

ACQUA: MATERIA prima
come
materialE COSTRUTTIVO

Può una parete di ghiaccio proteggere dal freddo?





ACQUA: MATERIA prima
come
materialE COSTRUTTIVO

Può una parete di ghiaccio proteggere dal freddo?

Tesi di Laurea Magistrale
Corso di Laurea Magistrale in Progettazione per il Progetto Sostenibile
Anno accademico: 2019 / 2020

Candidato:

Riccardo Guida

Relatore:

Roberto Giordano

Correlatore:

Stefano Pujatti





A Nuvola e Franco,
genitori d'eccezione.

- INDICE -

INTRODUZIONE

_PRESENTAZIONE E APPROCCI	... 13
---------------------------	--------

FILOSOFIA

_ANALISI PROGETTUALE:

_Un progetto simile: "Atelier Fleuriste"	... 22
_Nel passato: Gli Igloo	... 26
_Una provocazione: "Ice House I", "Ice House II"	... 28
_Una protezione: "Noun 1. Unavailability"	... 32
_La materia: "Lanterns of Urna Minor"	... 34
_La temporalità: "Ink Ice"	... 36
_Il progetto: "Maison Glacé"	... 38

_RIFLESSIONI SULLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE	... 42
---	--------

TECNICA

_IL GHIACCIO	... 51
--------------	--------

_Sopraffusione	... 55
_Gelicidio	... 57
_Mpemba effect	... 58

_TECNOLOGIE A CONFRONTO:	... 62
--------------------------	--------

_Facciate ventilate	... 62
_Facciate a doppio involucro	... 65
_Facciate dinamiche	... 67
_La tecnologia "Glacé"	... 69

_TEST	... 70
_SVILUPPO	... 89
_PROGETTO TECNOLOGICO DI TESI	... 102

ARCHITETTURA

_LUOGHI:	...118
_Toronto	...118
_Nel mondo	...120
_PROGETTI:	... 125
_Winter Station: installazione per concorso a Toronto	... 125
_Sede Ogilvy Toronto: studio facciata edificio rappresentativo	... 129

CONCLUSIONI	... 141
-------------	---------

BIBLIOGRAFIA	... 147
--------------	---------

RINGRAZIAMENTI	... 153
----------------	---------

- INTRODUZIONE -



L'oggetto della tesi riguarda un sistema tecnologico di facciata atipico, che utilizza il ghiaccio per creare una barriera con lo scopo di ripararsi dalle temperature rigide dei climi canadesi.

Basato su un paradosso, questo sistema ha scaturito in me, un immediato interesse, spingendomi a decidere di studiarlo e scrivere la mia tesi su questo insolito elemento.

L'acqua è forse il materiale più antico che conosciamo, ritenuto "portatore di vita" per le antiche popolazioni. Talete, considerato il primo filosofo greco, ovvero indagatore delle scienze naturalistiche, matematiche e astronomiche, attribuiva ad essa il ruolo di "principio di tutte le cose", per Talete infatti, tutto nel mondo si sarebbe generato a partire da questo liquido^[1].

L'acqua ha avuto storicamente la funzione di generare e trasformare materiali ed elementi costruttivi in architettura. Tuttavia, in questo caso, la materia prima diventa il materiale costruttivo della tecnologia.

Il sistema è stato ideato dall'architetto Stefano Pujatti, fondatore dello studio ElasticoSPA, il quale per risolvere problematiche legate a forti venti e temperature rigide, in un progetto nelle spiagge di Toronto, ha pensato di sfruttare dei meccanismi naturali per disegnare una tecnologia climatica.

Il ghiaccio possiede caratteristiche fisiche e comportamenti differenti da

1 http://www.treccani.it/enciclopedia/talete-di-mileto_ (Dizionario-di-filosofia)

quelli dall'acqua, generando problemi e risorse da bilanciare in maniera accorta.

Si unisce una teoria semplice come il funzionamento di un igloo, ad un meccanismo complesso riguardante la fisica e la chimica del passaggio di stato di un materiale, il tutto applicato su un edificio che richiede un adeguato livello di sicurezza.

Il romanticismo dell'idea, infatti, si scontra con le leggi fisiche che lo governano in un matrimonio che deve portare ad un risultato pratico.

Le ricerche di questa tesi sono state condotte seguendo due approcci. Il primo è quello di ricerca, attraverso i testi e la **bibliografia essenziale**, il secondo quello **empirico-pratico** direttamente sul campo, a Toronto, in Canada, dove ho avuto l'occasione di poter sperimentare in loco il comportamento della tecnologia.

La tesi, seguendo questi due approcci, è caratterizzata da tre aree di studio differenti:

La prima ragiona sull'aspetto **filosofico-concettuale**, ossia sulla genesi dell'idea e sul significato della sostenibilità in architettura;

La seconda analizza l'aspetto **tecnico**, ossia attraverso l'approccio scientifico e tecnologico derivante dai disegni, dai ragionamenti e dalle sperimentazioni svolte sul campo;

La terza indaga l'aspetto **compositivo e architettonico**, studiando come una "pelle" di ghiaccio possa interagire con l'ambiente circostante e plasmarsi secondo le diverse esigenze e conformazioni.

Per semplicità espositiva, nella tesi queste tre aree di studio verranno definite come: FILOSOFIA, TECNICA e ARCHITETTURA.

- FILOSOFIA -



Questo primo capitolo ha l'intenzione di ragionare sui concetti che hanno dato vita al progetto e alla scrittura della tesi. Gli argomenti verranno trattati quindi in maniera logico-concettuale, nell'intento di indagare come un materiale antico come l'acqua possa condizionare il progetto architettonico con soluzioni inconsuete.

Verranno analizzati progetti presi in riferimento nell'ambito delle costruzioni con l'utilizzo di acqua e ghiaccio, con una particolare attenzione all'analisi del significato dell'uso di questo materiale.

Nella parte finale del capitolo, inoltre, saranno presentati dei ragionamenti con l'obiettivo di riflettere sui valori della sostenibilità in architettura e comprendere quali siano gli aspetti che condizionano maggiormente la riuscita di un progetto sostenibile, per i quali è necessario prestare maggior attenzione.

"Ogni materiale ha un potenziale che spesso l'uso convenzionale nasconde: è una delle energie latenti che possono improvvisamente comparire e cambiare i progetti."^[1]

Questa citazione, contenuta in *Architettura al sangue*, libro biografico dell'architetto Stefano Pujatti, ideatore della tecnologia che ha ispirato questa tesi, delinea due temi importanti per lo svolgimento di questa ricerca.

1 Luca Maria Francesco Fabris; *Architettura al sangue* / Rare architecture; Repubblica di San Marino, Maggioli, 2008

Il primo tema, direttamente intuibile, riguarda la **sperimentazione**, ovvero la scoperta, la ricerca, il percorso che si svolge in favore dell'innovazione. Tuttavia il tema della ricerca in questa tesi, così come nel progetto dell'architetto Pujatti, non è tanto quello di "inventare" un nuovo materiale o un complesso sistema, ma la riscoperta dei vantaggi nell'utilizzo di un materiale antico, rivisitato con le scoperte e tecnologie di cui disponiamo nel presente. Utilizza il ghiaccio, forse il più antico dei materiali, per "sconfiggere" il freddo, l'elemento che fa sì che l'acqua stessa possa congelare. Un sistema che si potrebbe quasi definire "Low-tech". L'idea infatti prevede di creare una seconda pelle, collocata all'esterno dell'edificio, costituita da una griglia metallica. Questa, nella stagione invernale, viene fatta congelare con lo scopo di migliorare le performance della parete nel suo complesso.

Il secondo tema, come prefigura il periodo precedente, riguarda la **sostenibilità**. La tecnologia in questione prefigura un utilizzo rispettoso di una materia importante, che viene generalmente impiegata come materiale di consumo. Al tempo stesso un elemento importante è il clima, naturalmente presente, e causa della necessità di impiegare la tecnologia come riparo alla temperatura stessa.

In architettura l'acqua ha avuto spesso ruoli effimeri di decorazione o loisir, come fontane e piscine, o altrimenti usata per "far funzionare" la macchina abitativa, con tubature atte alla pulizia personale o al sostentamento di piante tramite sistemi di irrigazione. L'utilizzo forse più massivo -almeno nelle fasi costruttive- è quello di legante per la realizzazione di malte e calcestruzzi. In questo specifico caso, invece, il materiale fa parte del progetto, è parte della tecnologia.

Nella storia dell'architettura l'utilizzo di acqua con scopi tecnologici non è nuovo, ma nemmeno consueto e di molteplici e variegati applicazioni. Il suo utilizzo, infatti, si può rintracciare nell'architettura vernacolare e storica di alcune civiltà, come gli Inuit, piuttosto che in architetture rinomate di architetti.

Nelle pagine a seguire verranno descritti alcuni progetti esemplari per l'utilizzo del materiale -acqua/ghiaccio-. Ogni riferimento avrà un significato differente e fondamentale per comprendere il progetto finale.

–Atelier Fleuriste

Atelier Fleuriste è un fabbricato ottocentesco ubicato a Chieri, all'interno di un lotto caratterizzato da edifici che affacciano da un lato su strada, dall'altro su corte interna. Si tratta di un laboratorio botanico con spazio espositivo aperto al pubblico.

L'intervento di architettura ha previsto la conservazione del fabbricato centrale e l'inserimento di due volumi dichiaratamente contemporanei sulle porzioni laterali, rispettando la struttura a cortina e la morfologia del manufatto originario.

Le porzioni del "nuovo" e dell' "antico" sono evidenziate dalle scelte materiche e tecnologiche. Il "nuovo" è caratterizzato sulla facciata interna -sul lato giardino- da un rivestimento in rame, mentre sul fronte strada da una superficie vetrata a tutta altezza.

Se la facciata vetrata da un lato consente al maggior numero di raggi solari di penetrare nell'edificio e nutrire le piante, tuttavia genera un effetto serra che surriscalda eccessivamente l'ambiente interno. Per ovviare a questo problema è stato progettato un sistema che sfrutta un

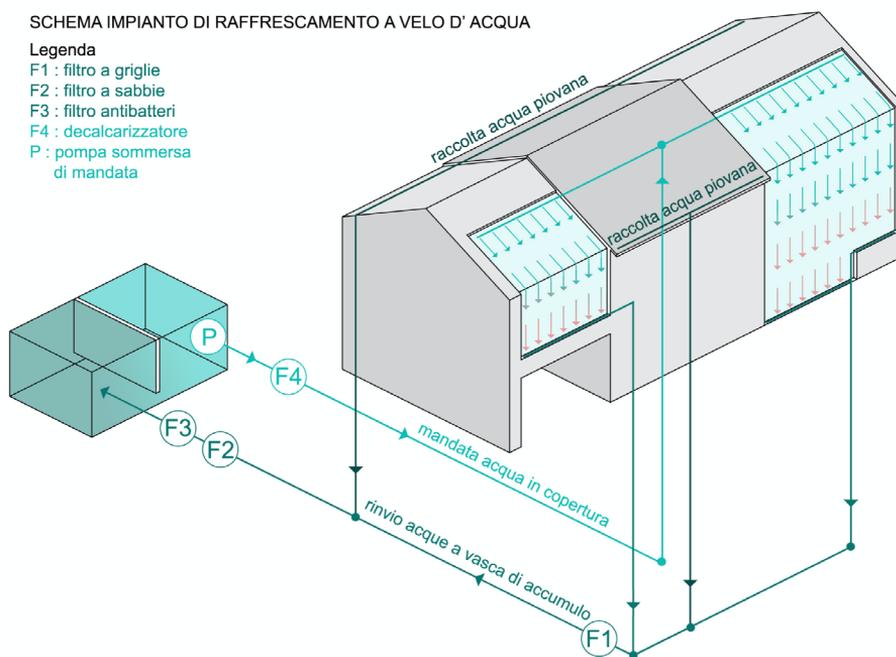


Facciata fronte strada del progetto Atelier Fleuriste.

© https://www.archdaily.com/771793/atelier-fleuriste-elasticospa-plus-3/55cbf277e58ec5e7d0003c6-atelier-fleuriste-elasticospa-plus-3-photo?next_project=no

flusso idrico costante sulle superfici vetrate, garantendo temperature e umidità ottimali. Il flusso continuo d'acqua, inoltre, utilizza un sistema di riciclo che, attraverso una cisterna, raccoglie l'acqua già utilizzata per raffreddare l'ambiente, la purifica e la re-immette all'interno del sistema.

In questo modo l'elemento tecnologico viene utilizzato per rispondere a molteplici funzioni e non si limita soltanto a creare il microclima interno adatto. Da un lato, infatti, risponde alle esigenze commerciali dell'Atelier, offrendo la possibilità di vedere cosa succede all'interno dell'edificio direttamente da strada, dall'altro genera una fontana monumentale integrata alla pelle dell'edificio. Quest'ultima crea uno spazio eccezionale, ben riconoscibile e punto di riferimento per il quartiere.



Sistema di gestione e ricircolo dell'acqua.

© <https://www.gridsecondlife.it/progetto/32-elasticospa-stefano-pujatti-atelier-fleuriste/>

Dall'intervento di Atelier Fleuriste emerge come l'acqua possa essere sfruttata in maniera semplice per risolvere problemi complessi legati non solo ai costi di gestione dell'intervento, ma anche ambientali.

Inoltre, altro tema complesso che emerge dall'intervento è quello della sperimentazione in architettura.

Il progettista, infatti, riferendosi alle soluzioni tecnologiche innovative, in *Architettura al sangue* scrive:

"C'è una versione rovesciata del mito del progresso che considera l'innovazione -in particolare l'innovazione tecnica- non tanto come sequenza di successi, quanto scoperta di nuove possibilità di errore. Non si tratta però, come potrebbe sembrare, di una specie di luddismo intellettuale. È piuttosto un punto di vista che sottolinea l'impossibilità di dividere il successo dai fallimenti che l'hanno preceduto. [...] Errare, oltre che sbagliare, significa vagare senza sapere con chiarezza dove si sta andando, senza conoscere o riconoscere la strada. [...] L'aumento della conoscenza non è soltanto un accumulo di successi, ma anche -e forse soprattutto- la memoria degli errori commessi."^[2]



Facciata posteriore con giardino.

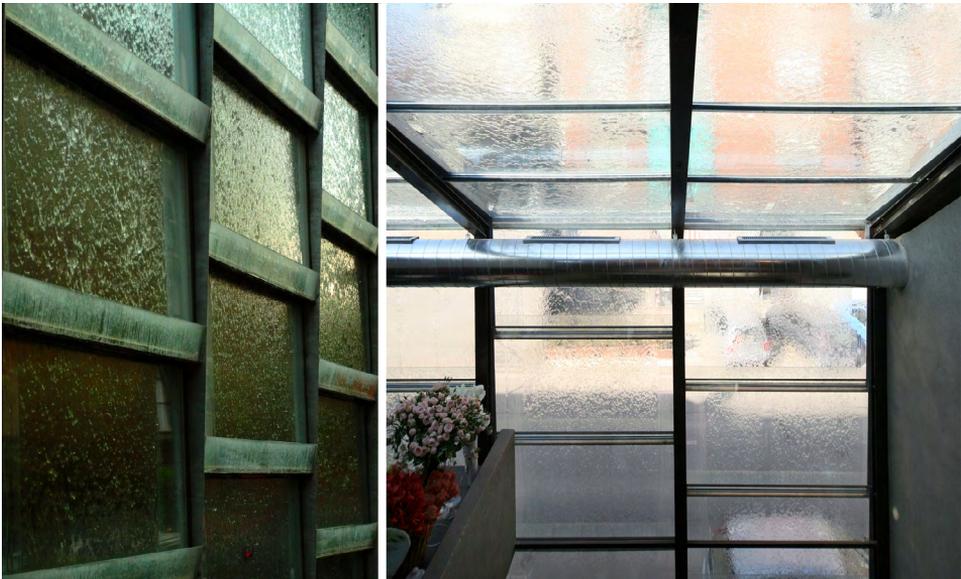
©https://www.archdaily.com/771793/atelier-fleuriste-elasticospa-plus-3/55cbf277e58ec5c7d0003c6-atelier-fleuriste-elasticospa-plus-3-photo?next_project=no

2 Luca Maria Francesco Fabris; *Architettura al sangue* / Rare architecture; Repubblica di San Marino, Maggioli, 2008



Incontro antico-nuovo.

© https://www.archdaily.com/771793/atelier-fleuriste-elasticospa-plus-3/55cbf277e58ece5c7d0003c6-atelier-fleuriste-elasticospa-plus-3-photo?next_project=no



Dettagli facciata con sistema idraulico.

© https://www.archdaily.com/771793/atelier-fleuriste-elasticospa-plus-3/55cbf277e58ece5c7d0003c6-atelier-fleuriste-elasticospa-plus-3-photo?next_project=no

-Gli Igloo

Le popolazioni Inuit, originarie dell'area costiera artica e subartica dell'America Settentrionale e della punta nord orientale della Siberia, fino al secolo scorso, costruivano dimore in ghiaccio, denominate *igloo*.

Oggi i blocchi di neve pressati sono stati sostituiti dal mattone, dal calcestruzzo e dal legno, tuttavia sono ancora presenti igloo tradizionali ad uso turistico o costruiti sul momento come rifugio temporaneo.

La crescita delle differenti tipologie abitative è stata possibile dopo la seconda guerra mondiale, grazie allo sviluppo tecnologico che ha permesso di mettere in maggiore contatto le popolazioni locali con il resto del mondo.

Il sistema di isolamento di un *igloo* permette di mantenere a 18°C la temperatura interna e di isolarsi dalle temperature esterne che, in genere, raggiungono oltre i -30°C.

Tale escursione termica è generata e/o consentita da diversi fattori:

- le sorgenti calde: il calore umano e il fuoco,
- le componenti fredde: le temperature esterne e i venti artici
- il filtro: la parete composta da blocchi di neve congelata.

I blocchi venivano tagliati con seghetti a mano, veniva fatto un primo taglio a terra con una forma a parallelepipedo, successivamente si continuava a tagliare seguendo due tagli paralleli di riferimento, generando così un tunnel "sotterraneo" che spesso consisteva nell'ingresso all'igloo. Una volta tagliati i conci venivano disposti in forme circolari o ellittiche seguendo, in base alla tecnica, una disposizione a layer sovrapposti o a spirale continua, con un'apertura in corrispondenza del tunnel. I conci, inoltre, venivano disposti con una forma a volta a botte per definire l'ingresso che così disposto proteggeva dai venti l'ambiente interno^[3].



Foto storica della costruzione tradizionale di un igloo.
©<https://www.informazioneambiente.it/igloo/>

I blocchi venivano tagliati e aggiustati a misura componendo la cupola e uniti da neve come fosse malta per tappare i fori e garantire maggior isolamento.

Le proprietà isolanti di queste pareti sono dovute alle bolle d'aria contenute nei blocchi stessi. Trattandosi di aria "ferma", non si generano moti convettivi, permettendo quindi di avere questa differenza di temperatura senza che le pareti si sciolgano in maniera compromettente per la struttura. I venti freddi poi, contribuiscono a tenere ghiacciata la cupola, evitandone il collasso.

Inoltre, l'interno dell'*igloo* raggiunge dei buoni livelli di impermeabilità, grazie al fuoco acceso che inizialmente scioglie lo strato di neve sulla superficie interna. Successivamente allo spegnimento del fuoco l'acqua si trasforma in ghiaccio, stato solido impermeabile al vento^[4]

4 Mario Salvadori; Perché gli edifici stanno in piedi; Milano, Bompiani, 2016, p. 98-99.

GIANNI PETTENA

- ICE HOUSE I - - ICE HOUSE II -

Gianni Pettena, architetto, artista e storico dell'architettura, appartiene al nucleo originario, insieme ad Archizoom, Superstudio e Ufo, dell'architettura radicale italiana. Pur non rinnegando la propria formazione di architetto è convinto della necessità di ripensare il significato della disciplina.^[5] Nei primi anni settanta, negli Stati Uniti propone, in maniera provocatoria, il congelamento forzato di due edifici nel Minnesota: una scuola abbandonata -ICE HOUSE I- e una villetta a schiera -ICE HOUSE II-. Questi esperimenti hanno significati ben diversi, ma entrambi sviluppano una ricerca sul comportamento di edifici mediante l'uso del ghiaccio.

Nel 1971 con **ICE HOUSE I**, il primo dei due progetti, Pettena propone di ghiacciare un intero edificio all'interno di un parco. Si tratta di una scuola abbandonata prossima alla demolizione. Il processo di congelamento è avvenuto attraverso il versamento di acqua in tubi forati collocati lungo il perimetro dell'edificio. Le temperature continentali hanno permesso il congelamento dell'involucro.

In questo modo la volumetria dell'architettura viene mantenuta, ma ricoperta da un nuovo strato di materia naturale, così da restituire ai materiali costruttivi della scuola di tornare alla loro condizione "naturale". Si prevede, inoltre, di iniziare il processo di congelamento durante la notte, così da creare un cambiamento -notte-giorno- plasmato dalla natura.

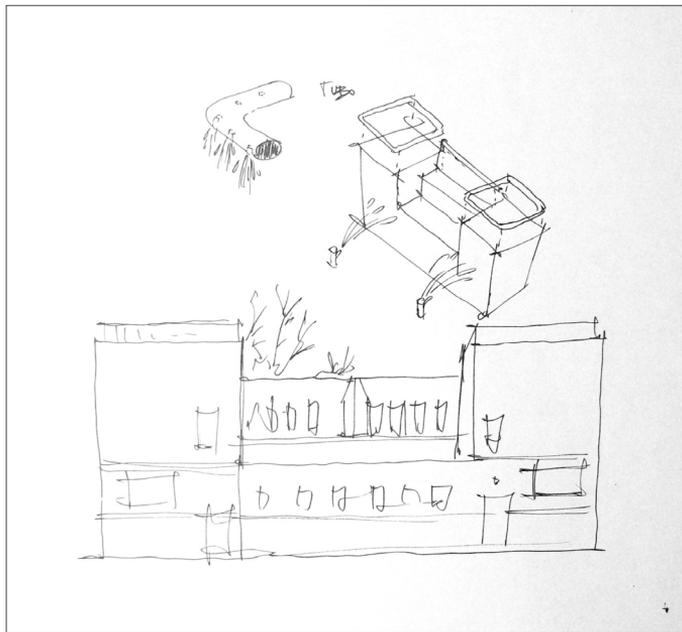
"La scuola preservò così la sua tipologia, con la sua tipica forma, ma una volta coperta di ghiaccio, è il materiale che la trasformò: si animò, perché era stata lavorata dalla natura."^[6]

5 <https://www.giannipettena.it/italiano/opere-1/nat-ice-house-i-1971-1/>
6 <https://www.giannipettena.it/italiano/opere-1/nat-ice-house-i-1971-1/>



Rappresentazione del progetto.

© <https://www.giannipetena.it/italiano/opere-1/nat-ice-house-i-1971-1/>



Schizzi originali per procedimento di congelamento.

© <https://www.giannipetena.it/italiano/opere-1/nat-ice-house-i-1971-1/>

Nel 1972 la sperimentazione prosegue con ICE HOUSE II, sempre nel Minnesota. L'intervento riguarda una villetta a schiera inserita all'interno di un tipico quartiere residenziale americano, costituito da una maglia stradale regolare e isolati composti da costruzioni ripetitive e poco caratterizzanti.

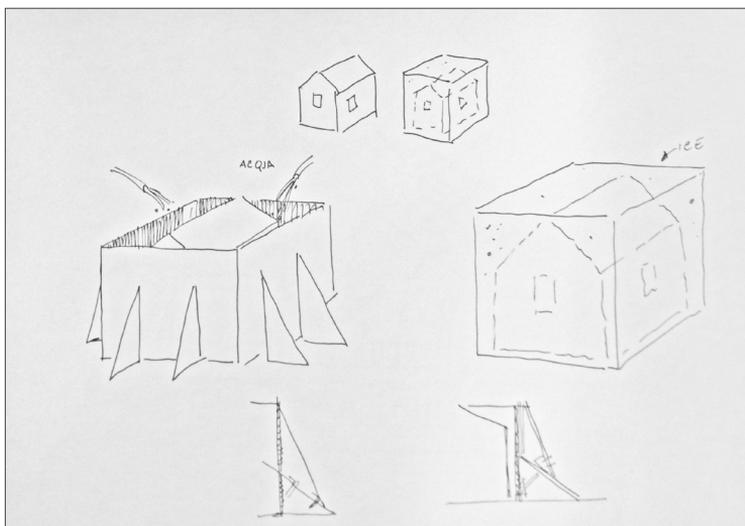
In questo caso Pettena propone il congelamento dell'intero lotto tramite dei grandi casseri, creando un enorme "cubetto" di ghiaccio.

La ragione dell'intervento, decisamente provocatorio, è quella di spezzare la monotonia del costruito. Generare un elemento caratterizzante -il cubo di ghiaccio-, infatti, significa interrompere l'indeterminatezza del contesto. Tuttavia lo stesso cubo di ghiaccio enfatizza il carattere ripetitivo del quartiere. Questo paradosso è reso possibile se l'"addizione del cubetto" viene letto in un'altra chiave, ossia come "la sottrazione di una pedina uguale a tutte le altre".



Rappresentazione del progetto.

© <https://www.giannipettina.it/italiano/opere-1/nat-ice-house-ii-1972-1/>



Schizzi originali per procedimento di congelamento.

© <https://www.giannipetena.it/italiano/opere-1/nat-ice-house-ii-1972-1/>



Foto a vista d'uccello sul quartiere.

© <https://www.giannipetena.it/italiano/opere-1/nat-ice-house-ii-1972-1/>

GARTNERFUGLEN ARKITEKTER

- NOUN 1. UNAVAILABILITY -

- THE QUALITY OF NOT BEING AVAILABLE WHEN NEEDED -

Gartnerfuglen Arkitekter, studio norvegese, nel 2012 disegna un rifugio temporaneo per la pratica dell'ice fishing, attività molto comune in queste regioni. La struttura è concepita per essere facilmente trasportata lungo il cammino. Questa, infatti, è composta da uno scheletro in assi di legno, collegati da cerniere che ne consentono la chiusura piegando la struttura su se stessa.

Gli spazi tra un asse e l'altro, invece, sono costituiti da una sottile e fitta griglia metallica (chicken wire). Quest'ultima è in grado di creare una parete di ghiaccio, sfruttando l'acqua presente nel lago.

La tecnologia del rifugio riprende due concetti chiave espressi in questa tesi. Il primo è il funzionamento dell'igloo, reso possibile dall'isolamento di un ambiente tramite un "materiale filtro" naturale; il secondo è assimilabile alla tecnologia *glacé*, che sfrutta una griglia metallica per produrre una pelle di ghiaccio.



Foto del progetto / trasporto della struttura piegata.

©<https://divisare.com/projects/325889-gartnerfuglen-arkitekter-noun-1-unavailability-the-quality-of-not-being-available-when-needed>



Foto del progetto / trasporto della struttura piagata.

© <https://divisare.com/projects/325889-gartnerfuglen-arkitekter-noun-l-unavailability-the-quality-of-not-being-available-when-needed>



Processi per la ripiegatura della struttura.

© <https://divisare.com/projects/325889-gartnerfuglen-arkitekter-noun-l-unavailability-the-quality-of-not-being-available-when-needed>

HOLLMÉN REUTER SANDMAN ARCHITECTS, ROBERT BARRY - LANTERNS OF URSA MINOR -

Questa installazione è stata allestita nel 2016 in Lapponia. Composta da cinque spazi meditativi, ognuno ospitante una persona, ha lo scopo di riconnettere le persone con il materiale primitivo. All'interno di questi spazi, infatti, si percepiscono i caratteristici odori, gusti, suoni e intimità del ghiaccio e della neve. La loro distribuzione in pianta è ispirata alla costellazione dell'orsa minore, così come riportano i nomi, scavati sulle pareti di ognuno.

Il progetto riprende lo stesso processo di formazione utilizzato per le lanterne di ghiaccio. Queste sono degli oggetti la cui forma deriva dalla compenetrazione di due bicchieri di diverse dimensioni riempiti d'acqua e fatti ghiacciare.

La produzione delle unità segue la stessa logica, ma adattata a una scala maggiore: vengono pertanto congelati dei recipienti cilindrici e poi scavati per ricavare lo spazio interno e l'accesso. I dettagli del processo non sono stati resi noti, ma sono stati fatti degli esperimenti a scala 1:2 per assicurarsi che i volumi non si rompessero.



Foto del progetto in notturna.

© <https://divisare.com/projects/333514-hollmen-reuter-sandman-architects-robert-barry-lanterns-of-ursa-minor>



Foto del progetto.

© <https://divisare.com/projects/333514-hollmen-reuter-sandman-architects-robert-barry-lanterns-of-ursa-minor>



Dettaglio dell'incisione dei nomi / permeabilità visiva bocchi di ghiaccio.

© <https://divisare.com/projects/333514-hollmen-reuter-sandman-architects-robert-barry-lanterns-of-ursa-minor>

MAD ARCHITECTS

- INK ICE -

Lo studio di architettura cinese nel 2006 ha ideato questa particolare installazione per l'inaugurazione del China Millennium Monument, museo della storia cinese situato a Pechino.

La struttura è composta da svariati blocchi di ghiaccio sovrapposti e alternati, colorati con inchiostro nero. L'utilizzo di ghiaccio in questo caso non è atto a migliorare le caratteristiche termiche di uno spazio, ne tanto meno a riconnettersi con il materiale primitivo, ma viene sfruttato come materiale mutevole per osservare e ragionare la scomparsa di questa entità in un arco temporale.

L'installazione è durata tre giorni, in questo periodo si sono potute osservare le mutazione di un solido, razionale nella forma e nel colore, disciogliersi e scolpirsi seguendo i venti e i collegamenti tra i vari blocchi più piccoli. Il risultato è una forma organica in divenire, che pian piano svanisce, lasciando macchie nere sul pavimento. Unica traccia visibile della sua permanenza nella piazza.



Foto del progetto / foto del progetto durante lo scioglimento.
© <https://divisare.com/projects/307544-mad-architects-ink-ice-2006>



Dettaglio dello scioglimento.
© <https://divisare.com/projects/307544-mad-architects-ink-ice-2006>

ELASTICO SPA

- MAISON GLACE' -

Il progetto nasce nel 2016, quando lo studio di architettura riceve un incarico per una villa residenziale nel quartiere delle spiagge di Toronto. Il quartiere The Beaches è collocato nella costa nord est di Toronto, adiacente al lago Ontario, considerato quartiere di pregio caratterizzato da villette a schiera disposte perpendicolarmente alle spiagge.

Il lotto in questione ha una conformazione allungata, i due lati corti affacciano da un lato su fronte strada e dall'altro su un grande parco con un campo da calcio, le due facciate lunghe invece sono una a ridosso di un'altra proprietà e l'altra, con un piccolo giardino, di fronte ad una stradina che collega la strada con il parco.

Uno dei primi quesiti che i progettisti si sono posti riguardava il clima. Toronto, come altre zone nel Canada e nell'America del Nord, è contraddistinta da un clima molto variabile tra la stagione estiva e quella invernale. Le temperature generalmente possono oscillare in queste due stagioni dai +40° C ai -30° C.

Nello specifico il quartiere The Beaches aggiunge una variabile, la vicinanza con il lago Ontario. Quest'ultimo porta dei venti freddi che durante l'estate rinfrescano e rendono l'attività all'aperto più piacevole, ma in inverno costituiscono un'aggravante a livello climatico.

La questione, pertanto, è risolvere un problema con due esigenze diverse, che generalmente appartengono a due climi differenti, all'interno di un solo edificio.

In questo caso l'osservazione del contesto ha scaturito l'intuizione dell'architetto, che osservando i cumuli di neve e ghiaccio portati dal vento, ha pensato di poterli sfruttare a suo vantaggio.



Facciata nord-ovest scenario invernale
©ELASTICO SPA

Così è stato pensato un sistema che favorisca l' "accumulo" delle precipitazioni su di esso utilizzando il clima come risorsa per creare una barriera naturale. In questo modo viene prevista così una griglia, che, attraverso le precipitazioni, se presenti, crea una vera e propria parete di ghiaccio. In alternativa la griglia viene indotta al congelamento con delle tubazioni nei periodi più secchi.

Questo muro di ghiaccio viene posto a una distanza limite dalle pareti esterne dell'edificio costituendo una barriera contro i venti e generando un'intercapedine che funge da spazio cuscinetto tra le temperature esterne ed interne.



Facciata nord-ovest scenario estivo
©ELASTICO SPA

Come già visto per gli igloo, dove l'isolamento deriva dall'aria presente nei blocchi di neve, anche in questo caso l'intercapedine di aria offre la componente di isolamento richiesto.

Durante la stagione estiva, invece, questa griglia agisce come schermo solare, riducendo il flusso luminoso degli ambienti interni.

La distribuzione della griglia nelle pareti esterne è infatti studiata per assolvere ad entrambe le problematiche: proteggere dai venti freddi, provenienti da nord-ovest, e al tempo stesso riparare dall'abbagliamento solare che altrimenti si verificherebbe durante le ore serali.

Dunque il sistema utilizza il ghiaccio in una maniera "nuova", non viene più percepito come problema, ma concepito come soluzione a protezione dell'abitare, simile a come avviene nelle tempeste di ghiaccio, che "ibernano" momentaneamente piante e frutti per farli rivivere una volta scongelato.

Il concetto di utilizzo di acqua come materiale termoregolare, rispetto all'atelier Fleuriste, in questo caso, si ribalta. A Chieri veniva utilizzato per raffrescare, in Canada assolve alla funzione opposta, protegge dal freddo e per farlo utilizza il freddo stesso, seguendo il concetto di resilienza.



Tempesta di ghiaccio su albero

© <https://chicago.curbed.com/2019/2/12/18221883/chicago-weather-ice-storm-freezing-rain>



Facciata nord-ovest scenario estivo
©ELASTICO SPA



Facciata nord-ovest scenario invernale
©ELASTICO SPA



Facciata sud-ovest scenario estivo
©ELASTICO SPA

-Riflessioni sulla sostenibilità ambientale

Il tema della sostenibilità, al giorno d'oggi, è argomento di acceso dibattito: questa generazione, così come le prossime, dovrà far fronte a problematiche che sono conseguenza di un approccio poco ponderato a livello ambientale e di scelte poco lungimiranti nel corso del secolo precedente. Nonostante sia infatti riconosciuta l'importanza di cambiare approccio, tuttora si commettono errori simili.

Il termine "sostenibilità" tende a diventare quasi un "brand", tant'è che in alcuni casi viene svilita con scopi propagandistici, etichettando prodotti o tecniche "green" senza indagare su quanto quest'ultimi possano esserlo effettivamente e non chiedendosi soprattutto come avvenga il processo che li rende tali.

Si considerino per esempio le auto elettriche, promosse come mezzo di mobilità "zero emission". Se si tiene però presente che, per essere alimentati, questi mezzi vengono spesso ricaricati con energia proveniente da risorse fossili, è chiaro che le emissioni non saranno zero, almeno per quanto riguarda la componente di produzione di energia.

In architettura, invece, vi è la tendenza a definire sostenibile ogni struttura contenga del verde -forse per via della parola "green"- senza approfondirne in fondo il motivo per il quale questa possa essere o meno considerata sostenibile.

È difficile ipotizzare che il carico di anidride carbonica assorbita dalle piante sia in grado di bilanciare il carico di emissioni di un edificio. Mentre quella che a prima vista può apparire in contrasto con il tema della sostenibilità, come una struttura in calcestruzzo -grigio- potrebbe invece rivelarsi più "green" di quella verde.

...Queste riflessioni non vogliono sistematicamente indicare l'erroneità

nell'utilizzo di questi sistemi, né una sfiducia nelle loro potenzialità, ma piuttosto, è un invito a ragionare sull'origine di quest'ultimi con l'intento di sensibilizzare ed indirizzare verso la comprensione di ciò che è realmente un comportamento sostenibile da ciò che viene "etichettato" come tale.

Il **WWF** (World Wildlife Fund) -uno degli enti più attenti alla preservazione del pianeta- **definisce sviluppo sostenibile** come:

"Imparare a vivere nei limiti di un solo pianeta. [...] è la capacità della nostra specie di riuscire a vivere, in maniera dignitosa ed equa per tutti, senza distruggere i sistemi naturali da cui traiamo le risorse per vivere e senza oltrepassare le loro capacità di assorbire gli scarti e i rifiuti dovuti alle nostre attività produttive."^[7]

Come suggeriscono queste parole, si può dedurre come l'attenzione in ambito di sostenibilità non debba essere tanto indirizzata all'oggetto, componente o sistema che sia, quanto all'**origine delle cose** o, più precisamente, ai **processi di trasformazione** che questi hanno subito e potranno subire.

Questo ragionamento può essere direttamente riconducibile alla *Legge della conservazione di massa* di Lavoisier tratta dal suo *Postulato Fondamentale*; la quale afferma che (in natura) "Nulla si crea, nulla si distrugge, tutto si trasforma."^[8]

Possiamo quindi, in un certo senso, considerare quanto sopra descritto come "principio primo" della sostenibilità.

7 https://www.wwf.it/il_pianeta/sostenibilita/il_wwf_per_una_cultura_della_sostenibilita/perche_e_importante2/cos_e_lo_sviluppo_sostenibile_/sostenibilita/perche_e_importante2/cos_e_lo_sviluppo_sostenibile_/

8 Antoine Lavoisier; *Traité Élémentaire de Chimie*; Parigi, 1789

Obiettivo di un processo sostenibile è, perciò, far sì che le trasformazioni che un materiale possa subire siano quanto meno inquinanti possibile e quanto più considerevoli delle risorse dell'ambiente circostante, prestando quindi attenzione a cosa un sistema o un prodotto, possa "permettersi" o meno nel territorio in cui è collocato.

Tutto ciò che ci circonda, infatti, è, o deriva, da materia naturale: prendendo in esempio materiali come il petrolio e il carbone, difficilmente si tende a considerarli materiali naturali, dato che sono tra le principali fonti di inquinamento, ma il carbone, così come il petrolio, è un prodotto naturale frutto di un processo avvenuto circa trecento milioni di anni fa. Il sole e l'ambiente caldo ed umido che caratterizzava quel periodo storico (insieme ad altre fattori geologici) hanno dato vita al materiale. La questione centrale, tuttavia, non è il prodotto di per se, piuttosto l'utilizzo per il quale viene impiegato, in maniera massiva in primis, e generando tonnellate di anidride carbonica favorendo l'intensificarsi dell'effetto serra.

Altro esempio, che come il carbone difficilmente viene ritenuto naturale, è la tecnologia (informatica): questa è alla base della maggior parte delle attività nel nostro secolo. Anch'essa, per quanto astratto possa sembrare, è frutto di trasformazioni di materiali naturali.

Per comprendere quanto possa essere sostenibile l'utilizzo e la produzione di apparecchi tecnologici, vi è la necessità di porsi alcuni quesiti; quali: Come vengono prodotte le parti? Quali materiali vengono impiegati? Una volta che un dispositivo è diventato obsoleto, come può essere riciclato?

E ancora: Le sue componenti sono separabili? Quanta strada hanno fatto per essere assemblate e consegnate poi agli utenti? E con che mezzi soprattutto?

Volendo essere più precisi ci sarebbe un'ulteriore domanda da porsi, questa riguarda il potenziale risparmio di emissioni inquinanti utilizzando la tecnologia, magari da remoto, rispetto al compiere la stessa azione in maniera "tradizionale".

Entrando nel dettaglio, per comprendere l'effettiva sostenibilità di un edificio o di un processo, esistono delle tecniche matematiche. Queste fanno parte del macro-argomento definito in inglese **Life Cycle Approach** che considera la vita di un componente, un edificio, un processo o di qualsivoglia soggetto di analisi, dall'estrazione delle materie prime al loro "**fine vita**". Esistono due tipi di approccio: il primo, "from cradle to grave", ovvero "dalla culla alla tomba" (che considera l'intero il ciclo di vita tenendo conto anche delle fasi di manutenzione, riparabilità e sostituzione di un singolo elemento); e il secondo, evoluzione del primo, definito "from cradle to cradle", "dalla culla alla culla" (che considera anche oltre il fine vita, ovvero le cosiddette 4 R: Riciclare, Ridurre, Regolamentare, Riutilizzare).

Gli strumenti di analisi Life Cycle Approach sono svariati; quelli più utilizzati in architettura sono sostanzialmente due, entrambi ovviamente considerano l'intero ciclo di vita, dall'estrazione, al trasporto, all'utilizzo, alla manutenzione e al fine vita. Questi sono:

- Life Cycle Cost: ovvero la sommatoria dei costi complessivi,
- Life Cycle Assessment: considera tutti gli apporti inquinanti.

Detto che questo è un argomento estremamente complesso e che richiederebbe una tesi solo per essere descritto completamente, sintetizzando, si può cogliere come i valori più importanti, in accordo con

le parole di Fabrizio Tucci^[9], siano:

- L'utilizzo di **materie prime disponibili nel territorio**;
- La preferenza nell'utilizzo di **materiali grezzi e disponibili in quantità adeguate**;
- Il **riciclaggio dei materiali**, garantito al fine di un eventuale **riutilizzo**;
- L'**analisi dei processi di trasformazione** che si intende generare, **limitando il consumo** ambientale ed economico;
- Le strutture portanti e la "pelle" degli edifici devono essere di **notevole durabilità** e garantire un **alto grado di efficienza** nell'impiego dei materiali, di lavoro ed energia, ed una **minimizzazione dei costi** di messa in opera.

Un esempio, seppur d'altri tempi, è quello delle costruzioni degli Antichi Romani^[10]. Costoro, sprovvisti di risorse quali elettricità ed industria, sono stati in grado di costruire edifici, teatri, infrastrutture e città intere con un approccio "zero emission".

Gli acquedotti ne sono una dimostrazione esemplare poiché, a distanza di migliaia di anni, sono ancora integri e potenzialmente funzionanti. Riuscirono, sfruttando la forza di gravità, a trasportare acqua da luoghi in cui era presente ad altri che altrimenti avrebbero versato in condizioni di siccità, senza emettere alcuna emissione nociva.

9 Fabrizio Tucci; "Involucro ben temperato"; Alinea, 2006, p. 45

10 Carla Maria Amici; "Architettura Romana: dal cantiere all'architetto: soluzioni concrete per idee progettuali"; "L'Erma" di Bretschneider, Roma, 2016

Le stesse ville romane ne furono un esempio lampante, possedevano, infatti, sia una gestione delle acque impeccabile: la forma dei tetti era studiata per raccogliere l'acqua piovana che veniva poi riutilizzata in base alle necessità; così come l'esposizione e la distribuzione planimetrica, studiate per vivere al meglio gli ambienti nelle diverse ore del giorno, con temperature e i ricambi di aria necessari senza, ovviamente, climatizzatori o pompe di calore.

La sostenibilità, dunque, può essere interpretata come un **richiamo all'architettura del passato**, quando per risolvere i problemi progettuali non si prestava attenzione a che tipo di organismo tecnologico si potesse sfruttare, ma piuttosto ad analizzare quali potessero essere le problematiche e a capire quali risorse in natura fossero in grado di risolverlo; anche in maniera non diretta.

In conclusione, questa concezione non va interpretata come una regressione a livello tecnologico, piuttosto un invito a sfruttare le conoscenze e le tecnologie che la società contemporanea è riuscita a sviluppare combinandole, attraverso scambi reciproci, alle conoscenze e ai processi logici del passato. Combinando, in questa maniera, la costante evoluzione in ambito scientifico con l'ingegno e l'intuito della tradizione dei nostri antenati più lontani. Quelli che per noi sono i classici sono stati a loro tempo grandi innovatori; guardare ad essi deve significare riscoprire i valori che hanno saputo rispettare l'ecosistema e legare in simbiosi edifici ed impianti, sfruttando il sole, il vento e ogni altra risorsa naturale utile al progetto.

- TECNICA -



Come dice il nome, questo capitolo riguarderà la parte più tecnica e scientifica della tesi. Dunque i temi verranno trattati con un criterio e un lessico di matrice scientifica, nell'intento di ricavare dati e comprendere il funzionamento che la tecnologia può avere.

Gli studi sono stati condotti con due tipologie di approccio differenti: il primo è a livello analitico, quindi uno studio di ciò che si conosce e di cui si è scritto; il secondo, invece, è più sperimentale e personale, applicando ciò che si è studiato precedentemente a livello pratico e logico.

Le analisi riguarderanno in primo luogo lo studio del materiale acqua-ghiaccio per comprendere le sue caratteristiche a livello fisico e chimico.

Uno studio delle tecnologie assimilabili applicate di consueto.

E infine, dopo gli studi, vi sarà un reportage degli esperimenti svolti a Toronto con annotazioni sul funzionamento e sulle migliorie applicabili.

Il capitolo terminerà con sezioni tecniche commentate, prima concettuali e poi di progetto, espressione dei ragionamenti postumi alla sperimentazione.

-Il Ghiaccio

Per affrontare questo tema è risultato necessario condurre ulteriori studi riguardo l'acqua, e la sua fase solida, ovvero il ghiaccio, e ai vari comportamenti e reazioni fisico chimiche ai quali questa viene sottoposta durante la transizione e una volta trasformata.

Il ghiaccio è un solido cristallino trasparente che deriva dalla transizione di fase da liquido a solido dell'acqua, questo passaggio di stato, a pressione atmosferica standard di 101.325 Pa, avviene se il liquido è raffreddato a 0 °C.

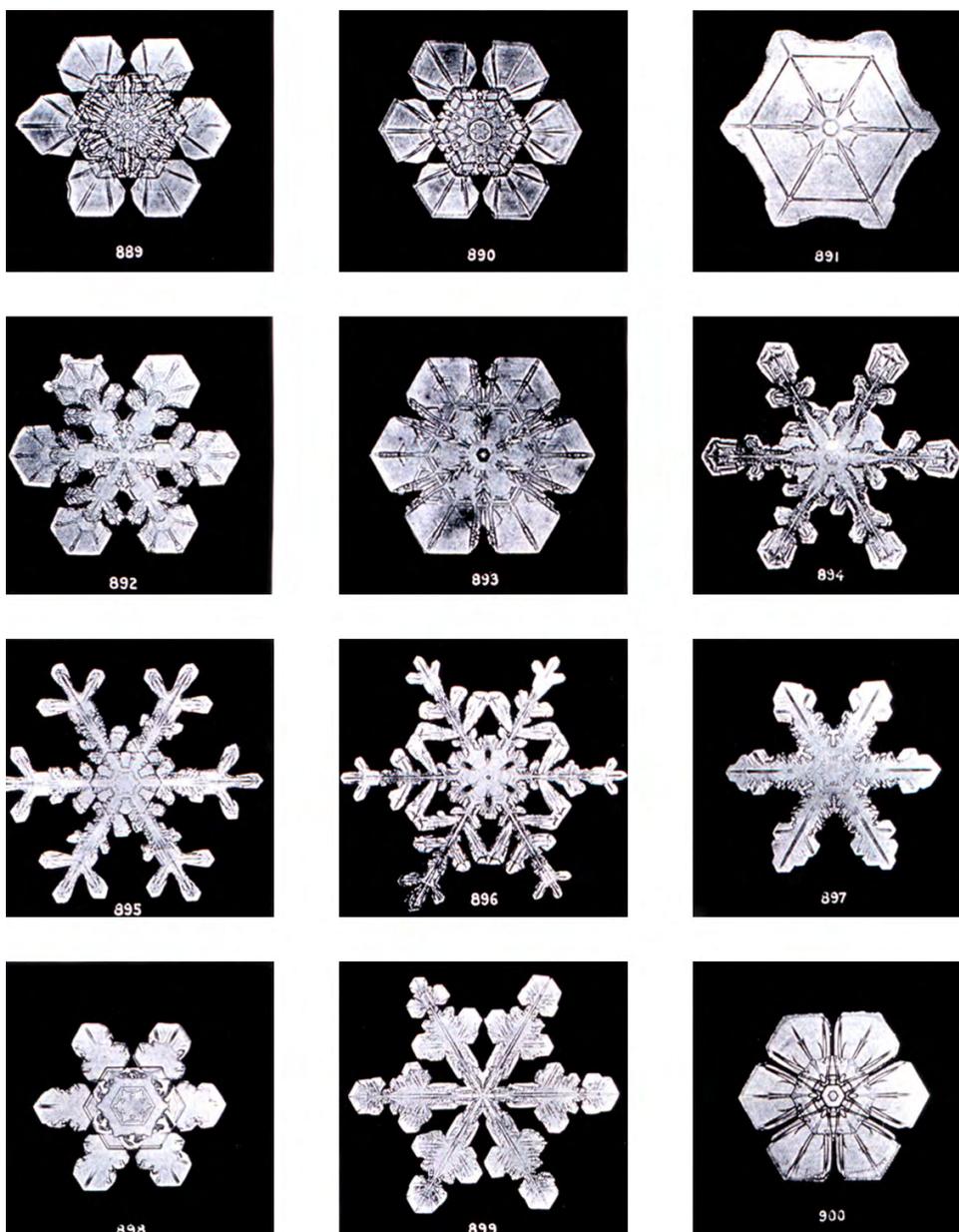
Non esiste, in natura, una sola tipologia o forma di ghiaccio, tant'è che i cristalli di ghiaccio, sono sempre differenti tra loro. Per formarsi, il ghiaccio infatti, ha bisogno di un **punto di nucleazione**, che solitamente deriva da un "difetto", o meglio, da un innesco. Un esempio è il granello di sabbia o polvere dal quale esso successivamente si propaga. Questo fenomeno è simile e opposto alla rottura di un vetro, nel quale da un difetto di superficie si crea una cricca e poi con la tensione superficiale o indotta si propaga fino a rottura, o in questo caso alla formazione del ghiaccio.

Le fasi solide dell'acqua più precisamente sono quindici, vengono catalogate in numeri romani con l'utilizzo di pedici per differenziare le diverse forme della stessa fase. Solo due forme sono presenti nella biosfera e sono entrambe appartenenti al ghiaccio di fase I. Il **ghiaccio** comune viene denominato I_h ed è stabile fino ai -100 °C e a pressioni fino ai 200 MPa_[1], ed è caratterizzato da una struttura a **simmetria esagonale** ($I_h = I_{\text{hexagonal}}$). Dello stesso ghiaccio di fase I vi è anche la versione cubica, indicato con sigla I_c (= I cubic), ma questa fase è molto rara, riscontrabile occasionalmente nell'atmosfera superiore o recentemente riproducibile in laboratorio_[2].

1 Diagramma di fase dell'acqua: campi di esistenza delle varie tipologie di ghiaccio.

©CMGLEE; Phase diagram of water.svg; Wikimedia, 2018

2 <https://www.cnr.it/en/press-release/9202/prodotto-per-la-prima-volta-il-ghiaccio-cubico-perfetto>



Wilson Bentley - Plate XIX of "Studies among the Snow Crystals ..." by Wilson Bentley, "The Snowflake Man." From Annual Summary of the "Monthly Weather Review" for 1902.

La **densità** del ghiaccio equivale a $0,9168 \text{ g/cm}^3$ _[3] ed è inferiore a quella della reciproca fase liquida. Proprio per questa ragione, infatti, il ghiaccio galleggia in acqua. Più precisamente questa caratteristica si verifica

3 <http://www.treccani.it/enciclopedia/ghiaccio/>

per via dell'aumento del volume del reticolo con legami a idrogeno. Per questa stessa caratteristica l'acqua a 4 °C è quella con densità maggiore, uguale a 1 g/cm³; da qui l'idea comune sul peso di un litro di acqua uguale a un chilogrammo.

Le **caratteristiche ambientali** di **pressione** e **temperatura** sono molto rilevanti nell'analisi della formazione del ghiaccio, in quanto l'acqua può rimanere allo stato liquido anche al di sotto degli 0 °C, per via di alte pressioni. Vi è, inoltre, un fenomeno che permette all'acqua di rimanere liquida anche a -34 °C_[4], questo fenomeno è definito sopraffusione.

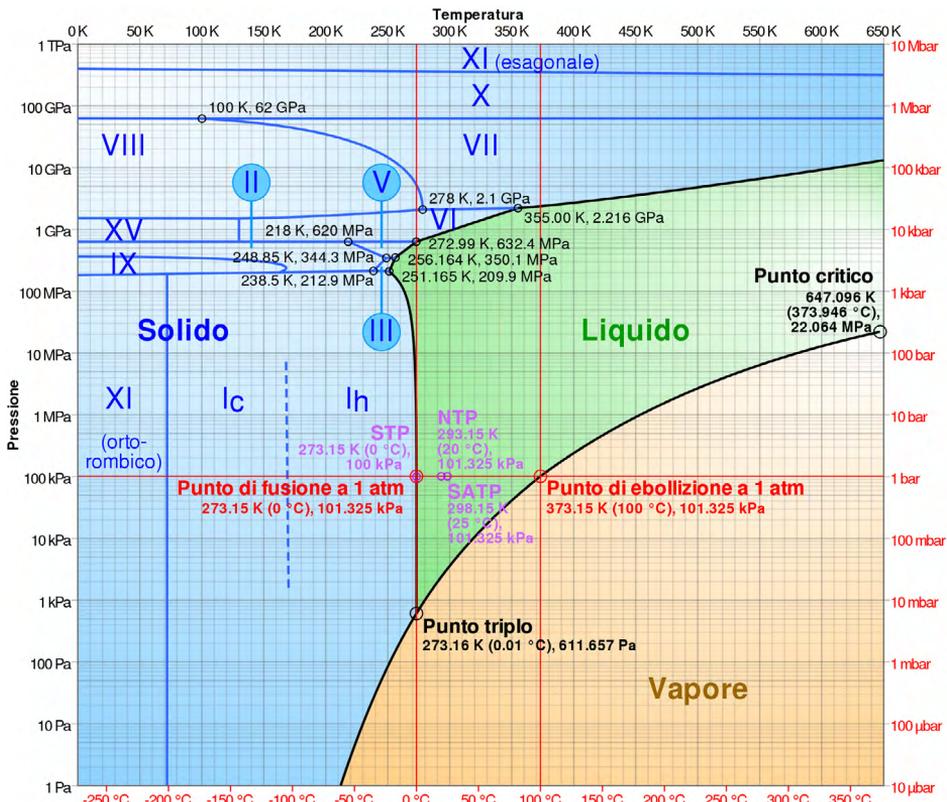


Diagramma di fase dell'acqua: campi di esistenza delle varie tipologie di ghiaccio.
 ©CMGLEE, Phase diagram of water.svg, Wikimedia, 2018

4 S. Mossop; "The Freezing of Supercooled Water" Proceedings of the Physical Society; Section B, Vol. 68, No. 4, 1955, pp. 193-208.

–Sopraffusione

Questo fenomeno fisico si manifesta quando, in seguito al processo di raffreddamento di un liquido al di sotto della sua temperatura di solidificazione, questo non solidifica, rimanendo quindi allo stato liquido.

La sopraffusione dell'acqua (supercooled water, in inglese) è dovuta alla tensione superficiale del liquido che ne impedisce il congelamento. L'acqua, in questo caso, riversa in una **condizione molto instabile**. Quando il liquido sopraffuso viene sottoposto a vibrazioni, a contatto con un cristallo di ghiaccio o con un materiale freddo congela istantaneamente.^[5]

Per far sì che l'acqua congeli, come detto precedentemente, vi è infatti bisogno di un **punto di nucleazione**, come un granello di sabbia o polvere, da cui generare un cristallo che poi si propaga andando a solidificarsi progressivamente.^[6] La sollecitazione del liquido metastabile favorisce infatti la formazione del punto di nucleazione rendendo possibile il congelamento del liquido.

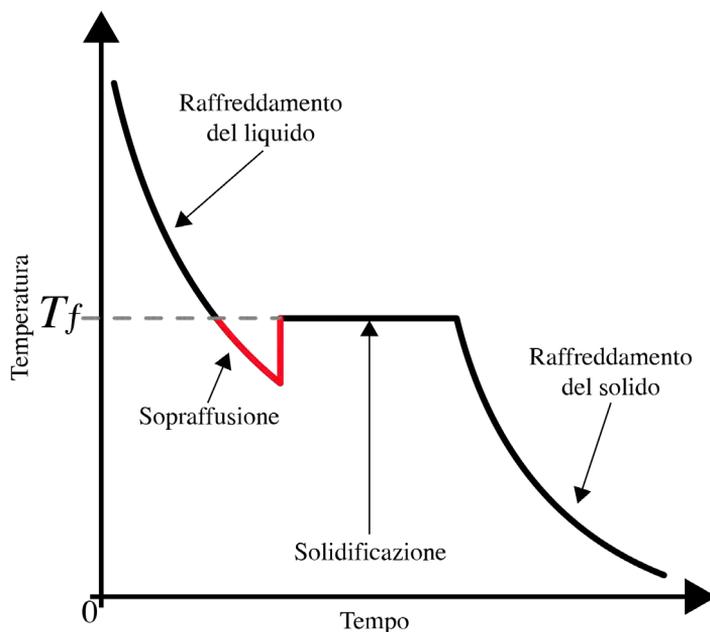
Altre caratteristiche permettono il verificarsi del fenomeno. Si prenda, ad esempio, in analisi l'acqua distillata. Questa contiene meno contaminanti, pertanto vi è una tendenza che il fenomeno si verifichi maggiore rispetto all'acqua normale poiché il liquido fa fatica a trovare l' "innesco" necessario alla formazione del primo cristallo e quindi al cambiamento di fase.^[6]

Dagli studi è visibile anche come la velocità di abbassamento della temperatura dell'acqua influisca sul verificarsi o meno del fenomeno. L'acqua raffreddata lentamente è più soggetta a sopraffusione.^[6]

5 <http://www.treccani.it/vocabolario/ricerca/sopraffusione/>

6 Amir Gholaminejad, Reza Hosseini; "A Study Of Water Supercooling"; Journal of electronics cooling and thermal control, 2013, 3, 1-6

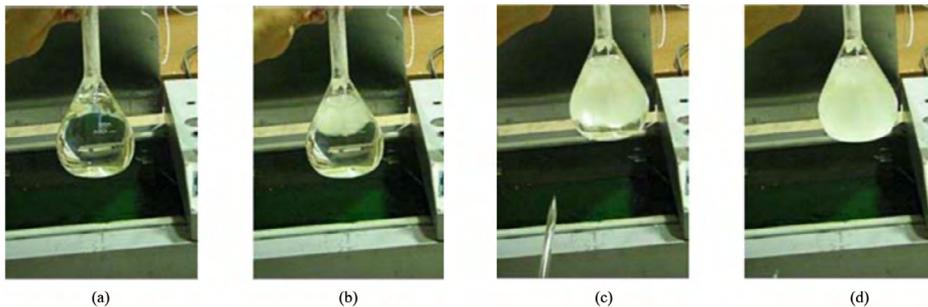
Questo fenomeno viene studiato anche nell'**aeronautica**, dove viene applicato alle nubi fredde. Durante un volo se una nube di acqua sopraffusa viene in contatto con il velivolo potrebbe congelare la superficie esterna dello stesso, potenzialmente bloccando i flap necessari alle manovre aeree o creando problemi al funzionamento dei motori^[7].



Evoluzione della temperatura di un liquido soggetto al fenomeno della sopraffusione.
©C. D. NGOC CHAN, CARNBY, Soprappfusione.svg, Wikimedia, 2018

Per comprendere meglio il fenomeno ho svolto un semplice **esperimento** con una bottiglia di acqua. Dopo averla posta nel congelatore per circa 3 ore, è stata estratta con accortezza, risultando allo stato liquido. Dal momento in cui la bottiglia viene agitata o scossa contro un piano, la maggior parte di acqua si congela nel giro di pochi secondi.

7 https://www.enav.it/enavWebPortalStatic/meteo/Corsi_di_base/Meteorologia-ACC-partellIII_new.pdf



Nucleazione forzata acqua sopraffusa: (a) $t=0$; (b) dopo 1,13 secondi; (c) dopo 2,53 secondi; (d) dopo 3,13 secondi.

©Amir Gholaminejad, Reza Hosseini; "A Study Of Water Supercooling"; Journal of electronics cooling and thermal control, 2013, 3, 1-6

-Gelicidio

Quando un liquido sopraffuso viene a contatto con un materiale freddo, come può avvenire su marciapiedi o strade ad esempio, forma istantaneamente un sottile velo di ghiaccio limpido molto scivoloso per via della superficie molto liscia che viene a creare.

Questo fenomeno prende anche il nome di **tempesta di ghiaccio** ed è un fenomeno piuttosto raro, ma riscontrabile in ambienti molto freddi. L'entità del fenomeno è variabile in base alle temperature e alla quantità di precipitazioni. Durante le mie ricerche a Toronto ho potuto osservare personalmente il fenomeno, piuttosto leggero, al porto in centro città.



Gelicidio (leggero) avvenuto al porto di Toronto
©elaborato personale

Altri luoghi quest'anno hanno riscontrato il fenomeno in maniere più estreme: ad esempio ad Hamburg, New York, un paese a sud ovest del lago Ontario. I forti venti e la vicinanza al lago Erie hanno portato acqua sopraffusa sulla superficie di abitazioni generando uno strato di diversi centimetri di ghiaccio su di esse, rendendo di fatto impossibile l'accesso alle case se non attraverso la rottura del ghiaccio^[8].



Gelicidio avvenuto questo inverno a Hamburg, New York

© <https://eu.usatoday.com/story/news/nation/2020/03/03/lake-erie-ny-homes-hoover-beach-turn-into-ice-palaces/4937109002/>

–Effetto Mpemba

Questo curioso e controverso effetto descrive la situazione di congelamento di un liquido in maniera più rapida quando questo è “caldo”, rispetto quanto si possa logicamente pensare partendo da una temperatura più “fredda”.

Nel passato il fenomeno era già stato notato anche da autori di rilievo

8 <https://eu.usatoday.com/story/news/nation/2020/03/03/lake-erie-ny-homes-hoover-beach-turn-into-ice-palaces/4937109002/>

come Aristotele^[9] o Cartesio^[10], ma non era mai stato pubblicato fino agli anni sessanta dello scorso secolo.

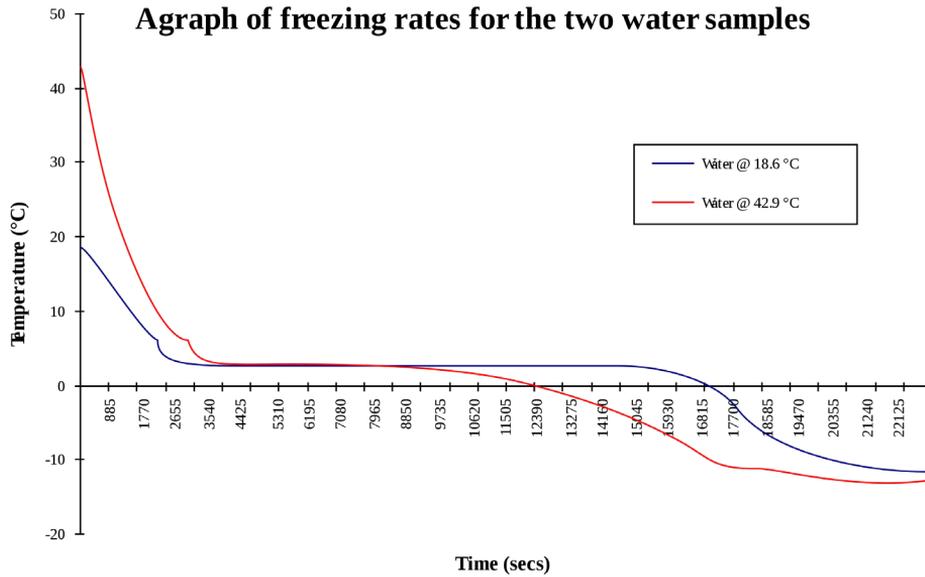
Il nome dell'effetto, infatti, deriva dal nome di uno studente tanzano, Erasto Mpemba, che nel 1963 notò questa caratteristica durante un laboratorio in classe sulla preparazione del gelato. La tecnica di preparazione, in questo caso, consisteva nel fare bollire il latte, aggiungendo zucchero e frutta, e riporlo nel congelatore. Dopo essere rimasto indietro nella preparazione del composto, ripose il suo preparato ancora caldo nel congelatore. Il gelato di Erasto solidificò prima degli altri. Questo avvenimento, per quanto risultò anti-logico, rimase una questione irrisolta per il giovane studente che alcuni anni dopo, durante una conferenza, ebbe la possibilità di chiedere allo scienziato Denis Osborne, ospite al Mkwawa High School, come fosse possibile che un liquido a 100 °C solidificasse prima di uno a 35 °C. Lo scienziato, dubbioso, chiese se avesse provato in prima persona la veridicità dell'affermazione e, quando gli rispose di sì, decise di provare lui stesso in laboratorio. Nel 1969 i due pubblicarono un paper dal nome "Cool? A paper by Erasto Mpemba and Denis Osborne" in cui vengono descritti i test svolti e la effettiva veridicità del fenomeno^[11]. Le spiegazioni scientifiche, tuttavia, rimangono tutt'oggi vaghe, essendo che questo effetto andrebbe a scontrarsi con alcune regole della termodinamica.

L'effetto Mpemba, è dovuto a una somma di fattori, non tutti ben determinati e chiariti. Sul tema vi è, infatti, un'area di aleatorietà riguardo tutti i fattori che lo generano. Svariate sono le pubblicazioni che contraddicono a vicenda i risultati degli altri scienziati.

9 Aristotle; "Meteorology"; 4th century BC.

10 R. Descartes; *Discourse on Method, Optics, Geometry, and Meteorology*, translated by P. J. Olscamp; (Bobbs-Merrill, Indianapolis, 1965), Chap. 1, p. 268.

11 E. Mpemba, D. Osborne; "Cool?"; *Physics Education*, Vol. 4, No. 3, 1969



Andamento temperatura due campioni di acqua a temperature iniziali differenti.
 ©Mpemba-two-water-probes.svg, 2010, <https://www.picotech.com/library/experiments>

Nel *Journal of Electronics Cooling and Thermal Control*, nel 2013 venne pubblicato un articolo riguardo la sopraraffusione in cui viene analizzata la possibilità che la sopraraffusione sia una causa dell'effetto Mpemba^[12]. L'acqua fredda, infatti, fa più fatica a trovare un punto di cristallizzazione **sovraraffreddandosi** e, una volta che questa cristallizza, la temperatura torna a 0 °C. Questo salto è dovuto al rilascio del calore latente della cristallizzazione. Una volta raggiunti i cristalli, l'acqua a 0 °C comincia a cristallizzare congelando l'intero liquido. Questi passaggi indicano una tendenza dell'acqua fredda a congelare più lentamente di quella calda poiché il fenomeno della sopraraffusione è meno presente nell'acqua più calda.

12 Amir Gholaminejad, Reza Hosseini; "A Study Of Water Supercooling"; *Journal of electronics cooling and thermal control*, 2013, 3, 1-6

Alcuni scienziati credono che il processo di raffreddamento conservi una memoria che influirebbe sul congelamento, in special modo riguardante i **gas disciolti** all'interno dell'acqua. Questi sono presenti in maggior quantità nell'acqua fredda rispetto a quella calda, tuttavia questo non è ancora spiegabile poiché non ci sono prove del fatto che una maggior concentrazione di gas ostacoli la creazione di siti di nucleazione^{[13][14]}.

Kell, nel 1969 suggerì che l'acqua calda possa far sì che una componente di liquido **evapori, riducendo così la massa di acqua** da congelare^[15]. Tuttavia studi futuri confutarono la tesi dimostrando che la riduzione della massa e dell'energia non sono sufficienti per far congelare prima l'acqua riscaldata rispetto a quella fredda^[16].

Deeson, nel 1971 suggerì che i **moti convettivi** generati dall'acqua calda fanno sì che non vi sia una temperatura uniforme e che questo movimento favorisca la creazione di punti di cristallizzazione. I livelli caldi, infatti, per convezione naturale risalgono verso la superficie superiore, più calda del resto del campione. Lo scienziato suppone che quando l'acqua riscaldata raggiunge la temperatura dell'acqua più fredda possiede una velocità di raffreddamento superiore che quindi gli consente di congelare prima^[17].

13 M. Freeman; "Cooler Still---An Answer?"; Physics Education, Vol 14, No. 7, pp. 417-421, 1979

14 B. Wojciechowski, I. Owczarek, G. Bednarz; "Freezing of Aqueous Solutions Containing Gases"; Crystal Research Technology, Vol. 23, No. 7, pp. 843-848, 1988

15 G. Kell; "The Freezing of Hot and Cold Water"; American Journal of Physics, Vol. 37, No. 5, 1969

16 E. Mpemba, D. Osborne; "Cool?"; Physics Education, Vol. 4, No. 3; 1969

17 E. Deeson; "Cooler-Lower Down"; American Journal of Physics; Vol. 6, 1971

Dunque si può percepire che i fenomeni descritti in questo capitolo sono concatenati tra loro ed aiutano a comprendere il comportamento del ghiaccio nel suo complesso. Questi studi sono stati utili nella fase preliminare di sperimentazione, che verrà descritta nei successivi capitoli e per predisporre i campioni e studiare il funzionamento del sistema durante la fase di congelamento.

-Tecnologie a confronto

Oggigiorno in ambito di sostenibilità in architettura si ragiona sempre di più a livello di involucro, vera pelle dell'edificio che, come nel corpo umano, termoregola il comfort interno nell'uomo così come negli edifici. La specificità legata a questo tipo di tecnologia viene definita **bioclimatica**, ovvero riguardante tecnologie che sfruttano **risorse naturali** per migliorare le prestazioni dell'edificio, o meglio il **comfort** che l'edificio è in grado di offrire.

È difficile eseguire una vera e propria catalogazione delle tecnologie presenti sul mercato, poiché, oltre che numerose, si differenziano particolarmente da applicazione ad applicazione. Il ragionamento infatti va posto riguardo alla logica di funzionamento che queste sfruttano, quindi analizzando i flussi tramite pelli, isolamento e materiali impiegati piuttosto che al sistema stesso. Per semplicità sono state divise in tre categorie: **facciate ventilate**, **facciate a doppio involucro** e **facciate dinamiche**.

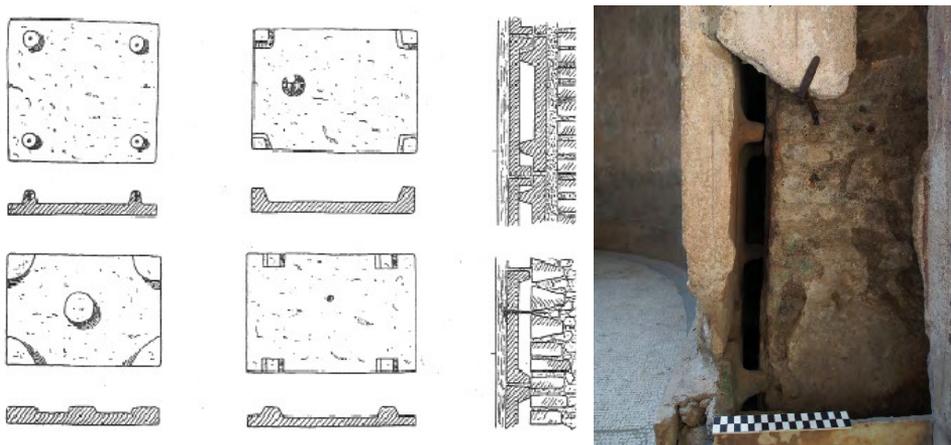
-Facciate ventilate

Sono un sistema che sfrutta un rivestimento di facciata posto ad una distanza dalla parete esterna. Queste sfruttano i flussi d'aria generati dai moti convettivi per rinfrescare le pareti o isolare dall'esterno, in base alla

stagione a cui si fa riferimento.

Si tratta di un sistema che può risolvere facilmente problemi termici negli edifici, spesso vengono applicate in combinazione ad un cappotto esterno migliorando notevolmente le performance dell'edificio. Non va considerato un sistema High-tech, tant'è che le sue origini sono di matrice romana^[18]. In alcune *domus* infatti erano presenti delle intercapedini tra la muratura, consentendo di raffrescare o riscaldare gli ambienti. Questa tecnologia veniva utilizzata anche nelle terme:

"Gli ipocausti adottati nelle terme e in seguito in lussuose abitazioni ebbero origine dall'idea di sfruttare i vapori caldi che a Baia, città termale della Campania, salivano naturalmente dal sottosuolo. [...] Quel sistema per riscaldare i pavimenti, e poi per mezzo di intercapedini anche le pareti, fu talmente soddisfacente che ben presto fu adottato in tutte le terme dell'impero. Il calore naturale proveniente dal sottosuolo di Baia fu ottenuto altrove con comuni forni a legna (praefurnia)."^[19]



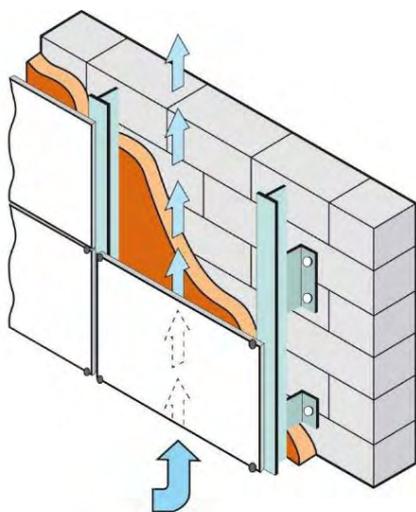
Disegno e fotografia di una parete ventilata romana ipocausto

© http://materialdesign.it/it/post-it/tegole-e-tubuli-per-pareti-areate-_13_623.htm

18 Pasquale Cascella; "FACCIAE VENTILATE Elementi di architettura", Brianza Plastica, Milano, 2019

Oggi questo tipo di parete è prevalentemente esterna e viene costruita in maniera più industrializzata, tramite dei pannelli parete coibentati e ventilati. Spesso il sistema è costituito da un pannello che integra, già nella struttura, l'isolamento e la sottostruttura di sostegno per il rivestimento esterno velocizzando notevolmente la posa.

Particolarmente indicato per la stagione estiva, il sistema funziona sfruttando i moti convettivi che si vengono a formare scaldando il paramento esterno tramite la radiazione solare. Alla base e alla sommità sono presenti delle aperture che consentono l'ingresso e l'uscita dell'aria, rinfrescando l'intercapedine e di conseguenza la parete.



Assonometria facciata ventilata con indicato il flusso dei moti convettivi;

Immagine di cantiere raffigurante la posa del paramento esterno

© <https://www.infobuild.it/approfondimenti/le-pareti-ventilate/>

© http://www.gaverini.it/fr-FR/pose/section_technique/techniques_alternatives/

In inverno la ventilazione dell'intercapedine non dà particolari vantaggi climatici, se non l'eliminazione dell'umidità al suo interno. Le basse temperature e l'assenza di forte calore incidente, infatti, non comportano grandi moti convettivi poiché l'aria all'esterno e all'interno dell'intercapedine sono circa alla stessa temperatura. Al contrario, se si

ipotizzano chiuse le due aperture alla sommità e alla base, l'intercapedine può diventare uno spazio cuscinetto, con una temperatura media tra ambiente esterno ed interno.

-Facciate a doppio involucro (o a doppia pelle)

Sono facciate composte da due pareti -vetrate o parzialmente vetrate- con interposta un'intercapedine.. Lo strato esterno ha la funzione di proteggere dagli agenti atmosferici, quello interno invece è un cuscinetto bioclimatico che permette di regolare i flussi termici derivati dall'irraggiamento, dai venti e dalla temperatura esterna.

Vanno riposte particolari attenzioni per determinare la giusta sinergia tra i materiali da utilizzare e i tipi di reazioni bioclimatiche che si vogliono ottenere per optare per la tipologia di parete più corretta al progetto. Queste variabili sono principalmente: irraggiamento solare, tipo di ventilazione dell'intercapedine, entità della portata d'aria, posizione delle schermature e sistema impiantistico di climatizzazione. Infatti in base a questi vincoli la parete può variare la sua conformazione. L'intercapedine può essere ventilata secondo moti naturali o anche meccanici nei casi in cui vuole estremizzare la performance della parete.

La ventilazione viene utilizzata specialmente nella stagione estiva, dove assolve la funzione di regolatore di temperatura interna. La schermatura solare riflette verso l'esterno la maggior parte della radiazione prodotta dal sole e aumenta, insieme alla ventilazione, le capacità della parete di isolare dalle temperature esterne.

Nella stagione invernale i moti naturali interni all'intercapedine diminuiscono, così come avviene nelle ore serali. Questo è dovuto allo scarso irraggiamento del sole, che quindi non scalda in maniera significativa

la parete esterna, generando meno moti convettivi. La chiusura delle bocchette di entrata ed uscita dell'aria comporta un sistema di accumulo di calore passivo che trattiene l'energia termica e riduce le perdite di calore.

Vi è poi una suddivisione delle tipologie di **facciata a doppia pelle** in base alla diversa compartimentazione delle camere d'aria. Queste facciate possono essere: a **tutta superficie**, a **elementi**, a **canali** e a **cellule**.

I sistemi a **tutta superficie** offrono una ventilazione continua della facciata in quanto l'intercapedine è lungo tutto l'edificio, **non ha divisioni orizzontali e verticali**. Questo sistema è il più semplice ma anche quello con più problematiche. La gestione della portata di aria è complicata in quanto vi saranno delle variabilità di pressione nel volume costituito. L'assenza di divisioni comporta altri due rischi, il primo a livello di rumore in quanto potrebbero crearsi dei ponti acustici e il secondo per quanto riguarda il pericolo di diffusione delle fiamme durante un incendio.



Facciata a doppio involucro, progetto in completamento "La Samaritaine", Parigi;
Particolare della doppia pelle con aperture

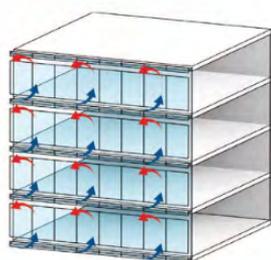
©<https://www.designboom.com/architecture/la-samaritaine-paris-sanaa-department-store-edouard-francois-hotel-03-10-2019/>

Il sistema ad **elementi** invece prevede delle **divisioni per ogni montante ed ogni piano**. Dunque varie celle singole che sono più semplici da

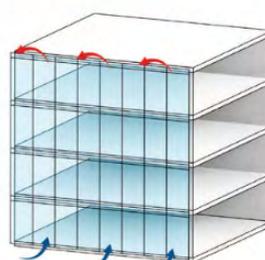
controllare. In questa maniera si evitano dunque le problematiche descritte poc'anzi riguardanti i ponti acustici e la diffusione delle fiamme in caso di incendio.

Il sistema a **canali** suddivide verticalmente le **camere d'aria a tutta altezza**. Risulta efficace per costruzioni di pochi piani dove non è necessaria la ventilazione meccanica. Anche in questo caso rimangono i problemi legati agli incendi descritti nei sistemi a tutta superficie. Richiede dunque una progettazione accorta, che eviti la possibilità che un incendio si verifichi in prossimità della camera d'aria. La maggior parte degli incendi, infatti, avviene dall'interno all'esterno e più difficilmente il contrario.

Il sistema a **cellule**, infine, consiste in **componenti tridimensionali prefabbricati**, prevalentemente utilizzati in grandi costruzioni. Le aperture consistono solo nelle bocchette di entrata e uscita dell'aria. Per evitare ricircoli vengono poste sfalsate le une alle altre. Tecnica utilizzata anche per le facciate ad elementi.



a cellule (o elementi)



a canali

Differenza tra funzionamento doppia pelle a cellule (o elementi) e a canali
© <https://journals.open.tudelft.nl/jfde/article/view/1527/2436>

–Facciate dinamiche

Riguardano la branca tecnologica maggiormente definibile **high-tech** tra quelle analizzate. Comprendono varie tipologie di facciata che sfruttano

sistemi dinamici per **"cambiare pelle"** in base all'ambiente esterno. Come può verificarsi per facciate con **lamelle orientabili automaticamente** in base al vento, alla temperatura esterna e all'incidenza solare.

Un sistema che sfrutta questo principio in maniera innovativa è la facciata con camere d'aria in **ETFE** (Etilene tetrafluoro-etilene). Consiste in "cuscini", costruiti con questo particolare polimero, in grado di gonfiarsi e sgonfiarsi tramite delle pompe pneumatiche, in base a svariati sensori posti all'esterno e all'interno dell'edificio. L'aria che viene insufflata è composta da aria e nitrogeno. La centralina che gestisce il sistema analizza temperatura, umidità e pressione atmosferica per calibrare il gonfiaggio o lo sgonfiaggio delle camere d'aria. Questi cuscini, posti a distanza dalla facciata consentono di avere spazi climatici differenziati, che consentono un risparmio degli apporti di riscaldamento e condizionamento dell'edificio. Questo tipo di sistema di involucro è capace di consentire un risparmio del 20% rispetto ad un sistema tradizionale^[19]. Va considerato nei calcoli, però che il costo richiesto da questo tipo di tecnologia è elevato.



Facciata principale in ETFE dell'edificio MediaTIC di Barcellona;
Particolare interno dell'intercapedine

© <https://miesarch.com/work/1844>

© <https://www.filt3rs.net/case/etfe-dynamic-solar-shading-mediatic-barcelona-553>

19 Pasquale Cascella; "FACCIAATE VENTILATE Elementi di architettura", Brianza Plastica, Milano, 2019

-La Tecnologia "Glacé"

La tecnologia del progetto di Maison Glacé è una tecnologia sperimentale che vedrà la sua costruzione nei prossimi anni. Questa tecnologia è nata dall'osservazione dell'ambiente circostante per risolvere problemi non consueti con strumenti inusuali in architettura. Sfrutta il principio di una parete a doppia pelle, costituita da una griglia metallica che in inverno viene indotta al congelamento creando una barriera di ghiaccio e in estate agisce come schermo solare.

Il congelamento avviene tramite le precipitazioni e i venti o tramite degli ugelli che spruzzano acqua su di essa. La barriera di ghiaccio che viene a formarsi ha lo scopo di proteggere dai venti freddi, che altrimenti raffredderebbero la parete esterna, generando per conduzione, un raffreddamento interno indesiderato. L'intercapedine inoltre funziona come camera d'aria tra la barriera di ghiaccio e la parete esterna, con l'intento di migliorare la trasmittanza termica (U), creando una zona buffer (cuscinetto), aumentando così la resistenza (R) della stratigrafia con un conseguente risparmio sugli apporti di riscaldamento forzato.

Come intuibile dai capitoli precedenti, per portare questa ipotesi a sperimentazione ha richiesto numerosi studi e approfondimenti riguardo un tema poco affrontato, necessari per comprendere il comportamento di questo insolito materiale all'interno di un sistema piuttosto tradizionale.

Questo gran numero di dati e ragionamenti sono stati necessari per poter sviluppare un pensiero coerente e un approccio iniziale per le prime fasi di sperimentazione svolta nella capitale dell'Ontario.

-Test

La fase di sperimentazione è servita a porre le basi per lo studio di questa tecnologia. Essendo il risultato frutto di numerose incognite e comportamenti complessi, la sperimentazione empirica è stata una componente importante per lo studio e lo sviluppo di una tecnologia con accortezze appropriate per la risoluzione dei problemi insoliti che il materiale richiede di risolvere.

I test sono stati svolti a Toronto, in Canada, presso lo studio di architettura KFA Architects and Planners, studio partner dell'architetto Pujatti collocato nella zona di Kensington market, al confine del centro della città. Si tratta di un edificio di sei piani fuori terra, su Spadina Avenue, via centrale circondata da grattacieli da un lato e da quartieri residenziali dall'altro. Questa location ha consentito di simulare, seppur in maniera minore, le condizioni climatiche del quartiere The Beaches, dove sarà collocato il progetto pilota.

I test sono stati svolti sul rooftop di questo edificio, da un lato per una questione spaziale, dall'altro per poter simulare in maniera più assimilabile le condizioni climatiche del luogo di progetto. Le temperature infatti sono più alte di qualche grado rispetto al quartiere predisposto e sono presenti meno venti. L'altezza dell'edificio, tuttavia, aiuta a compensare questa differenza essendo meno schermata rispetto ai primi piani fuori terra.

È stato costruito un sistema idraulico che potesse irrigare senza l'utilizzo di pompe elettriche, utilizzando la sola forza di gravità. Il sistema è costituito da un recipiente isolato termicamente, un miscelatore per gestire il flusso idrico e una tubatura in PVC (Polivinilcloruro) con dei microfori collocati a distanze calibrate.

Sono stati svolti numerosi test per comprendere il reale funzionamento del sistema: come l'acqua fatta scorrere su delle griglie fredde congeli, quanto quest'acqua debba essere calda o fredda, da dove questa comincia a congelare, come scorre sulle diverse griglie e altri quesiti.

Gli esperimenti svolti sono stati riassunti nei quattro più significativi (+1):

- il **primo** è servito per attuare una selezione delle griglie più indicate a questo scopo;
- nel **secondo** è stata utilizzata la miglior griglia del primo esperimento più una nuova tipologia proposta dal fornitore;
- il **secondo (bis)** è lo stesso esperimento, ma è stata cambiata la tipologia di applicazione dell'acqua, non viene più fatta gocciolare su di essa ma spruzzata, simulando un nebulizzatore;
- il **terzo** esperimento viene svolto in maniera più accurata, con una struttura in legno che circonda la griglia e un tubo a misura che serve solo la quantità di acqua richiesta;
- il **quarto**, infine, è un esperimento in grande scala per comprendere il funzionamento della tecnologia studiata su una griglia di grandi dimensioni.

- TEST I -

DATA: 18 DICEMBRE 2019
CONDIZIONI CLIMATICHE: -8°C --> -7°C

OBIETTIVI:

- _1 Verifica congelamento pratico
- _2 Catalogazione e selezione lamiere metalliche più performanti
- _3 Verifica sistema idraulico

GRIGLIE:

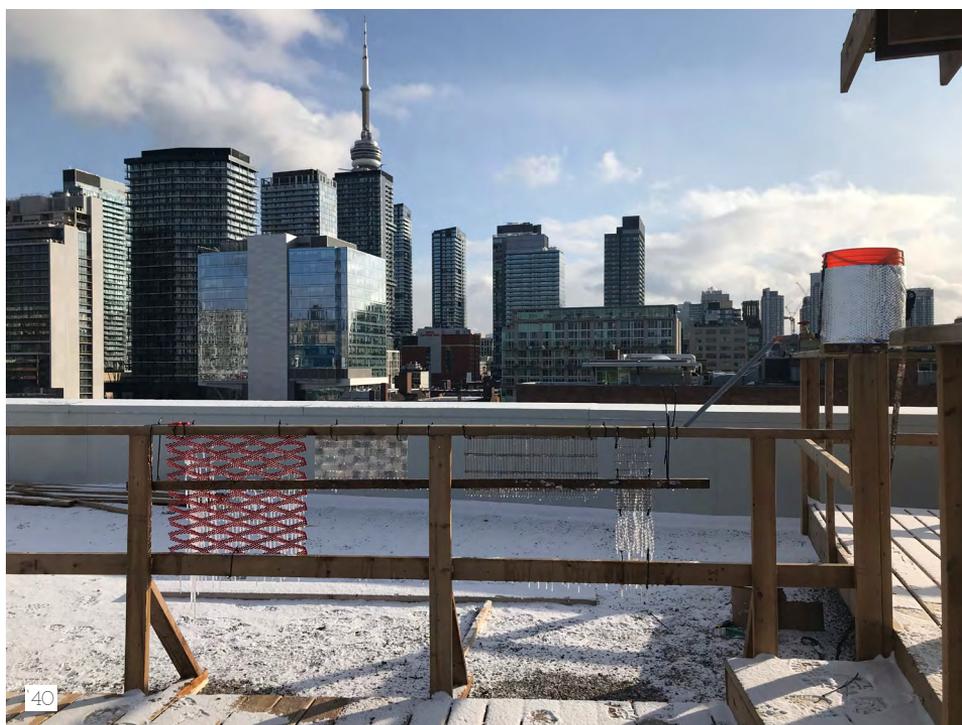
#1	#2	#3	#4
			#5
			#6

ANNOTAZIONI:

- _4 **Temperatura acqua troppo calda:** conferma effetto Mpemba, ma calore acqua scioglie ghiaccio formato precedentemente
- _5 **Precisione gocciolamento:** la posizione del tubo incide molto sull'irrigazione delle griglie
- _6 Scongelo tubi possibile grazie ad acqua calda nel condotto

CONSIDERAZIONI:

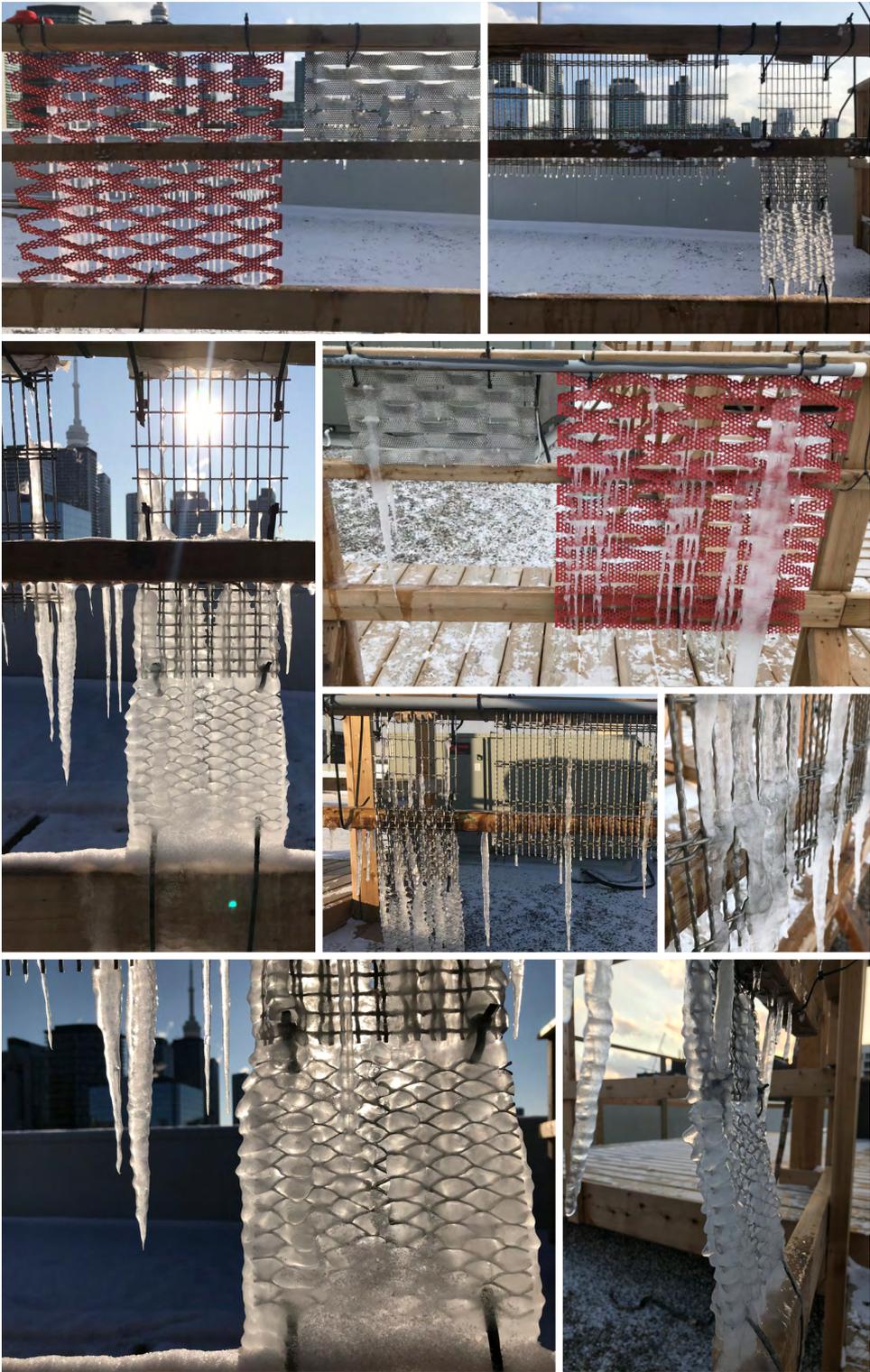
- _7 Disegno griglia: migliori risultati in griglie spesse e dal disegno inclinato, la dinamica del congelamento funziona meglio con le griglie tendenti all'obliquo/orizzontale poiché rallentano il gocciolamento



*Il minutaggio considera solo il tempo nel quale è stata fatta scorrere l'acqua.
©Fotografie personali



*Il minutaggio considera solo il tempo nel quale è stata fatta scorrere l'acqua.
©Fotografie personali



©Fotografie personali

- TEST II -

DATA: 8 GENNAIO 2020

CONDIZIONI CLIMATICHE: -4°C --> -3°C

OBIETTIVI:

_1 Analisi a scala più grande: griglia selezionata + nuova griglia

GRIGLIE:

#6

#7

ANNOTAZIONI:

_2 Maggiore difficoltà nel congelamento, Temperatura ambientale più alta rispetto al test precedente

_3 Il congelamento della griglia parte dal basso, per poi inspessirsi e risalire verso la fonte del flusso

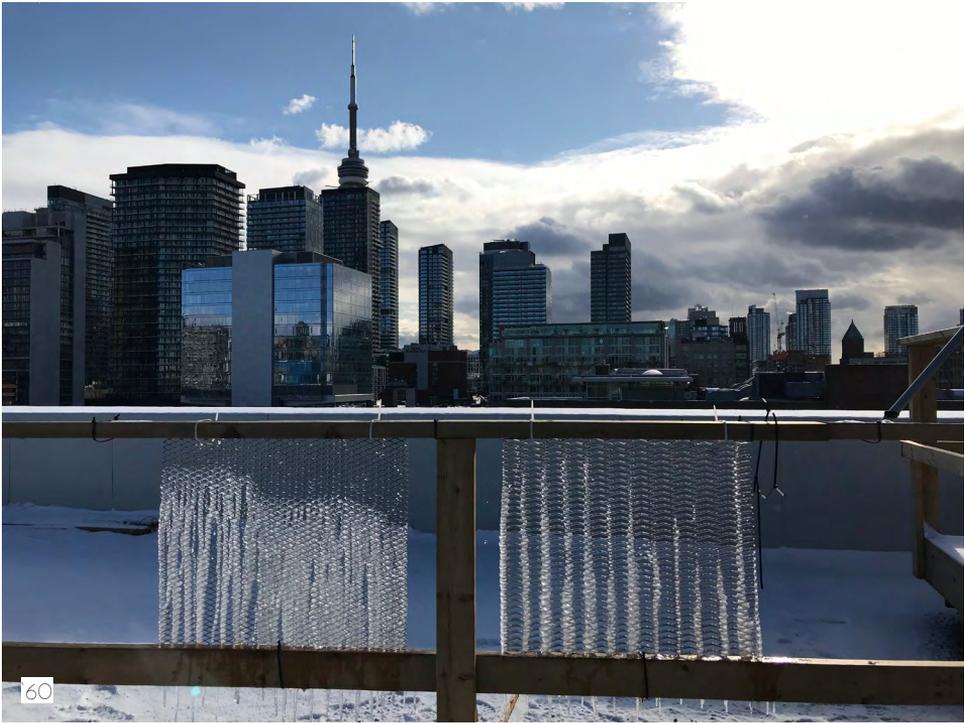
_4 Speco di acqua, molta cade a terra, da considerare ricircolo flusso

CONSIDERAZIONI:

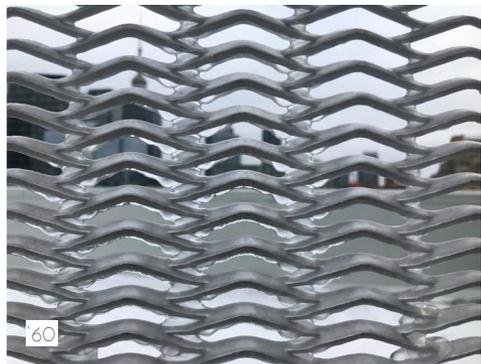
_5 La geometria della griglia #7 porta l'acqua a scorrere prevalentemente agli incroci del disegno rallentando così il congelamento dei fori

_6 La griglia #6 conferma la miglior performance: ottima densità, spessore e omogeneità di congelamento

_7 Considerazione postuma: la griglia #7 è costruita in alluminio, forte conduttore termico, la radiazione solare probabilmente scalda la griglia facendo sciogliere parte del ghiaccio.



*Il minutaggio considera solo il tempo nel quale è stata fatta scorrere l'acqua.
©Fotografie personali



*Il minutaggio considera solo il tempo nel quale è stata fatta scorrere l'acqua.
©Fotografie personali

- TEST III -

DATA: 17 GENNAIO 2020
CONDIZIONI CLIMATICHE: -13°C --> -10°C

OBIETTIVI:

- _1 Maggior standardizzazione del test: nuova struttura, tubo ad-hoc per una sola griglia
- _2 Possibilità di spostare la struttura e testare la rigidità

GRIGLIE:

#6

ANNOTAZIONI:

- _3 Miglioramento idraulica: grazie alla struttura il tubo è stato collocato più precisamente e con fori per una sola griglia
- _4 Miglior congelamento: temperatura ambiente più bassa e posizione precisa del tubo hanno incrementato le performance, appena 10 minuti per il congelamento dello strato superficiale
- _5 Minor spreco di acqua
- _6 La velocità del flusso incide molto sul congelamento

CONSIDERAZIONI:

- _7 Test in condizioni più standardizzate e a temperature più basse hanno dato ottimi risultati, in caratteri: estetici, tecnici e di resistenza
- _8 La neve si attacca alla squama di ghiaccio con risultati gradevoli



*Il minutaggio considera solo il tempo nel quale è stata fatta scorrere l'acqua.
©Fotografie personali

- TEST IV -

DATA: 14 FEBBRAIO 2020
CONDIZIONI CLIMATICHE: -18°C --> -16°C

OBIETTIVI:

- _1 Test su grande scala (240 x 120 cm)

ANNOTAZIONI:

- _2 Problema idraulico, acqua localizzata prevalentemente sul lato sinistro della griglia
- _3 Congelamento generale positivo, tutta l'altezza viene coperta dal ghiaccio, anche se con fori non congelati e parte inferiore ghiaccia in minor misura

CONSIDERAZIONI:

- _4 Risultato positivo in generale, ma richiede altra esperimento per variabili disturbanti

- TEST V -

DATA: 20 FEBBRAIO 2020
CONDIZIONI CLIMATICHE: -8°C --> -7°C

CONSIDERAZIONI:

- _5 Risultato positivo, buona copertura griglia



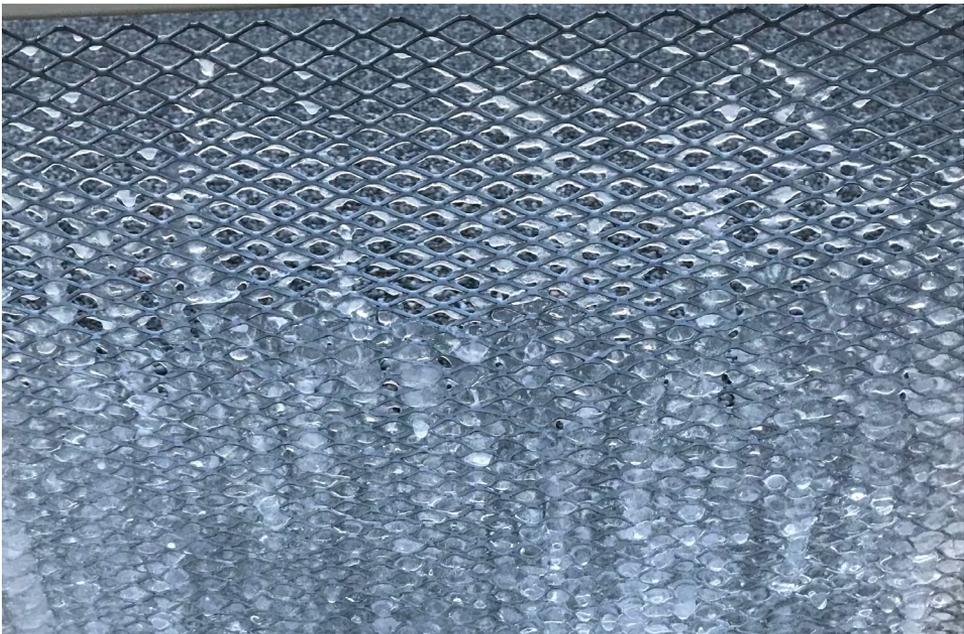
*Il minutaggio considera solo il tempo nel quale è stata fatta scorrere l'acqua.

**Risultato esperimento V

©Fotografie personali







©Fotografie personali



©Fotografie personali

-Sviluppo

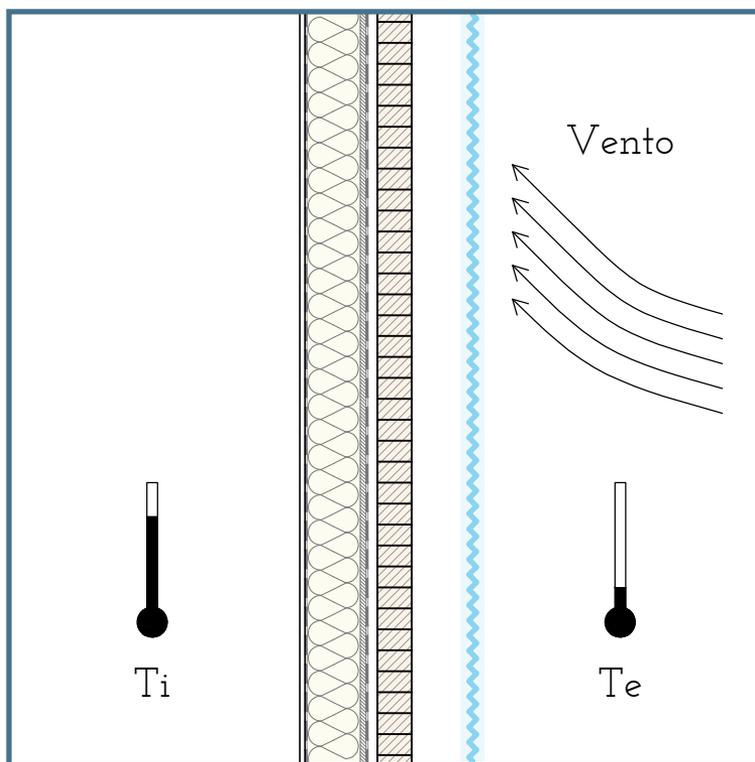
I test condotti hanno permesso di avere una conoscenza di base sulle dinamiche ed il funzionamento della griglia durante il congelamento. In fase di produzione saranno necessari ulteriori test a larga scala e lo studio di un sistema idraulico alimentato da una pompa, simulata in fase di sperimentazione con la forza di gravità, per impossibilità economiche e di disponibilità elettrica.

Oltretutto, per la complessità tecnica dei dettagli riguardanti i flussi termici e la componente dinamica del sistema, ritengo sia necessaria la consulenza di uno specialista che analizzi i nodi principali.

Dando per assodato che il carattere estetico-funzionale della barriera di ghiaccio raggiunga standard accettabili ed i tempi per la sua messa in opera siano conformi per il funzionamento della tecnologia si procede con l'analisi tecnico-stratigrafica per studiare nel dettaglio il sistema nel suo complesso.

I

IDEA - CONCEPT



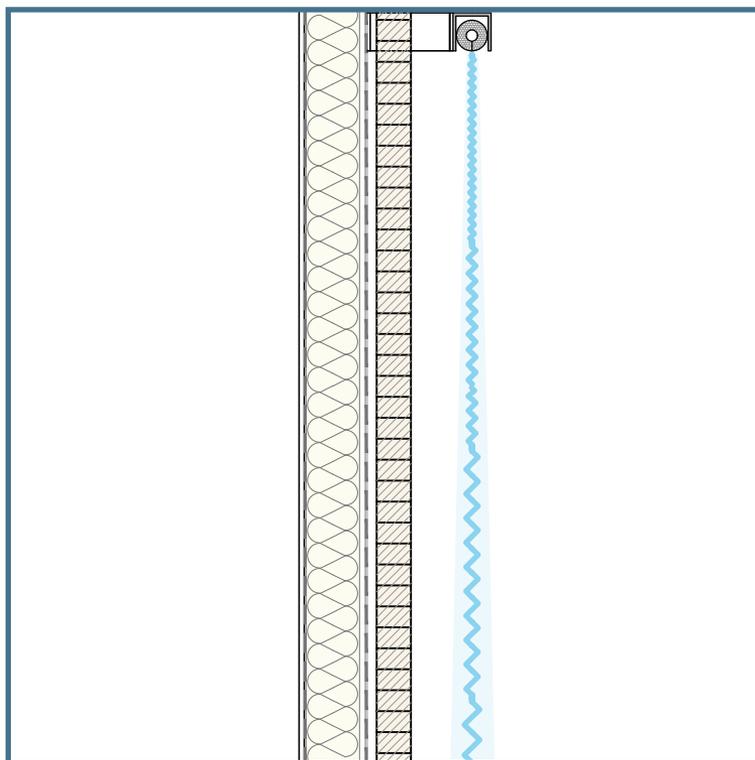
© Elaborato personale

SCALA 1:200

Il principio di funzionamento è costituito dalla griglia metallica che, congelandosi, genera una barriera respingendo i venti freddi così che non incontrino la parete raffreddandola. L'intercapedine di aria invece costituisce uno spazio "cuscinetto" tra la temperatura esterna e la temperatura di parete, essendo aria "non in movimento" possiede un potere isolante notevole.

II - A

GOCCIOLAMENTO - GHIACCIO



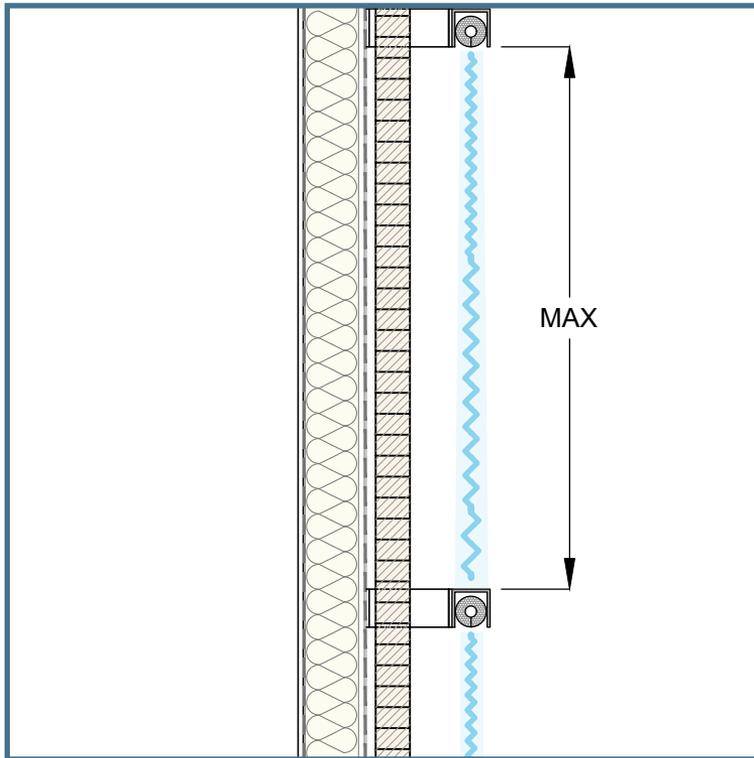
© Elaborato personale

SCALA 1:200

Il congelamento tramite gocciolamento risulta essere ottimo per la sua semplicità ed economia, tuttavia la tendenza al congelamento rivelata durante i test ha reso noto il fatto che il ghiaccio si genera in maniera più concentrata verso il fondo della griglia, producendo così uno strato più spesso di ghiaccio alla base.

II - B

GOCCIOLAMENTO - H MAX



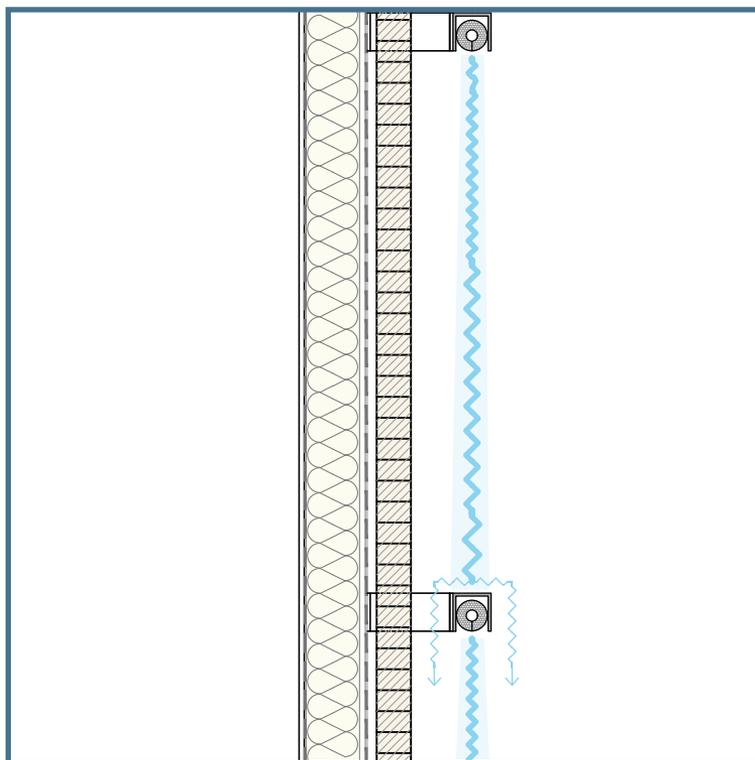
© Elaborato personale

SCALA 1:200

Per ovviare a questa tendenza va calcolata un'altezza massima che non comporti differenze in spessore rilevanti. Determinata questa altezza, alla base della griglia andrà posizionata una seconda tubatura. Dai test condotti questa dimensione può essere considerata tra 1,5 m e 2,5 m. Tuttavia bisognerebbe condurre ulteriori test a dimensioni maggiori (h_{max} griglia provata 2,4 m).

II - C

GOCCIOLAMENTO - SPRECO H₂O



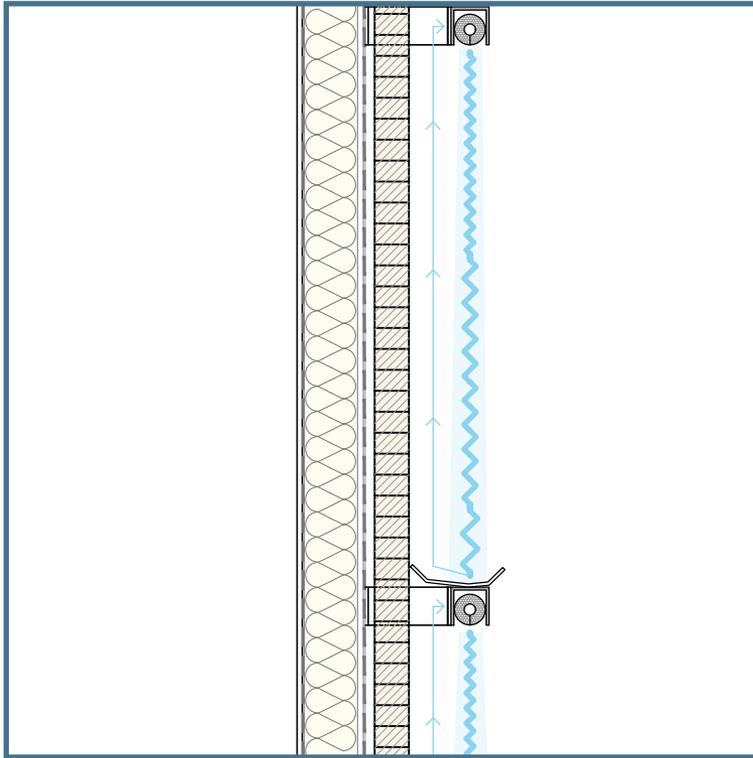
© Elaborato personale

SCALA 1:200

Se da un lato il controllo dello spessore con una seconda tubatura porti ad un risultato superficiale di migliore qualità, va considerato il flusso idrico che verrebbe sprecato, continuando a scorrere oltre la griglia predisposta, capace inoltre di rendere potenzialmente inefficace il condotto idrico sottostante congelando la tubatura.

II - D

GOCCIOLAMENTO - RICIRCOLO H₂O



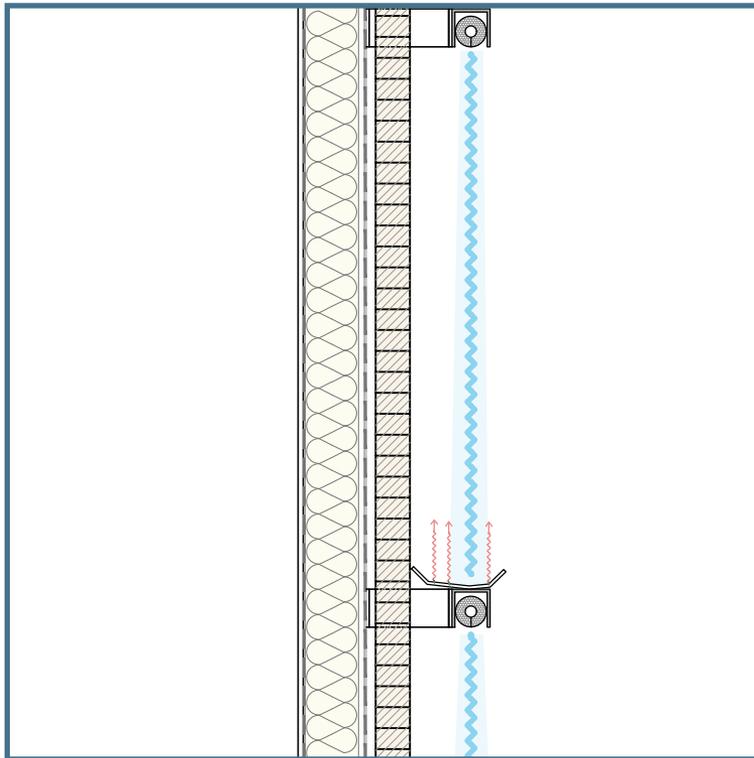
© Elaborato personale

SCALA 1:200

Va dunque previsto una gronda di recupero del flusso in eccesso che sia in grado di collegarsi ad una cisterna dove l'acqua verrà trattata e rimessa in circolo eliminando così ogni speco possibile.

II - E

GOCCIOLAMENTO - MOTI CONVETTIVI



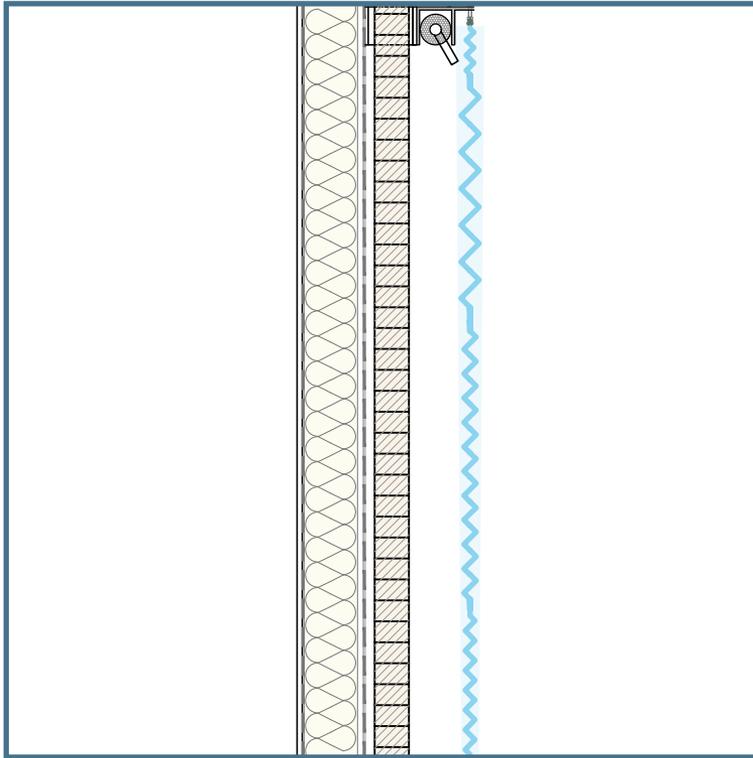
© Elaborato personale

SCALA 1:200

Poiché l'acqua contenuta in questa gronda non congeli dovrà essere posta una guaina riscaldante da utilizzare solo in fase di congelamento per evitare che il congelamento indesiderato mandi in corto circuito il sistema. Questo tipo di guaine va posto anche lungo i condotti idraulici con gli ugelli per il gocciolamento, verrà utilizzato solo nella fase iniziale di avviamento del flusso poiché come verificato nei test con un flusso di acqua costante i fori non riescono a congelare.

III - A

SPRAY - GHIACCIO



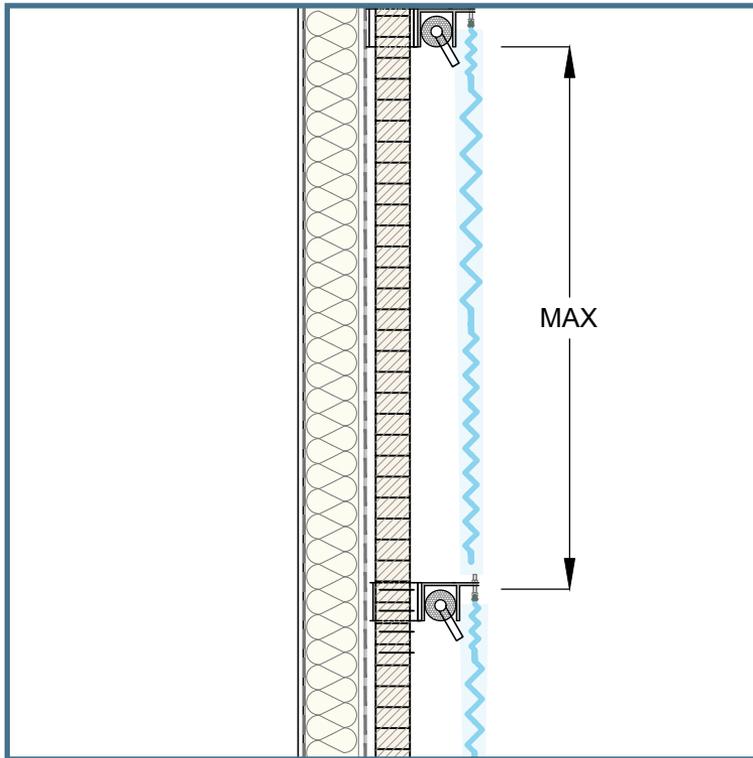
© Elaborato personale

SCALA 1:200

La possibilità di utilizzare ugelli con nebulizzatori è stata accantonata in fase di test per la complessità nel replicare l'effetto e per l'impossibilità pratica ed economica di reperire una pompa e di collegarla ad una fonte elettrica. Tuttavia, anche nelle condizioni sfavorevoli di test, ha rivelato una potenzialità non trascurabile. In questo caso l'andamento del congelamento sarà potenzialmente opposto al precedente, ovvero congelerà in maniera più massiva vicino al nebulizzatore e meno intensamente allontanandosi dalla fonte idrica.

III - B

SPRAY - H MAX



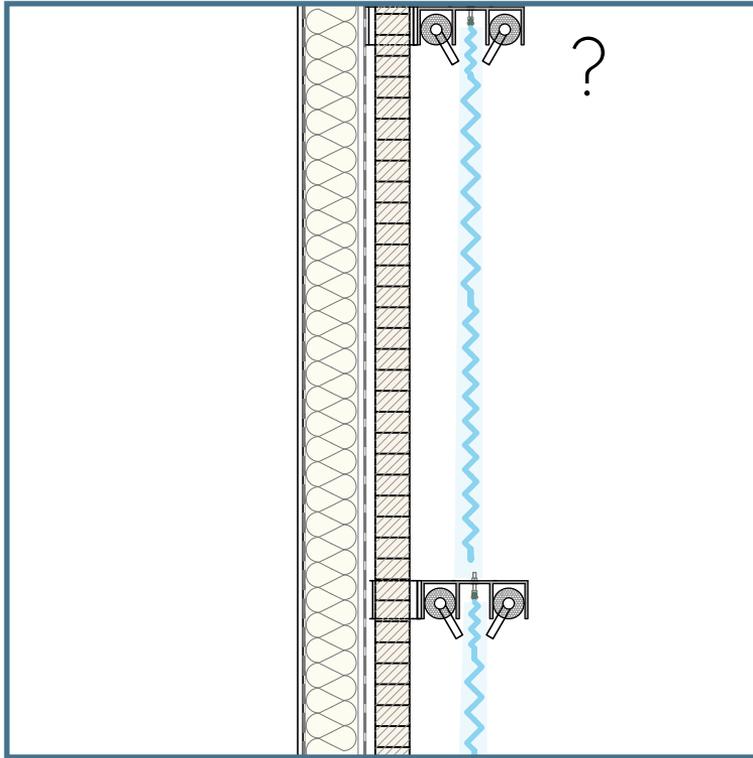
© Elaborato personale

SCALA 1:200

Anche in questo caso va considerata un'altezza massima o distanza tra un condotto ed un altro. Questa dimensione è difficile da definire in questa fase poiché ogni nebulizzatore ha una diffusione diversa del liquido e quindi sarebbe inutile prevedere una dimensione senza conoscere il tipo di nebulizzatore. Altra dimensione da considerare è la distanza tra un nebulizzatore ed un altro dello stesso condotto. Potenzialmente si può pensare ad una disposizione alternata. Dato che il flusso verosimilmente ha una sezione rotonda, il condotto inferiore potrebbe essere traslato orizzontalmente di metà distanza tra un nebulizzatore ed un altro.

III - C

SPRAY - POSIZIONE NEBULIZZATORI



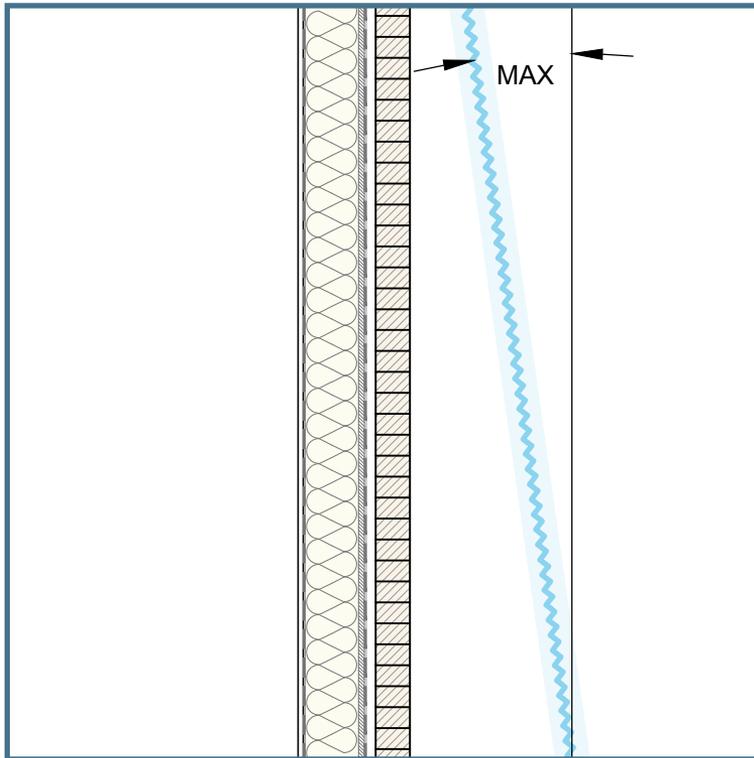
© Elaborato personale

SCALA 1:200

Come è possibile vedere dagli scatti effettuati durante la sperimentazione, il ghiaccio si forma in maggior volume nel lato dove viene "spruzzato" il flusso idrico. Questa prevalenza è abbastanza relativa ma potrebbe essere importante nello studio di questa variante della tecnologia. Così come la disposizione suggerita nella precedente figura, con una disposizione degli ugelli con un disegno a rombi.

IV

INCLINAZIONE MAX



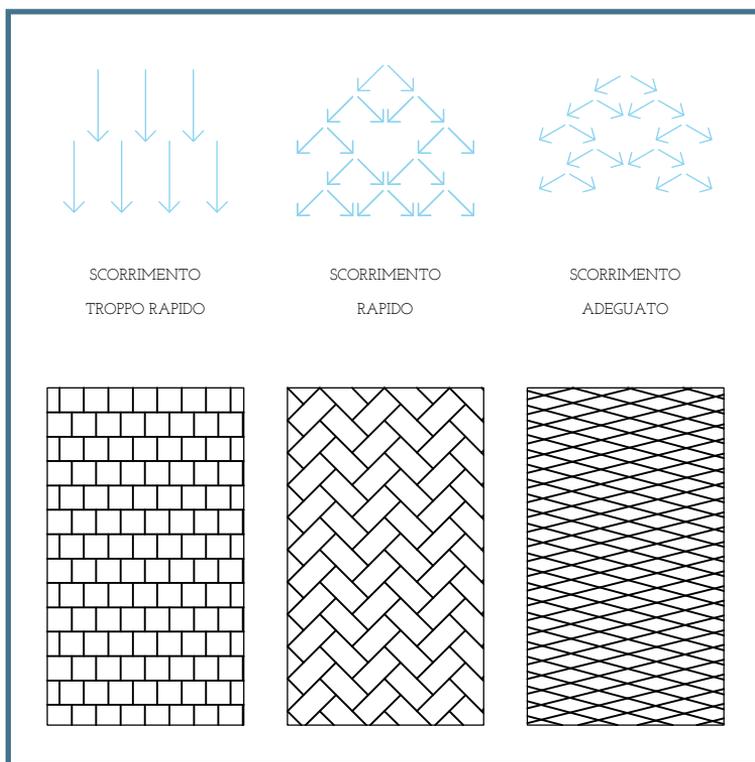
© Elaborato personale

SCALA 1:200

Altro fattore interessante, oltre che per la dinamica climatica dei flussi, per il disegno compositivo di facciata è l'inclinazione massima al quale la griglia può essere posta e non "perdere" liquido, ovvero nel quale la tensione superficiale delle gocce consente di rimanere sulla griglia evitando di essere quindi sprecato cadendo senza congelare sulla griglia. Questa variabile ovviamente cambierà di griglia in griglia, in base al disegno che la compone.

V

TIPO GRIGLIA - VELOCITA'

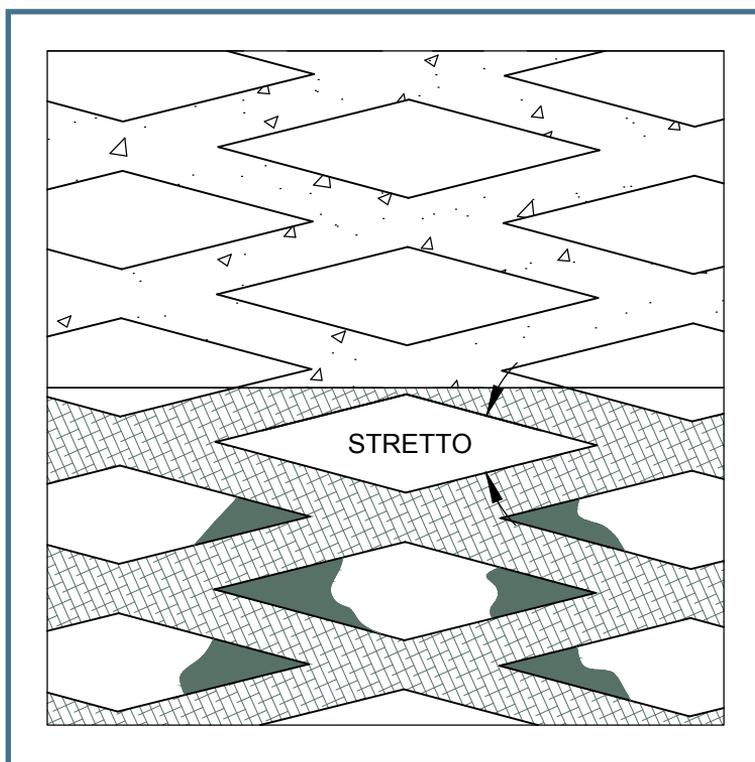


© Elaborato personale

Dettaglio importante per la riuscita della parete è la scelta della griglia. Essa infatti agisce come una "pista" per l'acqua, la sua conformazione decide la velocità con cui fluisce l'acqua. La scelta della griglia quindi deve tener conto del disegno della stessa. Una griglia con disegno "a quadrati" avrà uno scorrimento dell'acqua molto rapido che consentirà il congelamento solo, o a partire da, i traversi orizzontali. Una griglia, come quella scelta (expanded metal sheet), ha un disegno favorevole al congelamento poiché consente lo scorrimento e la distribuzione delle gocce d'acqua ma con una velocità congrua per la sua solidificazione.

V

TIPO GRIGLIA - DETTAGLIO



© Elaborato personale

Altri due dettagli importanti sono la superficie del metallo e il dettaglio degli incroci. Il ghiaccio, come visto in precedenza, ha bisogno di un punto di nucleazione per formarsi. Una superficie grezza aiuta l'acqua trovare un "difetto" a cui aggrapparsi e cristallizzare, permettendo così la sua propagazione. Gli incroci della griglia generano interstizi in cui facilitano la formazione del ghiaccio. Nella griglia #7, degli esperimenti II e II bis, si è potuto notare come gli interstizi abbiano generato costoloni di ghiaccio. L'andamento dove gli interstizi erano assenti, invece, era troppo veloce e non ha permesso il congelamento uniforme.

-Progetto tecnologico di Tesi

In seguito alle riflessioni condotte postume alla sperimentazione è stato elaborato un progetto tecnologico per definire la costituzione della tecnologia.

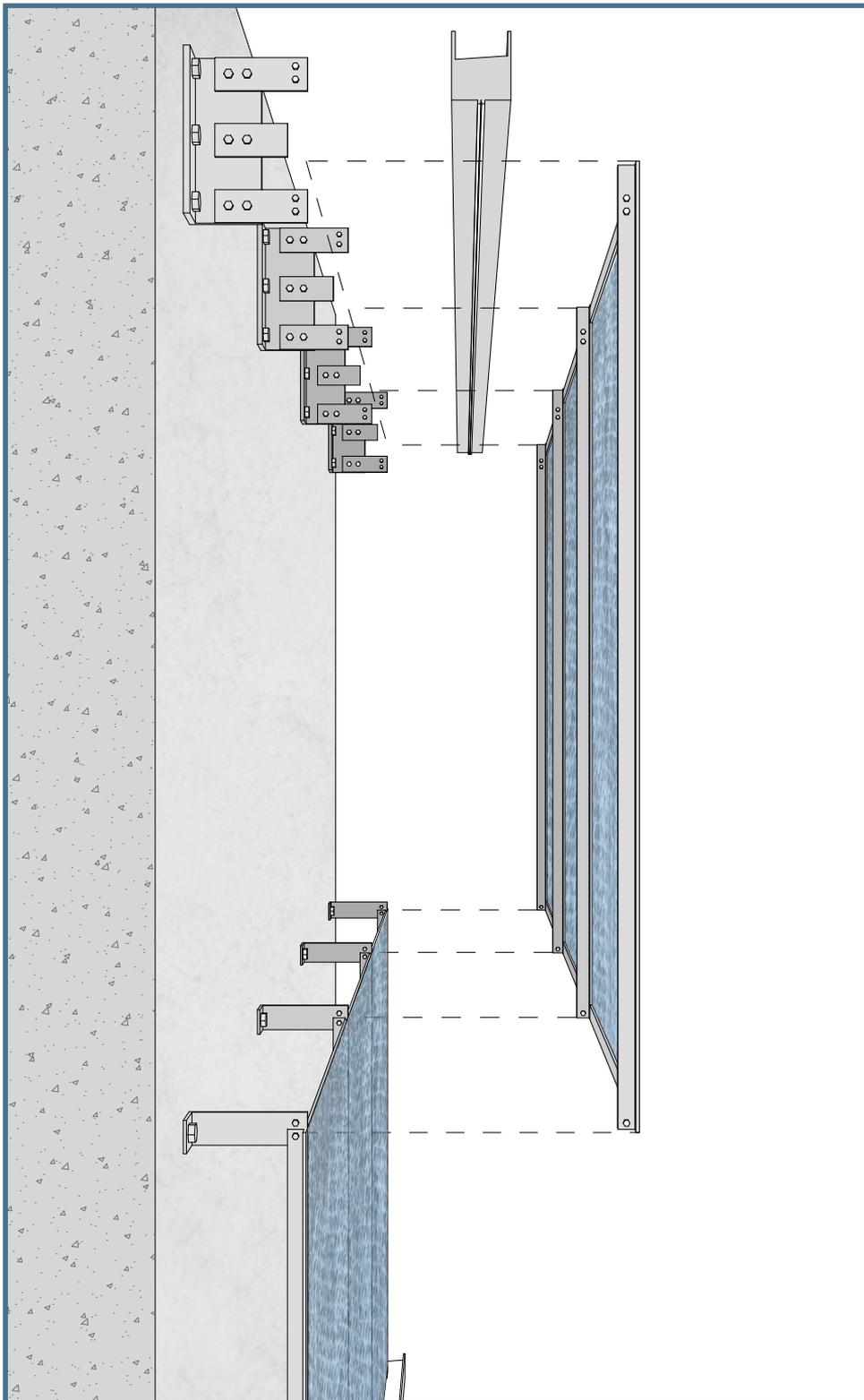
Le osservazioni riportate nelle pagine precedenti hanno permesso di riportare particolari attenzioni a una serie di punti.

Come primo ragionamento l'applicazione della griglia voleva ottimizzare la procedura cantieristica, dunque è stato progettato un sistema a montanti e traversi, composti da profili metallici a L per le sezioni verticali e piani per quelle orizzontali. La griglia metallica, in questo modo, può essere saldata a misura in laboratorio e trasportata in sicurezza in cantiere punta per essere fissata alle parete.

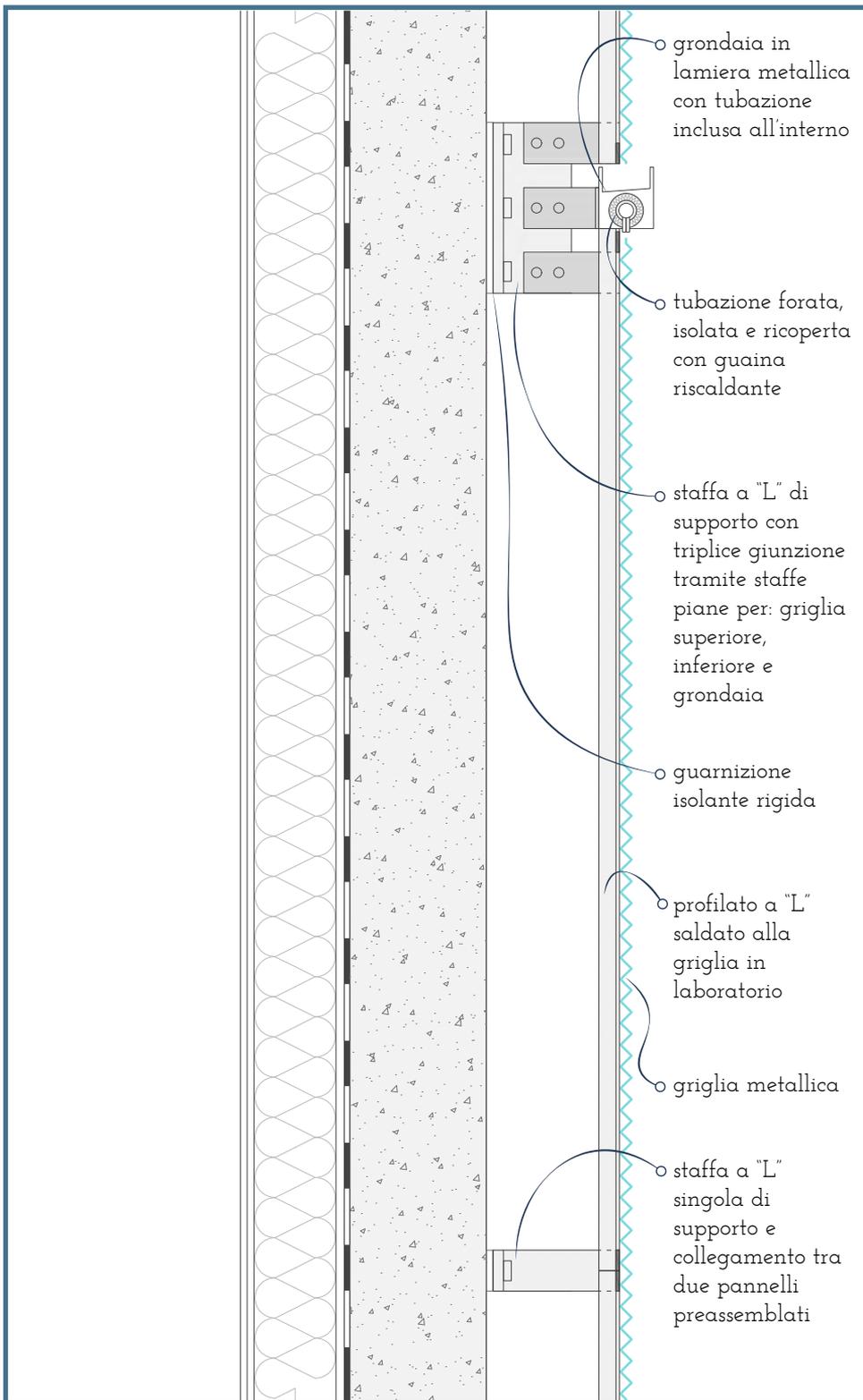
La parete viene predisposta con delle staffe a L che vengono fissate alla parete con interposto un sottile strato di materiale isolante che riduce il ponte termico. Il collegamento tra la struttura della griglia e le staffe avviene tramite delle staffe piane che consentono di regolare a misura eventuali imprecisioni.

Per quanto riguarda le tubazioni che portano l'acqua alla griglia è stato studiato un terzo giunto centrale, sempre con staffe piane, tra la griglia superiore e inferiore, che collega la struttura della doppia pelle con un condotto in lamiera contenente la canalizzazione e una gronda per l'eccesso di flusso sovrastante.

Il tubo è rivestito da una guaina riscaldante che viene messa in funzione nella prima fase di accensione del sistema e un isolante per tubazioni. Questo sistema viene utilizzato solo nelle prime fasi di accensione del sistema per poter sciogliere ed evacuare il ghiaccio che eventualmente può andare a formarsi.



© Elaborato personale



○ grondaia in lamiera metallica con tubazione inclusa all'interno

○ tubazione forata, isolata e ricoperta con guaina riscaldante

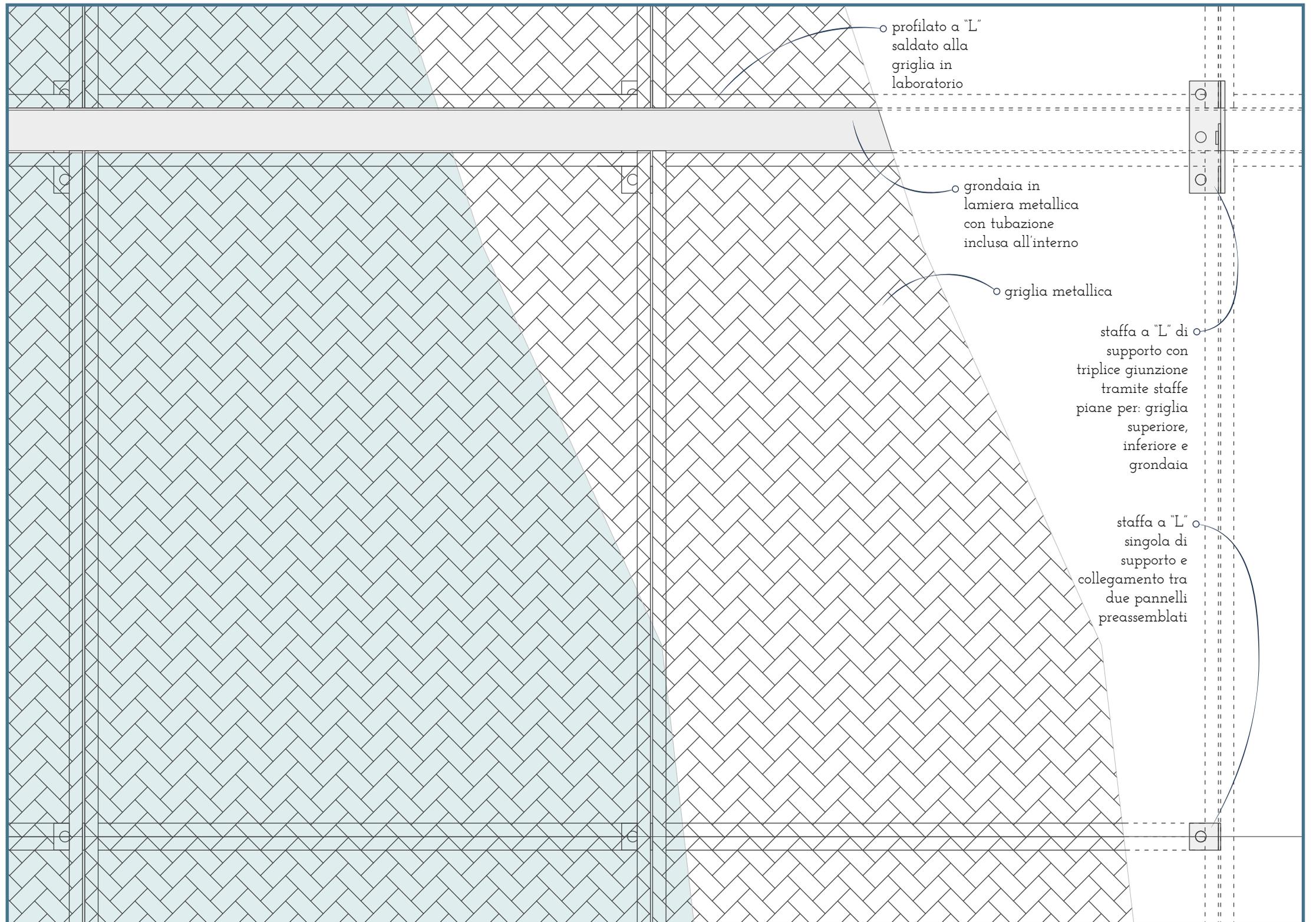
○ stiffa a "L" di supporto con triplice giunzione tramite stiffe piane per: griglia superiore, inferiore e grondaia

○ guarnizione isolante rigida

○ profilato a "L" saldato alla griglia in laboratorio

○ griglia metallica

○ stiffa a "L" singola di supporto e collegamento tra due pannelli preassemblati



o profilato a "L"
saldato alla
griglia in
laboratorio

o grondaia in
lamiera metallica
con tubazione
inclusa all'interno

o griglia metallica

staffa a "L" di o
supporto con
triplice giunzione
tramite staffe
piane per: griglia
superiore,
inferiore e
grondaia

staffa a "L" o
singola di
supporto e
collegamento tra
due pannelli
preassemblati

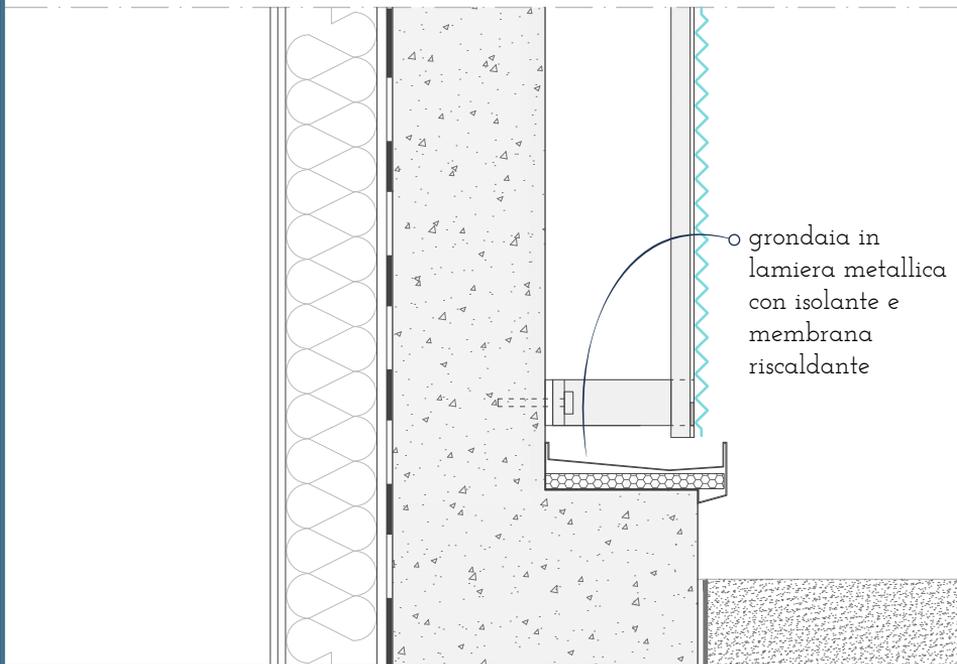
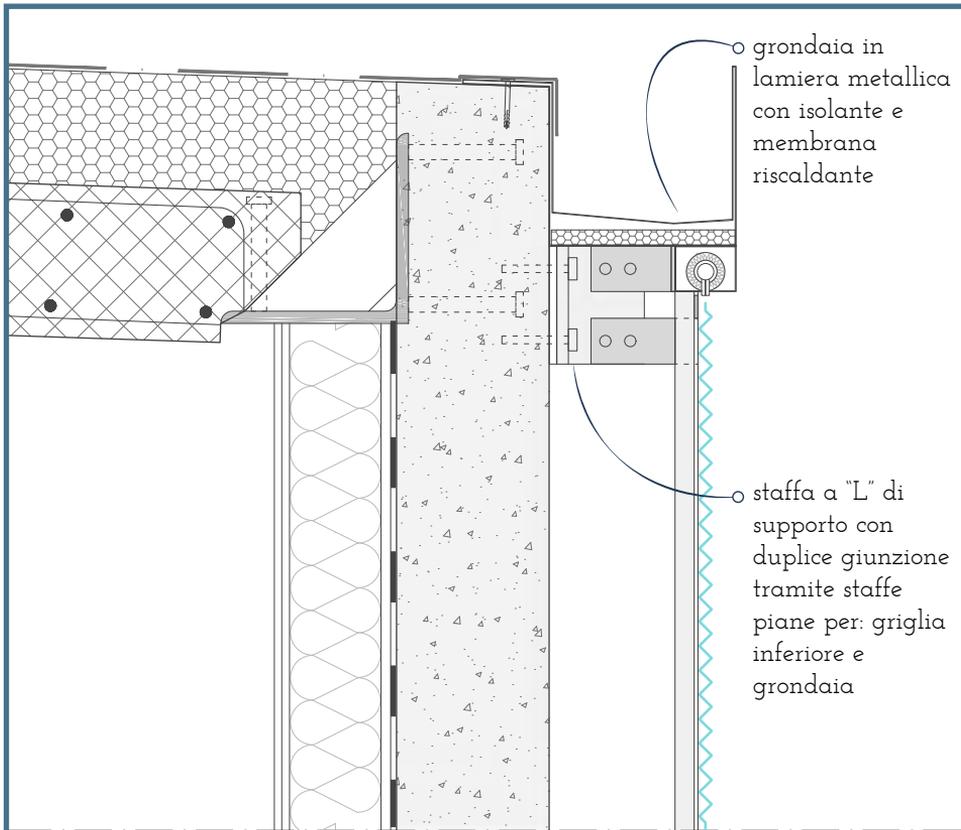
La stratigrafia di parete che si è preso in esempio è quella del progetto di Maison Glacé, corrispondente ad una tipica costruzione in calcestruzzo americana.

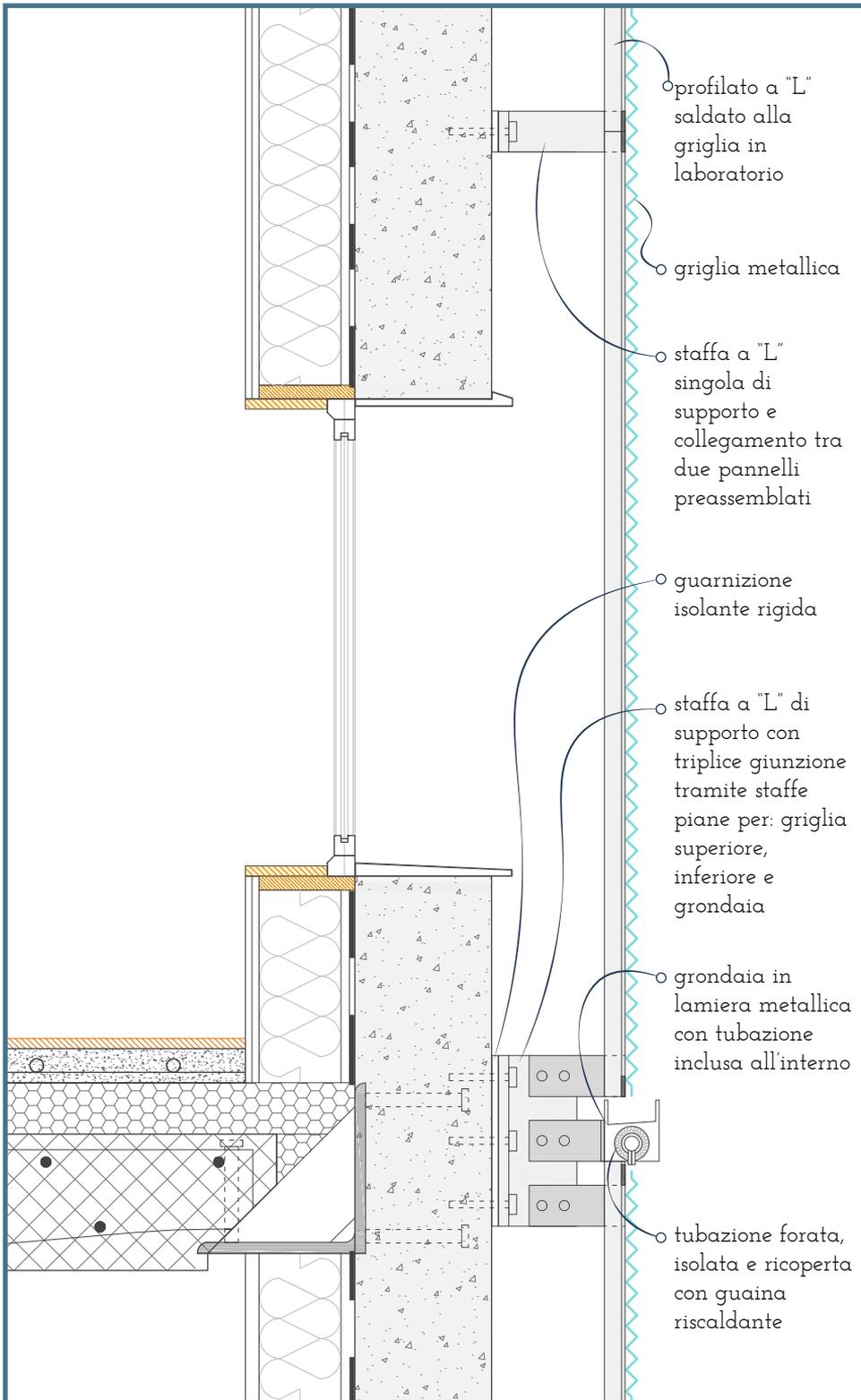
La differenza si può cogliere in dettagli tecnologici come il nodo che collega il solaio alla parete esterna o all'utilizzo dell'isolante. Questo viene posto internamente per la gestione del riscaldamento in maniera differente rispetto a quello che a cui siamo abituati in Europa. In America del Nord si preferisce scaldare localmente con l'utilizzo di aria, rispetto all'approccio a cui siamo abituati dello scaldare la parete così che agisca come massa di inerzia termica e rilasci il calore quanto il riscaldamento è spento.

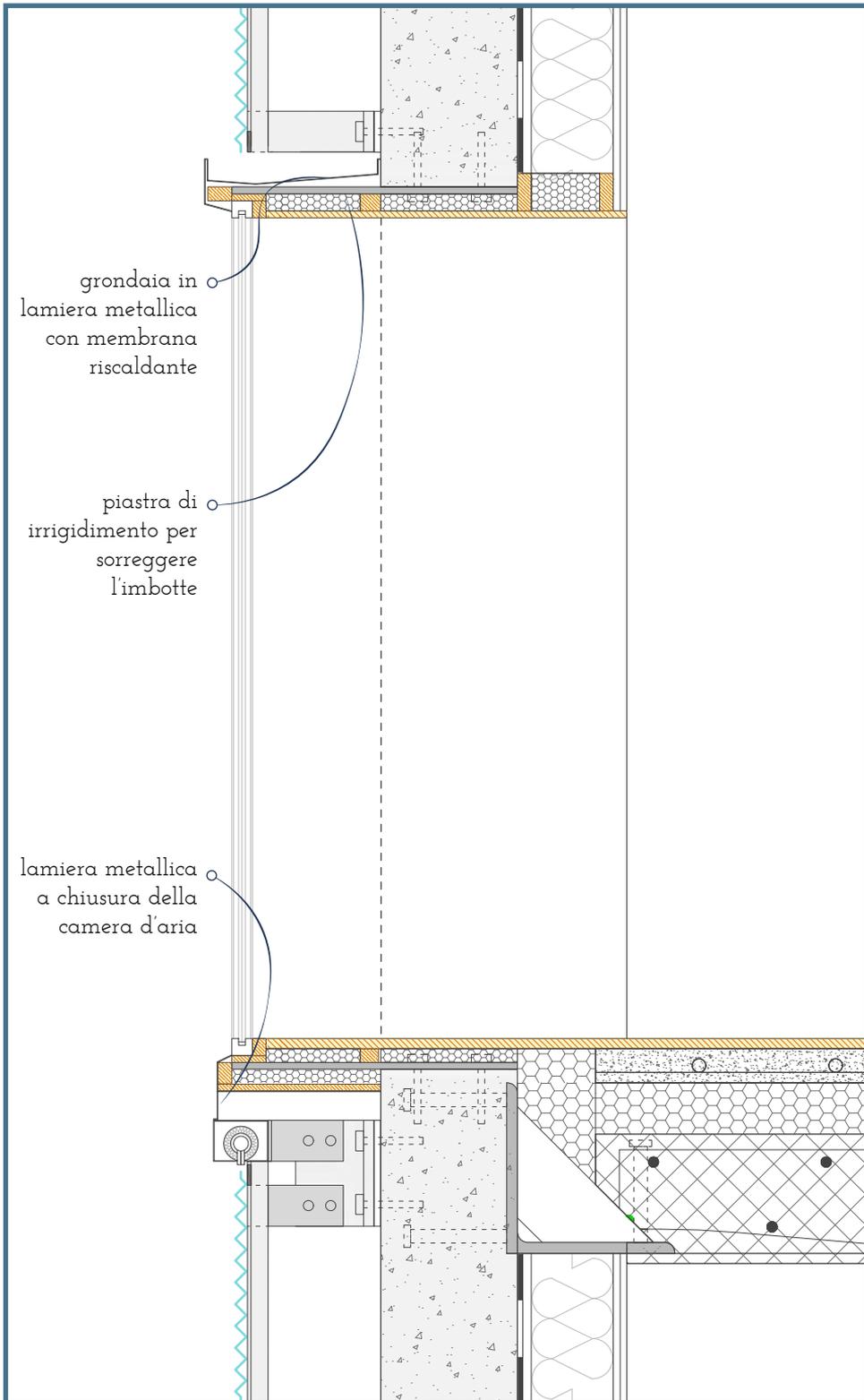
Il disegno a destra illustra la **differenza** delle **staffe** e delle **grondaie** poste alla base e alla sommità dell'edificio. Queste vengono "chiuse" per non consentire ai (limitati) moti convettivi di annullare la capacità isolante dell'aria.

Nei disegni delle pagine seguenti verranno mostrate invece le **due tipologie di aperture** che si possono attuare. La prima, più semplice, mostra una finestra "inclusa" nella doppia pelle. In questo caso la griglia metallica agirà da schermo solare estivo e riducendo la dispersione termica invernale. A livello compositivo invece genera un filtro interessante dall'interno per l'osservazione del ghiaccio e della tecnologia in se, e ancor più dall'esterno deformando le luci e ombre che si possono cogliere guardandoci attraverso.

La seconda tipologia "spezza" la doppia pelle offrendo un'ampia vetrata a filo pavimento. Apertura più consueta, ma più complessa dal punto di vista tecnologico.







© Elaborato personale

SCALA 1:10

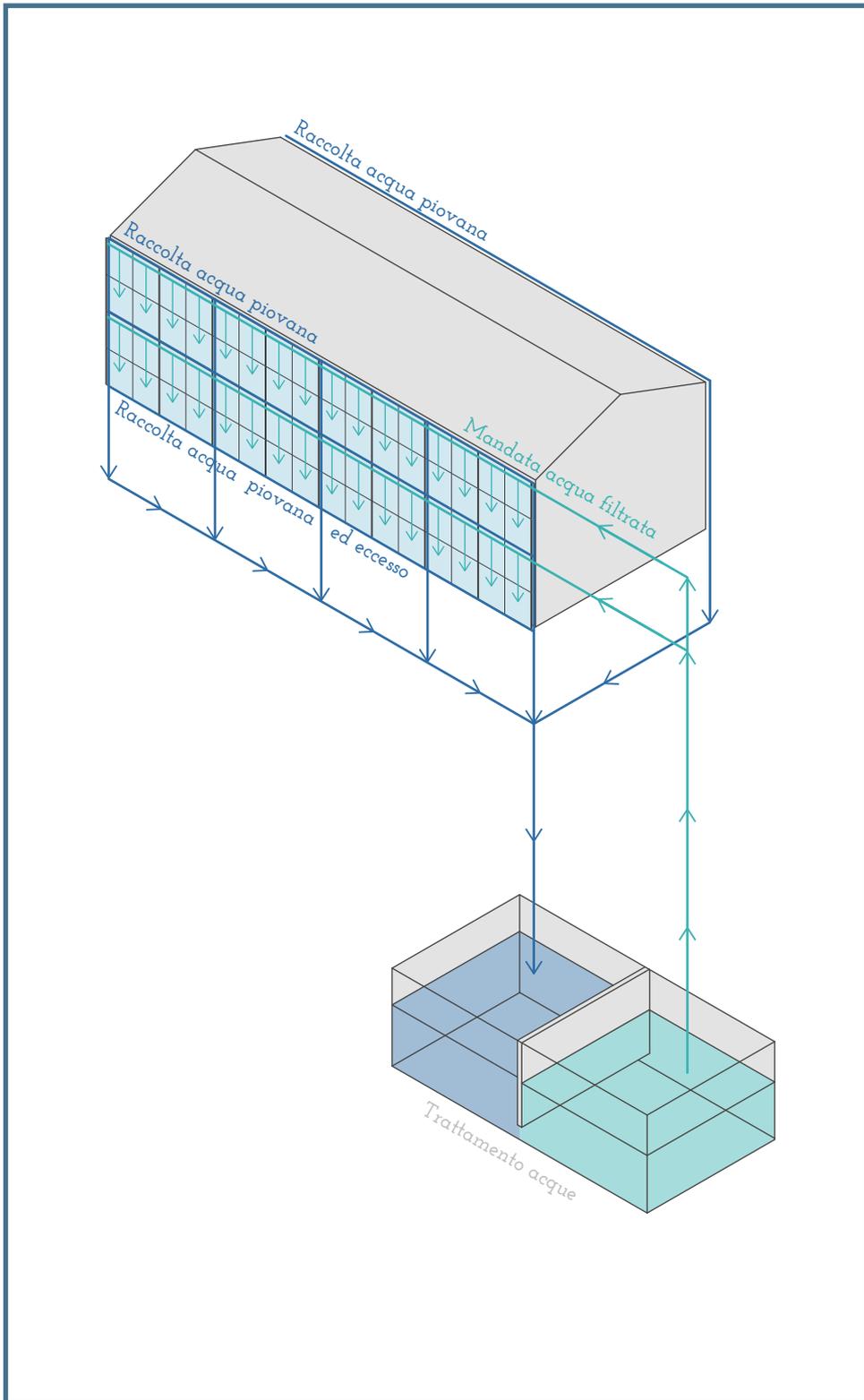
Le attenzioni viste finora di divisione in sezioni regolari, il disegno di particolari gronde e ugelli servono a garantire oltre che un funzionamento ottimale un risparmio idrico massimizzato. Questa gestione dei flussi consente di recuperare le acque meteoriche e l'acqua in eccesso utilizzata al fine di far congelare la parete.

Le grondaie infatti consentono di trasportare l'acqua tramite pluviali ad una cisterna sotterranea che raccoglie e tratta l'acqua al fine di poterla riutilizzare per far congelare nuovamente le griglie, o più semplicemente ad irrigare piante e giardino.

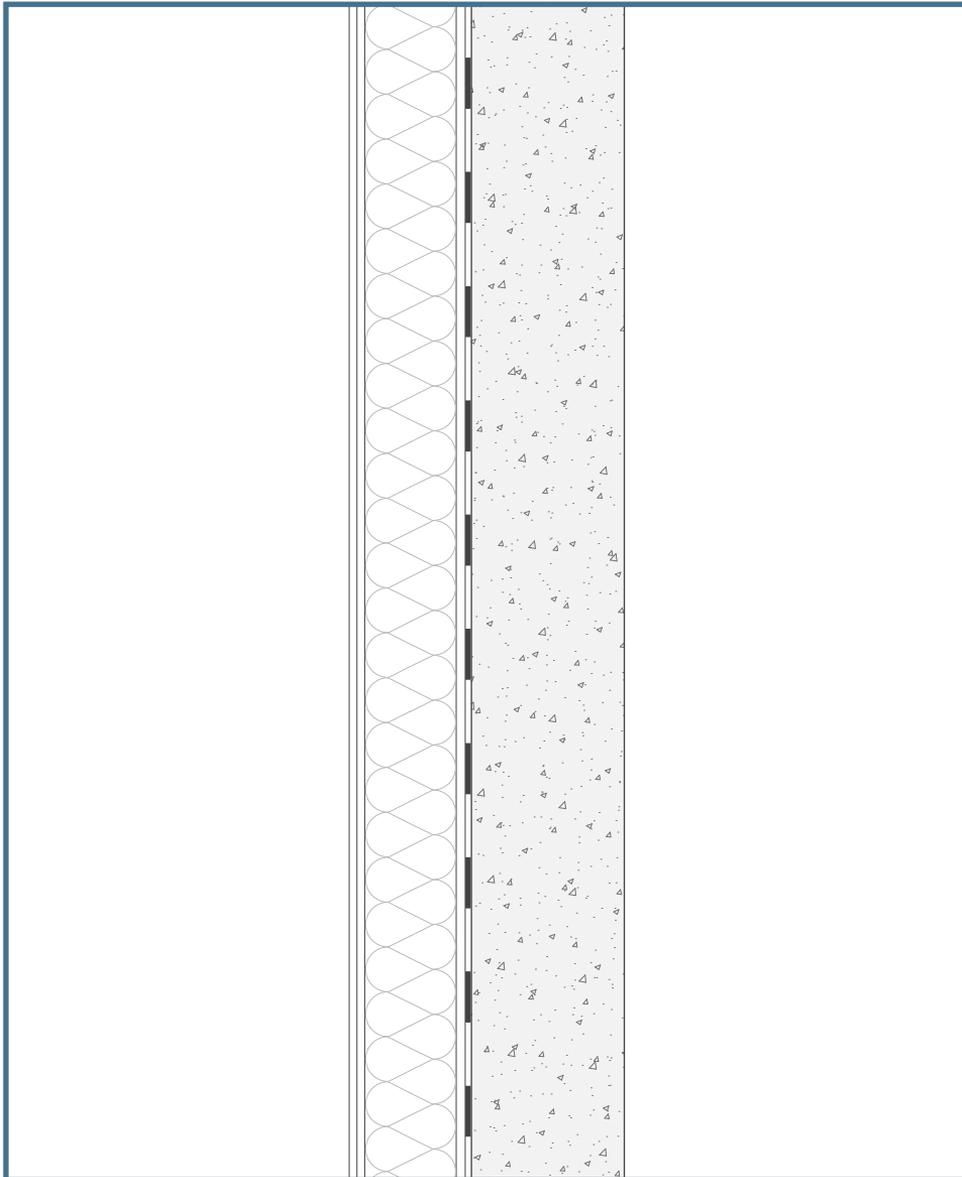
Non va infatti confuso l'utilizzo di acqua con lo scopo di quest'ultima. Il sistema agisce infatti come un sistema di "stoccaggio alternativo" di acqua con una funzione climatica aggiuntiva. Quando la parete di ghiaccio si scioglie infatti defluisce nei condotti che la portano alla cisterna per poterla riutilizzare secondo le necessità dei fruitori.

Giunti al termine delle varie accortezze per il progetto di questa tecnologia si è voluto simulare il rendimento tramite un foglio di calcolo atto a comprendere le **caratteristiche fisiche** di una parete. Nelle pagine seguenti si può osservare il miglioramento della stessa parete con e senza la tecnologia Glacé.

I risultati, tuttavia, vanno considerati in maniera teorica, poiché verificare la potenzialità reale nella gestione dei flussi, con la conseguente constatazione di dati come trasmittanza e/o resistenza della parete, sarebbe necessario svolgere dei test in una camera climatica che consenta di raggiungere temperature di almeno -10° C e rilevare i risultati direttamente sulla parete e sull'ambiente riscaldato.



© Elaborato personale

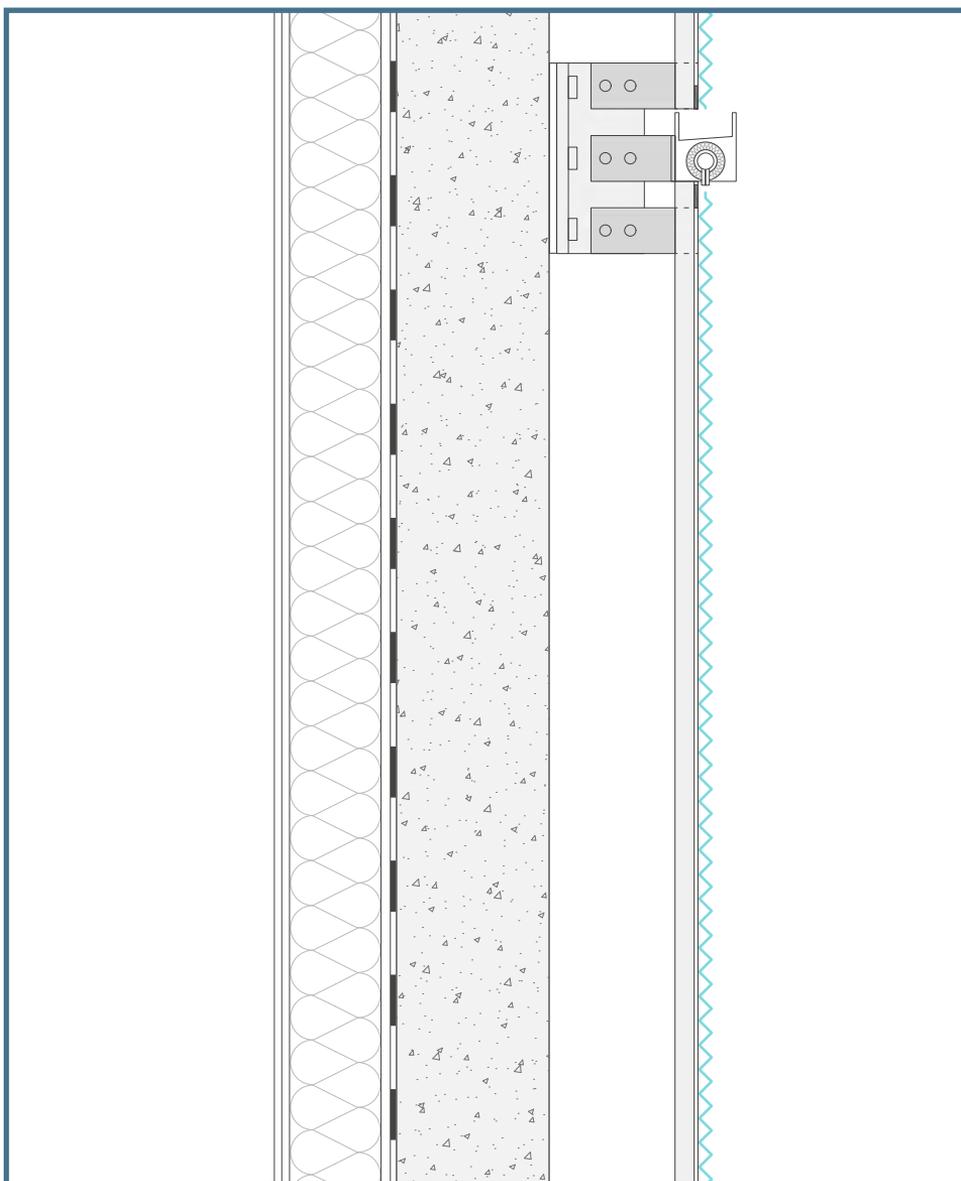


© Elaborato personale

SCALA 1:10

Stratigrafia int-est	s (cm)	ρ (Kg/m ³)	μ	c (J/Kg °C)	λ (W/m °C)
Cartongesso	2,5	900	23	1090	0,210
Isolante	14,0	1250	2	1000	0,032
Aria	2,0	1	2	1000	0,028
Calcestruzzo	20,0	2400	3	880	1,900

Trasmittanza termica (U) 0,182 W/m²/K **Resistenza termica (R)** 5,484 m². K/W



© Elaborato personale

SCALA 1:10

Stratigrafia int-est	s (cm)	ρ (Kg/m ³)	μ	c (J/Kg °C)	λ (W/m °C)
Cartongesso	2,5	900	23	1090	0,210
Isolante	14,0	1250	2	1000	0,032
Aria	2,0	1	2	1000	0,028
Calcestruzzo	20,0	2400	3	880	1,900
Aria	18,0	1	2	1000	0,028
Ghiaccio	4,0	917		2040	2,200

Trasmittanza termica (U)	0,084 W/m ² /K	Resistenza termica (R)	11,93 m ² K/W
---------------------------------	---------------------------	-------------------------------	--------------------------

- ARCHITETTURA -

Questo capitolo tratta la parte progettuale riguardante la tecnologia Glacé, l'intento è di comprendere come questa può comportarsi nel reale, date le conoscenze apprese con i dati risultanti dallo studio e dalla sperimentazione e di sviluppare degli spunti per una futura applicazione.

Per indicare dove questa può essere attuata vi sarà in primis uno studio geografico per comprendere dove le connotazioni ambientali permettono la messa in opera della tecnologia.

Si procede poi con la progettazione di due strutture con dimensioni, carattere e connotazioni differenti.

La prima tratta un progetto sviluppato *ax-ante* rispetto alla stesura della tesi riguardante la progettazione di un'installazione stando alle richieste del bando di concorso "Winter Station". Questo progetto ha l'obiettivo di testare la tecnologia "al naturale", ovvero senza l'utilizzo di sistemi idraulici.

Il secondo progetto, invece, è stato fatto *ex-post* agli studi e le sperimentazioni della tesi. Questo riguarda lo sviluppo di facciata di un edificio nel Fashion District di Toronto. L'intento qui è differente, dopo aver sperimentato la tecnologia "dal vivo", si trattano problemi reali riscontrati provando a risolverli in maniera teorica.

L'obiettivo di questo capitolo infatti è anche quello di tastare differenti scenari e provare a risolvere diverse problematiche in maniere differenti.

-Luoghi

Un tema intrinseco, necessario per il funzionamento della tecnologia è logicamente il luogo dove quest'ultima può essere adoperata.

Per una messa in funzione conveniente, infatti, richiede che la maggior parte del tempo, durante la stagione invernale, la temperatura rimanga sotto gli zero gradi (Celsius).

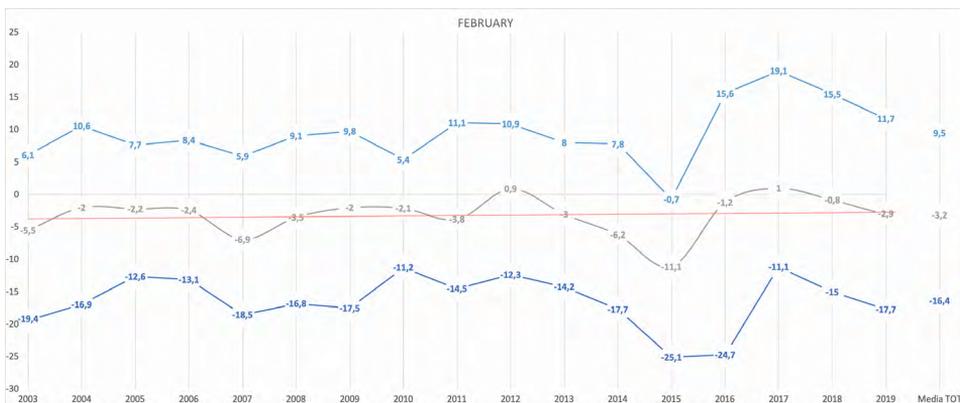
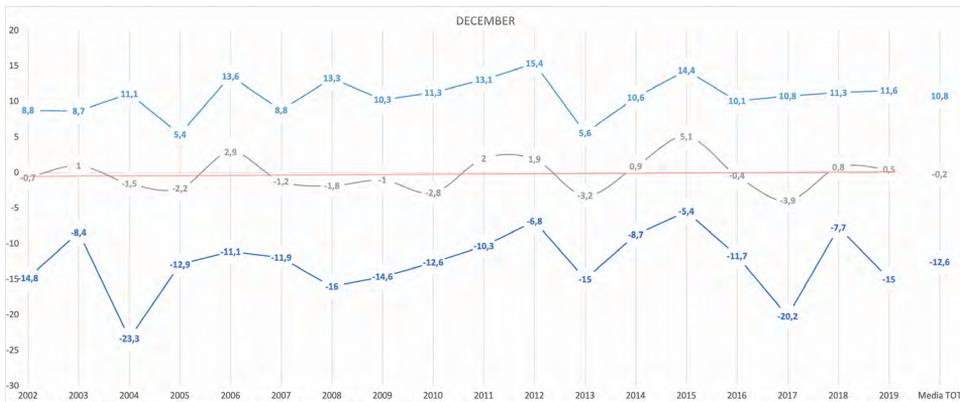
-Toronto

Nel caso di Maison Glacé, il progetto che ha ispirato la scrittura di questa tesi, si tratta di **Toronto**. La città è contraddistinta da un clima molto particolare, le temperature variano notevolmente durante le stagioni, dai circa 40° C che si possono raggiungere in estate a temperature che in inverno vanno sottozero anche di 20 o 30° C. Il clima invernale nella capitale dell'Ontario è caratterizzato oltretutto da forti venti e frequenti precipitazioni. Per comprendere le temperature invernali sono stati costruiti una serie di grafici grazie ai dati forniti dal sito del governo canadese.

Come si può notare dai grafici le temperature medie dei tre mesi sono tendenti ai gradi sotto zero (Celsius), la linea rossa mostra la curva di tendenza dell'andamento medio degli ultimi diciassette anni.

Questi dati sono i più dettagliati ed affidabili disponibili sul web, ma va considerata l'approssimazione di una media mensile delle temperature con massimi e minimi, e la conseguente tendenza delle temperature medie. Va considerato, inoltre, che il progetto non è stato pensato per "vivere" in Downtown, ma nel quartiere The Beaches, luogo che al momento non possiede una stazione meteorologica del governo.

Generalmente la temperatura in questo quartiere è inferiore di un paio di gradi e con forti venti data la vicinanza con il lago Ontario e l'assenza dei grattacieli a fare da barriera.



Analisi temperature Downtown Toronto nei mesi di Dicembre, Gennaio, Febbraio, dati estratti da sito governo Canada.

© Elaborato personale

© https://climate.weather.gc.ca/historical_data/search_historic_data_e.html

–Nel mondo

Per quanto riguarda l'applicabilità della tecnologia nel mondo sono stati generati dei grafici cromatici delle temperature nel globo.

I primi due riguardano le temperature medie dell'inverno passato, nei mesi di **dicembre 2019** e **gennaio 2020**. Come si può notare buona parte del Canada e del Nord America risultano potenziali luoghi dove poter applicare questo tipo di tecnologia. Per quanto riguarda l'Europa ci si può riferire solo alla parte nordica con Svezia, Norvegia e Finlandia.

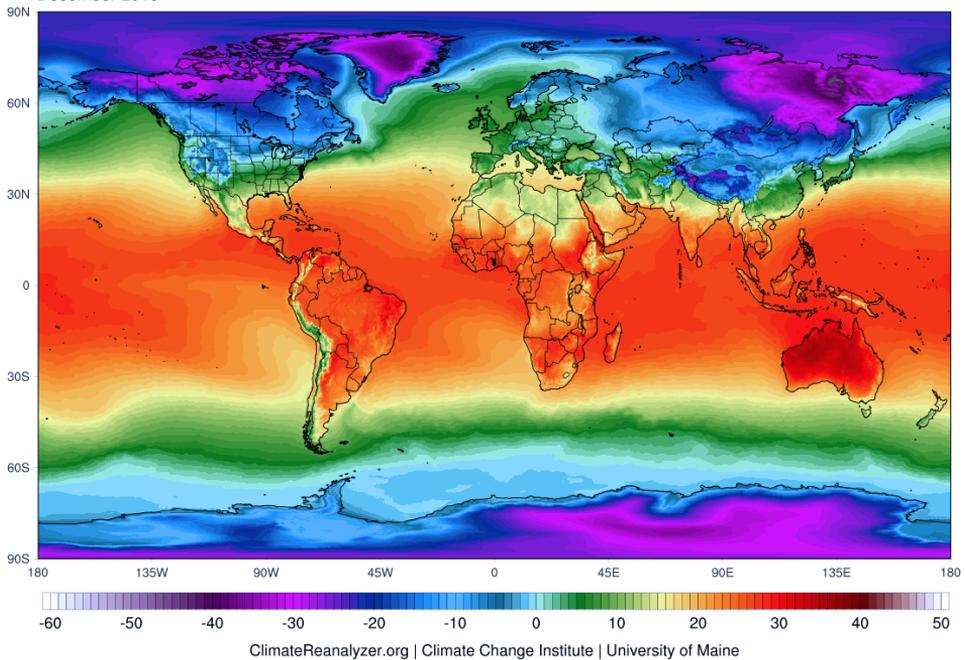
Quasi l'intera Russia presenta climi favorevoli alla messa in opera della tecnologia, così anche come buona parte dell'Asia centrale e del nord.

Negli studi climatici effettuati per giungere a questo tipo di grafica sono venute a conoscenza del sistema CCSM, ovvero Community Climate System Model^[1]. Questo è un modello climatico di simulazione dell'andamento climatico nel globo che accoppia simultaneamente cinque modelli differenti. Considera l'atmosfera terrestre, l'oceano, la terra, il ghiaccio terrestre, il ghiaccio marittimo e una componente che li abbina. È uno strumento importante che viene utilizzato per analizzare sotto vari aspetti proiezioni future e studi sul passato climatico del nostro pianeta. Questo mi ha portato ad elaborare altri quattro grafici che utilizzano questi dati per simulare la situazione climatica futura in seguito alle preoccupazioni riguardanti il riscaldamento globale. Questi quattro grafici considerano il mese di **gennaio** degli anni **2020, 2040, 2060 e 2080**.

1 http://www.cesm.ucar.edu/models/ccsm40/ccsm_doc/ug.pdf

2m Temperature (°C)
December 2019

ECMWF ERA5



2m Temperature (°C)
January 2020

ECMWF ERA5

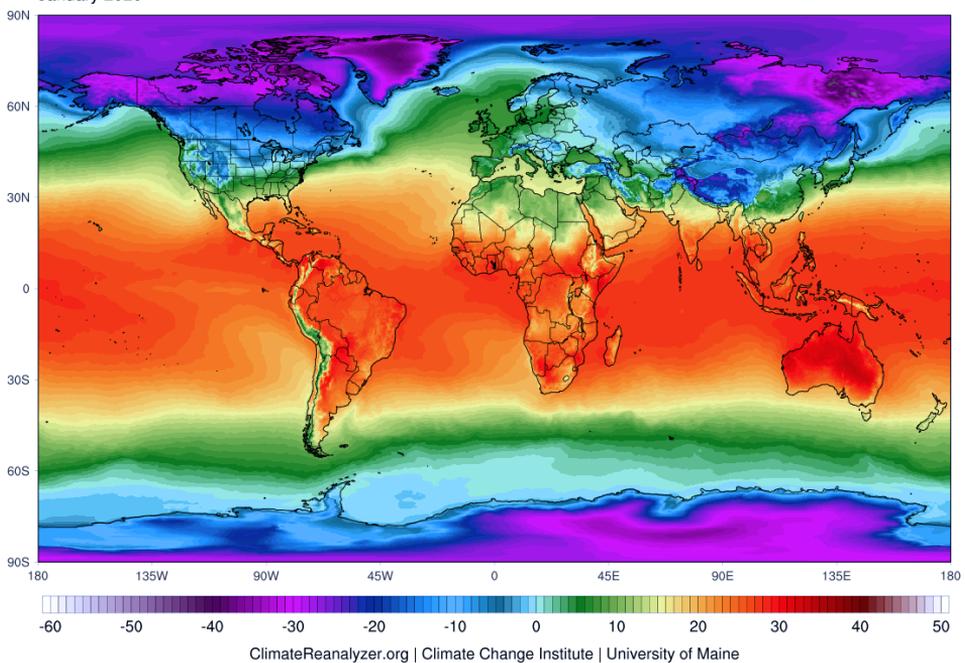


Grafico temperature mondiali dicembre 2019 e gennaio 2020

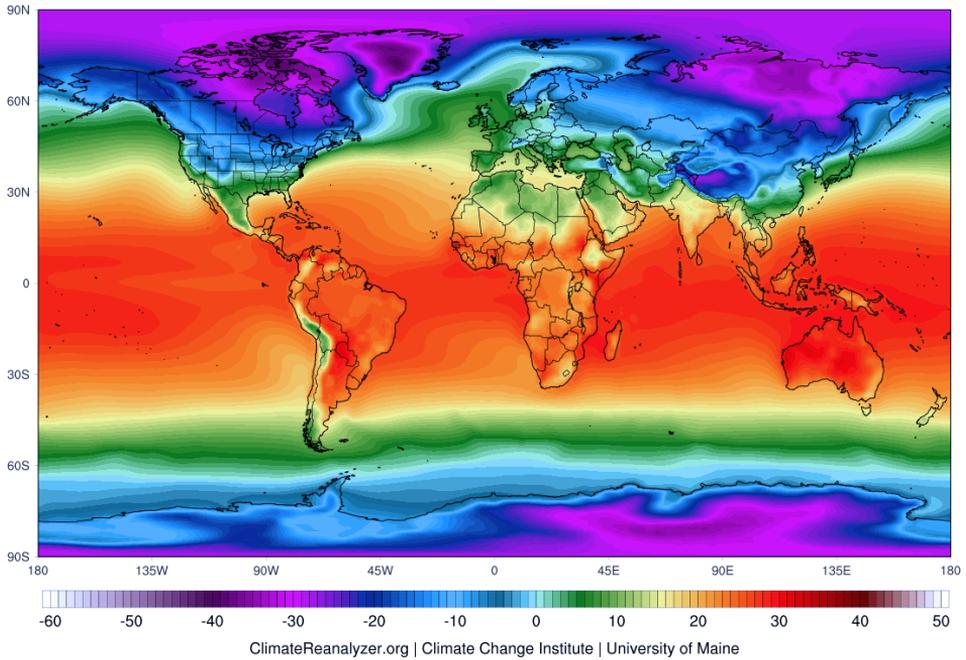
© https://climatereanalyzer.org/reanalysis/monthly_maps/

© Climate Change Institute

© University of Maine

2m Temperature (°C)
January 2020

CCSM4 RCP8.5 Ensemble Avg



2m Temperature (°C)
January 2040

CCSM4 RCP8.5 Ensemble Avg

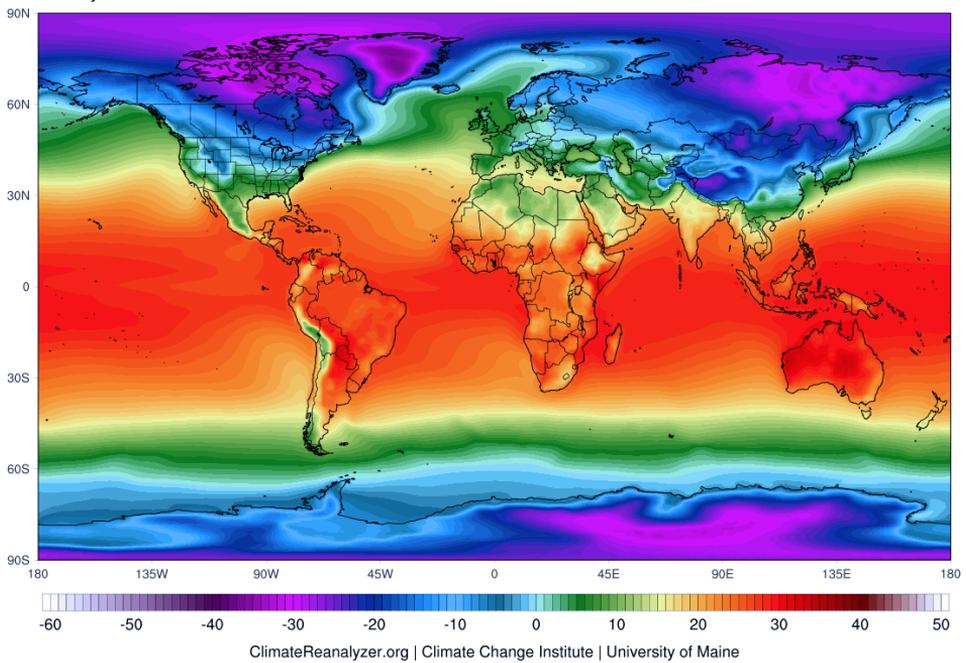


Grafico temperature mondiali di febbraio 2020 e proiezioni 2040

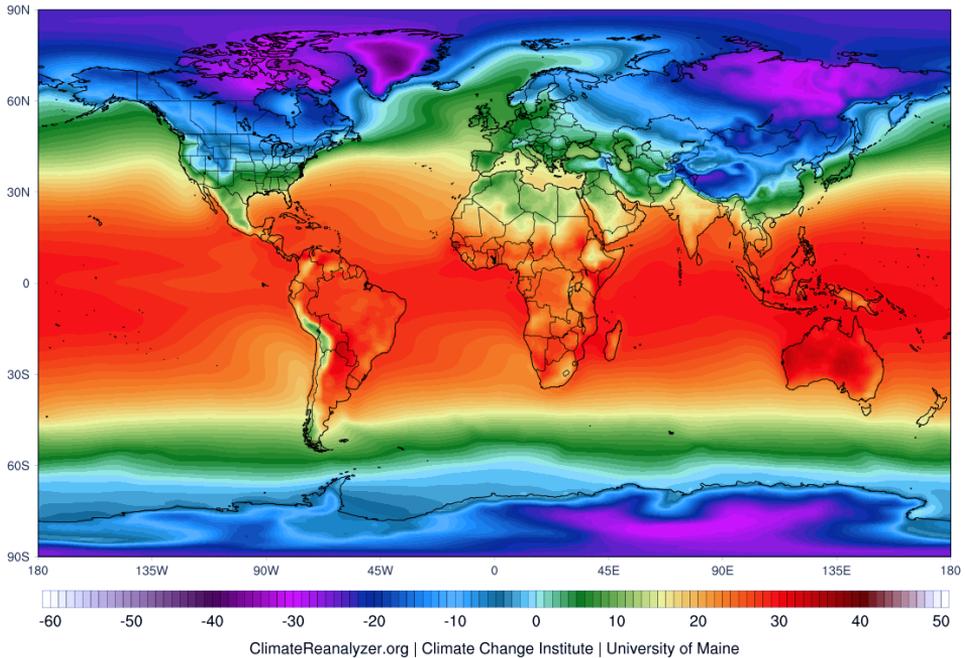
© https://climatereanalyzer.org/reanalysis/monthly_maps/

© Climate Change Institute

© University of Maine

2m Temperature (°C)
January 2060

CCSM4 RCP8.5 Ensemble Avg



2m Temperature (°C)
January 2080

CCSM4 RCP8.5 Ensemble Avg

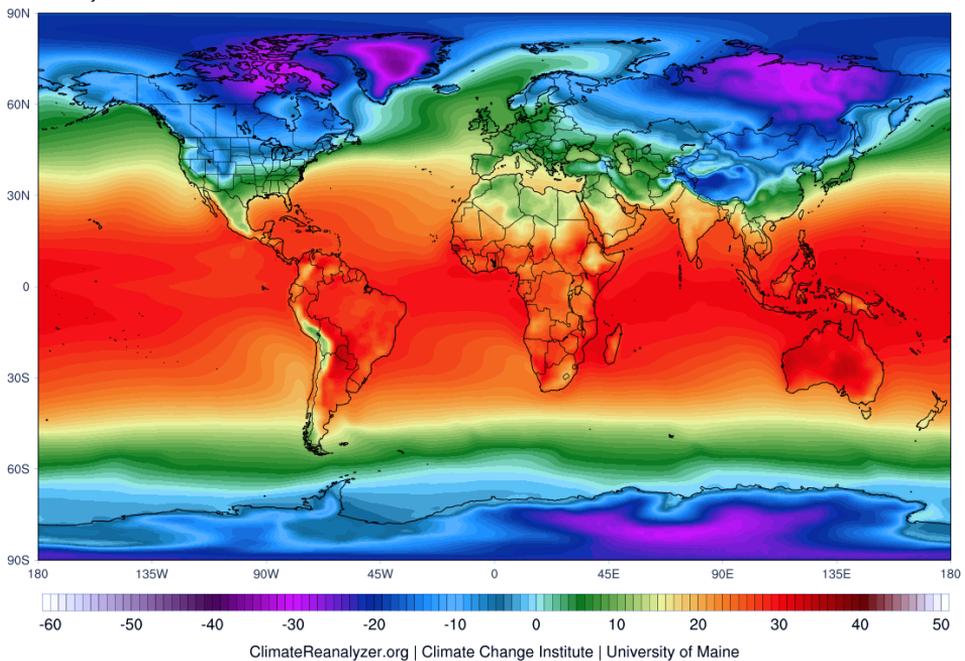


Grafico proiezioni temperature mondiali di febbraio 2060 e 2080

© https://climatreanalyzer.org/reanalysis/monthly_maps/

© Climate Change Institute

© University of Maine

-Progetti:

- Winter Station

Il concorso "Winter Station" si svolge tutti gli anni nella città di Toronto, vede cinque vincitori che proseguiranno con la realizzazione delle loro opere nelle spiagge di Woodbine, poco distanti dal centro città, con l'intento di dare loro vita anche nella stagione invernale.

Il tema di quest'anno era "Beyond the five senses": l'installazione è costituita da due circonferenze concentriche con all'interno un solido di forma parallelepipedica ricoperto di materiale riflettente. Vi sono otto aperture collocate in modo tale da rendere difficile l'incontro ad eccezione di pochi singolari scorci. Queste aperture, insieme al parallelepipedo specchiante, enfatizzano la logica di perdizione mostrando un altro segmento della parete.

L'incontro e la scoperta, infatti, sono due temi chiave nella ricerca che va al di là dei cinque sensi.

Il progetto, oltretutto, vuole aggiungere una variabile, il tempo. La struttura non possiede pompe d'acqua e non prevede il congelamento forzato; congela in base all'umidità, il vento e le precipitazioni presenti in ambiente in modo tale da rendere visibile la variabilità del tempo tramite la permeabilità visiva delle pareti.

GET WIND OF

This pavilion was born after a long research about the senses and what there is over this concept.

The words **perception**, **research**, **discovery**, **self-control** were the basis for this project.

There is a **simple geometry**, inspired by the historical concept of constructed. The walls are made of a thick metal mesh that catch humidity, water and snow, that will **gradually freeze**, creating a **permeable visual barrier**. Above all a **protection from the winds**, which goes to increase the more we enter into the structure. This phenomenon adds another sense, the **temporal element**, the mutation due to the surrounding environment.

From the outside you cannot see inside the internal circumference, except from a chink that looks towards a mirrored surface, that shows you the same "wall".

To discover the inside **you must go inside**, and explore the interior.

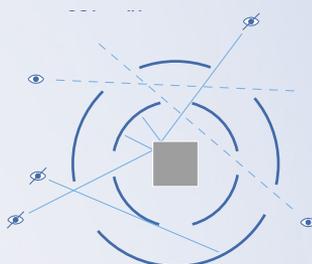


view of a sunny weather

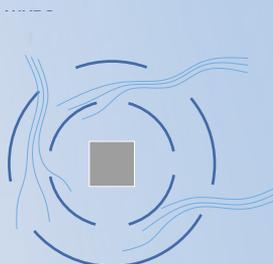


view of a snowy weather

VISUAL PERMEABILITY



WIND BARRIER

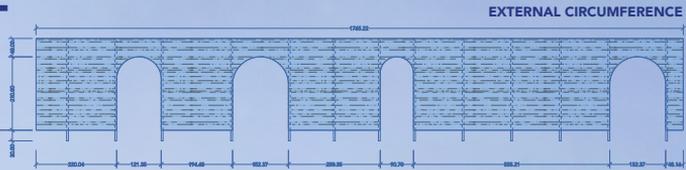


GET WIND OF

UNROLLED ELEVATIONS

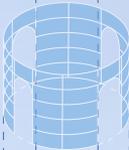
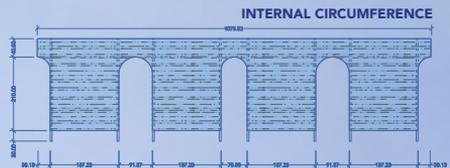
EVERY DRAWING ON THIS PAGE IS
IN SCALE 1:100, UNITS [cm]

above the sand
under the sand



MIRRORED SURFACE
HDF boards with mirroring adhesive

COST*:
HDF \$ 18 CAD x m²
Adhesive \$ 15 CAD x m²
TOT srf.: 10 m²
PRICE: \$ 330 CAD

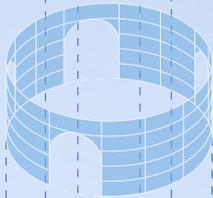
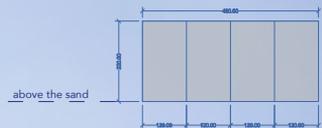


METAL MESH

Thick chain link mesh

COST*: \$ 15 CAD x m²
External circ. 35 m²
Internal circ. 20 m²
TOT srf.: 55 m²
PRICE: \$ 825 CAD

INTERNAL SHAPE

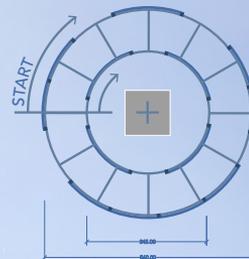


WOODEN STRUCTURE

Wooden boards 5x5 cm

COST*: \$ 15 CAD x m
Circumferences 54 m
Pillars 60 m
Beams 24 m
TOT: 138 m
PRICE: \$ 2,070 CAD

PLAN



TOTAL COST: \$ 3,225 CAD

*average cost found on Canadian websites or sites that ship to Canada for this amount of material



_Sede Ogilvy

Il secondo progetto riguarda lo studio di facciata di un edificio nel Fashion District di Toronto, più precisamente della sede dell'agenzia pubblicitaria Ogilvy.

L'edificio di carattere ottocentesco inglese è esposto a venti provenienti prevalentemente da nord ovest e ovest, enfatizzati dall'assenza di edifici dove al loro posto sorge il Victoria Memorial Park.

La struttura e la scansione dell'architettura dettano le linee guida per il disegno di facciata che riecheggia un pò le forme di un "castello di ghiaccio".

Le aperture, in parte coperte dalle pelle di ghiaccio, in parte lasciate permeabili, sono frutto di studi sull'illuminazione naturale lungo le varie stagioni in modo da garantire il miglior comfort abitativo degli ambienti.

Alcuni dettagli mostrano un ulteriore studio riguardo la tecnologia, si possono notare i parapetti, rialzati rispetto alla base dei serramenti, che vanno a ovviare ad alcuni problemi idraulici riscontrati nei test svolti. La parte superiore della griglia ha infatti spesso faticato a congelare, a meno che non venisse ridotto notevolmente il flusso d'acqua dopo che parte della parete di ghiaccio era congelata.

Con la stessa logica anche la sommità della facciata è rialzata rispetto all'edificio esistente, permettendo giochi di luce e ombra che si interfacciano e riflettono il carattere storico della facciata preesistente, con merlature e quinte a falde, e il carattere innovativo della nuova facciata di ghiaccio.

INOQUADRAMENTO



© Elaborati personali

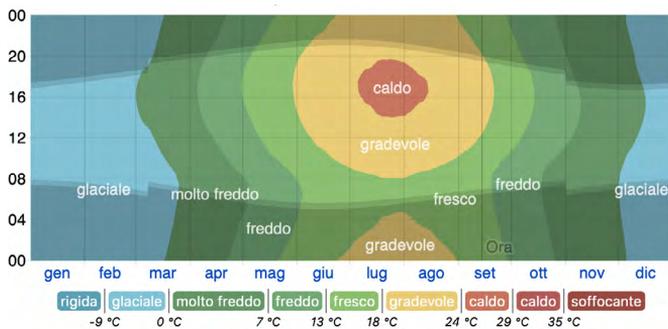
INQUADRAMENTO



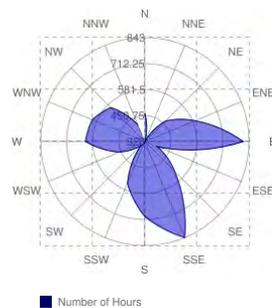
© Elaborato personale

CLIMA TORONTO

Temperatura media annuale



Prevalenza venti



© <https://it.weatherspark.com/y/19863/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Toronto-Canada-tutto-l%27anno>

© https://toronto.weatherstats.ca/charts/wind_direction-monthly.html



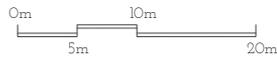
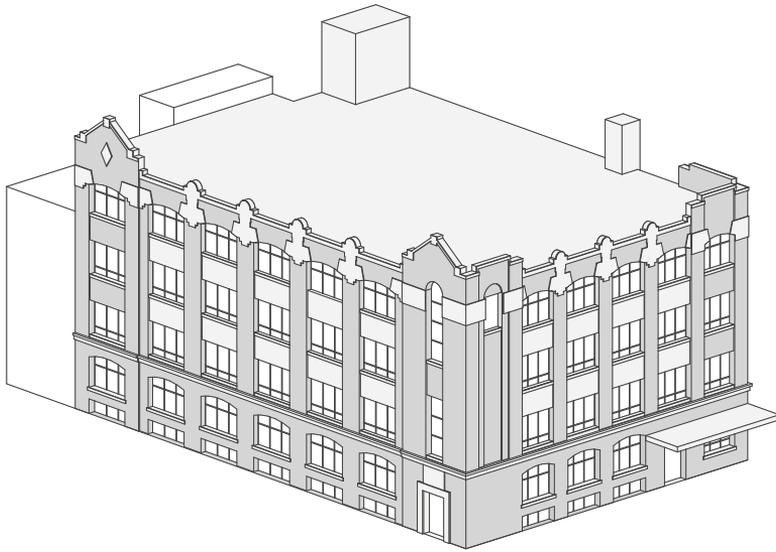
Vista sullo skyline di Toronto dall'Ontario Lake

© <https://o.canada.com/travel/the-5-best-places-in-toronto-to-view-the-city-skyline>

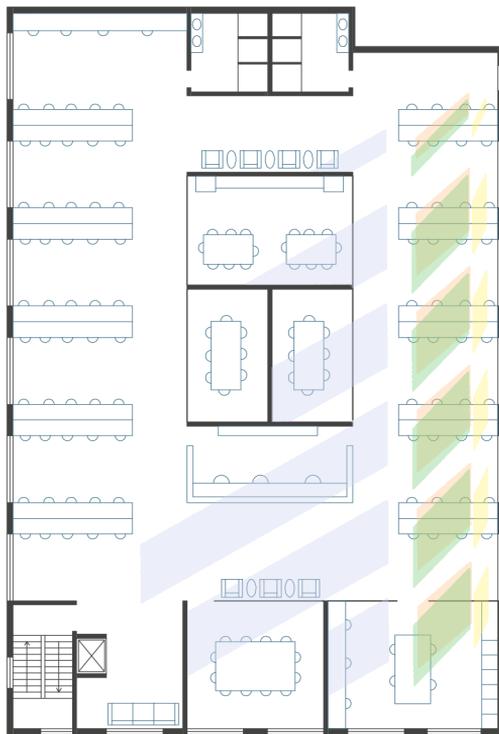


Vista aerea dell'area di progetto

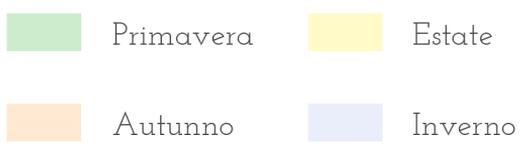
©google earth pro



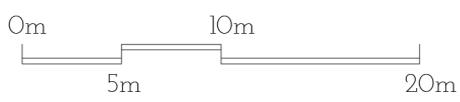
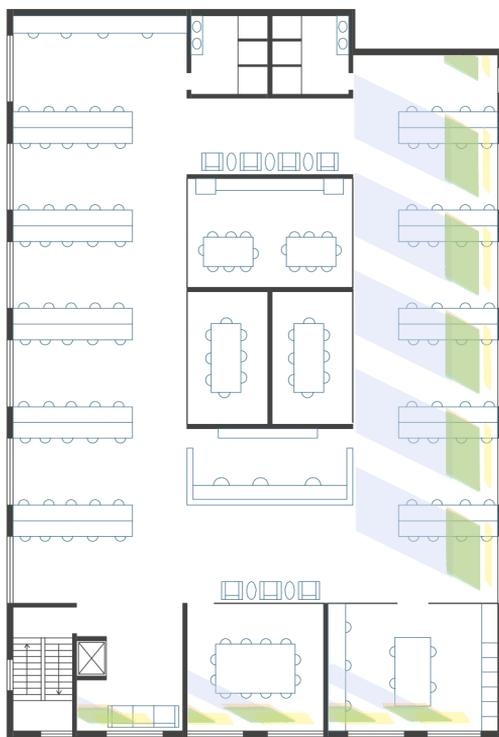
9:00



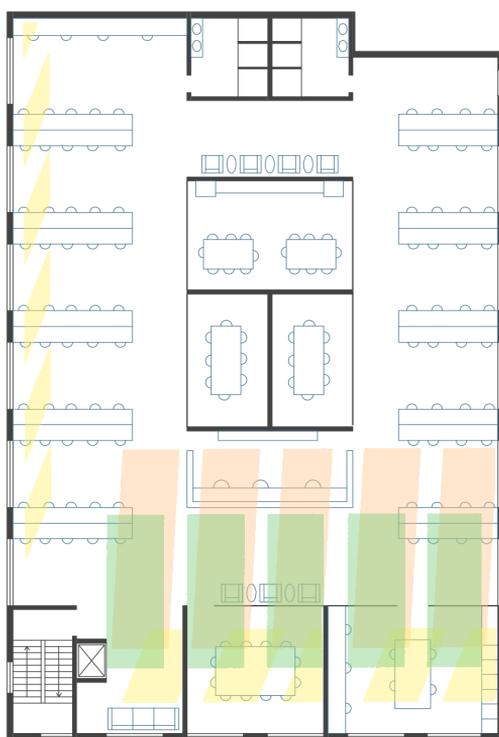
illuminazione naturale nelle stagioni:



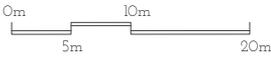
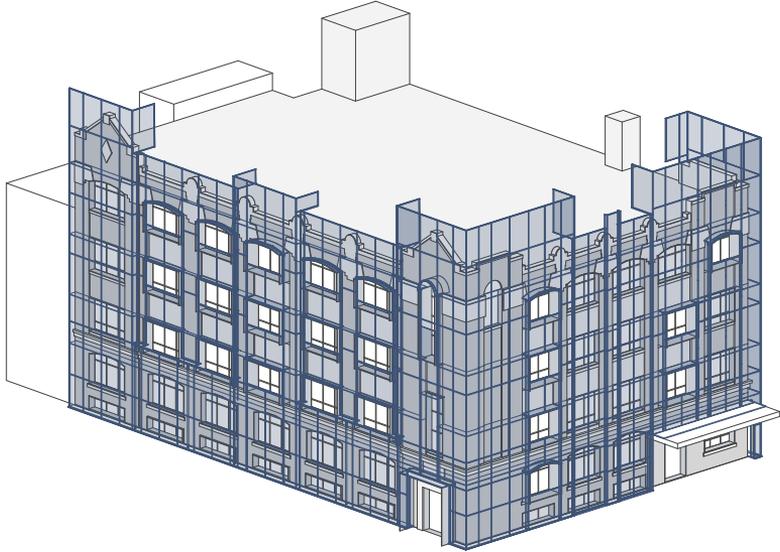
13:00



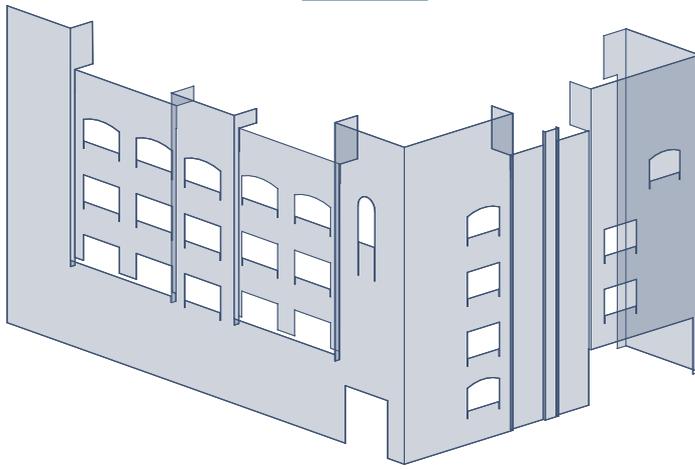
17:00



PROGETTO

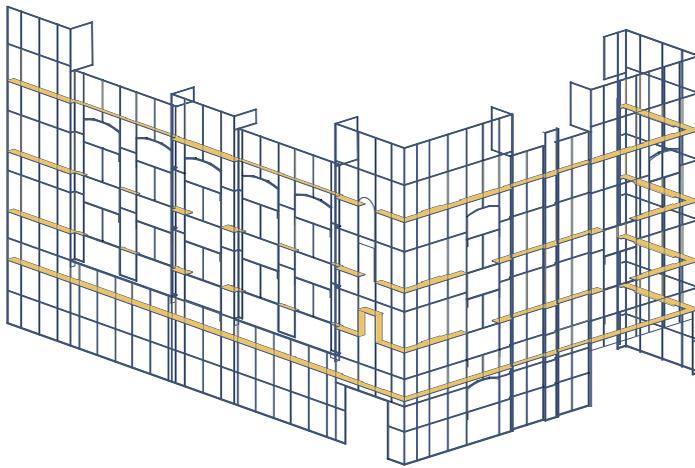


PELLE



Griglia ghiacciata

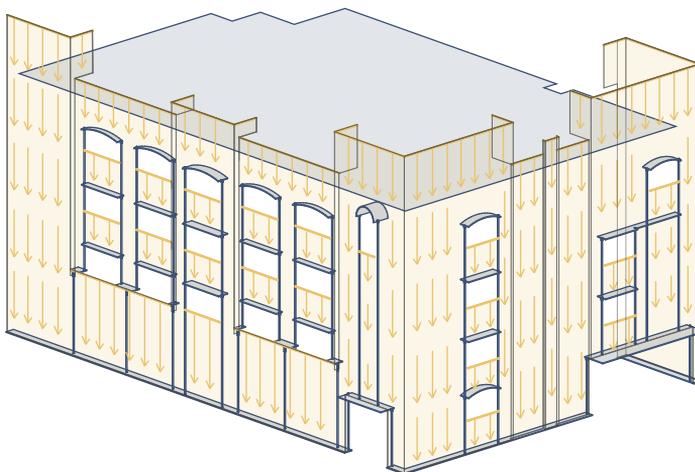
STRUTTURA



Struttura metallica

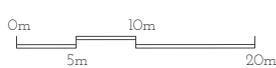
Isolante separatore

IDRAULICA

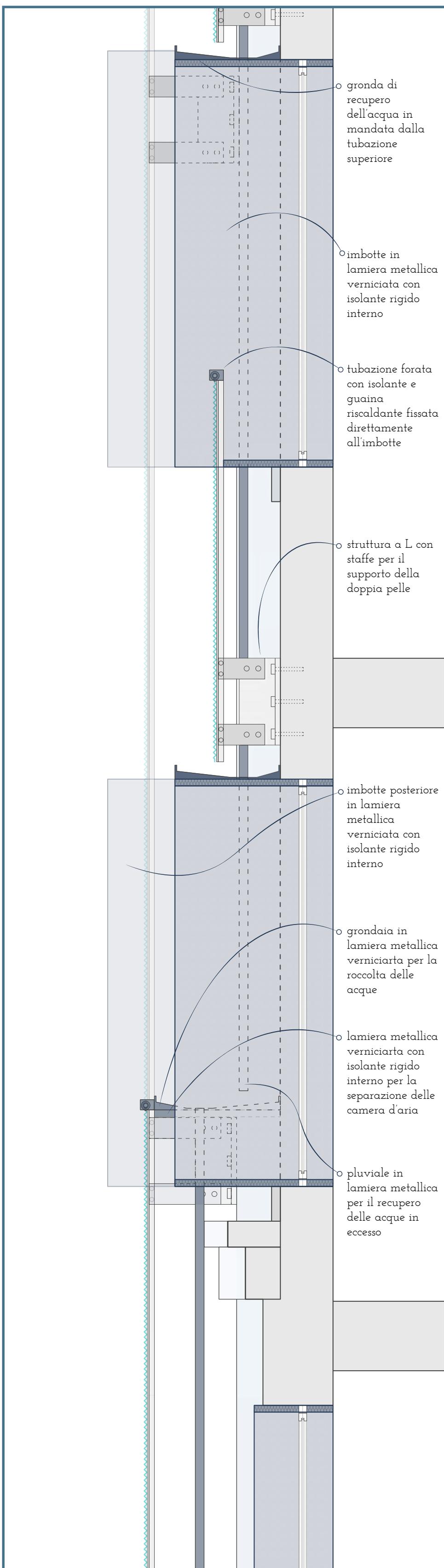


Raccolta acqua

Mandata acqua



SEZIONE TECNICA





© Elaborato personale



- CONCLUSIONI -

Gli studi di questa tesi, volti a comprendere l'attuabilità della tecnologia innovativa Glacé, non mirano tanto a risultati o ad obiettivi prefigurati, quanto più ad un iniziale sviluppo di un'idea ambiziosa.

Questi studi, tramite la convenzionale bibliografia, ma soprattutto con la sperimentazione sul campo hanno portato alla progettazione di un dettaglio tecnologico in grado di porre le basi per uno studio futuro più approfondito.

La componente sperimentale è infatti risultata fondamentale per lo sviluppo della tecnologia, consentendo di comprendere le dinamiche di congelamento, la tipologia di griglia indicata, il dettaglio superficiale e la resistenza temporale e strutturale, variabili altrimenti difficilmente prevedibili. L'approccio pratico è quindi da ritenersi essenziale anche per l'evoluzione e gli studi che verranno condotti in futuro.

Questa tecnologia si è rivelata esempio emblematico di resilienza; che, come il riccio che si chiude a difesa da un potenziale pericolo per poi "riaprirsi" superato il rischio; anch'essa congelando crea una pelle per difendersi dal pericolo momentaneo -il freddo-, per poi sciogliersi e tornare allo stato originario quando il suo utilizzo non è più necessario. Regolandosi così in maniera totalmente naturale e fruttando quindi la problematica come risorsa a difesa dalla problematica stessa.

Considerando l'involucro, questa tecnologia offre un nuovo punto di vista, non in ottica tecnologico-futuristica, ma volto ad interfacciarsi con la natura, utilizzando un materiale naturalmente mutevole, che consente

la creazione di una barriera ed uno spazio climatico i quali insieme permettono di migliorare le caratteristiche termiche della parete.

Ponendo difatti una mutazione del concetto di sistema dinamico, quasi sempre subordinato a meccanismi che sfruttano l'elettricità per "modificare la pelle". In questo caso è la natura che detta il cambiamento, un approccio auspicabile per un futuro anche in altri ambiti.

In caso di scarse precipitazioni il sistema utilizzerà elettricità, ma il suo consumo sarà limitato alla sola pompa idrica per alimentare il flusso, oltretutto per un arco di tempo limitato a poche ore.

Così come l'utilizzo di acqua non prevede sprechi, con la predisposizione della cisterna per la gestione e il trattamento dell'acqua, fedele all'approccio dei cicli di vita.

I risultati della sperimentazione condotta sono da ritenersi soddisfacenti, da intendersi però, come uno studio in evoluzione.

La ricerca infatti ha subito delle limitazioni dovute all'economia, alla disponibilità di determinati spazi e al tempo a disposizione: in uno studio futuro, infatti, sarà necessario sperimentare il congelamento della griglia in una camera climatica che consenta il raggiungimento di almeno dieci gradi sotto zero, ed analizzare i flussi con un pacchetto completo di parete. Questa miglioria consentirà di rilevare i dati in maniera scientifica e a comprendere con maggior accuratezza i flussi termici che possono generarsi attraverso il pacchetto tecnologico.

I risultati raggiunti dall'insieme degli studi svolti lasciano ben sperare per il futuro di questa tecnologia che con pensiero avveniristico è stata in grado di rielaborare un metodo costruttivo arcaico seguendo i principi della sostenibilità nel rispetto delle necessità dell'uomo e della natura.

- BIBLIOGRAFIA -

BIBLIOGRAFIA

- Carla Maria Amici; "Architettura Romana: dal cantiere all'architetto: soluzioni concrete per idee progettuali"; "L'Erma" di Bretschneider, Roma, 2016
- Aristotle; Meteorology; 4th century BC.
- Pasquale Cascella; "FACCIALE VENTILATE Elementi di architettura", Brianza Plastica, Milano, 2019
- CMGLEE; Phase diagram of water.svg; Wikimedia, 2018
- E. Deeson; "Cooler-Lower Down"; American Journal of Physics; Vol. 6; 1971
- R. Descartes; Discourse on Method, Optics, Geometry, and Meteorology, translated by P. J. Olscamp; (Bobb-Merrill, Indianapolis, 1965), Chap. 1, p. 268.
- Luca Maria Francesco Fabris; Architettura al sangue / Rare architecture; Repubblica di San Marino, Maggioli, 2008
- M. Freeman; "Cooler Still---An Answer?"; Physics Education, Vol 14, No. 7, pp. 417-421; 1979
- Amir Gholaminejad, Reza Hosseini; "A Study Of Water Supercooling"; Journal of electronics cooling and thermal control, 2013, 3, 1-6
- G. Kell; "The Freezing of Hot and Cold Water"; American Journal of Physics, Vol. 37, No. 5, 1969
- Antoine Lavoisier; Traité Élémentaire de Chimie; Parigi, 1789
- S. Mossop; "The Freezing of Supercooled Water" Proceedings of the Physical Society; Section B, Vol. 68, No. 4, 1955, pp. 193-208.
- E. Mpemba, D. Osborne; "Cool?"; Physics Education, Vol. 4, No. 3; 1969
- Mario Salvadori; Perché gli edifici stanno in piedi; Milano, Bompiani, 2016, p. 98-99.

- Fabrizio Tucci; "Involucro ben temperato"; *Alinea*, 2006, p. 45

- B. Wojciechowski, I. Owczarek, G. Bednarz; "Freezing of Aqueous Solutions Containing Gases"; *Crystal Research Technology*, Vol. 23, No. 7, pp. 843-848; 1988

- http://www.treccani.it/enciclopedia/talete-di-mileto_ (Dizionario-di-filosofia)
[ultimo accesso: 20/03/2020]

- <https://www.kitikmeotheritage.ca/cultural-programs>
[ultimo accesso: 20/03/2020]

- <https://www.giannipettna.it/italiano/opere-1/nat-ice-house-i-1971-1/>
[ultimo accesso: 20/02/2020]

- <https://divisare.com/projects/325889-gartnerfuglen-arkitekter-noun-1-unavailability-the-quality-of-not-being-available-when-needed>
[ultimo accesso: 22/02/2020]

- <https://divisare.com/projects/333514-hollmen-reuter-sandman-architects-robert-barry-lanterns-of-ursa-minor>
[ultimo accesso: 22/02/2020]

- <https://divisare.com/projects/307544-mad-architects-ink-ice-2006>
[ultimo accesso: 22/02/2020]

- https://www.wwf.it/il_pianeta/sostenibilita/il_wwf_per_una_cultura_della_sostenibilita/perche_e_importante2/cos_e_lo_sviluppo_sostenibile_/sostenibilita/perche_e_importante2/cos_e_lo_sviluppo_sostenibile/
[ultimo accesso: 28/03/2020]

- <https://www.cnr.it/en/press-release/9202/prodotto-per-la-prima-volta-il-ghiaccio-cubico-perfetto>
[ultimo accesso: 12/04/2020]

- <http://www.treccani.it/enciclopedia/ghiaccio/>
[ultimo accesso: 18/03/2020]

- <http://www.treccani.it/vocabolario/ricerca/sopraffusione/>
[ultimo accesso: 24/04/2020]

- https://www.enav.it/enavWebPortalStatic/meteo/Corsi_di_base/Meteorologia-ACC-parteIII_new.pdf
[ultimo accesso: 2/05/2020]

- <https://eu.usatoday.com/story/news/nation/2020/03/03/lake-erie-ny-homes-hoover-beach-turn-into-ice-palaces/4937109002/>
[ultimo accesso: 10/05/2020]

- http://www.cesm.ucar.edu/models/ccsm4.0/ccsm_doc/ug.pdf
[ultimo accesso: 10/05/2020]

- RINGRAZIAMENTI -

Comincio col ringraziare Stefano, senza il quale permesso e presenza non avrebbero consentito la scrittura di questa tesi. Ringrazio anche tutti i ragazzi della KFA che mi hanno ospitato e aiutato nel mio soggiorno in Canada.

Ringrazio i miei genitori, Nuvola e Franco, sempre presenti per ogni cosa e sempre disposti a darmi consigli e farmi superare i momenti più duri che questi anni mi hanno fatto incontrare.

E a Cisco ovviamente, che è riuscito ad aiutarmi e a sbloccarmi non tanto ora forse, quanto nei momenti più complicati del mio percorso universitario.

A Carletto, che con il suo carattere è riuscito a starmi vicino e sopportarmi nelle fasi in cui ero meno presente e disponibile, magari con qualche litigio qua e là ma è sempre un rapporto bellissimo.

Ed ora sarebbe difficile ringraziare tutti gli amici che in un modo o nell'altro hanno contribuito alla mia formazione di persona, studente e futuro professionista.

Ma per primi vorrei ringraziare Fully e Petu, il team CODit-19 è stato fondamentale per superare la quarantena ed è davvero bello avervi fatto conoscere, siete stati componenti fondamentali della mia parziale sanità mentale.

Umberto ovviamente, sempre presente, per pranzi fugali in fuga dallo studio e per aperitivi improvvisati, ma anche per grandi aiuti e consigli che sento siano stati importanti.

A Franci, che ormai milanese è più difficile frequentare, ma sempre

presente nei momenti difficili e di gioia.

A Marione che anche dal Chile col suo "charm" è riuscito a guidarmi sulle strade giuste da battere.

A Dani, senza il quale aiuto informatico sarei stato assai rallentato o sguarnito, e la cui ambizione e spirito sono d'esempio.

E per forza un gran ringraziamento va fatto ai Fioi di Treviso, distanti ma sempre vicini, festeggiare con voi è sempre qualcosa di fantastico e sono sicuro lo sarà anche in futuro.

Vi ringrazio tutti, spero nessuno si offenderà se non è presente, alla fine di un percorso si è sempre un pò agitati e qualcuno può mancare.

Oggi finalmente finisce questo mio periodo di vita, scrivo finalmente per impazienza, ma sono stati degli anni meravigliosi e che non scorderò mai. Grazie a tutti perché so di essere circondato da splendide persone e "solo" questo è un motivo di orgoglio e felicità.

