco e, inoltre, permette di raggiungere elevate prestazioni di isolamento acustico. Knauf Diamant è inoltre in classe di reazione al fuoco A2-s1,d0.

Vengono ora analizzate il pacchetto Knauf per pareti interne, selezionate in relazione al potere fonoisolante.



W112

Diamant + SilentBoard
8 cm Lana di Roccia → $R_w = 65$ dB



W115

Diamant + SilentBoard
4+4 cm Lana di Roccia → $R_w = 71$ dB

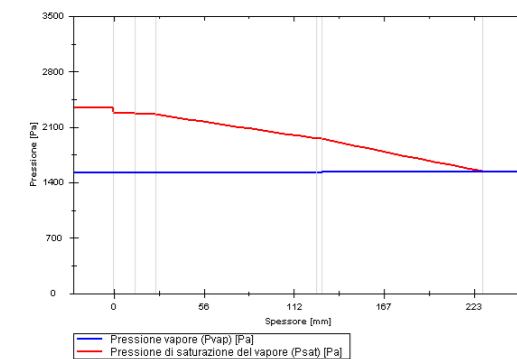
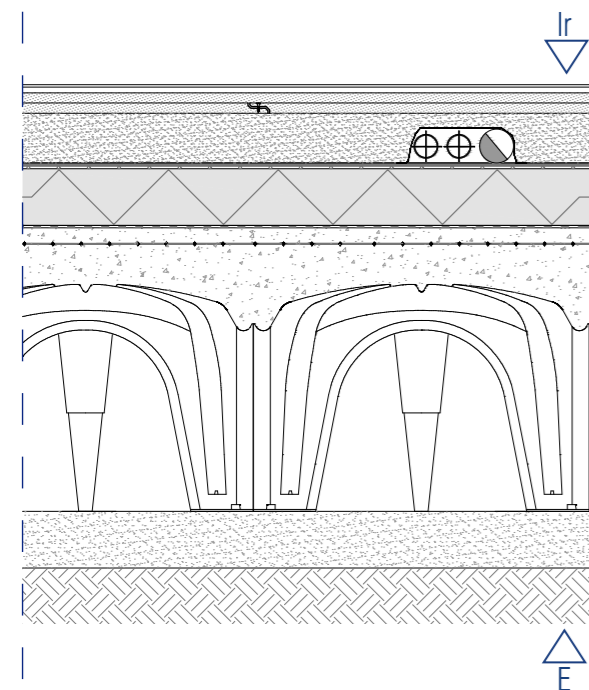
3.1.4 PACCHETTI TECNOLOGICI

Le pagine successive presentano, con la descrizione dei vari strati, i pacchetti tecnologici studiati e adottati nel progetto. Tramite software EdilClima, per quelli perimetrali, è stata calcolata: la trasmittanza, lo sfasamento, eventuale presenza di condensa interstiziale.

Si riportano a seguire i valori limite di trasmittanza U , espressa in W/m^2K , per la zona termica E, estrapolati dal D.M. del 26/06/2015 "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici".

| Elemento | U [W/m^2K] |
|--|---------------------|
| Strutture opache verticali | 0,30 |
| Coperture | 0,25 |
| Strutture opache orizzontali su spazi aperti | 0,25 |
| Pavimento contro terra | 0,30 |
| Serramento completo di vetro e infisso | 1,8 |

C.O. 01 CHIUSURA CONTROTERRA



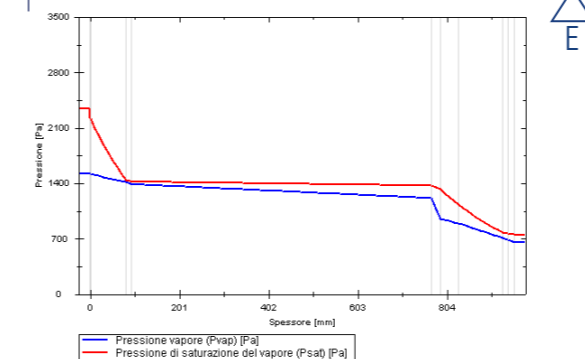
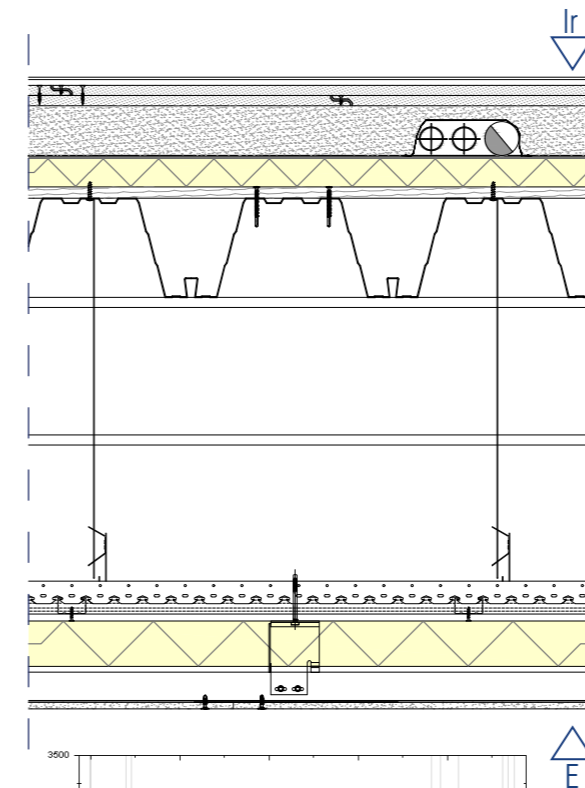
1. FINITURA: Pavimentazione in linoleum, sp. totale 1.8 mm.
2. IRRIGIDIMENTO: Doppia lastra in gessofibra, sp. 2x18 mm, tipo Brio di Knauf.
3. RIEMPIMENTO: granulare a base di perlite per sottofondi a secco, sp. 90 mm, tipo Trockenschuttung PA di Knauf.
4. ISOLANTE ACUSTICO: strato di isolante acustico organico, sp. 0.5 cm, dimensione rotolo 1x20 m, tipo BioMK di Isolmant.
5. TENUTA AL VAPORE: Barriera al vapore in alluminio, sp. 0.31 mm, tipo Miofol 125 AV.
6. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in polistirene espanso estruso, sp. 10 cm, tipo Styrodur 3035 CS
7. STRATO DI SCORRIMENTO: Telo in polietilene
8. STRUTTURA: strato di cls con rete zincata elettrosaldata, maglia 50x50 cm, diametro filo 1.8 mm, tipo Armedil, sp. 10 cm.
9. SUPPORTO: elementi in propilene rigenerato per la realizzazione di vespai areati, h. 40 cm, tipo Copolex di Pontarolo Engineering.
10. STRATO LIVELLANTE: strato di magrone, sp. 10 cm.

SP. TOTALE: 85.2 cm

TRASMITTANZA: 0.192 W/m²K

SFASAMENTO: 7 h

C.O. 02 SOLAIO SU SPAZI APERTI



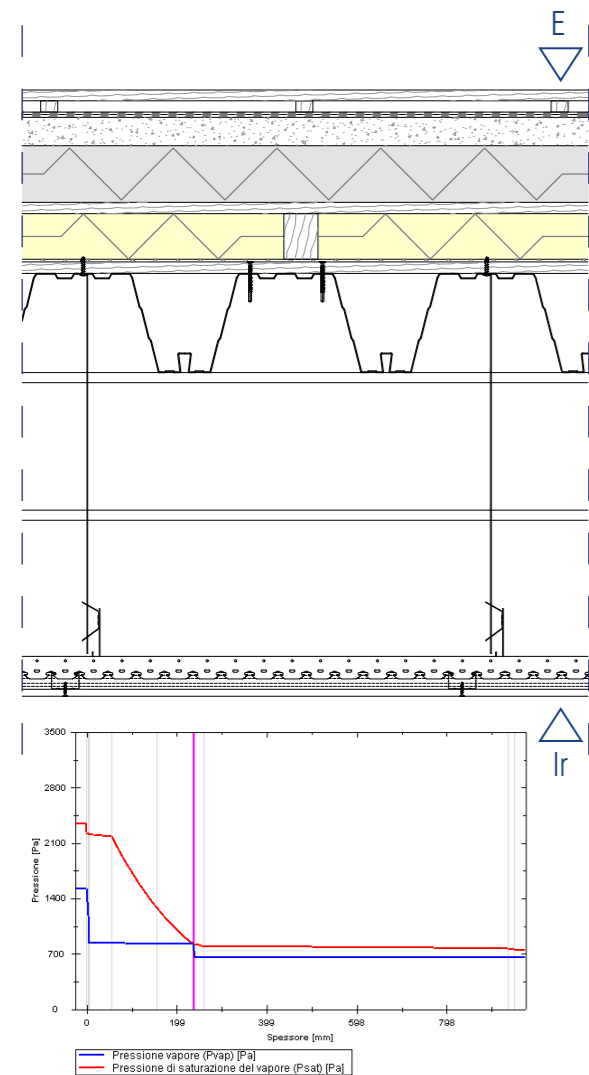
1. FINITURA: Pavimentazione in linoleum, sp. totale 1.8 mm.
2. IRRIGIDIMENTO: Doppia lastra in gessofibra, sp. 2x18 mm, tipo Brio di Knauf.
3. RIEMPIMENTO: granulare a base di perlite per sottofondi a secco, sp. 90 mm, tipo Trockenschuttung PA di Knauf.
4. ISOLANTE ACUSTICO: strato di isolante acustico organico, sp. 0.5 cm, dimensione rotolo 1x20 m, tipo BioMK di Isolmant.
5. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante termico e acustico in lana di legno, sp. 5 cm, dim. 2400x600 m, tipo N di Celenit.
6. SUPPORTO: pannelli tipo OSB, sp. 2 cm.
7. STRUTTURA SOLAIO: elementi grecati in acciaio, sp. 0.8 mm, h. 17.5 cm, tipo EGB 2000 GL di Marcegaglia.
8. STRUTTURA PORTANTE: trave in acciaio, tipo IPE
9. SUPPORTO: Orditura metallica a sospensione, tipo Knauf.
10. SUPPORTO: Lastra in cemento fibrorinforzato, sp. 12.5 mm, tipo Aquapanel Outdoor di Knauf.
11. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 8 cm, tipo FL/150 di Celenit.
12. ANCORAGGIO: sottostruttura in profili in alluminio e acciaio inox, tipo StoVentec.
13. SUPPORTO: Lastra portaintonaco a base di vetro riciclato, sp. 12 mm, tipo StoVentec.
14. FINITURA: Intonaco di finitura con Lotus-Effect, tipo StoLotus K di StoVentec.

SP. TOTALE: 110 cm

TRASMITTANZA: 0.203 W/m²K

SFASAMENTO: 13.4 h

C.O. 03 TERRAZZA



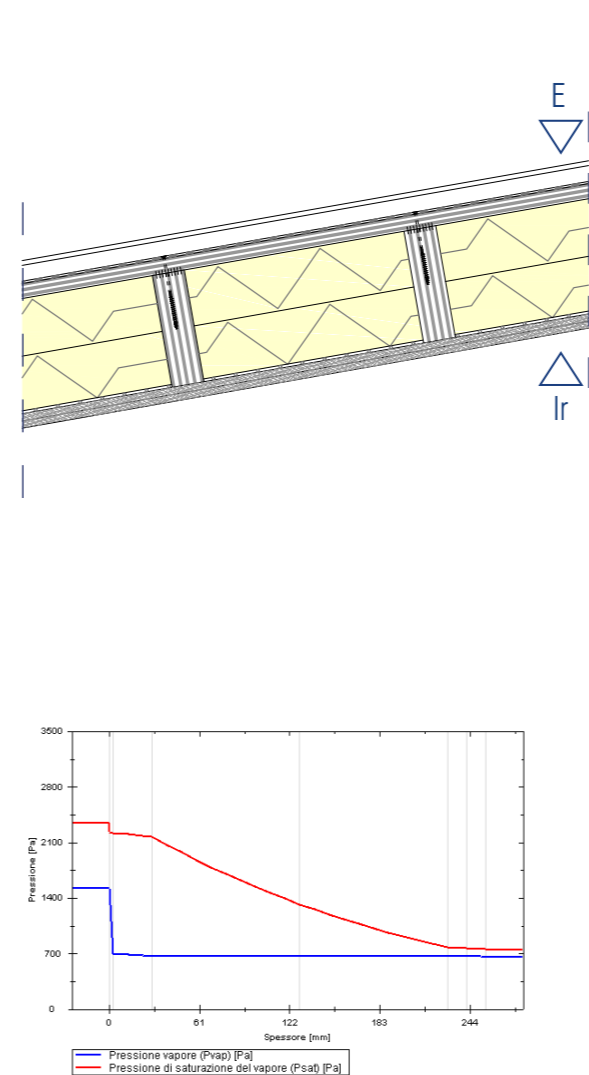
1. FINITURA: Decking in legno, dimensione listello 19 x 90 x 950/2150 mm, tipo Ipe di Déco.
2. SUPPORTO: Travetti in legno, interasse 450 mm, dimensione 30x20 mm.
3. TENUTA ALL'ACQUA: Doppia membrana impermeabilizzante, autoadesiva la prima, in bitume polimero elastomerica, sp. 4+4 mm, tipo Seltene Base HE P+ Mineral Helasta Poliestere di Index.
4. PENDENZA/SUPPORTO: Strato di calcestruzzo, sp. variabile.
5. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in polistirene espanso estruso, sp. 10 cm, tipo Styrodur 3035 CS.
6. SUPPORTO: Pannelli tipo OSB, sp. 2 cm.
7. SUPPORTO: Travetti in legno, dimensione 6x8 cm.
8. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 8 cm, tipo FL/150 di Celenit.
9. TENUTA AL VAPORE: Barriera al vapore in alluminio, sp. 0.31 mm, tipo Miofol 125 AV.
10. SUPPORTO: Pannelli tipo OSB, sp. 2 cm.
11. STRUTTURA SOLAIO: Elementi grecati in acciaio, sp. 0.8 mm, h. 17.5 cm, tipo EGB 2000 GL di Marcegaglia.
12. STRUTTURA PORTANTE: Trave in acciaio, tipo IPE.
13. SUPPORTO: Orditura metallica a sospensione, tipo Knauf.
14. FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevato potere fonoisolante, sp. 12.5 mm, tipo SilentBoard di Knauf.

SP. TOTALE: 106 cm

TRASMITTANZA: 0.193 W/m²K

SFASAMENTO: 10.9 h

C.O. 04 COPERTURA INCLINATA



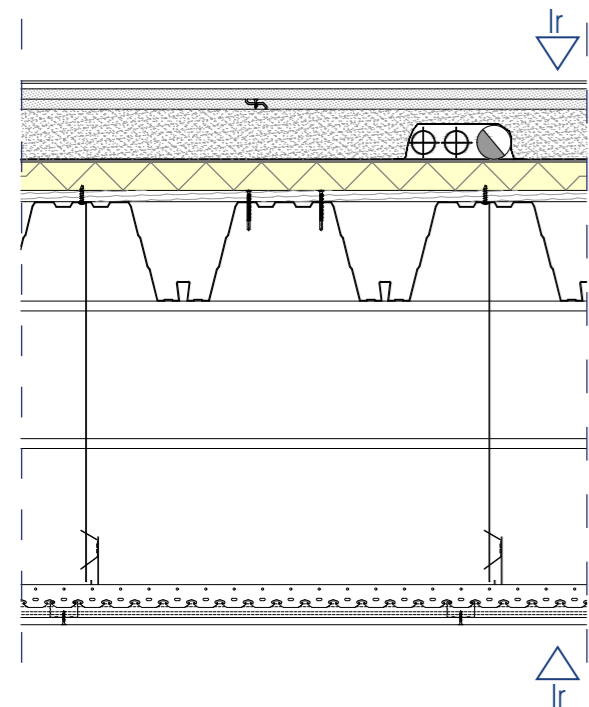
1. RIVESTIMENTO: Cassette in alluminio elettrocolorato, sp. 3 mm.
2. SUPPORTO: Sottostruttura metallica composta da profili con sezione a C, fissati puntualmente con sistema ad incastro.
3. INTERCAPEDINE VENTILATA: Sp. 4 cm.
4. TENUTA ALL'ACQUA E ALL'ARIA: Membrana impermeabilizzante permeabile al vapore, tipo Tyvec Pro di DuPont.
5. STRUTTURA SOLAIO: Pannello di rivestimento, sp. 26 mm, tipo Kerto Q di Finnforest; nervatura, dimensione 57x200 mm, tipo Kerto S di Finnforest.
6. ISOLANTE TERMICO: Doppio pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 10+10 cm, tipo FL/150 di Celenit.
7. TENUTA AL VAPORE: Barriera al vapore in alluminio, sp. 0.31 mm, tipo Miofol 125 AV.
8. CONTENIMENTO: Lastra in gesso rivestito, sp. 12.5 mm, tipo Vidiwall di Knauf.
9. FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevato potere fonoisolante, sp. 12.5 mm, tipo SilentBoard di Knauf.

SP. TOTALE: 30.4 cm

TRASMITTANZA: 0.185 W/m²K

SFASAMENTO: 13.7 h

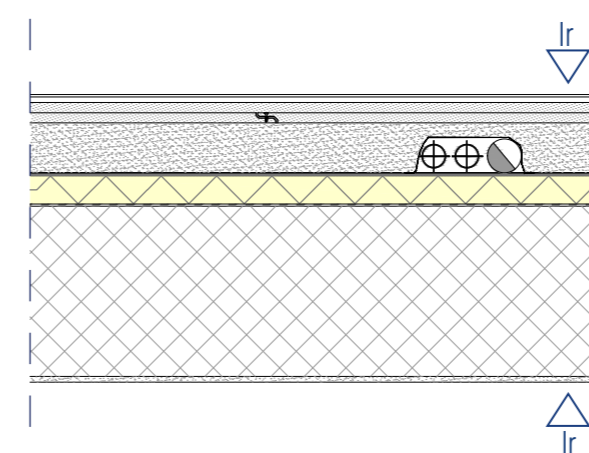
P.O. 01 SOLAIO INTERNO



1. FINITURA: Pavimentazione in linoleum, sp. totale 1.8 mm.
2. IRRIGIDIMENTO: Doppia lastra in gessofibra, sp. 2x18 mm, tipo Brio di Knauf.
3. RIEMPIMENTO: Granulare a base di perlite per sottofondi a secco, sp. 90 mm, tipo Trockenschuttung PA di Knauf.
4. ISOLANTE ACUSTICO: Strato di isolante acustico organico, sp. 0.5 cm, dimensione rotolo 1x20 m, tipo BioMK di Isolmant.
5. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante termico e acustico in lana di legno, sp. 5 cm, dim. 2400x600 m, tipo N di Celenit.
6. SUPPORTO: Pannelli tipo OSB, sp. 2 cm.
7. STRUTTURA SOLAIO: Elementi grecati in acciaio, sp. 0.8 mm, h. 17.5 cm, tipo EGB 2000 GL di Marcegaglia.
8. SRUTTURA PORTANTE: Trave in acciaio, tipo IPE
9. SUPPORTO: Orditura metallica a sospensione, tipo Knauf.
10. FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevato potere fonoisolante, sp. 12.5 mm, tipo SilentBoard di Knauf.

SP. TOTALE: 95 cm

P.O. 02 SOLAIO INTERNO SCALA

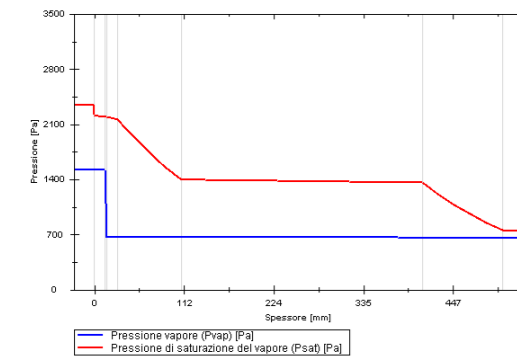
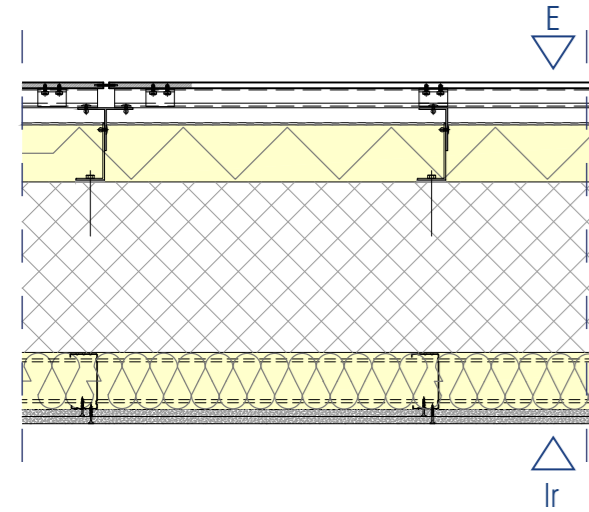


1. FINITURA: Pavimentazione in linoleum, sp. totale 1.8 mm.
2. IRRIGIDIMENTO: Doppia lastra in gessofibra, sp. 2x18 mm, tipo Brio di Knauf.
3. RIEMPIMENTO: granulare a base di perlite per sottofondi a secco, sp. 90 mm, tipo Trockenschuttung PA di Knauf.
4. ISOLANTE ACUSTICO: strato di isolante acustico organico, sp. 0.5 cm, dimensione rotolo 1x20 m, tipo BioMK di Isolmant.
5. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante termico e acustico in lana di legno, sp. 5 cm, dim. 2400x600 m, tipo N di Celenit.
6. STRATO DI SCORRIMENTO: Telo in carta Kraft, sp. 0.2 mm, tipo Naturaldiff.
7. STRUTTURA: solaio in calcestruzzo armato gettato in opera, sp. 30 cm.
8. FINITURA: Intonaco, sp. 10 mm

SP. TOTALE: 50.7 cm

C.V. 01 PARETE IN CA, RIVESTIMENTO TRESPA

Sezione orizzontale



1. FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevata resistenza meccanica e sicurezza agli urti, sp. 12.5 mm, tipo Diamant di Knauf.
2. SUPPORTO E TENUTA AL VAPORE: Lastra in gesso rivestito accoppiata con micro lamina in alluminio, sp. 12.5 mm, tipo GKB+B.V. di Knauf.
- 3a. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a U 40/100/40, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
- 3b. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a C 50/100/50, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
4. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 50 kg/m³, sp. 8 cm, tipo FL/45 di Celenit.
5. STRUTTURA: Setto in calcestruzzo armato, sp. 30 cm.
6. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 10 cm, tipo FL/150 di Celenit.
7. TENUTA ALL'ACQUA E ALL'ARIA: Membrana in fibre di polietilene e strato in polipropilene, sp. 0.6 mm, tipo Tyvec UV Facade di DuPont.
8. ANCORAGGIO: Sottostruttura in alluminio, tipo TS200 di Trespa.
9. FINITURA: pannello stratificato in fibre di legno con resine termoindurenti, sp. 8 mm, tipo Meteor di Trespa

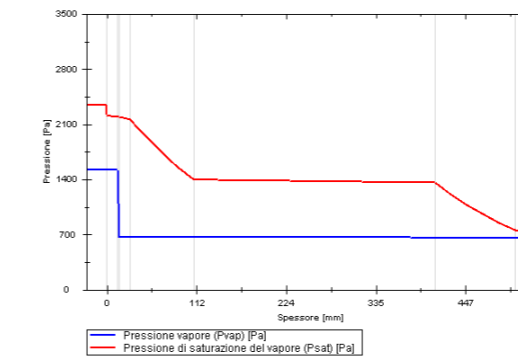
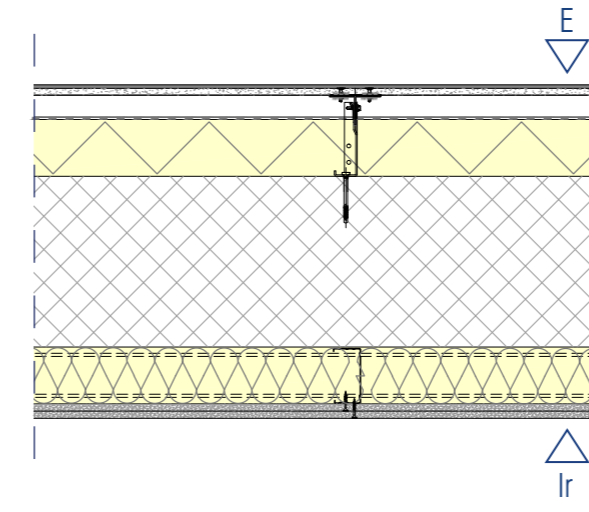
SP. TOTALE: 60 cm

TRASMITTANZA: 0.204 W/m²K

SFASAMENTO: 17.2 h

C.V. 02 PARETE IN CA, RIVESTIMENTO STOVENTEC

Sezione orizzontale



1. FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevata resistenza meccanica e sicurezza agli urti, sp. 12.5 mm, tipo Diamant di Knauf.
2. SUPPORTO E TENUTA AL VAPORE: Lastra in gesso rivestito accoppiata con micro lamina in alluminio, sp. 12.5 mm, tipo GKB+B.V. di Knauf.
- 3a. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a U 40/100/40, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
- 3b. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a C 50/100/50, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
4. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 50 kg/m³, sp. 8 cm, tipo FL/45 di Celenit.
5. STRUTTURA: Setto in calcestruzzo armato, sp. 30 cm.
6. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 10 cm, tipo FL/150 di Celenit.
7. TENUTA ALL'ACQUA E ALL'ARIA: membrana in fibre di polietilene e strato in polipropilene, sp. 0.6 mm, tipo Tyvec UV Facade di DuPont.
8. ANCORAGGIO: sottostruttura in profili in alluminio e acciaio inox, tipo StoVentec
9. SUPPORTO: Lastra portaintonaco a base di vetro riciclato, sp. 12 mm, tipo StoVentec
10. FINITURA: Intonaco di finitura con Lotus-Effect, tipo StoLotus K di StoVentec

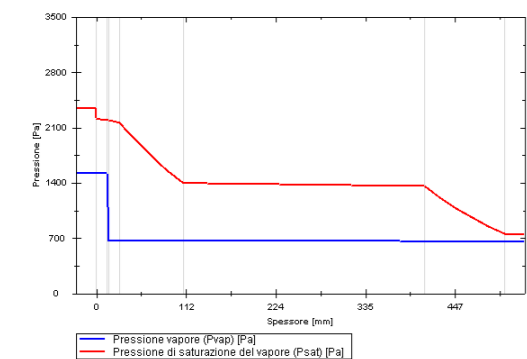
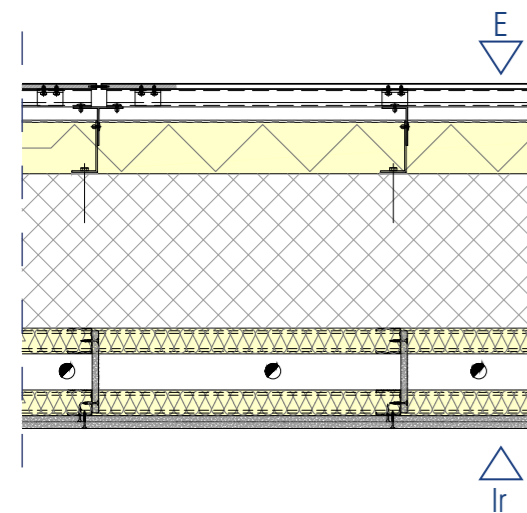
SP. TOTALE: 58 cm

TRASMITTANZA: 0.204 W/m²K

SFASAMENTO: 17.2 h

C.V. 03 PARETE IN CA, CAVEDIO IMPIANTI, RIVESTIMENTO TRESPA

Sezione orizzontale



1. FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevata resistenza meccanica e sicurezza agli urti, sp. 12.5 mm, tipo Diamant di Knauf.
2. SUPPORTO E TENUTA AL VAPORE: Lastra in gesso rivestito accoppiata con micro lamina in alluminio, sp. 12.5 mm, tipo GKB+B.V. di Knauf.
- 3a. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a U 40/50/40, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
- 3b. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a C 50/50/50, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
4. INTERCAPEDINE IMPIANTISTICA: Cavedio per il passaggio degli impianti, sp. 7 cm.
5. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 50 kg/m³, sp. 4 cm, tipo FL/45 di Celenit.
6. STRUTTURA: Setto in calcestruzzo armato, sp. 30 cm.
7. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 10 cm, tipo FL/150 di Celenit.
8. TENUTA ALL'ACQUA E ALL'ARIA: membrana in fibre di polietilene e strato in polipropilene, sp. 0.6 mm, tipo Tyvec UV Facade di DuPont.
9. ANCORAGGIO: Sottostruttura in alluminio, tipo TS200 di Trespa.
10. FINITURA: pannello stratificato in fibre di legno con resine termoindurenti, sp. 8 mm, tipo Meteor di Trespa.

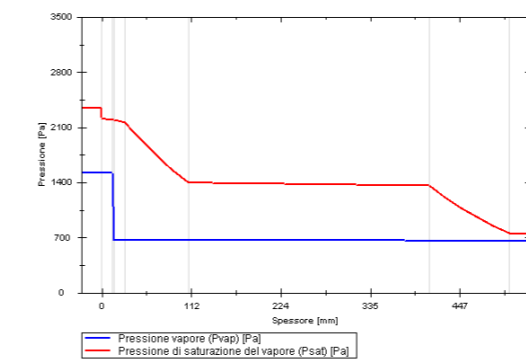
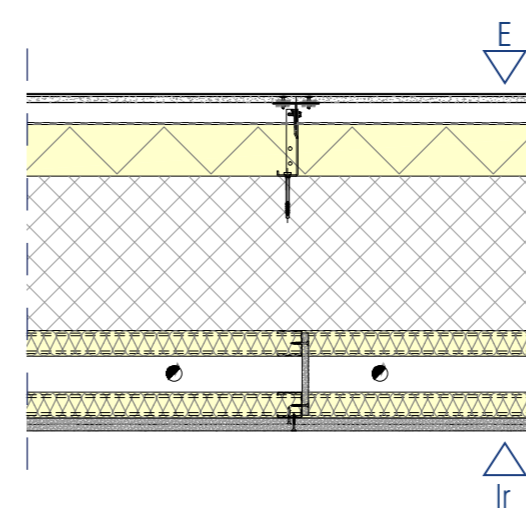
SP. TOTALE: 67 cm

TRASMITTANZA: 0.204 W/m²K

SFASAMENTO: 17.2 h

C.V. 04 PARETE IN CA, CAVEDIO IMPIANTI, RIVESTIMENTO STOVENTEC

Sezione orizzontale



1. FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevata resistenza meccanica e sicurezza agli urti, sp. 12.5 mm, tipo Diamant di Knauf.
2. SUPPORTO E TENUTA AL VAPORE: Lastra in gesso rivestito accoppiata con micro lamina in alluminio, sp. 12.5 mm, tipo GKB+B.V. di Knauf.
- 3a. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a U 40/50/40, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
- 3b. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a C 50/50/50, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
4. INTERCAPEDINE IMPIANTISTICA: Cavedio per il passaggio degli impianti, sp. 7 cm.
5. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 50 kg/m³, sp. 4 cm, tipo FL/45 di Celenit.
6. STRUTTURA: Setto in calcestruzzo armato, sp. 30 cm.
7. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 10 cm, tipo FL/150 di Celenit.
8. TENUTA ALL'ACQUA E ALL'ARIA: membrana in fibre di polietilene e strato in polipropilene, sp. 0.6 mm, tipo Tyvec UV Facade di DuPont.
9. ANCORAGGIO: sottostruttura in profili in alluminio e acciaio inox, tipo StoVentec.
10. SUPPORTO: Lastra portaintonaco a base di vetro riciclato, sp. 12 mm, tipo StoVentec.
11. FINITURA: Intonaco di finitura con Lotus-Effect, tipo StoLotus K di StoVentec.

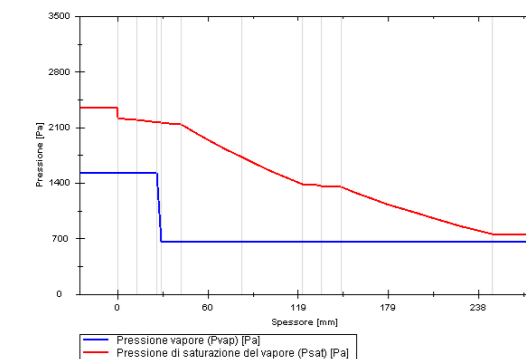
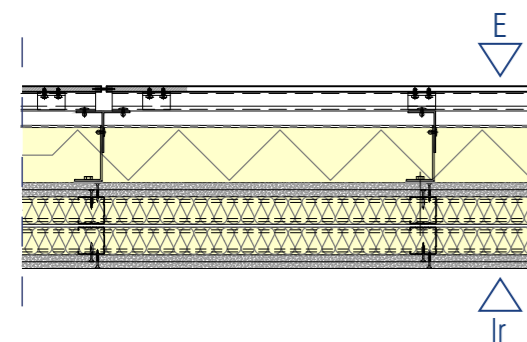
SP. TOTALE: 65 cm

TRASMITTANZA: 0.204 W/m²K

SFASAMENTO: 17.2 h

C.V. 05 PARETE SR, RIVESTIMENTO TRESPA

Sezione orizzontale



1. FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevata resistenza meccanica e sicurezza agli urti, sp. 12.5 mm, tipo Diamant di Knauf.
2. SUPPORTO E TENUTA AL VAPORE: Lastra in gesso rivestito accoppiata con micro lamina in alluminio, sp. 12.5 mm, tipo GKB+B.V. di Knauf.
- 3a. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a U 40/50/40, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
- 3b. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a C 50/50/50, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
4. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 50 kg/m³, sp. 4 cm, tipo FL/45 di Celenit.
5. SUPPORTO: Doppia lastra in gesso rivestito, tipo GKB di Knauf.
6. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 10 cm, tipo FL/150 di Celenit.
7. TENUTA ALL'ACQUA E ALL'ARIA: membrana in fibre di polietilene e strato in polipropilene, sp. 0.6 mm, tipo Tyvec UV Facade di DuPont.
8. ANCORAGGIO: Sottostruttura in alluminio, tipo TS200 di Trespa.
9. FINITURA: pannello stratificato in fibre di legno con resine termoidurenti, sp. 8 mm, tipo Meteon di Trespa.

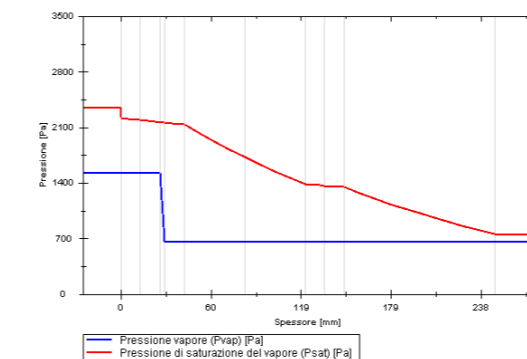
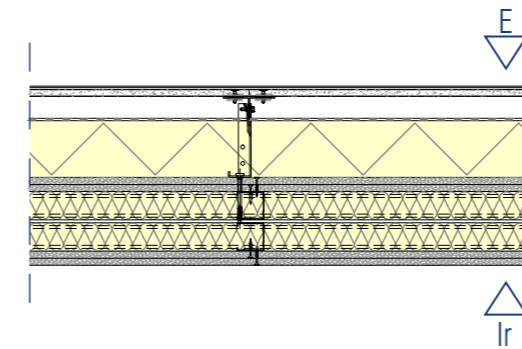
SP. TOTALE: 33 cm

TRASMITTANZA: 0.201 W/m²K

SFASAMENTO: 12.7 h

C.V. 06 PARETE SR, RIVESTIMENTO STOVENTEC

Sezione orizzontale



1. FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevata resistenza meccanica e sicurezza agli urti, sp. 12.5 mm, tipo Diamant di Knauf.
2. SUPPORTO E TENUTA AL VAPORE: Lastra in gesso rivestito accoppiata con micro lamina in alluminio, sp. 12.5 mm, tipo GKB+B.V. di Knauf.
- 3a. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a U 40/50/40, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
- 3b. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a C 50/50/50, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
4. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 50 kg/m³, sp. 4 cm, tipo FL/45 di Celenit.
5. SUPPORTO: Doppia lastra in gesso rivestito, tipo GKB di Knauf.
6. ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 10 cm, tipo FL/150 di Celenit.
7. TENUTA ALL'ACQUA E ALL'ARIA: membrana in fibre di polietilene e strato in polipropilene, sp. 0.6 mm, tipo Tyvec UV Facade di DuPont.
8. ANCORAGGIO: sottostruttura in profili in alluminio e acciaio inox, tipo StoVentec
9. SUPPORTO: Lastra portaintonaco a base di vetro riciclato, sp. 12 mm, tipo StoVentec
10. FINITURA: Intonaco di finitura con Lotus-Effect, tipo StoLotus K di StoVentec

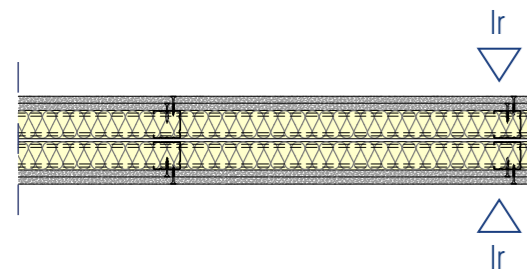
SP. TOTALE: 31.5 cm

TRASMITTANZA: 0.201 W/m²K

SFASAMENTO: 12.7 h

P.V. 01 PARTIZIONE INTERNA

Sezione orizzontale

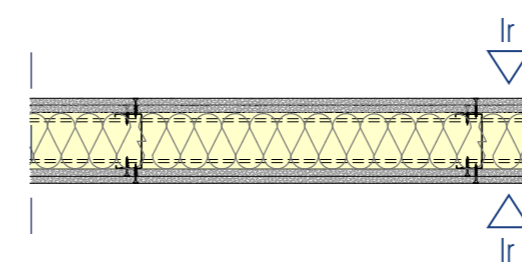


1. FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevata resistenza meccanica e sicurezza agli urti, sp. 12.5 mm, tipo Diamant di Knauf.
2. CONTENIMENTO/IRRIGIDIMENTO: Lastra in gesso rivestito con elevato potere fonoisolante, sp. 12.5 mm, tipo SilentBoard di Knauf.
- 3a. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a U 40/50/40, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
- 3b. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a C 50/50/50, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
4. ISOLANTE TERMICO E ACUSTICO: Pannello in lana di roccia, densità medio bassa, sp. 4 cm, tipo ISORoccia70 di Knauf.

SP. TOTALE: 15.5 cm

P.V. 02 PARTIZIONE INTERNA BAGNI

Sezione orizzontale

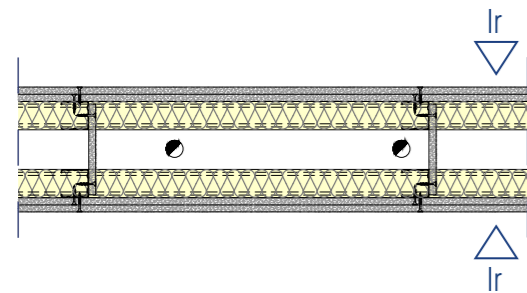


1. FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevata resistenza meccanica e sicurezza agli urti, sp. 12.5 mm, tipo Diamant di Knauf.
2. CONTENIMENTO/IRRIGIDIMENTO: Lastra in gesso rivestito con elevato potere fonoisolante, sp. 12.5 mm, tipo SilentBoard di Knauf.
- 3a. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a U 40/100/40, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
- 3b. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a C 50/100/50, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
4. ISOLANTE TERMICO E ACUSTICO: Pannello in lana di roccia, densità medio bassa, sp. 8 cm, tipo ISORoccia70 di Knauf.

SP. TOTALE: 15 cm

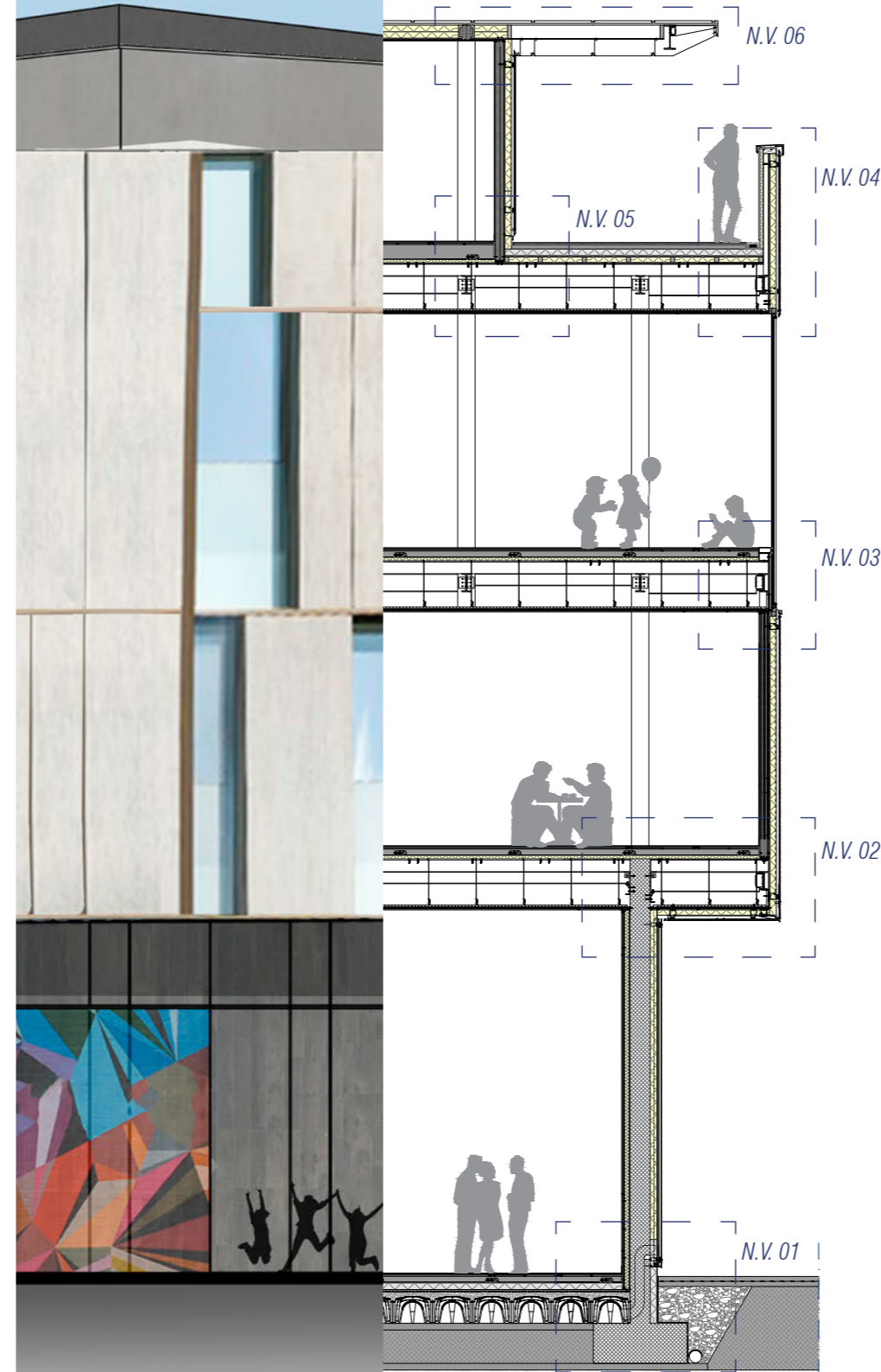
P.V. 03 PARTIZIONE INTERNA CON CAVEDIO IMPIANTISTICO

Sezione orizzontale



1. FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevata resistenza meccanica e sicurezza agli urti, sp. 12.5 mm, tipo Diamant di Knauf.
2. CONTENIMENTO/IRRIGIDIMENTO: Lastra in gesso rivestito con elevato potere fonoisolante, sp. 12.5 mm, tipo SilentBoard di Knauf.
- 3a. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a U 40/50/40, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
- 3b. SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a C 50/50/50, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.
4. ISOLANTE TERMICO E ACUSTICO: Pannello in lana di roccia, densità medio bassa, sp. 4 cm, tipo ISORoccia70 di Knauf.
5. INTERCAPEDINE IMPIANTISTICA: Cavedio per il passaggio degli impianti, sp. 7 cm.

SP. TOTALE: 22 cm



3.1.5 NODI TECNOLOGICI

Le pagine successive presentano, con la descrizione dei vari strati, i pacchetti tecnologici studiati e adottati nel progetto. Tramite software EdilClima, per quelli perimetrali, è stata calcolata: la trasmittanza, lo sfasamento, eventuale presenza di condensa interstiziale.

Si riportano a seguire i valori limite di trasmittanza U , espressa in W/m^2K , per la zona termica E, estrapolati dal D.M. del 26/06/2015 "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici".

N.V. 01

FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevata resistenza meccanica e sicurezza agli urti, sp. 12.5 mm, tipo Diamant di Knauf.

SUPPORTO E TENUTA AL VAPORE: Lastra in gesso rivestito accoppiata con micro lamina in alluminio, sp. 12.5 mm, tipo GKB+B.V. di Knauf.

SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a C 50/100/50, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 50 kg/m³, sp. 8 cm, tipo FL/45 di Celenit.

SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a U 40/100/40, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.

FINITURA: Pavimentazione in linoleum, sp. totale 1.8 mm.

IRRIGIDIMENTO: Doppia lastra in gessofibra, sp. 2x18 mm, tipo Brio di Knauf.

RIEMPIMENTO: granulare a base di perlite per sottofondi a secco, sp. 90 mm, tipo Trockenschuttung PA di Knauf.

ISOLANTE ACUSTICO: strato di isolante acustico organico, sp. 0.5 cm, dimensione rotolo 1x20 m, tipo BioMK di Isolmant.

TENUTA AL VAPORE: Barriera al vapore in alluminio, sp. 0.31 mm, tipo Miofol 125 AV.

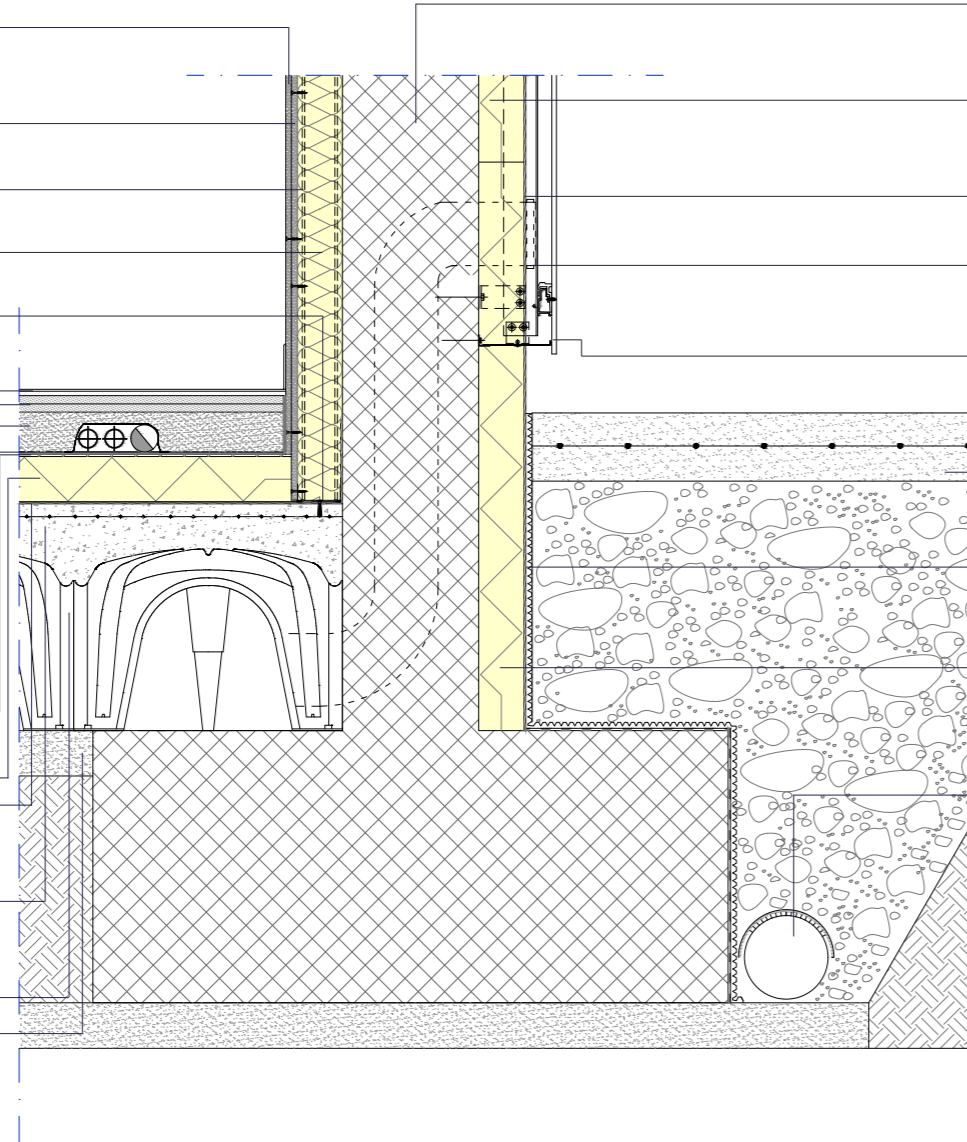
ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in polistirene espanso estruso, sp. 10 cm, tipo Styrodur 3035 CS

STRATO DI SCORRIMENTO: Telo in polietilene

STRUTTURA: strato di cls con rete zincata elettrosaldata, maglia 50x50 cm, diametro filo 1.8 mm, tipo Ar-medil, sp. 10 cm.

SUPPORTO: elementi in propilene rigenerato per la realizzazione di vespai areati, h. 40 cm, tipo Copolex di Pontarolo Engineering.

STRATO LIVELLANTE: strato di magrone, sp. 10 cm.



STRUTTURA: Setto in calcestruzzo armato, sp. 30 cm.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 10 cm, tipo FL/150 di Celenit.

TENUTA ALL'ACQUA E ALL'ARIA: membrana in fibre di polietilene e strato in polipropilene, sp. 0.6 mm, tipo Tyvec UV Facade di DuPont.

ANCORAGGIO: Sottostruttura in alluminio, tipo TS200 di Trespa.

FINITURA: pannello stratificato in fibre di legno con resine termoindurenti, sp. 8 mm, tipo Meteon di Trespa.

FINITURA ESTENA: Strato in calcestruzzo armato, carrabile, sp. 15 cm.

ELEMENTO PROTETTIVO E DI SEPARAZIONE: Membrana bugnata in HDPE. Strato di ghiaia frantumata.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in polistirene espanso estruso, sp. 10 cm, tipo Styrodur 3035 CS

ELEMENTO DI FONTAZIONE: Plinto in calcestruzzo armato, dimensione 140 x 140 x 60 cm. Tubo per drenaggio in PE.

N.V. 02

FINITURA: Pavimentazione in linoleum, sp. totale 1.8 mm.

IRRIGIDIMENTO: Doppia lastra in gessofibra, sp. 2x18 mm, tipo Brio di Knauf.

RIEMPIMENTO: granulare a base di perlite per sottofondi a secco, sp. 90 mm, tipo Trockenschuttung PA di Knauf.

ISOLANTE ACUSTICO: strato di isolante acustico organico, sp. 0.5 cm, dimensione rotolo 1x20 m, tipo BioMK di Isolmant.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante termico e acustico in lana di legno, sp. 5 cm, dim. 2400x600 m, tipo N di Celenit.

SUPPORTO: pannelli tipo OSB, sp. 2 cm.

STRUTTURA SOLAIO: elementi grecati in acciaio, sp. 0.8 mm, h. 17.5 cm, tipo EGB 2000 GL di Marcegaglia.

SRUTTURA PORTANTE: trave in acciaio, tipo IPE 200.

FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevata resistenza meccanica e sicurezza agli urti, sp. 12.5 mm, tipo Diamant di Knauf.

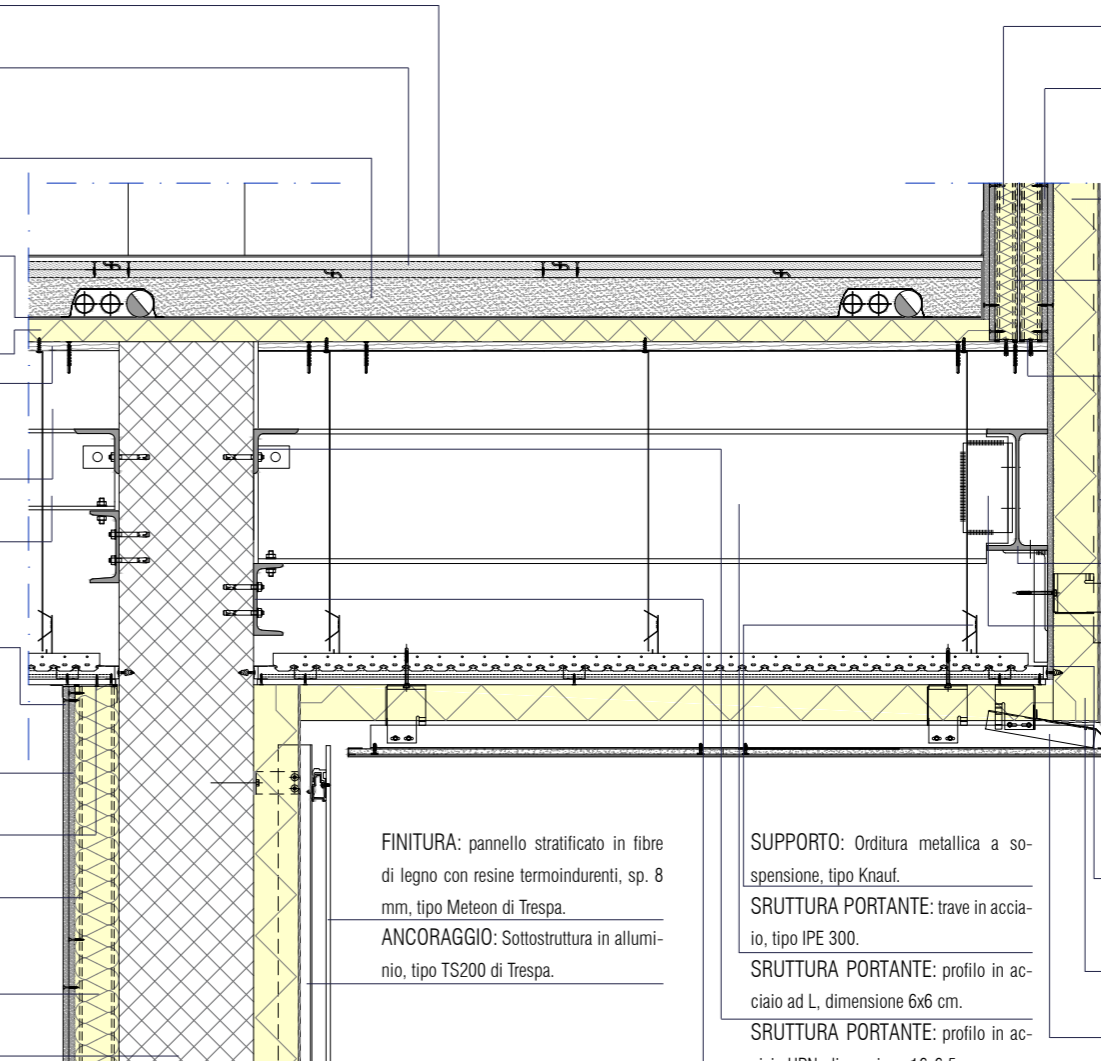
SUPPORTO E TENUTA AL VAPORE: Lastra in gesso rivestito accoppiata con micro lamina in alluminio, sp. 12.5 mm, tipo GKB+B.V. di Knauf.

SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a U 40/100/40, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.

SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a C 50/100/50, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 50 kg/m³, sp. 8 cm, tipo FL/45 di Celenit.

STRUTTURA: Setto in calcestruzzo armato, sp. 30 cm.



FINITURA: pannello stratificato in fibre di legno con resine termoindurenti, sp. 8 mm, tipo Meteon di Trespa.
ANCORAGGIO: Sottostruttura in alluminio, tipo TS200 di Trespa.

SUPPORTO: Orditura metallica a sospensione, tipo Knauf.
SRUTTURA PORTANTE: trave in acciaio, tipo IPE 300.
SRUTTURA PORTANTE: profilo in acciaio ad L, dimensione 6x6 cm.
SRUTTURA PORTANTE: profilo in acciaio UPN, dimensione 16x6.5 cm.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 50 kg/m³, sp. 4 cm, tipo FL/45 di Celenit.

SUPPORTO: Doppia lastra in gesso rivestito, tipo GKB di Knauf.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 10 cm, tipo FL/150 di Celenit.

SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a C 50/50/50, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.

SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a U 40/50/40, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.

TENUTA ALL'ACQUA E ALL'ARIA: membrana in fibre di polietilene e strato in polipropilene, sp. 0.6 mm, tipo Tyvec UV Facade di DuPont.

SRUTTURA PORTANTE: trave in acciaio, tipo IPE 270.

ELEMENTO DI CONNESSIONE: profilo pressopiegato presaldato alla trave.

FINITURA: Intonaco di finitura con Lotus-Effect, tipo StoLotus K di StoVentec

SUPPORTO: Lastra portaintonaco a base di vetro riciclato, sp. 12 mm, tipo StoVentec.

SUPPORTO: Lastra in cemento fibrorinforzato, sp. 12.5 mm, tipo Aquapanel Outdoor di Knauf.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 8 cm, tipo FL/150 di Celenit.

ANCORAGGIO: sottostruttura in profili in alluminio e acciaio inox, tipo StoVentec.

FINITURA: Pavimentazione in linoleum, sp. totale 1.8 mm.

IRRIDIMENTO: Doppia lastra in gessofibra, sp. 2x18 mm, tipo Brio di Knauf.

RIEMPIMENTO: Granulare a base di perlite per sottofondi a secco, sp. 90 mm, tipo Trockenschuttung PA di Knauf.

ISOLANTE ACUSTICO: Strato di isolante acustico organico, sp. 0.5 cm, dimensione rotolo 1x20 m, tipo BioMK di Isolmant.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante termico e acustico in lana di legno, sp. 5 cm, dim. 2400x600 m, tipo N di Celenit.

SUPPORTO: Pannelli tipo OSB, sp. 2 cm.

STRUTTURA SOLAIO: Elementi grecati in acciaio, sp. 0.8 mm, h. 17.5 cm, tipo EGB 2000 GL di Marcegaglia.

SRUTTURA PORTANTE: Trave in acciaio, tipo IPE

SUPPORTO: Orditura metallica a sospensione, tipo Knauf.

FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevato potere fonoisolante, sp. 12.5 mm, tipo SilentBoard di Knauf.

FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevata resistenza meccanica e sicurezza agli urti, sp. 12.5 mm, tipo Diamant di Knauf.

SUPPORTO E TENUTA AL VAPORE: Lastra in gesso rivestito accoppiata con micro lamina in alluminio, sp. 12.5 mm, tipo GKB+B.V. di Knauf.

SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a U 40/50/40, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.

SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a C 50/50/50, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 50 kg/m³, sp. 4 cm, tipo FL/45 di Celenit.

ELEMENTO DI CHIUSURA TRASPARENTE: Serramento fisso in acciaio, tipo Unico di Forster.

ELEMENTO DI CHIUSURA E PROTEZIONE: Tubolare in acciaio di chiusura e separazione tra vetro e solaio, con guaina polimerica per garantire eventuali movimenti, dimensione 150x80x3 mm.

ELEMENTO DI CONNESSIONE: profilo a U per fissaggio puntuale della lastra di gesso rivestito e per chiusura stratigrafia solaio, dimensione 14x12x3 mm.

SRUTTURA PORTANTE: trave in acciaio, tipo IPE 270.

ELEMENTO DI CONNESSIONE: profilo pressopiegato presaldato alla trave.

ELEMENTO PROTETTIVO: lamiera di protezione dagli agenti atmosferici.

ELEMENTO DI CONNESSIONE: tubolare in acciaio a sezione quadrata, dimensione 70x70 mm, sp. 4 mm.

SUPPORTO: Doppia lastra in gesso rivestito, tipo GKB di Knauf.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 10 cm, tipo FL/150 di Celenit.

TENUTA ALL'ACQUA E ALL'ARIA: membrana in fibre di polietilene e strato in polipropilene, sp. 0.6 mm, tipo Tyvec UV Facade di DuPont.

ANCORAGGIO: sottostruttura in profili in alluminio e acciaio inox, tipo StoVentec

SUPPORTO: Lastra portaintonaco a base di vetro riciclato, sp. 12 mm, tipo StoVentec

FINITURA: Intonaco di finitura con Lotus-Effect, tipo StoLotus K di StoVentec

FINITURA: Intonaco di finitura con Lotus-Effect, tipo StoLotus K di StoVentec.

ELEMENTO DRENANTE.

RIEMPIMENTO: Ghiaia.

FINITURA: Decking in legno, dimensione listello 19 x 90 x 950/2150 mm, tipo Ipe di Déco.

SUPPORTO: Travetti in legno, interasse 450 mm, dimensione 30x20 mm.

TENUTA ALL'ACQUA: Doppia membrana impermeabilizzante, autoadesiva la prima, in bitume polimero elastomerica, sp. 4+4 mm, tipo Seltene Base HE P+ Mineral Helasta Poliestere di Index

PENDENZA/SUPPORTO: Strato di calcestruzzo, sp. variabile.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in polistirene espanso estruso, sp. 10 cm, tipo Styrodur 3035 CS

SUPPORTO: Pannelli tipo OSB, sp. 2 cm.

SUPPORTO: Travetti in legno, dimensione 6x8 cm

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 8 cm, tipo FL/150 di Celenit.

TENUTA AL VAPORE: Barriera al vapore in alluminio, sp. 0.31 mm, tipo Miotol 125 AV.

SUPPORTO: Pannelli tipo OSB, sp. 2 cm.

STRUTTURA SOLAIO: Elementi grecati in acciaio, sp. 0.8 mm, h. 17.5 cm, tipo EGB 2000 GL di Marcegaglia.

SRUTTURA PORTANTE: Trave in acciaio, tipo IPE 300.

SUPPORTO: Orditura metallica a sospensione, tipo Knauf.

FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevato potere fonoisolante, sp. 12.5 mm, tipo SilentBoard di Knauf.

ELEMENTO PROTETTIVO: lamiera di protezione dagli agenti atmosferici.

SUPPORTO: Blocco in legno, dimensione cm.

ELEMENTO PORTANTE: Tubolare in acciaio presaldato alla trave di bordo, dimensione 8x8 cm, sp. 5 mm, altezza 182 cm.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 5 cm, tipo FL/150 di Celenit.

SUPPORTO: Doppia lastra in gesso rivestito, tipo GKB di Knauf.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 10 cm, tipo FL/150 di Celenit.

TENUTA ALL'ACQUA E ALL'ARIA: membrana in fibre di polietilene e strato in polipropilene, sp. 0.6 mm, tipo Tyvec UV Facade di DuPont.

ANCORAGGIO: sottostruttura in profili in alluminio e acciaio inox, tipo StoVentec

SUPPORTO: Lastra portaintonaco a base di vetro riciclato, sp. 12 mm, tipo StoVentec

FINITURA: Intonaco di finitura con Lotus-Effect, tipo StoLotus K di StoVentec.

SRUTTURA PORTANTE: trave in acciaio, tipo IPE 270.

ELEMENTO DI CONNESSIONE: profilo pressopiegato presaldato alla trave.

ELEMENTO DI CONNESSIONE: tubolare in acciaio a sezione quadrata, dimensione 70x70 mm, sp. 4 mm.

ELEMENTO DI CHIUSURA TRASPARENTE: Serramento fisso in acciaio, tipo Unico di Forster.

N.V. 05

FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevata resistenza meccanica e sicurezza agli urti, sp. 12.5 mm, tipo Diamant di Knauf.

SUPPORTO E TENUTA AL VAPORE: Lastra in gesso rivestito accoppiata con micro lamina in alluminio, sp. 12.5 mm, tipo GKB+B.V. di Knauf.

SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a C 50/50/50, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 50 kg/m³, sp. 4 cm, tipo FL/45 di Celenit.

SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a U 40/50/40, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.

FINITURA: Pavimentazione in linoleum, sp. totale 1.8 mm.

IRRIGIDIMENTO: Doppia lastra in gessofibra, sp. 2x18 mm, tipo Brio di Knauf.

RIEMPIMENTO: Granulare a base di perlite per sottofondi a secco, sp. 220 mm, tipo Trockenschuttung PA di Knauf.

ISOLANTE ACUSTICO: Strato di isolante acustico organico, sp. 0.5 cm, dimensione rotolo 1x20 m, tipo BioMK di Isolmant.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante termico e acustico in lana di legno, sp. 5 cm, dim. 2400x600 m, tipo N di Celenit.

SUPPORTO: Pannelli tipo OSB, sp. 2 cm.

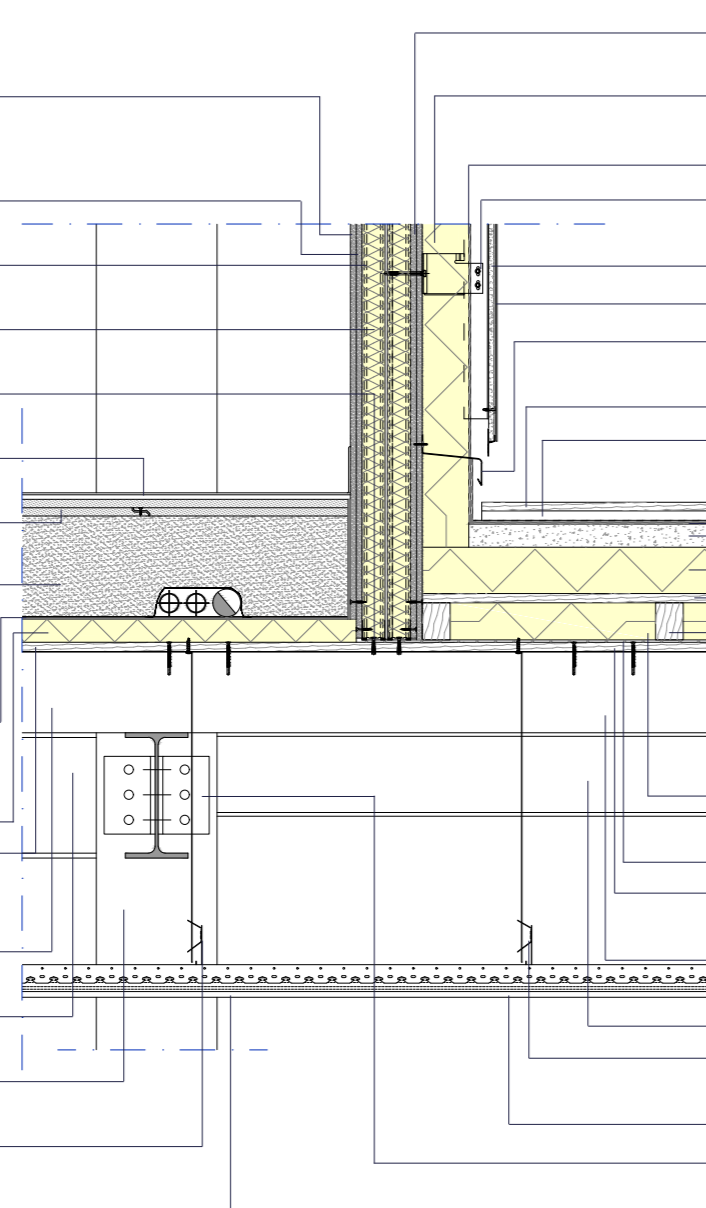
STRUTTURA SOLAIO: Elementi grecati in acciaio, sp. 0.8 mm, h. 17.5 cm, tipo EGB 2000 GL di Marcegaglia.

SRUTTURA PORTANTE: Trave in acciaio, tipo IPE 270.

SRUTTURA PORTANTE: Pilastro in acciaio, tipo HEB260.

SUPPORTO: Orditura metallica a sospensione, tipo Knauf.

FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevato potere fonoisolante, sp. 12.5 mm, tipo SilentBoard di Knauf.



SUPPORTO: Doppia lastra in gesso rivestito, tipo GKB di Knauf.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 10 cm, tipo FL/150 di Celenit.

TENUTA ALL'ACQUA E ALL'ARIA: membrana in fibre di polietilene e strato in polipropilene, sp. 0.6 mm, tipo Tyvec UV Facade di DuPont.

ANCORAGGIO: sottostruttura in profili in alluminio e acciaio inox, tipo StoVentec

SUPPORTO: Lastra portaintonaco a base di vetro riciclato, sp. 12 mm, tipo StoVentec

FINITURA: Intonaco di finitura con Lotus-Effect, tipo StoLotus K di StoVentec

ELEMENTO PROTETTIVO: lamiera di protezione dagli agenti atmosferici.

FINITURA: Decking in legno, dimensione listello 19 x 90 x 950/2150 mm, tipo Ipe di Déco.

SUPPORTO: Travetti in legno, interasse 450 mm, dimensione 30x20 mm.

TENUTA ALL'ACQUA: Doppia membrana impermeabilizzante, autoadesiva la prima, in bitume polimero elastomeric, sp. 4+4 mm, tipo Seltene Base HE P+ Mineral Helasta Poliestere di Index

PENDENZA/SUPPORTO: Strato di calcestruzzo, sp. variabile.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in polistirene espanso estruso, sp. 10 cm, tipo Styrodur 3035 CS

SUPPORTO: Pannelli tipo OSB, sp. 2 cm.

SUPPORTO: Travetti in legno, dimensione 6x8 cm

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 8 cm, tipo FL/150 di Celenit.

TENUTA AL VAPORE: Barriera al vapore in alluminio, sp. 0.31 mm, tipo Miofol 125 AV.

SUPPORTO: Pannelli tipo OSB, sp. 2 cm.

STRUTTURA SOLAIO: Elementi grecati in acciaio, sp. 0.8 mm, h. 17.5 cm, tipo EGB 2000 GL di Marcegaglia.

SRUTTURA PORTANTE: Trave in acciaio, tipo IPE 180.

SUPPORTO: Orditura metallica a sospensione, tipo Knauf.

FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevato potere fonoisolante, sp. 12.5 mm, tipo SilentBoard di Knauf.

ELEMENTO DI CONNESSIONE: profilo pressopiegato.

N.V. 06

RIVESTIMENTO: Cassette in alluminio elettrolucato, sp. 3 mm.

SUPPORTO: Sottostruttura metallica composta da profili con sezione a C, fissati puntualmente con sistema ad incastro.

INTERCAPEDINE VENTILATA: Sp. 4 cm.

TENUTA ALL'ACQUA E ALL'ARIA: Membrana impermeabilizzante permeabile al vapore, tipo Tyvec Pro di DuPont.

STRUTTURA SOLAIO: Pannello di rivestimento, sp. 26 mm, tipo Kerto Q di Finnforest; nervatura, dimensione 57x200 mm, tipo Kerto S di Finnforest.

ISOLANTE TERMICO: Doppio pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 10+10 cm, tipo FL/150 di Celenit.

TENUTA AL VAPORE: Barriera al vapore in alluminio, sp. 0.31 mm, tipo Miofol 125 AV.

CONTENIMENTO: Lastra in gesso rivestito, sp. 12.5 mm, tipo Vidiwall di Knauf.

FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevato potere fonoisolante, sp. 12.5 mm, tipo SilentBoard di Knauf.

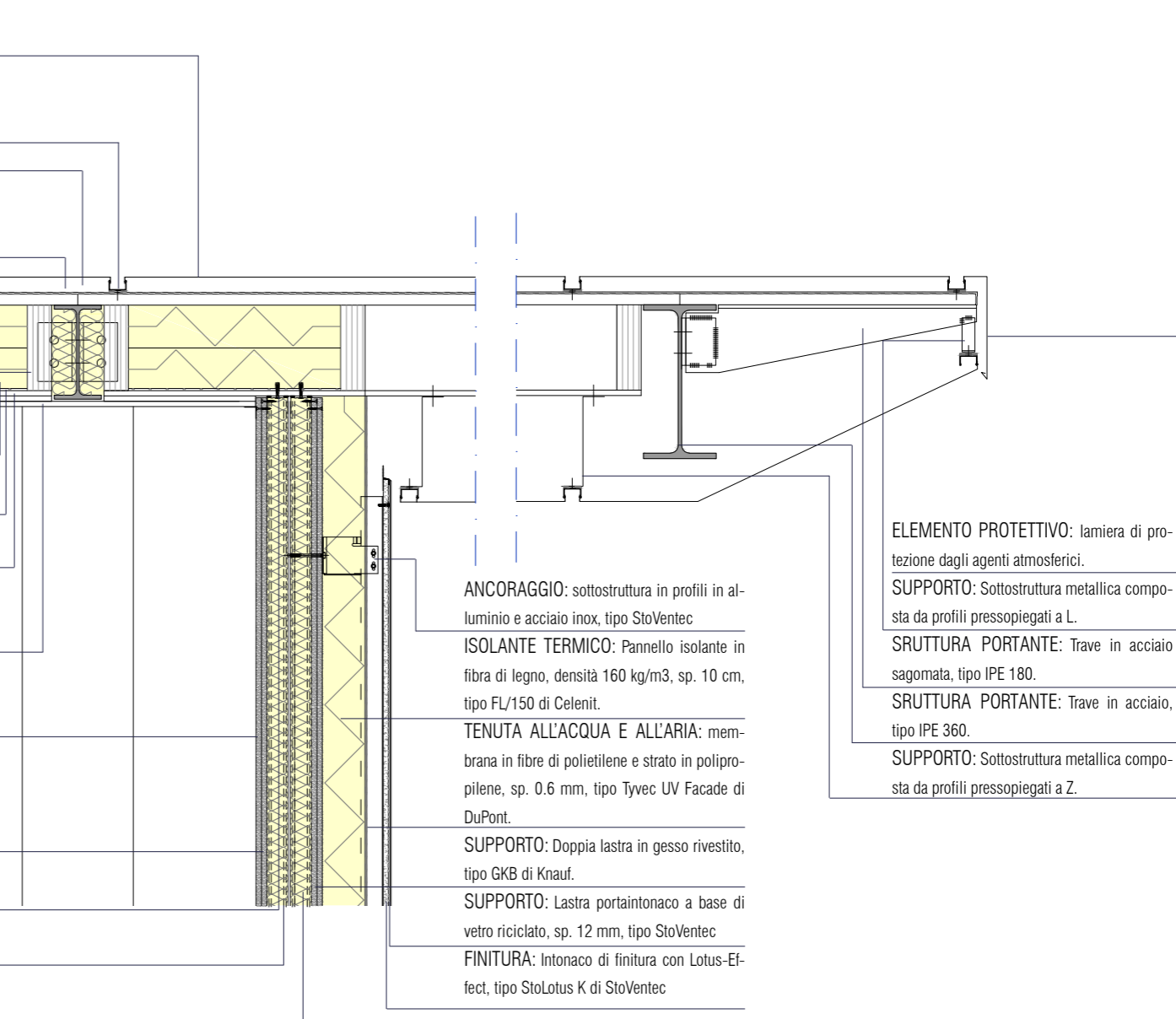
FINITURA: Lastra in gesso rivestito con elevata resistenza meccanica e sicurezza agli urti, sp. 12.5 mm, tipo Diamant di Knauf.

SUPPORTO E TENUTA AL VAPORE: Lastra in gesso rivestito accoppiata con micro lamina in alluminio, sp. 12.5 mm, tipo GKB+B.V. di Knauf.

SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a U 40/50/40, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.

SUPPORTO: Orditura metallica composta da profili a C 50/50/50, sp. 0.8 mm, tipo Knauf.

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 50 kg/m³, sp. 4 cm, tipo



ANCORAGGIO: sottostruttura in profili in alluminio e acciaio inox, tipo StoVentec

ISOLANTE TERMICO: Pannello isolante in fibra di legno, densità 160 kg/m³, sp. 10 cm, tipo FL/150 di Celenit.

TENUTA ALL'ACQUA E ALL'ARIA: membrana in fibre di polietilene e strato in polipropilene, sp. 0.6 mm, tipo Tyvec UV Facade di DuPont.

SUPPORTO: Doppia lastra in gesso rivestito, tipo GKB di Knauf.

SUPPORTO: Lastra portaintonaco a base di vetro riciclato, sp. 12 mm, tipo StoVentec

FINITURA: Intonaco di finitura con Lotus-Effect, tipo StoLotus K di StoVentec

ELEMENTO PROTETTIVO: lamiera di protezione dagli agenti atmosferici.

SUPPORTO: Sottostruttura metallica composta da profili pressopiegati a L.

SRUTTURA PORTANTE: Trave in acciaio sagomata, tipo IPE 180.

SRUTTURA PORTANTE: Trave in acciaio, tipo IPE 360.

SUPPORTO: Sottostruttura metallica composta da profili pressopiegati a Z.

3.2 SCHEMATIC DESIGN

Le strategie energetiche, ipotizzate e adottate in fase progettuale, vengono riassunte negli schematic design, che si differenziano in relazione alla stagione: inverno, estate.

Nel nostro caso specifico, ci siamo soffermati solo sullo studio dell'oscuramento azionato da molle in SMA. Gli altri impianti inseriti negli schematic



Schematic Design: Inverno

a lato derivano da riflessioni relative alla destinazione d'uso, come per il sistema di raffrescamento/riscaldamento, e all'ecologicità dell'intervento, come la vasca per la raccolta di acqua piovana da destinarsi ad irrigazione degli orti e agli scarichi dei wc. Di questi impianti non è stato fatto alcun dimensionamento.

L'inserimento di una pompa di calore di tipologia acqua-acqua è dato dalla particolare posizione "superficiale" della falda di Milano.



Schematic Design: Estate

3.3 COMFORT ILLUMINOTECNICO

In Europa oggi trascorriamo il 90% del nostro tempo al chiuso, in edifici che incidono per oltre il 40% sul consumo totale di energia; inoltre più del 30% del patrimonio edilizio non garantisce livelli di comfort interno accettabili. Puntando lo sguardo al futuro delle costruzioni e delle ristrutturazioni, è necessario iniziare a prendere in considerazione i cambiamenti climatici e le scarsi scorte di fonti di energia tradizionali, in vista, anche, di standard di benessere sempre crescenti.

La luce, in assoluto, è un argomento delicato e centrale in quest'ottica, in quanto interessa sia la sfera energetica sia la sfera della vivibilità. Spesso ottimizzare un aspetto significa spesso penalizzare l'altro. Per definizione con il termine "luce" si intende solo la parte del visibile, quindi solo una porzione dello spettro elettromagnetico, trascurando le altre lunghezze d'onda, come gli infrarossi, responsabili del surriscaldamento degli ambienti illuminati. Nei paragrafi successivi tratteremo proprio questa doppia valenza della luce, soffermandoci, in particolare, sul controllo della luce nei laboratori, in quanto funzione principale del centro civico.

È stato affrontato anche lo studio della luce negli spazi aperti, concentrandosi sugli effetti dell'abbagliamento dovuto alla geometria dell'oscuramento.

3.3.1 L'IMPORTANZA DELLA LUCE

La radiazione solare ha un'azione fondamentale sulla nostra psiche in quanto favorisce la produzione di serotonina, un ormone che dà la sensazione di benessere e che, allo stesso tempo, riduce la concentrazione nel sangue

di ormoni, come noradrenalina e adrenalina, responsabili dello stress. Ecco perché la carenza di luce, come nel periodo invernale ai poli o in una giornata piovosa alle nostre latitudini, ci rende tristi e depressi.

L'effetto positivo della luce sulla salute, in questo caso luce solare, è stato riconosciuto dagli egiziani, dai greci e dai romani, i quali adoravano il Dio Sole. Solo molto più tardi, agli inizi del '900, la luce del sole come mezzo di guarigione è stato oggetto di un uso pratico.

Dal punto di vista del benessere, studi compiuti dalla Northwest Energy Efficiency Alliance hanno dimostrato come una costante e abbondante esposizione alla luce naturale porta a:

- aumento del 25% della capacità di concentrazione;
- riduzione del 30% delle malattie influenzali;
- aumento del 30% della resa lavorativa e una riduzione del 60% dell'assenteismo (Sick Building Syndrome - "sindrome dell'edificio malato");
- regolarizzazione dei ritmi circadiani (ciclo sonno veglia);
- riduzione delle malattie depressive (ogni giorno dovrebbe essere garantita una esposizione alla luce solare di almeno 30 minuti a 10.000 lux o 120 minuti a 2.500 lux).

Per quanto riguarda il risparmio energetico, in un edificio a basso consumo i costi per l'illuminazione rappresentano fino al 20% dei consumi. Negli edifici scolastici, direzionali o commerciali, il consumo di elettricità per l'illuminazione aumenta, e può rappresentare il 25%-40% dei consumi complessivi. È quindi importante che la luce naturale diventi, in fase progettuale, la principale fonte di luce durante le ore diurne per l'illuminamento degli spazi interni.

3.3.2 VARIABILI IN GIOCO: DAYLIGHT

Il Daylight è descritto come la combinazione di tutta la luce diretta e indiretta proveniente dal sole durante il giorno. Dell'energia solare totale ricevuta sulla superficie della terra, il 40% è la radiazione visibile, mentre il resto è ultravioletta (UV) e lunghezze d'onda infrarosse (IR).

La disponibilità di Daylight è variabile a seconda della posizione del sole, del percorso effettuato, delle condizioni del cielo, il tutto in relazione al corso della giornata, alla stagione, all'anno, ecc. Inoltre, i livelli di luce variano in modo significativo se ci si riferisce a superfici orizzontali o a superfici verticali. In altre parole, la quantità di luce dipende dall'altezza solare: maggiore è l'altezza, maggiore è l'illuminamento al suolo.

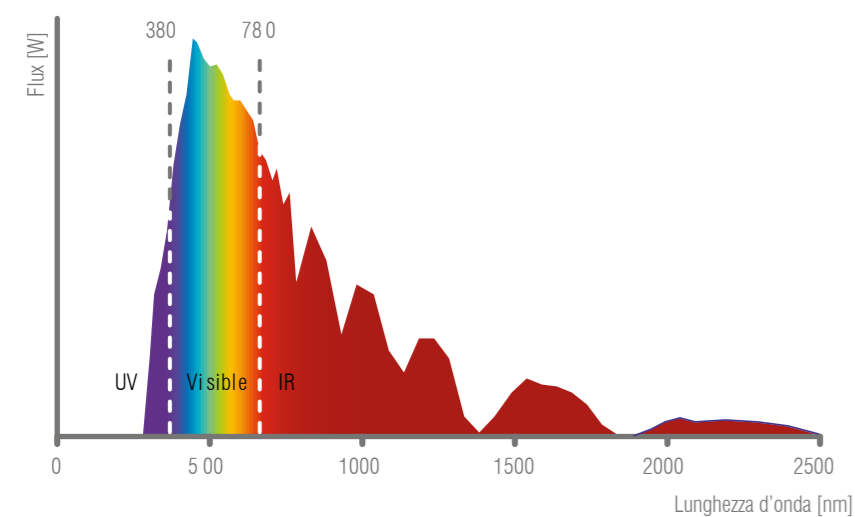
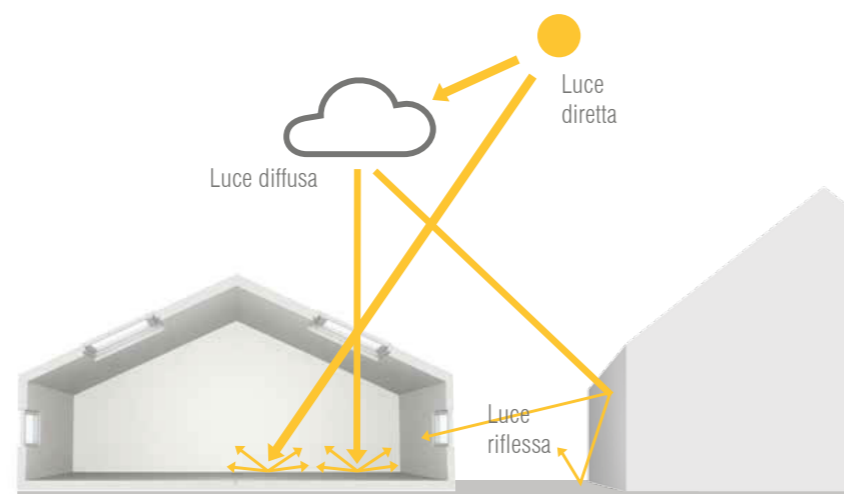


Diagramma dello spettro visibile all'occhio umano.

Alcune caratteristiche di base della luce solare all'aperto sono:

- la luce solare diretta è caratterizzata da altissima intensità e costante movimento. L'illuminamento prodotto sulla superficie della terra può superare i 100000 lux. L'intensità della luce diretta varia in base a stagione, ora del giorno, localizzazione e condizioni del cielo. In un clima soleggiato, è necessario un adeguato disegno architettonico, con un'attenta gestione delle superfici di diffusione, ombreggiatura e riflessione;
- la luce diffusa è la quota parte di luce diretta che viene diffusa da parte di atmosfera e nuvole. Il livello di illuminamento prodotto in condizioni di cielo coperto può raggiungere 10000 lux in inverno e 30000 lux in estate. In un clima sereno, la luce diffusa è spesso la principale fonte di luce utile;
- la luce riflessa è data dalla quota parte di luce che viene riflessa dal suolo, ovvero da terreno, alberi, vegetazione, edifici attigui, ecc. La riflettanza delle superfici dei dintorni influenzerà la quantità totale di luce riflessa che raggiunge la facciata dell'edificio.



3.3.3 VARIABILI IN GIOCO: QUALITÀ

Il nostro lavoro si basa sulla progettazione e verifica di condizioni di illuminazione che siano adatti ai compiti visivi eseguiti in una stanza e che, allo stesso tempo, soddisfino le esigenze individuali. Si parlerà di visione centrale (illuminazione di un oggetto) e visione periferica (illuminazione dei dintorni). In particolare, la visione periferica è quella che contribuisce a definire l'ambiente in cui ci troviamo, caratterizzandone dimensioni spaziali, forma, atmosfera, materiali e distribuzione della luce.

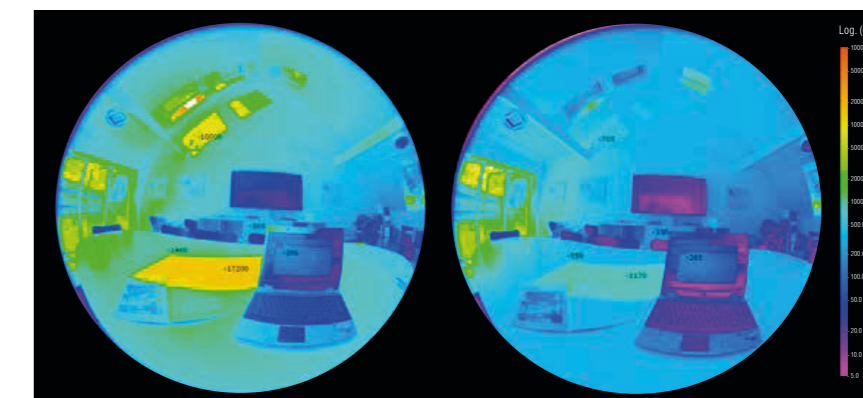
In fase di progettazione, la luce in una stanza non deve né diminuire né impedire la nostra capacità di vedere, permettendoci così, in ogni momento e con facilità, di orientarci e muoverci liberamente all'interno dello spazio. Per una buona visibilità, è necessario un certo grado di uniformità della luce. Scarsa visibilità e disagio visivo, quale quello causato dall'abbagliamento, si possono verificare se l'occhio è costretto ad adattarsi troppo rapidamente a una vasta gamma di livelli di luce. Troppo alto o troppo basso contrasto possono provocare stanchezza, mal di testa e disagio. Anche se non ci sono linee guida specifiche, si ritiene che le variazioni di luminosità di circa 10:1 sono adatte per la progettazione dell'illuminazione diurna. In generale, l'occhio umano può accettare maggiori variazioni di luminanza quando gli spazi sono illuminati dalla luce del giorno rispetto a quando sono illuminati artificialmente.

La sensazione di abbagliamento può verificarsi quando le variazioni di luminanza superano valori di 20:1. In caso di abbagliamento, l'occhio si adatta al livello della sorgente dell'abbagliamento, che rende difficile percepire dettagli nell'area di lavoro ormai troppo scura. L'abbagliamento dato dalla luce del giorno può essere causato da diverse fonti potenziali, come sole, cielo, nuvole e superficie riflettenti.

nuvole e superficie riflettenti.

Ci sono tre tipi principali di abbagliamento:

- "Disability glare" - l'effetto di luce diffusa negli occhi per cui visibilità e prestazioni visive sono ridotte. Ciò si verifica quando fonti di alta luminosità (ad esempio il sole o il suo riflesso) sono nel campo visivo. In ambienti molto luminosi, si trova che il "Discomfort glare" avviene prima della "Disability glare" è un problema.
- "Discomfort glare" - definita come una irritante sensazione e fonte di distrazione. Nella maggior parte dei casi, il "Discomfort glare" è meno invalidante del "Disability glare". In ambienti chiusi è influenzata dall'ambiente visivo completo, comprese le finestre, riflessioni speculari (in particolare), superfici esterne e/o superfici interne. Il "Discomfort glare" può causare effetti sotto forma di mal di testa o affaticamento.
- "Reflections or veiling glare" - le riflessioni su schermi o materiali che si stanno utilizzando (ad esempio carta) riducono il contrasto tra sfondo e primo piano e quindi riducono la leggibilità. Queste riflessioni si verificano quando le sorgenti luminose (ad esempio finestre) sono nel campo di riflesso dello schermo.

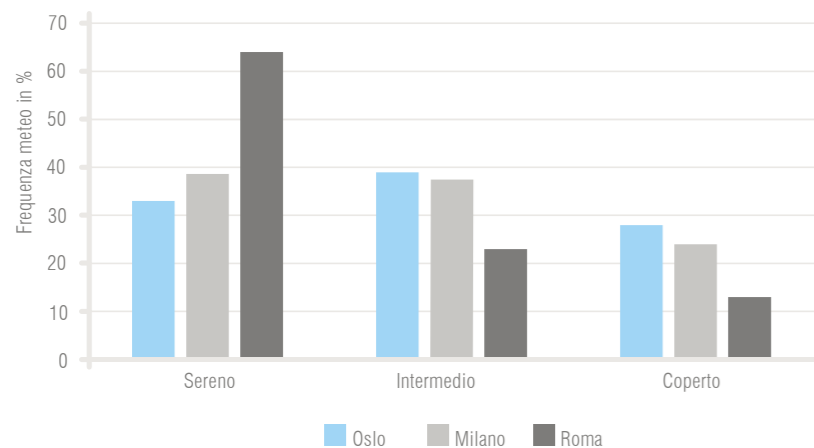


Per ridurre il verificarsi dell'abbagliamento, dovrebbero essere impiegati dispositivi di ombreggiamento. L'immagine precedente mostra una situazione in cui l'abbagliamento è controllato dall'esterno attraverso un sistema oscurante. Se si utilizza un dispositivo mobile, può essere regolata individualmente; i dispositivi fissi, invece, possono avere bisogno di dispositivi di ombreggiatura supplementari per supportare i requisiti individuali.

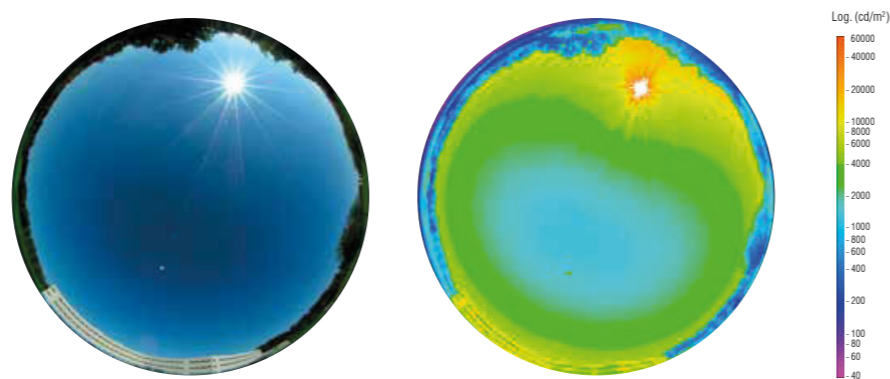
3.3.4 VARIABILI IN GIOCO: ELEMENTI INFLUENZANTI

CLIMA

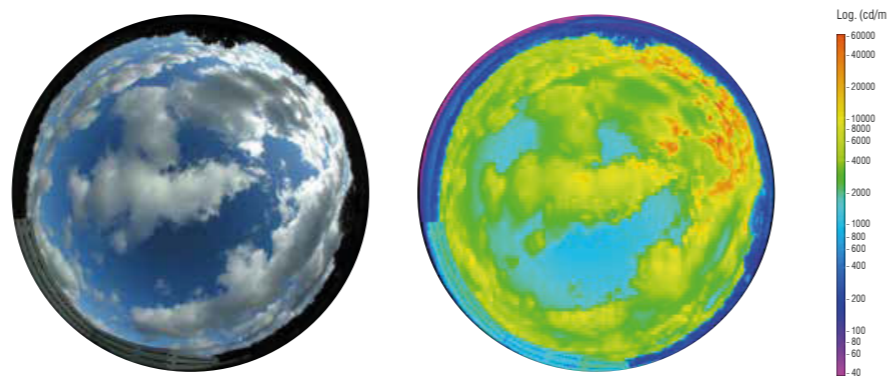
Le prevalenti condizioni climatiche di un'area definiscono i presupposti generali per la progettazione della luce naturale in termini di: disponibilità di luce solare, comfort visivo, comfort termico e rendimento energetico. Nelle figure seguenti si mostra l'effetto delle condizioni climatiche e la frequenza con le quali avvengono.



Istogramma che riporta la frequenza delle condizioni di cielo sereno, intermedio e coperto, per le città di Oslo, Milano e Roma.

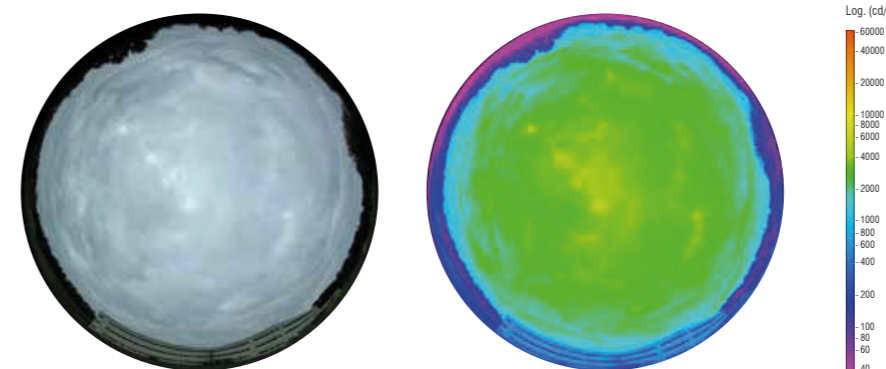


L'immagine sopra descrive una distribuzione di luminanza in condizione di cielo sereno, per la quale la luminanza è circa dieci volte più all'orizzonte rispetto allo zenit. In aggiunta alla luminanza del cielo, c'è quella del sole. Il sole agisce come una sorgente di luce dinamica ad altissima intensità.



Nel secondo caso l'immagine descrive una distribuzione di luminanza intermedia. L'energia solare, diffusa dalle nuvole, si traduce in una transizione più morbida tra la luminanza molto intensa del sole e la luminanza del cielo.

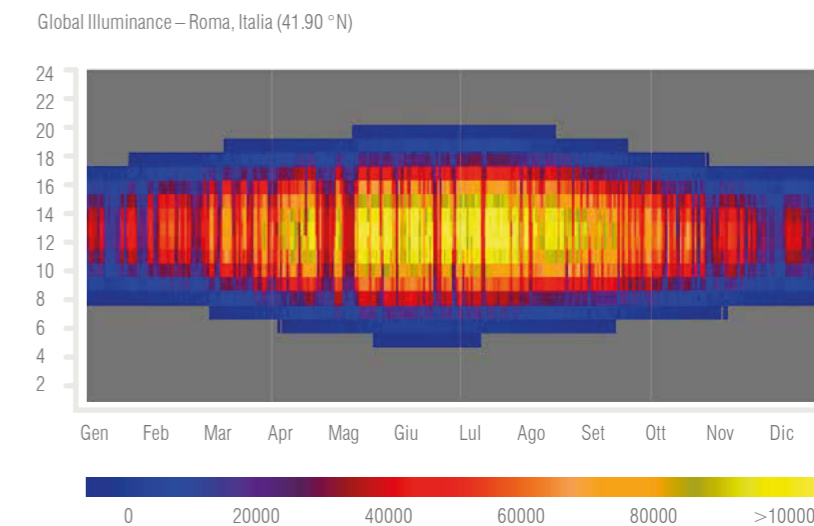
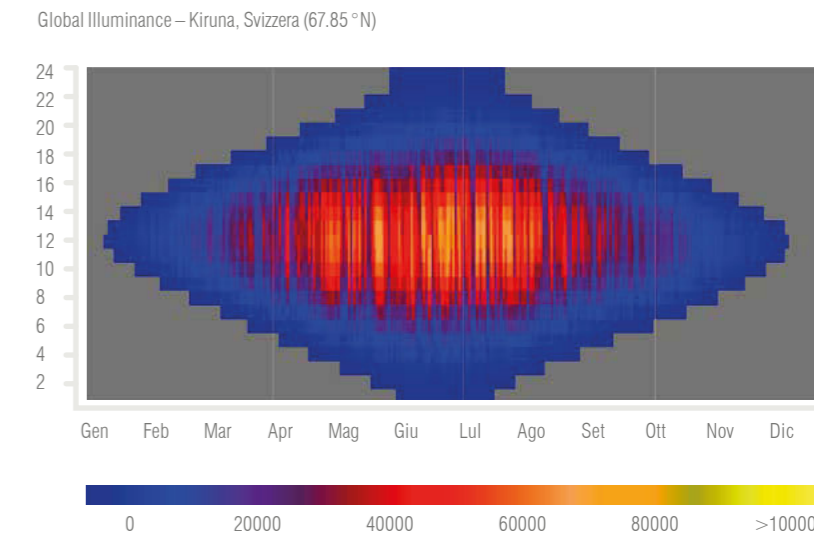
È possibile osservare che le nuvole (illuminate dal sole) hanno valori di luminanza più elevati rispetto al cielo.



Questa terza immagine descrive una distribuzione di luminanza in caso di cielo coperto. Il cielo ha luminanza uguale in tutti gli orientamenti, e lo zenit è circa tre volte più luminoso dell'orizzonte.

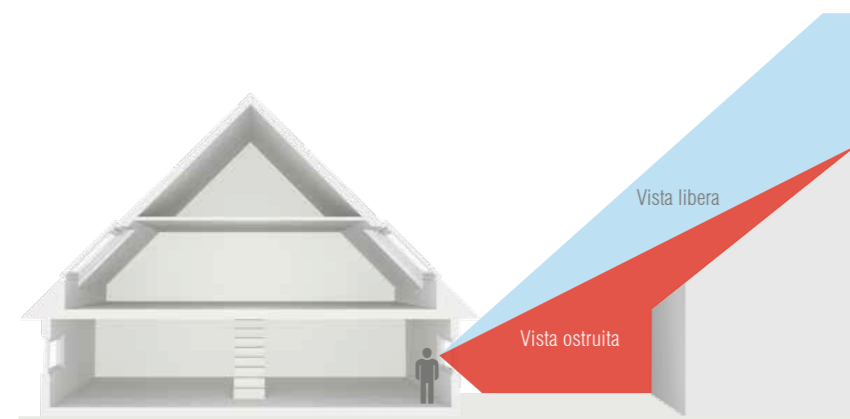
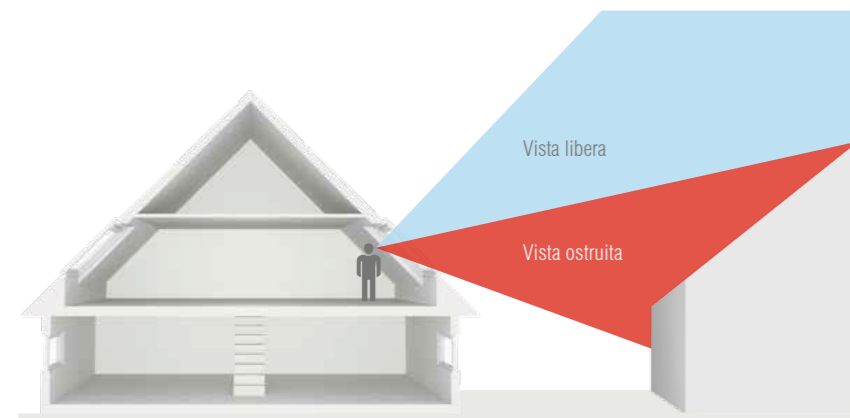
LATITUDINE

La latitudine di un sito determina l'altezza solare per un dato momento della giornata e dell'anno. I dati di altitudine solare estivi e invernali, per una posizione specifica, sono importanti per il controllo della radiazione solare diretta. La latitudine determina la durata del giorno e la disponibilità solare nelle differenti stagioni dell'anno. Massima e minima elevazione solare dipenderanno dalla latitudine del sito; allontanandosi dall'equatore verso nord o a sud, la differenza tra l'estate e l'inverno diventa maggiore con l'aumentare della latitudine. Le immagini a lato mostrano la differenza di illuminamento esterno tra aree europee settentrionali e meridionali.



OSTRUZIONI E RIFLESSIONI

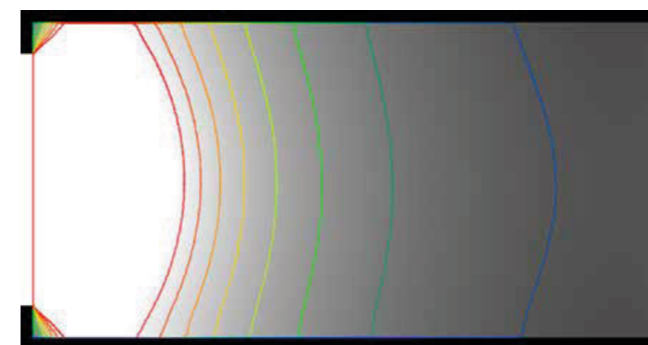
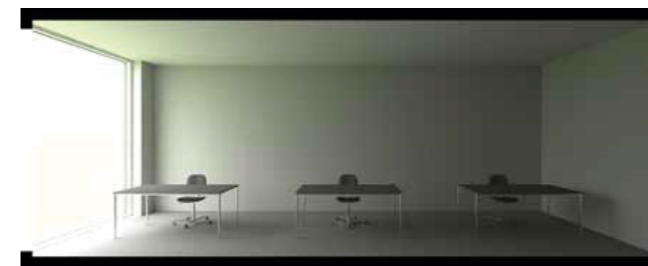
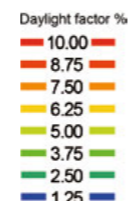
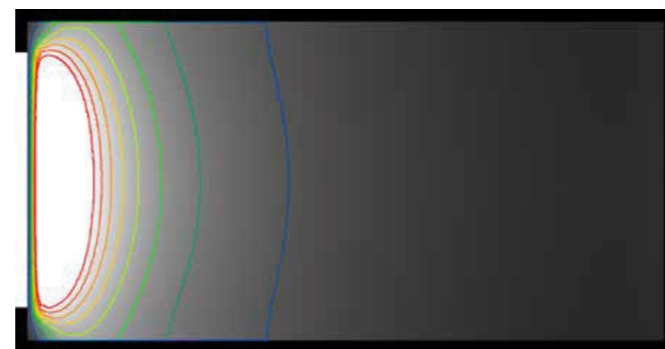
Le riflessioni esterne e le ostruzioni date da elementi adiacenti ad un sito (edifici, vegetazione, superficie del terreno, ecc) influenzano la quantità di luce che raggiunge l'interno di un edificio.



GEOMETRIA

La geometria di un edificio influenza la sua capacità di fornire adeguati livelli di luce all'interno. Quando l'edificio è profondo, l'illuminazione diurna varia in base a forma e dimensione delle aperture.

Di seguito viene riportata una situazione con il 10% di aperture e una con il 30%.



GEOMETRIA

La geometria di un edificio influenza la sua capacità di fornire adeguati livelli di luce all'interno. Quando l'edificio è profondo, l'illuminazione diurna varia in base a forma e dimensione delle aperture.

Di seguito viene riportata una situazione con il 10% di aperture e una con il 30%.

PROPRIETÀ DEI MATERIALI

Il colore e la riflettanza delle superfici di un ambiente sono parte del sistema di illuminazione. Superfici scure riflettono meno luce rispetto alle superfici chiare e il risultato probabile è quello di avere un ambiente con poca luce

indiretta o riflessa. Superfici verticali chiare all'interno della camera sono generalmente preferibili a quelle scure, mentre i dispositivi di ombreggiamento usati per controllare il sole dovrebbero utilizzare materiali con tonalità più scure al fine di limitare il rischio di abbagliamento.

ORIENTAMENTO

L'orientamento delle aperture influenza la disponibilità e la qualità di luce al suo interno. Nell'emisfero settentrionale, la luce proveniente da nord è composta principalmente da luce diffusa. Questa fornisce una luce funzionale e confortevole ed è abbastanza stabile per tutta la giornata.

La luce proveniente da sud, est e ovest, in molti casi, fornisce livelli di luce solare e luce diretta che variano in modo significativo durante le ore del giorno.

3.3.5 VARIABILI IN GIOCO: GRANDEZZE

ILLUMINAMENTO

Sapendo che il LUMEN è l'unità di misura del flusso luminoso, si definisce illuminanza la quantità di luce che incide su una superficie e la si calcola utilizzando come unità di misura il LUX, pari a un lumen per metro quadro. Solitamente, la misurazione si effettua su un piano di lavoro posto ad una altezza di 85 cm. In funzione delle attività svolte nei locali andrebbe garantito un intervallo di illuminamento, compreso, ad esempio, tra 200 e 300 lux per compiti con semplici requisiti visivi, tra 300 e 750 per compiti con requisiti visivi di precisione propri, come per le attività attinenti ai laboratori del centro civico.

LUMINANZA

La luminanza è la quantità di luce riflessa da una superficie e la si calcola utilizzando come unità di misura le candele a metro quadro. È la misura della sensazione di abbagliamento percepita dall'occhio. La distribuzione delle luminanze nello spazio può essere descritta in relazione alla posizione di un osservatore e ad una direzione di osservazione. Importante per il comfort visivo è la "mappatura" delle luminanze all'interno di un ambiente. Il comfort visivo è garantito da una adeguata gradazione dei contrasti nel campo visivo. Se le differenze di luminanza all'interno del campo visivo diventano eccessive si verifica il fenomeno dell'abbagliamento, che causa fastidio e/o diminuzione delle capacità visive.

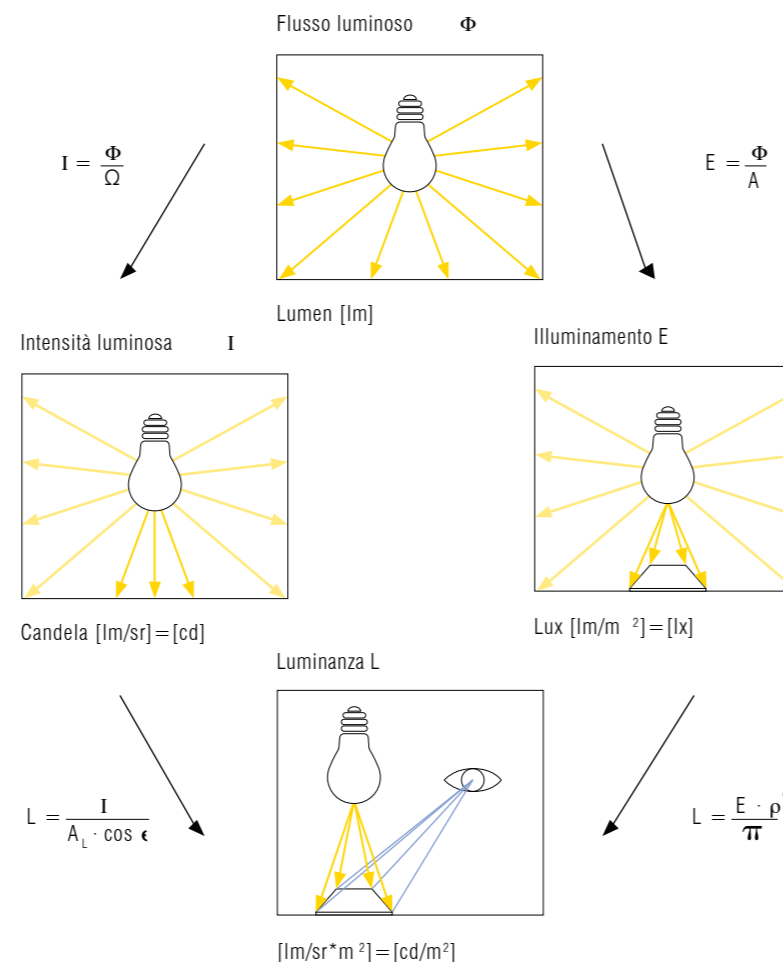
FATTORE DI LUCE DIURNA (FLD)

La disponibilità di luce naturale varia con il passare delle ore, delle stagioni o delle condizioni climatiche. Per questo motivo l'illuminanza interna, da sola, non fornisce informazioni sufficienti per una corretta progettazione. Il fattore di luce diurna esprime il rapporto fra l'illuminamento che si ha in un punto interno di un edificio in un dato momento e l'illuminamento naturale che si ha simultaneamente su un piano esterno, calcolati con cielo coperto, trascurando il contributo dell'irraggiamento diretto. Il FLD è la media matematica delle misurazioni all'interno dell'ambiente considerato.

Le proprietà chiave che determinano l'entità e la distribuzione del fattore di luce in uno spazio sono:

- dimensione, distribuzione, localizzazione e trasmissione delle finestre della facciata;
- dimensioni e la configurazione dello spazio;
- proprietà riflettenti delle superfici interne ed esterne;
- Il grado in cui strutture esterne oscurano la vista del cielo.

Più alto è il DF (DAY FACTOR), più luce è disponibile in camera. Un valore



- Ω = angolo solido in cui viene emesso il flusso luminoso
- A = superficie su cui incide il flusso luminoso
- $A_L \cdot \cos \epsilon$ = superficie visibile della sorgente luminosa
- ρ = indice di riflessione della superficie
- π = 3,14
- * = per superfici diffuse

ottimale è dato da un DF medio del 2% o più.

Il contrasto è "rapporto fra la differenza di luminanza dei due oggetti e la minore delle due luminanze", dato dalla formula:

$$C = (L_{\max} - L_{\min}) / L_{\min}$$

DAYLIGHT AUTONOMY (DA)

Corrisponde alla percentuale di tempo in cui un punto nello spazio è colpito da un certo valore di illuminamento.

Un illuminamento di 300 lux e un DA del 50%, significa che il 50% del tempo i livelli di luce che hanno colpito il bersaglio sono al di sopra del valore stabilito, sono valori che sono attualmente promossi in Illuminating Engineering Society del Nord America (IESNA, 2013).

USEFUL DAYLIGHT ILLUMINANCE (UDI)

Corrisponde alla percentuale di tempo in cui un range di valori di illuminazione in un punto dello spazio è soddisfatta dalla luce del giorno.

Daylight nella gamma da 100 a 300 lux sono considerati efficaci, sia come unica fonte di illuminazione sia in combinazione con l'illuminazione artificiale. Daylight nell'intervallo da 300 a circa 3000 lux sono spesso percepiti come desiderabili.

Recenti esempi di progettazione scolastica nel Regno Unito, hanno portato a raccomandazioni di raggiungere UDI nel range 100-3000 lux per l'80% delle ore di occupazione.

DAYLIGHT GLARE PROBABILITY (DGP)

È un parametro in grado di stimare la probabilità che si presenti o meno abbagliamento in un determinato luogo in un determinato istante. La formula è molto complessa ed è:

$$DGP = 5.87 \cdot 10^{-5} \cdot E_v + 9.18 \cdot 10^{-2} \cdot \log\left(1 + \sum_i \frac{L_{s,i}^2 \cdot \omega_{s,i}}{E_v^{1.87} \cdot P_i^2}\right) + 0.16$$

E_v è l'illuminamento verticale all'altezza degli occhi [lux]

L_s è la luminanza della fonte [cd / m²]

ω_s è l'angolo solido di sorgente [sr]

P come indice di posizione Guth.

I valori ottenuti sono valori percentuali: per una percentuale di 0.35 la possibilità di abbagliamento è inesistente, per valori compresi tra 0.35 e 0.45 si ha una lieve percezione di abbagliamento, mentre per valori superiori a 0.45 la sensazione di discomfort da abbagliamento è intollerabile.



3.4 MATERIALE A MEMORIA DI FORMA

Nell'attuale tendenza verso l'uso di edifici ad alte prestazioni energetiche e nel futuro scenario di Nearly Zero Energy Buildings (NZEB), un ruolo specifico è giocato dalle strategie di controllo della luce naturale. Le facciate dovrebbero interagire con l'ambiente esterno così come si adattano alle condizioni esterne gli occupanti, cercando di unire requisiti di efficienza energetica ed esigenze di comfort.

Questa parte di tesi presenta una revisione critica dei più recenti sviluppi nel campo della progettazione delle facciate, con particolare attenzione rivolta all'utilizzo di sistemi di schermatura mobile capaci di essere attivati dalla radiazione solare. Il focus specifico su frangisole dipende dal forte impatto che essi hanno sia sul totale dei consumi energetici dell'edificio sia sulle prestazioni della luce degli spazi interni. Questo è stato dimostrato da diversi studi che coinvolgono sistemi di ombreggiatura statici e dinamici.

Nella prima parte del lavoro, è stata fatta un'introduzione al concetto di materiali a memoria di forma (SMA) come attuatori delle varie tipologie di schermature mobili fino a ora utilizzate (o immaginate) in architettura, descrivendone meccanismo e applicazione. È inserita, inoltre, una spiegazione dei principi biomimetici, insieme ad una panoramica della risposta dell'utente ai dispositivi di ombreggiamento dinamici, oltre alla descrizione dei principi di progettazione per i materiali, con particolare attenzione agli aspetti energetici e di comfort.

Ci si è soffermati su un confronto diretto di alcune soluzioni già presenti, applicate al caso studio, evidenziandone le principali caratteristiche tecniche e meccaniche. Da questo studio incrociato, è stato creato un nuovo prototipo

da adottarsi come soluzione finale, che riassume e ottimizza le soluzioni precedenti.

3.4.1 CHE COS'È UN MATERIALE A MEMORIA DI FORMA?

È una lega metallica, composta da due a quattro componenti, che vanno a definire un materiale dalle proprietà straordinarie.

Ci sono due famiglie di SMA¹:

- lega a base di rame Cu-Al(Zn, Ni, Be, ecc.);
- leghe Nickel-Titanio-X (dove la X è l'elemento presente in minore concentrazione) NiTi(Fe, Cu, Co, ecc.).

Il termine "Shape Memory Alloy(SMA)" o più comunemente *materiali a memoria di forma* si riferisce alla capacità di particolari leghe metalliche di "ricordare" la forma originaria, anche dopo aver subito significative deformazioni; questo può avvenire attraverso due modalità:

- (SME, Shape Memory Effect) il materiale è in grado di recuperare determinate forme geometriche macroscopiche impresse attraverso particolari trattamenti termomeccanici, per effetto di stimoli termici, meccanici, magnetici, o elettrici;
- (SE, Super Elasticity) la capacità di subire deformazioni dell'ordine del 8-10%, recuperabili completamente durante la fase di scarico, senza che avvenga plasticizzazione, proprietà detta di superelasticità.

3.4.2 CENNI STORICI

A scoprire l'effetto di "memoria di forma" in una lega metallica furono due ricercatori, Chang e Read, nel 1932. Essi notarono la reversibilità della tra-

sformazione martensitica, in una lega AuCd, sulla base di osservazioni metallografiche e di variazioni della resistività del materiale. Successivamente, un comportamento analogo fu osservato nel 1938, in una lega CuZn (ottone) al Massachusetts Institute of Technology.

Il riconoscimento ufficiale delle leghe a memoria di forma si ha solo nel 1962, quando Buehler ed i suoi collaboratori, presso i laboratori del NOL (U.S. Naval Ordnance Laboratory), scoprirono casualmente la lega a memoria di forma basata sul sistema equiatomico NiTi, mentre stavano lavorando ad un progetto su un materiale resistente alla corrosione e alle alte temperature. Da allora iniziarono i primi studi su questa classe di materiali ed, in particolare, sul NiTiNOL (acronimo di nickel, titanio e NOL).

La notevole complessità del sistema metallurgico NiTi ha costituito un freno alla diffusione del materiale nel settore industriale per molti anni. A partire dalla metà degli anni '80 ed in particolare dal 1991, si è cominciata ad osservare una progressiva diffusione di questi materiali, in settori (aerospaziale – biomedicale) più pronti ad accettare materiali innovativi e capaci di assorbire più facilmente i costi relativamente alti.

Da qualche anno a questa parte i costi di produzione del materiale sono andati diminuendo e la disponibilità commerciale di leghe aumentando. Ciò ha determinato le condizioni favorevoli per la diffusione di questo materiale in altri settori tecnologici.

3.4.3 PERCHÈ IL NiTi?

Recentemente, grazie al loro costo inferiore, si è assistito ad un notevole sviluppo di leghe ternarie a base rame, come il CuZnAl e CuAlNi, rispetto alle leghe NiTi. Le NiTi, però, hanno una maggiore deformazione per l'effetto memoria di forma (fino al 10% contro il 5% di quelle a base rame), sono più

stabili termicamente, hanno un'eccellente resistenza alla corrosione e una migliore resistenza meccanica. La resistenza alla corrosione, inoltre, fa sì che il NiTi abbia un'ottima biocompatibilità. Quest'ultima qualità lo fa prevalere anche in ambito biomedico.

| Proprietà | NiTi 48-52 di %Ni | CuAlNi 10-14 di %Al 2-5 di %Ni | CuZnAl 15-30 di %Zn 3-7 di %Al |
|------------------------------------|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Temperatura di fusione (°C) | 1300 | da 650 a 1020 | da 1020 a 1100 |
| Densità (g/cm ³) | 6.45 | 7.64 | 7.12 |
| Resistività (μΩ*cm ³) | austenite: -100 martensite: -70 | da 8.5 a 9.7 | da 11 a 13 |
| Conduttività termica (W/cm°C) | austenite: 18 martensite: 8.5 | 120 | da 30 a 43 |
| Capacità termica (J/Kg°C) | 837 | 400 | da 373 a 574 |
| Modulo di Young (GPa) | austenite: da 70 a 100 martensite: da 28 a 41 | fase beta: 72 martensite: 70 | fase beta: 85 martensite: 80 |
| Limite di Snervamento (MPa) | austenite: da 200 a 700 martensite: da 70 a 150 | fase beta: 350 martensite: 80 | fase beta: 400 martensite: 80 |
| Limite di rottura (MPa) | da 900 (annealed) a 1900 (not annealed) | 600 | da 500 a 800 |
| Temperatura di trasformazione (°C) | da -200 a 110 | ≤ 120 | ≤ 200 |
| Deformazione memorizzata | max 8,5% | 4% | 4% |
| Isteresi termica (°C) | da 12 a 50 | da 15 a 25 | da 15 a 20 |

Tabella tratta da: "Shape Memory Materials" di K. Otsuka, C. M. Wayman.

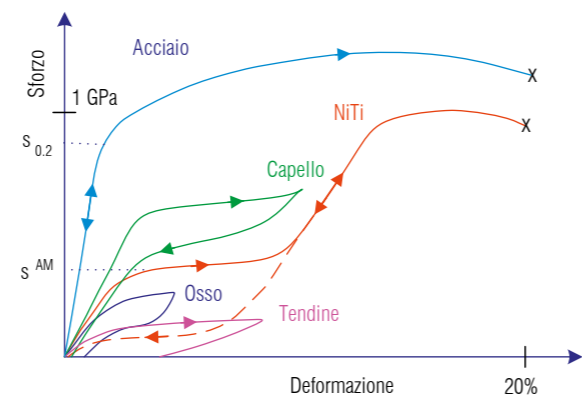


Diagramma sforzo-deformazione: il NiTi viene confrontato con tessuti biologici per mostrarne la biocompatibilità nel suo utilizzo nel settore medico.

3.4.4 COM'È POSSIBILE LA VARIAZIONE DI FORMA?

Alla base di questo comportamento a memoria di forma vi è che il materiale presenta due fasi solide ben distinte: martensitica (M), a basse temperature; austenitica (A), stabile a temperature maggiori. Il comportamento a memoria di forma dipende dalla facilità con cui il materiale passa da una fase all'altra. Infatti, al di là delle loro caratteristiche meccaniche, uno dei principali vantaggi delle leghe a memoria di forma risiede nella possibilità di scegliere le temperature di transizione di fase in sede progettuale. In altri termini, entro intervalli più o meno ampi, le temperature di trasformazione dalla fase martensitica a quella austenitica, e viceversa (M_s , M_f , A_s , A_f), sono modificabili agendo sulla stechiometria della lega e sottoponendo il materiale ad opportuni trattamenti termici e/o meccanici. La trasformazione martensitica in queste leghe, infatti, non avviene ad una determinata temperatura, bensì entro un intervallo di temperature dipendente dalla composizione della lega

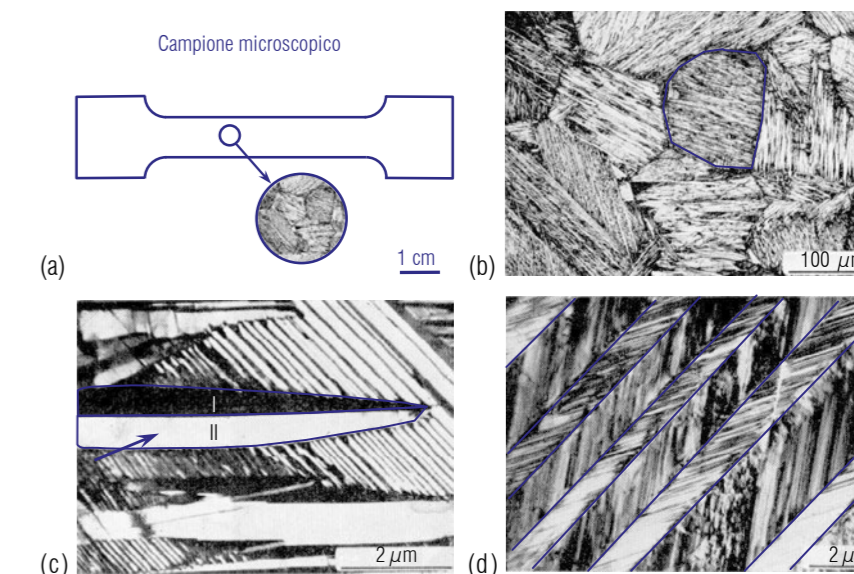
e dalla sua precedente storia termo-meccanica. L'influenza dei trattamenti termici e meccanici sulle temperature di trasformazione di una lega a memoria di forma consente, pertanto, di produrre dispositivi capaci di funzionare anche in ambienti caratterizzati da temperature molto diverse. La progettazione consente di pensare gli SMA come sensori e come attuatori, cioè capaci di muoversi e di azionare altri dispositivi in relazione a stimoli ricevuti (termici, magnetici, elettrici, meccanici).

3.4.5 LA STRUTTURA CRISTALLINA

Sulla base della teoria cristallografica della martensite (CTM), una serie di caratteristiche possono essere portate alla luce e studiate. La microstruttura è descritta in assenza di sollecitazioni esterne, ma queste sollecitazioni esterne sono le forze motrici per il riorientamento di piastre martensite o (A → M) (da austenite in martensite) a cambiamento di fase. Vengono qui descritti i seguenti comportamenti:

- il processo di riorientamento delle varianti martensite in un monocristallo;
- il comportamento pseudo-elastico di un monocristallo;
- la previsione delle superfici soglia per l'inizio del cambiamento di fase per i monocristalli e policristalli.

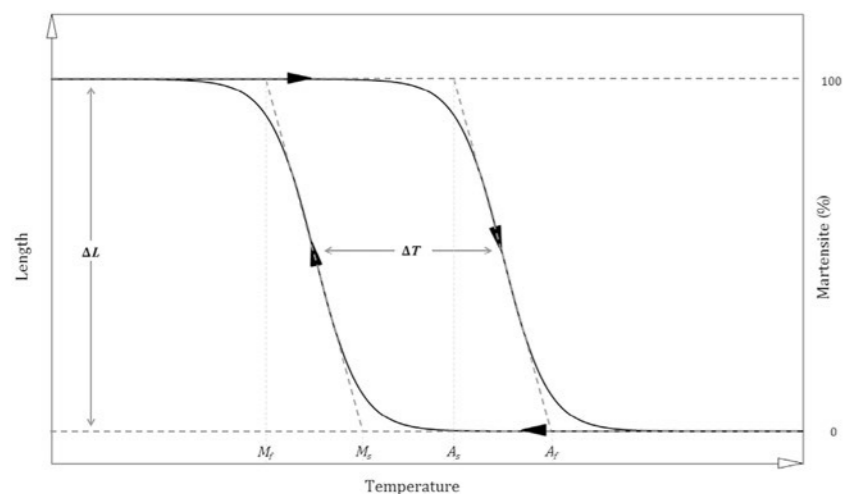
Lo SMA ha due fasi stabili, con diversa struttura cristallina e diverse proprietà. La fase ad alta temperatura viene chiamata austenite, o fase principale, e ha un corpo centrato struttura cristallina cubica, mentre la fase a bassa temperatura è chiamata martensite ed è caratterizzata da una simmetria inferiore, di forma tetragonale, ortorombica, o struttura cristallina monoclinica. Quindi, può apparire in un certo numero di varianti cristallografiche equivalenti, che



Struttura cristallina del NiTi a diverse scale di visualizzazione.

differiscono nel loro orientamento rispetto agli assi materiali. Le proprietà funzionali degli SMA sono strettamente legate alla trasformazione reversibile da austenite a martensite. Dopo il raffreddamento, in assenza di carico, i cristalli austenitici si trasformano in molte varianti di martensite, fino a 24 per il NiTi, con conseguente martensite gemellata². La transizione di fase tra queste due strutture cristalline non si verifica per spostamenti di atomi, ma richiede solo piccoli movimenti degli atomi nel reticolo cristallino e la sua evoluzione è indipendente dal tempo. La trasformazione, sebbene un cambiamento di fase del primo ordine, non si verifica ad una singola temperatura, ma in un intervallo di temperature che

varia con ciascun sistema di lega. La maggior parte della trasformazione avviene su un'area relativamente ristretta di gamma di temperature, anche se l'inizio e la fine della trasformazione durante il riscaldamento o raffreddamento si estende su un intervallo di temperatura molto più grande.



Volume di frazione austenitica che dipende dalla temperatura.

A basse temperature, lo SMA può essere facilmente deformato "fisicamente", ma questa deformazione "plastica" può essere recuperata aumentando la temperatura. Questo è chiamato "Shape Memory Effect".

Ad alte temperature si possono recuperare anche grandi deformazioni semplicemente eliminando la forza applicata, e questo comportamento è chiamato "Superelasticità"

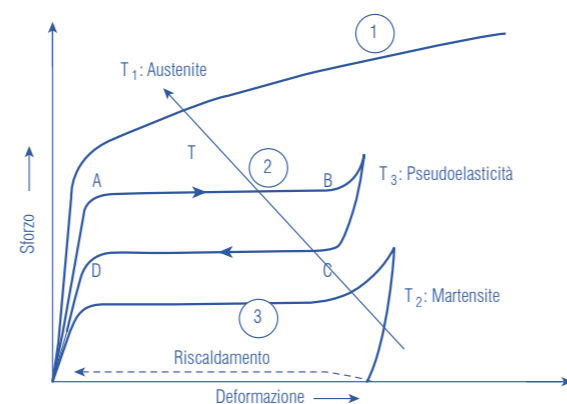
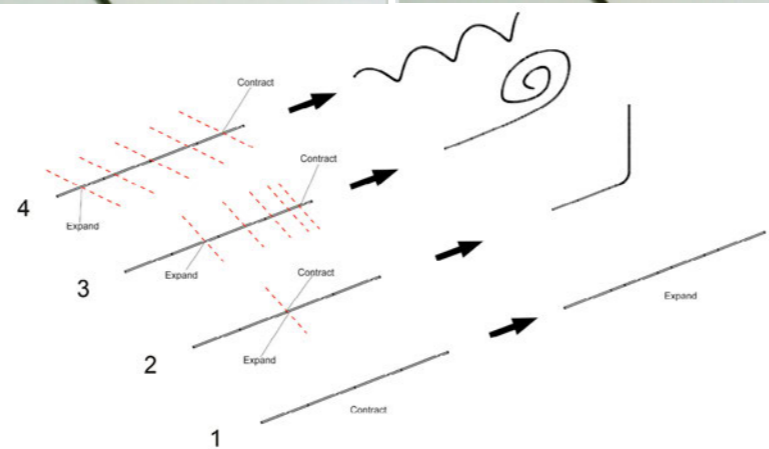
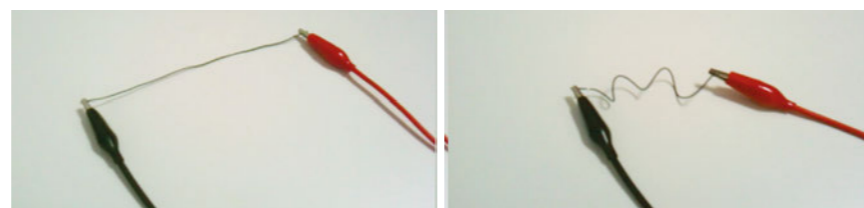


Diagramma che illustra il cambiamento della curva sforzo deformazione che si ha durante il cambiamento di fase da martensitica a austenitica.

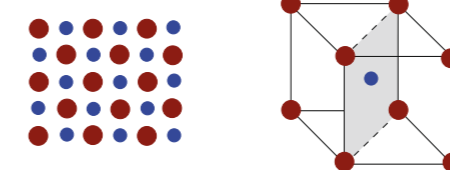


Questi due fenomeni dipendono da due differenti trasformazioni micro-strutturali (fase di trasformazione e ri-orientazione martensitica) descritte successivamente.

3.4.6 FASE DI TRASFORMAZIONE

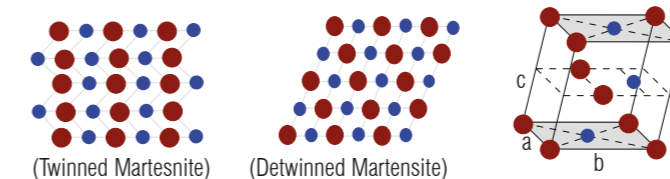
Austenite

- Alte Temperature
- Struttura Cubica a Corpo Centrato



Martensite

- Basse temperature
- Struttura Monoclinica



Scemi delle strutture cristalline per le due fasi, austenitica e martensitica.

La "Trasformazione Martensitica" (da Austenite (A) a Martensite (M)) e la sua reversibilità è dovuta ad una trasformazione del reticolo interno del materiale attraverso piccoli spostamenti atomici. Sostanzialmente, questa variazione è attuata da differenze di energia libera fra le due fasi:

- Austenite: è la fase ad alte temperature (alto livello di energia); nel NiTi, si ha una struttura "Cubica a Corpo Centrato (CCC)" con $a_0 = 0.3015$ nm;
- Martensite: è la fase a basse temperature (basso livello di energia); nel NiTi ha una struttura monoclinica con $a=0.2889$ nm, $b=0.4120$ nm, $c=0.4622$ nm e angolo di rotazione di 96.8° . Nella figura è schematizzata la struttura CCC e monoclinica.

Per iniziare la fase di trasformazione da Austenite a Martensite, l'energia chimica della fase martensitica deve essere molto minore di quella della fase austenitica. Però, poiché la trasformazione richiede anche energia non chimica, come sforzi applicati, attrito, ecc., questa può accadere solo se c'è una buona differenza di energia chimica. Una delle caratteristiche che contraddistinguono questo materiale è "l'isteresi" che crea una differenza tra la fase di trasformazione iniziale e la sua reversibilità.

Un altro importante aspetto di questo materiale risiede nella natura termoe-lastica di queste trasformazioni:

- la trasformazione può essere indotta attraverso un cambio di temperatura, o uno sforzo. Il cambiamento di volume associato è davvero esiguo e tutte le deformazioni sono recuperabili;
- una volta che il cristallo martensitico si è creato, questo cresce proporzionalmente alla velocità di raffreddamento o alla velocità con cui applico un carico. Unitamente, il cristallo si restringono se riscaldati, il primo che si espande è l'ultimo a tornare nella sua forma iniziale.

Il " Differential Scanning Calorimeter" (DSC) test misura la relazione tra energia in entrata/uscita e la temperatura di trasformazione per un piccolo

campione di materiale, ed è il percorso standard per studiare a quale temperatura avvengono i cambiamenti. Picchi e depressioni nel grafico del flusso di calore contro le temperature a cui avviene la trasformazione endotermica o esotermica, mostrano chiaramente quando queste trasformazioni hanno inizio.

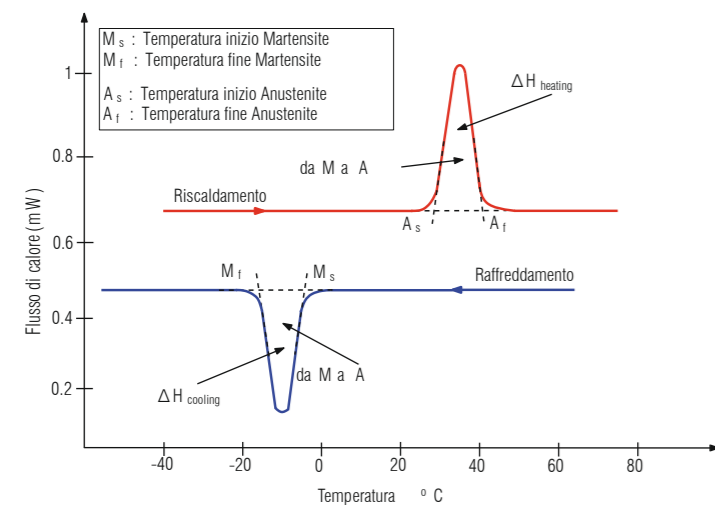
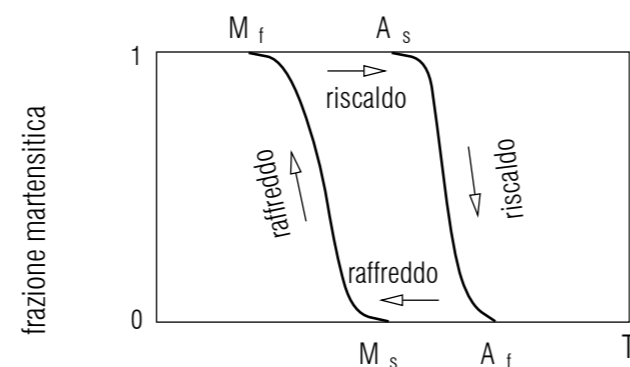


Grafico delle temperature di attivazione della fase martensitica e della fase austenitica.

La temperatura a cui avviene la trasformazione, senza l'applicazione di sforzi esterni, è visibile nella figura soprastante, dove la frazione martensitica sull'asse verticale è il volume percentuale di martensite. Raffreddando, la trasformazione martensitica, ha inizio alla temperatura M_s (Martensite start), e, ad un'ulteriore raffreddamento, la trasformazione giunge a compimento M_f (martensite finish). Riscaldando, invece, la trasformazione inversa comincia

alla temperatura A_s (Austenite start) e si completa ad A_f (austenite finish). I difetti del reticolo nel cristallo svolgono un ruolo fondamentale nella nucleazione della martensite: riducono la differenza di energia richiesta e la crescita della martensite. Nella figura si può notare che austenite e martensite co-esistono in un range di temperatura.

Se la formazione della martensite è indotta dall'applicazione di sforzi esterni a basse temperature, la deformazione persiste dopo l'eliminazione dello sforzo, ma è comunque recuperabile riscaldando il provino. D'altra parte, se la deformazione è indotta ad alte temperature (in fase di austenite stabile), la deformazione si recupera immediatamente rimuovendo lo sforzo applicato.



Volume di frazione austenitica che dipende dalla temperatura; immagine tratta da "Shape-Memory Alloys Handbook" di C. LExcellent.

sua forma a bassa temperatura a quella alta, ma la capacità di recuperare gli sforzi è la metà rispetto a un SMA "one-way". Si pensa che i cicli di training sul materiale influenzino la crescita della martensite. Durante il raffreddamento, le indotte varianti martensitiche favoriscono sia gli sforzi esterni sia gli sforzi interni. Una fase intermedia, chiamata R-phase, con struttura romboidale, è, a volte, presente durante la fase martensitica. La formazione della R-phase è la causa della formazione di una grande barriera che si oppone al completamento della trasformazione, ma è un'ipotesi ancora da verificare. Lo sforzo relativo a questa fase è comunque meno dello 0.5%.

3.4.7 COMPORTAMENTO TERMODINAMICO

Considerando un carico semplificato, in una direzione, su un cavo di SMA, la fase di trasformazione può essere descritta attraverso tre variabili esterne, σ (sforzo), ϵ (deformazione,) T (temperatura), e tre variabili interne, la frazione austenitica ξ^A , la frazione di martensite gemellata ξ^{TM} e la frazione martensitica degemellata ξ^{DM} . Indicati con V^A il volume di austenite, V^{TM} il volume di martensite gemellata, V^{DM} il volume di martensite degemellata, e V il volume totale, si ha:

$$\xi^A = \frac{V^A}{V}$$

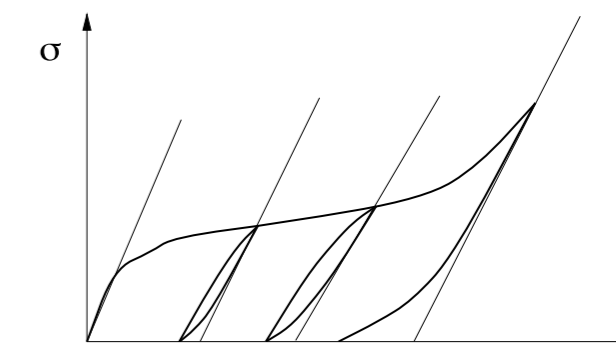
$$\xi^{TM} = \frac{V^{TM}}{V}$$

$$\xi^{DM} = \frac{V^{DM}}{V}$$

3.4.8 MODULO DI YOUNG

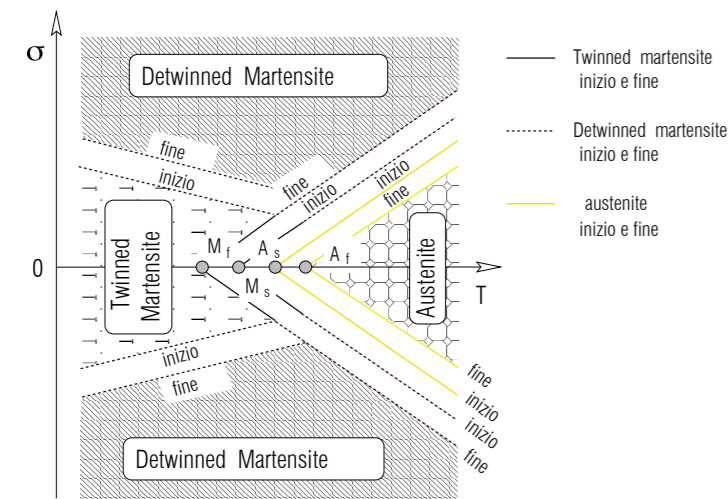
Il Modulo di Young di un singolo cristallo è dipendente dall'orientazione. Anche, la struttura cristallina di martensite e austenite sono differenti, e quindi il modulo dello SMA varierà in base alla sua composizione e, quindi, temperatura. Il Modulo di Young dell'austenite può essere spesso molto più alto di quello della martensite.

Un altro aspetto da considerare, quando si esamina la variazione del Modulo di Young, è l'anisotropia della martensite durante le fasi di trasformazione, come si evince dal grafico sforzi-deformazioni sottostante. Perciò, il Modulo non dipende solo dalle deformazioni dei vari stati, ma anche dall'orientazione e estensione di ogni variante martensitica.



3.4.9 MAPPA SFORZI-TEMPERATURE

Il comportamento termomeccanico degli SMA può essere rappresentato schematicamente in una mappa, ma a grandi linee vista la complessità del materiale.



Schema dei livelli di attivazione della fase martensitica e della fase austenitica.

3.4.10 APPLICAZIONI

La capacità degli SMA di rispondere reversibilmente alle variazioni di temperatura, che ne modificano le proprietà fisico/meccaniche, hanno permesso loro di essere applicati in diversi campi, quali, ad esempio:

- in ingegneria civile come rinforzo di elementi strutturali;
- in aeronautica come filtraggio di frequenze nocive, riduzione del rumore dei Boeing⁴;
- nell'industria biomedica come supporto per alcuni impianti, parti di protesi ecc.⁵;
- negli oleodotti e gasdotti rimpiazzando i vecchi sistemi idraulici ed elettro-idraulici⁶;
- in orologeria come componenti, ad esempio le molle, per il movimento degli orologi.

Questo materiale è utilizzato, quindi, in diverse forme e per svariate applicazioni, molte delle quali richiedono particolari prestazioni che solo l'SMA, per ora, è in grado di fornire.

È possibile reperire SMA con differenti stimoli di attivazione come la luce, la temperatura, l'umidità. Gli SMA termo-sensibili sono i più evoluti ma richiedono un'elevata energia di attivazione. Si ricorda che, per mantenere lo stato austenitico, è richiesta una continua energia di input. Allo stesso tempo, alle basse temperature, gli SMA possono subire grandi deformazioni per applicazione di una forza esterna. Sono in grado di fornire elevate sollecitazioni rispetto alla deformazione ottenuta. Questo si traduce, in fase di progettazione, a dover avere delle particolari accortezze, in quanto le prestazioni sono molto differenti in relazione alle condizioni al contorno.

ELEMENTI ATTUATORI PER LA MOVIMENTAZIONE DI COMPONENTI AERO-SPAZIALI

La ricerca si è concentrata sulle proprietà di ricordare una forma da parte dell'SMA. In questo caso l'obiettivo è quello di ottimizzare il rumore al decollo/atterraggio e le prestazioni in quota. Tali livelli di rumorosità del motore sono spesso altamente regolamentati dalle amministrazioni civili. Spesso, dispositivi chiamati "chevrons" sono installati staticamente lungo i bordi di scarico dei motori. Qui gli chevrons sono stati progettati per essere riconfigurabili attraverso componenti in SMA incorporati all'interno. La loro funzione è quella di piegare gli chevrons verso l'interno e mescolare il flusso di gas, riducendo il rumore, a bassa quota in cui la temperatura del motore è elevata. Vanno poi a rilassarsi e raddrizzarsi in alta quota e ad alte velocità, aumentando le prestazioni del motore. Nella figura a lato è raffigurato uno dei Boeing sul quale è stata applicata questa tecnologia.

MONTATURE DI OCCHIAI IN GRADO DI RECUPERARE LA FORMA

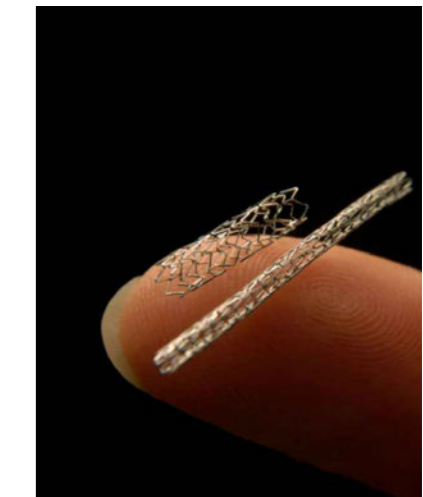
Le montature per occhiali realizzate con gli SMA sono commercializzate con i marchi Flexon e TITANflex. Questi telai sono solitamente realizzati in lega a memoria di forma che hanno la loro temperatura di transizione fissata al di sotto della temperatura ambiente. In questo modo, i telai possono subire grandi deformazioni sotto sforzo e riacquistare la loro forma prevista una volta che il metallo viene scaricato di nuovo. Sono in grado di subire elevate deformazioni grazie alla loro struttura martensitica che, a temperatura ambiente, passa in fase austenitica; questo porta ad avere un materiale molto elastico. Ciò significa che gli occhiali in lega a memoria di forma sono più performanti contro danni accidentali.

SHAPE MEMORY ALLOY APPLICATA IN MEDICINA

Apparecchi odontoiatrici. A partire dai primi anni '70, leghe a memoria di forma contenenti nichel e titanio sono state utilizzate per fini ortodontici. La lega è originariamente a forma di 'U' nella sua fase austenitica ed è attac-

cata ai denti, con parti sotto stress, dovuto al disallineamento dei denti. Le parti della lega, che sono sotto stress, passano alla struttura martensitica, provocando una forza in grado di avvicinare i denti e allinearli. I vantaggi di usare leghe a memoria di forma, anziché leghe regolari, evitano di serrare continuamente l'apparecchio, ed essendo la forza fornita dai ganci bassa e costante, riduce il dolore.

Divaricatori. Queste sono reti realizzate in una lega di nichel-titanio e sono utilizzati per aprire le arterie che sono state occluse, o limitate da colesterolo. La temperatura di trasformazione del materiale è leggermente inferiore alla temperatura corporea, quindi a temperatura ambiente esistono in fase di martensite. Essi possono essere schiacciati in un piccolo diametro e inseriti nelle arterie, utilizzando un catetere. Quando la rete raggiunge l'arteria appropriata, il catetere viene rimosso e la temperatura più alta del corpo innesca la trasformazione alla fase austenitica, allargando così la maglia e aprendo l'arteria.



Protesi. Dispositivi NiTi speciali sono stati progettati per il trattamento di danni e deformità della colonna vertebrale e per instabilità della colonna cervicale. L'instabilità è il risultato della lassità dei muscoli e legamenti intorno all'atlante e all'asse, con conseguente flessione anomala fra le sue ossa, che provoca la compressione del midollo spinale. Il dispositivo di fissaggio NiTi è un trattamento semplice, è meno impegnativo tecnicamente rispetto ai dispositivi tradizionali ed è meno pericoloso in termini di danni all'arteria vertebrale e lesioni nervose. Ad esempio, è inserito il midollo vertebrale, per il trattamento di scoliosi, tra due vertebre, per garantire rinforzo spinale locale e per prevenire movimenti traumatica durante il processo di guarigione. La risposta superelastica del materiale consente l'applicazione di un carico costante indipendentemente dalla posizione del paziente, in modo che il paziente mantenga un certo grado di movimento.

APPLICAZIONE NEL CAMPO DEL DESIGN

Alcuni apparecchi di illuminazione sono stati progettati con materiali a



memoria di forma. Sono in grado di “aprirsi” per effetto del calore indotto quando la lampada è accesa e “richiudersi”, ritornando ad una deformazione iniziale, quando la lampada è spenta. Ovviamente la funzione è meramente estetica.

APPLICAZIONI IN INGEGNERIA CIVILE⁷

Le prime sperimentazioni in campo civile dei materiali a memoria di forma risalgono a metà degli anni 90. Fili, corde e molle vengono utilizzati come elementi costituenti di ponti, edifici, e in sistemi che resistono a sollecitazioni sismiche, grazie alla loro eccellente dissipazione di energia e conseguente riequilibrio.

Smorzatori di frequenza. In aree sismicamente attive, edifici e ponti possono essere soggetti a danni dovuti a spostamenti laterali durante un terremoto. Le strutture antisismiche sono state un tema di grande interesse nell'ultimo periodo, con particolare attenzione all'utilizzo degli SMA come possibile rinforzo. L'utilizzo di componenti SMA come rinforzi in strutture in cemento armato hanno ottenuto risultati migliori in termini di confinamento degli spostamenti laterali delle colonne, anche sotto elevati carichi dinamici (cioè, simulando grandi eventi sismici), rispetto alle loro controparti come colonne in acciaio.

Elementi precompressi. Con rinforzi in leghe a memoria di forma si crea uno stato di precompressione unidirezionale.

Rinforzo strutturale. Un'applicazione consiste nell'inglobare fibre di materiale SMA nella matrice di calcestruzzo durante la sua fabbricazione. L'attivazione dell'effetto memoria di forma in questi “bimateriali” crea uno stato di sforzo tridimensionale interno, in grado di ritardare il processo di danni per

fessurazione nelle zone sollecitate.

SISTEMI DI FACCIATA

Un'ulteriore utilizzo che sta prendendo piede, fonte dei varie analisi e sperimentazioni, è l'impiego di questi materiali come attuatori in sistemi di oscuramento per facciate di edifici pubblici.

Ci sono, quindi, applicazioni in svariati campi per questo tipo di materiale. A limitarne la diffusione pratica in alcuni settori è il costo dovuto alla produzione. Come ogni materiale sperimentale, quando si passerà alla sua produzione su larga scala, si otterrà il conseguente abbassamento del costo. Riportiamo nella tabella sottostante alcune indicazioni di prezzo fornite da “<http://www.nimesis.com>”.

| Reference | Designation | Dimension | Unitary Price |
|-----------|------------------------------------|---|---------------|
| LM0005 | Round wire Nickel-Titanium memory | Ø : 2.000 mm | 12.00 €/m |
| LM0104 | Round wire Nickel-Titanium memory | Ø : 0.050 mm | 0.32 €/m |
| LM0390 | Bar Nickel-Titanium superelastic | length : 1.000 mm Ø : 10.000 mm | 272.15 €/m |
| LM0407 | Strip Nickel-Titanium superelastic | length : 500.000 mm thickness : 0.400 mm width : 120.000 mm | 508.00 €/m |

NOTE

1. C. LExcellent, “Shape-Memory Alloys Handbook”, March 2013.
2. A. Ziolkowski, “Pseudoelasticity of Shape Memory Alloys: Theory and Experimental Studies”, Butterworth-Heinemann, 2015.
3. C. LExcellent, “Shape-Memory Alloys Handbook”, March 2013.
4. L. Lecce, A. Concilio, “Shape memory alloy engineering : for aerospace, structural and other”, Elsevier Butterworth-Hein.
5. T. Yoneyama, S. Miyazaki, “Shape memory alloys for biomedical applications”, 2014.
6. A. Ziolkowski, “Pseudoelasticity of Shape Memory Alloys: Theory and Experimental Studies”, Butterworth-Heinemann, 2015.
7. C. LExcellent, “Shape-Memory Alloys Handbook”, March 2013.

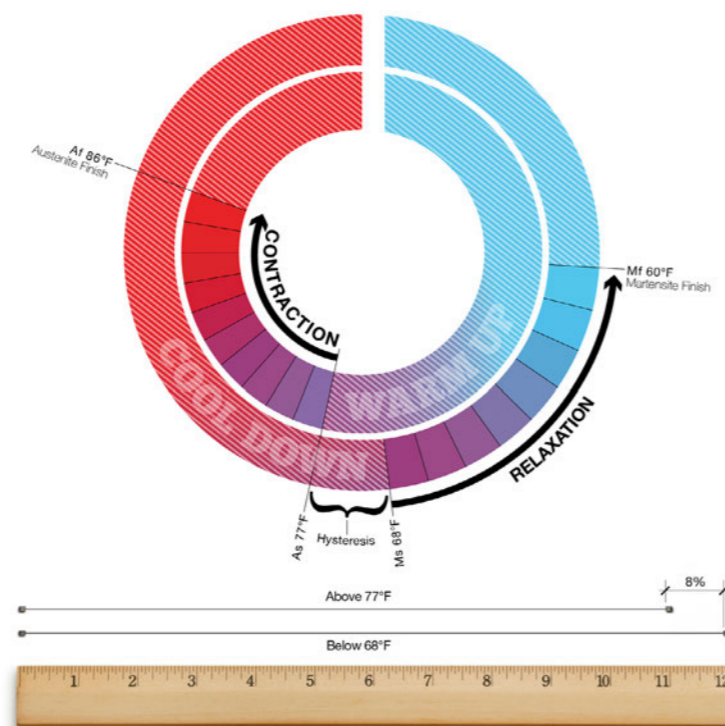
3.5 KINETIC SOLAR SKIN

Ci sono molte composizioni di lega diverse che mostrano l'effetto "memoria di forma"; il più comune è la miscela binaria di nickel e titanio. Gli SMA sono una famiglia di materiali che non possono essere completamente descritti utilizzando le proprietà tipiche dell'ingegneria. Regolando il rapporto tra i due elementi, si contribuisce a modificarne sostanzialmente le proprietà, in particolare le temperature di trasformazione. Differenti percentuali di rapporto tra le due componenti (NiTi), o l'introduzione di contaminanti, quali il ferro e l'ossigeno, possono modificare le temperature di transizione, portandole fino a 130 ° C. Questo è importante, in quanto per ogni applicazione, in relazione a zona ambientale ed esposizione, è possibile calibrare la percentuale dei componenti della lega. Sul mercato sono disponibili diverse configurazioni di questo materiale: cavi, molle, nastri, ecc., che vengono di seguito descritti.

CAVI

I fili attuatori in lega a memoria di forma si contraggono quando sottoposti a stimoli termici o elettrici (normalmente dal 5% al 8% della loro lunghezza). Sostanzialmente, far passare energia elettrica attraverso un cavo in NiTi equivale a creare una resistenza in grado di surriscaldarsi e, così, raggiungere la temperatura desiderata di transizione austenitica. L'idea di raggiungere temperature più elevate coincide con il funzionamento di una lampadina ma, invece di produrre luce, il cavo si contrae. Una volta raffreddato, questo può facilmente essere allungato e riportato alla posizione iniziale. Sono riportati in tabella in valori di sforzo-deformazioni recuperabili in fase di transizione. È possibile notare come un cavo di modeste dimensioni (0,38

mm), se riscaldato, è in grado di applicare una forza di quasi 2N.



| Diametro [mm] | Resistenza [ohm/m] | Forza di spinta a caldo [N] | Forza di deformazione a freddo [N] |
|---------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 0.025 | 1425 | 0.009 | 0.004 |
| 0.10 | 126 | 0.143 | 0.057 |
| 0.25 | 18.5 | 0.891 | 0.356 |
| 0.38 | 8.3 | 2.250 | 0.900 |

Dati tratti da: <http://www.dynalloy.com/flexinol.php>

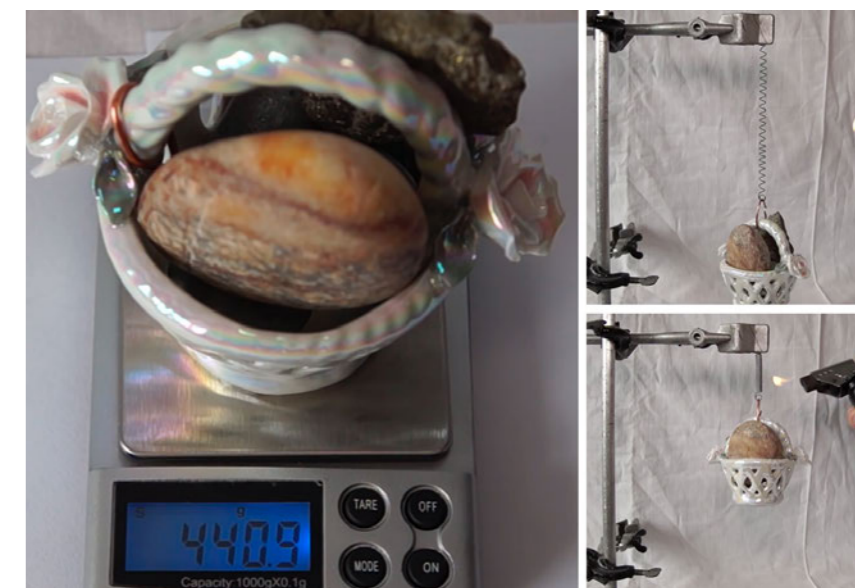
MOLLE

Le molle possono essere un'alternativa alle applicazioni con fili, fornendo, però, un più basso contributo di sforzo. Queste molle possono contrarsi e rilassarsi moltiplicando la propria lunghezza. Si parla di Stretch Ratio "SR" che definisce la lunghezza "L" di tutta la lunghezza del solido "SL", in qualsiasi stato, caldo o freddo. Ad esempio, con una molla con un SR di 4 a freddo e di 2 a caldo, assumendo una lunghezza "SL" di 10 mm, otteniamo una lunghezza finale di 20 mm a caldo, e 40 mm freddo.

$$SR = L/SL$$

Questi valori variano a seconda di come vengono utilizzate le molle, e, quindi, servono semplicemente a darci un'idea di come si deformano. Nella seguente tabella vi sono indicazioni, di massima, sulle quantità di corrente e sulla forza attesa per le varie molle. Una molla delle dimensioni di mezzo centimetro di diametro esterno e 0,5 mm diametro del cavo è capace generare una forza di circa 0,5 N.

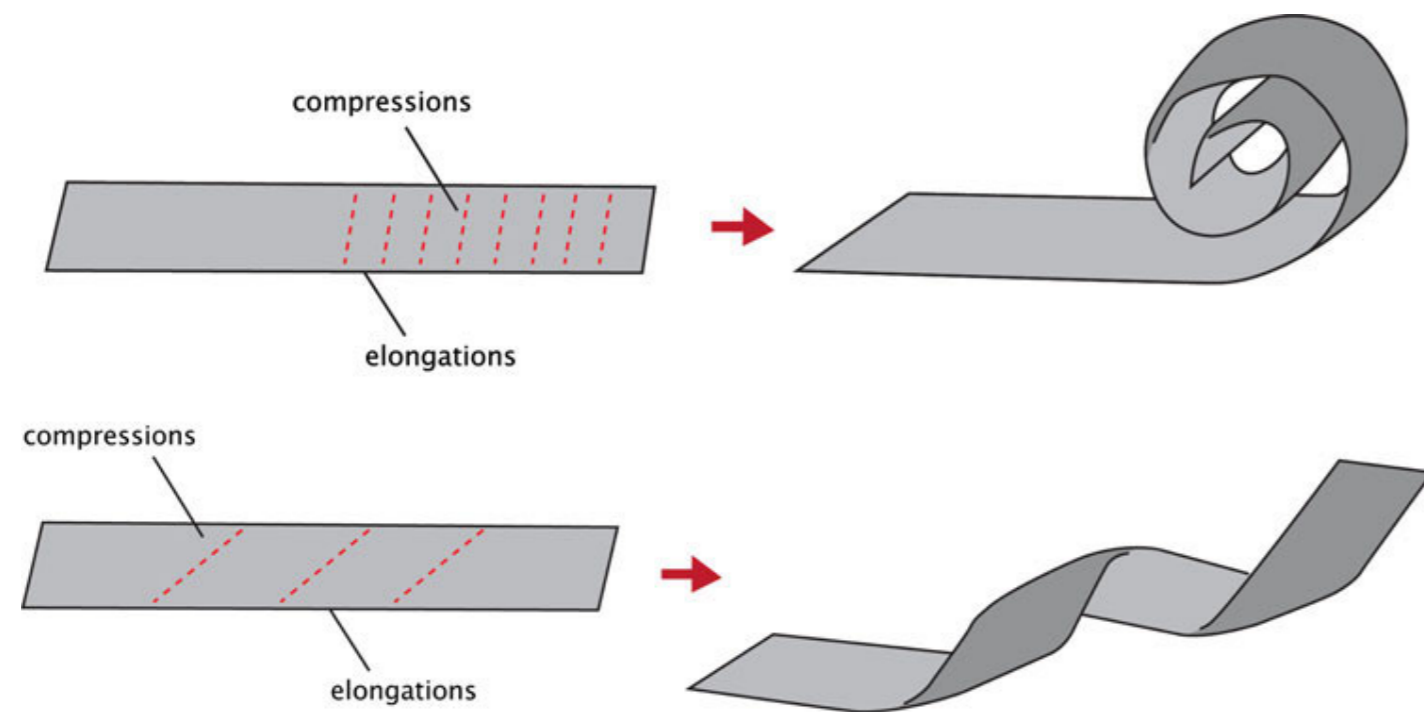
| Diametro della molla [mm], Diametro [mm] | SR Fred- do, SR Caldo | Resistenza [ohm/m] | Forza di spinta a caldo [N] | Forza di deformazione a freddo [N] |
|--|-----------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 0.51, 3.45 | 16, 7 | 0.11 (4.33) | 0.536 | 0.097 |
| 0.381, 2.54 | 15, 6 | 0.21 (8.27) | 0.307 | 0.056 |
| 0.203, 1.37 | 14, 5 | 0.74 (29.13) | 0.089 | 0.016 |



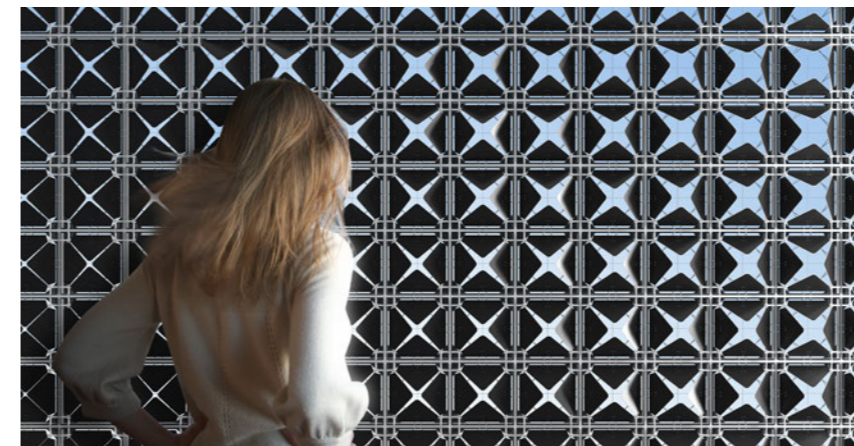
NASTRI

Un'altra forma di SMA sul mercato è il nastro. Quando il nastro viene utilizzato nelle condizioni di utilizzo richieste è in grado di fornire movimento ripetibile in decine di milioni di cicli. Se vengono imposti maggiori sollecitazioni o deformazioni, allora l'efficienza del memoria di forma diminuirà lentamente, con un diminuzione da milioni a migliaia di cicli. L'efficacia di questo sistema è molto ridotto rispetto a fili e molle, in quanto la variazione di forma si attua per flessione del pezzo.

Ci si imbatte in molti sistemi innovativi per automatizzare e sfruttare al massimo la luce all'interno degli edifici. Di seguito sono descritti 4 dei sistemi ad oggi sviluppati, differenti tra loro per tipo di attuatore utilizzato o tipo di movimentazione ottenuta, e che verranno studiati successivamente. L'obiettivo, che sarà analizzato poi nel capitolo 3.7, è quello di creare un dispositivo che controlli i fattori di illuminamento e abbagliamento all'interno dell'edificio e che ottimizzi il più possibile guadagni e consumi, sintetizzando due dei modelli presi in esame.



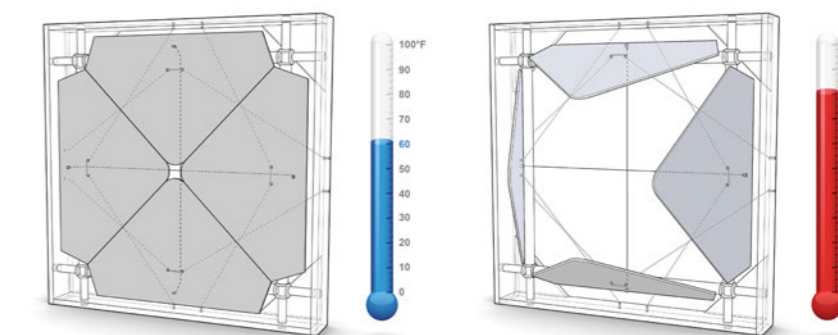
3.5.1 AIR FLOW(ER)



Air flow(er) è un dispositivo di ventilazione termicamente attiva indipendente che si comporta come un fiore, i cui "petali" si aprono se esposti a temperature più calde. Basandosi su principi che si trovano in natura, air flow(er) ha lo scopo di regolamentare il flusso d'aria e temperature interne senza elettricità. Concettualmente air flow(er) si basa sulla risposta del crocus giallo.



Il componente attivo nel dispositivo Air Flow(er) è un cavo di SMA, delle cui proprietà si è già parlato nel capitolo precedente.



Il prototipo a quattro foglie può essere utilizzato come oscuramento esterno o interno di un sistema di facciata a doppia pelle ventilato naturalmente. Il vantaggio principale di una doppia facciata è il maggiore controllo di scambio termico/fluido tra la zona perimetrale e l'ambiente esterno. In estate, l'aria presente nella cavità tra la pelle interna ed esterna potrebbe essere scaricata fuori dall'edificio attraverso una risposta automatica data dall'aumento delle temperature, attenuando il guadagno solare. In inverno, la facciata a doppia pelle può agire come un riscaldatore solare passivo, utilizzando Air Flow-er per sigillare la cavità e utilizzare la radiazione assorbita per minimizzare la perdita di calore attraverso la facciata.

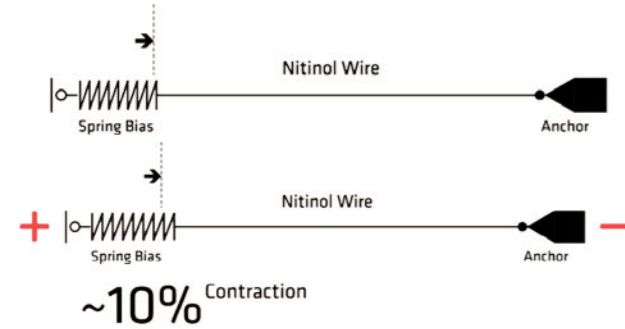


Fonte: <http://liftarchitects.com/air-flower>

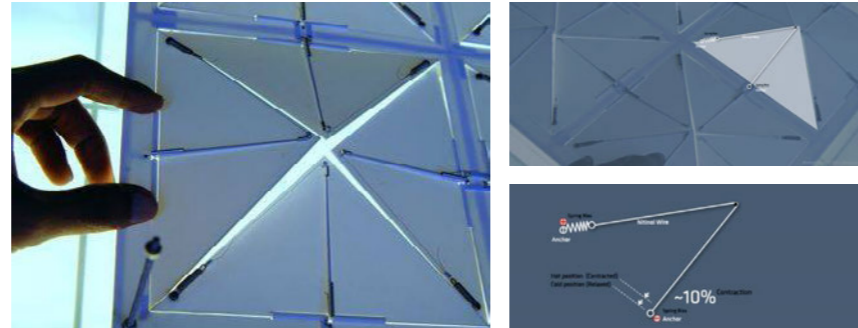
3.5.2 PIXEL SKIN



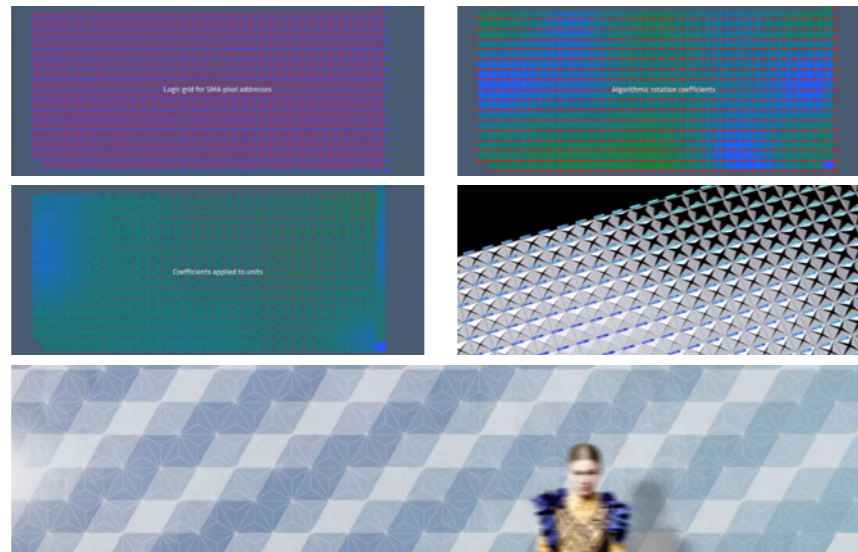
Pixel Skin02 è stato progettato per creare finestre dinamiche che permettano di controllare le condizioni di illuminazione interna, attraverso una particolare membrana capace di interagire con le condizioni di soleggiamento. E' un prototipo che cerca di trovare nuove soluzioni, dal punto di vista di superfici adattive, utilizzando le proprietà meccaniche delle leghe a memoria di forma come motori, senza l'utilizzo di molte parti elettriche.



Ogni pixel è costituito da quattro pannelli triangolari azionati da fili di 200mA in SMA. Un sistema di sensori controllata e regola il grado di apertura di ogni pannello.



Ogni pannello dispone di 255 potenziali stati di adattamento, tra completamente aperto o chiuso e una tecnica chiamata "multiplexing" consente il controllo dei vari pixel per creare modelli in movimento e immagini.



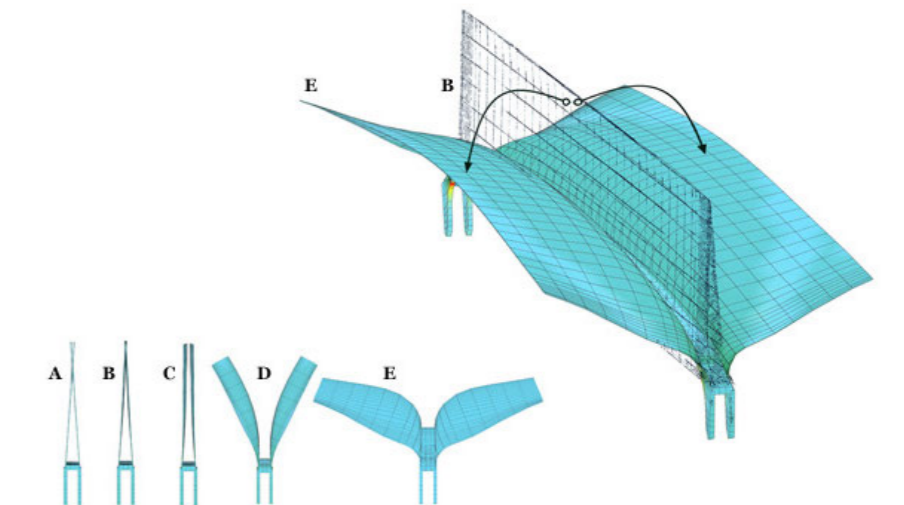
Fonte: <https://arch5541.wordpress.com/2012/11/16/dynamic-technology-and-the-human-experience/>

3.5.3 FLECTOFIN



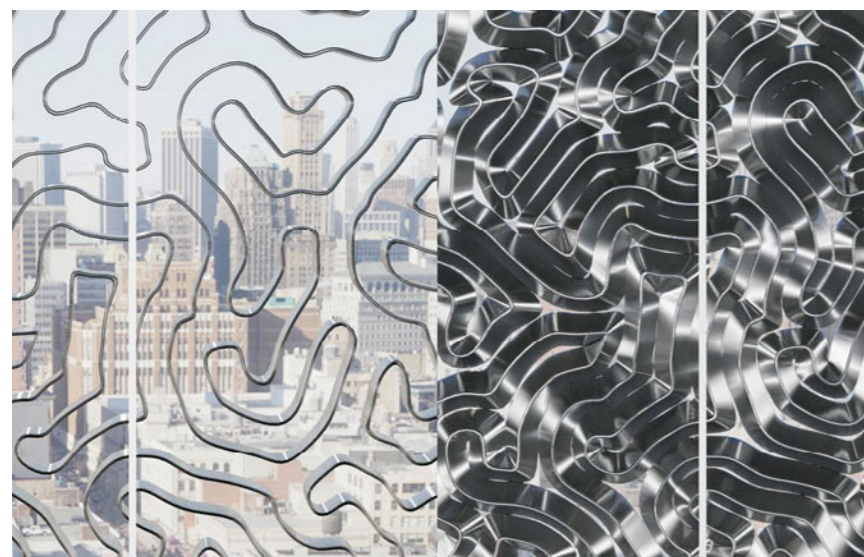
Dalla collaborazione tra architetti, ingegneri e biologi, presso l'Istituto dell'Università di Stoccarda, è nato lo studio del meccanismo di impollinazione del fiore paradisaeidae (*Strelitzia Reginae*). Da questo è scaturito Flectofin®, un sistema di oscuramento capace di spostare le sue alette di 90 gradi, inducendo sollecitazioni di flessione sull'asse centrale, grazie al cambiamento di temperatura nella lamina.

Il singolo modulo può essere creato utilizzando stampa 3D, con uno stesso materiale e in un unico processo di produzione rapido. Esso consente un angolo di funzionamento regolabile con continuità tra 0 e 90 gradi, e con alterazioni, da -90 a +90 gradi; ciò significa che può girare in entrambe le direzioni.

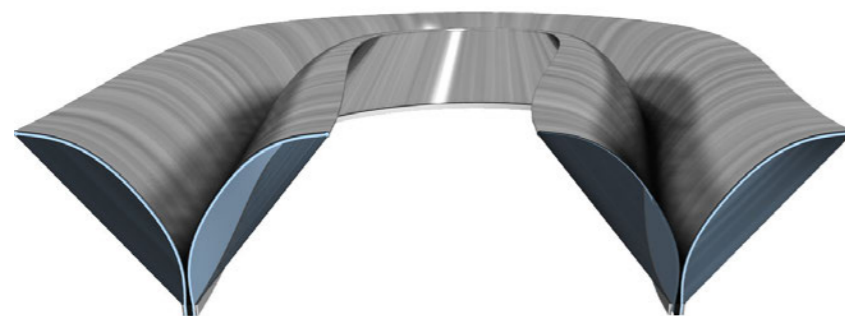


Fonte: J. Lienhard, S. Schleicher, S. Poppinga, T. Masselter, M. Milwich, T. Speck, J. Knippers, "Flectofin: A hingeless flapping mechanism inspired by nature", *Bioinspiration and Biomimetics*, 2011.

3.5.4 HOMEOSTATIC



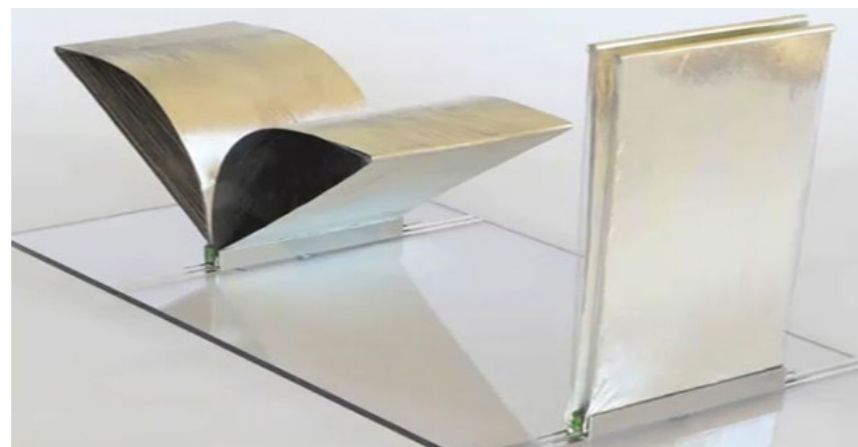
È un sistema di facciata autoregolante, progettata da architetti negli Stati Uniti, in base alle mutevoli condizioni ambientali esterne, come, ad esempio, variazioni di luce solare e di temperatura. Il sistema omeostatico opera su principi naturali per mantenere condizioni interne sotto controllo.



Il sistema comprende un nastro in materiale a memoria di forma, inserito nella cavità di una facciata in vetro a doppia pelle. Il nastro è fatto di elastomeri dielettrici: materiali polimerici che possono essere polarizzati applicando una corrente elettrica. Questi materiali sono flessibili e consumano pochissima energia.

Entrambi i lati del materiale dielettrico sono rivestiti con elettrodi in argento. Questo strato di argento ha duplice funzione: riflette la luce e distribuisce la carica elettrica attraverso il materiale, provocando la deformazione. Questo aiuta la facciata a regolare la temperatura all'interno dell'edificio.

Al cambiamento delle condizioni ambientali, la carica nello strato d'argento provoca il movimento, utilizzando un attuatore sensibile. L'aumento di carica provoca l'espansione dell'elastomero, curvandone un lato. L'effetto è che la facciata si chiude, bloccando l'ingresso della luce.



Fonte: <http://materia.nl/article/homeostatic-facade-system/>

3.6 ANALISI DEI MODELLI

Per l'analisi di questo tipo di schermatura è necessario destrutturare, inizialmente, il processo di analisi. Il primo passo è quello di sintetizzare gli input dati dal contesto e capire quali sono gli elementi favorevoli e/o sfavorevoli al processo di analisi. Successivamente si costruisce un modello e lo si posiziona correttamente nel contesto analizzato. Si variano, poi, alcuni parametri, come ad esempio geometria, materiali, riflessioni, distanze, e si selezionano le configurazioni ottimali per applicarle alle simulazioni. Passo ulteriore è la scelta di alcune soluzioni da mettere a confronto per verificare i punti di forza e di debolezza di ognuno dei sistemi impiegati.

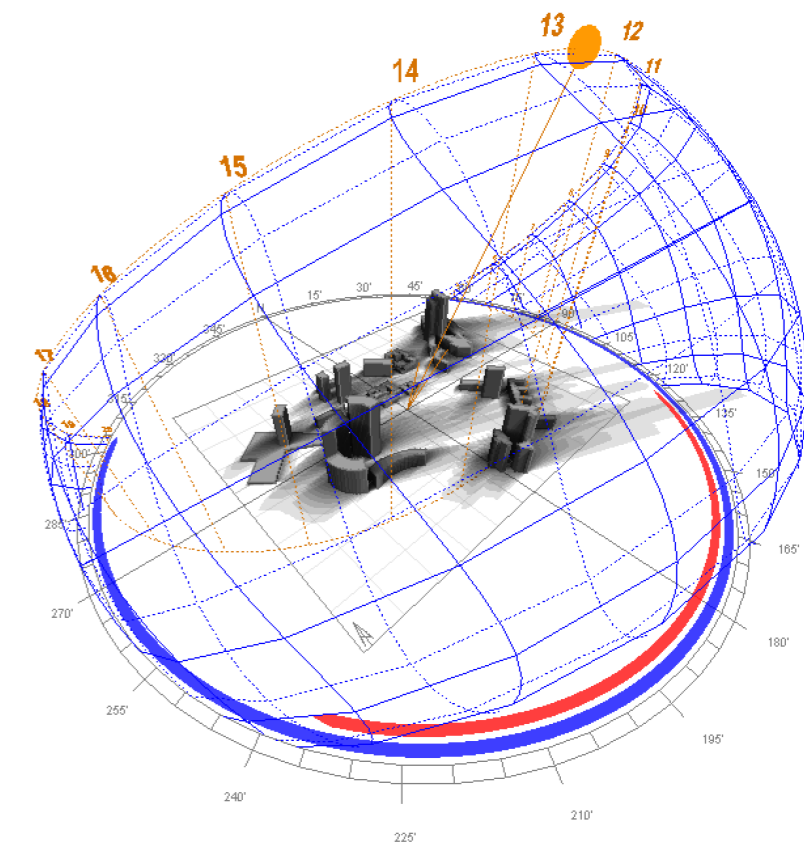
Sulla base di queste analisi, si è passati alla definizione di una nuova soluzione che, sotto le ipotesi precedenti, è stata verificata (geometria e movimentazione del sistema di facciata).

3.6.1 INFLUENZA DELL'INTORNO

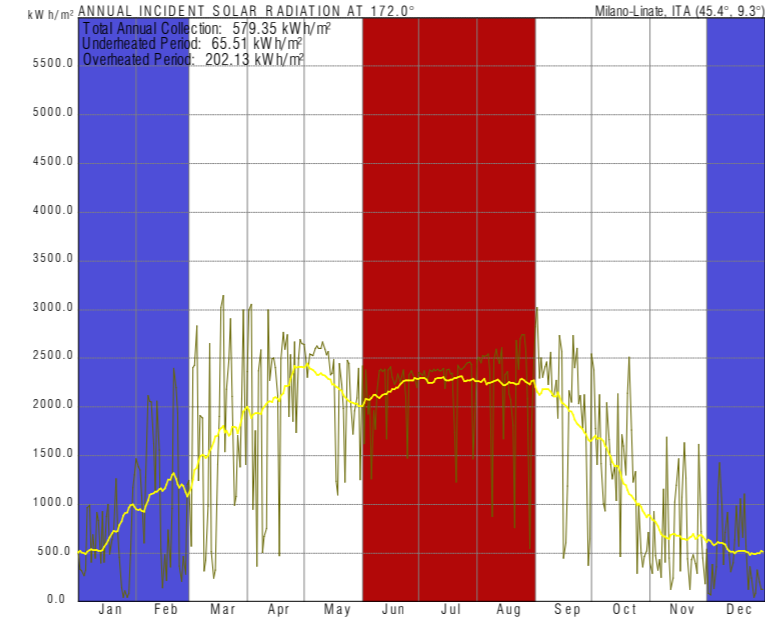
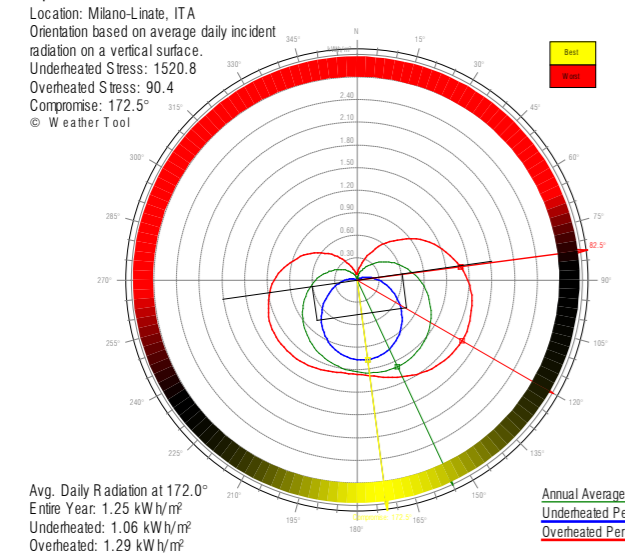
Un primo input è dato dall'analisi delle ombre che il contesto porta sull'area di progetto. Questo è utile per comprendere quali sono i fattori che influenzeranno la progettazione.

Tramite il programma applicativo del software Autodesk Ecotect Weather Manager, è stato possibile verificare quale fosse l'orientamento presunto ottimale, cioè quello con la maggior quantità di radiazione (espressa in kWh/m²) durante l'anno per sfruttarlo in fase di progettazione. Questo è risultato di 172°.

La progettazione di civico4LAB ha, tra le sue esigenze, quella di essere definita da spazi, come, ad esempio, i laboratori, che necessitano di particolari

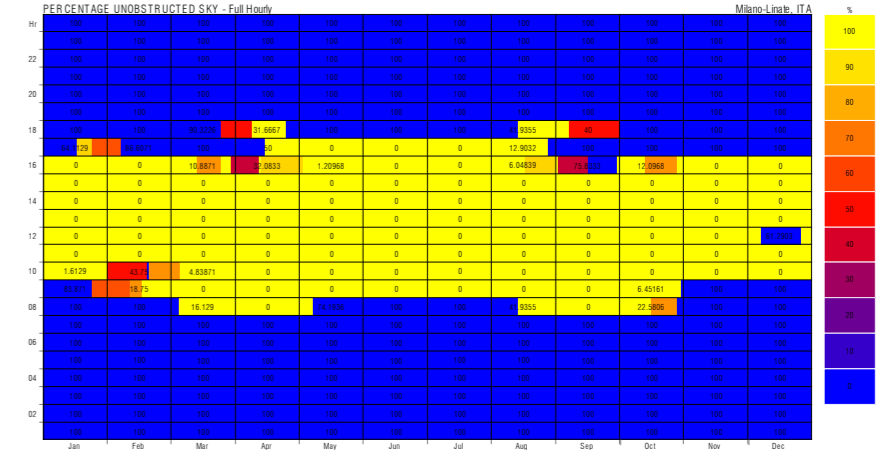
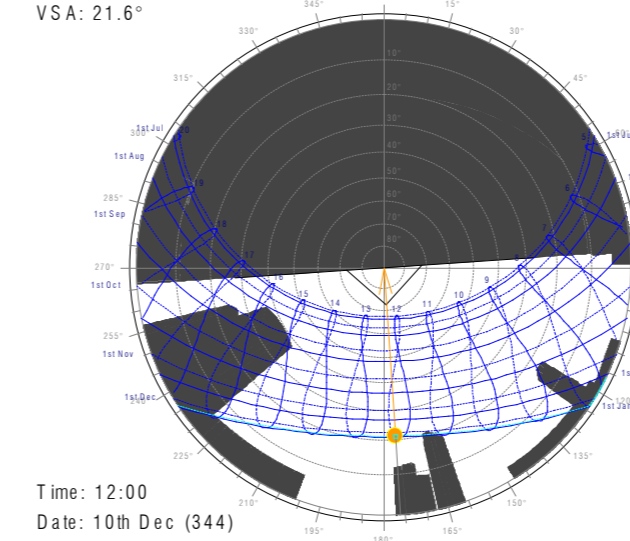


Optimum Orientation



Stereographic Diagram

Location: 45.4°, 9.3°
Obj 871 Orientation: 176.2°, 0.0°
Sun Position: 176.2°, 21.6°
HSA: 0.0°
VSA: 21.6°



3.6.2 SIMULAZIONE DEL SISTEMA SCHERMANTE TRAMITE IL SOFTWARE DIVA PER RHINO

Al fine di valutare il comportamento della schermatura, rispetto ai parametri di comfort illuminotecnico, è stato utilizzato il programma di simulazione DIVA.

DIVA per Rhino è un software altamente ottimizzato per simulazioni di luce ed energia. Questo programma è stato inizialmente sviluppato presso la Graduate School of Design della Harvard University ed è ora distribuito e sviluppato da Solemma LLC. Con questo tipo di software è possibile effettuare una serie di valutazioni delle prestazioni ambientali dei singoli edifici e paesaggi urbani, tra cui: la mappatura della radiazione solare; Render fotorealistici; valutazione del daylight; valutazione dell'abbagliamento annuale e in un dato

condizioni di comfort visivo.

Un principio fondamentale è stato quello di avere un approccio eco-compatibile alla progettazione, pensando a definire ambienti in grado di soddisfare i requisiti di comfort, tramite il controllo passivo del microclima, minimizzando l'uso di impianti e massimizzando l'efficienza degli scambi tra edificio e ambiente.

Si definisce comfort ambientale quella particolare condizione di benessere, funzione della temperatura, dell'umidità dell'aria, del livello di rumorosità e della luminosità rilevata all'interno dell'ambiente.

In questo focus, ci si concentra sulle grandezze idonee a valutare il com-

tamento di una superficie su cui incide una radiazione luminosa, ovvero:

- il fattore di assorbimento luminoso, dato dal rapporto tra il flusso luminoso assorbito dalla superficie ed il flusso luminoso incidente;
- il fattore di riflessione luminoso, dato dal rapporto tra il flusso luminoso riflesso dalla superficie ed il flusso luminoso incidente;
- il fattore di trasmissione luminoso, dato dal rapporto tra il flusso luminoso trasmesso da una superficie trasparente ed il flusso luminoso incidente.

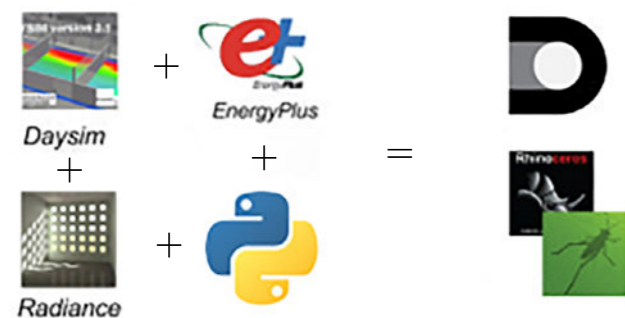
Una volta definito l'orientamento ottimale è importante capire quali sono i fattori di disturbo, quali:

- elementi che ne influenzano la vista;
- ombreggiamenti della facciata dovuti al contesto;
- percentuale di ombreggiamento.

istante; LEED e CHPS che forniscono certificazioni di Daylighting; valutazione dell'energia per le singole zone termiche.

Il programma utilizza come motori di calcolo per le simulazioni:

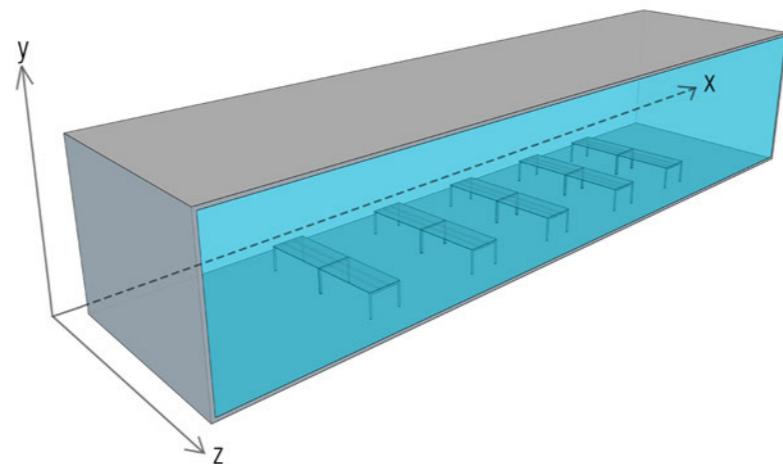
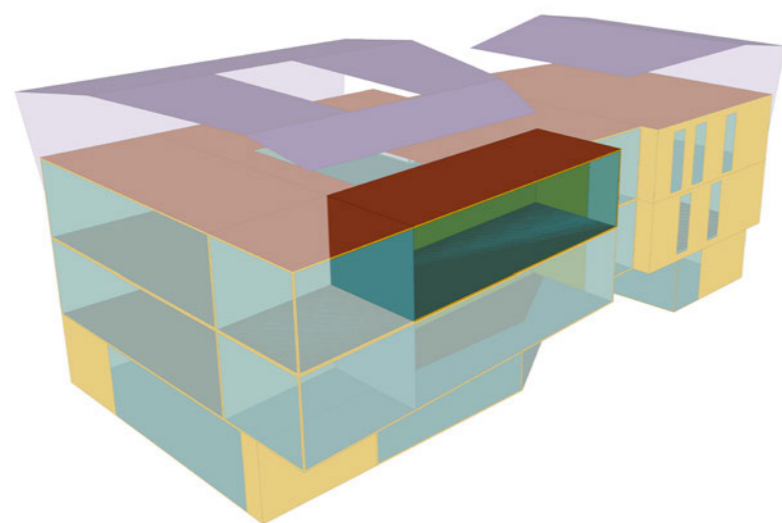
- Daysim (per valutazioni quantità di luce quali DF DA ecc.)
- Radiance (per valutazioni sulla qualità della luce, ad es. DGP)
- Energy Plus (Simulazioni termiche)
- Python (programma di scrittura informatiche che permette l'integrazione dei processi)



IMPOSTAZIONE DI BASE DEI MODELLI

Il primo passo, prima di passare alle simulazioni attraverso il software "DIVA", è stato la costruzione di un modello che riprendesse il più possibile le caratteristiche reali dell'ambiente analizzato. La modellazione è stata effettuata attraverso il software "Rhinoceros 3D", che integra lo stesso software "DIVA" utilizzato per le analisi.

Si è partiti dall'analisi della singola stanza, delle dimensioni di 20 m x 4 m x 6 m (x,y,z), orientata secondo l'inclinazione ottimale (che da analisi era di 172°), in cui è stata inserita una finestratura proporzionale a quella utilizzata nel progetto. Questo ambiente rappresenta uno dei laboratori in progetto,



esposto principalmente a sud. La facciata consiste in una double-skin con triplo vetro, caratterizzata da un fattore solare di 0,35 ed una trasmissione luminosa di 0,65.

Sono state poi definite le caratteristiche degli altri materiali, secondo le norme UNI10840 e EN12464:

- riflettanza dei materiali (integrando le normative italiana ed europea in fatto di luce naturale). Il colore e la riflettanza delle facce della camera fanno parte del sistema di illuminazione. Superfici scure riflettono meno luce rispetto alle superfici chiare, con il risultato che si ottiene un ambiente in cui c'è poca luce indiretta o riflessa. Superfici verticali chiare, all'interno di una stanza, sono generalmente preferibili a quelle scure, mentre i dispositivi di ombreggiatura, utilizzati per controllare la luce solare, dovrebbero utilizzare materiali più scuri, al fine di limitare il rischio di abbagliamento (ad esempio tende di colore grigio).
- specifiche degli elementi vetrati per quanto riguarda energia e luce trasmessa. La quantità di luce trasmessa, attraverso una finestra, viene ridotta dal numero di strati di vetro che ha da penetrare. Come regola generale, doppi vetri (senza rivestimento) lasciano passare ca. l'80% della luce, mentre tripli vetri (senza rivestimento) consentono il passaggio di ca. il 70% della luce, percentuali calcolate rispetto ad una finestra aperta. Colorare, o rivestire, un vetro può ridurre la sua trasmittanza visibile, fino a valori più bassi del 20%, e modificare significativamente la qualità spettrale della luce trasmessa, nonché la percezione dei colori di superficie all'interno.

Una volta definite le caratteristiche geometriche della stanza e le caratteristiche delle sue superfici, si è passati alla definizione dei parametri di riferimento per le simulazioni:

- altezza del piano di analisi. Per quanto riguarda il calcolo di DF e illuminamento, il piano di riferimento su cui si fa il calcolo è prossimo

all'altezza del piano di lavoro. Quindi, per ambienti come laboratori e aule studio si fa riferimento al piano del banco.

- altezza del punto di analisi. Per la valutazione dell'abbagliamento si fa riferimento all'altezza dell'occhio dell'osservatore quando sta svolgendo le sue normali attività all'interno dello spazio.

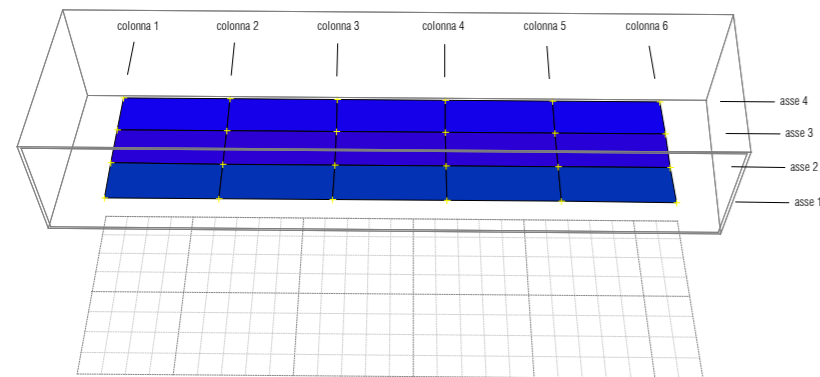
| Elemento | Percentuali impostate |
|-----------------------------|-----------------------|
| Pavimento (Riflettanza) | 0,20 |
| Pareti (Riflettanza) | 0,50 |
| Soffitto (Riflettanza) | 0,80 |
| Contesto (Riflettanza) | 0,20 |
| Arredo (Riflettanza) | 0,50 |
| Triplo vetro (trasmissione) | 0,65 |

| Altezza del piano di analisi per DF e Illuminamento | Altezza del punto di analisi per DGP |
|---|--------------------------------------|
| 0.85 m | 1.20 m (seduto) 1.70 m (in piedi) |

GRID ANALISYS

In DIVA è stata definita una griglia per le analisi. Questa permette di assimilare in determinati punti le valutazioni medie della superficie. Nel nostro caso la griglia è 6 x 4. Si è fatta particolare attenzione ad avere una distanza sufficiente di 50 cm dalle superfici opache delimitanti l'ambiente e di 100 cm dalle superfici vetrate, per non avere risultati o troppo inferiori o troppo superiori alla media dei risultati.

Tutti le simulazioni iniziali sono state eseguite su un modello di schermatura semplificato, a matrice orizzontale. Questo ci ha permesso di avere una

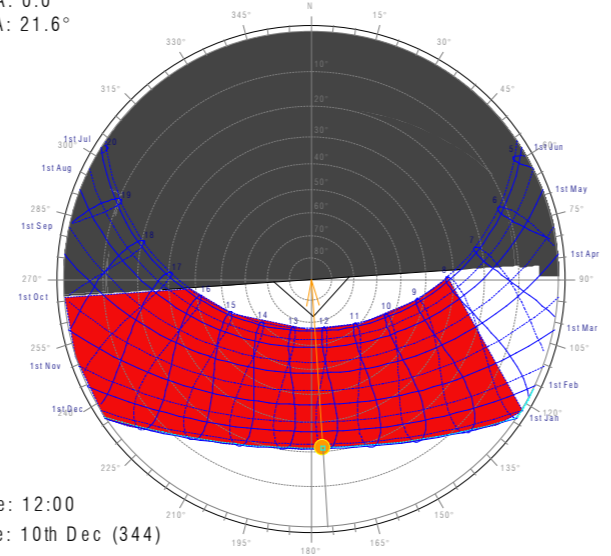


percezione qualitativa e quantitativa della variazione di: DF, illuminamento e Daylight, all'interno della stanza.

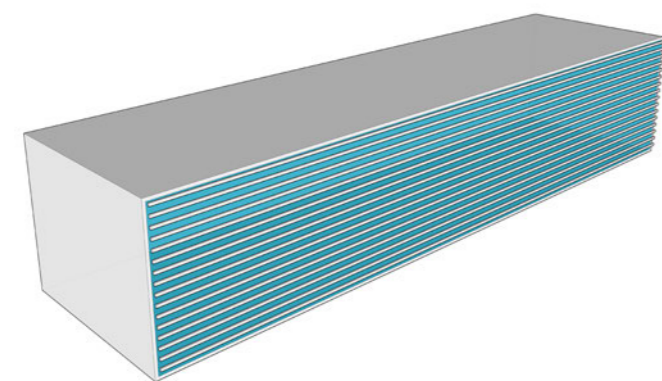
Per ogni simulazione, sono esposti i valori finali, calcolati come la media dei valori ottenuti per ogni asse della griglia. Sulle ascisse si avranno, quindi, spesso i valori di 1,2,3 e 4. La scelta è giustificabile dal fatto che la vetrata è parallela ad ogni asse e lo copre per l'intera lunghezza. Ogni punto dell'asse ha valori pressoché simili a quello adiacente in direzione parallela alla vetrata, mentre, in direzione perpendicolare, si ha una sostanziale differenza.

ORE DI SIMULAZIONI

Stereographic Diagram
 Location: 45.4°, 9.3°
 Obj 871 Orientation: 176.2°, 0.0°
 Sun Position: 176.2°, 21.6°
 HSA: 0.0°
 VSA: 21.6°



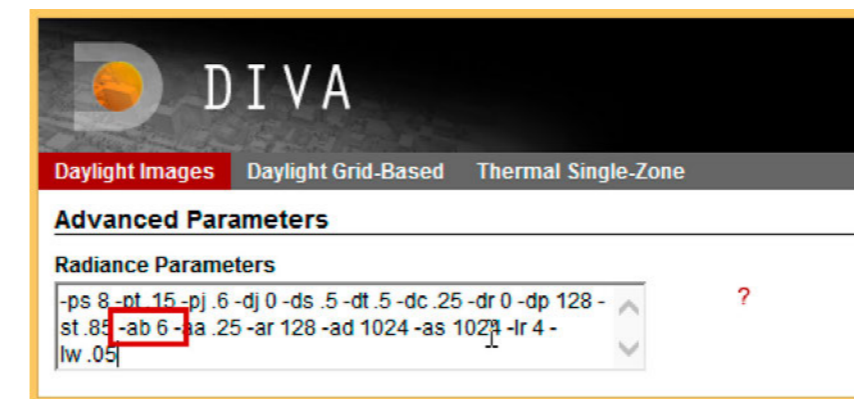
Time: 12:00
 Date: 10th Dec (344)
 Dotted lines: July-December.



È opportuno definire le ore necessarie per una corretta valutazione del daylight, restringendo il campo alle ore utili per la simulazione. Ciò è fatto adoperando determinate restrizioni. La prima è stata fatta in base alle ore di luce giornaliere annuali, escludendo quelle ore notturne. Una seconda limitazione è data dalle ore di ingresso ed uscita dal centro (8:00-24:00). L'ultima limitazione è data dall'orientamento della facciata: infatti, anche se in molte giornate il sole cala molto più tardi, la facciata riceve sole diretto solo dalle 7:00 alle 18:00. Interpolando tutte e tre le situazioni otteniamo le ore utili per le varie analisi, illustrate nel grafico a lato, che vanno dalle 8:00 alle 18:00. A favore di sicurezza si includono le ore in cui il contesto porta ombre sulla facciata. Si tratta di ore invernali, in cui la percentuale di ombre portate è poco significativa.

PARAMETRI DI RADIANCE

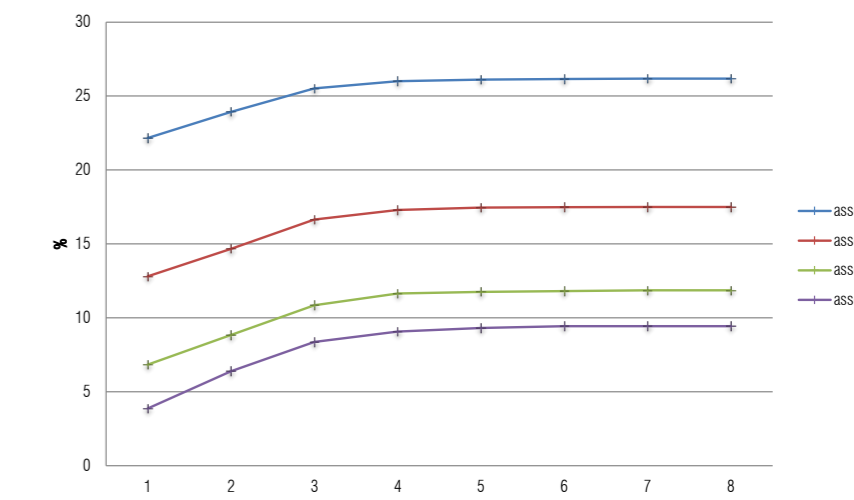
Come prima cosa è stato scelto il numero corretto di *ambient bounces*, che soddisfassero la geometria delle schermature. Gli *ambient bounces* corrispondono al numero di rimbalzi che la luce effettua sulle superfici che incontra prima di cessare.



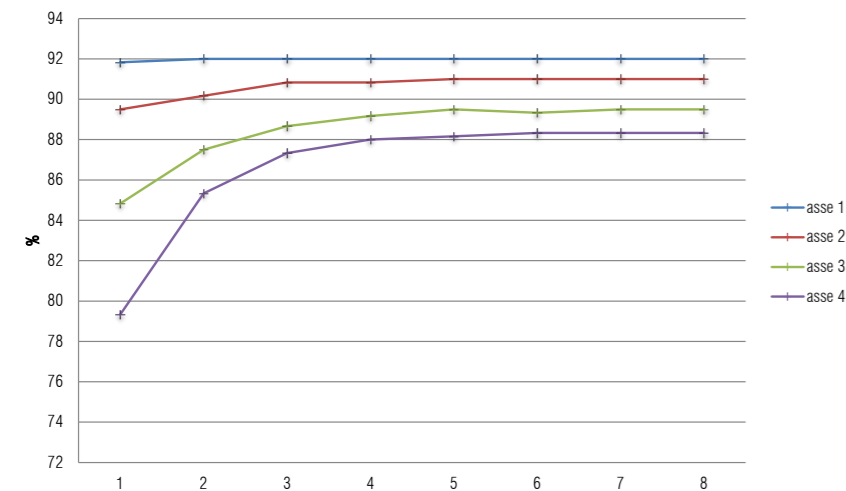
Scegliere un numero ridotto di *ambient bounces* penalizza ogni simulazione in quanto diminuisce la quantità di DF. D'altra parte, scegliere troppi "ambient bounces" fa crescere esponenzialmente i tempi di ogni simulazione. La valutazione è stata effettuata per valori tra 1 e 8, con una schermatura dello spessore di 20 cm.

Si nota immediatamente come, per valori superiori a 4 "ambient bounces", le soluzioni tendono a convergere. Quindi, per queste simulazioni è stato utilizzato un valore pari a 4.

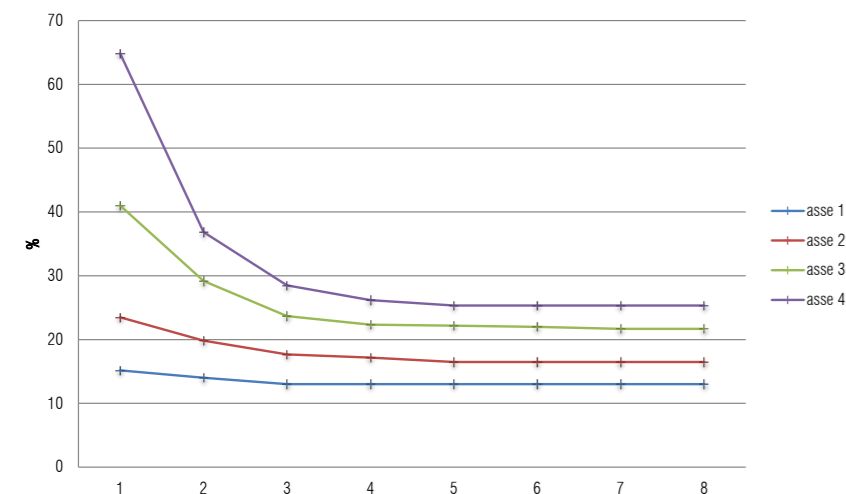
Si riportano in seguito i diagrammi con i valori di DF, illuminamento e daylight.



Daylight Factor (DF)



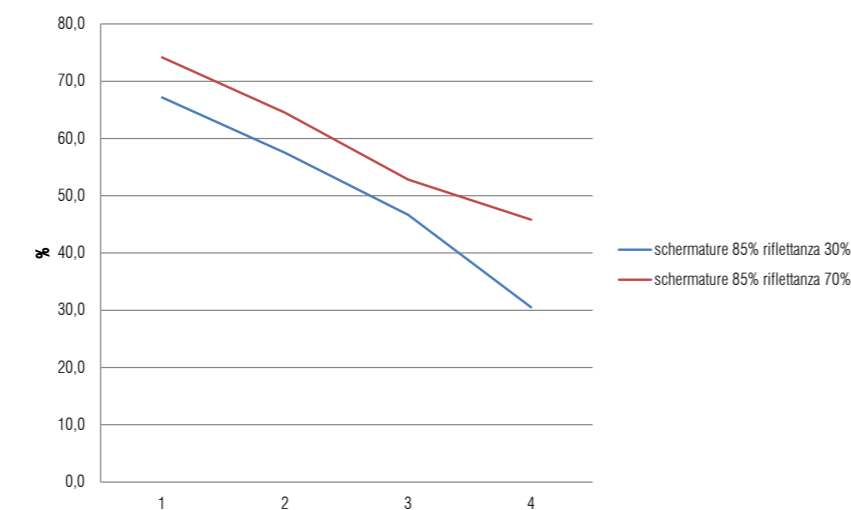
Daylight Autonomy (DA)



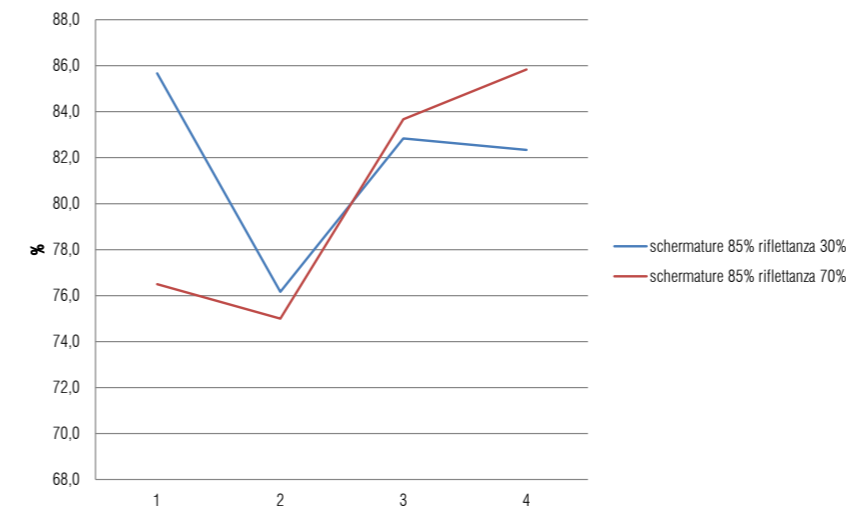
Useful Daylight Index (UDI) 100-2000

RIFLETTANZA DELLA SCHERMATURA

È stato definito, poi, il valore di riflettanza della schermatura, composta da un pannello di polipropilene, in parte rivestito. Questo valore è strettamente legato al colore utilizzato e al tipo di materiale. Sono stati valutati i casi di riflettanza al 30% ed al 70%. Queste due percentuali sarebbero uguali se ci si riferisse al confronto tra un materiale metallico ed un materiale plastico, oppure tra un materiale abbastanza chiaro e uno scuro. Come nel paragrafo precedente, si riportano i valori di illuminamento e daylight su cui si faranno le necessarie valutazioni. Come si può notare, una schermatura di colore chiaro porta ad un piccolo innalzamento della quantità di luce utilizzabile all'interno della stanza.



Daylight Autonomy (DA)



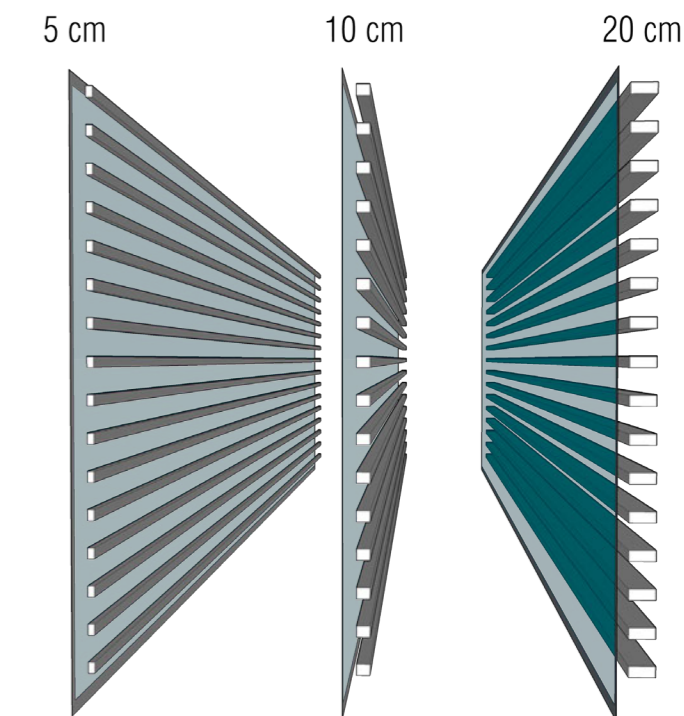
Useful Daylight Index (UDI) 100-2000

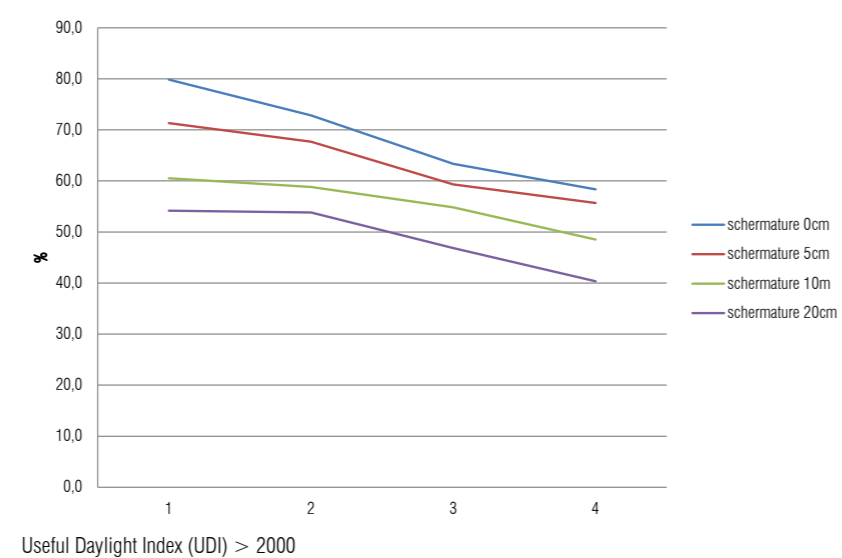
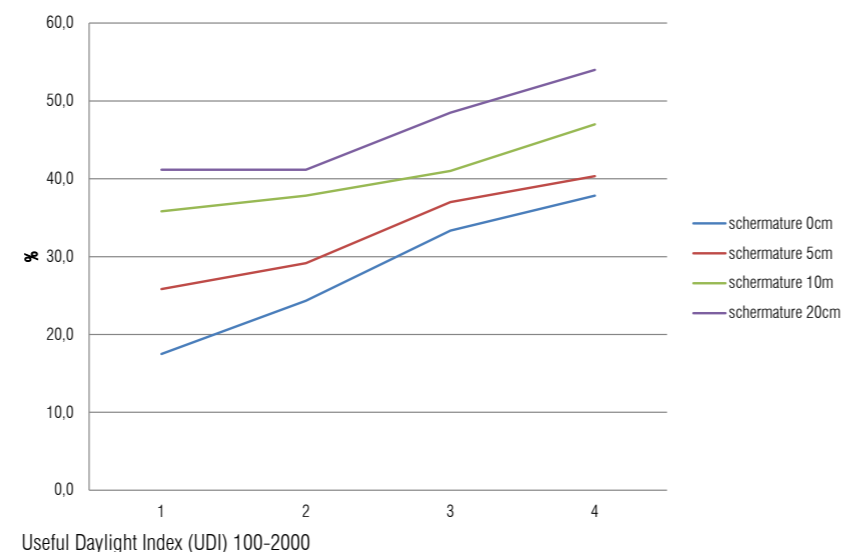
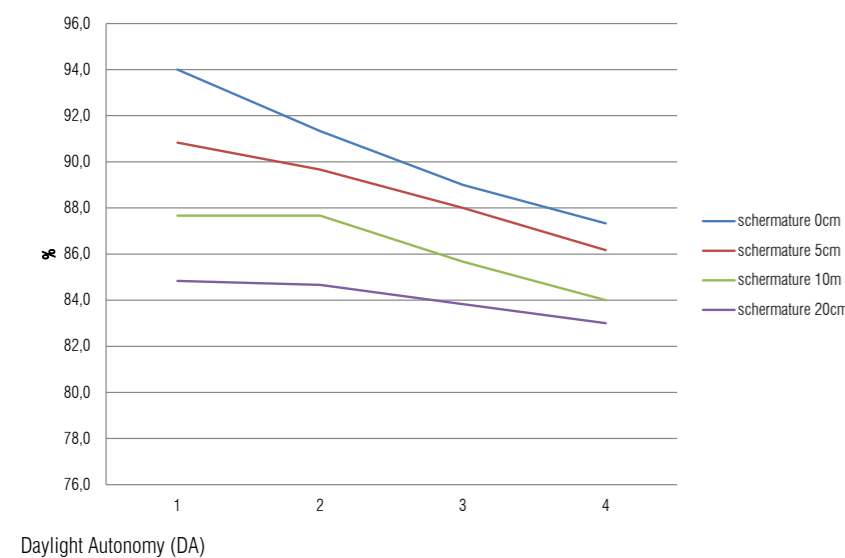
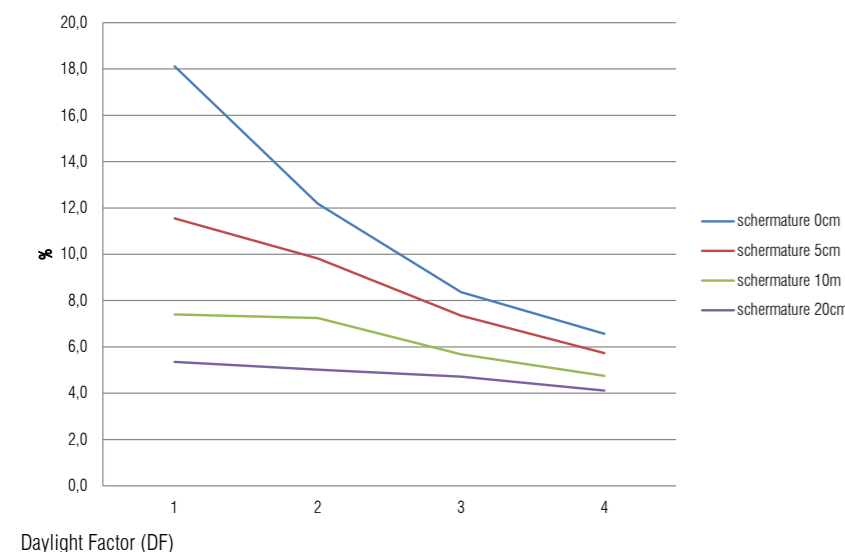
DIMENSIONE TRASVERSALE

L'ultima analisi, per stabilire i parametri da utilizzare nei casi studio, si concentra sull'influenza che lo spessore trasversale della schermatura ha sui valori di daylight interno. L'idea è quella di comprendere quanto incide la scelta dello spessore. Gli spessori ipotizzati sono 5 cm, 10 cm, 20 cm. Non si ipotizzano spessori maggiori in quanto abbiamo limitazioni dimensionali dovute all'ampiezza della "double-skin", in cui verrà alloggiato il sistema schermante.

Le analisi condotte dimostrano che, per qualsiasi spessore di schermatura, il fattore di luce diurna è soddisfatto ampiamente per tutti e quattro gli assi ($DF > 2\%$), pur abbassandosi notevolmente dalla schermatura più sottile a quella con dimensione maggiore. Per quanto riguarda gli altri parametri, la schermatura che si comporta meglio è quella con lo spessore maggiore

(20 cm): ha una diminuzione percentuale per quanto riguarda l'autonomia di luce diurna, ma valori notevolmente più bassi si sovraesposizione ($UDI > 2000$) a favore della luce a media intensità ($UDI 100 - 2000$).





In conclusione, visti i parametri registrati, si deduce che la scelta dei parametri teorici del programma vertono su: un valore di “ambient bouces” di 4; un materiale con matrice poco riflettente (a causa dell’abbagliamento); uno spessore della schermatura intorno ai 20 cm. Nel paragrafo successivo si elencano molti dei sistemi sul mercato, e non. Di quelli con le caratteristiche più differenti, già descritti nel capitolo 3.5, sono state eseguite le simulazioni atte a comprenderne vantaggi e svantaggi.

3.6.3 ANALISI DEI SISTEMI SMA

APPLICAZIONI

L’attuale ricerca sui dispositivi di ombreggiamento si sta spostando verso soluzioni che non richiedano sistemi meccanici, come ad esempio soluzioni hingeless, dotati di reattività alle condizioni esterne variabili e di capacità di ridurre al minimo l’energia necessaria per l’adattamento. Gli obiettivi, applicati per lo sviluppo del componente, si rifanno ad un approccio biomimetico e all’utilizzo di materiali “intelligenti”.

In seguito sono riassunti i progetti esaminati, descrivendone il tipo di attuatore, il tipo di movimentazione, la percentuale schermante, a shading aperto e chiuso, la geometria e le forze attuatrici.

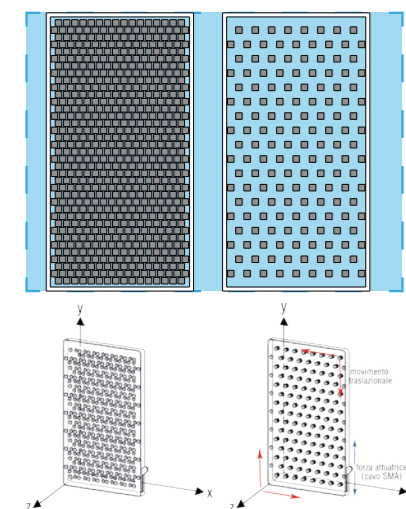
| Progetto | Elemento Attuatore |
|-------------------------------|-------------------------------|
| <i>Sun Shading</i> | Nastro in SMA |
| <i>Homeostatic</i> | Nastro in SMA |
| <i>Adaptive Fritting</i> | Cavo in SMA |
| <i>Air Flow(er)</i> | Cavo in SMA |
| <i>Pixel Skin</i> | Cavo in SMA + Molla |
| <i>Self Adaptive Membrane</i> | Molla in SMA + Cavo metallico |

Movimento

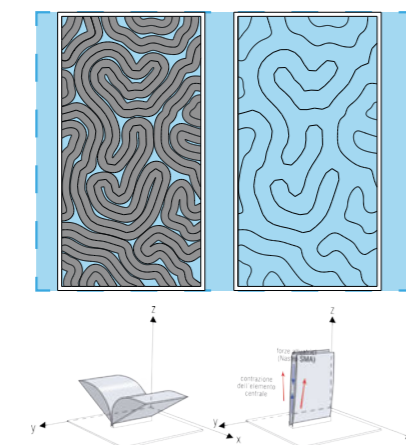
I modelli possono essere raggruppati in base alla tipologia, distinguendo tra movimenti di traslazione (in grado di effettuare un cambio bidimensionale di forma) e movimenti di rotazione (caratterizzato da una variazione tridimensionale forma). Entrambe le tipologie richiedono un attuatore, che può essere completamente integrato nel dispositivo, o strategicamente posizionato per attivare un’azione specifica. Uno stimolo esterno dell’attuatore provoca una variazione del suo volume, che si trasforma in un movimento traslatorio. Si ottengono così delle deformazioni lineari che, con un’accurata progettazione, si possono trasformare in movimenti tridimensionali. Molti dei movimenti traslazionali, o rotazionali, ottenuti sono rappresentati nei progetti selezionati:

- Sun Shading: ha un elemento attuatore a nastro capace di piegarsi a 90° se stimolato. Questo tipo di movimentazione permette di avere un sistema con un solo grado di movimento, in quanto la flessione del nastro è predeterminata e, quindi, non si hanno diverse configurazioni di movimento.
- Homeostatic: ha anch’esso, come attuatore, un nastro in materiale a memoria di forma, ma la sua movimentazione è diversa rispetto al precedente: non si parla più di flessione dell’elemento, ma, facendo ricorso alla grande dilatazione di questi materiali, si fa ricorso alla differenza di dilatazione con il materiale adiacente. L’elemento a memoria di forma, dilatandosi, tende il materiale adiacente innescando una flessione; questa porta alla “chiusura” della schermatura.
- Adaptive Fritting: la transizione, da soluzione “aperta” a soluzione “chiusa”, è dovuta alla traslazione di 4 pannelli sovrapposti. Tre di questi si muovono in tre direzioni diverse coprendo l’intera area, grazie sia alla geometria dei supporti dei pannelli sia da un sistema di attuatori in SMA che gestiscono le varie configurazioni.

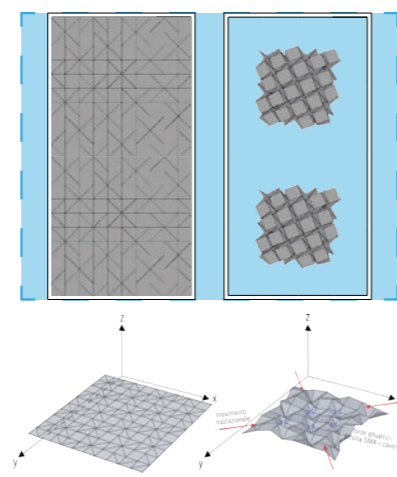
ADAPTIVE FRITTING¹



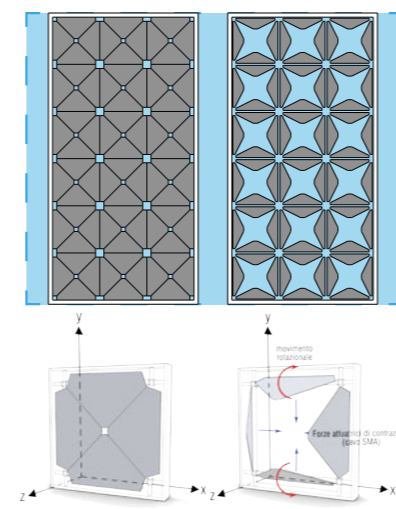
HOMEOSTATIC²



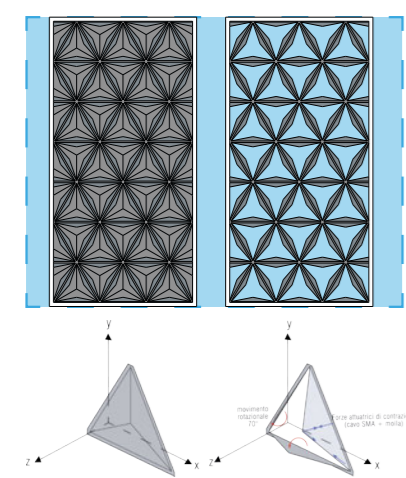
SELF ADAPTIVE MEMBRANE³



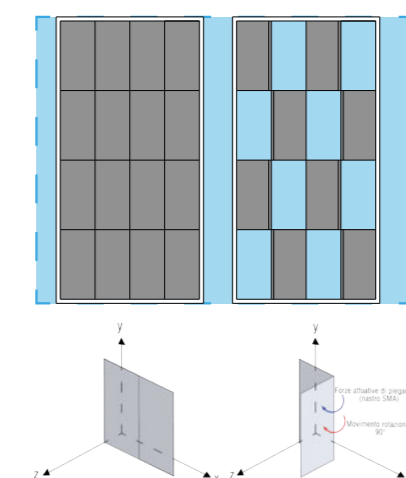
AIR FLOW(ER)⁴



PIXEL SKIN⁵



SUN SHADING⁶



1. <http://www.adaptivebuildings.com/adaptive-fritting-surface.html>
2. M. Decker, P. Yeadon, "Project Smart Screen", Version I, II, III, 2010.
3. <http://cargocollective.com/shreyasmore/filter/Nitino/Self-adaptive-Membrane>
4. <http://www.liifarchitects.com/air-flower/>
5. C.M.J.L. Lelieveld, P. Teuffel, "Smart Composite for Architectural Applications", Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium, Shanghai, 2011; C.M.J.L. Lelieveld, P. Teuffel, "Smart Composite for Architectural Applications", Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium, Shanghai, 2010.
6. <https://arch5541.wordpress.com/2012/11/16/dynamic-technology-and-the-human-experience/>

sulla rotazione. Il primo sistema utilizza un cavo in SMA per l'attuazione del movimento, mentre il secondo sistema utilizza un sistema composto "cavo SMA+molla". Entrambi i sistemi hanno una efficienza della rotazione intorno ai 70°.

- Self Adaptive Membrane: è l'unico a differenziarsi un po' dagli altri, poiché questo tipo di sistema reagisce agli stimoli contraendo la propria matrice, grazie ad una geometria ben studiata e all'attuazione attraverso "molle in SMA+cavi".

Percentuale di schermatura

Non tutti i sistemi hanno la stessa percentuale di schermatura in configurazione aperta e chiusa. Parlando di elementi chiusi, i sistemi Sun Shading, Pixel Skin e Self Adaptive Membrane hanno una percentuale di schermatura intorno al 100%. La percentuale di Air flow(er) è intorno al 95%, mentre quella di Homeostatic e Adaptive Fritting intorno al 70%. La configurazione "aperta" rappresenta una variazione maggiore di percentuali di schermatura. È più complesso definire la percentuale in questo caso, in quanto entra in gioco la tridimensionalità dell'elemento. Lasciamo alle analisi successive tale risultato.

3.6.4 I 4 MODELLI PER LE ANALISI

La scelta dei modelli da analizzare ricade su 4 delle 6 soluzioni, le quali si discostano notevolmente tra di loro, in base alle loro caratteristiche. Analizzando la geometria, aperta e chiusa, si è visto come 2 dei 6 modelli hanno una forma molto simile; questo ci ha portato ad escluderne uno. Altri parametri di confronto sono la percentuale di shading in modalità aperta e in modalità chiusa e il metodo di movimentazione. Determinati i termini di pa-

ragone, si è passati alla scelta dei modelli: Sun Shading; Pixel Skin; Adaptive Fritting; Homeostatic e all'utilizzo di materiali "intelligenti". In seguito sono riassunti i progetti esaminati, descrivendone il tipo di attuatore, il tipo di movimentazione, la percentuale schermante, a shading aperto e chiuso, la geometria e le forze attuatrici.

ANALISI DEI MODELLI

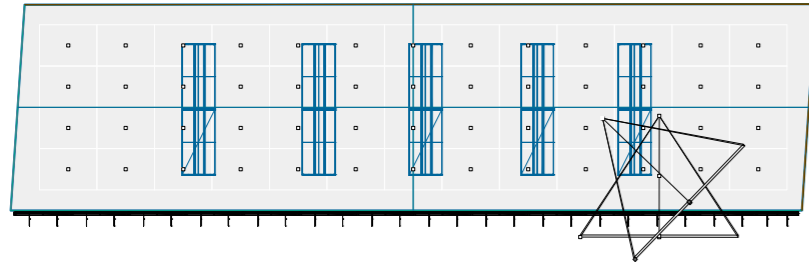
Il modello generale per le analisi fa riferimento a quello precedentemente usato per la definizione degli input: per il calcolo dei valori di daylight si fa riferimento ad un piano di lavoro posto all'altezza di 0,85 m dal pavimento; per il calcolo dei valori di abbagliamento si fa riferimento ad un punto posto all'altezza della vista (da seduto per attività di laboratorio) ovvero 1,20 dal pavimento.

Nelle analisi dell'abbagliamento, definito come discomfort causato da una differente illuminazione di due punti, ci si è riferiti a due viste principali all'interno della stanza. Una vista è perpendicolare alla porzione vetrata, così da vedere la parte di oscuramento e la porzione di cielo all'esterno della stanza. Una vista è inclinata di 45° rispetto alla perpendicolare alla vetrata, così da avere una porzione della vista all'interno della stanza e una parte sull'esterno.

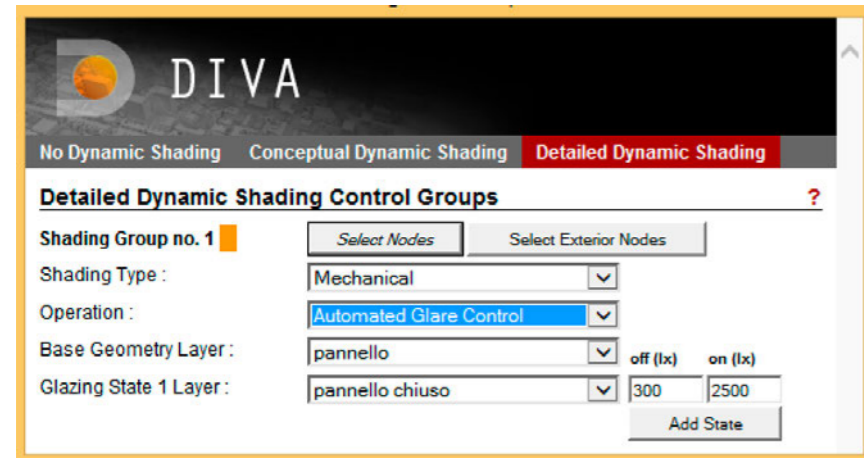
La griglia di analisi, che precedentemente era 6 X 4, è stata in questo caso definita da una maglia 13 x 4. I risultati sono sempre definiti come la media di ogni colonna della maglia.

Le ore per cui è stata eseguita la simulazione sono le stesse trovate dalla precedente interpolazione, ovvero dalle 8:00 alle 18:00 sull'intero anno, per un totale di 3650 su 8670 ore nell'arco di un anno.

Dovendo progettare uno spazio per laboratori/studio, tutte le simulazioni sono state valutate per un valore minimo di illuminamento di 500Lux (valore desunto da norma UNI 10840).

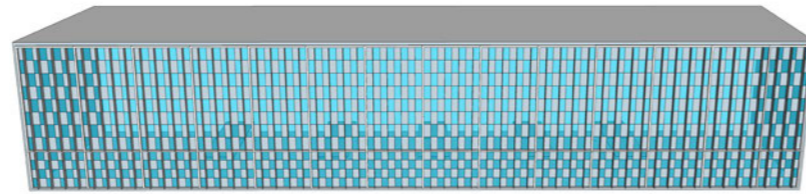


In tutte le simulazioni si attua una strategia dinamica, cioè la schermatura risponde ai limiti di abbagliamento: ogni qual volta il punto di vista dell'osservatore, su cui si sta facendo la simulazione, è abbagliato, la schermatura automaticamente passa in modalità chiusa. Inoltre, si è impostato il programma in modo tale da controllare anche i livelli di sovraesposizione: oltre 2500 Lux la schermatura si chiude. Queste sono le due componenti per il controllo dinamico della schermatura.



SUN SHADING

Sun Shading ha un rapporto di schermatura, quando è aperto, del 50%, mentre, quando è in configurazione chiusa, del 100%. La geometria degli elementi che lo compongono è verticale e la movimentazione è data dalla flessione di elementi in SMA di 90°. Le dimensioni di ogni singolo elemento che compone l'intera schermatura è, nelle direzioni x, y e z, 40 x 40 x 20 cm. L'apertura di ogni elemento è contrapposto all'altro e questo fa sì che non ci siano spazi non schermati a tutta altezza.



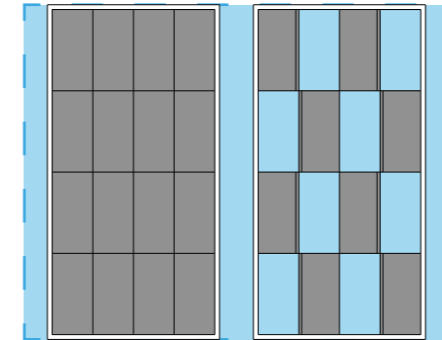
Il risultato delle analisi fornisce, per la vista perpendicolare, i seguenti risultati:

- il valore di illuminamento medio annuo è soddisfatto per il 50% delle ore di simulazione;
- il daylight medio della stanza raggiunge un valore del 4%;
- l'abbagliamento complessivo della facciata per una simulazione dinamica è dello 0%;
- le schermature sono aperte per il 74% delle ore.

Per la vista ruotata di 45° est i risultati sono:

- il valore di illuminamento medio annuo è soddisfatto per il 92% delle ore di simulazione;

- il daylight medio della stanza raggiunge un valore del 4%;
- l'abbagliamento complessivo della facciata, per una simulazione dinamica, è dello 0%;
- le schermature sono aperte per il 82% delle ore.



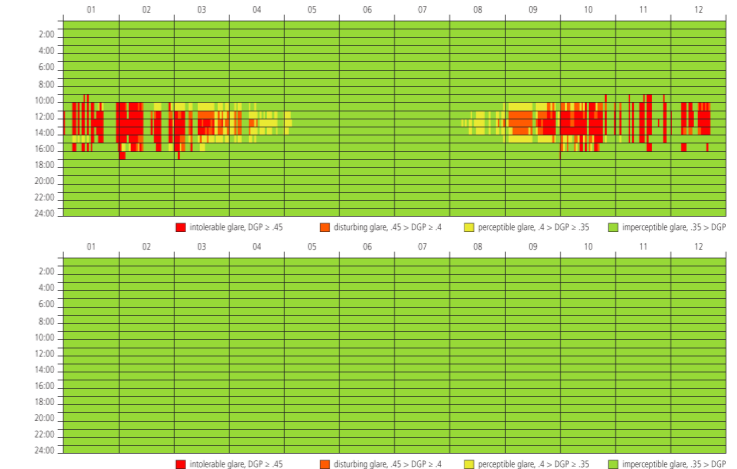
Daysim report vista perpendicolare

Daylight Factor (DF) Analysis: 98% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone should qualify for the LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1 (see www.usgbc.org/LEED/).

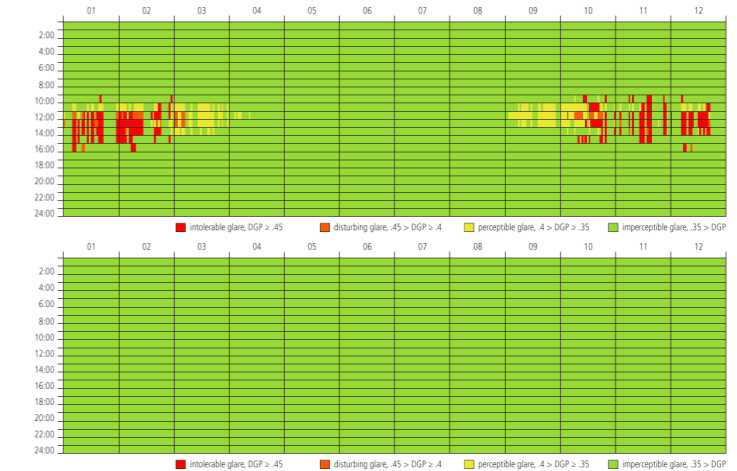
Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 50% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 50% is 50% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (CA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 61% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a $DA_{MAX} > 5\%$ is 19% for active occupant behavior.

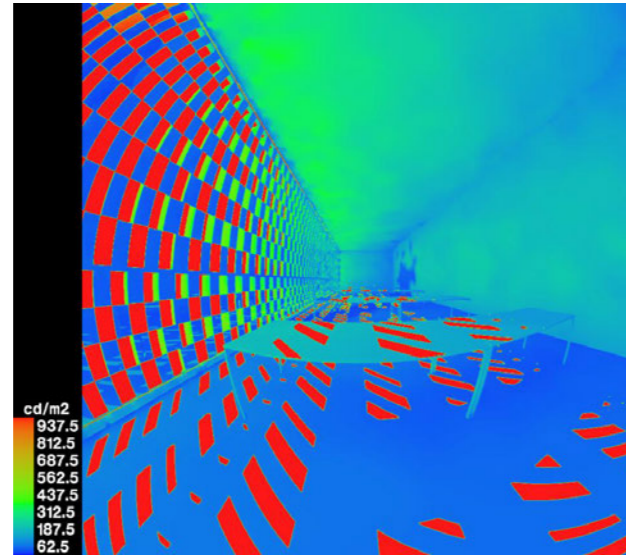
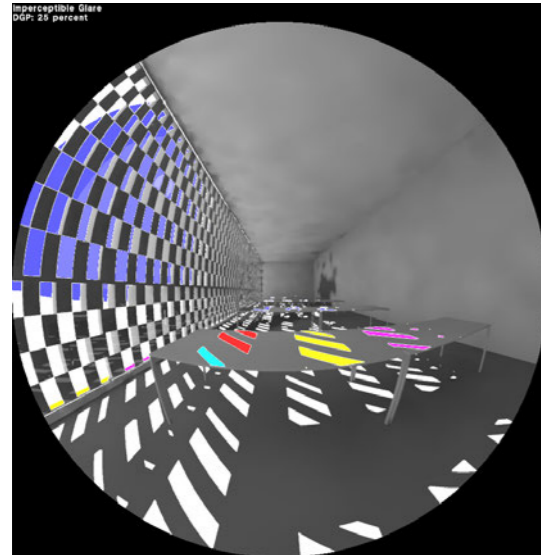
Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a $UDI < 100-2000lux$ larger than 50% is 75% for active occupant behavior.



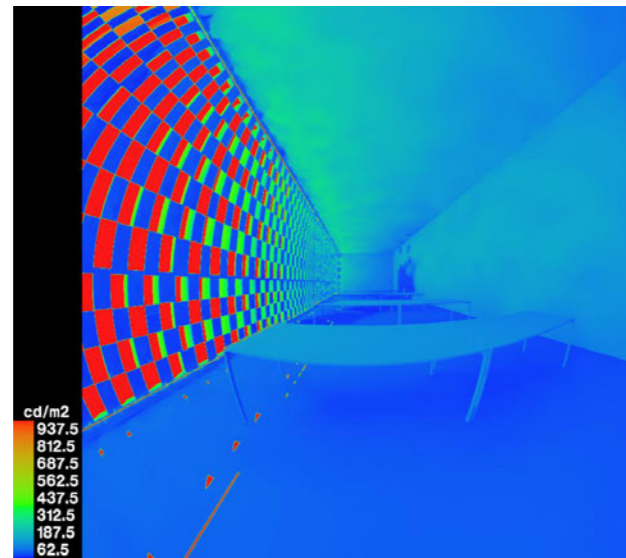
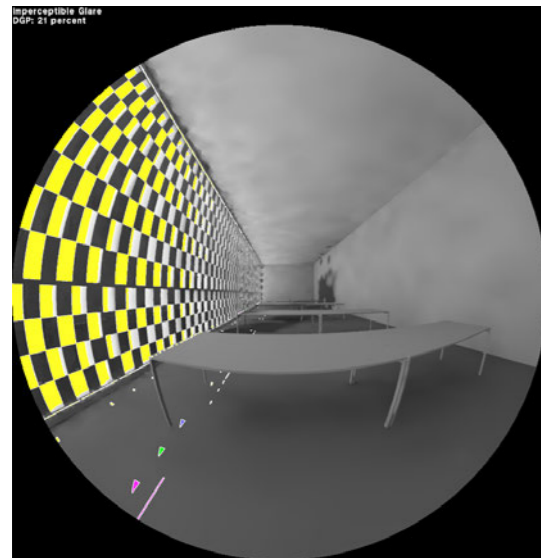
Vista perpendicolare. Valori di abbagliamento annuo, in configurazione aperta, sopra, e chiusa, sotto.



Vista inclinata. Valori di abbagliamento annuo, in configurazione aperta, sopra, e chiusa, sotto.



21 MARZO
 Immagine sinistra: Valori di abbagliamento all'interno della stanza DGP = 25%
 Immagine destra: Valori di illuminamento all'interno della stanza



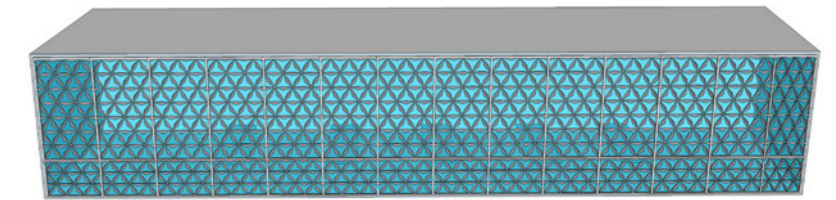
21 GIUGNO
 Immagine sinistra: Valori di abbagliamento all'interno della stanza DGP = 21%
 Immagine destra: Valori di illuminamento all'interno della stanza

Conclusioni

Questa schermatura ha una configurazione geometrica tale per cui, anche quando l'elemento schermate è aperto, restituisce bassi valori di abbagliamento. Questo fa in modo che si chiuda per un numero molto basso di ore. Quando l'elemento è chiuso, la stanza è totalmente oscurata, portando praticamente a zero l'illuminamento nella stanza. In questo caso la vista perpendicolare è più sfavorevole rispetto a quella inclinata visti i risultati ottenuti.

PIXEL SKIN

Pixel Skin ha un rapporto minore di schermatura rispetto al precedente, intorno al 35%. Quando è in configurazione chiusa, come Sun Shading, oscura totalmente la stanza. Questo pannello è movimentato da un cavo di SMA che fa ruotare ogni singolo elemento di 70°. Le sue dimensioni, riferite ad ogni singolo elemento, sono, nelle direzioni x, y e z, 50 x 40 x 15 cm. Ogni elemento, triangolare, è accostato perfettamente all'altro.



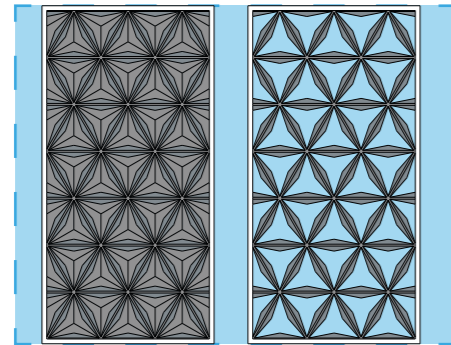
Il risultato delle analisi fornisce, per la vista perpendicolare, i seguenti risultati:

- il valore di illuminamento medio annuo è soddisfatto per il 0% delle ore di simulazione;
- il daylight medio della stanza raggiunge un valore del 4.9%;
- l'abbagliamento complessivo della facciata per una simulazione dinamica è dello 0%;
- le schermature sono aperte per il 61% delle ore.

Per la vista ruotata di 45° est i risultati sono:

- il valore di illuminamento medio annuo è soddisfatto per il 60% delle ore di simulazione;

- il daylight medio della stanza raggiunge un valore del 4.9%;
- l'abbagliamento complessivo della facciata per una simulazione dinamica è dello 0%;
- le schermature sono aperte per il 74% delle ore.



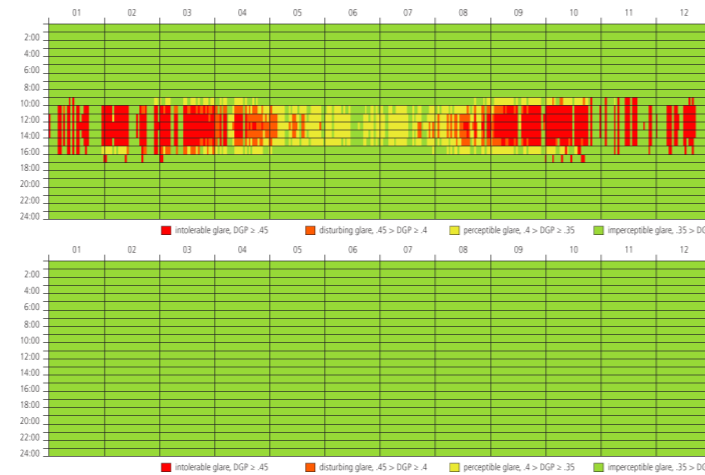
Daysim report vista perpendicolare

Daylight Factor (DF) Analysis: 100% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone should qualify for the LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1 (see www.usgbc.org/LEED/).

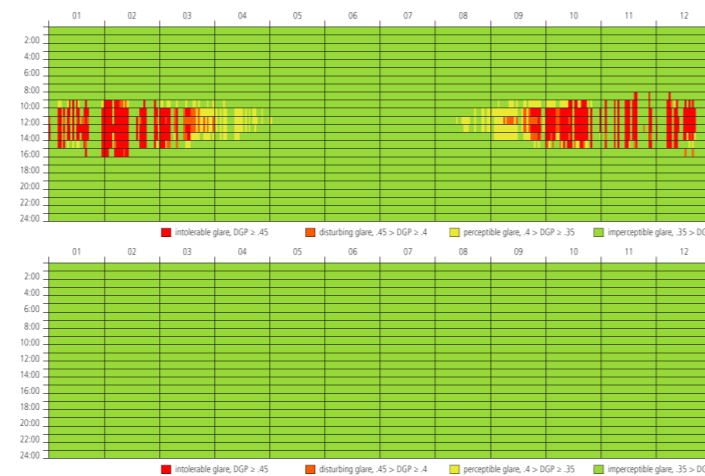
Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 44% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 50% is 0% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 52% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX > 5% is 2% for active occupant behavior

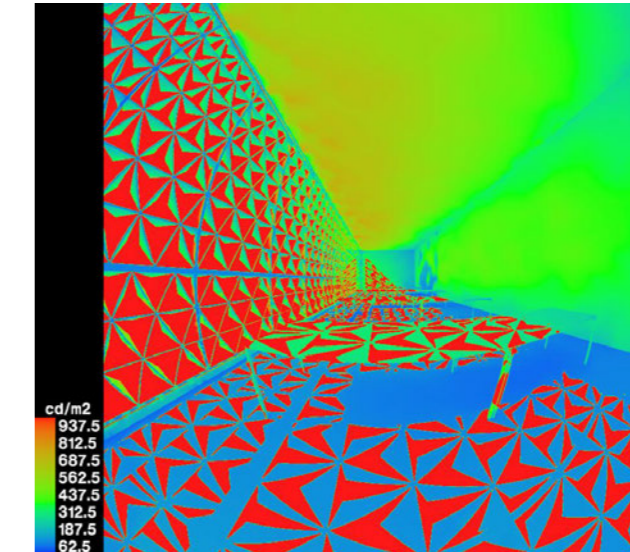
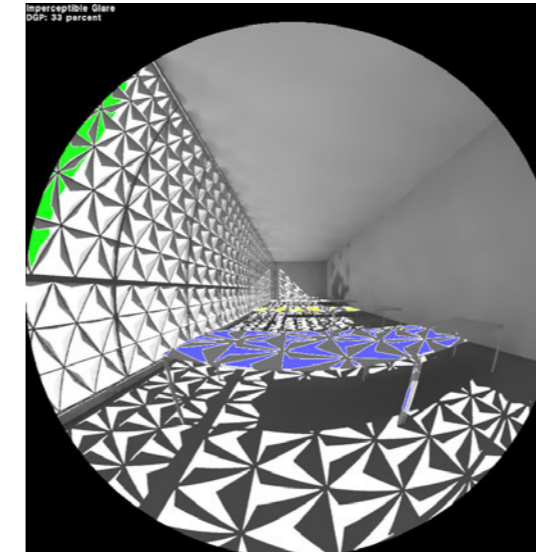
Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI < 100-2000lux larger than 50% is 46% for active occupant behavior.



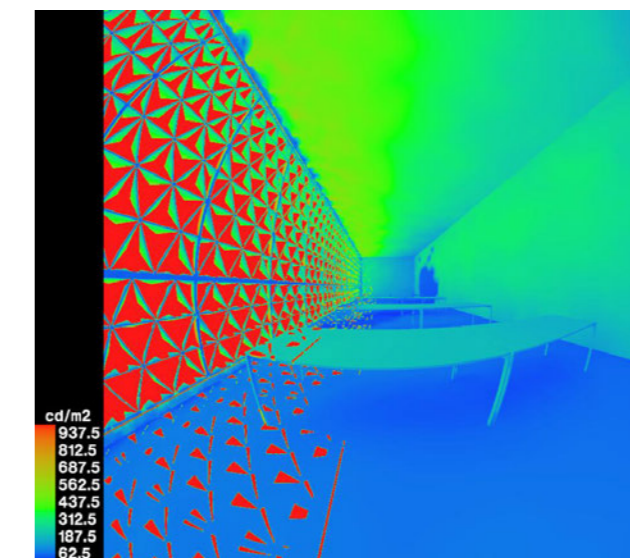
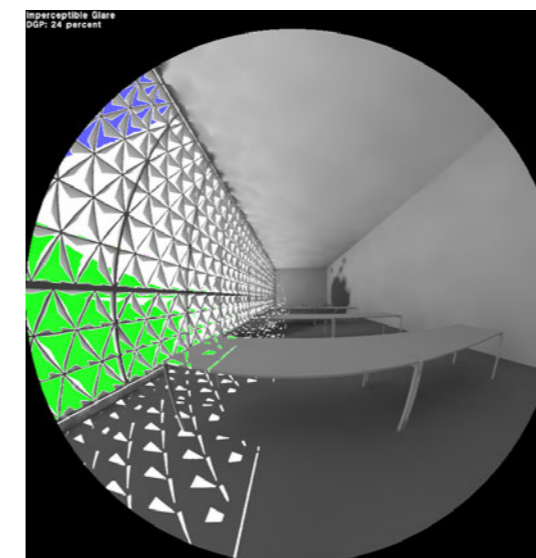
Vista perpendicolare. Valori di abbagliamento annuo, in configurazione aperta, sopra, e chiusa, sotto.



Vista inclinata. Valori di abbagliamento annuo, in configurazione aperta, sopra, e chiusa, sotto.



21 MARZO
Immagine sinistra: Valori di abbagliamento all'interno della stanza DGP = 33%
Immagine destra: Valori di illuminamento all'interno della stanza



21 GIUGNO
Immagine sinistra: Valori di abbagliamento all'interno della stanza DGP = 24%
Immagine destra: Valori di illuminamento all'interno della stanza

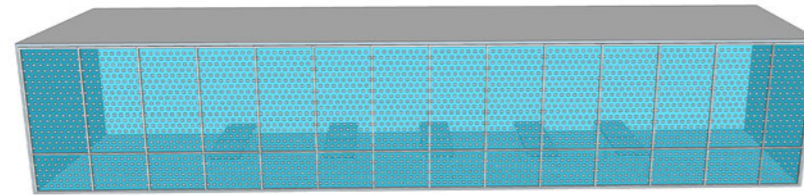
Conclusioni

Il piccolo spessore di questo elemento e le diverse direzioni di apertura dei pannelli, portano ad avere un maggior numero di ore di abbagliamento quando la schermatura è aperta, costringendo la facciata a “chiudersi” per un maggior numero di ore e portando a zero la percentuale di illuminamento di 500Lux.

In questo caso la vista perpendicolare è più sfavorevole rispetto a quella inclinata, visti i risultati ottenuti.

ADAPTIVE FRITTING

Adaptive Fritting ha un rapporto schermante prossimo al 25%, ad elemento aperto. Quando è in configurazione chiusa, questo pannello non oscura totalmente la stanza. È composto da 4 moduli, 3 dei quali si muovono in direzioni diverse per occupare gli spazi vuoti. Le sue dimensioni, riferite all'intero pannello, sono 180 x 220 x 3cm. È un sistema schermante di ridotto spessore rispetto agli altri.



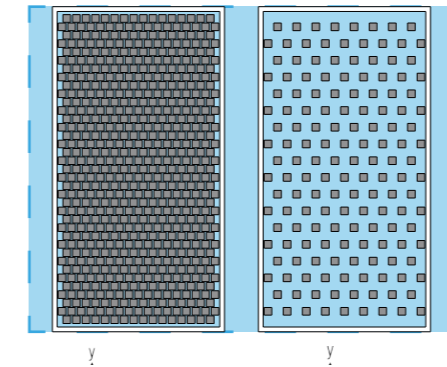
Il risultato delle analisi fornisce, per la vista perpendicolare, i seguenti risultati:

- il valore di illuminamento medio annuo è soddisfatto per il 98% delle ore di simulazione;
- il daylight medio della stanza raggiunge un valore del 10%;
- l'abbagliamento complessivo della facciata per una simulazione dinamica è dello 13.6%;
- le schermature sono aperte per il 41% delle ore.

Per la vista ruotata di 45° est i risultati sono:

- il valore di illuminamento medio annuo è soddisfatto per il 100% delle ore di simulazione;

- il daylight medio della stanza raggiunge un valore del 10%;
- l'abbagliamento complessivo della facciata per una simulazione dinamica è dello 12.1%;
- le schermature sono aperte per il 50% delle ore.



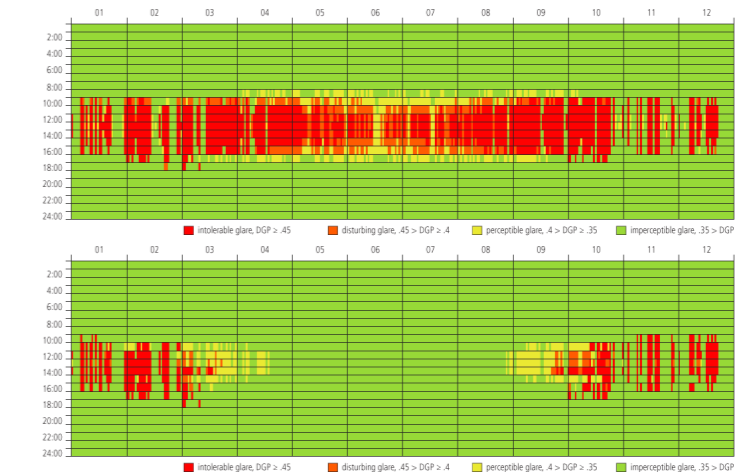
Daysim report vista perpendicolare

Daylight Factor (DF) Analysis: 100% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone should qualify for the LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1 (see www.usgbc.org/LEED/).

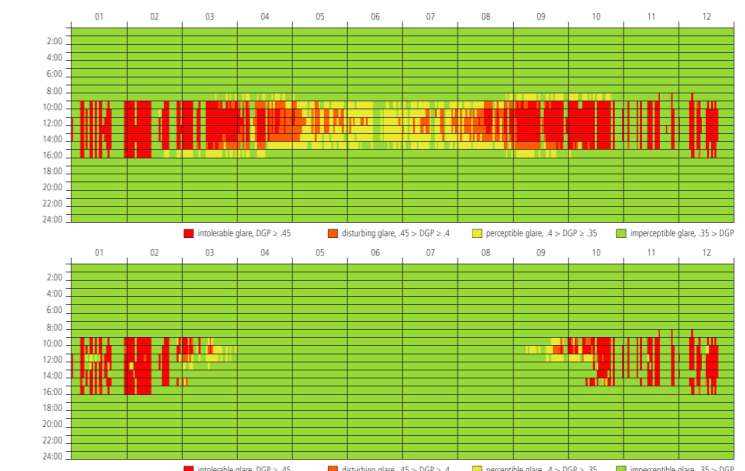
Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 81% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 50% is 98% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 90% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX > 5% is 29% for active occupant behavior

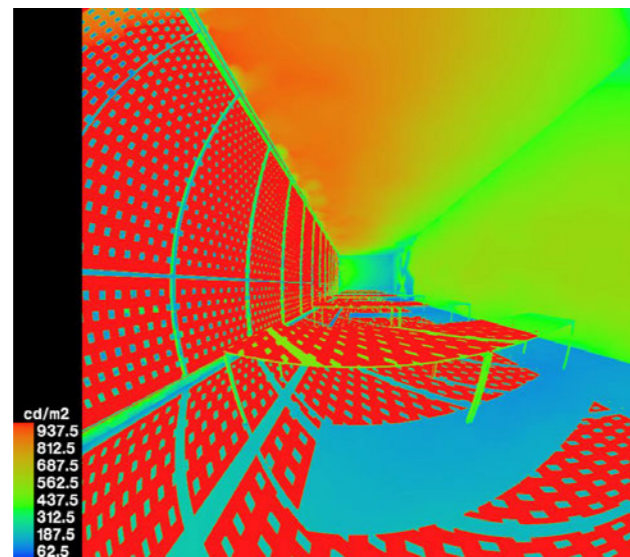
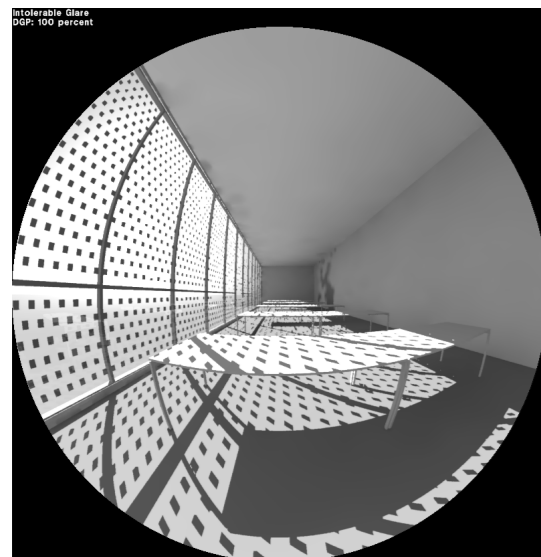
Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI < 100-2000lux larger than 50% is 79% for active occupant behavior.



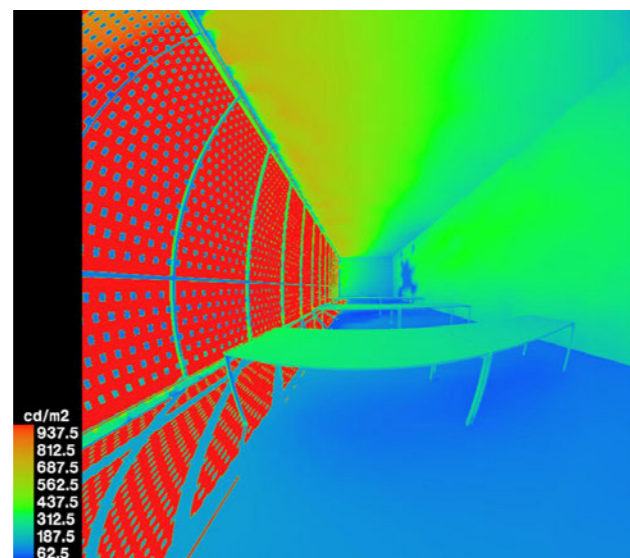
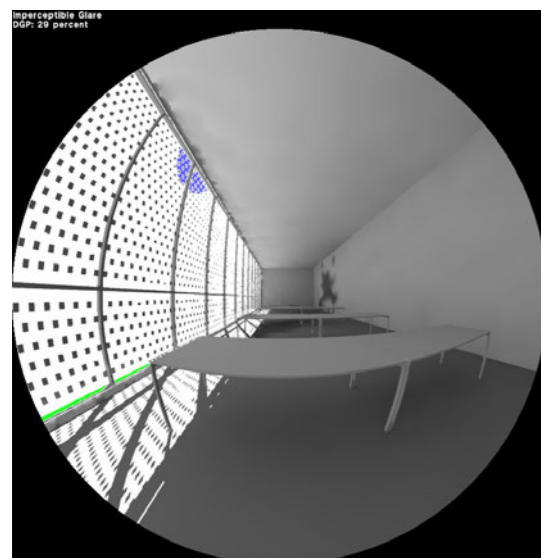
Vista perpendicolare. Valori di abbagliamento annuo, in configurazione aperta, sopra, e chiusa, sotto.



Vista inclinata. Valori di abbagliamento annuo, in configurazione aperta, sopra, e chiusa, sotto.



21 MARZO
 Immagine sinistra: Valori di abbagliamento all'interno della stanza DGP = 100%
 Immagine destra: Valori di illuminamento all'interno della stanza



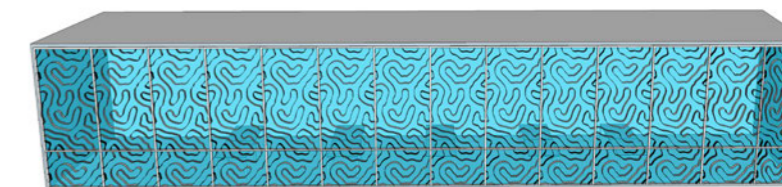
21 GIUGNO
 Immagine sinistra: Valori di abbagliamento all'interno della stanza DGP = 40%
 Immagine destra: Valori di illuminamento all'interno della stanza

Conclusioni

Il basso rapporto di oscuramento, a schermatura aperta, porta ad avere i più alti valori di abbagliamento all'interno della stanza. Questo è dovuto anche alla geometria di questo pannello, che in direzione z è di limitato spessore. I valori ottenuti per quanto riguarda le ore di illuminamento a 500 Lux raggiungono il 98% delle ore di simulazione. Questa soluzione presenta anche il più basso numero di ore di apertura durante l'anno e il valore più alto di abbagliamento in modalità dinamica.

HOMEOSTATIC

Homeostatic ha un rapporto schermante quasi pari allo 0%, ad elemento aperto. Quando è in configurazione chiusa, questo pannello non oscura totalmente la stanza, pur avendo una percentuale schermante maggiore rispetto ad Adaptive Fritting. È composto da una lamina composta da due elementi accoppiati, uno dei quali è in materiale a memoria di forma e può dilatarsi. Le sue dimensioni si riferiscono all'intero pannello e sono 180 x 220 x 15 cm.



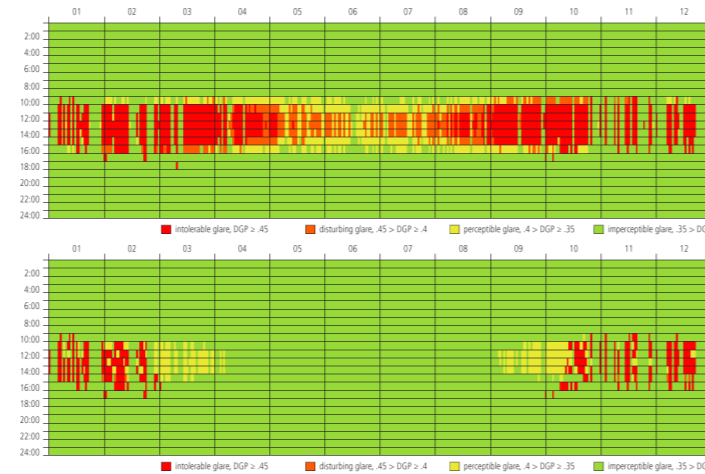
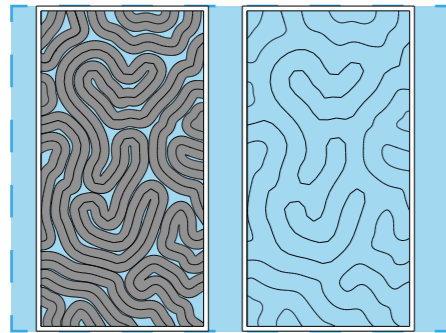
Il risultato delle analisi fornisce, per la vista perpendicolare, i seguenti risultati:

- il valore di illuminamento medio annuo è soddisfatto per il 69% delle ore di simulazione;
- il daylight medio della stanza raggiunge un valore del 6.7%;
- l'abbagliamento complessivo della facciata per una simulazione dinamica è dello 8.7%;
- le schermature sono aperte per il 50% delle ore.

Per la vista ruotata di 45° est i risultati sono:

- il valore di illuminamento medio annuo è soddisfatto per il 86% delle ore di simulazione;

- il daylight medio della stanza raggiunge un valore del 10%;
- l'abbagliamento complessivo della facciata per una simulazione dinamica è dello 13.6%;
- le schermature sono aperte per il 61% delle ore.



Vista perpendicolare. Valori di abbagliamento annuo, in configurazione aperta, sopra, e chiusa, sotto.



Vista inclinata. Valori di abbagliamento annuo, in configurazione aperta, sopra, e chiusa, sotto.

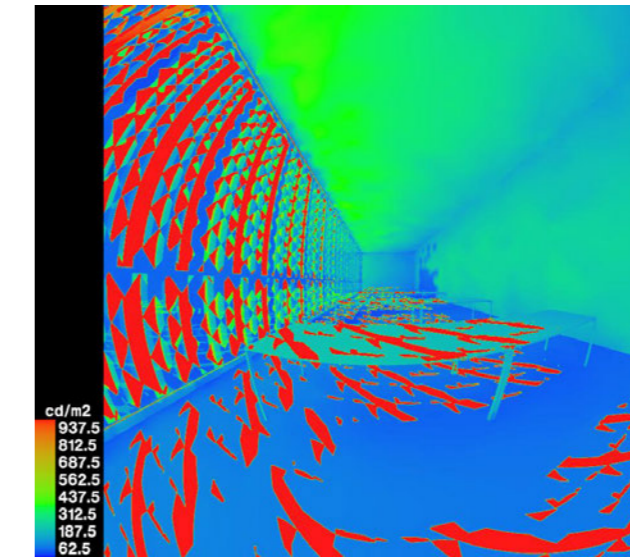
Daysim report vista perpendicolare

Daylight Factor (DF) Analysis: 100% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone should qualify for the LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1 (see www.usgbc.org/LEED/).

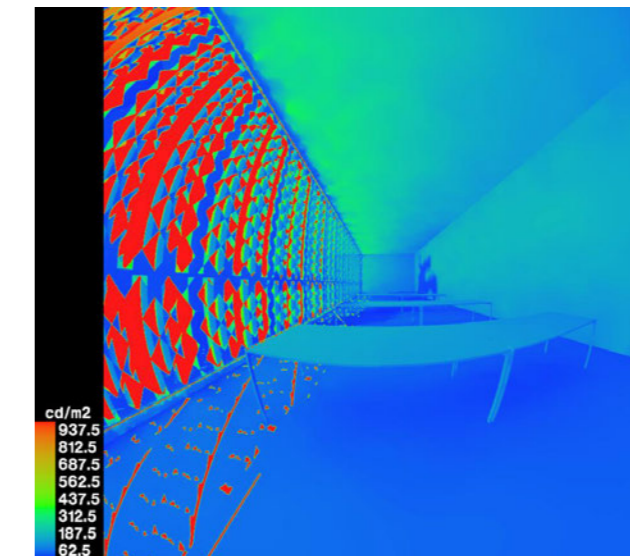
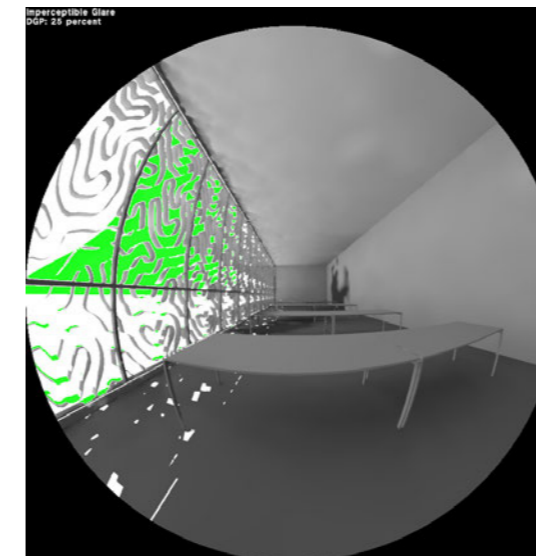
Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 59% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 50% is 69% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 80% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX > 5% is 13% for active occupant behavior

Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI < 100-2000lux larger than 50% is 100% for active occupant behavior.



21 MARZO
Immagine sinistra: Valori di abbagliamento all'interno della stanza DGP = 100%
Immagine destra: Valori di illuminamento all'interno della stanza



21 GIUGNO
Immagine sinistra: Valori di abbagliamento all'interno della stanza DGP = 25%
Immagine destra: Valori di illuminamento all'interno della stanza

Conclusioni

I valori di abbagliamento, per questo tipo di sistema, in modalità fissa aperta, sono molto alti a causa della percentuale di schermatura pari a zero. Avendo però uno spessore di 15cm, nel periodo estivo si ottiene un calo di questi valori. Le ore di apertura di Homeostatic sono pari al 50% delle ore di simulazione ed unitamente alla percentuale di chiusura non del 100% porta a valori significativi di illuminamento annuo.

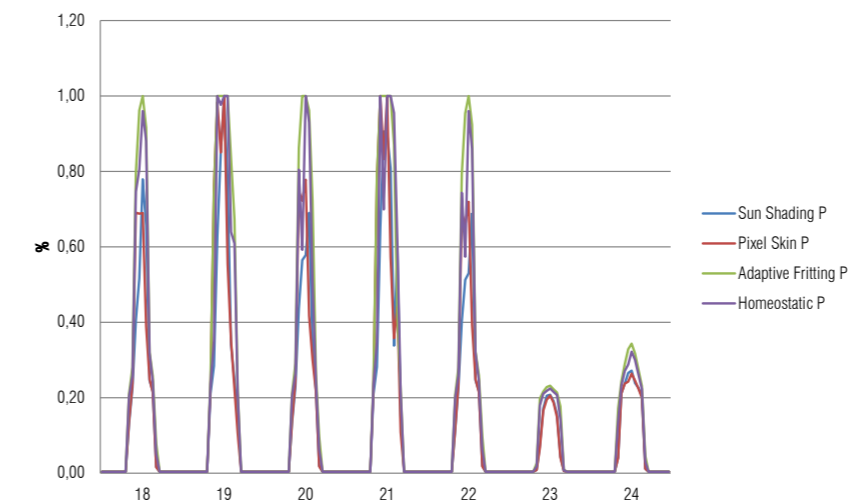
MODELLI A CONFRONTO

Nei seguenti grafici sono riassunte ed evidenziate le caratteristiche dei 4 modelli analizzati. Dalle analisi è risultato che, in tutti i casi, la vista perpendicolare alla facciata è più critica rispetto alla vista inclinata; per tale motivo si è sempre fatto riferimento a quella. I grafici presentano l'andamento dell'abbagliamento per le settimane di solstizi ed equinozi, in condizioni di schermatura aperta e chiusa.

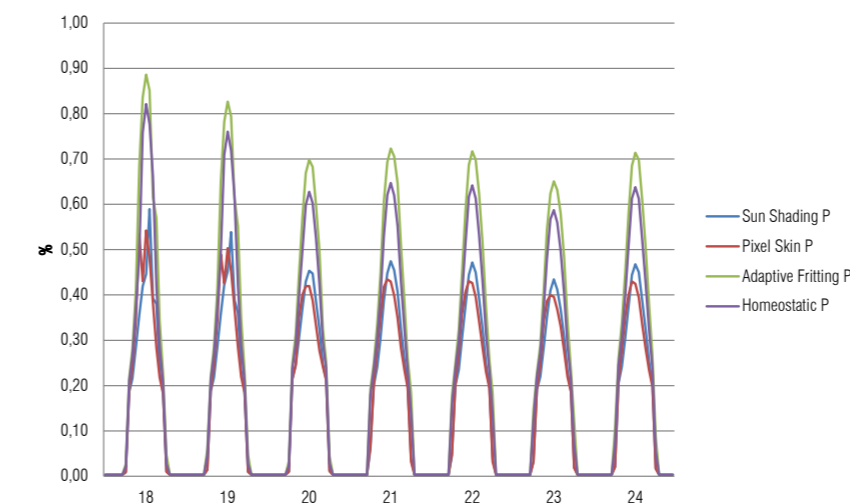
Il confronto tra Sun Shading e Pixel Skin mostra come, sia per la condizione di schermatura aperta sia per la condizione di schermatura mobile, Sun Shading è preferibile a Pixel Skin, in quanto restituisce il maggior numero di ore di apertura. Per quanto riguarda le differenze tra Adaptive Fritting e Homeostatic, le simulazioni a pannello chiuso, mostrano che, nelle stagioni intermedie, Homeostatic ha un abbagliamento di 0.35, valore inferiore alla soglia di intollerabilità ottenuta da Adaptive Fritting. In fase estiva sia Homeostatic sia Adaptive hanno valori inferiori a 0.35: siamo in condizione di non abbagliamento. La fase invernale è critica per tutti e due i modelli, in quanto si ottengono valori superiori a 0.45.

Tali confronti sono dovuti ai risultati ottenuti, ovvero alla particolare conformazione dei picchi nei grafici, che mostrano come Sun Shading abbia valori prossimi a Pixel Skin e come Adaptive Fritting abbia valori prossimi a Homeostatic.

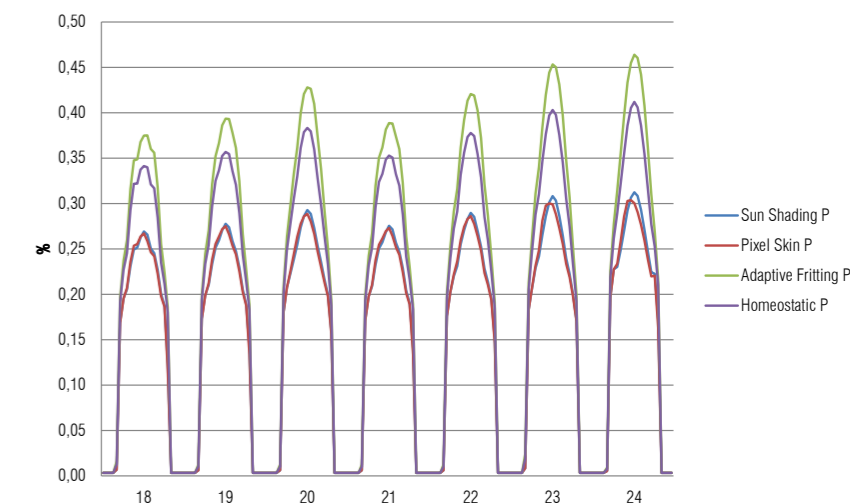
In sintesi, da questa analisi si può dire che Sun Shading è la soluzione ottimale in relazione alla sua geometria e alla sua movimentazione.



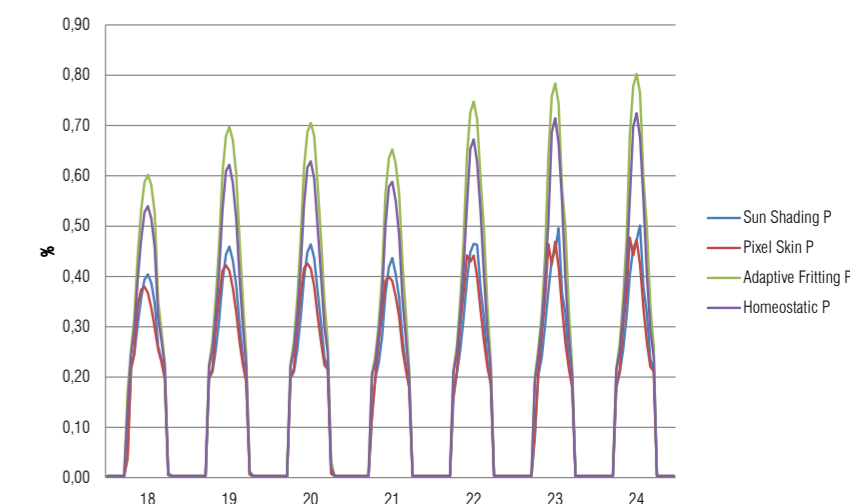
Valori di abbagliamento con schermatura aperta. Settimana critica: Dicembre



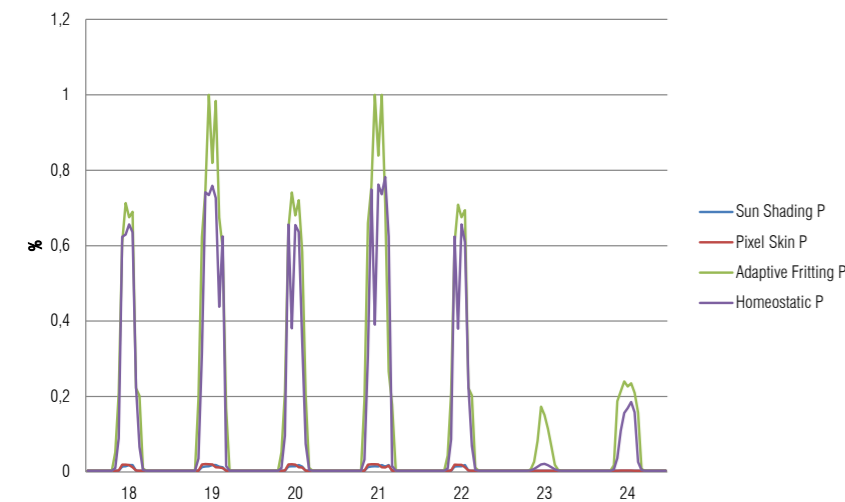
Valori di abbagliamento con schermatura aperta. Settimana critica: Marzo



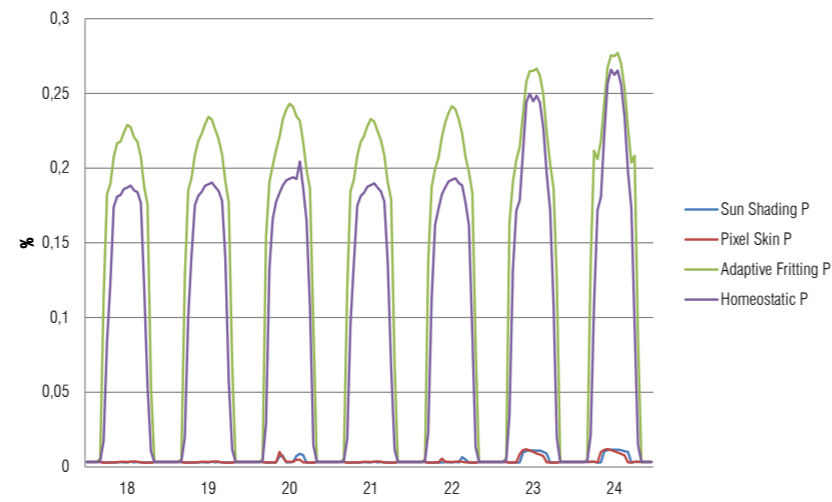
Valori di abbagliamento con schermatura aperta. Settimana critica: Giugno



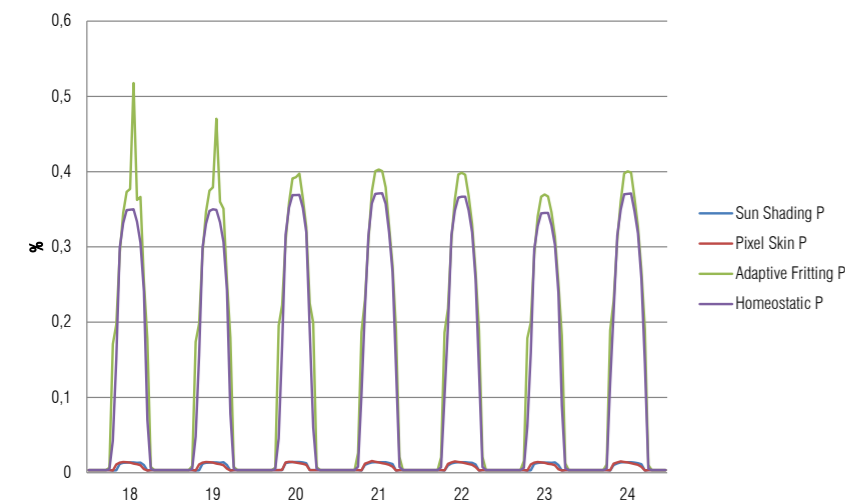
Valori di abbagliamento con schermatura aperta. Settimana critica: Settembre



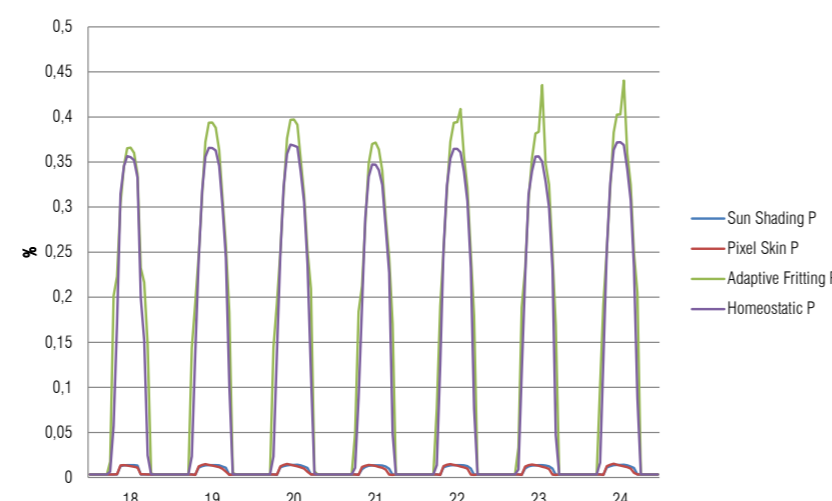
Valori di abbagliamento con schermatura chiusa. Settimana critica: Dicembre



Valori di abbagliamento con schermatura chiusa. Settimana critica: Giugno



Valori di abbagliamento con schermatura chiusa. Settimana critica: Marzo

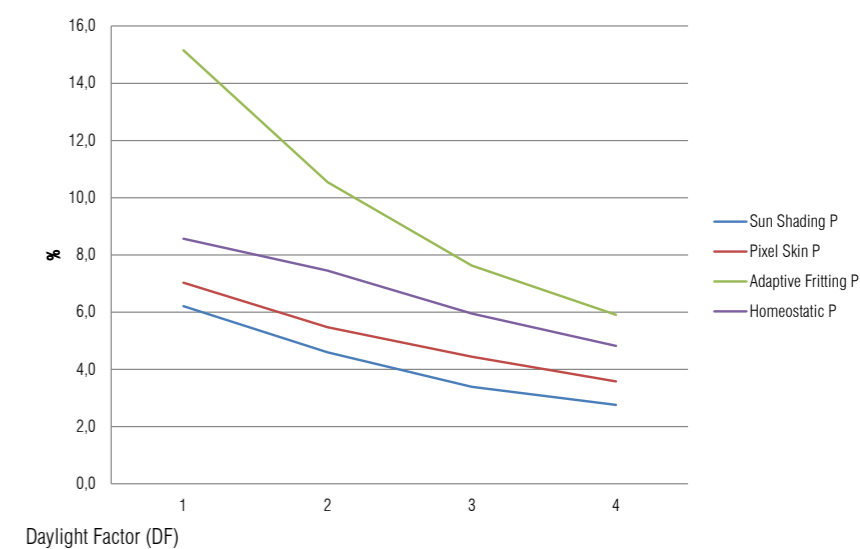


Valori di abbagliamento con schermatura chiusa. Settimana critica: Settembre

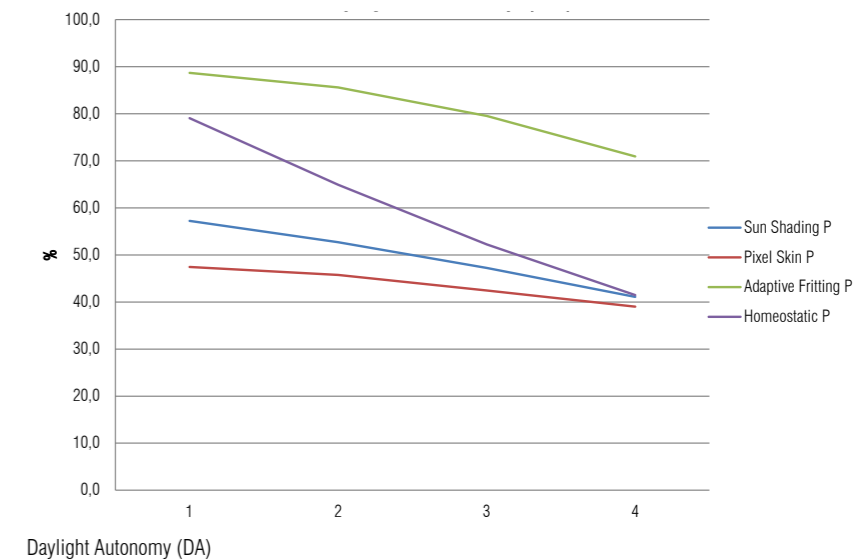
Viene ora riportato il confronto delle prestazioni illuminotecniche dei 4 pannelli, che viene fatto sulla media di tutti i punti appartenenti alla stessa colonna della griglia impostata (il punto 1 è quello più vicino alla vetrata il 4 quello più lontano). Si confrontano i valori di daylight factor, daylight autonomy, useful daylight index <100, useful daylight index 100-2000 e useful daylight index >2000. I risultati, riportati nei grafici seguenti, sono riferiti ad una condizione di schermatura dinamica che tiene sotto controllo l'abbagliamento all'interno dell'ambiente.

Dal confronto delle simulazioni, si evince che tutte le soluzioni soddisfano il minimo DF > 2. Guardando l'autonomia di luce diurna, le soluzioni più favorevoli sono quelle di Homeostatic e Adaptive Fritting, in quanto restituiscono valori pari a 85-95%. Anche i valori di useful <100 Lux sono più favorevoli per Homeostatic e Adaptive Fritting ed sono prossimi al 5%. I valori di daylight 100-2000 Lux, che rappresentano la pozione di intensità di luce utilizzabile, sono, anche in questo caso, migliori per Homeostatic e Adaptive Fritting, ma Adaptive non ha un buon comportamento nelle prime due colonne del grafico: spostandoci sul grafico successivo, useful > 2000 Lux, si legge chiaramente come Adaptive abbia valori molto alti di sovraesposizione in quei punti, mentre le altre tre soluzioni hanno un comportamento (alla sovraesposizione) comparabile.

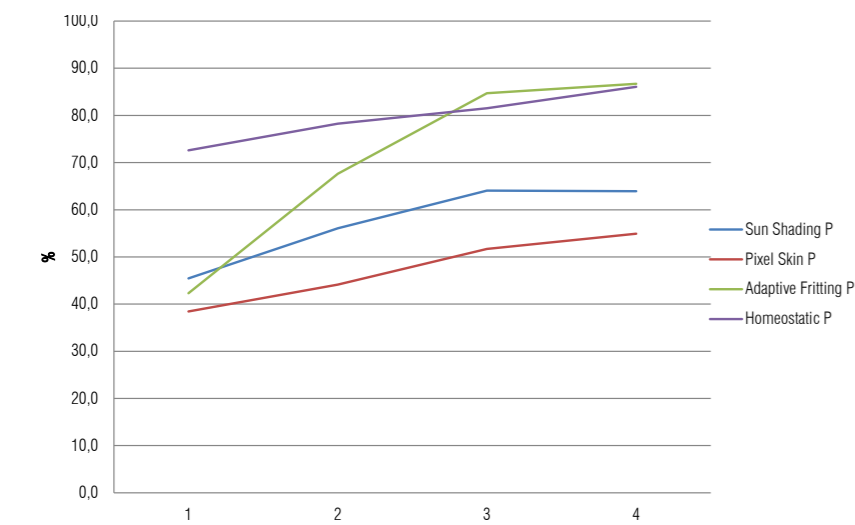
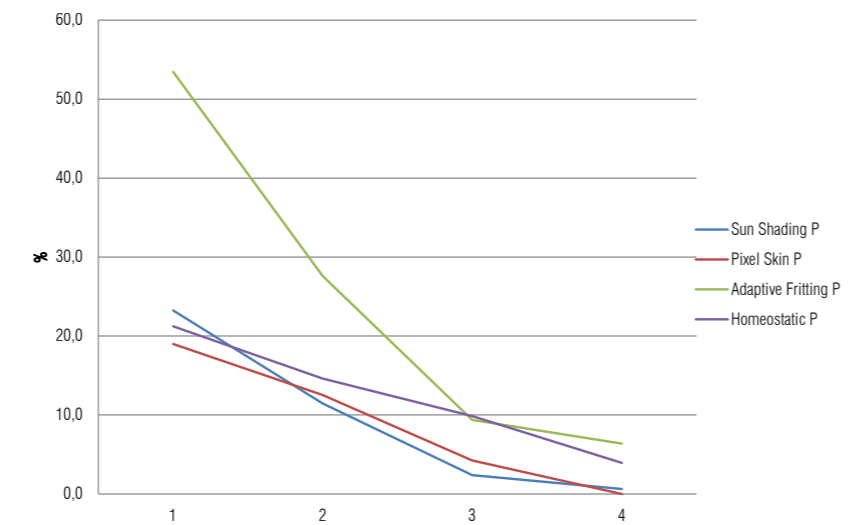
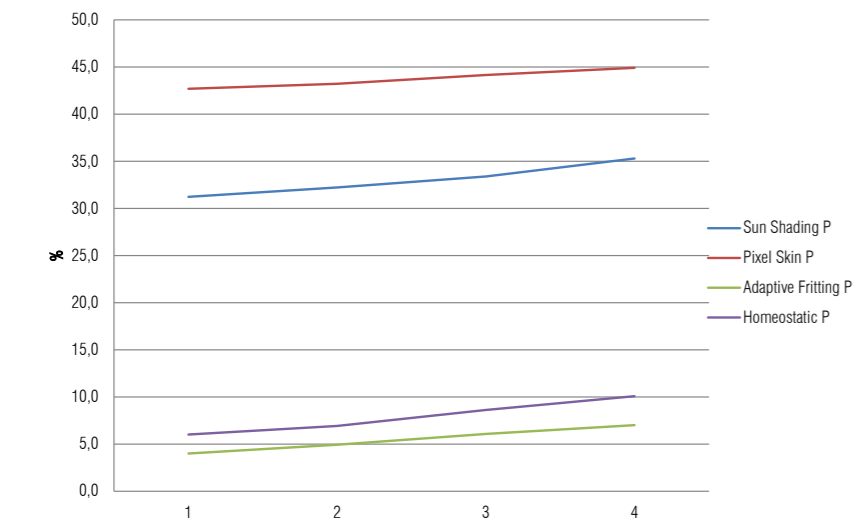
In conclusione, da questa analisi, si può dedurre che Homeostatic è la soluzione ottimale per quanto riguarda le prestazioni illuminotecniche.



Daylight Factor (DF)



Daylight Autonomy (DA)

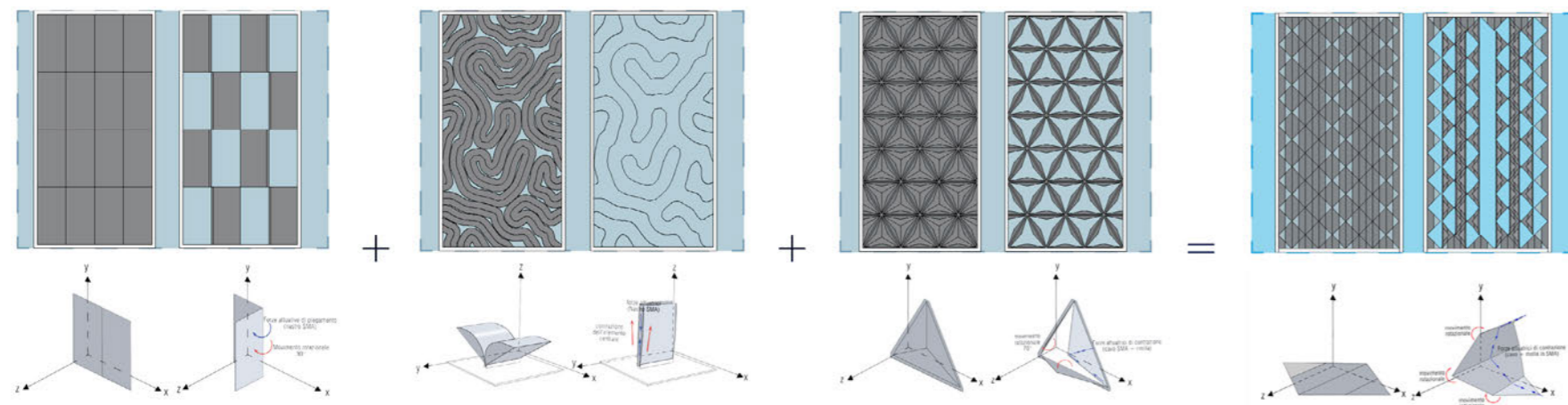


3.7 KINETIC LID



3.7.1 CONCEPT

Come l'occhio umano cerca di adattarsi alle condizioni di luce esterna, variando la dimensione della pupilla e l'apertura delle palpebre, così *Kinetic Lid* è pensato per rispondere alla variazione di luce all'interno di un ambiente. Basandosi su principi di comfort visivo necessari a svolgere normali attività, *Kinetic Lid* ha lo scopo di regolare dinamicamente la quantità di luce in base alla percezione degli utenti all'interno di uno spazio. Concettualmente il sistema si basa sulla stessa risposta dell'occhio umano agli stimoli eccessivi della luce: la reazione spontanea è quella di chiudere gli occhi perché si ha una sensazione di fastidio. Ogni qual volta si ha una condizione di abbagliamento all'interno di un ambiente *Kinetic Lid* risponde chiudendosi, diminuendo la quantità di luce in eccesso.



MIX DELLE GEOMETRIE

Le precedenti analisi ci hanno portato a selezionare alcuni dispositivi per le loro caratteristiche geometriche, per la loro risposta alle condizioni di comfort imposte e per il tipo di movimentazione.

In particolare abbiamo scelto:

- il sistema Sun Shading perché la sua prevalente direzione verticale e la direzione delle lamelle portano, in condizione fissa, valori di abbagliamento molto bassi;
- Il sistema Homeostatic in quanto restituiva un alto livello di autonomia di luce diurna;
- Il sistema Pixel Skin perché ci è sembrato interessante dal punto di vista della movimentazione.

Si è passati successivamente alla definizione del concept, che integrasse i punti di forza dei sistemi di cui sopra.

Nella composizione del pannello ogni elemento è grande 30 x 30 cm, in configurazione aperta è spesso 20 cm. Tutti gli elementi vengono orientati in modo che la loro apertura sia in direzione orizzontale.

Dopo una serie di prove, si è giunti ad un pannello ottimizzato con movimentazione accoppiata ogni due elementi. Ciascun elemento posto nel pannello ha un suo contrapposto che si muove antisimmetricamente rispetto ad esso. Questo ha permesso di ottimizzare l'utilizzo degli attuatori, utilizzandone uno ogni due elementi. Gli elementi sui bordi sono composti dello stesso materiale, ma sono privi di movimentazione.

Il pannello è inserito in una doppia pelle per proteggerlo dagli agenti esterni, evitando problemi di malfunzionamento. La doppia pelle è composta da un doppio vetro nella parte interna ed un vetro singolo nella parte a contatto con l'esterno.

COMPONENTI

Kinetic Lid ha due componenti essenziali che insieme lavorano come un sistema integrato: le molle per la movimentazione in NiTiNol e la geometria pieghevole dell'elemento oscurante.

L'elemento attivo è una molla in lega a memoria di forma (temperatura di attivazione di 80°C c.a), materiale comunemente considerato intelligente per la sua risposta unica alle variazioni di temperatura. Una molla commerciale NiTiNol ha la capacità di sopportare forze fino a 10 N per 20 mm di lunghezza. Questa è collegata ad un cavo metallico che, attraversando una serie di anelli posti su ogni faccia, muove il sistema una volta attivato lo SMA.

DOPPIA MOVIMENTAZIONE

Il movimento di *Kinetic Lid* è di rotazione. Ogni elemento è come un foglio piegato in quattro parti, ognuna delle quali viene fatta ruotare lungo il proprio asse. Questo genera un movimento globale di rotazione che si "trasmette"

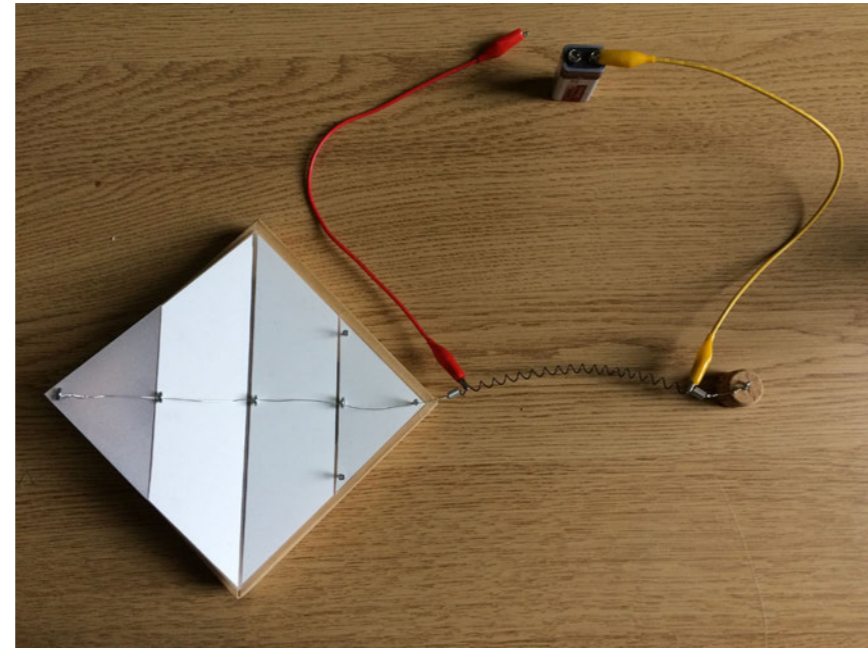
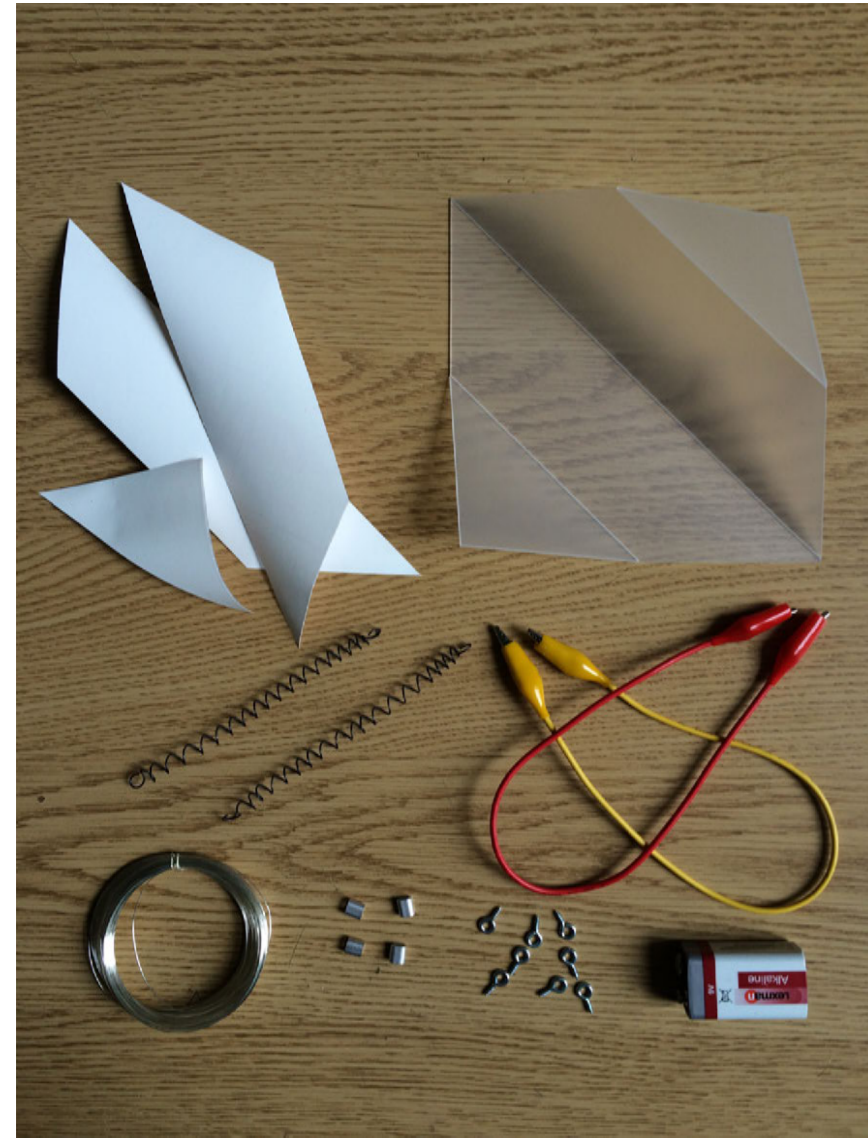
da un elemento all'altro facendo arrotolare la *palpebra*. Una volta attivata, la molla si contrae tirando il cavo posto all'intradosso dell'elemento facendolo aprire.

Si sceglie, rispetto a tutti gli altri sistemi analizzati, di utilizzare un doppio attuatore. Questo permette di avere una movimentazione distinta e controllabile di apertura e chiusura di ogni elemento. La scelta è stata dettata dal fatto che ogni elemento per poter funzionare ha bisogno di un input e si rischierebbe di lasciare "al caso" una delle due fasi della movimentazione.

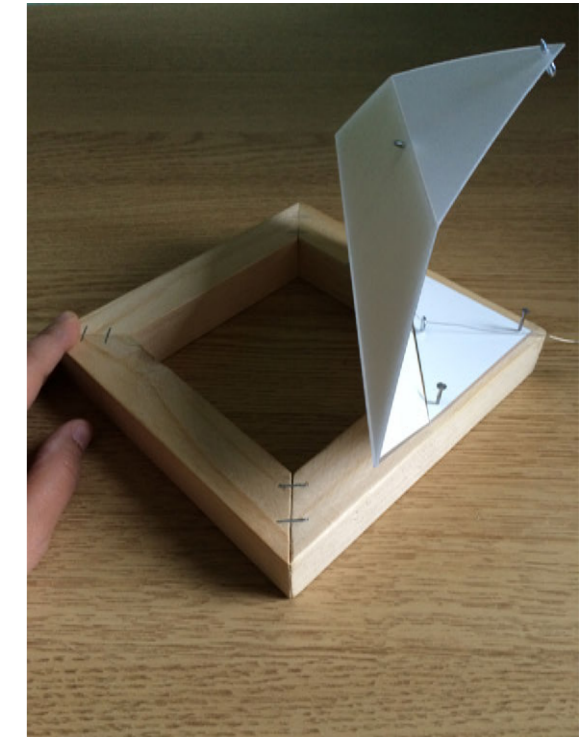
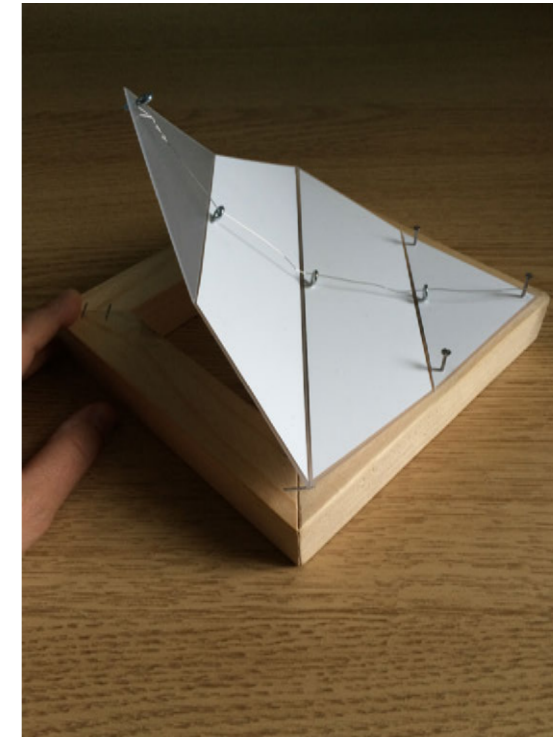
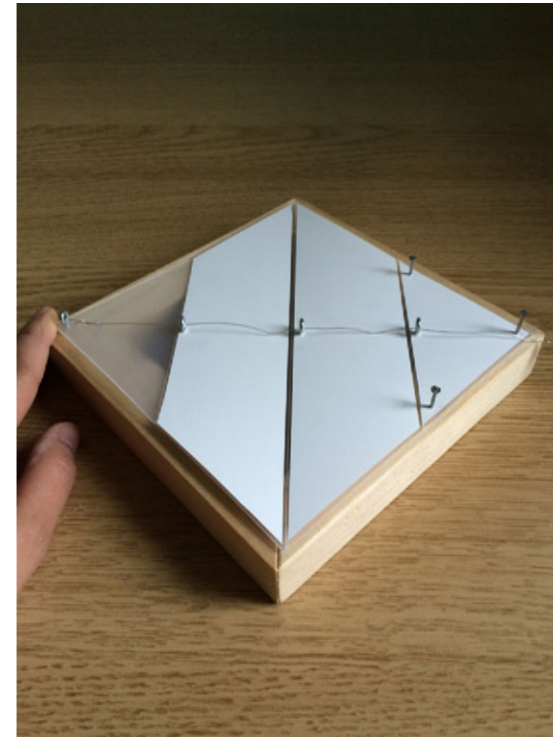
ATTIVAZIONE

Ogni sistema, per quanto dinamico ed intelligente sia, ha comunque bisogno di un controllo umano e quindi di poter essere movimentato manualmente da parte di un utente. Ogni utente percepisce in modo differente l'ambiente in cui è e deve poter avere la possibilità di scegliere se aprire o chiudere la schermatura.

Tali considerazioni hanno portato alla scelta, per *Kinetic Lid*, di un'attivazione di tipo elettrico. Utilizzando la molla in SMA come una resistenza e facendovi passare corrente a basso voltaggio (c.a. 9 V) si è in grado di portarla alla temperatura di attivazione.



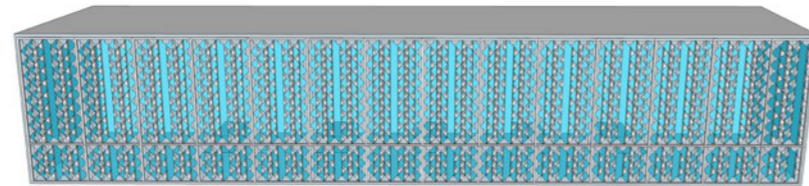
- MATERIALI NECESSARI PER IL MODELLINO
- foglio di polipropilene, sp. 1 mm;
 - carta plastificata adesiva di colore bianco;
 - 2 molle in NiTinol;
 - cavo in acciaio;
 - ganci;
 - pila 9 V;
 - morsetti.





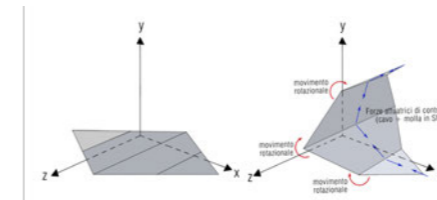
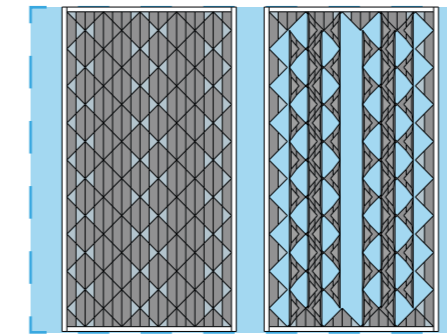
3.7.2 ANALISI DEL MODELLO

Le simulazioni illuminotecniche si avvalgono delle stesse ipotesi adottate per i modelli precedenti. Per questo tipo di pannello si fa una prima simulazione senza gli elementi traslucidi, di cui sono stati esaminati i valori di abbagliamento. La seconda simulazione verte sulla definizione dell'elemento traslucido. Si è scelto un pannello in polipropilene con trasmissione luminosa del 30%. Tale scelta nasce dall'idea che, quando il pannello è completamente chiuso, ci sia ugualmente una porzione di luce diffusa all'interno della stanza. Con questo tipo di soluzione si portano praticamente a zero i valori di abbagliamento all'interno della stanza.



Il risultato delle analisi fornisce, per la vista perpendicolare, i seguenti risultati:

- il valore di illuminamento medio annuo è soddisfatto per il 77% delle ore di simulazione;
- il daylight medio della stanza raggiunge un valore del 4.7%;
- l'abbagliamento complessivo della facciata per una simulazione dinamica è dello 6.5%;
- le schermature sono aperte per il 72% delle ore.



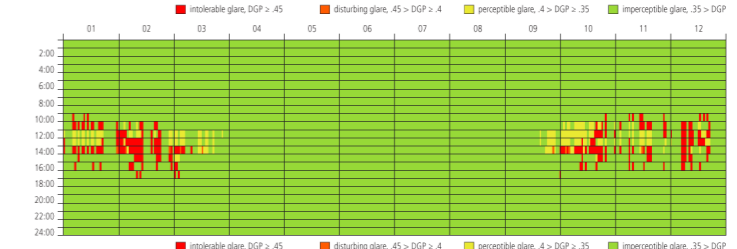
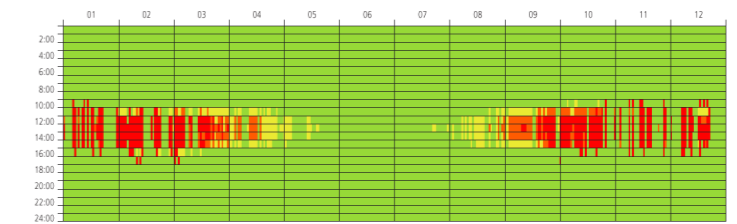
Daysim report vista perpendicolare

Daylight Factor (DF) Analysis: 100% of all illuminance sensors have a daylight factor of 2% or higher. Assuming that the sensors are evenly distributed across 'all spaces occupied for critical visual tasks', the investigated lighting zone should qualify for the LEED-NC 2.1 daylighting credit 8.1 (see www.usgbc.org/LEED/).

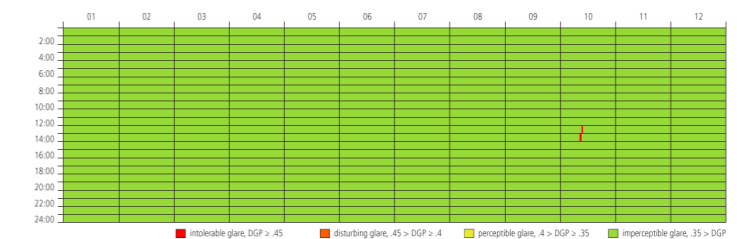
Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean daylight autonomy is 61% for active occupant behavior. The percentage of the space with a daylight autonomy larger than 50% is 77% for active occupant behavior.

Continuous Daylight Autonomy (DA) Analysis: The mean continuous daylight autonomy is 80% for active occupant behavior. The percentage of sensors with a DA_MAX > 5% is 25% for active occupant behavior.

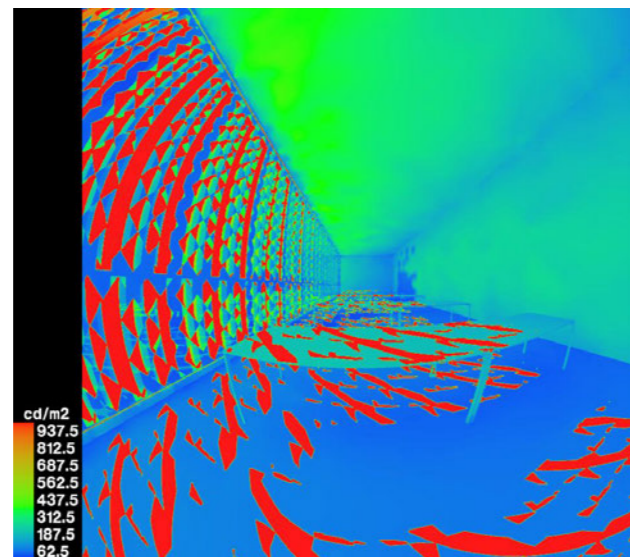
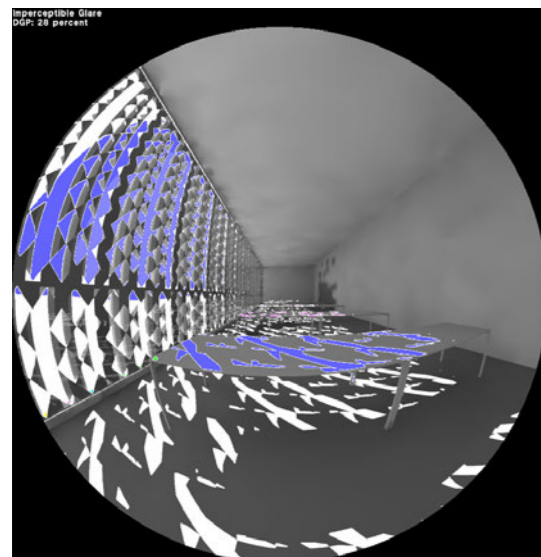
Useful Daylight Illuminance (UDI): The percentage of the space with a UDI < 100-2000lux larger than 50% is 100% for active occupant behavior.



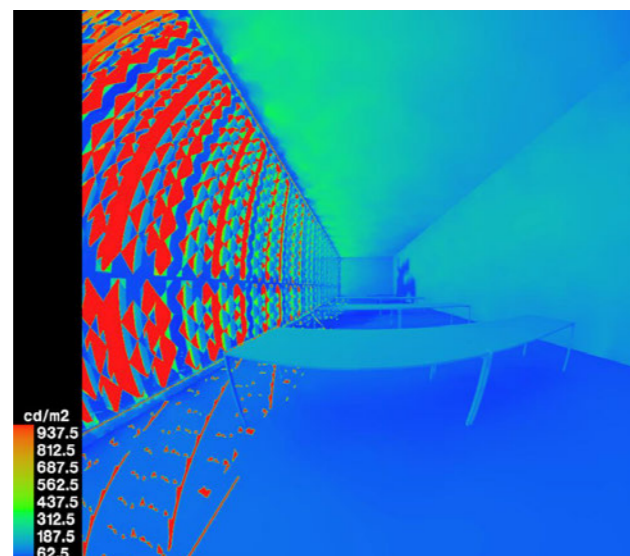
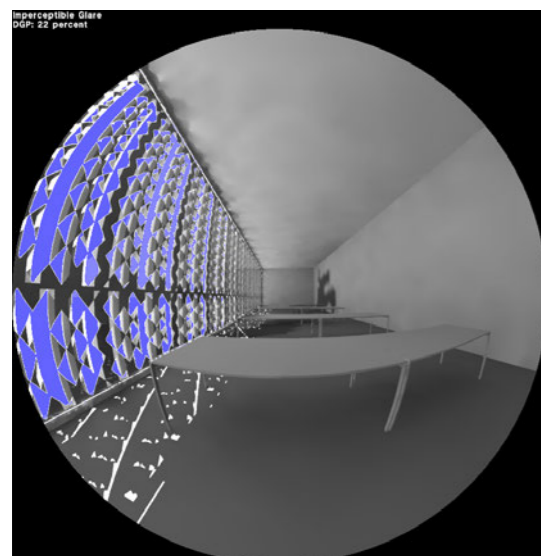
Vista perpendicolare. Valori di abbagliamento annuo, in configurazione aperta, sopra, e chiusa, sotto, senza l'inserimento dell'elemento traslucido



Vista perpendicolare. Valori di abbagliamento annuo, in configurazione chiusa con inserimento dell'elemento traslucido



21 MARZO
 Immagine sinistra: Valori di abbagliamento all'interno della stanza DGP = 28%
 Immagine destra: Valori di illuminamento all'interno della stanza



21 GIUGNO
 Immagine sinistra: Valori di abbagliamento all'interno della stanza DGP = 22%
 Immagine destra: Valori di illuminamento all'interno della stanza

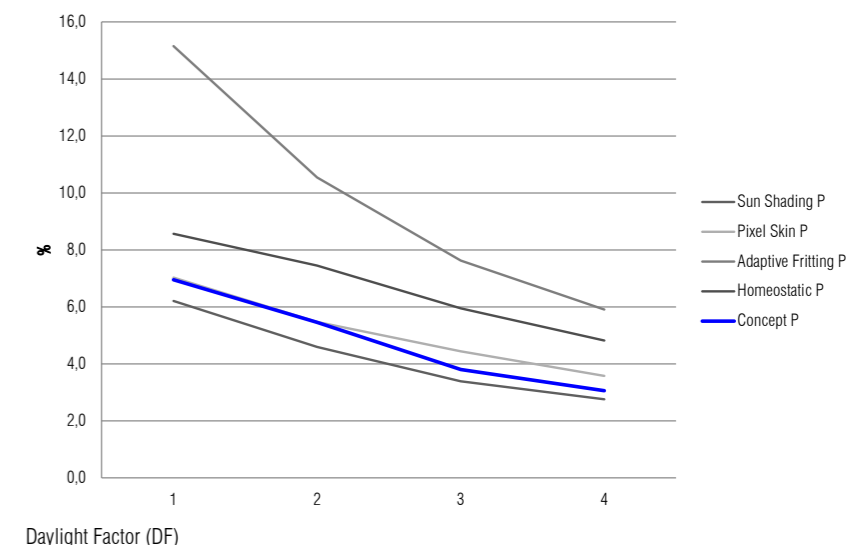
Ne risulta che, rispetto a tutte le soluzioni precedenti il pannello ha una percentuale di ore di apertura molto alto, con un valore prossimo a quello di Sun Shading (74%). Per quanto riguarda le ore di abbagliamento, premesso che i risultati si riferiscono alla soluzione senza elementi traslucidi, si è ottenuto un valore inferiore a Homenostic (8.7%), pari a circa 6,5%.

Ultima comparazione che si può fare in questa parte di analisi è rispetto alla percentuale ore per cui è soddisfatto il valore di illuminazione. Si raggiunge un valore di 77%.

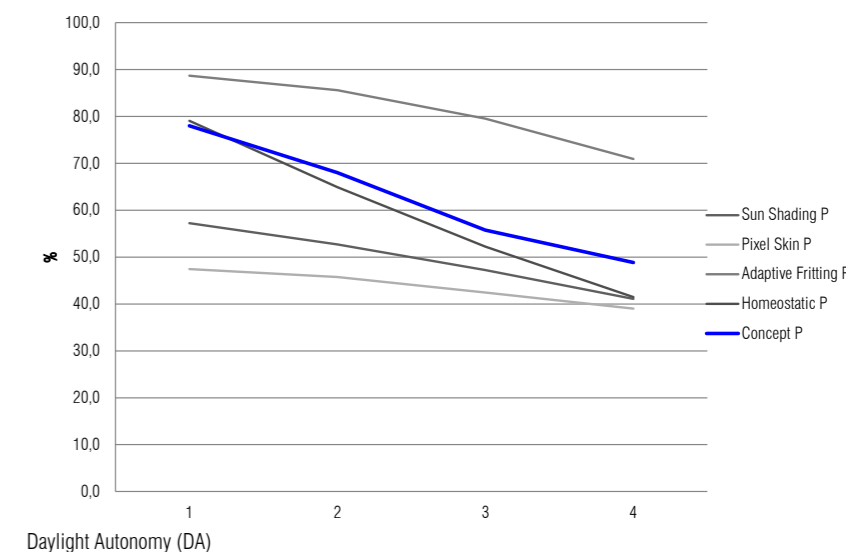
Sono ora riportati i grafici di daylight factor, daylight autonomy, useful daylight index <100, useful daylight index 100-2000 e useful daylight index >2000, in cui è illustrata la comparazione con le 4 soluzioni inizialmente analizzate. Queste simulazioni sono state eseguite con il pannello completo di parte opaca e di porzione traslucida.

Si può notare che anche la soluzione proposta rispetta i valori di DF > 2. Per quanto riguarda l'autonomia di luce diurna, i valori ottenuti sono maggiori di Sun Shading e Homeostatic, i due modelli con le migliori prestazioni tra i 4 analizzati. Per quanto riguarda i valori di illuminamento, per valori inferiori a 100 Lux si ottiene una bassa percentuale, per valori di illuminamento compresi tra 100-2000 Lux la soluzione è paragonabile alla soluzione migliore (Homeostatic), mentre per valori di illuminamento >2500 Lux si riportano valori comparabili con tutte le soluzioni.

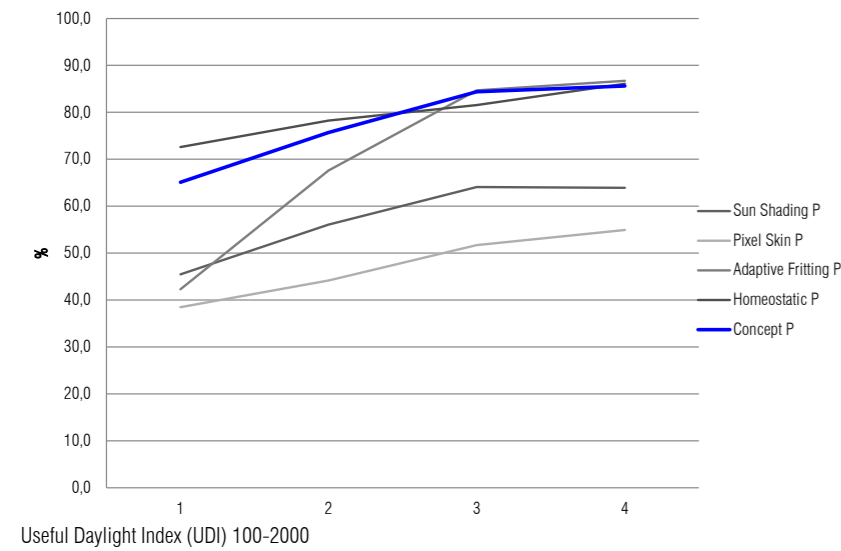
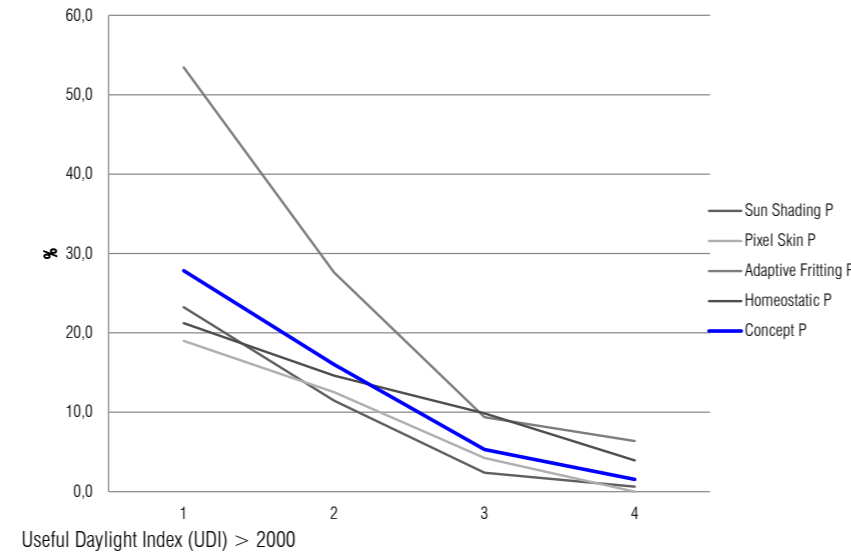
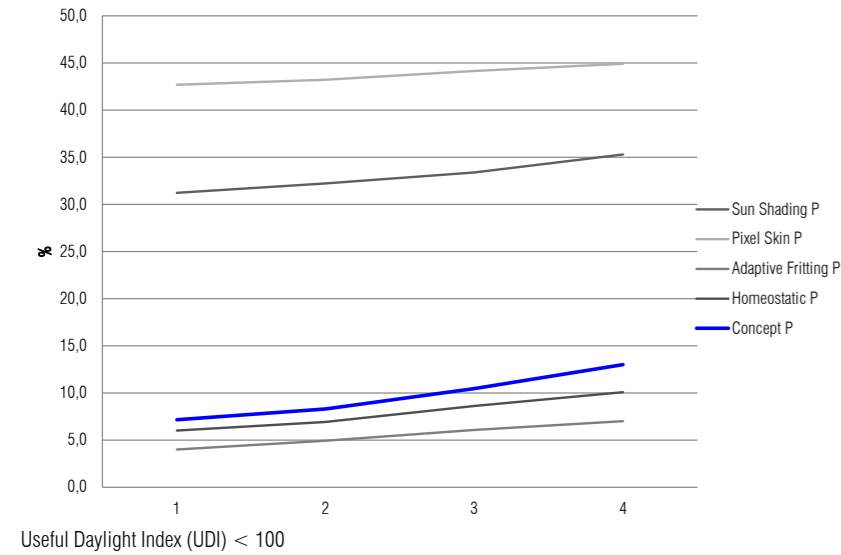
Possiamo concludere che il modello proposto ha il comportamento auspicato, prendendo le caratteristiche geometriche migliori del modello Sun Shading, le migliori prestazioni illuminotecniche di Homeostatic. Il tipo di attuazione di Pixel Skin è invece ripreso da Pixel Skin.



Daylight Factor (DF)



Daylight Autonomy (DA)

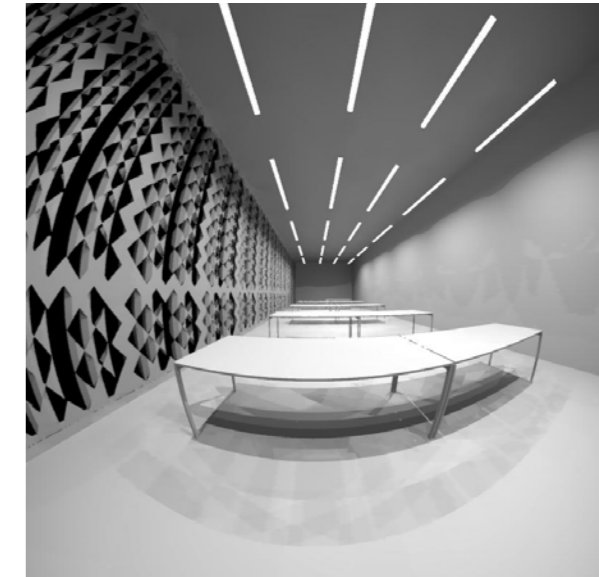
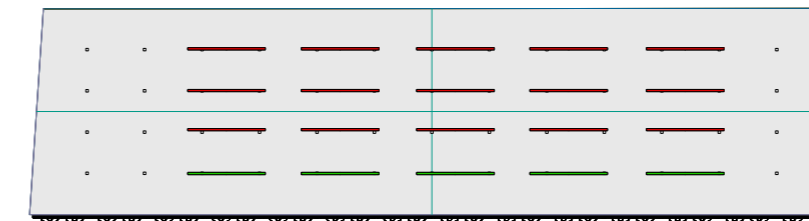


3.7.3 LUCE ARTIFICIALE

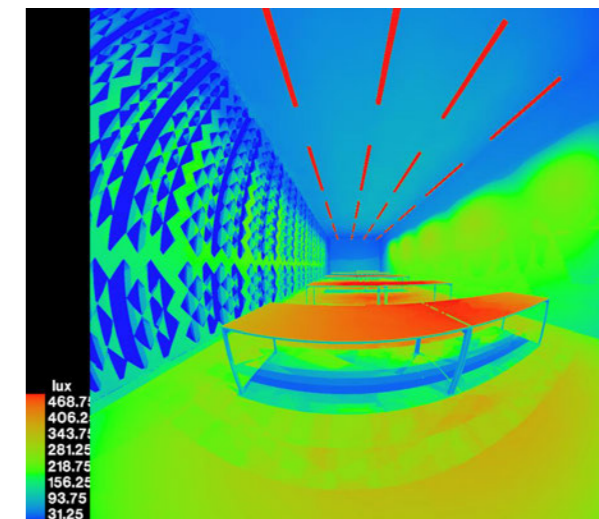
Successivamente è stata definita la quota parte di luce artificiale necessaria all'interno della stanza. Lo scopo è stato quello di quantificare le ore di accensione delle luci, definire le fasce mensili di accensione, e valutare qualitativamente i consumi. Viene fatto un confronto tra un sistema di schermatura fissa ed un sistema di schermatura dinamica.

Si dispone una griglia di luci 5 x 4 all'interno della stanza controllata dinamicamente con fotosensori. Nel momento in cui un punto della griglia non soddisfa il valore di illuminamento di 500 Lux, la luce si accende. La fascia di luci più vicina alla vetrata viene separata dalle altre: essendo in prossimità della vetrata le ore di luce a disposizione, rispetto agli altri punti della stanza, sono maggiori.

I dispositivi impiegati sono lampade da 39 W della Zumtobel.



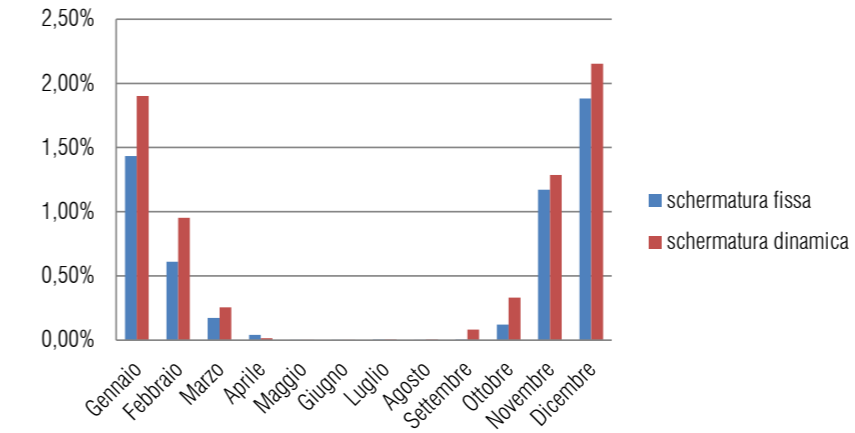
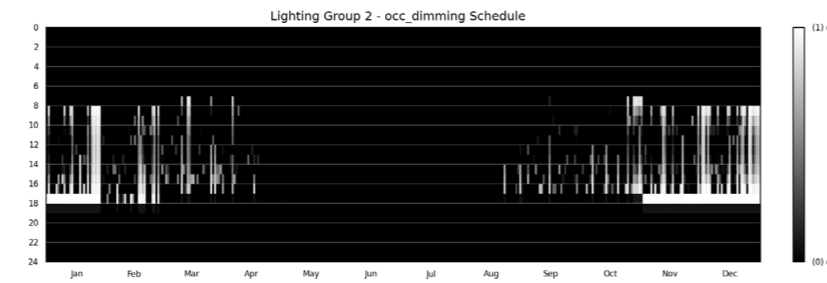
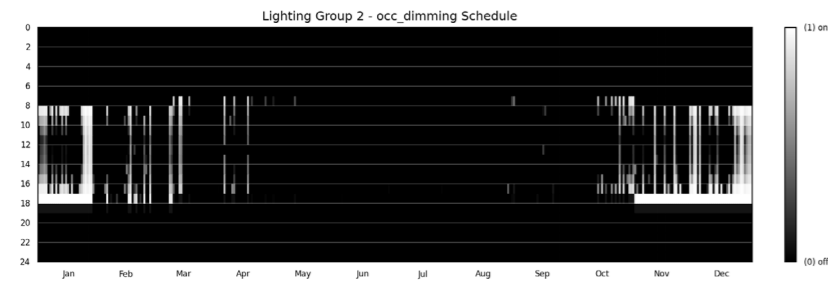
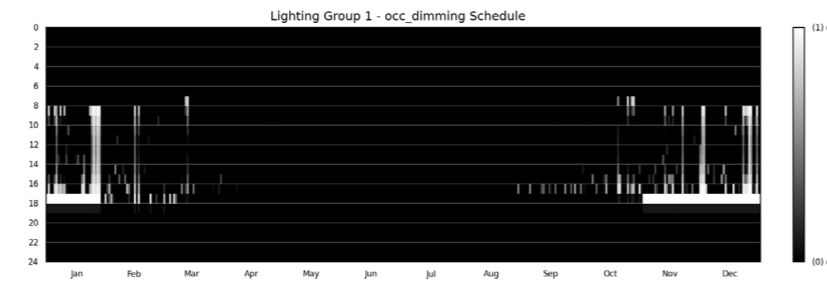
Diposizione degli apparecchi illuminanti all'interno



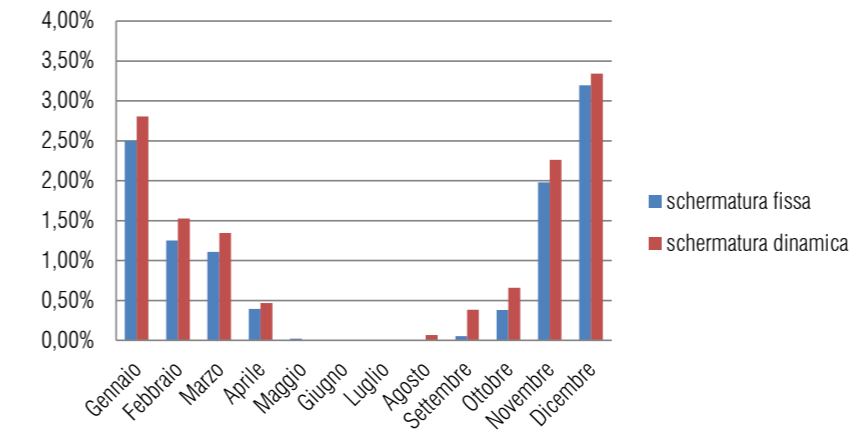
Valori di illuminazione all'interno della stanza

Per la schermatura fissa si ottiene che le ore di accensione annue, rispetto alle 3600 ore simulate, sono il 6% delle ore per la porzione di luci vicino alla vetrata e il 12% per la porzione di luci restanti.

Per la schermatura dinamica si ottiene che le ore di accensione annue, rispetto alle 3600 ore simulate, sono il 7,5% delle ore per la porzione di luci vicino alla vetrata e il 13,2% per la porzione di luci restanti.



Percentuale di illuminazione artificiale fascia 1



Percentuale di illuminazione fasce 2, 3, 4

Per una schermatura di tipo dinamico, come ci si aspettava, le ore di illuminazione artificiale sono maggiori. Si noti che le ore per cui si necessita di luce artificiale sono quelle dei mesi che vanno da Settembre ad Aprile; per i restanti mesi l'illuminamento è soddisfatto dalla luce naturale. Le "schedule" di illuminamento mensile, che indicano le ore di accensione degli apparecchi illuminanti, verranno utilizzate in seguito, nel capitolo di comfort termico, in cui è stato valutato il consumo annuo di energia.

3.7.4 COMPORTAMENTO TERMICO NELLA DOUBLE-SKIN

Al fine di determinare il comportamento della schermatura all'interno della double-skin, si è fatto ricorso al programma di simulazione Trnsys 17, che permette di effettuare analisi in regime dinamico. L'obiettivo è quello di trovare la giusta configurazione della camera in cui è alloggiato il pannello, in modo da garantire il corretto processo di attivazione del materiale. La soglia di attivazione del SMA è di 80 °C, per cui è stato impostato un valore di temperatura massima che deve essere necessariamente al di sotto di questo valore. Inoltre, si deve garantire una temperatura dell'aria, all'interno della camera, paragonabile a quella esterna (valutabili come temperature superficiali).

La double-skin, come già detto precedentemente, è composta da un doppio vetro in adiacenza con la stanza ed un vetro singolo rivolto all'esterno; la sua ampiezza è di 20cm. I parametri che sono stati variati e confrontati sono:

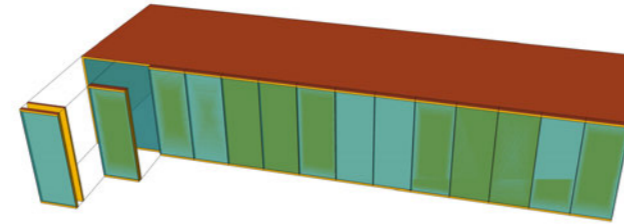
- le caratteristiche del vetro singolo a protezione del pannello;
- la variazione di ventilazione all'interno della camera.

Il modello costruito per queste valutazioni è composto da due zone termiche:

- la camera, che riprende da quella precedentemente analizzata le caratteristiche geometriche (20 x 4 x 6 m) e i materiali;
- la double-skin, che viene disegnata come un elemento a doppia faccia vetrata, al cui interno viene posto il pannello, adiacente alla porzione vetrata di dimensioni 1.8 x 3.5 x 0.2 m.

Per una corretta analisi sono stati definiti:

- materiali e relativa riflettanza;
- il valore di trasmittanza del vetro adiacente tra stanza e double-skin ($U=1.4W/mqK$)
- guadagni interni: persone (numero*130W/P*schedule degli occu-



panti); luci(15W/mq*schedule luci) con set point di 500 Lux; attrezzature (10W/mq*schedule impianti); infiltrazioni (0.3 volumi ora); ricambi d'aria (0.5vol/h).

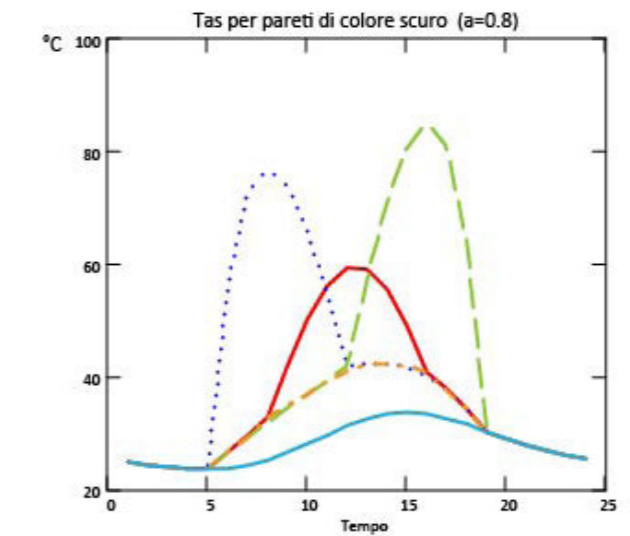
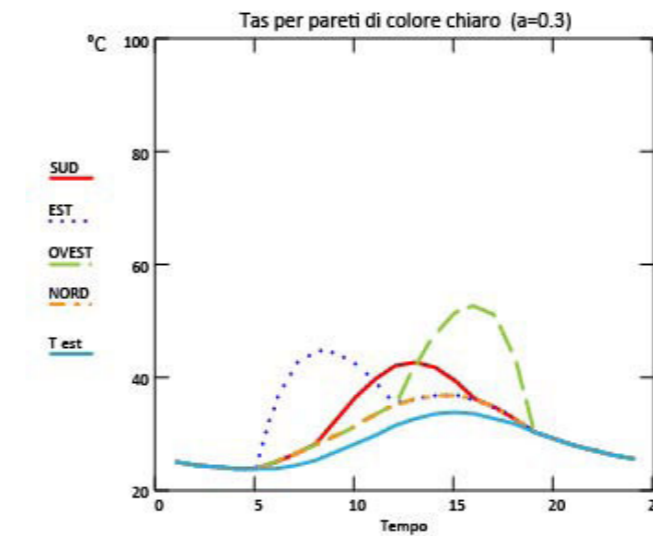
- settaggio termico degli impianti per il periodo invernale ed estivo (raffrescamento 26°, riscaldamento 20°)

Viene sotto riportata la tabella con le schedule per il calcolo dei guadagni interni.

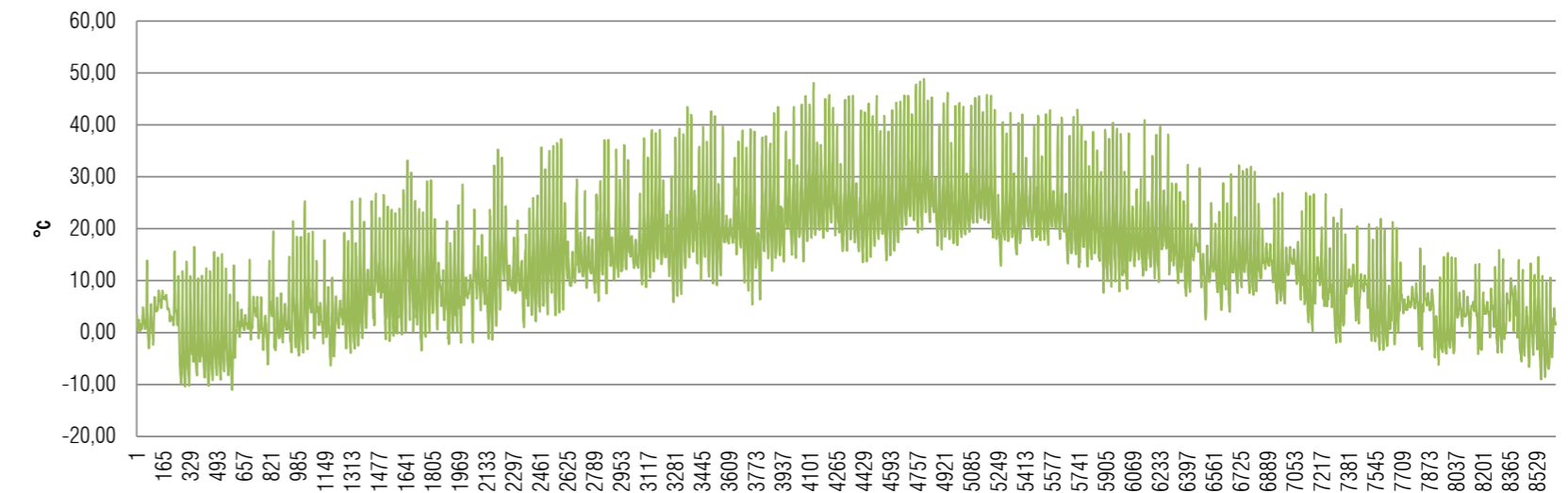
| | Dalle 0:00 alle 07:00 | Dalle 07:00 alle 09:00 | Dalle 09:00 alle 18:00 | Dalle 18:00 alle 21:00 | Dalle 21:00 alle 24:00 |
|-----------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Persone | 0% | 21% | 100% | 70% | 0% |
| Macchine e Luci | 10% | 50% | 100% | 100% | 10% |

Nell'analisi illuminotecnica si è fatto riferimento ai due orientamenti della facciata: sud e ovest. Per definire quello più critico, per quanto riguarda la valutazione delle temperature superficiali, si fa riferimento alle temperature aria-sole, per entrambi gli orientamenti.

Si evince dal grafico che l'esposizione più critica è quella ad ovest, per cui si utilizza quella per tutte le analisi riguardanti le temperature.



Temperature aria-sole riferite al giorno più critico in relazione al colore delle pareti e all'orientamento.

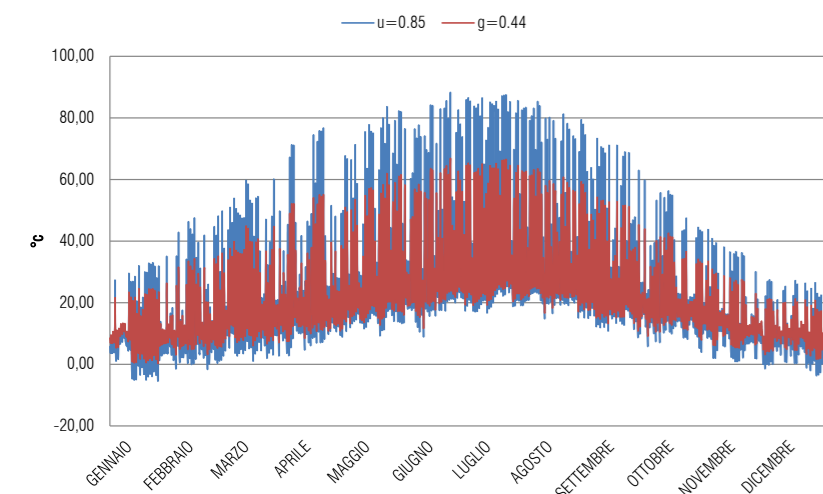


Valori della temperatura superficiale, opotizzando il pannello posto all'esterno (no vetro singolo). Riflettanza del pannello considerata pari a 0.3.

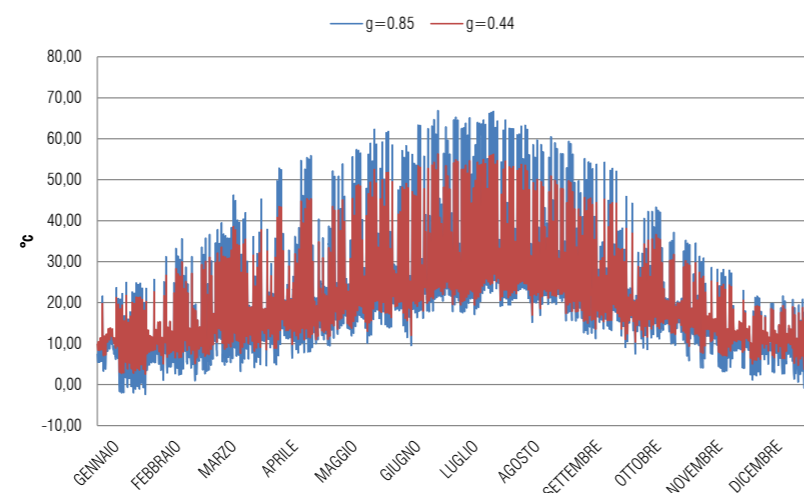
CARATTERISTICHE DEL VETRO

Queste simulazioni sono state condotte confrontando caratteristiche diverse per il vetro singolo. Più precisamente si mettono a confronto: un vetro singolo con $U=4.4\text{W/m}^2\text{K}$ e $g=0.85$ ed un vetro singolo selettivo con $U=3.4\text{W/m}^2\text{K}$ e $g=0.44$. La camera viene considerata non ventilata e il pannello è in conformazione chiusa (valore di riflettanza 0.3).

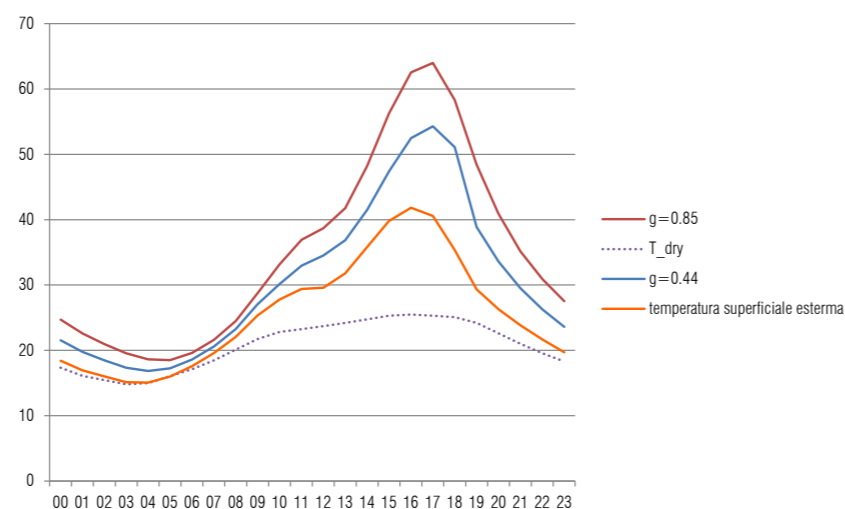
Nelle analisi sono state confrontate le temperature superficiali e le temperature all'interno della double-skin per entrambi i tipi di vetro selezionati. Si riportano i valori di andamento annuale, su base oraria, delle temperature per entrambe le soluzioni.



Andamento annuale della temperatura superficiale all'interno della double-skin, con le due differenti tipologie di vetro singolo



Andamento annuale della temperatura dell'aria all'interno della double-skin, con le due differenti tipologie di vetro singolo



Andamento giornaliero delle temperature della double-skin e del pannello come se fosse posto all'esterno il 15 luglio, giorno critico.

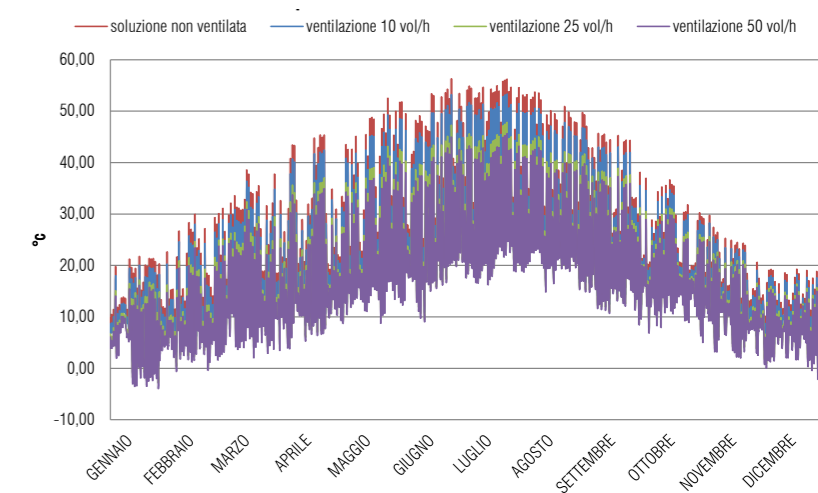
Dal confronto fra le due soluzioni si evince che la soluzione con vetro singolo ($g=0.85$) non soddisfa i requisiti di temperatura superficiale del pannello, essendo questa ben oltre gli 80°C . La soluzione con vetro singolo selettivo ($g=0.44$), invece, porta ad un notevole decremento delle temperature superficiali (max valore 65°C) e, allo stesso tempo, soddisfa i requisiti richiesti. Ne è risultato che la scelta della seconda soluzione è la migliore per quanto riguarda le temperature superficiali, in quanto non compromette il funzionamento degli SMA.

Dal confronto delle temperature dell'aria si è dimostrato come si abbia una notevole diminuzione di temperatura tra le due soluzioni. Questo però non soddisfa i requisiti di temperatura interna, che, anche nel caso migliore, raggiunge valori intorno ai 55°C .

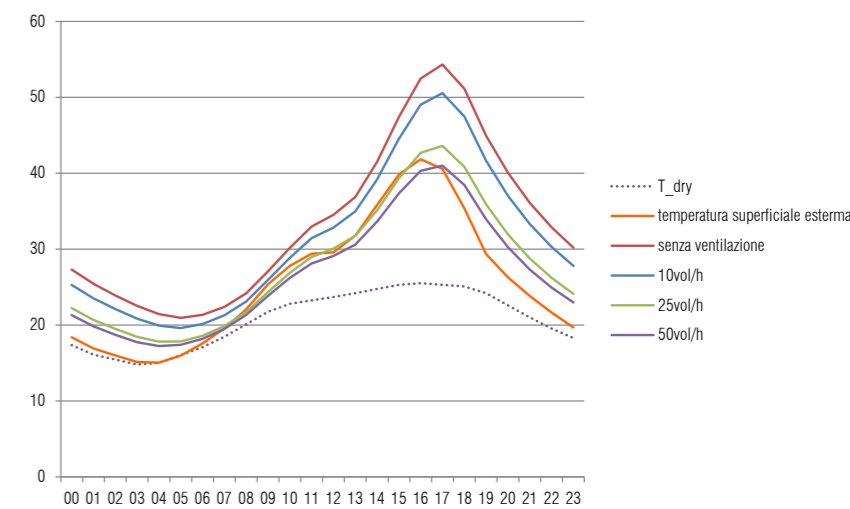
INFLUENZA DELLA VENTILAZIONE

È stato ipotizzato di ventilare la camera con l'aria esterna, forzandone l'ingresso attraverso appositi sistemi ventilanti. Il pannello ha un volume di circa 2m^3 , quindi si simulano portate d'aria di 10vol/h (20m^3), 25vol/h (50m^3) e 50vol/h (1000m^3). Questo è necessario per abbassare la temperatura interna dell'aria, in modo tale da non incidere troppo sul clima all'interno della stanza, e, di conseguenza, sui consumi per raffreddamento estivo. Il primo grafico riporta la differenza tra le temperature ottenute attraverso i tre processi di ventilazione e il sistema non ventilato. L'analisi è stata concentrata sul periodo che va da maggio a settembre, periodo più critico per il raffreddamento.

I grafici mostrano come, con l'aumentare della ventilazione all'interno della camera, ci sia un repentino abbassamento delle temperature dell'aria interna. Inserendo una ventilazione di 10vol/h , la temperatura di picco per il giorno più critico si abbassa da 54°C a 50°C , ma il valore resta comunque molto alto rispetto alle condizioni di temperatura esterna. Passando ad una



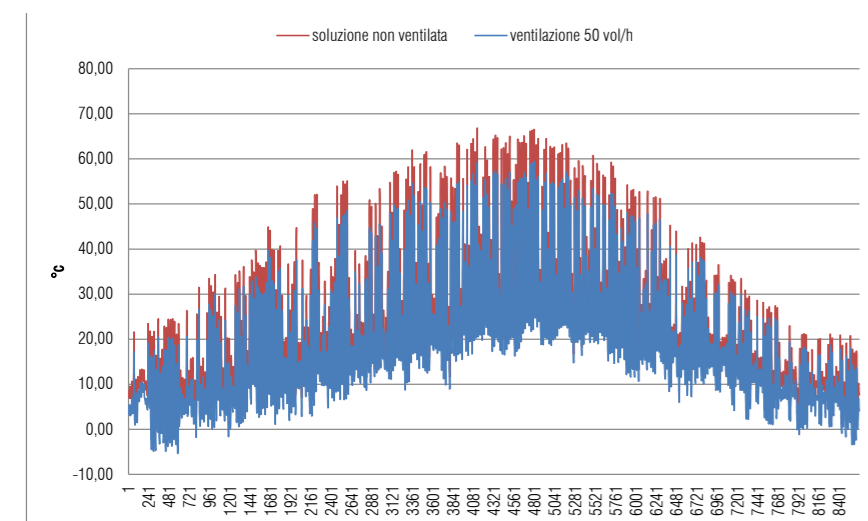
Andamento annuale della temperatura dell'aria all'interno della double-skin, con vetro singolo selettivo, in situazioni di differenti ricambi d'aria della camera.



Andamento giornaliero delle temperature della double-skin, con vetro singolo selettivo, in situazioni di differenti ricambi d'aria della camera, e del pannello come se fosse posto all'esterno.

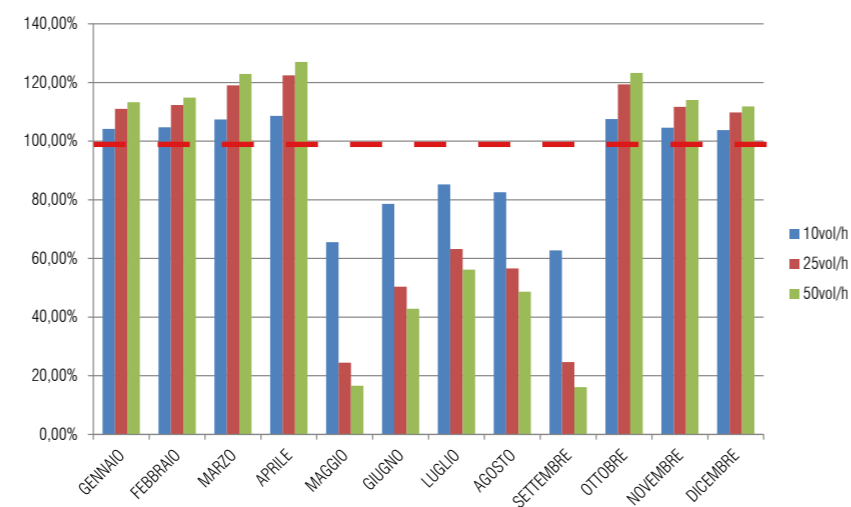
ventilazione di 25 vol/h, è stata ottenuta una temperatura di picco di 43°C, valore molto vicino a quello delle condizioni esterne. Infine, raddoppiando la portata fino a 50 vol/h, si è ottenuto ancora un piccolo miglioramento, arrivando a 41°C, quindi scendendo al disotto delle condizioni di temperatura esterna.

Segue un confronto tra le temperature superficiali della double-skin non ventilata e della double-skin ventilata. Il risultato mostra come la soluzione ventilata abbassi la temperatura superficiale del pannello di 7°C favorendo sempre più il suo corretto funzionamento.



Andamento della temperatura superficiale all'interno della double-skin, con vetro singolo selettivo, in situazione di camera non ventilata e camera con ricambio di 50 vol/h.

In ultima analisi è stato fatto un confronto tra le percentuali di calore sensibile all'interno della stanza per tutte le soluzioni di ventilazione studiate, per comprendere meglio l'impatto che questo tipo di soluzioni ha sui consumi. Vengono riportati gli incrementi o decrementi di consumi, rispetto alla soluzione non ventilata che rappresenta il 100%, dei 3 modelli ventilati.



Percentuali di calore sensibile all'interno della stanza sottoposta all'analisi, con tre differenti valori di portata per il ricambio d'aria della camera della double-skin.

Le soluzioni di ventilazione in periodo invernale sono sconvenienti, in quanto abbassando la temperatura all'interno della double-skin, diminuiscono, così, gli apporti gratuiti. Per quanto riguarda il periodo estivo, tutte e tre le soluzioni di ventilazione diminuiscono il calore sensibile all'interno della stanza, favorendo minori consumi. La soluzione con 10 vol/h comporta un abbassamento del 20% dei consumi, mentre le soluzioni con 25 e 50 vol/h li diminuiscono del 45%. Queste ultime due favoriscono variazioni del calore sensibile abbastanza vicine, che sono da rapportare ai consumi finali sui

metri cubi scambiati.

È stata quindi definita la prestazione energetica del vetro singolo della double-skin, $g=0.44$, e la portata d'aria da scambiare per ottimizzarne i consumi.

È stata scelta una portata di 25vol/h in quanto:

- la variazione tra temperatura all'interno della double-skin e temperature esterne sono rapportabili;
- la variazione dei consumi tra questa soluzione e quella da 50vol/h sono minimi;
- con questa configurazione si hanno la metà dei volumi ora da scambiare all'interno del periodo estivo.

La ventilazione della camera viene utilizzata solo nel periodo estivo, in quanto il quello invernale aggrava i consumi. Le ore per cui la ventilazione viene effettuata, guardando il grafico del confronto delle temperature dell'aria, può ridursi alle ore che vanno dalle 12:00 alle 18:00.

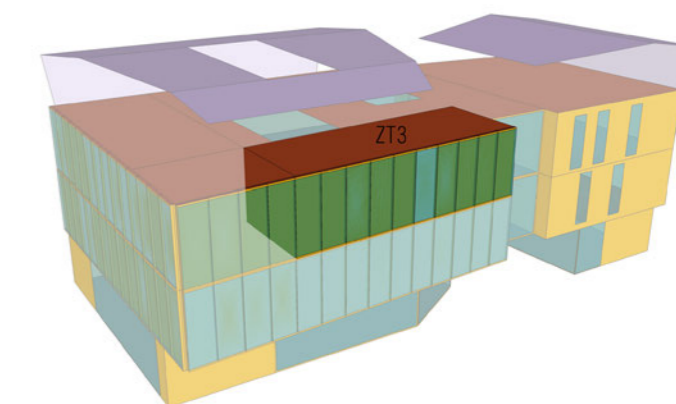
3.7.5 ANALISI ENERGETICA

A fronte di tutte le ipotesi fatte, è stato studiato il comportamento energetico complessivo della stanza. L'analisi viene svolta in regime dinamico attraverso il software Trnsys 17. La simulazione si concentra sulla stanza per la quale sono già state svolte le precedenti analisi. In questo caso è stato verificato l'incidere, sui consumi e sul comfort, del sistema di schermatura dinamica. In particolare si porta l'attenzione su:

- il confronto di calore sensibile tra soluzione senza schermatura, schermatura fissa e schermatura dinamica, da noi ipotizzata e analizzata.
- la valutazione del comfort dinamico (attraverso le norme UNI EN ISO 7730 e UNI EN 15252) delle due zone termiche.

Il modello Trnsys del nostro edificio conta 11 zone termiche; noi abbiamo fatto riferimento alla numero 3, ovvero quella esposta a sud.

PARAMETRI

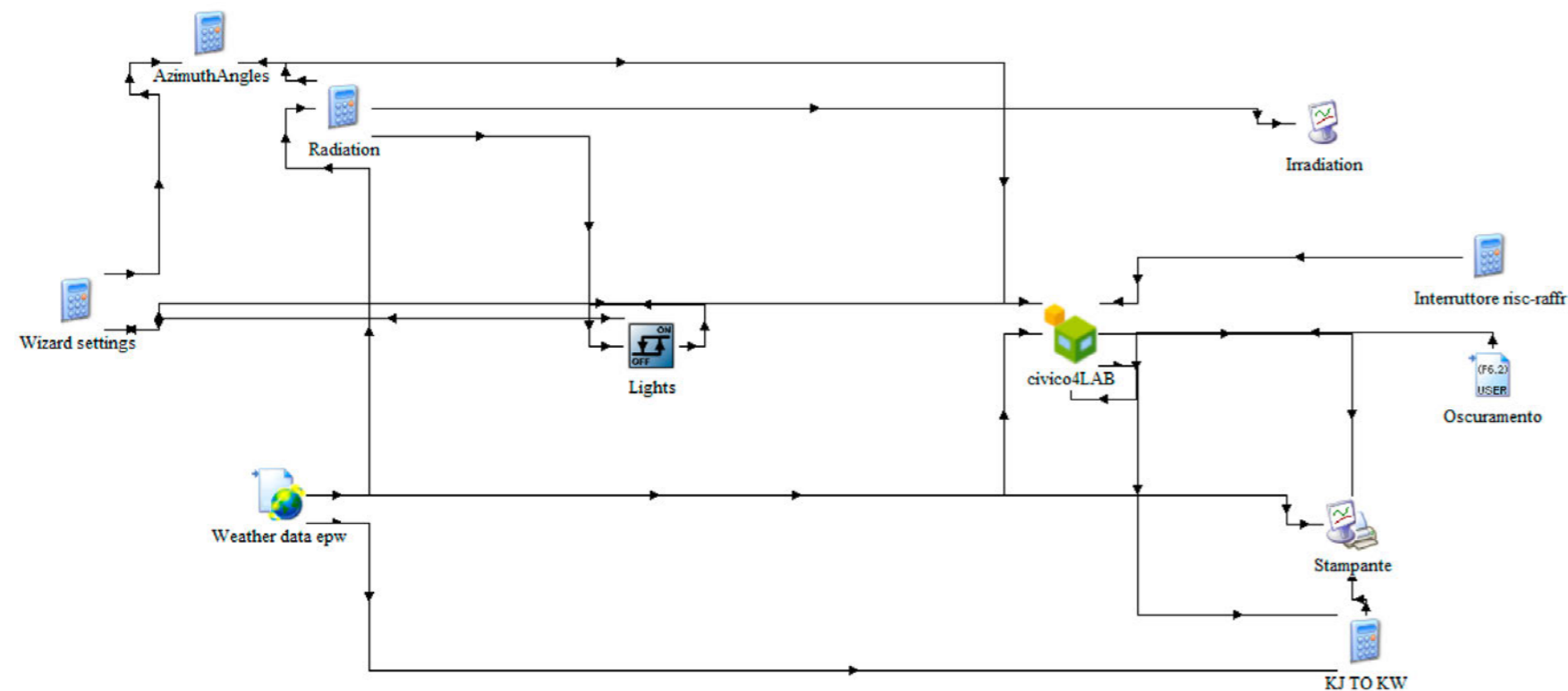


I parametri che sono stati utilizzati per le simulazioni sono gli stessi utilizzati nelle precedenti analisi. Riepilogando, le simulazioni vengono effettuate sulla base di un modello di cui sono stati definiti tutti i parametri geometrici, tutti i pacchetti, tutti i materiali e relative riflettanze, le prestazioni dei vetri, i valori di apporti gratuiti, gli impianti e l'ottimizzazione del sistema double-skin. Si aggiungono a questa analisi i valori mensili di consumo per l'illuminazione (capitolo 3.7.3) ed i valori di apertura e chiusura delle schermature dinamiche (capitolo 3.7.2).

CONFRONTO TRA LE TRE IPOTESI DI SCHERMATURA

Calore sensibile e calore latente

L'analisi si concentra qui sulla definizione dei consumi per riscaldamento e raffreddamento globali, per varie opzioni di schermatura della porzione vetrata. Si fa riferimento ad una prima situazione, dove si ipotizza la stanza priva di schermatura, ad una seconda opzione, con schermatura fissa, ed una terza soluzione, con la schermatura dinamica da noi proposta.

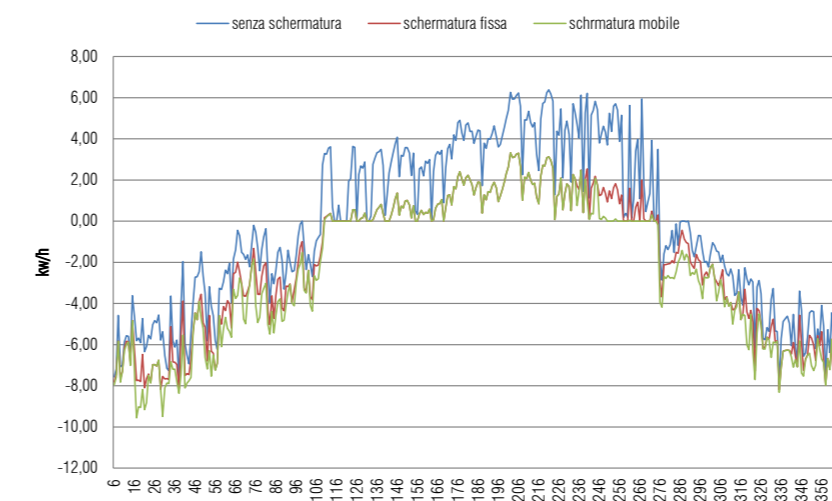


Schema di output di trnsys, in cui è rappresentata la correlazione tra i vari input che entrano nella definizione del modello.

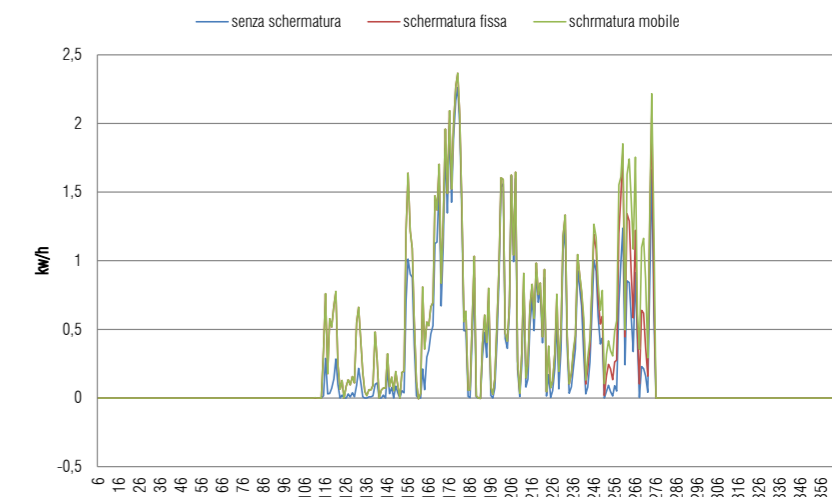
Sono riportati a lato i grafici relativi al calore sensibile ed al calore latente riferito alle tre opzioni.

Si nota immediatamente come, nella fase estiva, le soluzioni di schermatura fissa e dinamica restituiscono valori di calore sensibile molto minori a quelli ottenuti senza schermatura. La risposta è la stessa per entrambi i modelli. Infatti, come analizzato nel capitolo della luce, il modello ipotizzato, grazie all'ottimizzazione della sua geometria, nel periodo che va da inizio maggio a fine agosto, non ha bisogno di chiudersi, in quanto non ci sono ore di abbagliamento. Diversa è, invece, la risposta invernale. Quando il sole è abbastanza basso, a causa dell'abbagliamento, il sistema dinamico si chiude. Il sistema dinamico è risultato il più critico e presenta maggiori consumi per riscaldamento.

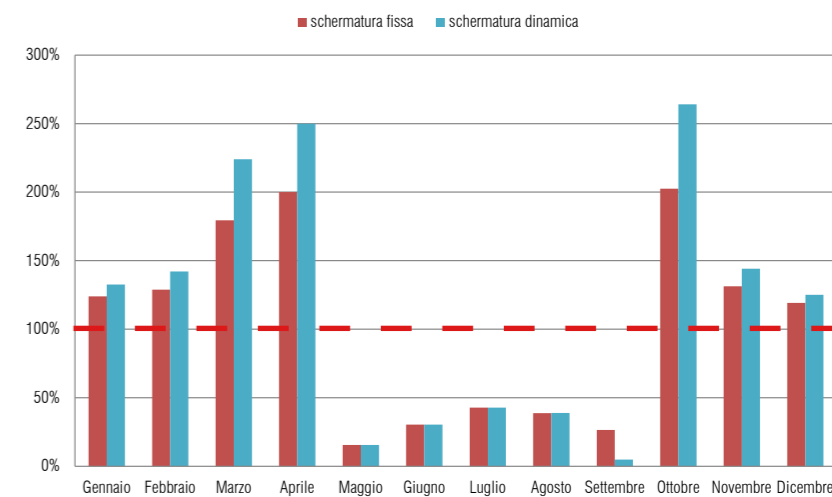
È stata fatta una comparazione delle percentuali di incremento o decremento dei consumi rispetto al sistema senza schermatura che rappresenta il 100%.



Andamento annuale della quantità di calore sensibile all'interno della stanza analizzata, nelle tre configurazioni di schermatura studiate.



Andamento annuale della quantità di calore latente all'interno della stanza analizzata, nelle tre configurazioni di schermatura studiate.

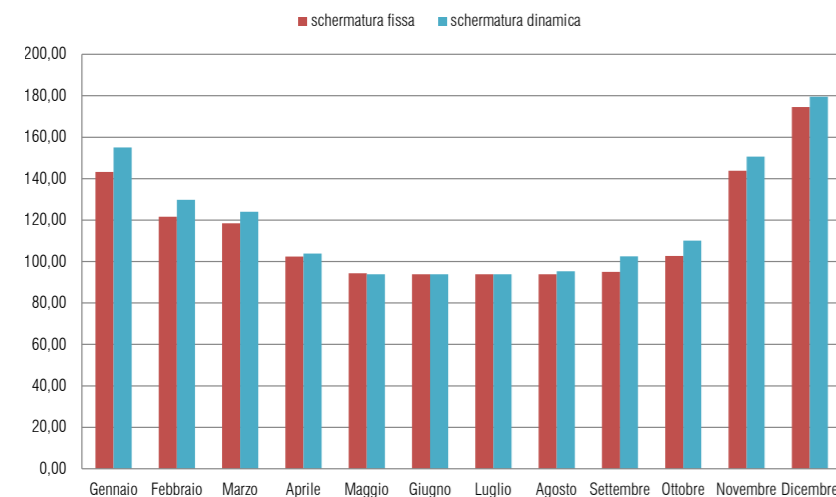


Confronto delle percentuali di calore sensibile all'interno della stanza tra presenza di sistema di schermatura fissa e presenza di sistema di schermatura dinamica.

Nella fase invernale, tutte e due le soluzioni schermate hanno un incremento dei consumi. Questo è dovuto al fatto che, essendoci meno guadagni dati dagli apporti solari, c'è maggior bisogno di energia per riscaldare l'ambiente. Le soluzioni schermate hanno un differente consumo: la soluzione dinamica ha una differenza del 10% rispetto la schermatura fissa per la porzione invernale e del 50% per la mezza stagione (i valori di mezza stagione sono poco influenti visto che si riferiscono a valori più bassi di consumi).

Nella fase estiva, come preannunciato, i sistemi schermati hanno lo stesso comportamento e presentano un decremento dei consumi del 60% rispetto la soluzione non schermata.

È stata effettuata anche una valutazione del differente consumo di luce artificiale tra la soluzione fissa e la soluzione dinamica. Prendendo dal capitolo 3.7.3 le ore di accensione degli apparecchi illuminanti e moltiplicandole per il consumo di ogni singolo apparecchio, è stato possibile definire il consumo medio mensile di energia per l'illuminazione.



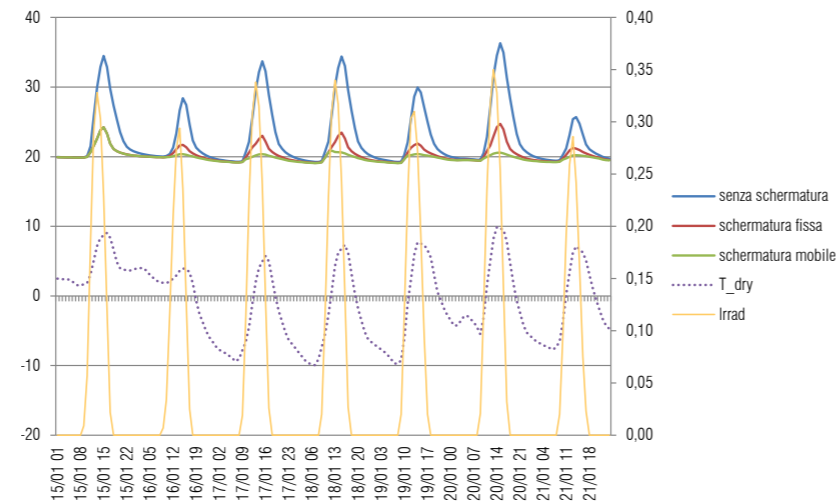
Confronto tra i consumi in kWh di elettricità per illuminazione, determinati in presenza di sistema di schermatura fissa e in presenza di schermatura dinamica.

Da questa analisi risulta che il sistema di schermatura dinamico, dato il numero di ore di chiusura invernale, determina dei consumi di energia necessari per l'illuminazione più alti rispetto ad una schermatura fissa. Si valuta un incremento medio mensile per la stagione invernale dell'8%.

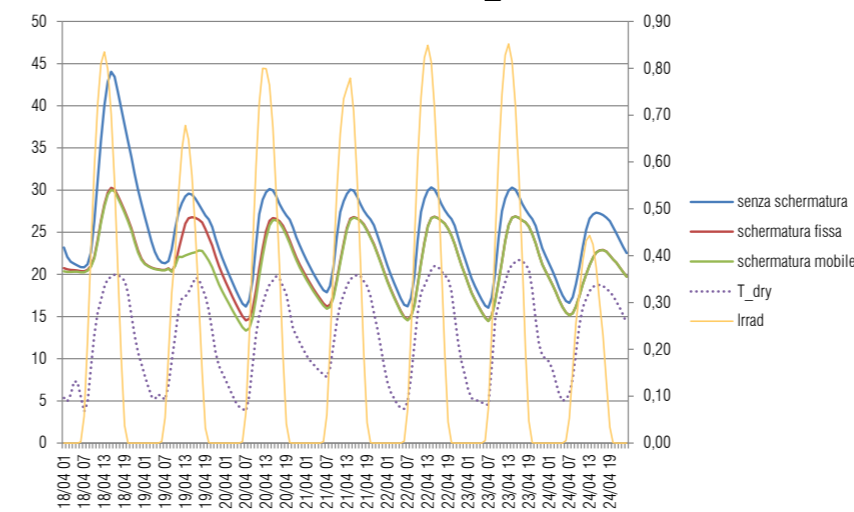
Temperature operanti

Valutati i differenti livelli di calore sensibile per le tre soluzioni, si è passati a definire le temperature operanti per le settimane critiche. Questa analisi è stata riferita alle settimane: dal 15 al 21 gennaio; dal 18 al 24 aprile; dal 9 al 15 luglio. Nei grafici seguenti, oltre al valore di temperatura operante all'interno della stanza, si inserisce anche il valore di temperatura esterna (t_{dry}) ed il valore corrispondente di radiazione solare incidente.

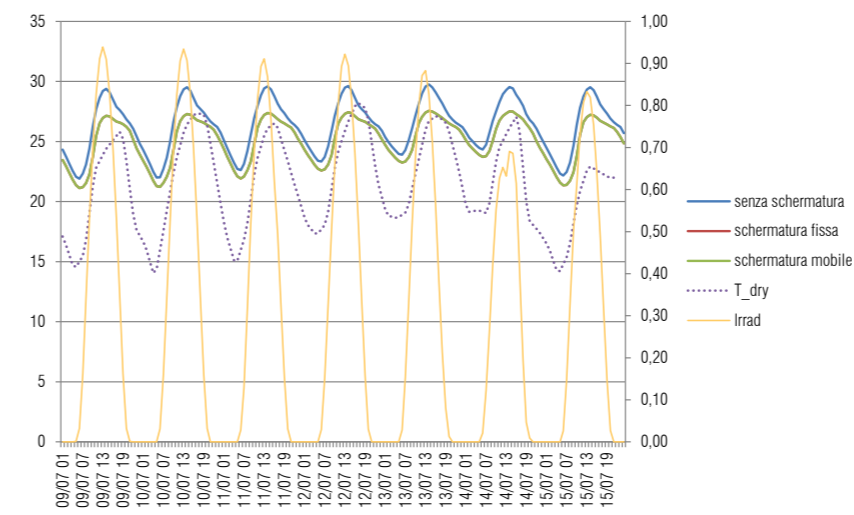
La settimana di luglio e quella di aprile hanno un andamento perfettamente uguale delle temperature all'interno della stanza con schermatura fissa e di-



Andamento delle temperature operanti e della temperatura esterna durante la settimana critica 15/21 gennaio.



Andamento delle temperature operanti e della temperatura esterna durante la settimana critica 18/24 aprile.



Andamento delle temperature operanti e della temperatura esterna durante la settimana critica 9/15 luglio.

namica, mentre si ottengono valori superiori per la soluzione priva di schermatura. Più interessante è il comportamento invernale, dove è ben evidente la differenza tra le tre soluzioni. La stanza senza schermatura in condizione invernale avrebbe bisogno anche di raffrescamento: si riscontrano temperature di picco all'interno della stanza di 35°C. Le altre due soluzioni hanno temperature ottimali di comfort. Si evidenzia che la soluzione a schermatura fissa ha dei picchi giornalieri più alti (favoriti dai guadagni per radiazione solare).

Comfort adattivo

Il comfort è definito come la sensazione di completo benessere fisico e mentale di un individuo. Non è possibile creare una situazione che soddisfi pienamente tutte le persone: esistono, infatti, differenze biologiche, fisiche ed emotive tra i vari individui. Da qui si deduce che non esiste un'unica condizione di benessere ambientale globalmente condivisibile ma, a parità di condizioni climatiche, la sensazione di benessere sarà diversa a seconda degli individui. Per questo motivo, nella valutazione del comfort ambientale bisogna avvalersi di criteri statistici, ottenendo quindi valori che non sono validi in assoluto. Obiettivo del presente elaborato sarà dunque quello di valutare la condizione ottimale di comfort termico, ossia trovare le condizioni per le quali la maggior parte delle persone si trovi a proprio agio. La trattazione si focalizzerà, in particolare, sul benessere termoigrometrico, il quale rappresenta solo un aspetto del più ampio comfort ambientale, valutandolo secondo due normative specifiche:

- 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;
- UNI EN 15251 Criteri per la valutazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla

qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.

La prima norma è basata su un modello che considera le persone all'interno degli ambienti come soggetti passivi di scambio termico e prescrive delle temperature ottimali costanti: minimo 20 °C invernali, massimo 26 °C estivi.

Gli ambienti sono classificati secondo quattro categorie:

- CATEGORIA I: 94% degli occupanti è soddisfatto;
- CATEGORIA II: 90% degli occupanti è soddisfatto;
- CATEGORIA III: 85% degli occupanti è soddisfatto;
- CATEGORIA IV: meno dell'85% degli occupanti è soddisfatto.

La norma presenta metodi per prevedere la sensazione termica globale ed il grado di disagio (insoddisfazione termica) delle persone esposte in ambienti termici moderati. Essa consente la determinazione analitica e l'interpretazione del benessere termico mediante il calcolo del PMV (predicted mean vote - voto medio pre- visto) e del PPD (predicted percentage of dissatisfied - percentuale prevista di insoddisfatti) e dei criteri di benessere termico locale, fornendo le condizioni ambientali considerate accettabili per il benessere termico globale così come quelle che rappresentano il disagio locale. Essa è applicabile a uomini e donne in buona salute esposti ad ambienti chiusi nei quali si cerca di raggiungere il benessere termico, ma nei quali si hanno leggere deviazioni da quest'ultimo, nella progettazione di nuovi ambienti o nella valutazione di quelli esistenti.

La seconda norma tratta argomenti per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.

Si introduce l'idea che la temperatura di comfort è dipendente dalla temperatura esterna se si mantiene una condizione di ventilazione/raffrescamento naturale, senza alcun impianto all'infuori di quello per il ricambio dell'aria.

3.11

external temperature, running mean

exponentially weighted running mean of the daily mean external air temperature Θ_{ed} is such a series, and is calculated from the formula:

$$\Theta_{rm} = (1 - \alpha) \cdot \{ \Theta_{ed-1} + \alpha \cdot \Theta_{ed-2} + \alpha^2 \cdot \Theta_{ed-3} + \dots \} \quad (1)$$

This equation can be simplified to

$$\Theta_{rm} = (1 - \alpha) \Theta_{ed-1} + \alpha \cdot \Theta_{rm-1} \quad (2)$$

Where

Θ_{rm} = Running mean temperature for today

Θ_{rm-1} = Running mean temperature for previous day

Θ_{ed-1} is the daily mean external temperature for the previous day

Θ_{ed-2} is the daily mean external temperature for the day before and so on.

α is a constant between 0 and 1. Recommended to use 0,8

The following approximate equation can be used where records of daily mean external temperature are not available:

$$\Theta_{rm} = (\Theta_{ed-1} + 0,8 \Theta_{ed-2} + 0,6 \Theta_{ed-3} + 0,5 \Theta_{ed-4} + 0,4 \Theta_{ed-5} + 0,3 \Theta_{ed-6} + 0,2 \Theta_{ed-7}) / 3,8 \quad (3)$$

Estratto dalla norma UNI EN ISO 7730

Si definisce il concetto di temperatura esterna media running che dipende dalla media pesata, mediante opportuni coefficienti, delle temperature medie esterne dei giorni precedenti.

In seguito la normativa definisce il concetto vero e proprio di comfort adattivo: la temperatura di comfort dipende dalla temperatura esterna media running e si identificano 3 categorie di comfort: la I che garantisce il massimo grado di comfort e poi la II e la III che garantiscono comfort decrescenti. Infine è necessario porre in un grafico a dispersione i valori della temperatura operante ora per ora (ottenuti con la simulazione di trnsys) associati al valore della temperatura esterna media running. Segue esempio dalla normativa.

Si riportano ora i grafici di comfort relativo alle tre simulazioni di schermatura. La prima analisi valuta il comfort statico all'interno dell'ambiente, la seconda, invece, fa riferimento al comfort adattivo.

A.4

Criteri progettuali per diversi tipi di ambienti - Esempi

I criteri di progettazione specificati nel prospetto A.5 sono stati ottenuti sotto alcune ipotesi. Per l'ambiente termico, i criteri per la temperatura operativa sono basati su livelli tipici di attività, per abbigliamento di 0,5 clo per l'estate ("stagione di raffrescamento") e di 1,0 clo per l'inverno ("stagione di riscaldamento"). I criteri per la velocità media dell'aria sono riferiti ad un'intensità di turbolenza pari approssimativamente al 40% (ventilazione a miscelazione). I criteri di progettazione sono validi per le condizioni di occupazione assegnate, ma potrebbero anche essere applicati ad altri tipi di spazio con destinazione d'uso simile.

prospetto A.5 Esempio di criteri di progettazione per spazi in vari tipi di edificio

| Tipo di edificio/spazio | Attività W/m² | Categoria | Temperatura operativa °C | | Massima velocità media dell'aria ^{a)} m/s | |
|--|------------------|-----------|---|---|---|---|
| | | | Estate (stagione di raffrescamento) | Inverno (stagione di riscaldamento) | Estate (stagione di raffrescamento) | Inverno (stagione di riscaldamento) |
| Ufficio singolo Ufficio panoramico Sala conferenze Auditorium Bar/Ristorante Aula | 70 | A | 24,5 ± 1,0 | 22,0 ± 1,0 | 0,12 | 0,10 |
| | | B | 24,5 ± 1,5 | 22,0 ± 2,0 | 0,19 | 0,16 |
| | | C | 24,5 ± 2,5 | 22,0 ± 3,0 | 0,24 | 0,21 ^{b)} |
| Giardino d'infanzia | 81 | A | 23,5 ± 1,0 | 20,0 ± 1,0 | 0,11 | 0,10 ^{b)} |
| | | B | 23,5 ± 2,0 | 22,0 ± 2,5 | 0,18 | 0,15 ^{b)} |
| | | C | 23,5 ± 2,5 | 22,0 ± 3,5 | 0,23 | 0,19 ^{b)} |
| Grandi magazzini | 93 | A | 23,0 ± 1,0 | 19,0 ± 1,5 | 0,16 | 0,13 ^{b)} |
| | | B | 23,0 ± 2,0 | 19,0 ± 3,0 | 0,20 | 0,15 ^{b)} |
| | | C | 23,0 ± 3,0 | 19,0 ± 4,0 | 0,23 | 0,18 ^{b)} |

a) Il valore massimo della velocità media dell'aria è basato su un valore di intensità di turbolenza pari a 40% e sull'uguaglianza tra temperatura dell'aria e temperatura operativa, secondo il punto 6.2 e la figura A.2. L'umidità relativa è pari a 60% e 40% rispettivamente nella stagione estiva ed in quella invernale. Sia in estate sia in inverno, per determinare il valore massimo della velocità media dell'aria, si utilizza il valore di temperatura più basso all'interno dell'intervallo.
b) Al di sotto del limite di 20 °C (vedere figura A.2).

| | |
|--------------|--|
| Category I | upper limit: $\Theta_{i \max} = 0,33 \Theta_{rm} + 18,8 + 2$ |
| | lower limit: $\Theta_{i \min} = 0,33 \Theta_{rm} + 18,8 - 2$ |
| Category II | upper limit: $\Theta_{i \max} = 0,33 \Theta_{rm} + 18,8 + 3$ |
| | lower limit: $\Theta_{i \min} = 0,33 \Theta_{rm} + 18,8 - 3$ |
| Category III | upper limit: $\Theta_{i \max} = 0,33 \Theta_{rm} + 18,8 + 4$ |
| | lower limit: $\Theta_{i \min} = 0,33 \Theta_{rm} + 18,8 - 4$ |

where Θ_i = limit value of indoor operative temperature, °C

Estratti dalla norma UNI EN 15251

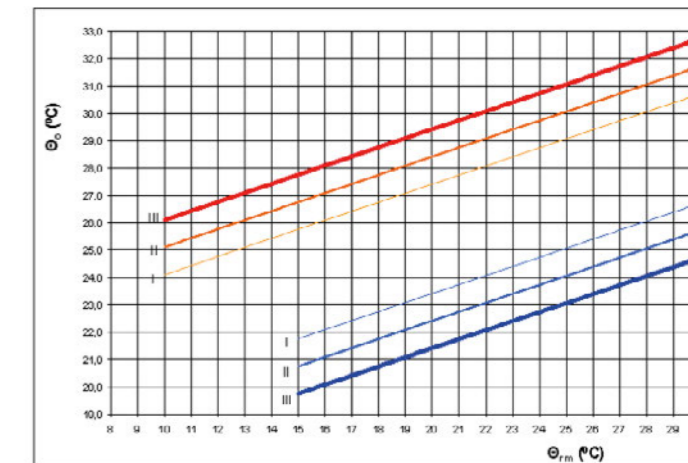
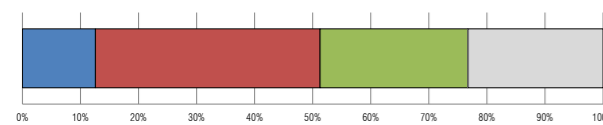
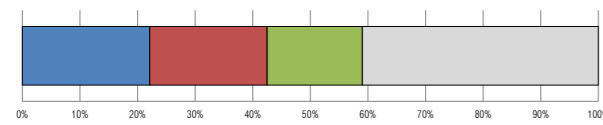
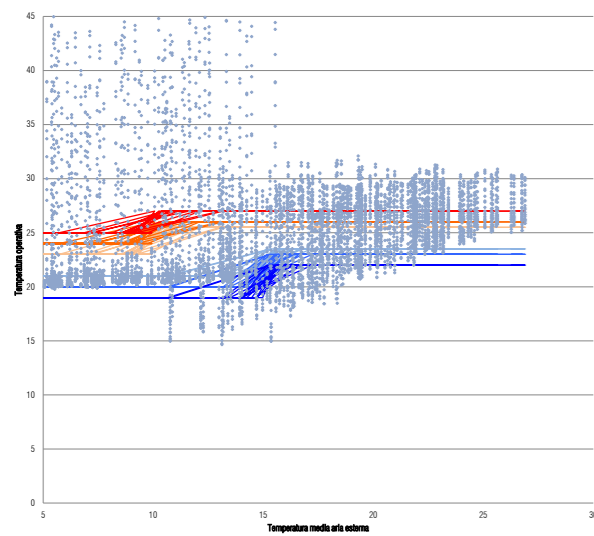
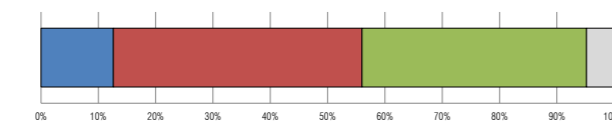
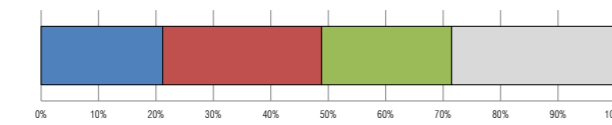
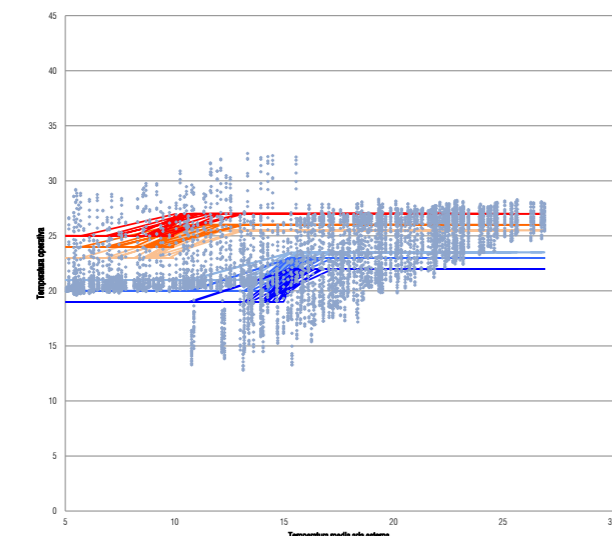


Grafico che mostra, per i vari livelli di comfort, l'andamento della temperatura operativa (y) rispetto alla temperatura media dell'aria esterna (x).

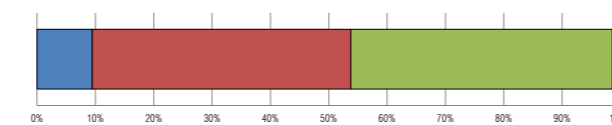
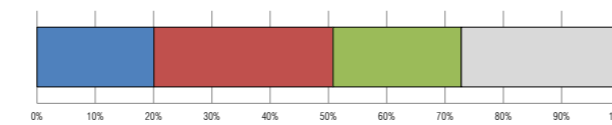
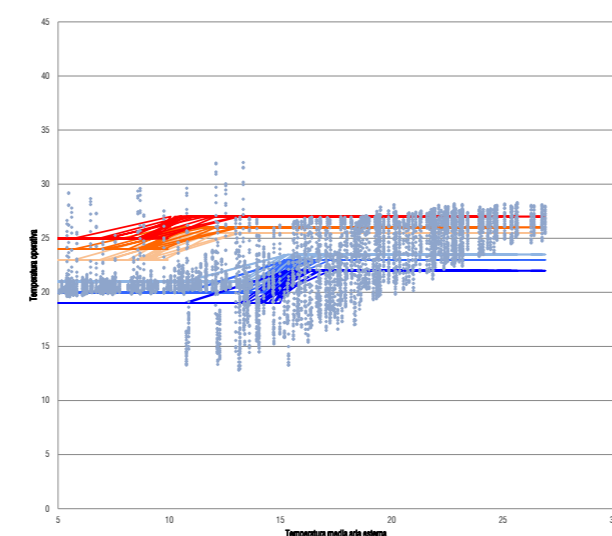
Il modello senza schermature ha una grande dispersione dei valori di temperatura operante al di fuori delle zone di comfort. Questo porta ad avere un livello di soddisfatti all'interno della stanza molto inferiore alle altre due soluzioni. Tra le altre due soluzioni c'è una piccola discrepanza nei valori ottenuti, ma è da sottolineare come la schermatura dinamica ora si presenta più favorevole rispetto a quella fissa per entrambe le situazioni (estate/inverno). Il maggior comfort è dovuto alla dispersione dei punti della soluzione fissa fuori dal grafico a causa degli eccessivi guadagni solari. Tutte le simulazioni non hanno raggiunto un valore ottimale di comfort per la porzione invernale. La situazione di comfort adattivo tiene conto delle temperature esterne nella fase estiva. In questo caso, si è riscontrato un notevole incremento del valore di soddisfatti nella fase estiva, per tutte le simulazioni, e specialmente un allargamento della categoria 2 con riduzione della 3. Anche in questa ultima analisi il sistema dinamico ha un comportamento pari o migliore del sistema statico.



Soluzione senza schermatura. Riferimento norma UNI EN ISO 7730.
 In alto: grafico a dispersione che indica la percentuale di utenti soddisfatti del comfort interno alla stanza analizzata.
 Sotto: percentuali effettive di utenti soddisfatti (estate ed inverno) nelle quattro categorie normate.



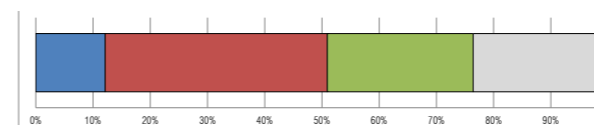
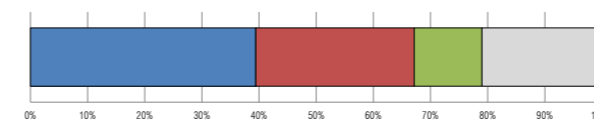
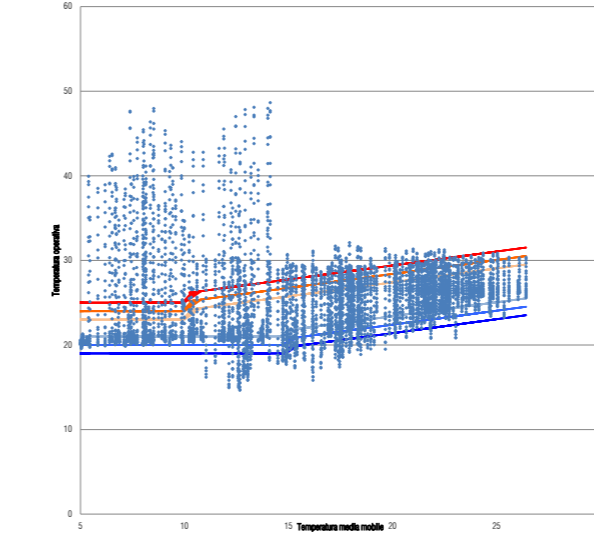
Soluzione con schermatura fissa. Riferimento norma UNI EN ISO 7730.
 In alto: grafico a dispersione che indica la percentuale di utenti soddisfatti del comfort interno alla stanza analizzata.
 Sotto: percentuali effettive di utenti soddisfatti (estate ed inverno) nelle quattro categorie normate.



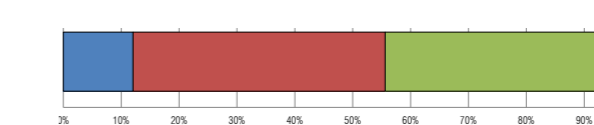
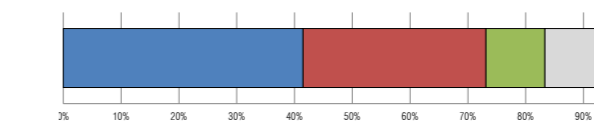
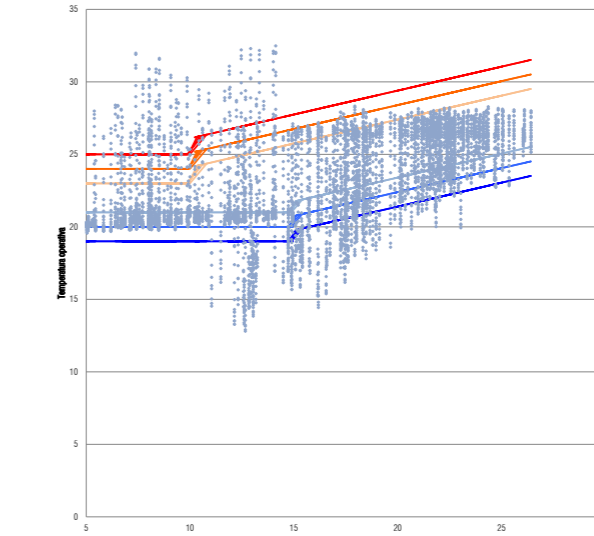
Soluzione con schermatura dinamica. Riferimento norma UNI EN ISO 7730.
 In alto: grafico a dispersione che indica la percentuale di utenti soddisfatti del comfort interno alla stanza analizzata.
 Sotto: percentuali effettive di utenti soddisfatti (estate ed inverno) nelle quattro categorie normate.

- classe 1 sup
- classe 1 inf
- classe 2 sup
- classe 2 inf
- classe 3 sup
- classe 3 inf

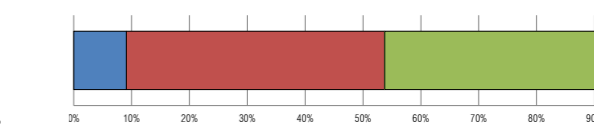
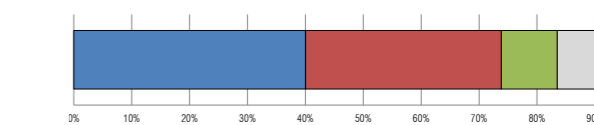
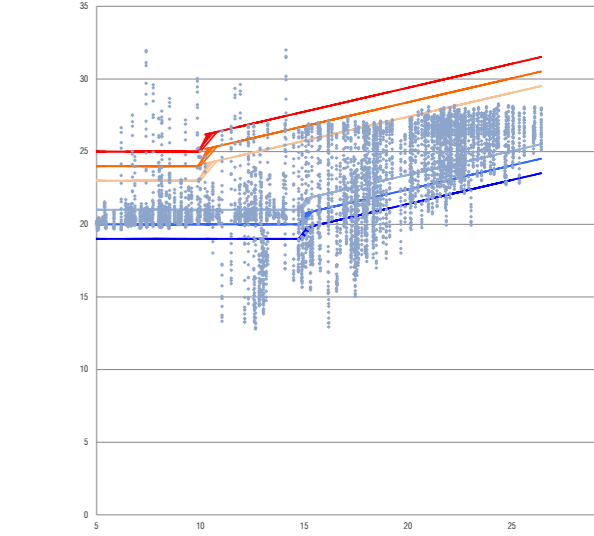
- categoria 1
- categoria 2
- categoria 3
- categoria 4



Soluzione senza schermatura. Riferimento norma UNI EN 15251.
 In alto: grafico a dispersione che indica la percentuale di utenti soddisfatti del comfort interno alla stanza analizzata.
 Sotto: percentuali effettive di utenti soddisfatti (estate ed inverno) nelle quattro categorie normate.



Soluzione con schermatura fissa. Riferimento norma UNI EN 15251.
 In alto: grafico a dispersione che indica la percentuale di utenti soddisfatti del comfort interno alla stanza analizzata.
 Sotto: percentuali effettive di utenti soddisfatti (estate ed inverno) nelle quattro categorie normate.



Soluzione con schermatura dinamica. Riferimento norma UNI EN 15251.
 In alto: grafico a dispersione che indica la percentuale di utenti soddisfatti del comfort interno alla stanza analizzata.
 Sotto: percentuali effettive di utenti soddisfatti (estate ed inverno) nelle quattro categorie normate.

- classe 1 sup
- classe 1 inf
- classe 2 sup
- classe 2 inf
- classe 3 sup
- classe 3 inf

- categoria 1
- categoria 2
- categoria 3
- categoria 4

PARTE 4

PROGETTO STRUTTURALE

- 4.1 ANALISI DEI CARICHI
- 4.2 SOLAIO IN LAMIERA GRECATATA
- 4.3 PREDIMENSIONAMENTO E VERIFICA TRAVI IN ACCIAIO
- 4.4 PREDIMENSIONAMENTO E VERIFICA PILASTRO IN ACCIAIO
- 4.5 VERIFICA DELLA CLASSE DEI PROFILI
- 4.6 PREDIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEL PLINTO DI FONDAZIONE
- 4.7 VERIFICA DEI CONTROVENTI IN C.A.
- 4.8 ESEMPIO DI UNIONE BULLONATA
- 4.9 FOCUS COPERTURA: DUE SOLUZIONI A CONFRONTO

La struttura del Centro Civico, a maglia irregolare, è composta da travi e pilastri in acciaio. L'edificio, composto da due corpi divisi al piano terra e uniti ai piani successivi, ha la peculiarità di avere due blocchi servizi asimmetrici tra di loro, che, come è verificato in seguito, garantiscono una sufficiente resistenza alle sollecitazioni dovute al vento. I solai hanno struttura portante in lamiera grecata al fine di ridurre quanto possibile i carichi agenti. Per le fondazioni, si è optato per elementi puntuali, plinti, in calcestruzzo armato. Essendo la maglia alquanto irregolare, eccetto il calcolo di pilastro e plinto per i quali è stato considerato esclusivamente quello più sollecitato, per il calcolo delle travi in acciaio non è stato possibile fare un'analisi discreta.

Elemento particolare del progetto è la scocca di copertura, costituita da elementi prefabbricati in legno e travi in acciaio, con rivestimento in cassette metalliche elettrocolorate. Questa scocca è in parte a sbalzo: il calcolo della forza del vento che la sollecita è stato effettuato considerandola come una tettoia. Inoltre, per la parte a sbalzo, sono state considerate due diverse possibilità di schema statico.

Per il predimensionamento e successiva verifica dei vari elementi ci si è ricondotti alle prescrizioni delle Norme Tecniche delle Costruzioni del 2008, dell'Eurocodice 3, della CNR-DT 207 2008, e di libri di testo specifici che verranno citati nei diversi capitoli.

Gli schemi a fianco riportano le prime considerazioni nate in fase preliminare di studio dello schema strutturale e riassumono quanto sopra scritto.



4.1 ANALISI DEI CARICHI

La prima fase consiste nel determinare i carichi agenti sulla struttura permanenti strutturali e non, i carichi variabili dovuti ad affollamento, neve e vento al fine di poter eseguire successivamente il dimensionamento dei singoli elementi. Ciò è stato fatto in accordo con le NTC del 2008 e con la CNR-DT 207-2008 che contiene le istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.

Nelle pagine successive vengono analizzati in relazione alla tipologia.

4.1.1 CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI

Da normativa “sono considerati carichi permanenti non strutturali i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione, quali quelli relativi a tamponature esterne, divisori interni, massetti, isolamenti, pavimenti e rivestimenti del piano di calpestio, intonaci, controsoffitti, impianti ed altro. [...]. Essi devono essere valutati sulla base delle dimensioni effettive delle opere e dei pesi dell'unità di volume dei materiali costituenti. I tramezzi e gli impianti leggeri di edifici per abitazioni e uffici possono assumersi, in genere, come carichi equivalenti distribuiti, purché i solai abbiano adeguata capacità di ripartizione trasversale”. Per quanto concerne il nostro edificio questi rientrano nella categoria:

$$1,00 < G_2 < 2,00 \text{ kN/m} \quad g_2 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

G_2 : carico lineare della partizione verticale

g_2 : carico uniformemente distribuito delle partizioni verticali

A seguire sono tabellati i carichi delle diverse soluzioni tecnologiche adottate per il Centro Civico.

SOLAIO INTERPIANO

| Strati | Spessore [m] | Densità [kg/m ³] | Peso [kg/m ²] |
|-----------------------------|--------------|------------------------------|---------------------------|
| Finitura | 0,012 | | 8 |
| Irrigidimento | 0,036 | | 22 |
| Riempimento | 0,09 | 550 | 49,5 |
| Isolante acustico | 0,005 | 120 | 0,6 |
| Isolante termico | 0,05 | | 30 |
| Supporto | 0,02 | 550 | 11 |
| Gracata | 0,001 | | 16,58 |
| Controsoffitto | | | 2 |
| Finitura | 0,0125 | | 13,8 |
| TOTALE [kg/m ²] | | | 165,74 |
| TOTALE [kN/m ²] | | | 1,6259094 |

SOLAIO SU SPAZI APERTI

| Strati | Spessore [m] | Densità [kg/m ³] | Peso [kg/m ²] |
|-----------------------------|--------------|------------------------------|---------------------------|
| Finitura | 0,012 | | 8 |
| Irrigidimento | 0,036 | | 22 |
| Riempimento | 0,09 | 550 | 49,5 |
| Isolante acustico | 0,005 | 120 | 0,6 |
| Isolante termico | 0,05 | | 30 |
| Supporto | 0,02 | 550 | 11 |
| Gracata | 0,001 | | 16,58 |
| Controsoffitto | | | 2 |
| Supporto | 0,0125 | | 10 |
| Isolante termico | 0,1 | 160 | 16 |
| Finitura | 0,005 | 12 | 0,06 |
| TOTALE [kg/m ²] | | | 165,74 |
| TOTALE [kN/m ²] | | | 1,6259094 |

TERRAZZA

| Strati | Spessore [m] | Densità [kg/m ³] | Peso [kg/m ²] |
|-----------------------------|--------------|------------------------------|---------------------------|
| Finitura | | | 10 |
| Supporto | 0,05 | 2400 | 120 |
| Isolante termico | 0,1 | 44 | 4,4 |
| Supporto | 0,02 | 550 | 11 |
| Gracata | 0,001 | | 16,58 |
| Controsoffitto | | | 2 |
| Finitura | 0,0125 | | 13,8 |
| TOTALE [kg/m ²] | | | 177,78 |
| TOTALE [kN/m ²] | | | 1,7440218 |

4.1.2 CARICHI VARIABILI: Affollamento

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera, ovvero correlati all'affollamento. I modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- carichi verticali uniformemente distribuiti q_k [kN/m]
- carichi verticali concentrati Q_k [kN]
- carichi orizzontali lineari H_k [kN/m]

I valori nominali e/o caratteristici q , Q ed H sono riportati nella Tab. 3.1.11 delle NTC08 di cui riportiamo degli stralci relativi al nostro caso. Tali valori sono comprensivi degli effetti dinamici ordinari, purché non vi sia rischio di risonanza delle strutture.

| | Ambienti suscettibili di affollamento | q_k | Q_k | H_k |
|---|---|-------|-------|-------|
| C | Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole | 3,00 | 2,00 | 1,00 |
| | Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi | 4,00 | 4,00 | 2,00 |
| | Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune | 5,00 | 5,00 | 3,00 |

| | Coperture e sottotetti | | | |
|---|---|-----------------------------------|------|------|
| H | Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione | 0,50 | 1,20 | 1,00 |
| | Cat. H2 Coperture praticabili | secondo categoria di appartenenza | | |
| | Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso | — | — | — |

PARETE PERIMETRALE

| Strati | Spessore [m] | Densità [kg/m ³] | Peso [kg/m ²] |
|-----------------------------|--------------|------------------------------|---------------------------|
| StoVentec | 0,012 | 500 | 6 |
| Isolante termico | 0,1 | 160 | 16 |
| Supporto | 0,025 | | 20 |
| Isolante termico | 0,1 | | 36 |
| GKB | 0,0125 | | 10 |
| SilentBoard | 0,0125 | | 13,8 |
| Diamant | 0,0125 | | 13,8 |
| TOTALE [kg/m ²] | | | 115,6 |
| TOTALE [kN/m ²] | | | 1,134036 |

4.1.3 CARICHI VARIABILI: Azione del vento edificio

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti definite al paragrafo 3.3.3. delle NTC08. Esse sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione. L'azione del vento sul singolo elemento viene determinata considerando la combinazione più gravosa della pressione agente sulla superficie esterna e della pressione agente sulla superficie interna dell'elemento. L'azione d'insieme esercitata dal vento su una costruzione è data dalla risultante delle azioni sui singoli elementi, considerando come direzione del vento, quella corrispondente ad uno degli assi principali della pianta della costruzione.

VELOCITÀ DI RIFERIMENTO

La velocità di riferimento v_b è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni. In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche v_b è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

a_s è l'altitudine sul livello del mare del sito
 $v_{b,0}$, k_a , a_0 sono forniti dalla tabella 3.3.I delle NTC08.

Tabella 3.3.I - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_a

| Zona | Descrizione | $v_{b,0}$ [m/s] | a_0 [m] | k_a [1/s] |
|------|---|-----------------|-----------|-------------|
| 1 | Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste) | 25 | 1000 | 0,010 |
| 2 | Emilia Romagna | 25 | 750 | 0,015 |
| 3 | Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria) | 27 | 500 | 0,020 |
| 4 | Sicilia e provincia di Reggio Calabria | 28 | 500 | 0,020 |
| 5 | Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena) | 28 | 750 | 0,015 |
| 6 | Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena) | 28 | 500 | 0,020 |
| 7 | Liguria | 28 | 1000 | 0,015 |
| 8 | Provincia di Trieste | 30 | 1500 | 0,010 |
| 9 | Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto | 31 | 500 | 0,020 |

Essendo nel nostro caso a Milano, la cui altitudine sul livello del mare è 121 m, la velocità di riferimento è:

$$v_b = 25 \text{ m/s}$$

PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO

La pressione cinetica di riferimento q_b è data dall'espressione:

$$q_b = 1/2 \rho v_b^2 = 390,63 \text{ N/m}^2$$

ρ indica la densità dell'aria pari a 1,25 kg/m³.

COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di

$z = 200$ m, esso è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_r c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

c_t è il coefficiente di topografia assunto generalmente pari a 1
 k_r , z_0 , z_{\min} sono assegnati nella tabella 3.3.II e sono in funzione della categoria di esposizione del sito; quest'ultima si trova prima determinando la classe di rugosità da tabella 3.3.III e poi entrando nei grafici sottostanti nota anche la zona (1 nel nostro caso). Così facendo si trova un coefficiente di esposizione IV.

Tabella 3.3.II – Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

| Categoria di esposizione del sito | k_r | z_0 [m] | z_{\min} [m] |
|-----------------------------------|-------|-----------|----------------|
| I | 0,17 | 0,01 | 2 |
| II | 0,19 | 0,05 | 4 |
| III | 0,20 | 0,10 | 5 |
| IV | 0,22 | 0,30 | 8 |
| V | 0,23 | 0,70 | 12 |

Tabella 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

| Classe di rugosità del terreno | Descrizione |
|--------------------------------|---|
| A | Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m |
| B | Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive |
| C | Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D |
| D | Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...) |

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

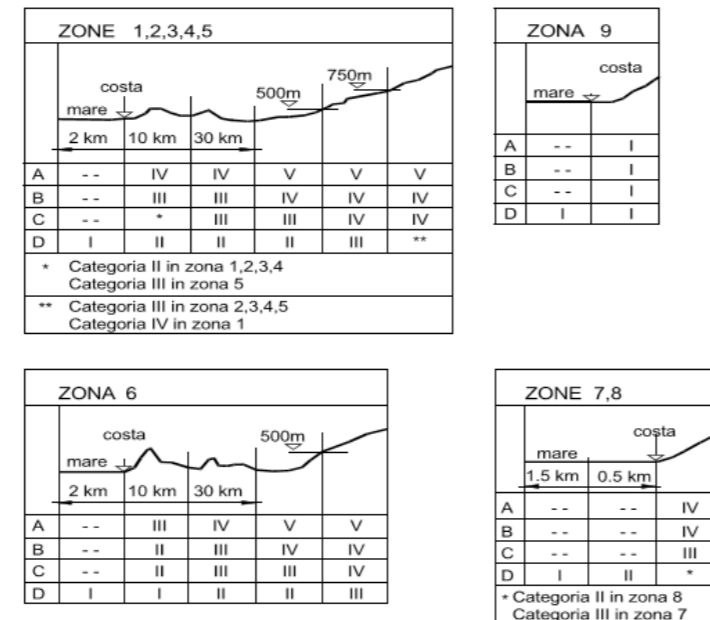


Figura 3.3.2 - Definizione delle categorie di esposizione

| z [m] | c_e |
|------------|-------|
| 1 | 1,354 |
| 2 | 1,354 |
| 3 | 1,354 |
| 4 | 1,354 |
| 5 | 1,354 |
| 6 | 1,354 |
| 7 | 1,354 |
| 8 | 1,354 |
| 9 | 1,354 |
| 10 | 1,354 |
| 11 | 1,354 |
| 12 | 1,354 |
| 13 | 1,403 |
| 14 | 1,449 |
| 15 | 1,493 |
| 16 | 1,534 |
| 17 | 1,573 |
| 18 | 1,610 |

COEFFICIENTE DINAMICO

Il coefficiente dinamico tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura. Esso può essere assunto caute-

lativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza.

COEFFICIENTE DI FORMA

Il coefficiente di forma si divide in coefficiente di forma interno e coefficiente di forma esterno ed è differente a seconda che si consideri la faccia sopravvento, la faccia sottovento o le facce laterali. Nel nostro caso si considera esclusivamente il coefficiente di forma esterno, quindi di conseguenza la pressione esterna del vento, in quanto, come indicato nel paragrafo 4 della CNR-DT 207-2008, per edifici con aperture controllate, ovvero con possibilità di essere chiuse in caso di necessità, si può trascurare il contributo delle pressioni interne.

Nei calcoli del coefficiente di forma, e quindi della forza del vento, l'edificio è stato considerato come regolare in pianta, per semplicità di calcolo.

Il coefficiente di forma esterno dipende dal rapporto h/d , dove h è l'altezza dell'edificio e d è la lunghezza del lato dell'edificio parallelo alla direzione del vento, ed è dato da:

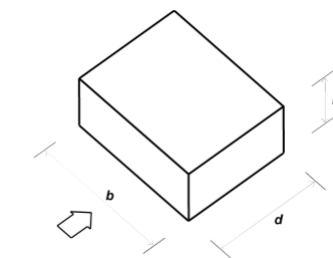


Figura G.1 – Parametri caratteristici di edifici a pianta rettangolare.

Tabella G.I – Edifici a pianta rettangolare: c_{pe} per facce sopravvento, sottovento e laterali.

| Faccia sopravvento | Facce laterali | Faccia sottovento |
|---|--|---|
| $h/d \leq 1$: $c_{pe} = 0,7 + 0,1 \cdot h/d$ | $h/d \leq 0,5$: $c_{pe} = -0,5 - 0,8 \cdot h/d$ | $h/d \leq 1$: $c_{pe} = -0,3 - 0,2 \cdot h/d$ |
| $h/d > 1$: $c_{pe} = 0,8$ | $h/d > 0,5$: $c_{pe} = -0,9$ | $1 < h/d \leq 5$: $c_{pe} = -0,5 - 0,05 \cdot (h/d - 1)$ |

I valori che si ottengono per il nostro caso sono:

| CASO 1 d = 19,4 m b = 42 m h/d = 0,93 | |
|---|--------|
| <i>cpe sopravento</i> | 0,793 |
| <i>cpe sottovento</i> | -0,486 |
| <i>cpe facce laterali</i> | -0,9 |

| CASO 2 d = 42 m b = 19,4 m h/d = 0,43 | |
|---|--------|
| <i>cpe sopravento</i> | 0,743 |
| <i>cpe sottovento</i> | -0,386 |
| <i>cpe facce laterali</i> | -0,844 |

PRESSIONE DEL VENTO

È possibile infine, calcolati tutti i coefficienti necessari e la pressione cinetica di riferimento, trovare il valore della pressione del vento data dalla formula:

$$p = q_b c_e c_p c_d$$

In quanto dipendente dal coefficiente di esposizione c_e fino ad una altezza di 12 m sarà costante, mentre successivamente, al crescere dell'altezza, aumenterà in modo parabolico.

In seguito sono tabellati i valori della pressione del vento, in relazione anche ai due casi differenti considerati per il calcolo del coefficiente di forma.

| <i>z</i> [m] | <i>c_e</i> | <i>p_{1sopravento}</i> [N/m ²] | <i>p_{1sottovento}</i> [N/m ²] | <i>p_{2sopravento}</i> [N/m ²] | <i>p_{2sottovento}</i> [N/m ²] |
|-----------------|----------------------|---|---|---|---|
| 1 | 1,354 | 419,279 | -256,961 | 392,843 | -204,088 |
| 2 | 1,354 | 419,279 | -256,961 | 392,843 | -204,088 |
| 3 | 1,354 | 419,279 | -256,961 | 392,843 | -204,088 |
| 4 | 1,354 | 419,279 | -256,961 | 392,843 | -204,088 |
| 5 | 1,354 | 419,279 | -256,961 | 392,843 | -204,088 |
| 6 | 1,354 | 419,279 | -256,961 | 392,843 | -204,088 |
| 7 | 1,354 | 419,279 | -256,961 | 392,843 | -204,088 |
| 8 | 1,354 | 419,279 | -256,961 | 392,843 | -204,088 |
| 9 | 1,354 | 419,279 | -256,961 | 392,843 | -204,088 |
| 10 | 1,354 | 419,279 | -256,961 | 392,843 | -204,088 |
| 11 | 1,354 | 419,279 | -256,961 | 392,843 | -204,088 |
| 12 | 1,354 | 419,279 | -256,961 | 392,843 | -204,088 |
| 13 | 1,403 | 434,596 | -266,348 | 407,194 | -211,544 |
| 14 | 1,449 | 448,948 | -275,144 | 420,641 | -218,530 |
| 15 | 1,493 | 462,458 | -283,423 | 433,299 | -225,106 |
| 16 | 1,534 | 475,224 | -291,247 | 445,261 | -231,320 |
| 17 | 1,573 | 487,330 | -298,667 | 456,603 | -237,213 |
| 18 | 1,610 | 498,845 | -305,724 | 467,392 | -242,817 |

4.1.4 CARICHI VARIABILI: Azione del vento copertura

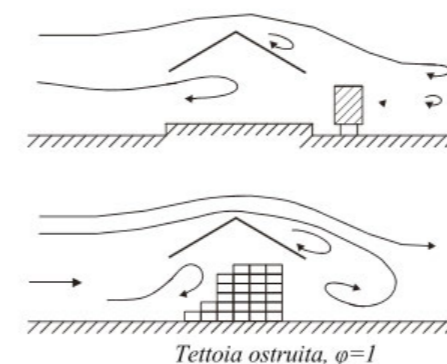
Per il calcolo dell'azione del vento sulla copertura, data la sua particolare conformazione, ci si è dovuti ricondurre al caso della tettoia, con riferimento alla CNR-DT 207-2008.

Come prima cosa bisogna valutare il grado di bloccaggio φ , ovvero il rapporto tra l'area esposta al vento di un'eventuale ostruzione presente al di sotto della tettoia e l'area totale della superficie ortogonale alla direzione del vento al di sotto della tettoia. Si identificano due situazioni limite:

– $\varphi=0$ corrisponde all'assenza di ostruzioni al di sotto della tettoia (tettoia libera);

– $\varphi=1$ corrisponde alla situazione in cui lo spazio al di sotto della tettoia risulti completamente ostruito.

La copertura in esame rientra nella categoria di $\varphi=1$, dove l'ostruzione è rappresentata dal blocco servizi che arriva fino in copertura.



Considerando il caso di tettoia a doppia falda, dobbiamo calcolare il coefficiente di forza. Quest'ultimo dipende dal grado di ostruzione e dall'inclinazione delle falde, come mostrato nella tabella G.XIII della CNR.

Tabella G.XIII – Coefficienti di forza per tettoie a doppia falda (α in °).

| Valori positivi | Tutti i valori di φ | $c_F = +0,2 + 0,7 \cdot \alpha /30$ | |
|-----------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Valori negativi | $\varphi = 0$ | $\alpha \leq 0^\circ$ | $c_F = -0,5 + 0,1 \cdot \alpha/10$ |
| | $\varphi = 1$ | $\alpha \geq 0^\circ$ | $c_F = -0,5 - 0,2 \cdot \alpha/10$ |
| | | tutti i valori di α | $c_F = -1,4$ |

Essendo nel caso di $\varphi=1$ e $\alpha = 10^\circ$, risulta:

$$c_F^- = -1,4$$

$$c_F^+ = +0,43$$

Per il calcolo della pressione del vento, necessaria successivamente per il calcolo della forza agente, è necessario calcolare il coefficiente di forma per copertura a doppia falda, sempre secondo le direttive della CNR, mentre il coefficiente di esposizione è quello calcolato in precedenza.

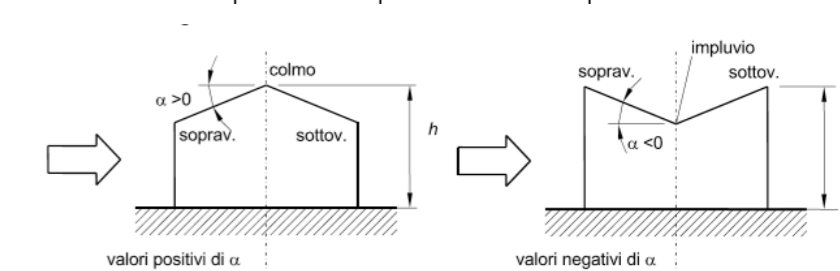


Figura G.9 – Schema di riferimento per coperture a doppia falda.

Tabella G.V – Coefficienti di pressione per coperture a doppia falda (α in °): falda sottovento.

| | |
|--|------------------------------------|
| $-75^\circ \leq \alpha \leq -15^\circ$ | $c_{pe} = -0,85 + (\alpha+60)/180$ |
| $-15^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$ | $c_{pe} = -0,6$ |
| $15^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$ | $c_{pe} = -0,6 + (\alpha-15)/100$ |
| $45^\circ \leq \alpha$ | $c_{pe} = -0,3$ |

Tabella G.VI – Coefficienti di pressione per coperture a doppia falda (α in $^\circ$):
vento in direzione parallela al colmo.

| | | |
|---|--|-------------------------------------|
| Fascia sopravento di profondità pari al minimo tra $b/2$ ed h | $\alpha \leq -30^\circ$ | $c_{pe,A} = -1,0$ |
| | $-30^\circ \leq \alpha \leq 0^\circ$ | $c_{pe,A} = -0,8 + \alpha/150$ |
| | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ | $c_{pe,A} = -0,8 - \alpha/150$ |
| Restanti zone: | $30^\circ \leq \alpha$ | $c_{pe,A} = -1,0$ |
| | $-45^\circ \leq \alpha \leq -30^\circ$ | $c_{pe,B} = -0,9$ |
| | $-30^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$ | $c_{pe,B} = -0,9 + (\alpha+30)/100$ |
| | $10^\circ \leq \alpha$ | $c_{pe,B} = -0,5$ |

È quindi possibile calcolare la forza del vento agente sulla copertura:

$$F = p(z) L^2 c_F$$

p è la pressione del vento

L^2 è l'area della falda su cui è applicata la forza

la cui direzione è così schematizzata della CNR:

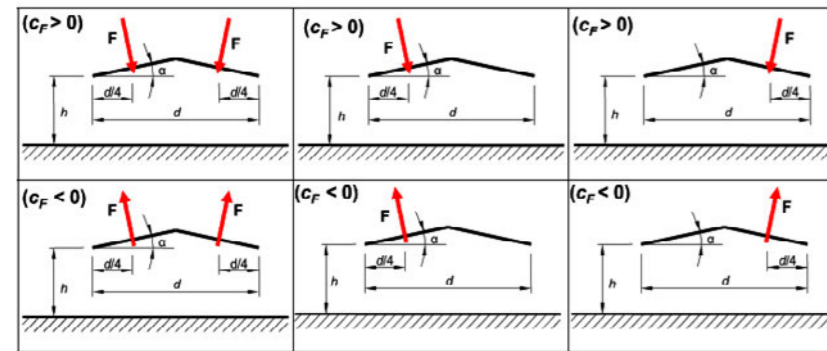
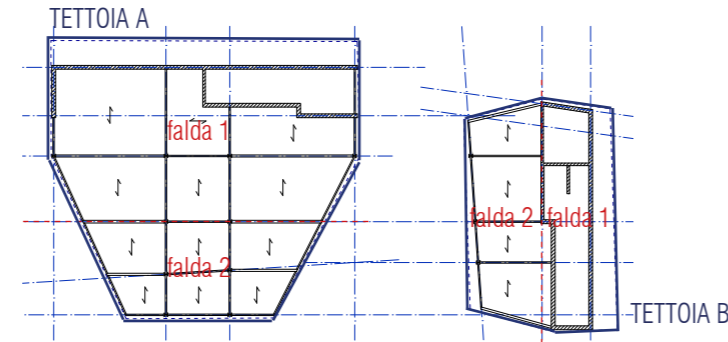


Figura G.29a – Tettoie a doppia falda: posizione del punto di applicazione delle forze risultanti in funzione della direzione della forza – schema per $\alpha > 0^\circ$.

Vengono riportati in seguito i valori corrispondenti alle due diverse coperture-tettoie del centro civico.

Si noti come, avendo il coefficiente di forma, sopravento e sottovento, con segno negativo, le forze saranno ribaltate rispetto quanto schematizzato dalla figura G.29a.



| | TETTOIA A Falda 1 | TETTOIA A Falda 2 | TETTOIA B Falda 1 | TETTOIA B Falda 2 |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| c_e | 1,610 | 1,610 | 1,610 | 1,610 |
| $q_b [N/m^2]$ | 390,625 | 390,625 | 390,625 | 390,625 |
| c_{pe} sopravento | -0,870 | -0,870 | -0,870 | -0,870 |
| c_{pe} sottovento | -0,600 | -0,600 | -0,600 | -0,600 |
| $p_{sopravento} [N/m^2]$ | -547,283 | -547,283 | -547,283 | -547,283 |
| $p_{sottovento} [N/m^2]$ | -377,437 | -377,437 | -377,437 | -377,437 |
| $L^2 [m^2]$ | 345,600 | 156,500 | 100,000 | 98,000 |
| $F^+ [N]$ | -56090,084 | -36829,405 | -16229,770 | -23062,503 |
| $F^+ [N/m^2]$ | -162,298 | -235,332 | -162,298 | -235,332 |
| $F^- [N]$ | 182618,877 | 119909,689 | 52841,110 | 75087,217 |
| $F^- [N/m^2]$ | 528,411 | 766,196 | 528,411 | 766,196 |

4.1.5 CARICHI VARIABILI: Neve

Per il calcolo del carico della neve si fa riferimento alle NTC08.

L'azione della neve si ottiene con la formula:

$$q_s = \mu_i q_{sk} C_E C_t$$

μ_i è il coefficiente di forma della copertura

q_{sk} è il valore caratteristico del carico di neve al suolo con un periodo di ritorno di 50 anni

C_E è il coefficiente di esposizione

C_t è il coefficiente termico.

Nella tabella 3.4.II della norma è riportato il valore del coefficiente di forma in relazione all'inclinazione della/e falda/e. Il nostro edificio, come già visto per il calcolo dell'azione del vento, ha copertura a doppia falda.

Tabella 3.4.II – Valori del coefficiente di forma

| Coefficiente di forma | $0^\circ \leq \alpha < 30^\circ$ | $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ | $\alpha \geq 60^\circ$ |
|-----------------------|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| μ_i | 0,8 | $0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$ | 0,0 |

Il valore caratteristico del carico di neve al suolo invece dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona. In mancanza di adeguate indagini statistiche e specifici studi locali, che tengano conto sia dell'altezza del manto nevoso che della sua densità, il carico di riferimento neve al suolo, per località poste a quota inferiore a 1500 m sul livello del mare, non dovrà essere assunto minore di quello calcolato in base alle espressioni riportate nel seguito, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni.

Milano è collocata in Zona I Mediterranea, quindi il valore caratteristico e così calcolato:

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2 \quad \text{se } a_s \leq 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 1,35 [1 + (a_s/602)^2] \text{ kN/m}^2 \quad \text{se } a_s > 200 \text{ m}$$

L'altitudine a_s , come abbiamo già visto, è 121 m. Avremo quindi:

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$$

Nella Tabella 3.4.I si ricava invece il valore del coefficiente di esposizione.

Tabella 3.4.I – Valori di C_E per diverse classi di topografia

| Topografia | Descrizione | C_E |
|-------------------|---|-------|
| Battuta dai venti | Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti. | 0,9 |
| Normale | Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi. | 1,0 |
| Riparata | Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti | 1,1 |

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato $C_t = 1$.

Noti tutti i fattori che entrano nel calcolo del carico della neve avremo:

$$q_s = 1,20 \text{ kN/m}^2$$

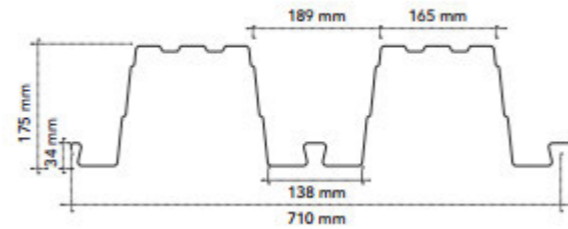
4.2 SOLAI IN LAMIERA GRECATA

La scelta del solaio è ricaduta su una soluzione a secco con lamiera grecata priva di getto collaborante. Su di essa agiranno i carichi dovuti ad affollamento, stratigrafia e partizioni verticali, quindi:

$$q = 3 \text{ kN/m}^2 + 1,5 \text{ kN/m}^2 + 0,8 \text{ kN/m}^2 = 5,3 \text{ kN/m}^2$$

La luce massima che la lamiera grecata dovrà coprire è di 4,5 m, singola campata.

La scelta è ricaduta sulla lamiera EGB 2000 GL, sp. 1 mm, di Marcegaglia, studiata per grandi luci, di cui vengono riportate le caratteristiche principali. L'acciaio che costituisce la lamiera è di tipo S250GD e l'approccio di calcolo utilizzato è quello dell'Eurocodice 3, parte 1-3 "Regole supplementari per elementi sottili formati a freddo".



| EGB 2000® GL | | |
|--|-------------------|-------|
| Caratteristiche del profilo Section properties | | |
| Spessore Thickness | Peso Weight | |
| mm | kg/m ² | kg/m |
| 0,8 | 13,27 | 9,42 |
| 1,0 | 16,58 | 11,77 |
| 1,2 | 19,90 | 14,13 |
| 1,35 | 22,38 | 15,80 |

| EGB 2000® GL | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Spessore Thickness | Distanza fra gli appoggi in m - Supports spacing (m) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4,00 | 4,25 | 4,50 | 4,75 | 5,00 | 5,25 | 5,50 | 5,75 | 6,00 | 6,25 | 6,50 | 6,75 | 7,00 | 7,25 | 7,50 | 7,75 | 8,00 |
| 0,8 | 5,89 | 5,03 | 4,22 | 3,57 | 3,04 | 2,61 | 2,25 | 1,96 | 1,70 | 1,49 | 1,31 | 1,16 | 1,02 | 0,91 | 0,81 | 0,72 | 0,64 |
| | | 5,20 | 4,63 | 4,14 | 3,73 | 3,37 | 3,06 | 2,79 | 2,55 | 2,34 | 2,16 | 1,99 | 1,84 | 1,71 | 1,59 | 1,48 | 1,38 |
| 1,0 | 7,58 | 6,29 | 5,27 | 4,46 | 3,80 | 3,26 | 2,81 | 2,44 | 2,13 | 1,87 | 1,64 | 1,45 | 1,28 | 1,14 | 1,01 | 0,90 | 0,80 |
| | | 7,74 | 6,84 | 6,08 | 5,45 | 4,90 | 4,43 | 4,02 | 3,67 | 3,36 | 3,08 | 2,84 | 2,62 | 2,43 | 2,25 | 2,10 | 1,95 |
| 1,2 | 9,09 | 7,54 | 6,32 | 5,35 | 4,56 | 3,91 | 3,37 | 2,93 | 2,55 | 2,24 | 1,97 | 1,73 | 1,54 | 1,36 | 1,21 | 1,08 | 0,96 |
| | | 9,40 | 8,31 | 7,39 | 6,61 | 5,95 | 5,38 | 4,89 | 4,46 | 4,08 | 3,75 | 3,45 | 3,19 | 2,95 | 2,74 | 2,55 | 2,37 |
| 1,35 | 10,21 | 8,47 | 7,10 | 6,01 | 5,12 | 4,39 | 3,79 | 3,29 | 2,87 | 2,51 | 2,21 | 1,95 | 1,72 | 1,53 | 1,36 | 1,21 | 1,08 |
| | | 10,69 | 9,45 | 8,41 | 7,52 | 6,77 | 6,12 | 5,56 | 5,07 | 4,64 | 4,26 | 3,93 | 3,63 | 3,36 | 3,12 | 2,90 | 2,70 |

4.3 PREDIMENSIONAMENTO E VERIFICA TRAVI IN ACCIAIO

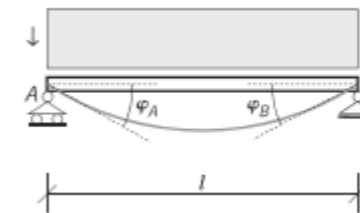
Per il dimensionamento delle travi in acciaio è stato considerato il secondo impalcato, in quanto quello con maggiore superficie calpestabile.

Essendo la struttura completamente irregolare è stata effettuato predimensionamento e successiva verifica di un numero consistente di travi, soprattutto nel caso delle travi secondarie. Ci sono anche casi di travi che fungono sia da primarie sia da secondarie, in cui quindi si ha la sovrapposizione di carico concentrato e carico distribuito, le cui tabelle di dimensionamento e verifica sono state inserite nel sottocapitolo delle travi primarie.

Sia il predimensionamento sia la verifica seguono le formulazioni e le direttive delle NTC08.

4.3.1 TRAVI SECONDARIE

Il predimensionamento e la verifica seguono uno schema statico appoggio-appoggio con carico uniformemente distribuito.



$$M_{max} = \frac{ql^2}{8} \text{ in mezzera}$$

$$V_{max} = \frac{ql}{2}$$

$$\varphi_A = -\varphi_B = \frac{ql^3}{24EI}$$

$$\delta_d = \delta_{V/2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EI}$$

Il carico distribuito è costituito dalla somma dei contributi dei carichi agenti e del peso strutturale della soletta stessa. Il peso di superficie agente sulla trave, è stato moltiplicato per la larghezza di influenza, ottenendo così il carico lineare necessario per i calcoli.

Per la fase di predimensionamento ci si è riferiti al calcolo con metodo elastico. Con riferimento al paragrafo 4.2.4.1.2 della NTC08 si ha che:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Per lo schema statico considerato:

$$M_{c,Rd} = p l^2 / 8$$

Invertendo la formula da normativa si è calcolato il valore di $W_{el} = W$, relativo a questa specifica condizione di carico. Confrontandolo con i valori forniti dalle tabelle contenenti i valori caratteristici delle sezioni IPE si è scelto il profilo che soddisfacesse tale valore di W calcolato

Per quanto riguarda il coefficiente γ_{M0} si è fatto riferimento alla relativa tabella delle NTC08 riportata qui di seguito, ipotizzando, in via preliminare, di utilizzare esclusivamente profili in classe 1 o 2.

Tabella 4.2.V Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità

| | |
|---|----------------------|
| Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4 | $\gamma_{M0} = 1,05$ |
| Resistenza all'instabilità delle membrature | $\gamma_{M1} = 1,05$ |
| Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari | $\gamma_{M1} = 1,10$ |
| Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori) | $\gamma_{M2} = 1,25$ |

Effettuato il predimensionamento le travi vanno verificate allo stato limite di esercizio e allo stato limite ultimo.

Per quanto riguarda le verifiche allo SLE bisogna controllare la freccia massima a cui è soggetta la trave e controllare che questa non superi il valore limite fornito dalla normativa.

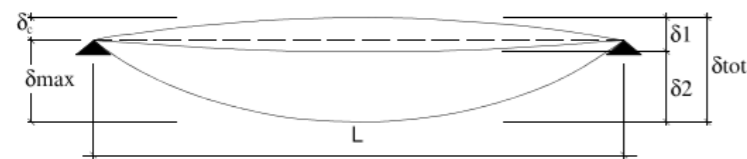


Figura 4.2.1 - Definizione degli spostamenti verticali per le verifiche in esercizio

essendo:

- δ_c la monta iniziale della trave,
- δ_1 lo spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti,
- δ_2 lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili,
- δ_{max} lo spostamento nello stato finale, depurato della monta iniziale = $\delta_{tot} - \delta_c$.

Tabella 4.2.X Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie

| Elementi strutturali | Limiti superiori per gli spostamenti verticali | |
|--|--|----------------------|
| | $\frac{\delta_{max}}{L}$ | $\frac{\delta_2}{L}$ |
| Coperture in generale | $\frac{1}{200}$ | $\frac{1}{250}$ |
| Coperture praticabili | $\frac{1}{250}$ | $\frac{1}{300}$ |
| Solai in generale | $\frac{1}{250}$ | $\frac{1}{300}$ |
| Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili | $\frac{1}{250}$ | $\frac{1}{350}$ |
| Solai che supportano colonne | $\frac{1}{400}$ | $\frac{1}{500}$ |
| Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio | $\frac{1}{250}$ | |

In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.

Per lo schema statico adottato la freccia sarà:

$$\delta_{max} = (5 / 384) * ((g_t + g + q) L^4) / E I$$

$$\delta_2 = (5 / 384) * (q L^4) / E I$$

- g_t carico proprio della trave
- g carichi permanenti
- q carichi variabili

Se la verifica non dovesse essere soddisfatta con la IPE scelta nella fase di predimensionamento, si varia il profilo IPE fino al raggiungimento della freccia consentita da normativa.

Le verifiche allo SLU sono due: verifica a flessione retta e verifica a taglio. I carichi in questo caso dovranno essere moltiplicati per i coefficienti che derivano dalle combinazioni di carico: 1,3 per carichi permanenti strutturali, 1,5 per carichi permanenti non strutturali e per carichi variabili.

Per soddisfare la verifica a flessione retta deve risultare:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Poiché lo SLU si riferisce ad una condizione di collasso della struttura, ci si riferisce per l'acciaio al limite di plasticizzazione dello stesso, quindi:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Per poter invece essere verificata a taglio la trave, deve verificarsi che:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

La resistenza a taglio in assenza di torsione è data dalla formula:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

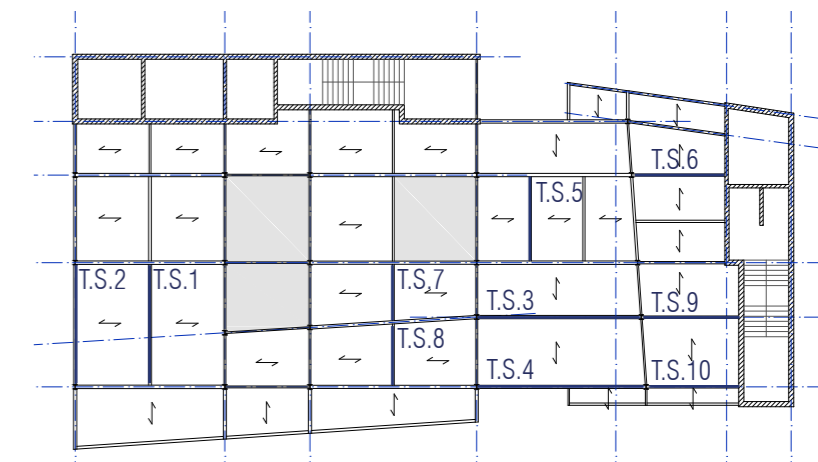
Per profili I e H caricati nel piano dell'anima di può assumere:

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f$$

Le travi che sono state prese in esame sono evidenziate e numerate nell'immagine a lato.

Ad ogni trave corrisponde una schema con relativo predimensionamento, verifica della freccia, verifica a flessione retta e verifica a taglio, e quindi profilo adottato.

In fase di stesura di tutto lo schema delle travi dell'intero piano è stata fatta un'omogeneizzazione dei profili utilizzati.



TRAVE T.S.1: IPE 360

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico | Influenza | ρ | l | M | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|----------------------|-----------|--------|-----|---------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m ²] | [m] | [kN/m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 5,306 | 4,2 | 22,284 | 7,3 | 148,437 | 275000 | 1,05 | 0,00056676015 |

VERIFICA SLE

| $g_{t,360}$ | g_t | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|----------|--------|--------|----------------------|-------------------|-----------|-------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 57,1 | 0,560151 | 9,684 | 12,6 | 210000000 | 0,0001627 | 0,025 | 0,014 | 0,029 | 0,024 |

VERIFICA SLU Flessione Retta

| M_{ed} | W_{pl} | f_{yk} | γ_{M0} | $M_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kNm] | [m ³] | [kPa] | [adm] | [kNm] |
| 211,4663834 | 0,0009036 | 275000 | 1,05 | 236,6571429 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} | A | b | t_w | t_f | r | A_v | f_{yk} | γ_{M0} | $V_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|------|-------|--------|-------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kN] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ²] | [kPa] | [adm] | [kN] |
| 115,8719909 | 0,007273 | 0,17 | 0,008 | 0,0127 | 0,018 | 0,0035138 | 275000 | 1,05 | 531,3244556 |

TRAVE T.S.2: IPE 330

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico | Influenza | ρ | l | M | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|----------------------|-----------|-------------|-----|------------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m ²] | [m] | [kN/m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 6,4396748 | 2,1 | 13,52331708 | 7,3 | 90,0821959 | 275000 | 1,05 | 0,00034395020 |

VERIFICA SLE

| $g_{t,330}$ | g_t | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|----------|--------|--------|----------------------|-------------------|-----------|-------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 49,1 | 0,481671 | 7,223 | 6,3 | 210000000 | 0,0001177 | 0,021 | 0,009 | 0,029 | 0,024 |

VERIFICA SLU Flessione Retta

| M_{ed} | W_{pl} | f_{yk} | γ_{M0} | $M_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kNm] | [m ³] | [kPa] | [adm] | [kNm] |
| 131,5429153 | 0,0007131 | 275000 | 1,05 | 186,7642857 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} | A | b | t_w | t_f | r | A_v | f_{yk} | γ_{M0} | $V_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|------|--------|--------|-------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kN] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ²] | [kPa] | [adm] | [kN] |
| 72,07830974 | 0,006261 | 0,16 | 0,0075 | 0,0115 | 0,018 | 0,00308125 | 275000 | 1,05 | 465,9182306 |

TRAVE T.S.3: IPE 450

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico | Influenza | ρ | l | M | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|----------------------|-----------|-------------|-----|-------------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m ²] | [m] | [kN/m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 5,306 | 3,65 | 19,36558162 | 9,5 | 218,4679677 | 275000 | 1,05 | 0,00083415042 |

VERIFICA SLE

| $g_{t,450}$ | g_t | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|----------|--------|--------|----------------------|-------------------|-----------|-------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 77,6 | 0,761256 | 8,416 | 10,95 | 210000000 | 0,0003374 | 0,030 | 0,016 | 0,038 | 0,032 |

VERIFICA SLU Flessione Retta

| M_{ed} | W_{pl} | f_{yk} | γ_{M0} | $M_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kNm] | [m ³] | [kPa] | [adm] | [kNm] |
| 315,8778929 | 0,0015 | 275000 | 1,05 | 392,8571429 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} | A | b | t_w | t_f | r | A_v | f_{yk} | γ_{M0} | $V_{c,rd}$ |
|------------|-------------------|------|--------|--------|-------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kN] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ²] | [kPa] | [adm] | [kN] |
| 133,001218 | 0,009882 | 0,19 | 0,0094 | 0,0146 | 0,021 | 0,00508444 | 275000 | 1,05 | 768,8221626 |

TRAVE T.S.4: IPE 400

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico | Influenza | ρ | l | M | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|----------------------|-----------|-------------|-----|-------------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m ²] | [m] | [kN/m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 6,4396748 | 2,05 | 13,20133334 | 9,8 | 158,4820067 | 275000 | 1,05 | 0,00060511312 |

VERIFICA SLE

| $g_{t,400}$ | g_t | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|----------|--------|--------|----------------------|-------------------|-----------|-------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 66,3 | 0,650403 | 7,051 | 6,15 | 210000000 | 0,0002313 | 0,034 | 0,015 | 0,039 | 0,033 |

VERIFICA SLU Flessione Retta

| M_{ed} | W_{pl} | f_{yk} | γ_{M0} | $M_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kNm] | [m ³] | [kPa] | [adm] | [kNm] |
| 234,6689921 | 0,001156 | 275000 | 1,05 | 302,7619048 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} | A | b | t_w | t_f | r | A_v | f_{yk} | γ_{M0} | $V_{c,rd}$ |
|------------|-------------------|------|--------|--------|-------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kN] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ²] | [kPa] | [adm] | [kN] |
| 95,7832621 | 0,008446 | 0,18 | 0,0086 | 0,0135 | 0,021 | 0,0042691 | 275000 | 1,05 | 645,5339613 |

TRAVE T.S.5: IPE 240

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico | Influenza | ρ | l | M | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|----------------------|-----------|-------------|------|------------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m ²] | [m] | [kN/m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 5,306 | 3,15 | 16,71276222 | 5,15 | 55,4080295 | 275000 | 1,05 | 0,00021155793 |

VERIFICA SLE

| $g_{t,240}$ | g_t | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|----------|--------|--------|----------------------|-------------------|-----------|-------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 30,7 | 0,301167 | 7,263 | 9,45 | 210000000 | 0,00003892 | 0,019 | 0,011 | 0,021 | 0,017 |

VERIFICA SLU Flessione Retta

| M_{ed} | W_{pl} | f_{yk} | γ_{M0} | $M_{c,rd}$ |
|------------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kNm] | [m ³] | [kPa] | [adm] | [kNm] |
| 78,3437977 | 0,0003243 | 275000 | 1,05 | 84,93571429 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} | A | b | t_w | t_f | r | A_v | f_{yk} | γ_{M0} | $V_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|------|--------|--------|-------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kN] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ²] | [kPa] | [adm] | [kN] |
| 60,84955161 | 0,003912 | 0,12 | 0,0062 | 0,0098 | 0,015 | 0,00191476 | 275000 | 1,05 | 289,5323623 |

TRAVE T.S.6: IPE 240

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico | Influenza | ρ | l | M | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|----------------------|-----------|------------|------|-------------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m ²] | [m] | [kN/m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 5,306 | 2,75 | 14,5905067 | 5,25 | 50,26885511 | 275000 | 1,05 | 0,00019193563 |

VERIFICA SLE

| $g_{t,240}$ | g_t | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|----------|--------|--------|----------------------|-------------------|-----------|-------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 30,7 | 0,301167 | 6,341 | 8,25 | 210000000 | 0,00003892 | 0,018 | 0,010 | 0,021 | 0,018 |

VERIFICA SLU Flessione Retta

| M_{ed} | W_{pl} | f_{yk} | γ_{M0} | $M_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kNm] | [m ³] | [kPa] | [adm] | [kNm] |
| 71,27493869 | 0,0003243 | 275000 | 1,05 | 84,93571429 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} | A | b | t_w | t_f | r | A_v | f_{yk} | γ_{M0} | $V_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|------|--------|--------|-------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kN] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ²] | [kPa] | [adm] | [kN] |
| 54,30471519 | 0,003912 | 0,12 | 0,0062 | 0,0098 | 0,015 | 0,00191476 | 275000 | 1,05 | 289,5323623 |

TRAVE T.S.7: IPE 220

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico | Influenza | ρ | l | M | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|----------------------|-----------|-----------|------|-------------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m ²] | [m] | [kN/m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 5,306 | 5 | 26,528194 | 3,47 | 39,92791639 | 275000 | 1,05 | 0,00015245204 |

VERIFICA SLE

| $g_{t,200}$ | g_t | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|----------|--------|--------|----------------------|-------------------|-----------|-------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 22,4 | 0,219744 | 11,528 | 15 | 210000000 | 0,00001943 | 0,012 | 0,007 | 0,014 | 0,012 |

VERIFICA SLU Flessione Retta IPE 220

| M_{ed} | W_{pl} | f_{yk} | γ_{M0} | $M_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|----------|---------------|------------|
| [kNm] | [m ³] | [kPa] | [adm] | [kNm] |
| 55,87264625 | 0,000252 | 275000 | 1,05 | 66 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} | A | b | t_w | t_f | r | A_v | f_{yk} | γ_{M0} | $V_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|------|--------|--------|-------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kN] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ²] | [kPa] | [adm] | [kN] |
| 64,40650865 | 0,003337 | 0,11 | 0,0059 | 0,0092 | 0,012 | 0,00158808 | 275000 | 1,05 | 240,1348231 |

TRAVE T.S.8: IPE 240

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico | Influenza | ρ | l | M | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|----------------------|-----------|-----------|------|-------------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m ²] | [m] | [kN/m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 5,306 | 5 | 26,528194 | 3,82 | 48,38875227 | 275000 | 1,05 | 0,00018475705 |

VERIFICA SLE

| $g_{t,220}$ | g_t | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|----------|--------|--------|----------------------|-------------------|-----------|-------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 26,2 | 0,257022 | 11,528 | 15 | 210000000 | 0,00002772 | 0,013 | 0,007 | 0,015 | 0,013 |

VERIFICA SLU Flessione Retta IPE 240

| M_{ed} | W_{pl} | f_{yk} | γ_{M0} | $M_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kNm] | [m ³] | [kPa] | [adm] | [kNm] |
| 67,81420987 | 0,0003243 | 275000 | 1,05 | 84,93571429 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} | A | b | t_w | t_f | r | A_v | f_{yk} | γ_{M0} | $V_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|------|--------|--------|-------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kN] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ²] | [kPa] | [adm] | [kN] |
| 71,00964384 | 0,003912 | 0,12 | 0,0062 | 0,0098 | 0,015 | 0,00191476 | 275000 | 1,05 | 289,5323623 |

TRAVE T.S.9: IPE 270

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico | Influenza | ρ | l | M | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|----------------------|-----------|-------------|-----|-------------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m ²] | [m] | [kN/m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 5,306 | 3,7 | 19,63086356 | 5,7 | 79,72584463 | 275000 | 1,05 | 0,00030440777 |

VERIFICA SLE

| $g_{t,270}$ | g_t | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|----------|--------|--------|----------------------|-------------------|-----------|-------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 36,1 | 0,354141 | 8,531 | 11,1 | 210000000 | 0,0000579 | 0,023 | 0,013 | 0,023 | 0,019 |

VERIFICA SLU Flessione Retta IPE 300

| M_{ed} | W_{pl} | f_{yk} | γ_{M0} | $M_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kNm] | [m ³] | [kPa] | [adm] | [kNm] |
| 112,7301747 | 0,0005571 | 275000 | 1,05 | 145,9071429 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} | A | b | t_w | t_f | r | A_v | f_{yk} | γ_{M0} | $V_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|------|--------|--------|-------|-------------------|----------|---------------|------------|
| [kN] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ²] | [kPa] | [adm] | [kN] |
| 79,10889449 | 0,005381 | 0,15 | 0,0071 | 0,0107 | 0,015 | 0,00256797 | 275000 | 1,05 | 388,304759 |

TRAVE T.S.10: IPE 240

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico | Influenza | ρ | l | M | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|----------------------|-----------|-----------|-----|-------------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m ²] | [m] | [kN/m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 5,306 | 2,5 | 13,264097 | 5,6 | 51,99526024 | 275000 | 1,05 | 0,00019852736 |

VERIFICA SLE

| $g_{t,240}$ | g_t | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|----------|--------|--------|----------------------|-------------------|-----------|-------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 30,7 | 0,301167 | 5,764 | 7,5 | 210000000 | 0,00003892 | 0,021 | 0,012 | 0,022 | 0,019 |

VERIFICA SLU Flessione Retta

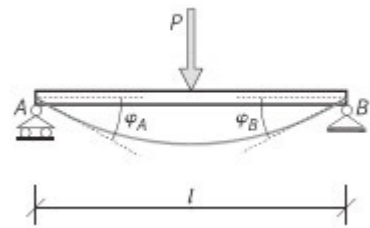
| M_{ed} | W_{pl} | f_{yk} | γ_{M0} | $M_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kNm] | [m ³] | [kPa] | [adm] | [kNm] |
| 73,88375232 | 0,0003243 | 275000 | 1,05 | 84,93571429 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} | A | b | t_w | t_f | r | A_v | f_{yk} | γ_{M0} | $V_{c,rd}$ |
|------------|-------------------|------|--------|--------|-------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kN] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ²] | [kPa] | [adm] | [kN] |
| 52,7741088 | 0,003912 | 0,12 | 0,0062 | 0,0098 | 0,015 | 0,00191476 | 275000 | 1,05 | 289,5323623 |

4.3.2 TRAVI PRIMARIE

Per il predimensionamento e la verifica delle travi primarie vale quanto già detto per quelle secondarie. Varia però lo schema statico, il valore del momento e quello della fraccia massima, che vengono riportati a seguire. Si è adottato uno schema statico di tipo appoggio-appoggio con carico concentrato in mezzeria equivalente al taglio trasferito dalla secondaria. Il carico da considerare è uguale a quello per le travi secondarie con l'aggiunta del peso della secondaria stessa.



$$M_{max} = \frac{Pl}{4} \text{ in mezzeria}$$

$$V_{max} = \frac{P}{2}$$

$$\varphi_A = -\varphi_B = \frac{Pl^2}{16EI}$$

$$\delta_d = \delta_{1/2} = \frac{Pl^3}{48EI}$$

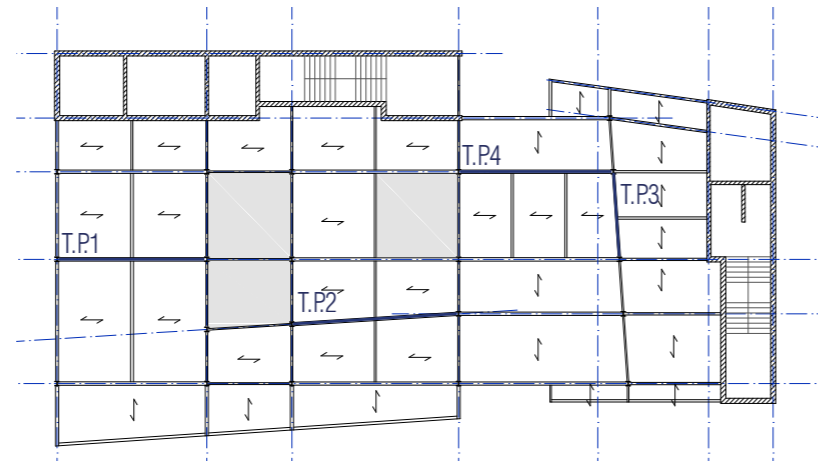
Per lo schema statico considerato:

$$M_{c,Rd} = pl / 4$$

Come per il caso precedente, le travi che sono state prese in esame sono evidenziate e numerate nell'immagine a lato.

Ad ogni trave corrisponde una scheda con relativo predimensionamento, verifica della freccia, verifica a flessione retta e verifica a taglio e profilo adottato.

In fase di stesura di tutto lo schema delle travi dell'intero piano è stata fatta un'omogenizzazione dei profili utilizzati.



TRAVE T.P.1: IPE 500

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico [kN/m] | Influenza [m] | p [kN] | l [m] | M [kNm] | f_{yk} [kN/m ²] | γ_{M0} [adm] | W_{pl} [m ³] |
|------------------|------------------|-------------|------------|--------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 22,84383396 | 6,2 | 141,6317706 | 8,4 | 297,4267182 | 275000 | 1,05 | 0,001135629 |

VERIFICA SLE

| g_t 450 [kg/m] | g_t [kN] | g [kN] | q [kN] | E [kN/m ²] | I [m ⁴] | d_{max} [m] | d_2 [m] | $L/250$ [m] | $L/300$ [m] |
|---------------------|---------------|-------------|-------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|--------------|----------------|----------------|
| 77,6 | 6,3945504 | 123,032 | 18,6 | 210000000 | 0,0003374 | 0,026 | 0,003 | 0,034 | 0,028 |

VERIFICA SLU Flessione Retta IPE 500

| M_{ed} [kNm] | W_{pl} [m ³] | f_{yk} [kPa] | γ_{M0} [adm] | $M_{c,Rd}$ [kNm] |
|-------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------|---------------------|
| 458,470911 | 0,001928 | 275000 | 1,05 | 504,952381 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} [kN] | A [m ²] | b [m] | t_w [m] | t_f [m] | r [m] | A_v [m ²] | f_{yk} [kPa] | γ_{M0} [adm] | $V_{c,Rd}$ [kN] |
|------------------|--------------------------|------------|--------------|--------------|------------|----------------------------|-------------------|------------------------|--------------------|
| 109,1597407 | 0,01155 | 0,2 | 0,0102 | 0,016 | 0,021 | 0,0059852 | 275000 | 1,05 | 905,0267891 |

TRAVE T.P2: IPE 450

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico [kN/m] | Influenza [m] | p [kN] | l [m] | M [kNm] | f_{yk} [kN/m ²] | γ_{M0} [adm] | W_{pl} [m ³] |
|------------------|------------------|-------------|------------|--------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 26,785216 | 3,65 | 97,7660384 | 9,8 | 239,5267941 | 275000 | 1,05 | 0,000914557 |

VERIFICA SLE

| $g_{t,450}$ [kg/m] | g_t [kN] | g [kN] | q [kN] | E [kN/m ²] | I [m ⁴] | d_{max} [m] | d_2 [m] | $L/250$ [m] | $L/300$ [m] |
|-----------------------|---------------|-------------|-------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|--------------|----------------|----------------|
| 77,6 | 7,4603088 | 86,816 | 10,95 | 210000000 | 0,0003374 | 0,029 | 0,003 | 0,039 | 0,033 |

VERIFICA SLU Flessione Retta

| M_{ed} [kNm] | W_{pl} [m ³] | f_{yk} [kPa] | γ_{M0} [adm] | $M_{c,rd}$ [kNm] |
|-------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------|---------------------|
| 381,341326 | 0,0015 | 275000 | 1,05 | 392,8571429 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} [kN] | A [m ²] | b [m] | t_w [m] | t_f [m] | r [m] | A_v [m ²] | f_{yk} [kPa] | γ_{M0} [adm] | $V_{c,rd}$ [kN] |
|------------------|--------------------------|------------|--------------|--------------|------------|----------------------------|-------------------|------------------------|--------------------|
| 77,8247604 | 0,009882 | 0,19 | 0,0094 | 0,0146 | 0,021 | 0,00508444 | 275000 | 1,05 | 768,8221626 |

TRAVE T.P3 (contemporaneità di carico concentrato e carico lineare): IPE 300

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico [kN/m] | Influenza [m] | p [kN] | l [m] | M [kNm] | f_{yk} [kN/m ²] | γ_{M0} [adm] | W_{pl} [m ³] | $W_{pl,TOT}$ [m ³] |
|------------------|------------------|-------------|------------|--------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 14,679 | 2,7 | 39,634 | 5,1 | 50,534 | | | 0,000192947 | |
| | | | | | 275000 | 1,05 | | 0,00026030342 |
| | 1,55 | 5,4259 | 5,1 | 17,641 | | | 0,00006735650 | |

VERIFICA SLE

| $g_{t,270}$ [kg/m] | g_t [kN] | g [kN] | q [kN] | E [kN/m ²] | I [m ⁴] | δ_{max} [m] | δ_2 [m] | $\delta_{max,TOT}$ [m] | $\delta_{2,TOT}$ [m] | $L/250$ [m] | $L/300$ [m] |
|-----------------------|---------------|-------------|-------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| 36,1 | 1,8061191 | 31,534 | 8,1 | 210000000 | 0,0003374 | 0,009 | 0,002 | 0,015 | 0,003 | 0,020 | 0,017 |
| | | 12,372 | 15,3 | | | 0,006 | 0,001 | | | | |

VERIFICA SLU Flessione Retta IPE 300

| M_{ed} [kNm] | W_{pl} [m ³] | $M_{c,rd}$ [kNm] |
|-------------------|-------------------------------|---------------------|
| 126,2107415 | 0,0005571 | 145,9071429 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} [kN] | A [m ²] | b [m] | t_w [m] | t_f [m] | r [m] | A_v [m ²] | $V_{c,rd}$ [kN] |
|------------------|--------------------------|------------|--------------|--------------|------------|----------------------------|--------------------|
| 49,49440844 | 0,005381 | 0,15 | 0,0071 | 0,0107 | 0,015 | 0,00256797 | 388,304759 |

TRAVE T.P4 (contemporaneità di carico concentrato e carico lineare): IPE 500

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico [kN/m] | Influenza [m] | p [kN] | l [m] | M [kNm] | f_{yk} [kN/m ²] | γ_{M0} [adm] | W_{pl} [m ³] | W_{plTOT} [m ³] |
|------------------|------------------|-------------|------------|--------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| 17,014 | 2,5 | 42,535 | 3,15 | 33,496 | | | 0,000127894 | |
| | | | | | 275000 | 1,05 | | 0,00043556124 |
| | 1,5 | 7,958 | 9 | 80,579 | | | 0,00030766676 | |

VERIFICA SLE

| g_{t450} [kg/m] | g_t [kN] | g [kN] | q [kN] | E [kN/m ²] | I [m ⁴] | δ_{max} [m] | δ_2 [m] | δ_{maxTOT} [m] | δ_{2TOT} [m] | $L/250$ [m] | $L/300$ [m] |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------|------------------------|----------------|----------------|
| 77,6 | 7,4603088 | 35,035 | 7,5 | 210000000 | 0,0003374 | 0,019 | 0,003 | 0,025 | 0,004 | 0,036 | 0,030 |
| | | 44,626 | 27 | | | 0,007 | 0,001 | | | | |

VERIFICA SLU Flessione Retta IPE 500

| M_{ed} [kNm] | W_{pl} [m ³] | $M_{c,rd}$ [kNm] |
|-------------------|-------------------------------|---------------------|
| 392,8913466 | 0,001928 | 504,952381 |

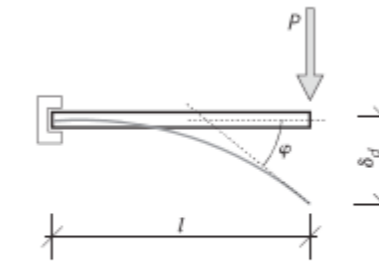
VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} [kN] | A [m ²] | b [m] | t_w [m] | t_f [m] | r [m] | A_v [m ²] | $V_{c,rd}$ [kN] |
|------------------|--------------------------|------------|--------------|--------------|------------|----------------------------|--------------------|
| 87,30918814 | 0,01155 | 0,2 | 0,0102 | 0,016 | 0,021 | 0,0059852 | 905,0267891 |

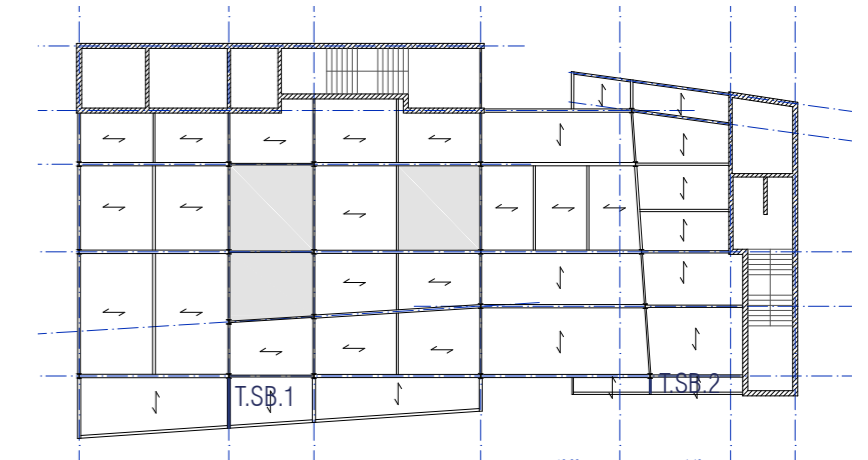
4.3.3 TRAVI A SBALZO

La parte di solaio a sbalzo è composta da travi di bordo su cui poggia la lamiera grecata, le quali sono sostenute da delle travi a sbalzo. Queste ultime sono quindi mensole con carico concentrato in uno dei due estremi, il cui schema statico è qui sotto illustrato. Per il calcolo si rimanda al medesimo procedimento adottato per travi primarie e travi secondarie, utilizzando i valori di momento e freccia corrispondenti a tale schema statico.

A lato sono indicate le due travi predimensionate e verificate, in questo caso, solo allo SLE. Nella pagina successiva sono inserite le tabelle di calcolo, ed è indicato il profilo adottato per i due casi.



$$M_{max} = Pl \quad V = P \quad \varphi = + \frac{Pl^2}{2EI} \quad \delta_d = + \frac{Pl^3}{3EI}$$



PREDIMENSIONAMENTO

| Carico [kN/m] | Influenza [m] | p [kN] | l [m] | M [kNm] | f_{yk} [kN/m ²] | γ_{M0} [adm] | W_{pl} [m ³] |
|------------------|------------------|-------------|------------|--------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 8,4401292 | 6,8 | 57,39287856 | 3 | 172,1786357 | 275000 | 1,05 | 0,000657409 |

VERIFICA SLE

| $g_{1,400}$ [kg/m] | g_i [kN] | g [kN] | q [kN] | E [kN/m ²] | I [m ⁴] | d_{max} [m] | d_2 [m] | $L/250$ [m] | $L/300$ [m] |
|-----------------------|---------------|-------------|-------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|--------------|----------------|----------------|
| 66,3 | 1,951209 | 36,993 | 20,4 | 210000000 | 0,0002313 | 0,010995755 | 0,003779878 | 0,012 | 0,01 |

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico [kN/m] | Influenza [m] | p [kN] | l [m] | M [kNm] | f_{yk} [kN/m ²] | γ_{M0} [adm] | W_{pl} [m ³] |
|------------------|------------------|-------------|------------|--------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 3,53752428 | 4,95 | 17,51074519 | 1,2 | 21,01289422 | 275000 | 1,05 | 8,02311E-05 |

VERIFICA SLE

| $g_{1,180}$ [kg/m] | g_i [kN] | g [kN] | q [kN] | E [kN/m ²] | I [m ⁴] | d_{max} [m] | d_2 [m] | $L/250$ [m] | $L/300$ [m] |
|-----------------------|---------------|-------------|-------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|--------------|----------------|----------------|
| 18,8 | 0,2213136 | 2,661 | 14,85 | 210000000 | 0,00001317 | 0,003692977 | 0,003092743 | 0,0048 | 0,004 |

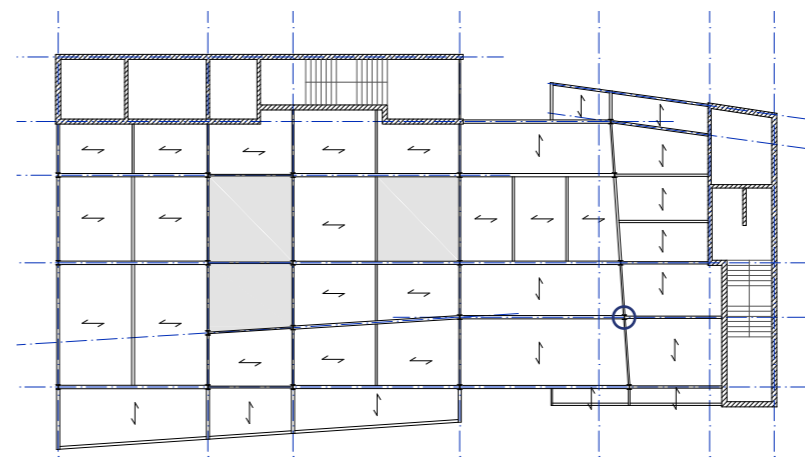
TRAVE T.SB.1 IPE 400

4.4 PREDIMENSIONAMENTO E VERIFICA PILASTRO IN ACCIAIO

Gli elementi verticali della struttura sono sollecitati da azioni di compressione. Un elemento è considerato compresso se è soggetto ad azione assiale centrata oppure se è pressoinflesso e l'eccentricità è comunque estremamente modesta.

Il predimensionamento e la successiva verifica seguono le direttive delle NTC08.

Nel nostro caso è stato considerato il pilastro centrale indicato nell'immagine sottostante, ed è quello su cui agisce un'azione assiale maggiore. Il carico della copertura utilizzato nel calcolo è illustrato nel dettaglio nel sottocapitolo 4.9.



Il predimensionamento della sezione del profilo si ottiene mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$N_{Ed} = f_{yk} A / \gamma_{M0}$$

f_{yk} è la resistenza caratteristica dell'acciaio

Ribaltando la formula si trova A . Dalla tabella dei profili in HEB si seleziona il profilo con area pari almeno a quella calcolata.

Si procede quindi la verifica del profilo, più precisamente si verifica la stabilità delle aste compresse come indicato nel paragrafo 4.2.4.1.3.1 delle NTC08, per cui si deve avere:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

La resistenza all'instabilità dell'asta compressa si calcola come:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

Il coefficiente χ dipende dal tipo di sezione e dal tipo di acciaio impiegato; essi si desumono, in funzione di appropriati valori della snellezza adimensionale, dalla seguente formula:

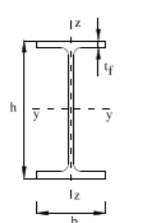
$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} \leq 1.0$$

TRAVE T.SB.2 IPE 180

$$\Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$$

α è il fattore di imperfezione che si deduce dalla tabella 4.2.VI delle NTC08 di cui si riporta un estratto relativo alla nostra situazione.

Tabella 4.2.VI Curve d'instabilità per varie tipologie di sezioni e classi d'acciaio, per elementi compressi.

| Sezione trasversale | | Limiti | Inflessione intorno all'asse | Curva di instabilità | |
|---|-----------|----------------------|------------------------------|------------------------|------------|
| | | | | S235, S275, S355, S420 | S460 |
| Sezioni laminate  | h/b > 1,2 | t_f ≤ 40 mm | y-y z-z | a b | a_0 a_0 |
| | | 40 mm < t_f ≤ 100 mm | y-y z-z | b c | a a |
| | h/b ≤ 1,2 | t_f ≤ 100 mm | y-y z-z | b c | a a |
| | | t_f > 100 mm | y-y z-z | d d | c c |
| Curva di instabilità | a_0 | a | b | c | d |
| Fattore di imperfezione α | 0,13 | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

La snellezza adimensionale è data invece da:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}}$$

N_{cr} è il carico critico elastico basato sulle proprietà della sezione lorda e sulla lunghezza di libera inflessione l_0 dell'asta, calcolata per la modalità di collasso per instabilità appropriata. Questo valore deve essere scelto in base alla seguente formula:

$$N_{cr} = \pi^2 EI_0 / l_0^2$$

$$l_0 = \lambda / i$$

λ è la snellezza di un'asta nel piano di verifica considerato
i è il raggio giratore di inerzia relativo del profilo considerato

Il valore di λ , secondo le NTC08, va limitato a 200 per le membrature principali.

Vengono ora riportate le tabelle di calcolo contenenti carichi agenti, predimensionamento, e verifica della stabilità.

Dal predimensionamento si otteneva un profilo HE 100 B, non verificato successivamente. Aumentando progressivamente l'area della sezione del profilo si ottiene che un profilo HE 260 B risulta verificato per le nostre condizioni, ovvero:

$$N_{ed} < N_{b,Rd}$$

CALCOLO SFORZO AGENTE

| $N_{copertura}$ [kN] | $N_{terrazza}$ [kN] | $N_{piano\ secondo}$ [kN] | $N_{piano\ primo}$ [kN] | N_{ed} [N] | f_{yk} [kPa] | γ_{MO} [adm] | A [m2] | E [N/mm²] | L/300 [m] |
|-------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|------------------------|-----------|--------------|--------------|
| 73,4682501 | 188,223267 | 153,6445177 | 153,6445177 | 568980,5525 | 275000 | 1,05 | 2,1724712 | 210000 | 0,033 |

STABILITÀ ASTE COMPRESSE

| PROFILO | ASSE | α [adm] | i [mm] | $l_0 = \lambda * i$ [mm] | ϕ [adm] | χ [adm] | $N_{b,Rd}$ [N] | J [mm⁴] | N_{cr} [N] | λ^* [adm] |
|---------|------|-------------------|-----------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------|-----------------|----------------------|
| HE 100B | yy | 0,34 | 41,60 | 8320,00 | 2659,3235 | 0,0002 | 128252,10 | 25100000,00 | 750767,84 | 72,7529 |
| 2604 | zz | 0,49 | 25,30 | 5060,00 | 2664,7650 | 0,0002 | 127990,11 | 1673000,00 | 135292,43 | |
| HE 160B | yy | 0,76 | 67,80 | 13560,00 | 2686,3729 | 0,0002 | 264500,72 | 24920000,00 | 280612,65 | 72,9142 |
| 5425 | zz | 0,76 | 40,50 | 8100,00 | 2686,3729 | 0,0002 | 264500,72 | 8892000,00 | 280613,14 | |
| HE 240B | yy | 0,76 | 103,10 | 20620,00 | 2681,3593 | 0,0002 | 517778,97 | 112600000,00 | 548327,04 | 72,8458 |
| 10600 | zz | 0,76 | 60,80 | 12160,00 | 2681,3593 | 0,0002 | 517778,97 | 39230000,00 | 549325,49 | |
| HE 260B | yy | 0,76 | 112,20 | 22440,00 | 2679,9369 | 0,0002 | 578656,35 | 149200000,00 | 613481,84 | 72,8264 |
| 11840 | zz | 0,76 | 65,80 | 13160,00 | 2679,9369 | 0,0002 | 578656,35 | 51350000,00 | 613913,61 | |

4.5 VERIFICA DELLE CLASSI DEI PROFILI

Le verifiche allo SLE e allo SLU dei diversi profili usati per travi e pilastri sono state condotte sotto l'ipotesi che i profili scelti fossero in classe 1 o 2. A posteriori si è quindi verificato se questa ipotesi fosse in realtà la condizione reale, rifacendosi a quanto indicato nelle NTC 08, paragrafo 4.2.3.1. Gli elementi strutturali si classificano in funzione della loro capacità rotazionale C_{ϑ} definita come:

$$C_{\vartheta} = \vartheta_r / \vartheta_y - 1$$

essendo ϑ_r e ϑ_y le curvature corrispondenti rispettivamente al raggiungimento della deformazione ultima ed allo snervamento.

La normativa distingue le seguenti classi di sezioni:

- Classe 1 quando la sezione è in grado di sviluppare una cerniera plastica avente la capacità rotazionale richiesta per l'analisi strutturale condotta con il metodo plastico di cui al 4.2.3.2 senza subire riduzioni della resistenza. Possono generalmente classificarsi come tali le sezioni con capacità rotazionale $C_{\vartheta} > 3$;
- Classe 2 quando la sezione è in grado di sviluppare il proprio momento resistente plastico, ma con capacità rotazionale limitata. Possono generalmente classificarsi come tali le sezioni con capacità rotazionale $C_{\vartheta} > 1,5$;
- Classe 3 quando nella sezione le tensioni calcolate nelle fibre estreme compresse possono raggiungere la tensione di snervamento, ma l'instabilità locale impedisce lo sviluppo del momento resistente plastico;
- Classe 4 quando, per determinarne la resistenza flettente, tagliante o normale, è necessario tener conto degli effetti dell'instabilità locale in fase elastica nelle parti compresse che compongono la sezione. In tal caso nel

calcolo della resistenza la sezione geometrica effettiva può sostituirsi con una sezione efficace.

Le tabelle 4.2.I e 4.2.II del medesimo paragrafo, riportate nella pagina successiva indica il procedimento di calcolo della classe. Qui sotto si riportano invece compattati i valori limite, sia per le parti soggette a compressione (ali) sia per quelle soggette a flessione (anima).

LIMITI

| | Anima | Ali |
|---------|--------|-------|
| CLASSE1 | 66,24 | 8,28 |
| CLASSE2 | 76,36 | 9,2 |
| CLASSE3 | 114,08 | 12,88 |

Tabella 4.2.I - Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

| Classe | Parti interne compresse | | | | | |
|--|----------------------------|-------------------------------|---|------|------|------|
| | Parte soggetta a flessione | Parte soggetta a compressione | Parte soggetta a flessione e a compressione | | | |
| Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva) | | | | | | |
| 1 | $c/t \leq 72\epsilon$ | $c/t \leq 33\epsilon$ | quando $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$ | | | |
| 2 | $c/t \leq 83\epsilon$ | $c/t \leq 38\epsilon$ | quando $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$ | | | |
| Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva) | | | | | | |
| 3 | $c/t \leq 124\epsilon$ | $c/t \leq 42\epsilon$ | quando $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ quando $\psi \leq -1$: $c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$ | | | |
| $\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$ | f_{yk} | 235 | 275 | 355 | 420 | 460 |
| | ϵ | 1,00 | 0,92 | 0,81 | 0,75 | 0,71 |

*) $\psi \leq -1$ si applica se la tensione di compressione $\sigma \leq f_{yk}$ o la deformazione a trazione $\epsilon_y > f_{yk}/E$

Tabella 4.2.II - Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

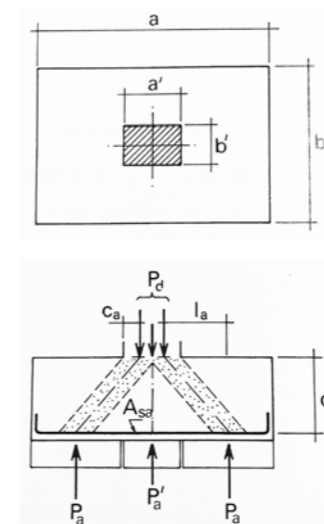
| Classe | Piattabande esterne soggette a compressione | | Piattabande esterne soggette a flessione e a compressione | | | |
|--|---|---|---|--|------|------|
| | Con estremità in compressione | Con estremità in trazione | Con estremità in compressione | Con estremità in trazione | | |
| Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva) | | | | | | |
| 1 | $c/t \leq 9\epsilon$ | $c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$ | $c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$ | $c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$ | | |
| 2 | $c/t \leq 10\epsilon$ | $c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$ | $c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$ | $c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$ | | |
| Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva) | | | | | | |
| 3 | $c/t \leq 14\epsilon$ | $c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_e}$ Per k_e vedere EN 1993-1-5 | $c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_e}$ | $c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_e}$ | | |
| $\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$ | f_{yk} | 235 | 275 | 355 | 420 | 460 |
| | ϵ | 1,00 | 0,92 | 0,81 | 0,75 | 0,71 |

CLASSE PROFILI

| PROFILO | t_w [mm] | ϵ [adm] | b [mm] | h [mm] | r [mm] | c_{anima} [mm] | c_{ali} [mm] | Anima c/t_w [adm] | Classe | Ali c/e [adm] | Classe |
|----------|---------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|-------------------|------------------------|--------|--------------------|--------|
| HE 260 B | 10 | 17,5 | 260 | 260 | 24 | 212 | 82 | 21,2 | 1 | 4,685714286 | 1 |
| IPE 180 | 5,3 | 8 | 91 | 180 | 9 | 162 | 27,5 | 30,56603774 | 1 | 3,4375 | 1 |
| IPE 220 | 5,9 | 9,2 | 110 | 220 | 12 | 196 | 31 | 33,22033898 | 1 | 3,369565217 | 1 |
| IPE 240 | 6,2 | 9,8 | 120 | 240 | 15 | 210 | 30 | 33,87096774 | 1 | 3,06122449 | 1 |
| IPE 270 | 6,6 | 10,2 | 135 | 270 | 15 | 240 | 37,5 | 36,36363636 | 1 | 3,676470588 | 1 |
| IPE 300 | 7,1 | 10,7 | 150 | 300 | 15 | 270 | 45 | 38,02816901 | 1 | 4,205607477 | 1 |
| IPE 330 | 7,5 | 11,5 | 160 | 330 | 18 | 294 | 44 | 39,2 | 1 | 3,826086957 | 1 |
| IPE 360 | 8 | 12,7 | 170 | 360 | 18 | 324 | 49 | 40,5 | 1 | 3,858267717 | 1 |
| IPE 400 | 8,6 | 13,5 | 180 | 400 | 21 | 358 | 48 | 41,62790698 | 1 | 3,555555556 | 1 |
| IPE 450 | 9,4 | 14,6 | 190 | 450 | 21 | 408 | 53 | 43,40425532 | 1 | 3,630136986 | 1 |
| IPE 500 | 10,2 | 16 | 200 | 500 | 21 | 458 | 58 | 44,90196078 | 1 | 3,625 | 1 |
| IPE 550 | 11,5 | 17,2 | 210 | 550 | 24 | 502 | 57 | 43,65217391 | 1 | 3,313953488 | 1 |

4.6 PREDIMENSIONAMENTO E VERIFICA PLINTO DI FONDAZIONE

Il calcolo del plinto di fondazione è stato svolto con il supporto del vol. B di "Cemento Armato. Calcolo agli stati limite" di G. Toniolo e M. Di Prisco. Con riferimento al caso doppiamente simmetrico di cui sotto, il plinto può essere inteso come una doppia mensola rovesciata inflessa verso l'alto nelle due direzioni ortogonali dalla reazione del terreno. Si possono assumere due schemi resistenti ortogonali che, funzionando in modo combinato, siano in grado di riportare la reazione diffusa su tutta la base d'appoggio entro la sagoma ristretta del pilastro.



Come prima cosa viene ipotizzata la dimensione del plinto. Questa risulterà verificata se la forza resistente sarà maggiore di quella agente di progetto, ovvero maggiore della forza che gli viene trasmessa dal pilastro, comprensiva del peso del pilastro stesso:

$$\begin{aligned} P_{rs} &> P_d \\ P_{rc} &> P_d \end{aligned}$$

A seguire vengono riportate tutte le formule necessarie a tale verifica dimensionale. Nel nostro caso la base è quadrata, quindi $a = b$ e $A_{sa} = A_{sb}$.

$$c_a = \min(0,2d_a, a'/4)$$

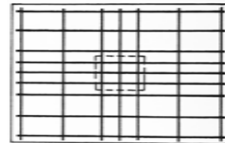
$$2P_a = \frac{a - a'}{a} P_d$$

$$P_a' = \frac{a'}{a} P_d$$

$$l_a \cong \frac{a - a'}{4} + c_a$$

$$\lambda_a = \frac{l_a}{d_a}$$

$$P_{rs} = P_a' + 2A_{sa} f_{yd} \frac{1}{\lambda_a}$$

$$A_{sa \min} = \frac{P_a \lambda_a \gamma_F}{f_{yd}}$$


$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,15} \cdot 0,6$$

$$P_{rc} \cong P_0 + 4 \cdot 0,4 d_a b' f_{cd} \frac{1}{1 + \lambda_a^2}$$

$$P_0 \cong \frac{a'^2}{a^2} P_d$$

Il plinto, così predimensionato, risulta verificato.

Risulta anche verificato flessionalmente nelle sezioni di incastro, in quanto:

$$A_{sa} \geq \frac{M_a}{f_{yd} \cdot 0,9 d_b}$$

$$M_a = \sigma_a \alpha l_a^2 / 2$$

$$\sigma_v = \frac{P_d}{a^2}$$

$$l_a = \frac{a - a'}{2}$$

È stata anche eseguita la verifica al punzonamento, necessaria nel caso di plinti di non grande spessore, valutando una resistenza sul perimetro critico e una entro il perimetro del pilastro, rispettivamente:

$$P_r' = 0,25 u d f_{ctd} \kappa (1 + 50 \rho_s)$$

$$\kappa = 1,6 - d \geq 1$$

$$\rho_s = \frac{A_s}{a d_a} \leq 0,20$$

$$P_r'' = 0,4 u_0 d f_{cd} \frac{1}{(1 + \lambda^2)}$$

Preso:

$$P_r = \min (P_r', P_r'')$$

la verifica a punzonamento risulta soddisfatta in quanto:

$$P_r > P_d - P_0$$

Le tabelle di calcolo sono riportate nella pagina successiva

VERIFICA DI PUNZONAMENTO

| P_d [N] | f_{ck} [N/m ²] | f_{cd} [N/m ²] | f_{yk} [N/m ²] | f_{yd} [N/m ²] | γ_F [adm] | c_a [m] | a [m] | d_a [m] | a' [m] |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------|--------------|------------|--------------|-------------|
| 574800 | 25000000 | 13043478,26 | 450000000 | 391304347,8 | 1,43 | 0,065 | 1,4 | 0,6 | 0,26 |

DIMENSIONAMENTO

| l_a [m] | λ_a [adm] | P_a [N] | P'_a [N] | $A_{sa \min}$ [m ²] | $A_{sa} (7\phi 10)$ [m ²] | P_0 [N] | P_{rs} [N] | P_{rc} [N] |
|--------------|----------------------|--------------|---------------|------------------------------------|--|--------------|-----------------|-----------------|
| 0,35 | 0,583333333 | 234025,7143 | 106748,5714 | 0,000498886 | 0,00055 | 38856,48 | 844636,7702 | 2467944,112 |

VERIFICA A FLESSIONE

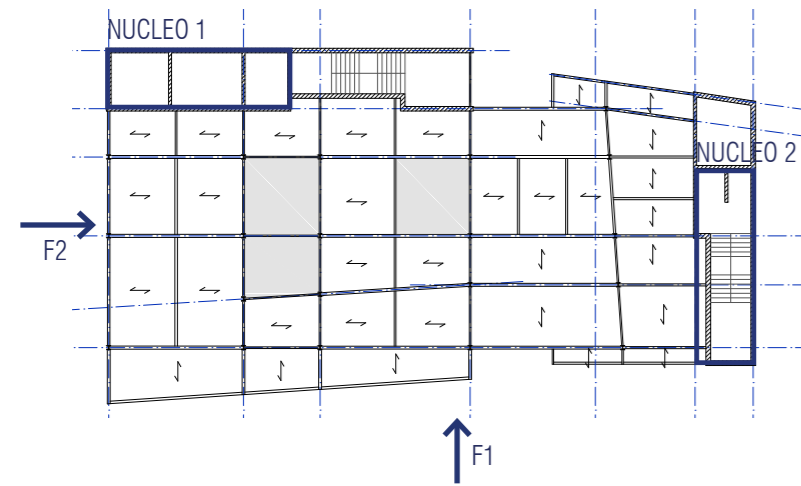
| Carico [kN/m] | Influenza [m] | ρ [kN] |
|------------------|------------------|----------------|
| 3,53752428 | 4,95 | 17,51074519 |

VERIFICA DI PUNZONAMENTO

| u [m] | f_{ctd} [N/m ²] | k [adm] | r [adm] | u_0 [m] | l [adm] | P_r' [N] | P_r'' [N] | P_r [N] | $P_d - P_0$ [N] |
|------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|--------------|--------------------|
| 5,6 | 1652173,913 | 1 | 0,000654762 | 1,04 | 0,583333333 | 1433260,87 | 2429087,632 | 1433260,87 | 535943,52 |

4.7 VERIFICA DEI CONTROVENTI IN C.A.

La verifica condotta sui controventi è una verifica di piano, e sono stati considerati due nuclei come mostrato nella figura sottostante.



Come prima cosa di ogni nucleo è stato calcolata l'inerzia e la posizione del baricentro. Successivamente è stato possibile calcolare la posizione del centro di rotazione R. L'eccentricità presente tra punto di applicazione della forza del vento e centro di rotazione dà luogo ad un momento torcente, il quale assoggetterà i due nuclei. Calcolata l'inerzia torsionale di piano dovuta ai controventi e trovate le i-esime forze che ogni nucleo "si prende", se la somma delle due da il valore della forza che investe il piano allora i contro-

venti sono verificati.

Si esegue anche una verificica della massima freccia in sommità il cui limite normato è:

$$\Delta < H / 500$$

A seguire vengono riportate le diverse formule per calcolare i vari contributi e le tabelle contenenti i risultati dei differenti calcoli.

| NUCLEO | L_x [m] | L_y [m] | sp. [m] | I_{xx} [m ⁴] | I_{yy} [m ⁴] | x' [m] | y' [m] |
|--------|--------------|--------------|------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|
| 1 | 12,000 | 4,100 | 0,300 | 2,198 | 76,062 | 5,900 | 21,000 |
| 2 | 4,100 | 13,000 | 0,300 | 97,675 | 101,102 | 40,600 | 9,000 |

$$x_R = \frac{\sum_i (I_{xx i} * x'_i)}{\sum_i I_{xx i}}$$

$$y_R = \frac{\sum_i (I_{yy i} * y'_i)}{\sum_i I_{yy i}}$$

| x_R [m] | y_R [m] | e_x [m] | e_y [m] | F_y (caso 1) [kN] | F_x (caso 2) [kN] | $M_{t1} = F_y e_x$ [kNm] | $M_{t2} = F_x e_y$ [kNm] |
|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 12,00 | 4,10 | 0,3 | 2,2 | 88,83 | 45,54 | 1673,238 | 120,771 |

| NUCLEO | $x = x_R - x'$ [m] | $y = y_R - y'$ [m] |
|--------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 12,000 | 4,100 |
| 2 | 4,100 | 13,000 |

$$F_{y i} = F_y \frac{I_{xx i}}{\sum_i I_{xx i}} - F_y e_x \frac{I_{xx i} x_i}{\sum_i (I_{xx i} x_i^2) + \sum_i (I_{yy i} y_i^2)}$$

$$F_{x i} = F_x \frac{I_{yy i}}{\sum_i I_{yy i}} - F_x e_y \frac{I_{yy i} y_i}{\sum_i (I_{yy i} y_i^2) + \sum_i (I_{xx i} x_i^2)}$$

| NUCLEO | $F_{y i}$ (caso 1) [kN] | $F_{x i}$ (caso 1) [kN] | $F_{y i}$ (caso 2) [kN] | $F_{x i}$ (caso 2) [kN] |
|--------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | -12,165 | 98,608 | -1,019 | 118,159 |
| 2 | 100,995 | -98,608 | 1,019 | -72,619 |
| TOTALE | 88,830 | 0,000 | 0,000 | 45,540 |

Quando sto considerando il caso, ad esempio, di forza diretta lungo y, le $F_{x i}$ le calcolo considerando il solo contributo dovuto al momento torcente.

Se sommando le $F_{y i}$ e le $F_{x i}$ in entrambi i casi ottengo il valore della forza dovuta al vento, la verifica di piano è soddisfatta.

Per quanto riguarda invece il massimo spostamento in sommità, il suo valore si calcola come:

$$\Delta i = \frac{w H^4}{8 E I_{xx i}}$$

Considerando H=18, il limite di spostamento in sommità da non superare è di 0,036 m. w è il carico distribuito lungo la verticale. Come si deduce dalla tabella sottostante è largamente rispettato il limite di deformazione.

| NUCLEO | Δ (caso 1) [m] | Δ (caso 2) [m] |
|--------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 0,00077 | 2,09E-05 |
| 2 | 1,74E-05 | 1,57E-05 |

4.8 ESEMPIO DI UNIONE BULLONATA

Le unioni bullonate permettono una spedita esecuzione in officina e semplificano l'assemblaggio dei pezzi in cantiere, dove generalmente la saldatura presenta difficoltà esecutive, specie alle basse temperature.

La giunzione bullonata ha come componenti fondamentali i bulloni, organi meccanici di collegamento costituiti da: vite con testa, dado e rosetta.

Il generico bullone può essere impegnato da forze perpendicolari oppure parallele all'asse del gambo, o da una combinazione delle due e quindi risulta interessato da sollecitazioni di taglio e trazione.

Le verifiche delle unioni bullonate sono eseguite sulla base di modelli semplificati di comportamento. I valori convenzionali delle tensioni sono confrontabili con i limiti forniti dalla normativa in funzione della resistenza delle componenti. La progettazione viene basata sull'ipotesi di pressioni uniformemente distribuite sui fori e sul gambo dei bulloni, trascurando usualmente la deformazione della lamiera sotto carico, l'inflessione del gambo dei bulloni e le concentrazioni di tensioni in corrispondenza dei bordi dei fori.

In questo capitolo ci siamo concentrati sul dimensionamento e sulla verifica di una singola unione bullonata, esattamente quella che permette la congiunzione tra il pilastro, HE 260 B, e una trave IPE 300. Il tutto è stato condotto secondo le direttive delle NTC08, dell'Eurocodice 3 e di due volumi di testo specifici sull'acciaio, ovvero "Costruzioni in acciaio" di B. Cordova e "Progettare costruzioni in acciaio" di G. Ballio e C. Bernuzzi.

Come prima cosa si è scelto un bullone di tipo M16, classe 5.6. Nella tabella vengono riportati i valori di snervamento e resistenza a rottura per tale classe.

Prospetto 3.3 - Valori nominali della resistenza allo snervamento f_{yb} e della resistenza a rottura per trazione f_{ub} per i bulloni

| Classe del bullone | 4.6 | 4.8 | 5.6 | 5.8 | 6.8 | 8.8 | 10.9 |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| f_{yb} (N/mm ²) | 240 | 320 | 300 | 400 | 480 | 680 | 900 |
| f_{ub} (N/mm ²) | 400 | 400 | 500 | 500 | 600 | 800 | 1000 |

È stato inoltre scelto un profilo ad L per la giunzione di dimensione 90 x 90 mm e spessore di 6 mm.

Per determinare la posizione dei fori rispetto ai bordi di tale piastra, si è maggiorato il foro di 2 mm come quanto indicato nell'EC3, e successivamente si sono calcolate le distanze tra gli estremi della piastra e gli interassi delle aperture, come mostrato nell'immagine e tabella sottostanti.

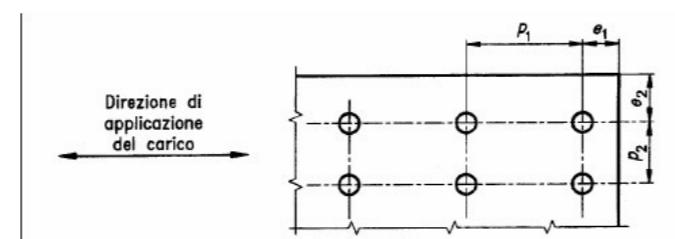
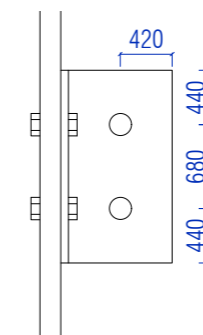


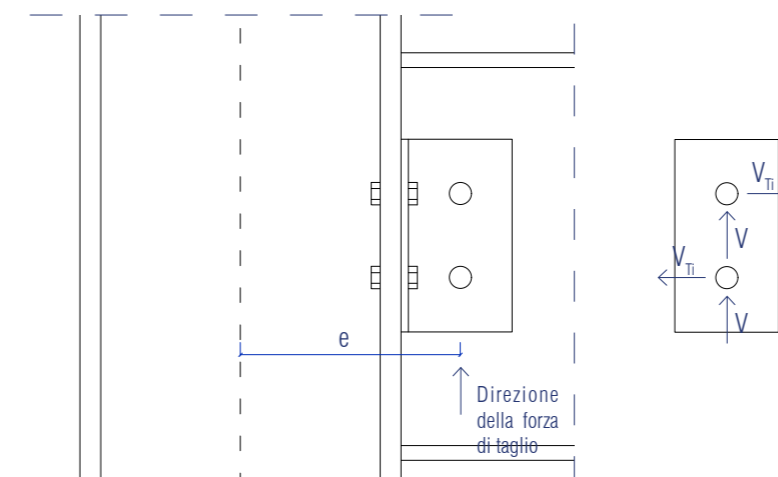
Fig. 6.5.1 - Simboli per la spaziatura dei dispositivi di giunzione

| | MINIMO | MASSIMO |
|-------|-----------------------------|---|
| e_1 | $1,2 d_0 = 21,6 \text{ mm}$ | $4t + 40 \text{ mm} = 64 \text{ mm}$ |
| e_2 | $1,2 d_0 = 21,6 \text{ mm}$ | $4t + 40 \text{ mm} = 64 \text{ mm}$ |
| p_1 | $2,2 d_0 = 39,6$ | $\min (14t \ 200 \text{ mm}) = 84 \text{ mm}$ |

d_0 è il diametro del bullone maggiorato di 2 mm.



Effettuato il predimensionamento, si procede con la distribuzione delle forze sui bulloni, i quali sono interessati da due contributi, ovvero quello associato alla forza tagliante F_V e quello relativo all'azione torcente T, denominati rispettivamente V e V_{Ti} .



Definito con n il numero totale dei bulloni e con n_f il numero di piani di contatto interessati dal meccanismo di trasferimento dei carichi, su ognuno di questi, nel caso in cui i bulloni non siano preserrati, agiscono i seguenti contributi:

- F_V , ipotizzata ripartita in eguale misura su ogni piatto di contatto del bullone, che provoca in ogni sezione resistente del bullone un'azione tagliante V
- l'azione torcente T che provoca un'azione tagliante, V_{Ti} , in ogni sezione resistente del bullone.

$$V = \frac{F_V}{n_f * n}$$

$$V_{Ti} = \frac{T * a_i}{n_f * \sum_{i=1}^n a_i^2}$$

ai rappresenta la distanza tra il centro del bullone e il baricentro della bullonatura.

L'azione globale agente sulla generica sezione resistente è quindi data dalla composizione vettoriale dei contributi V e V_{Ti} . Nel caso in cui ci sia una sola fila di bulloni i due contributi sono tra loro ortogonali e pertanto la risultante V_i può essere determinata come:

$$V_i = \sqrt{V^2 + V_{Ti}^2}$$

Vengono ora riportati i calcoli relativi al nostro caso.

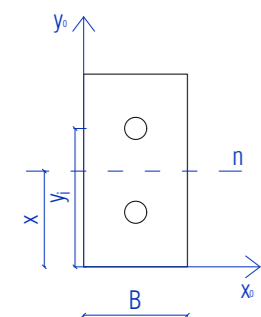
$$V = \frac{28,76 \text{ kN}}{2 * 2} = 7,19 \text{ kN}$$

$$T = F_V * e = 28,76 \text{ kN} * 178 \text{ mm} = 4763,28 \text{ kNmm}$$

$$V_{Ti} = \frac{4763,28 \text{ kNmm} * 34 \text{ mm}}{2 * 2 * 34^2 \text{ mm}^2} = 35,02 \text{ kN}$$

$$V_i = \sqrt{7,19^2 + 35,02^2} = 35,75 \text{ kN}$$

In questo caso, avendo un'unione a taglio e trazione, è necessario calcolare la forza di trazione massima N_{max} agente sui singoli bulloni. Ipotizzando la posizione dell'asse neutro n $x = 78 \text{ mm}$, come da immagine, in un sistema di riferimento $(x_0; y_0)$, ricaviamo geometricamente il valore della posizione x_i reale di n dalla seguente espressione di cui considero l'unica radice positiva:



$$\frac{1}{2} [2 B x^2] = \sum_{i=1}^n A_{bi} (y_i - x)$$

$$(B x^2) + \sum_{i=1}^n (A_{bi} x) - \sum_{i=1}^n (A_{bi} y_i) = 0$$

$$x = \frac{1}{2B} \left[- \sum_{i=1}^n A_{bi} + \sqrt{\sum_{i=1}^n A_{bi}^2 + 4B \sum_{i=1}^n (A_{bi} y_i)} \right]$$

B è la base della piastra
 y_i è la distanza tra il baricentro dell' i -esimo bullone ed il bordo inferiore della piastra.

Nel nostro caso risulta:

$$x = 22,52 \text{ mm}$$

Nessun bullone risulta quindi compresso. Determinata la posizione corretta dell'asse neutro, il momento di inerzia J della sezione reagente viene determinato come:

$$J = \frac{(2B) x^3}{3} + \sum_{i=k+1}^n A_{bi} (y_i - x)^2$$

k è il numero di bulloni che risultano compressi, pari a 0 in questo caso.

$$J = 3891312,72 \text{ mm}^4$$

La massima tensione di compressione σ_{max} in questo caso risulta pari a zero, poichè non sono presenti bulloni compressi.

La massima azione di trazione sul singolo bullone N_{max} è data dalla formula:

$$N_{max} = \frac{T A_{bi} (y_{imax} - x)}{J}$$

$$N_{max} = 20,95 \text{ kN}$$

4.8.1 VERIFICHE DELL'UNIONE BULLONATA

Vengono riportate la tabella riassuntiva delle verifiche necessarie e la tabella dei coefficienti di sicurezza da utilizzare, estratte dalla normativa. A seguire verranno indicate le verifiche effettuate sia relative alla sezione di attacco tra angolari e anima della trave sia relative alla sezione di attacco tra angolari e ala del pilastro.

Tabella 4.2. XII Coefficienti di sicurezza per la verifica delle unioni.

| | |
|---|--|
| Resistenza dei bulloni | $\gamma_{M2} = 1,25$ |
| Resistenza dei chiodi | |
| Resistenza delle connessioni a perno | |
| Resistenza delle saldature a parziale penetrazione e a cordone d'angolo | |
| Resistenza dei piatti a contatto | $\gamma_{M3} = 1,25$ $\gamma_{M3} = 1,10$ |
| Resistenza a scorrimento per SLU | |
| Resistenza a scorrimento per SLE | |
| Resistenza delle connessioni a perno allo stato limite di esercizio | $\gamma_{M6,ser} = 1,0$ |
| Pre carico di bulloni ad alta resistenza | $\gamma_{M7} = 1,10$ |

Prospetto 6.5.2 - Categorie di collegamenti bullonati

| Collegamenti sollecitati a taglio | | |
|--|--|--|
| Categoria | Criterio | Note |
| A A taglio | $F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd}$ | Non è richiesto precarico. Tutte le classi da 4.6 a 10.9 |
| B Ad attrito resistente allo stato limite di servizio | $F_{v,Sd,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd}$ | Bulloni ad alta resistenza precaricati. Assenza di scorrimento allo stato limite di servizio. |
| C Ad attrito resistente allo stato limite ultimo | $F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd}$ | Bulloni ad alta resistenza precaricati. Assenza di scorrimento allo stato limite ultimo. |
| Collegamenti caricati a trazione | | |
| Categoria | Criterio | Note |
| D Non precaricati | $F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd}$ | Non è richiesto precarico. Tutte le classi da 4.6 a 10.9 |
| E Precaricati | $F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd}$ | Bulloni ad alta resistenza precaricati. |
| Simbologia: | | |
| $F_{v,Sd,ser}$ | = Forza di progetto a taglio per ogni bullone allo stato limite di servizio | |
| $F_{v,Sd}$ | = Forza di progetto a taglio per ogni bullone allo stato limite ultimo | |
| $F_{v,Rd}$ | = Resistenza di progetto a taglio di un bullone | |
| $F_{b,Rd}$ | = Resistenza di progetto a rifollamento di un bullone | |
| $F_{s,Rd,ser}$ | = Resistenza di progetto allo scorrimento di un bullone allo stato limite di servizio | |
| $F_{s,Rd}$ | = Resistenza di progetto allo scorrimento di un bullone allo stato limite ultimo | |
| $F_{t,Sd}$ | = Forza di progetto a trazione per ogni bullone allo stato limite ultimo | |
| $F_{t,Rd}$ | = Resistenza di progetto a trazione di un bullone | |

RESISTENZA A TAGLIO (ANGOLARI-ANIMA TRAVE)

La verifica è soddisfatta se:

$$F_{v,Rd} > V_i$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}}$$

$$46,08 \text{ kN} > 35,75 \text{ kN}$$

RESISTENZA A RIFOLLAMENTO (ANGOLARI-ANIMA)

La verifica è soddisfatta se:

$$F_{b,Rd} > V_i$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\}$$

$$71,32 \text{ kN} > 35,75 \text{ kN}$$

RESISTENZA A TAGLIO-TRAZIONE (ANGOLARI-ALA PILASTRO)

La verifica è soddisfatta se:

$$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 * F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}}$$

$$0,16 + 0,36 < 1$$

RESISTENZA A RIFOLLAMENTO (ANGOLARI-ALA PILASTRO)

La verifica è soddisfatta se:

$$F_{b,Rd} > F_{v,Ed}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$

$$71,32 \text{ kN} > 7,19 \text{ kN}$$

RESISTENZA A PUNZONAMENTO (ANGOLARI-ALA PILASTRO)

La verifica è soddisfatta se:

$$B_{p,Rd} > F_{t,Ed}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 * \pi * d_m * t * f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$93,37 \text{ kN} > 35,02 \text{ kN}$$

4.9 FOCUS COPERTURA DUE SOLUZIONI A CONFRONTO

Per il dimensionamento delle travi della copertura, Tettoia A, sono stati considerati due differenti schemi statici: il primo in cui tutte le travi sono appoggio-appoggio tranne quelle a sbalzo trattate come delle mensole, il secondo in cui si adottano travi continue su più appoggi, soluzione più performante in quanto i pilastri ne risultano meno sollecitati flessionalmente e si evitano quindi, per le parti a sbalzo, lo studio di collegamenti non standard. Vengono qui riportati i carichi che coinvolgono le travi di copertura. È stata considerata la non contemporaneità dei carichi variabili (SLE combinazione rara): la neve dominante e il 60% del vento; il vento dominante e il 50% della neve. Il carico dovuto a manutenzione nei due casi è moltiplicato per un coeff. pari a zero. Il dimensionamento è stato effettuato considerando il carico più sfavorevole, ovvero neve dominante e c_f negativo.

| Strati | Carico [kN/m²] |
|----------------|-------------------|
| Vento F1+ | -0,162 |
| Vento F1- | 0,528 |
| Vento F2+ | -0,235 |
| Vento F2- | 0,766 |
| Neve | 1,2 |
| TecuOxid | 0,1 |
| Kerto | 0,25 |
| Isolante | 0,3 |
| Controsoffitto | 0,17 |

CARICO TOTALE: NEVE DOMINANTE

| | Interno [kg/m²] | Esterno [kg/m²] |
|---------------|--------------------|--------------------|
| con Vento F1+ | 1,9228 | 1,5528 |
| con Vento F1- | 2,3368 | 1,9668 |
| con Vento F2+ | 1,879 | 1,509 |
| con Vento F2- | 2,4796 | 2,1096 |

CARICO TOTALE: VENTO DOMINANTE

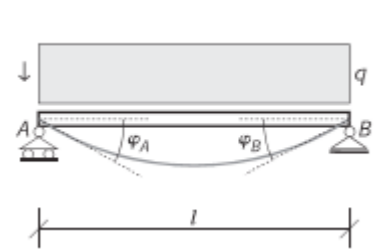
| | Interno [kg/m²] | Esterno [kg/m²] |
|---------------|--------------------|--------------------|
| con Vento F1+ | 1,258 | 0,888 |
| con Vento F1- | 1,948 | 1,578 |
| con Vento F2+ | 1,185 | 0,815 |
| con Vento F2- | 2,186 | 1,816 |

4.9.1 PRIMA SOLUZIONE

Nella prima soluzione gli schemi statici utilizzati sono di appoggio-appoggio e di mensola per le parti a sbalzo. I carichi agenti sono distribuiti linearmente.

Le travi che sono state prese in esame sono evidenziate e numerate nell'immagine a lato.

Ad ogni trave corrisponde una scheda con relativo predimensionamento, verifica della freccia, verifica a flessione retta, verifica a taglio e profilo adottato.

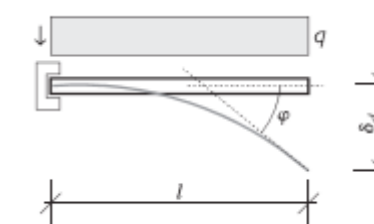


$$M_{max} = \frac{ql^2}{8} \text{ in mezzeria}$$

$$V_{max} = \frac{ql}{2}$$

$$\varphi_A = -\varphi_B = \frac{ql^3}{24EI}$$

$$\delta_d = \delta_{V/2} = \frac{5}{384} \cdot \frac{ql^4}{EI}$$

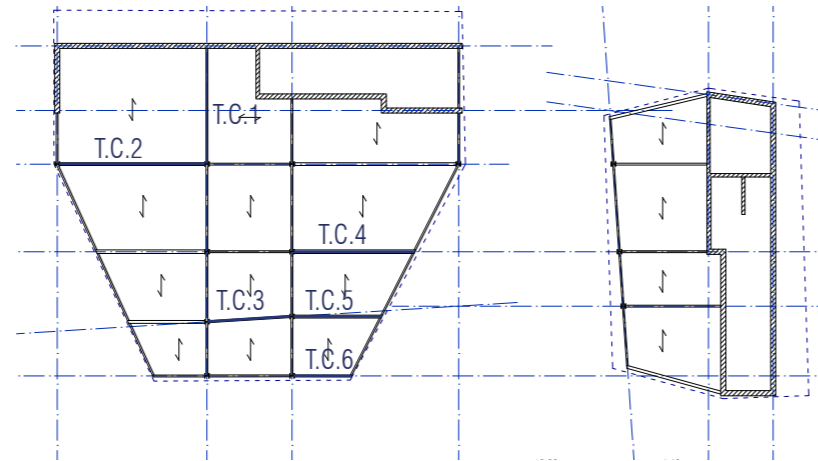


$$M_{max} = \frac{ql^2}{2}$$

$$V_{max} = ql$$

$$\varphi = + \frac{ql^3}{6EI}$$

$$\delta_d = \frac{ql^4}{8EI}$$



TRAVE T.C.1 (Appoggio-Appoggio): IPE 220

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico [kN/m ²] | Influenza [m] | p [kN/m] | l [m] | M [kNm] | f_{yk} [kN/m ²] | γ_{M0} [adm] | W_{pl} [m ³] |
|--------------------------------|------------------|---------------|------------|--------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 1,967 | 2,5 | 4,917 | 7 | 30,117 | 275000 | 1,05 | 0,00011499075 |

VERIFICA SLE

| $g_{t,220}$ [kg/m] | g_t [kN/m] | g [kN/m] | q [kN/m] | E [kN/m ²] | I [m ⁴] | d_{max} [m] | d_2 [m] | $L/250$ [m] | $L/300$ [m] |
|-----------------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|--------------|----------------|----------------|
| 26,2 | 0,257022 | 1,125 | 3,792 | 210000000 | 0,00002772 | 0,027787322 | 0,020365109 | 0,035 | 0,028 |

VERIFICA SLU Flessione Retta

| M_{ed} [kNm] | W_{pl} [m ³] | f_{yk} [kPa] | γ_{M0} [adm] | $M_{c,rd}$ [kNm] |
|-------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------|---------------------|
| 42,89112713 | 0,000252 | 275000 | 1,05 | 66 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} [kN] | A [m ²] | b [m] | t_w [m] | t_f [m] | r [m] | A_v [m ²] | f_{yk} [kPa] | γ_{M0} [adm] | $V_{c,rd}$ [kN] |
|------------------|--------------------------|------------|--------------|--------------|------------|----------------------------|-------------------|------------------------|--------------------|
| 24,5092155 | 0,003337 | 0,11 | 0,0059 | 0,0092 | 0,012 | 0,00158808 | 275000 | 1,05 | 240,1348231 |

TRAVE T.C.2 (Appoggio-Appoggio): IPE 330

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico | Influenza | ρ | l | M | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|----------------------|-----------|--------|-----|---------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m ²] | [m] | [kN/m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 1,967 | 6,075 | 11,948 | 8,8 | 115,660 | 275000 | 1,05 | 0,00044160954 |

VERIFICA SLE

| $g_{I,330}$ | g_I | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|----------|--------|---------|----------------------|-------------------|-------------|-------------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 49,1 | 0,481671 | 2,734 | 9,21456 | 210000000 | 0,0001177 | 0,039268488 | 0,029110409 | 0,044 | 0,0352 |

VERIFICA SLU Flessione Retta

| M_{ed} | W_{pl} | f_{yk} | γ_{M0} | $M_{c,rd}$ |
|------------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kNm] | [m ³] | [kPa] | [adm] | [kNm] |
| 162,643936 | 0,0007131 | 275000 | 1,05 | 186,7642857 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} | A | b | t_w | t_f | r | A_v | f_{yk} | γ_{M0} | $V_{c,rd}$ |
|------------|-------------------|------|--------|--------|-------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kN] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ²] | [kPa] | [adm] | [kN] |
| 73,9290618 | 0,006261 | 0,16 | 0,0075 | 0,0115 | 0,018 | 0,00308125 | 275000 | 1,05 | 465,9182306 |

TRAVE T.C.3 (Appoggio-Appoggio): IPE 200

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico | Influenza | ρ | l | M | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|----------------------|-----------|--------|-----|--------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m ²] | [m] | [kN/m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 2,110 | 3,65 | 7,700 | 5 | 24,063 | 275000 | 1,05 | 0,00009187548 |

VERIFICA SLE

| $g_{I,200}$ | g_I | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|----------|--------|---------|----------------------|-------------------|-------------|-------------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 22,4 | 0,219744 | 3,320 | 6,05754 | 210000000 | 0,00001943 | 0,019141539 | 0,012081559 | 0,025 | 0,02 |

VERIFICA SLU Flessione Retta

| M_{ed} | W_{pl} | f_{yk} | γ_{M0} | $M_{c,rd}$ |
|-------------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kNm] | [m ³] | [kPa] | [adm] | [kNm] |
| 41,20149375 | 0,0001943 | 275000 | 1,05 | 50,88809524 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} | A | b | t_w | t_f | r | A_v | f_{yk} | γ_{M0} | $V_{c,rd}$ |
|-----------|-------------------|-----|--------|--------|-------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kN] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ²] | [kPa] | [adm] | [kN] |
| 32,961195 | 0,002848 | 0,1 | 0,0056 | 0,0085 | 0,012 | 0,0013996 | 275000 | 1,05 | 211,6346144 |

TRAVE T.C.4 (Mensola): IPE 550

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico [kN/m ²] | Influenza [m] | ρ [kN/m] | l [m] | M [kNm] | f_{yk} [kN/m ²] | γ_{M0} [adm] | W_{pl} [m ³] |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------|--------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 1,9668 | 2,575 | | | | | | |
| 2,1096 | 2 | 9,28371 | 7,2 | 240,6337632 | 275000 | 1,05 | 0,000918783 |

VERIFICA SLE

| $g_{i,550}$ [kg/m] | g_i [kN/m] | g [kN/m] | q [kN/m] | E [kN/m ²] | I [m ⁴] | d_{max} [m] | d_2 [m] | $L/250$ [m] | $L/300$ [m] |
|-----------------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|--------------|----------------|----------------|
| 106 | 1,03986 | 2,059 | 7,22496 | 210000000 | 0,0006712 | 0,0246036 | 0,017218852 | 0,036 | 0,0288 |

VERIFICA SLU Flessione Retta

| M_{ed} [kNm] | W_{pl} [m ³] | f_{yk} [kPa] | γ_{M0} [adm] | $M_{c,rd}$ [kNm] |
|-------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------|---------------------|
| 363,926209 | 0,003069 | 275000 | 1,05 | 803,7857143 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} [kN] | A [m ²] | b [m] | t_w [m] | t_f [m] | r [m] | A_v [m ²] | f_{yk} [kPa] | γ_{M0} [adm] | $V_{c,rd}$ [kN] |
|------------------|--------------------------|------------|--------------|--------------|------------|----------------------------|-------------------|------------------------|--------------------|
| 101,0906136 | 0,0156 | 0,22 | 0,012 | 0,019 | 0,024 | 0,00838 | 275000 | 1,05 | 1267,146377 |

TRAVE T.C.5 (Mensola): IPE 360

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico [kN/m ²] | Influenza [m] | ρ [kN/m] | l [m] | M [kNm] | f_{yk} [kN/m ²] | γ_{M0} [adm] | W_{pl} [m ³] |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------|--------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 2,1096 | 3,65 | 7,70004 | 5,2 | 104,1045408 | 275000 | 1,05 | 0,00039749 |

VERIFICA SLE

| $g_{i,360}$ [kg/m] | g_i [kN/m] | g [kN/m] | q [kN/m] | E [kN/m ²] | I [m ⁴] | d_{max} [m] | d_2 [m] | $L/250$ [m] | $L/300$ [m] |
|-----------------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|--------------|----------------|----------------|
| 57,1 | 0,560151 | 1,643 | 6,05754 | 210000000 | 0,0001627 | 0,022095642 | 0,016203649 | 0,026 | 0,0208 |

VERIFICA SLU Flessione Retta

| M_{ed} [kNm] | W_{pl} [m ³] | f_{yk} [kPa] | γ_{M0} [adm] | $M_{c,rd}$ [kNm] |
|-------------------|-------------------------------|-------------------|------------------------|---------------------|
| 151,1370853 | 0,0009036 | 275000 | 1,05 | 236,6571429 |

VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} [kN] | A [m ²] | b [m] | t_w [m] | t_f [m] | r [m] | A_v [m ²] | f_{yk} [kPa] | γ_{M0} [adm] | $V_{c,rd}$ [kN] |
|------------------|--------------------------|------------|--------------|--------------|------------|----------------------------|-------------------|------------------------|--------------------|
| 58,1296482 | 0,007273 | 0,17 | 0,008 | 0,0127 | 0,018 | 0,0035138 | 275000 | 1,05 | 531,3244556 |

TRAVE T.C.6 (Mensola): IPE 220

PREDIMENSIONAMENTO

| Carico | Influenza | ρ | l | M | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|----------------------|-----------|---------|-----|------------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m ²] | [m] | [kN/m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 2,1096 | 1,65 | 3,48084 | 3,4 | 20,1192552 | 275000 | 1,05 | 7,6819E-05 |

VERIFICA SLE

| $g_{I,220}$ | g_I | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|----------|--------|---------|----------------------|-------------------|-------------|-------------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 26,2 | 0,257022 | 1,501 | 2,73834 | 210000000 | 0,00002772 | 0,012902058 | 0,007857792 | 0,017 | 0,0136 |

VERIFICA SLU Flessione Retta

| M_{ed} | W_{pl} | f_{yk} | γ_{M0} | $M_{c,rd}$ |
|------------|-------------------|----------|---------------|------------|
| [kNm] | [m ³] | [kPa] | [adm] | [kNm] |
| 35,8165503 | 0,000252 | 275000 | 1,05 | 66 |

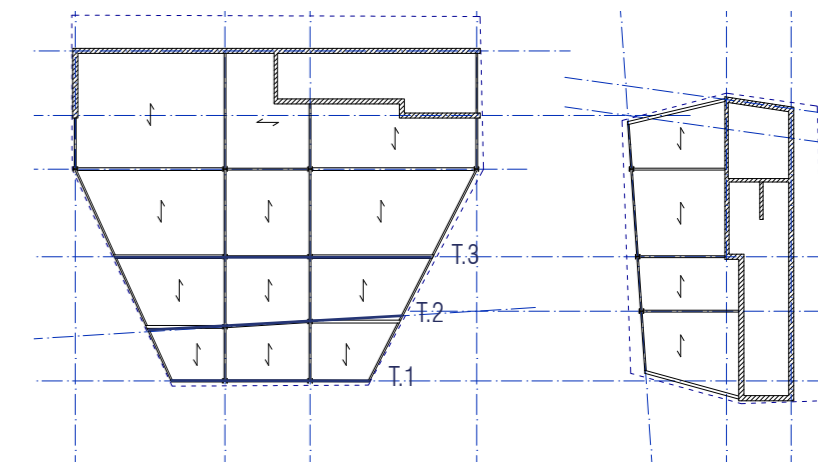
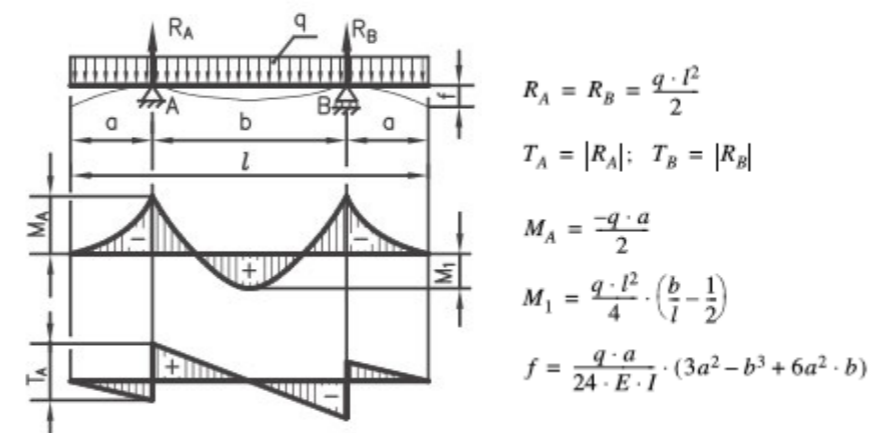
VERIFICA SLU Taglio

| V_{ed} | A | b | t_w | t_f | r | A_v | f_{yk} | γ_{M0} | $V_{c,rd}$ |
|-----------|-------------------|------|--------|--------|--------|-------------------|----------|---------------|-------------|
| [kN] | [m ²] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m ²] | [kPa] | [adm] | [kN] |
| 21,068559 | 0,003337 | 0,11 | 0,0059 | 0,0092 | 0,0212 | 0,00175736 | 275000 | 1,05 | 265,7317848 |

4.9.2 SECONDA SOLUZIONE

Nella seconda soluzione si è tentato di utilizzare travi continue su più appoggi. In quanto sono caratterizzate da sbalzi importanti, sono state analizzate le travi T.1, T.2 e T.3, evidenziate nell'immagine a lato, il cui schema statico è illustrato sotto. Innanzitutto è da notare che la trave non è simmetrica, quindi i due sbalzi non hanno stessa lunghezza; per questo motivo la freccia che abbiamo verificato è quella in cui "a" è maggiore. Per il predimensionamento invece abbiamo considerato il momento in mezzeria, in quanto quello con valore maggiore.

La trave di maggiore lunghezza (T3), utilizzando un profilo IPE 600, risulta non verificata allo SLE, quindi, questa seconda soluzione è stata esclusa. Uno degli accorgimenti per la sua validità sarebbe stato spostare gli appoggi verso l'esterno con delle "stampelle", ma non era possibile per motivi architettonici, mentre inserire una trave reticolare al posto di un profilo IPE avrebbe aumentato lo spessore della scocca metallica che avrebbe perso la sua "leggerezza".



PREDIMENSIONAMENTO

| p | l | a | b | a' | M_b | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|---------|------|-----|-----|------|-----------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 3,48084 | 11,7 | 3,2 | 3,5 | 5 | 21,320145 | 275000 | 1,05 | 8,14042E-05 |

VERIFICA SLE

| $g_{t,270}$ | g_t | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|----------|--------|---------|----------------------|-------------------|-------------|-------------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 36,1 | 0,354141 | 0,743 | 2,73834 | 210000000 | 0,0000579 | 0,011999264 | 0,008567987 | 0,0175 | 0,014 |

PREDIMENSIONAMENTO

| p | l | a | b | a' | M_b | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|---------|-----|-----|-----|------|------------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 7,70004 | 15 | 4,5 | 5,5 | 5 | 116,463105 | 275000 | 1,05 | 0,000444677 |

VERIFICA SLE

| $g_{t,550}$ | g_t | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|---------|--------|---------|----------------------|-------------------|-------------|-------------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 106 | 1,03986 | 1,643 | 6,05754 | 210000000 | 0,0006712 | 0,019501116 | 0,013516035 | 0,0275 | 0,022 |

TRAVE T.1
IPE 270

PREDIMENSIONAMENTO

| p | l | a | b | a' | M_b | f_{yk} | γ_{M0} | W_{pl} |
|---------|------|-----|-----|------|-------------|----------------------|---------------|-------------------|
| [kN/m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [kNm] | [kN/m ²] | [adm] | [m ³] |
| 9,28371 | 18,7 | 6,5 | 7,2 | 5 | 240,6337632 | 275000 | 1,05 | 0,000918783 |

VERIFICA SLE

| $g_{t,600}$ | g_t | g | q | E | I | d_{max} | d_2 | $L/250$ | $L/300$ |
|-------------|---------|--------|---------|----------------------|-------------------|-------------|-------------|---------|---------|
| [kg/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [m ⁴] | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 122 | 1,19682 | 2,051 | 7,23288 | 210000000 | 0,0009208 | 0,052588534 | 0,036292683 | 0,036 | 0,0288 |

TRAVE T.3
Non verificata con
IPE 600

TRAVE T.2
IPE 550

BIBLIOGRAFIA
E SITOGRAFIA

V. Vercelloni, "Atlante Storico di Milano, Città Lombardia", Milano, Edizioni L'Archivolta, 1987.

A cura di A. Iosa, "Quaderno Bianco. I Quartieri della Zona 2", Milano, Comune di Milano, 1984.

G. De Finetti, "Milano. Costruzione di una città", Milano, Hoepli, 1969.

A cura di Silvana Sermisoni, "Progetti per Milano. Concorso di idee per il polo direzionale-finanziario nell'area Garibaldi Repubblica", Milano, Abitare Segre-
sta Cataloghi, 1992.

V. Ferrari, "Milano: il piano regolatore generale 1953", Torino, Edizioni di Urbanistica, 1956.

A cura di R. Rozzi, "La Milano del Piano Beruto (1884-1889)", Milano, Guerini e Associati, 1992.

"Le città nella storia d'Italia. Milano", Bari, Laterza & Figli, 1982.

R. Bagnour, "Le strade di Milano. Storia della città attraverso la sua toponomastica", Milano, Effeti, 1971

M. V. Capitanucci, "Milan. Verso l'Expo. La nuova architettura", Milano, Skira Editore, 2009.

A. Kipar, G. Sala + Partners, "Raggi Verdi. Green vision for Milano 2015", Aedes Land.

PGT del Comune di Milano

C. LExcellent, "Shape-Memory Alloys Handbook", March 2013.

K. Otsuka, C. M. Wayman, "Shape Memory Materials, University of Illinois", Urbana-Champaign, Nov 1999.

A. Rao, A. R. Srinivasa, J. N. Reddy, "Design of Shape Memory Alloy (SMA) Actuators", Springer International Publishing, 2015.

A. Ziolkowski, "Pseudoelasticity of Shape Memory Alloys: Theory and Experimental Studies", Butterworth-Heinemann, 2015.

L. Lecce, A. Concilio, "Shape memory alloy engineering : for aerospace, structural and other", Elsevier Butterworth-Hein.

T. Yoneyama, S. Miyazaki, "Shape memory alloys for biomedical applications", 2014.

M. Sauchelli, G. Lobaccaro, G. Masera, F. Fiorito, "Smart Solutions for Solar Adaptive Façade Preliminary studies for an innovative shading device", 2015.

M. Pesenti, G. Masera, F. Fiorito, M. Sauchelli, "Kinetic Solar Skin: A Responsive Folding Technique", May 2015.

F. Fiorito, M. Sauchelli, D. Arroyo, M. Pesenti, M. Imperadori, G. Masera, G. Ranzi, "Shape morphing solar shadings: A review", Oct 2015.

H. Choi, H. Park, W. Sagong, S. Lee, "Biomimetic flow control based on morphological features of living creatures", Phys. Fluids 24, 121302, 2012.

F. Dai, H. Li, S. Du, "A multi-stable lattice structure and its snap-through behavior among multiple states", Composite structures 97, 2013.

A.E. Del Grosso, P. Basso, "Adaptive building skin structures", Smart Material and Structures 19, 2010.

D. El-Zanfali, "Active Shapes: Introducing guidelines for designing kinetic architectural structures".

D.M. Elzey, A.Y.N. Sofla, H.N.G. Wadley, "A bio-inspired, high-authority actuator for shape morphing structures", Journal of Smart structures and Materials, 2003.

V. P. Galantai, K.T. Tan, A. Y. N. Sofla, W. K. S. Yeo, A. Meguid, "Bio-inspired wing morphing for unmanned aerial vehicles using intelligent materials", Int. Journal of Mech Mater Des, 8, 2012.

S. Kim, M. Yim, J. Laucharoen, M. Wetmore, S. Salek, S. Pan, "Motion and modular architecture".

C. K. Khoo, J. Burry, M. Burry, "Soft Responsive Kinetic System: an elastic transformable architectural skin for climatic and visual control".

C. K. Khoo, F. D. Salim, "Designing elastic transformable structures: Towards Soft Responsive Architecture", Circuit Bending, Breaking and Mending: Proceedings of the 16th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia.

C.K. Khoo, D. Davis, M.R. Thomsen, A. Karmon, M. Burry, "Sensing Material Systems - Novel Design Strategies".

L. Lignarolo, C. Lelieveld, P. Teuffel, "Shape morphing wind-responsive facade systems realized with smart materials", Adaptive Architecture Conference, 2011.

J. Lienhard, S. Schleicher, S. Poppinga, T. Masselter, M. Milwich, T. Speck, J. Knippers, "Flectofin: A hingeless flapping mechanism inspired by nature", Bioinspiration and Biomimetics, 2011.

N. Ramzy, H. Fayed, "Kinetic systems in architecture: new approach for environmental control systems and context-sensitive buildings", Journal of Sustainable Cities and Society 1, 2011.

R. Suralkar, "Solar Responsive Kinetic Facade Shading Systems inspired by plant movements in nature", Proceedings of Conference: People and Buildings, Arup, 2011.

P. Teuffel, D. Ajdarasic, "Development of a Shape Morphing Building Envelope", IASS 2007 Structural Architecture: Toward the Future Looking to the Past, Venice, Italy, 2007.

P. Teuffel, H. Plomp, "Computational Morphogenesis Using Environmental Simulation Tools", International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) A. Domingo and C. Lazaro, Valencia, Italy, 2009.

C.M.J.L. Lelieveld, P. Teuffel, "Smart Composite for Architectural Applications", Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium, Shanghai, 2010.

C.M.J.L. Lelieveld, "Smart materials for the realization of an adaptive building component", PhD Thesis, Delft University of Technology, February 2013.

J. Wienold, "Dynamic daylight glare evaluation", raunhofer Institute for Solar Energy Systems, Heidenhofstr. 2, D-79110 Freiburg, Germany, 2009.

S. Kleindienst, M. Andersen, "The Adaptation of Daylight Glare Probability to Dynamic Metrics in a Computational Setting", 2009.

G. Toniolo, M. Di Prisco, "Cemento Armato. Calcolo agli stati limite. Volume B", Bologna, Zanichelli, 2012.

G. Ballio, C. Bernuzzi, "Progettare costruzioni in acciaio", Milano, Hoepli, 2010.

Norma UNI 10349

Norma UNI EN ISO 7730

Norma UNI EN 15251

Norme Tecniche delle Costruzioni, 2008

Eurocodice 3

CNR-DT 207 2008

<http://www.concorsocentrocivico.concorrimi.it/>

<http://www.milanoisola.it/>

<http://www.comune.milano.it/>

http://www.comune.milano.it/wps/portal/ist/it/servizi/territorio/pianificazione_urbanistica_attuativa/progetti_attuazione/grandi_progetti/parco_biblioteca_alberi

<https://www.unicredit.it/>

<http://www.residenzeportanuova.com/>

<http://www.lacorteverdedicorsocomo.com/>

www.ordinearchitetti.mi.it, "Dall'idea della città alla città costruita: l'area di Garibaldi Repubblica".

<http://www.istat.it/>

Shapeshift blog. 2010. <http://www.caad-eap.blogspot.com.au/p/download.html>.

<http://www.dynalloy.com/flexinol.php>

<http://adenmetal.com.tr/tr/cozumlerimiz/aluminium-curtain-wall-systems>

<http://cargocollective.com/shreyasmore/filter/Nitinol/Self-adaptive-Membrane>

<http://www.google.com/patents/US20100243180>

<http://www.adaptivebuildings.com/adaptive-fritting-surface.html>

<https://robofacades.wordpress.com/gallery/adaptive-facade-mock-up-v2/>

<http://www.liftarchitects.com/air-flower/>

<https://arch5541.wordpress.com/2012/11/16/dynamic-technology-and-the-human-experience/>

<http://www.google.com/patents/US20130326974>

<http://materia.nl/article/homeostatic-facade-system/>

<http://thetranstudio.com>

<https://www.youtube.com/watch?v=-K57cb0hA5g>

<https://vimeo.com/83007973>

<https://vimeo.com/18389410>

RINGRAZIAMENTI

Innanzitutto i nostri ringraziamenti sono rivolti al professor Gabriele Masera, per il suo aiuto, la sua pazienza e il suo supporto nell'ultimo anno, per averci dedicato sempre tempo e saputo rispondere a mille dubbi e perplessità. La ringraziamo anche per tutti gli insegnamenti che ha saputo infonderci fin dal secondo anno, che ci han fatto crescere dal punto di vista professionale e personale.

Grazie anche al professor Marco Muscogiuri, che con la sua prima revisione ha saputo demolirci, ma nel contempo darci il giusto indirizzo verso un progetto architettonico organico.

Grazie all'ingegner Marco Pesenti che è riuscito a trasmetterci la sua passione per i materiali a memoria di forma e che ha saputo, così, motivarci verso analisi più approfondite sul tema . Grazie davvero per il tuo aiuto costante e concreto in questi ultimi mesi e per aver condiviso con noi le tue conoscenze ed esperienze.

Grazie infine all'ingegner Giulio Zani, che ha sempre saputo risolvere i problemi insorti nel progetto della struttura.