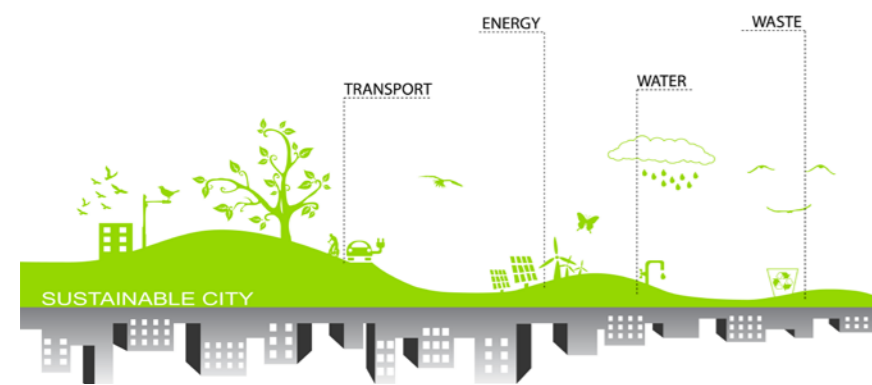


BIOGAS


I biogas sono una miscela di vari tipi di gas, composti principalmente da metano, prodotti dalla fermentazione batterica in anaerobiosi (assenza di ossigeno) dei residui organici provenienti da residui vegetali o animali. I residui utili possono avere più origini: scarti dell'agroindustria, dell'industria alimentare, dell'industria zootecnica. L'intero processo vede la decomposizione del materiale organico da parte di alcuni tipi di batteri, producendo anidride carbonica, idrogeno molecolare e metano (metanizzazione dei composti organici).

Data la presenza di un edificio atto alla produzione di vermicelli di riso, si prevedono grandi quantità di scarti organici da cui deriva la produzione di biogas.

3.3 LA BIOEDILIZIA

3.3.1 LA SCIENZA DELL'HABITAT A MISURA D'UOMO

Bioedilizia vuol dire scienza dell'habitat a misura d'uomo, un concetto diverso dell'abitare, che considera la casa come qualcosa che cresce nel rispetto dell'uomo e dell'ambiente in armonia con tutto il resto della natura.

Progettare biocompatibilmente significa quindi, e soprattutto, integrare l'organismo edilizio con l'ambiente nel quale è inserito utilizzando materiali non inquinanti e riciclabili, impianti a basso consumo energetico e, per quanto possibile, cercando di sfruttare le risorse naturali del posto. La sostenibilità di un materiale si definisce in relazione alla riduzione ai minimi termini del suo impatto ambientale riferito all'intero ciclo della sua vita.

In altre parole, un materiale è tanto più sostenibile quanto minore è l'energia, da un lato, e la produzione di rifiuti, dall'altro, necessarie per l'estrazione delle materie prime di cui è fatto, per i cicli intermedi di lavorazione per l'imballaggio, il trasporto e la distribuzione, per l'applicazione, l'uso e il consumo e per l'eventuale riutilizzo o riciclo, ed infine per la sua dismissione o smaltimento finale.

La sostenibilità di un materiale va valutata quindi "dalla culla alla tomba" attraverso un'attenta analisi della sua biografia. La complessità e la grande articolazione del settore produttivo rendono particolarmente arduo il compito di valutare la qualità ecologica dei materiali edili e la stesura quindi di corretti "ecobilanci".

La bioarchitettura rappresenta una visione olistica dell'architettura che impone il confronto con le specifiche realtà locali, in un'ottica di continui-

ità con la storia, le tradizioni, il paesaggio.

Per costruire una biocasa sarà quindi necessario soddisfare tre grandi ordini di questioni

- L'ambiente circostante inteso in senso lato. Quindi non solo il contesto naturale che ospita una costruzione, ma anche inteso come complesso architettonico all'interno del quale una nuova costruzione si inserisce
- Le fonti di (auto)sostentamento energetico: da questo punto di vista va differenziato l'edificio "passivo" da un edificio "attivo"
- i materiali utilizzati per la costruzione, che devono essere privi di radioattività; non devono emettere sostanze tossiche negli ambienti dopo la messa in opera; devono avere una lunga durata ed una alta riciclabilità al momento dello smaltimento; devono essere di provenienza locale; devono essere scelti tra quelli con rendimento più elevato, costo minore e impatto ambientale più limitato.

A proposito dei materiali, vediamo più nello specifico quali sono le caratteristiche che essi devono garantire:

- Il rispetto igrometrico, il che equivale a dire che favoriscono la traspirabilità, debellando così la formazione di muffe e umidità.
- La coibentazione acustica e termica
- Una maggiore resistenza ai terremoti e ai forti venti
- La resistenza al fuoco (poiché il legno brucia solo se sottile ed arieggiato, altrimenti carbonizza lentamente.
- L'assenza di ponti termici (a differenza dell'edilizia tradizionale, nella quale l'utilizzo di materiali ferrosi facilita il passaggio del caldo e del freddo dall'esterno all'interno dell'abitazione).

Ma, affinché un edificio si consideri una bio-costruzione, i principi della tutela ambientale devono essere rispettati sin dalle prime fasi, quelle della progettazione, passando poi per la realizzazione, l'uso e infine la demolizione, perché, se esso viene considerato alla stregua di un organismo vivente (come detto) è giusto contemplare anche la conclusione del suo ciclo vitale. Quindi, andrà previsto l'utilizzo di materiali che poi possano essere disassemblati, consentendo con un minimo impatto economico di ottenere il quantitativo massimo di materiali riutilizzabili e il minimo di rifiuti. Andrà pensato un edificio costituito da strati di materiali uniti da giunzioni meccaniche o adesivi deboli, comunque, con connettori reversibili.

La sostenibilità di un materiale deriva dal suo rapporto con l'ambiente. I materiali interagiscono con l'ambiente e lo modificano, condizionando negativamente la sopravvivenza dell'uomo sulla Terra. Con la bioarchitettura si vanno ad utilizzare tecniche costruttive e materiali che intervengono in modo neutrale verso l'ambiente cercando di migliorare il benessere e la salute dell'uomo. Per avere un'architettura sostenibile dobbiamo avere un doppio riscontro, un effetto benefico sulla salute dell'uomo e la tutela dell'ambiente.

3.3.2 LA BIOEDILIZIA IN RICE UP

Si decide quindi, dal punto di vista progettuale e delle soluzioni tecnologiche, di utilizzare materiali di riuso, facilmente reperibili e assemblabili, quali legno, terracotta, pallet e paglia.

Il loro utilizzo integrerà maggiormente il complesso architettonico dal

punto di vista stilistico ed inoltre creerà aggregazione nella fase realizzativa che permette la partecipazione anche di operai non specializzati. La vicinanza del mercato fa sì che si scelga l'utilizzo dei pallet per la realizzazione della struttura dei corpi al di sotto della copertura. Il tamponamento viene realizzato in paglia. La vicinanza di vaste aree coltivate al lotto di progetto permette con estrema facilità la reperibilità del materiale. Per la struttura della copertura e per i frangisole che rivestono i corpi al di sotto di questa, si sceglie di utilizzare il legno teak, tipico della zona, e che con le sue proprietà si rende adatto ad un uso esterno.

3.4 I MATERIALI

I materiali utilizzati nel progetto Rice Up sono stati scelti per le loro proprietà tecnologiche nonché per il loro uso nella tradizione vietnamita, così come il legno e la terracotta. Accanto a questi si trovano inoltre materiali poveri e di riuso, facilmente reperibili nel piccolo villaggio di Phu Do, e dunque cari al tema della sostenibilità ambientale.

Di seguito vengono indicate caratteristiche e proprietà dei principali materiali usati nel progetto tecnologico.

3.4.1 IL LEGNO TEAK

Tectona è un genere di alberi tropicali a legno duro che comprende tre specie comunemente note come teak o teck. Sono specie tipiche delle foreste tropicali e subtropicali del sud e del sud-est dell'Asia.

Sono alberi dal fusto grosso, diritto e cilindrico, che cresce fino ai 30-40

metri in altezza e fino a 1,5 m di diametro. Il tratto inferiore del tronco, sotto i rami più bassi, può superare anche i 10 m.

Le foglie sono opposte e molto grandi (da 30 a 60 cm), oblunghe, vellutate. Il teak perde le foglie nella stagione delle piogge. I fiori sono raccolti in infiorescenze e sono bianchi e profumati. I frutti sono drupe rotonde, commestibili. Il teak fiorisce e fruttifica dall'età di 20 anni circa.

Il legno ha un colore che varia dal giallo pallido al bronzo e tende a volte al rosso. Contiene una resina oleosa naturale che lo rende estremamente resistente. Non è attaccato neppure dalle termiti. Il legno è usato nella costruzione di manufatti per l'esterno, ponti di navi, strumenti musicali come il didgeridoo e in tutti quei posti dove è richiesta una forte resistenza all'acqua. È anche usato per i parquet.

Il teak si lavora facilmente ed ha un olio naturalmente prodotto dalla pianta. Esistono anche usi medicinali di questa pianta.

L'alburno del teak è chiaro, mentre il durame è bruno-dorato, con venature verdastre, a volte nere e grigie. Al tatto ed alla vista appare oleoso e con un caratteristico odore di cuoio vecchio. Contiene un' apprezzabile percentuale di silice ed è refrattario all'impregnazione, anche in autoclave. La sua essiccazione all'aria è un processo piuttosto semplice, particolarmente per i fusti ai quali è stata praticata "l'anellatura di base". L'operazione, che viene effettuata ogniqualvolta si vogliono rendere i tronchi più galleggianti per farli fluitare facilmente, consiste nell'asportare un anello di corteccia in prossimità della base dell'albero per provocarne la morte in piedi. L'alimentazione risulta così interrotta avendo tagliato i canali principali di ascesa. Probabilmente l'effetto combinato di uno "svuo-

tamento" del fusto, per gravità unito al consumo da parte delle foglie di ciò che rimane ancora a loro disposizione rende possibile una certa "pulizia" del tronco, che si libererà da molte sostanze coloranti assumendo, all'atto della segagione, un aspetto cromatico meno variegato.

Il teak, inoltre, è caratterizzato da un disegno naturale, variegato con striature irregolari, ondulate. La sua struttura e la sua composizione lo rendono un ottimo legno da impiegare per le costruzioni navali e come alleato dell'edilizia per la realizzazione di pavimenti pregiati e resistenti. Infatti, il Teak è immune agli attacchi degli insetti ed è anche molto resistente all'azione penetrante e corrosiva dell'acqua. Al tatto si caratterizza di una sensazione di oleosità e questa caratteristica lo rende un legno ampiamente impiegato anche per la pavimentazione per esterni, anche senza l'impiego di trattamenti preservanti.

PROPRIETÀ DELL'ESSENZA	COMPORTAMENTO
RESISTENZA	Buona. Il Teak resiste alla flessione e agli urti.
DUREZZA (predisposizione ad opporsi alla penetrazione, espressa in kg/mm ²)	Media. Il Teak è classificabile come legno tenero.
DURABILITÀ E DUREVOLEZZA (la reazione del legno alle sollecitazioni esterne)	Eccellente. Il Teak, infatti, è un legno che dura nel tempo, reagendo in maniera ottimale all'acqua, agli insetti, agli agenti atmosferici e alle escursioni termiche.
STABILITÀ (resistenza alle deformazioni)	Alta.
POROSITÀ	Elevata. Nonostante il Teak sia un legno mediamente poroso, la sua natura oleosa non gli consente di assorbire facilmente l'acqua e l'umidità.
IGROSCOPITÀ	Bassa. Il Teak è un legno idrorepellente.
ESSICCATURA O STAGIONATURA	Il Teak è poco sensibile alla stagionatura.
RITIRO E DILATAZIONE (sensibilità alle variazioni di temperatura e di umidità)	Il Teak è caratterizzato da una forte resistenza all'acqua, nonostante esso sia un legno poroso.
PESO SPECIFICO	Il Teak viene definito un legno pesante, a fibra compatta, con un peso di circa 650 kg/mc (legno essiccato)
LAVORABILITÀ E FACILITÀ DI TAGLIO	Buona lavorabilità, nonostante il Teak sia un legno duro.
ATTITUDINE ALLA FINITURA	Il Teak può presentare qualche difficoltà nel processo di verniciatura a causa della sua natura oleosa.
ATTITUDINE ALL'ASSEMBLAGGIO	Buono l'incollaggio e l'assemblaggio con viti e chiodi.



Figura 3.14 Foresta di teak in Vietnam

Il legno Teak asiatico è quello commercialmente più noto e comprende le specie seguenti:

- Teak Comune (chiamato anche *Tectona grandis*) conosciuto per le sue ottime caratteristiche tecniche, quali la buona capacità a resistere agli agenti atmosferici, alle variazioni termiche, al tasso di umidità, all'acqua e alla salsedine; esso è ampiamente impiegato per la realizzazione di pavimentazioni esterne;
- Teak Burma (chiamato anche teak Birmano o con il nome tecnico di *Tectona hamiltoniana* e conosciuto nel resto del mondo come Teck Dahat) è la specie di maggiore pregio, sia per la caratteristica venatura, sia perché si tratta di una specie a rischio estinzione.

- Teak indonesiano che proviene dalle foreste, o da coltivazione.
- Teak filippino (chiamato *Tectona philippinensis*) anch'esso a rischio estinzione.
- Teak naturale importato in Europa è costituito da un unico esemplare, ovvero il Burma o Birmano, poiché tutti gli altri sono legni lavorati o di piantagione.
- Teak sintetico, ugualmente bello e costoso, viene realizzato con materiali in pvc; quest'ultimo presenta numerosi vantaggi e svantaggi rispetto al legno naturale, poiché esso è facile da pulire, non assorbe i liquidi, non richiede detergenti particolari per la pulizia, resiste alla salsedine, non necessita di una manutenzione continua ed è caratterizzato da un prezzo sempre fisso, inoltre esso non cambia di molto il colore ed è antiscivolo. Valutando la natura dei manufatti destinati all'esterno, il tipo di legno e l'esposizione totale o continuativa che questi devono subire agli agenti atmosferici, o alle variazioni dimensionali ai quali sono sottoposti, al fine di consentire che l'efficienza e il funzionamento del Teak siano compromessi è necessario ricorrere a degli espedienti per proteggere il legno, tra i quali i più comuni sono i seguenti:
 - un trattamento di verniciatura senza spessore, ovvero quello eseguito solamente con un impregnante che penetra a fondo nelle fibre del legno, creando una barriera all'azione degli agenti atmosferici e all'attacco di parassiti;
 - trattamento di verniciatura con spessore, adatto per quegli elementi che devono sopportare l'azione degli agenti atmosferici a lungo; questo consiste nella creazione di uno strato di appena 80-90 micron.

In qualsiasi caso si proceda, è necessario che il tipo di trattamento non comprometta la naturalezza del legno stesso, proteggendo e migliorando la resa con le vernici ad acqua, maggiormente indicate per l'esterno.

3.4.2 LA PAGLIA

Le prime case in balle di paglia furono costruite negli Stati Uniti alla fine dell'Ottocento, in seguito all'invenzione della macchina imballatrice. I primi a sperimentare la tecnica furono i colonizzatori nell'America del nord, precisamente in Nebraska.

Le terre da conquistare erano caratterizzate da vallate molto estese che si adattavano molto bene alla coltivazione agricola ma di contro erano sprovviste di boschi, quindi scarseggiava il legname per la costruzione di case e utensili. Nell'attesa dell'arrivo del legname attraverso la rete ferroviaria, realizzarono come ricoveri temporanei invernali, case fatte con l'unico materiale in abbondanza: la paglia imballata, prodotto di scarto del frumento. Le balle di paglia venivano utilizzate come mattoni giganti legati l'uno all'altro per costituire i muri portanti delle case, sopra i quali venivano poi appoggiati direttamente i tetti. Questa tecnica, prende proprio il nome del luogo in cui venne inventata: "stile Nebraska".



Ben presto i coloni scoprirono che queste case avevano vantaggi maggiori rispetto alle case tradizionali.

Gli spessi muri in paglia mantenevano il calore interno durante i freddi inverni come anche il fresco durante le estati calde. Oltre tutto l'isolamento acustico era eccezionale e permetteva di non sentire all'interno della casa i forti venti soffiare esternamente.

Decisero quindi, di continuare a costruire case stabili con la stessa tecnica, molte di esse sono ancora esistenti ed abitate.

Intorno agli anni '40 del ventesimo secolo, a causa della forte espansione, del boom economico e dell'utilizzo del cemento, questa tecnica venne dimenticata.

Negli anni '70 però, Judi Knox e Matts Myhrman, riscoprendo alcune di queste case, si convinsero della loro eccezionalità e cercarono di raffinare la tecnica per adeguarla alle esigenze moderne, passarono poi la loro conoscenza acquisita ad alcuni ambientalisti entusiasti.

Tra gli "ambientalisti" e nel contesto della permacultura la tecnica si diffuse rapidamente e molte case furono costruite con questa tecnica.

Le prime costruzioni in europa furono realizzate in Gran Bretagna nel 1994 e in Irlanda nel 1996. Barbara Jones ha importato queste tecniche nel Regno Unito, adattandole alle diverse esigenze climatico-ambientali locali (Inghilterra, Irlanda, Galles, Scozia, ecc.).

Le tecniche utilizzate negli Stati Uniti e Canada prevedono tondini di acciaio per mantenere allineate le balle nei muri, rete elettrosaldata come porta intonaco, fondazioni in cemento armato, intonaci cementizi, ecc. Barbara Jones ha proposto la sostituzione del ferro con il legno, indivi-

duando il legname di nocciolo quale sostituto del metallo e proponendo l'utilizzo della calce in sostituzione del cemento, con intonaci a calce e in terra cruda dalle superiori proprietà di traspirazione rispetto agli intonaci cementizi. Secondo la Jones, anche l'aggiunta all'impasto di piccole quantità di cemento riduce drasticamente la traspirabilità dei muri, aumentando la possibilità di proliferazioni di muffe sulla pareti più umide, come quelle del bagno e della cucina.

Attualmente si costruiscono circa 1000 edifici nuovi all'anno nel mondo. Si stanno fondando sempre più associazioni che studiano, sperimentano, condividono e realizzano case in paglia.

L'utilizzo di materiali come terra, paglia, legno e bambù nell'edilizia, è spesso visto con scetticismo nella cultura occidentale, dove è consuetudine edificare con il cemento armato.

Bisogna invece ricordare che circa 5 miliardi di persone nel mondo, vivono in abitazioni costruite con materiali naturali, guadagnando in termini di comfort, salute e benessere.

La scelta di costruire con il cemento è fondata più sulla praticità del materiale che sulla qualità.

Spesso infatti si riscontrano problemi di umidità e l'insorgere di muffe, e i prodotti antimuffa servono solo a nascondere il problema, ma non a risolverlo. Inoltre l'industria del cemento produce circa il 51% dei gas dannosi per lo strato di ozono.

I materiali derivanti dalla natura possono invece abbinare buone proprietà tecnologiche al rispetto dell'ambiente e alla sostenibilità.



Figura 3.15 Esempio di costruzione in paglia

LA MORFOLOGIA DELLA PAGLIA

Dal punto di vista botanico appartiene alla famiglia delle graminacee (poaceae o gramineae) che sono molto diffuse sul nostro pianeta. È composta dal 10% da sostanze che servono alla pianta per crescere (es. cellulosa, emicellulosa, lignina, silicio e acqua) e dal 90% di aria (Butchart, 1994).

Analizzando una pianta di cereali la sua composizione è data da radici, stelo, foglie e dalla testa. Dalle radici la pianta ottiene minerali e acqua provenienti dal terreno; lo stelo provvede a trasportare i nutrienti e i liquidi; le foglie servono per ottenere l'energia dalla fotosintesi e la testa è costituita dalla spiga o rachide (solo in frumento, riso e orzo), composto da una serie di nodi e internodi che contengono la granella. Lo stelo, come tutte le graminacee, è costituito da nodi ed internodi da cui

nascono le foglie ed è di forma tubolare cava. Proprio questa forma, in cui passa l'aria, conferisce le buone qualità di isolamento allo stelo (Carfrae, 2011). La lunghezza dello stelo di paglia varia in base alla specie di cereale: segale 180 cm, frumento e orzo 80-90 cm, avena più lunga del frumento, riso da 30 a 50 cm (Staniforth, 1979).

Data la presenza di lignina, il grado di lignificazione della paglia cresce con il crescere dello stelo e la struttura cambia in base alla tipologia di cereale.

Infatti, come analizzato da Staniforth (Staniforth, 1979) in diverse sezioni di steli di differenti cereali è stato possibile comprendere che il riso possiede una struttura di maggior spessore, con all'interno delle cavità d'aria che dipendono dalla vita in acqua della pianta oltre che possedere una maggior resistenza dello stelo. Infatti, se si esegue una prova di rottura di due steli di paglia, uno di frumento e uno di riso, si percepisce la differenza di resistenza: quello di riso, oltre a essere più rugoso al tatto risulta più compatto e duro rispetto al frumento, che è più liscio e con sezione più sottile.

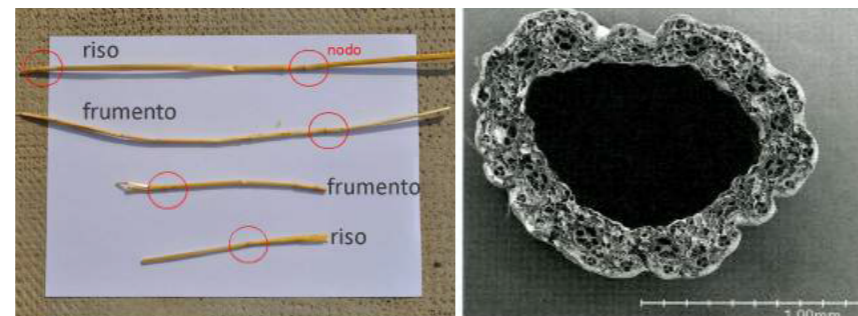


Figura Sezione dello stelo di frumento e di riso



Figura Rappresentazione della produzione di cereali nel mondo

LE QUALITÀ DELLA PAGLIA

La paglia è un materiale ecosostenibile. Si forma grazie alla fotosintesi dei cereali (grano, orzo, riso, ecc.) che, essendo alla base dell'alimentazione umana, vengono coltivati in tutto il mondo in maniera continuativa. Per questo motivo è un materiale facilissimo da reperire e che si rinnova continuamente. Inoltre, contrariamente a quanto si possa pensare, è un materiale a basso rischio incendio: test dimostrano che un muro in balle di paglia può resistere alla temperatura di 1010° C per un periodo di tre ore, tempo sufficiente allo sgombero dei locali e allo spegnimento delle fiamme.

La paglia è inoltre un ottimo isolante. Un tipico muro in paglia da 45 cm, intonacato, ha una trasmittanza U pari a circa 0,08 W/mqK, e questo consente un notevole risparmio sul combustibile necessario al riscaldamento

to. È fonoassorbente: viene infatti utilizzata come barriera acustica nelle autostrade e negli aeroporti, e per realizzare studi di registrazione.

È un materiale traspirante. Abbinato a intonaci naturali assicura un ricambio d'aria costante all'interno dell'edificio, evitando così il formarsi di muffe. A differenza del fieno, che è erba verde tagliata e messa ad essiccare, la paglia non causa allergie né la febbre da fieno.

Non esistono parassiti per la paglia e una volta intonacata diventa inaccessibile anche ai topi che, pur non mangiandola, spesso vi trovano riparo.

Per finire, dal punto di vista statico è dimostrato che la paglia può sostenere più di 15 tonnellate al mq, e dal punto di vista antisismico, test di laboratorio mostrano gli effetti pressoché nulli di un terremoto di magnitudo 6,7 e la resistenza dei muri anche a sollecitazioni di doppia intensità. Quasi la metà delle emissioni di gas serra nell'atmosfera sono dovute alle pratiche edilizie e ai consumi energetici degli edifici. Per contenere l'impatto ambientale è sempre più necessario trovare tecniche costruttive che siano sostenibili. L'uso di materiali naturali e l'attivazione di procedure edilizie a basse emissioni di CO2 e spreco delle risorse sono fondamentali per rendere la pratica edilizia più sostenibile per il pianeta. La casa di paglia, con tutti i suoi vantaggi e svantaggi, è l'esempio più calzante di architettura sostenibile.

La casa di paglia è economicamente sostenibile. Il costo di costruzione e di gestione di un edificio in balle di paglia è molto più basso rispetto a un edificio tradizionale. Il vantaggio economico si nota nel tempo, rispar-

miando quasi il 75 per cento dei costi energetici per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti. Nel caso poi che l'edificio venga progettato secondo i principi di bioclimatica è persino possibile portare a zero le spese eliminando gli impianti.

Il dramma dell'edilizia moderna sono gli spazi residui delle città. I "non luoghi" sono posti in cui i cittadini non si identificano, sono isolati anche se vivono in quartieri popolosi. In molti casi la costruzione delle case di paglia ha costituito uno stimolo alla cooperazione e all'integrazione nel quartiere. Questo perché, a esclusione delle fondazioni e della struttura portante che in Italia devono essere certificate da una azienda specializzata, la semplicità del montaggio non necessita di alcuna preparazione.



Figura 3.16 Uso della paglia come isolante naturale

L'ambiente. La costruzione di case di paglia è sostenibile per l'ambiente perché la materia prima è naturale e reperibile senza comportare lunghi trasporti, anzi il reperimento potrebbe persino essere a chilometro zero. Inoltre, una volta recuperate le balle di paglia compressa la costruzione delle case è molto veloce e il materiale riciclabile una volta dismesso.

I benefici della casa di paglia sono davvero tantissimi, eppure anche questi edifici hanno qualche svantaggio. L'uso della paglia non permette grandi elaborazioni planimetriche, rimane infatti con un sviluppo molto semplice e la struttura in legno impone la costruzione di edifici bassi difficilmente adattabili a un contesto urbano.

Questo sistema costruttivo è perciò utilissimo lì dove la struttura sociale non prevede lo sviluppo in verticale degli edifici o in un ambito rurale, in entrambi i casi gli esempi sono moltissimi.

Il termine internazionale pallet, in italiano paletta (o più specificamente paletta di carico) e definito in forma colloquiale anche come pedana, pancake o bancale, è un'attrezzatura utilizzata per l'appoggio di vari tipi di materiale, destinati ad essere immagazzinati nelle industrie, ad essere movimentati con attrezzature specifiche (carrelli elevatori e transpallet) e trasportati con vari mezzi di trasporto.

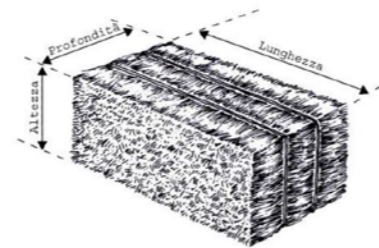


Figura 3.17 Balla di paglia

ALCUNI MITI DA SFATARE SULLA PAGLIA

L'edificio in balle di paglia ha sperimentato uno sviluppo rapido verso gli anni '90, quando si diffuse all'inizio negli USA e poi in Canada e in Australia. L'interesse rinnovato per la costruzione in balle di paglia fu anche ispirata da coloro che avevano fatto esperimenti in questo campo in Europa e più tardi in Asia e Sud America. L'idea di impegnare la paglia come un materiale da costruzione e la conoscenza tecnologica delle diverse tecniche che vengono utilizzate, hanno lasciato il campo dell'ecologia molto tempo fa. Sempre più, reti internazionali e nazionali, e symposium su questo argomento, attraggono anche gli architetti tradizionali e gli ingegneri. Diversi esempi di edifici costruiti, tra questi residenze private così come edifici commerciali, edifici didattici e culturali, provano il fatto che la costruzione in balle di paglia offre una fresca ed estremamente promettente prospettiva, sia da un punto di vista economico che ambientale. L'attenzione di oggi verso la paglia è rivolta verso gli aspetti strutturali e fisici e ai problemi che può presentare questa tecnica costruttiva. Oggi i progettisti e i costruttori, vogliono avere un'idea delle caratteristiche fisiche, delle basi strutturali e delle particolarità di un edificio in balle di paglia e i potenziali punti critici che possono condurre a danni, così da poterli evitare. La grande varietà di applicazioni e progettazioni riguardo gli edifici in balle di paglia presentano questa tecnica costruttiva come un'alternativa sostenibile ed economica a metodi costruttivi convenzionali.

Come tutti i materiali da costruzione anche la paglia è caratterizzata da una storia frutto della considerazione di cui questo materiale ha goduto

negli anni. Se all'inizio l'interesse nei confronti della paglia era legato al fatto che fosse facilmente reperibile e poco costosa, le famiglie contadine in epoche passate erano in maggioranza, in seguito la tecnica ha permesso di reconsiderarla e sfruttarla meglio anche in prospettiva di materiale da costruzione a tutti gli effetti.

Rimangono nella gente comune alcune convinzioni che creano disinformazione e riducono la capacità di diffusione di questo materiale e non fanno merito alle sue potenzialità.

Le prove edilizie ufficiali su muri in balle di paglia condotti in Germania e in Austria hanno portato ai seguenti risultati:

- resistenza al fuoco valutata F90
- classificazione del materiale: normalmente infiammabile
- coefficiente di conduttività del calore: $\lambda = 0.0456 \text{ W/mK}$

Questo vuole dire, che le strutture murarie in balle di paglia isolate possono essere utilizzate per tutti gli edifici di uno e di due piani, indipendentemente che siano essi sono per singole famiglie o case doppie, case terrazzo, garage, edifici agricoli, centri di assistenza ai minori, scuole, ospedali o fabbricati per uso ufficio. Sotto certe condizioni possono essere anche possibili edifici multi-piano.

Le case isolate con balle di paglia possono ottenere livelli da passive-house; con un consumo annuo di energia per riscaldamento di meno di 15 kWh/m².

Come esempio per chiarire quantitativamente cosa voglia dire impiegare questa risorsa come isolamento termico in edilizia, basti pensare alla produzione agricola della Germania, notoriamente un paese che noto-

riamente non è fra i maggiori produttori di foraggi per animali. Secondo Scharmer, la quantità prodotta annualmente sarebbe sufficiente per isolare circa 350000 case unifamiliari (Scharmer 2002).

Mentre, oggi, la paglia è principalmente compressa in balle arrotondate, ci sono ancora, in numero sufficiente, balle piccole inutilizzate, pressate in fattorie locali, che potrebbero servire per la produzione delle balle in diverse forme richieste.

Frequentemente, quando le persone sono messe di fronte all'idea di vivere o costruire case con muri fatti di balle di paglia si scontrano con dubbi sostanziali e perplessità subconscie. Queste reazioni sono principalmente causate da una mancanza di conoscenza e di una paura irrazionale verso il nuovo e lo sconosciuto.

Tra le varie convinzioni popolari sbagliate, o non completamente esatte, c'è la durata delle costruzioni in paglia. La lunga durata di vita di questi edifici è provata da numerosi esempi negli Stati Uniti. La più vecchia casa ancora abitata, ha circa 100 anni. Le balle di paglia sono ideali per costruzione fai da te, con evidenti vantaggi sui costi di costruzione, ma anche sulla creazione di un forte senso d'identità verso la propria personale casa.

Negli USA, la ricerca si è ripetutamente e per troppo tempo indirizzata al problema di insetti, topi o ratti. Si cercava nell'esperienza passata episodi in cui sia testimoniato la presenza di nidi dentro edifici in balle di paglia storici. Oltre a vari edifici storici esaminati anche in edifici di prova, demoliti dopo quattro anni, non si è riusciti a trovare nessuna prova dell'esistenza di parassiti, pur avendo esaminato accuratamente ogni singola

balla. I topi non si alimentano di paglia, e tanto meno di balle di paglia che sono estremamente compresse con densità di 90 kg/m³ e quindi sufficientemente forti per resistere a qualsiasi attacco di roditori. Un rischio potenziale sono le cavità fra le balle che non sono state o non sufficientemente, imbottite. Per di più, visto che i muri sono anche intonacati, i topi dovrebbero penetrare uno strato d'intonaco dai 3 ai 6 cm, cosa che finora non è ancora mai stata osservata.

Evidentemente, neanche la paglia è una festa per le termiti. Alcune specie possono essere in grado di digerire la paglia, ma preferiscono chiaramente come cibo il legno. Steen riferisce che i telai di porte e finestre di una casa in balle di paglia storica ne erano infestati, la paglia, tuttavia, era rimasta intatta. La paura che muffe possano svilupparsi sulle balle di paglia è infondato - a condizione che le regole corrette del costruire siano osservate; le muffe non possono svilupparsi su paglia asciutta. Le regole corrette del costruire implicano l'uso di balle di paglia asciutte; questo significa che il loro contenuto d'umidità è inferiore di 15%, o che altrimenti sia installata una barriera di vapore sulla superficie interna per impedire all'umidità di penetrarle, o che la parte finale esterna sia abbastanza permeabile al vapore in modo che la potenziale condensa possa uscire fuori. Se la fabbricazione di un muro soddisfa o meno queste richieste, può essere stabilito per mezzo di metodi di calcolo ufficialmente autorizzati.

Durante la messa dell'intonaco, si deve essere sicuri che si secchi relativamente velocemente. Per questo, l'intonaco deve permettere sufficiente traspirazione in modo che la paglia, che sarà divenuta umida durante

la messa dell'intonaco, possa seccare velocemente. Se l'intonaco di terra contiene troppi aggregati organici come segatura o loppa di paglia, essa seccerà molto lentamente, agevolando la formazione di muffa. Perciò, i costruttori devono assicurarsi, specialmente quando gli strati di intonaco sono spessi, che gli strati secchino prima che quello successivo venga applicato. Inoltre, l'ultimo strato non dovrebbe contenere additivi organici, o almeno pochissimi.

L'ambiente ideale per lo sviluppo di muffe sono: temperatura di circa 20-28°C e un'umidità relativa dell'aria di più di 55%. Altre sorgenti dichiarano che il valore deve essere maggiore di 80 a 90%.

Altro spauracchio per gli scettici degli edifici in paglia è il fuoco. Nessuno può smentire il fatto che la paglia sciolta prenda facilmente fuoco; tuttavia, è ancora ampiamente ignorato il fatto che, in realtà, i muri in balle di paglia, intonacati su entrambi i lati, hanno una resistenza al fuoco di 90 minuti (valutazione F90). Questo è stato stabilito per la prima volta secondo classi edilizie austriache. L'intervallo di tempo è stato verificato anche in Germania.

I materiali da costruzione sono classificati in merito alla loro resistenza al fuoco come segue: F30, F60, F90, F120. In passi di 30 minuti, queste classificazioni evidenziano la capacità dei relativi materiali di mantenere le loro funzioni essenziali come integrità strutturale e la chiusura dello spazio in caso di incendio.

Una ricerca autorizzata in Austria ha stabilito che le balle di paglia di grano non trattate con una densità effettiva di 120 kg/m³ possiedono un'infiammabilità normale. Per contro, ad un muro in balle di paglia non por-

tante con intonaco interno in terra ed esterno in calce è stato assegnato un valore di resistenza al fuoco F90. Diverse prove in Germania e in Austria hanno confermato questi risultati e altre prove a riguardo negli USA hanno stabilito una resistenza al fuoco anche di 120 minuti.

L'alta resistenza al fuoco di un muro in balle di paglia intonacato può essere attribuita all'alto valore di resistenza al fuoco degli intonaci che non lasciano ossigeno sufficiente per la combustione della paglia. Anche se l'intonaco contenesse rotture, si formerebbe uno strato di paglia esterno carbonizzato che eviterebbe ancora l'entrata di ulteriore ossigeno.

Questo risultato è stato stabilito in condizioni di alta temperatura, 1000°C.

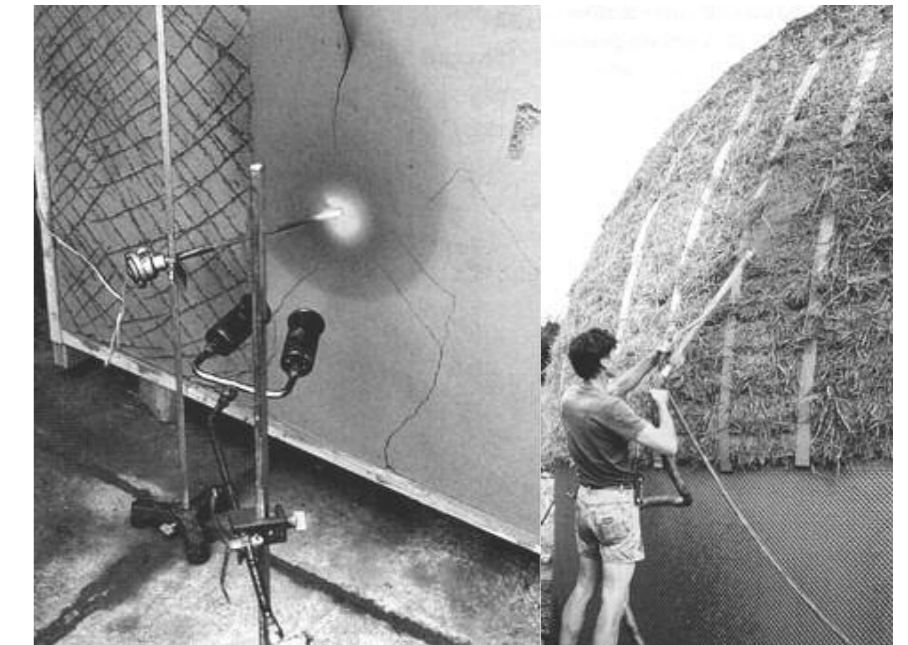


Figura 3.18 Prova del Research Laboratory all'Università di Kassel

L'installazione della prova del Research Laboratory for Experimental Building all'Università di Kassel: l'intonaco si è rotto, dato che, non era completamente secco, e il fuoco era applicato puntualmente.

Se incompiuti, i muri in balle di paglia non ancora intonacati possono avere un rischio maggiore in caso di fuoco, a causa di possibili steli di paglia sporgenti. Si dovrebbe, quindi, dare un primo strato di intonaco appena completato la struttura del muro.

Per migliori risultati, per spruzzare a fondo e coprire sistematicamente tutti i gambi dovrebbe essere utilizzata una pompa (Figura 3.18).

UN CONTRIBUTO ALLA SOSTENIBILITÀ

La paglia è un materiale da costruzione rinnovabile che cresce fresco ogni anno. È una risorsa onnipresente che è naturalmente riciclabile e non pone nessun problema riguardo il suo smaltimento: nel caso di demolizione della costruzione può essere separato facilmente da altri materiali e, per esempio, può essere impiegato come terriccio protettivo per le radici (mulch) nei giardini o in agricoltura per compattare il suolo. La produzione di balle di paglia e il suo trasporto al sito della costruzione, consumano una relativamente piccola quantità di energia paragonata ad altri materiali da costruzione, visto, ad esempio, il peso leggero. Questo metodo costruttivo ha difficilmente un impatto negativo sull'ambiente. La produzione di balle di paglia consuma circa 14 Mj/m³ di energia; diversamente, la lana minerale richiede per la sua produzione 1077 Mj/m³, 77 volte più della paglia. L'assorbimento chimico di biossido di carbonio durante la Fotosintesi e in proporzione anche più alto delle emissioni

di biossido di carbonio causate dalla produzione e dal trasporto di balle di paglia.

Gli edifici con isolamento termico fatto di paglia possono aiutare, quindi, a ridurre sostanzialmente emissioni di biossido di carbonio nell'industria delle costruzioni. La paglia soddisfa tutte le richieste di un materiale da costruzione "sostenibile", ed ancora più del legno, che dalla produzione e dal trattamento del legname richiede molta più energia e produce molto più biossido di carbonio rispetto alla produzione di balle dalla paglia.

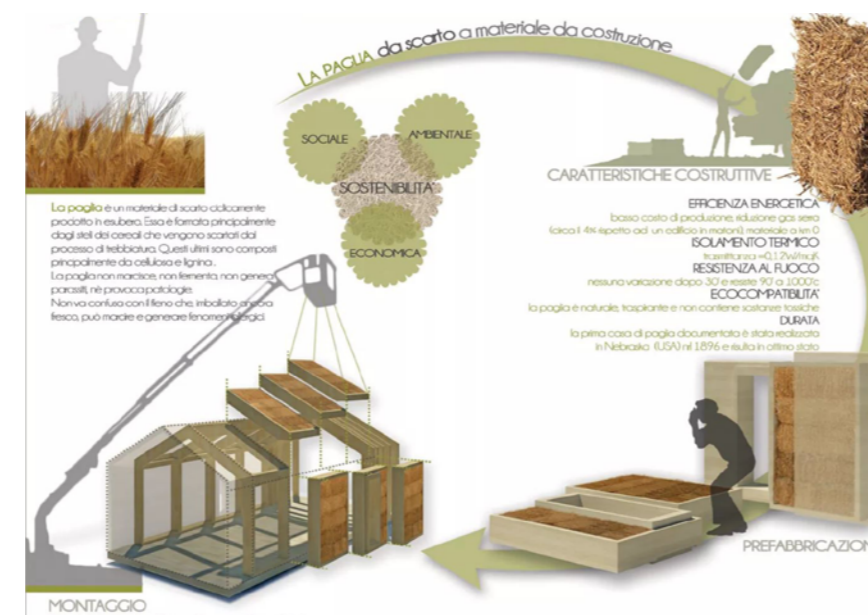


Figura 3.19 Sostenibilità della paglia

IL "KNOW HOW" DELLA PAGLIA

Ci sono due sistemi costruttivi sostanzialmente diversi: il muro in balle di paglia portante (load-bearing) dove i carichi del tetto sono trasmessi alle fondazione direttamente attraverso le balle di paglia, e il muro con struttura interna a telaio, di solito formata da pali e travi di legno, con pannelli di paglia di riempimento o con facciate di balle di paglia. Nella letteratura, il sistema portante è chiamato frequentemente "tecnica Nebraska" grazie alla sua invenzione in Nebraska nel tardo XIX secolo. Il sistema a telaio, comunemente conosciuta come "non-loadbearing" (non portante) o "infill bale walls" (muri riempiti di paglia), è formato da una struttura di legno, di acciaio o di cemento armato che sopporta i carichi del tetto e stabilizza i muri; qui, le balle di paglia non hanno alcuno scopo strutturale ed servono esclusivamente per l'isolamento termico.

Nel 1982, il Louis Gagne canadese ha sviluppato un sistema murario portante, conosciuto anche come "tecnica Gagne": le balle sono posizionate come mattoni sulla malta di cemento che formerà così un giunto a croce. La struttura di giunti verticali e orizzontali di malta risultante, assolve completamente o parzialmente al compito di sopportare i carichi. E' questo, quindi, un sistema ibrido con le balle di paglia che eseguono parzialmente compiti strutturali e parzialmente funzione di pannelli di riempimento. Questo sistema, tuttavia, comporta la formazione di ponti termici e non è di conseguenza adatto ai climi più freddi.

Ulteriori esempi di sistemi portanti sono i nordamericani Paillobloc System, Baleblock System e il Bioblock. Qui, la paglia è sottoposta ad una alta pressione e coperta accuratamente con malta. I blocchi con gli spi-

goli vivi (sharp-edged) sono installati con o senza l'uso di malta. Anche, questi sistemi non sono tanto adatti all'uso in luoghi freddi a causa di ponti termici.

Un altro genere d'uso per le balle di paglia è il rivestimento supplementare dei muri esistenti con le balle stesse che agiscono come uno strato termico di isolamento esterno.

In edifici storici, può essere spesso trovata all'interno della stessa struttura una mix di vari sistemi: questo frequentemente conduce a problemi, dovuti al diverso comportamento in termini di cedimenti e flessibilità, dei vari sistemi portanti e non.

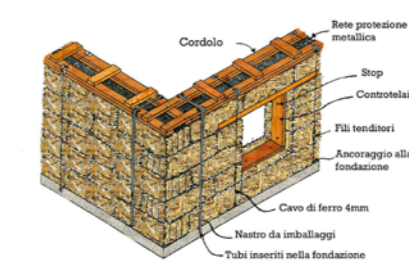


Figura 3.20 Tecnica Nebraska



Figura 3.21 Infill bale walls



3.4.3 IL PALLET

Il termine internazionale pallet, in italiano paletta (o più specificamente paletta di carico) e definito in forma colloquiale anche come pedana, pancake o bancale, è un'attrezzatura utilizzata per l'appoggio di vari tipi di materiale, destinati ad essere immagazzinati nelle industrie, ad essere movimentati con attrezzature specifiche (carrelli elevatori e transpallet) e trasportati con vari mezzi di trasporto

L'EUROPALLET

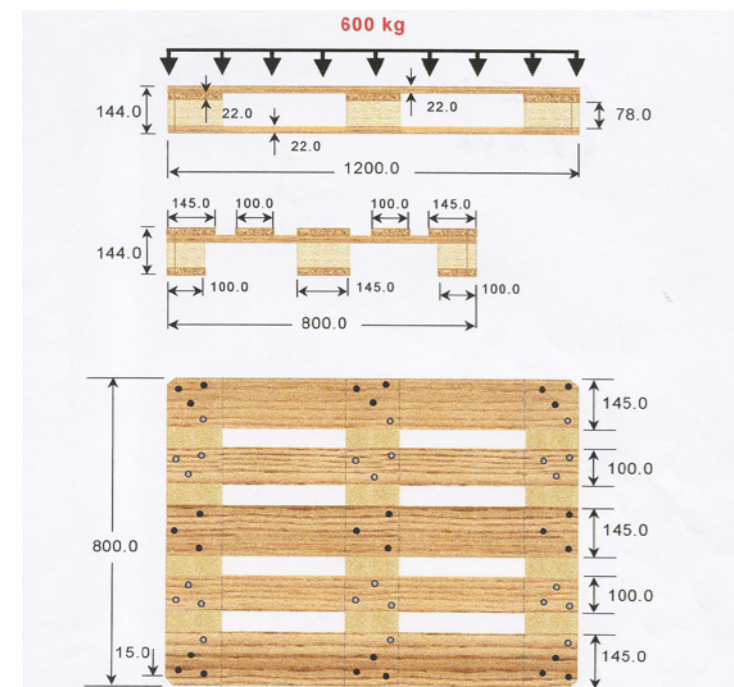


Figura 3.22 Dimensioni dell' Europallet

Specifiche tecniche del pallet EUROpeo

In Europa, nel corso degli anni si sono diffuse due misure classiche, da mm 800x1200 definita subito come pallet "EUR" e da mm 1000x1200 generalmente conosciuta come pallet "Philips". Entrambe hanno in comune il dato relativo all'altezza da terra e la conformazione della base con la presenza di 9 piedini (da 145 e 100 mm di lato), uniti inferiormente tra loro in gruppi di tre attraverso liste di legno dallo spessore di 22 mm poste nel senso della misura maggiore. Questo tipo di pallet può essere così inforcato da ogni lato e viene definito a quattro vie.

Già in questo primo stadio vennero decise delle caratteristiche minime comuni in fatto di qualità dei materiali utilizzati e l'armonizzazione ha continuato fino ai giorni nostri e fino all'emanazione delle specifiche tecniche, attualmente in uso, che un pallet deve rispettare per potersi fregiare del logo registrato (EPAL-EUR). Nell'ultima revisione regolamentare sono stati tenuti in particolare considerazione le tematiche relative all'ecologia e alla sicurezza sanitaria. L'appartenenza del pallet al gruppo più recente ed approvato è garantito dalla presenza, in accoppiata dell'ovale precedente "EUR" e di quello "EPAL"

Si distinguono due tipi di pallet nuovi:

- In legno nuovo, sono costruiti con del legno grezzo che non è mai stato utilizzato;
- In legno di secondo montaggio, sono costruiti con legno di recupero, ritagliato a delle lunghezze, larghezze e spessori costanti.

I pallet usati hanno avuto almeno un ciclo di utilizzo e, prima di essere riutilizzati, necessitano di selezione e/o riparazione.

Si distinguono due tipi di pallet usati:

- Ricondizionati A (pallet bianchi), sono pallet reimpiegati in perfetto stato senza difetti, che hanno già effettuato più rotazioni (il legno è chiaro);
- Ricondizionati B, sono dei pallet che sono già stati utilizzati e di cui alcuni elementi possono essere stati rimpiazzati. Questi pallet sono ricondizionati in funzione delle norme in vigore (il legno può essere grigiastro). Umidità del legno: per certi carichi (ex: cartoni, carta, bottiglie, prodotti agro alimentari ...), il pallet deve essere asciutto al fine d'evitare fuoriuscita d'umidità che provocherebbe marciume.

Esistono più qualità di pallet asciutti:

- Asciutti a 18% massimo (da 16% a 18%), il pallet resta asciutto anche se è piazzato in un ambiente umido, in effetti, non riprende l'umidità.
- asciutto a 22%, il pallet prende l'umidità ma resta asciutto. Il legno asciutto può essere bagnato all'esterno, ma resta asciutto all'interno.

Qualità' del legno: III-IV scelta.

Per quanto riguarda i materiali, i legni più utilizzati nella produzione dei pallet EUR sono riassunti nella seguente tabella, presa dalla norma UIC 4352.

Conifere	Latifoglie	
	Morbide	Dure
Abete bianco	Ontano	Quercia
Abete rosso	Betulla	Frassino
Pino	Pioppo	Faggio
Larice		Olmo
Pino canadese (Hemlock)	Tremulo	Acacia
		Acero
		Platano
		Castagno

È possibile poi usare anche altri tipi di legno, ed è anzi probabile che per i pallet fuori standard sia cosa comune affidarsi alla disponibilità momentanea del migliore offerente.

Per gli EUR è comunque necessario attenersi ai requisiti di resistenza meccanica indicati nella norma UIC, pena la mancata certificazione.

Considerando proprio la normativa, una grande lacuna è l'assenza di qualsivoglia certificazione di provenienza del legno utilizzato, che quindi potrebbe arrivare da foreste non compensate e non controllate. I grandi consorzi come EPAL difficilmente si pronunciano su questi temi, delegando invece ai singoli produttori tutte le responsabilità: è italiano, ad esempio, il progetto Greenpallet, che mira appunto ad utilizzare solo legno proveniente da fonti certificate FSC o PEFC.

Per il resto, i pallet sono costituiti da tavole che non potrebbero essere piazzate sul mercato normale, per via di fenomeni di crescita o sviluppo dell'albero considerati inestetici o inadeguati per altri usi.

Normalmente i tronchi privi della corteccia vengono tagliati secondo uno schema detto "taglio di quarto a ventaglio", che garantisce la massima perpendicolarità del taglio rispetto agli anelli di accrescimento.

Questo non avviene sempre per le tavole dei pallet, dove i tronchi ritenuti "difettosi" vengono tagliati secondo uno schema detto radiale, più economico. Spesso non viene neppure tolta la corteccia, almeno per quanto riguarda i fusti di diametro minore.

Con il taglio radiale si perde la perpendicolarità ideale fra taglio e anelli di accrescimento nelle tavole periferiche che sono così maggiormente soggette a deformazioni.

I tronchi usati sono poi affetti da alterazioni nella fase crescita. Ad esempio, se l'albero cresce su un terreno scosceso e quindi esposto al sole solo da un lato, si ha un decentramento del midollo che porta ad anelli di crescita oblunghi, oppure ad un midollo doppio, per cui il legno non si può considerare di prima scelta.

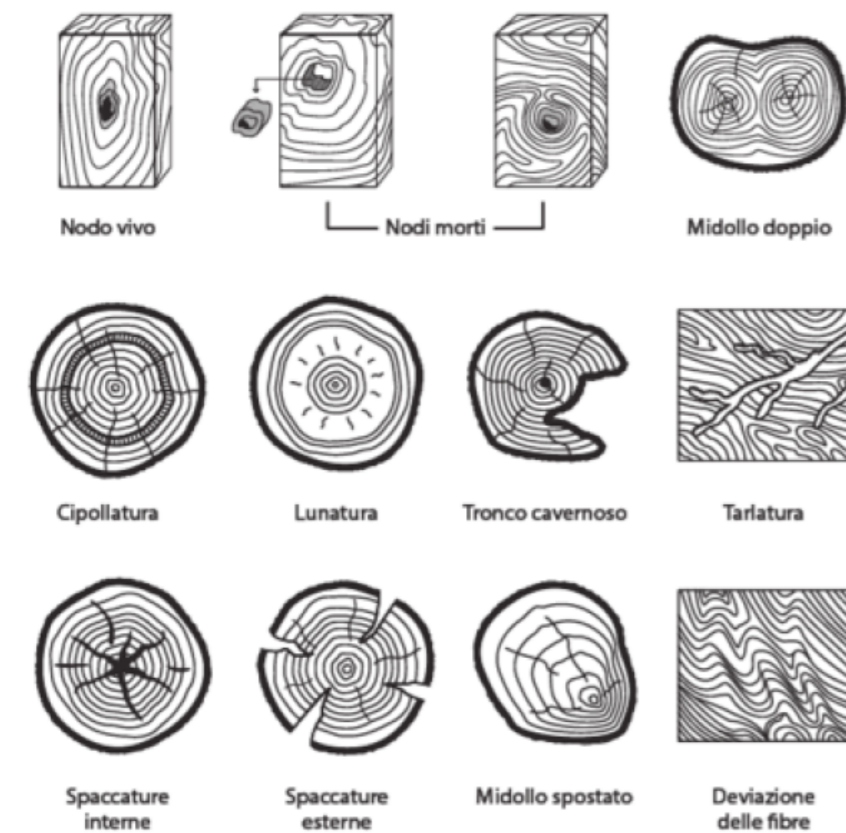


Figura 3.23 Possibili alterazioni del legno

La stessa sorte tocca anche ai tronchi con fenditure radiali o centrali, dove cioè sono presenti delle spaccature per tutta la lunghezza del fusto, provenienti o dalla corteccia o dal midollo, e dovute essenzialmente a forti sbalzi di temperatura o in fase di crescita o di essiccazione.

Si usano per i pallet anche legni con nodi morti (si ha un nodo morto quando viene tagliato un ramo prima di abbattere l'albero, per cui il nodo ritirandosi si stacca facilmente dal suo buco), legni tarlati, così come tavole provenienti da tronchi parzialmente cavi o marci, ma in questi casi bisogna rispettare degli standard minimi di garanzia che si possono riassumere nella seguente tabella.

Difetti	Nodi	Fessurazioni nelle tavole	Fessurazioni in travetti o cubotti	Resina	Corteccia	Azzurramento (fungino)	Muffe, carie e infestazioni attive	Fori di insetti non attivi
Requisito minimo	Diametro massimo: 1/3 o 1/4 della larghezza della tavola	Non ammesse in prossimità dei chiodi o se più lunghe della larghezza della tavola	Non ammessi	Ammissa solo se <50mm e su una faccia sola delle tavole	Non ammessa negli EPAL. presente su una faccia nei pallet a perdere più piccoli	Ammesso per il 50% dello stock fornito se superficiale, per il 25% se profondo	Non ammesse	Fino a 5 fori con diametro <3mm

Tutto sommato, il livello di qualità garantito è sicuramente più elevato di quanto ci si potrebbe aspettare.

Le modalità di taglio atipiche, poi, si traducono in venature dal motivo inaspettato sulla superficie delle tavole, che contribuiscono ad arricchire l'estetica dei manufatti realizzati con legno di recupero.

L'uso ideale per questo tipo di legname è sicuramente quello da interni.

Se debitamente lavorato e trattato, il legno dei pallet permette di ottenere mobili, tavoli e quant'altro con una resistenza e durezza più che dignitosa, estendendo la vita delle tavole non di poco.

Il discorso si complica quando si lavora all'esterno, dove è necessaria un'estrema cura in fase di verniciatura, pena un rapido deterioramento dell'oggetto realizzato, soprattutto nel caso di esposizione all'umidità o, peggio, alla pioggia. Usando impregnanti e flatting naturali si può cercare di attenuare il problema.

IL PALLET IN ARCHITETTURA

I pallet sono dunque delle piattaforme costituite da assi di legno, usate per facilitare la movimentazione delle merci. Non tutti i pallet però vengono utilizzati per più cicli di trasporto: spesso, infatti, organizzare un viaggio di ritorno per i pallet vuoti risulta più costoso per l'impresa che comprarne di nuovi. I pallet sono leggeri, trasportabili, resistenti ai carichi e facilmente reperibili. Per tutti questi motivi costruire con i pallet è un approccio sostenibile all'architettura. Si tratta di un metodo già consolidato, anche se in via sperimentale. Molti studi si sono infatti lanciati nella progettazione e realizzazione di architetture in pallet.

Quando l'architettura si mette al servizio della comunità, nascono progetti di social housing che vanno ben oltre la casa popolare. Diversi designer e progettisti si stanno cimentando nello sfornare idee utili ed esteticamente gradevoli ed il pallet ben si presta a questo scopo.

Si tratta di case a costo bassissimo, quasi zero, funzionali e velocissime da realizzare, in cui due nobili principi come offrire alloggi a chi ne ha

bisogno e riciclare i materiali per l'edilizia si sposano. Oltretutto i bancali di legno sono utilizzati per il trasporto navale proprio di quei beni che vengono destinati a campi profughi e rifugiati, come cibo e medicine, quindi portare i pallet in loco non avrebbe nemmeno un costo effettivo. Il modulo è semplice, versatile, riciclabile e facilmente assemblabile, e le intercapedini tra le assi dei bancali sono ideali per far passare impianti e tubature. Con un centinaio di bancali si può costruire una casetta di circa 24 metri quadrati, con un lavoro che non impiega più di una settimana e per il quale sono sufficienti 4 o 5 persone. In base alla location poi si può rivestire il tetto con materiali idrorepellenti, o riempire le cavità delle pareti con materiali reperibili sul posto, in modo che questi rifugi da temporanei possano diventare permanenti inserendosi perfettamente nel contesto socio-culturale.

A seguire si propongono alcuni esempi di riuso dei pallet per la creazione di padiglioni, piccole strutture e design.

PUPA PAVILLION

Pupa Pavilion è un progetto realizzato da Liam Hopkins.

Hopkins è un designer inglese che, in quest'occasione, invece di utilizzare i materiali convenzionali quali luci e prodotti plastici, ha creato questo padiglione servendosi materiale di scarto composto da legno e cartone ridotti in poltiglia per la struttura, mentre le sedie e i tavoli sono realizzati con pallet di legno riciclato.

L'installazione faceva parte di una commissione d'arte "Waste Not Want It", che aveva l'obiettivo di incoraggiare gli utenti a riutilizzare i rifiuti per



Figura 3.24 Pupa Pavilion

creare oggetti e opere d'arte.

L'idea nasce dall'osservazione del mondo animale e vegetale: nidi di uccelli, alveari e tessitura di ragnatele; in effetti la costruzione è formata da 3972 unità di cartone triangolare che danno vita ad una trama che rimanda al tema naturale.

PALLET PAVILLION

È un progetto del 2005 di Matthias Loebermann.

L'architetto tedesco ha concepito questo impianto sostenibile, utilizzato come luogo d'incontro e sala multimediale degli atleti per il Campionato del Mondo di sci alpino in Germania.

Si tratta di una struttura realizzata con pallet di legno, ma con fondamenta in calcestruzzo. Composto da 1300 pallet fissati con cinghie e tiranti. Il



Figura 3.25 Pallet Pavillion

padiglione ha notevoli dimensioni: 6m di altezza, 18 m di lunghezza e 8m di larghezza. Una "struttura reticolare interessante" costituita di forme curve che gli conferiscono l'aspetto di una grotta, ma con la costante alternanza di pieni e vuoti attribuita dall'elemento base: il pallet.

TEATRO REALIZZATO DA PALLET RICICLATI IN LEGNO

Progettato da Martin

L'architetto tedesco ha costruito un teatro chiamato "Jellyfish" composto interamente di spazzatura. È situato in un parco giochi a sud di Londra.

I materiali di scarto adoperati per la realizzazione di questo teatro sono stati raccolti da cantieri edili e da bancali per spedizioni. Anche la gente del posto ha dato il proprio contributo fornendo legno usato che altrimenti sarebbe andato buttato.



Figura 3.26 Teatro di Kaltwasser

Il teatro risulta essere uno spazio confortevole per soli 120 spettatori ed risponde a tutte le norme anti incendio, un vero e proprio teatro a tutti gli effetti!

FORÊT II _PADIGLIONE PER LA MEDITAZIONE

Installazione urbana dell'architetto Justin Duchesneau e dell'artista Philippe Allard.

Stimolati dalle sfide ecologiche, hanno creato varie installazioni di pubbliche e soluzioni architettoniche utilizzando materiali e oggetti di rifiuto. Il padiglione per la meditazione è realizzato in occasione del festival Improbables Escapes di Montréal riciclando 810 bancali per spedizione a formare uno spazio cubico caratterizzato da quattro ingressi orientati



Figura 3.27 Forêt II

verso le direzioni cardinali e quattro panche all'interno per fornire uno spazio tranquillo per la contemplazione.

I raggi solari attraversano gli spazi vuoti dei bancali della copertura e dei lati rendendo lo spazio arioso e luminoso, il classico posto tranquillo per la meditazione e la riflessione nel bel mezzo dei luoghi-non-luoghi urbani.

UNIT LOAD_REDUX / HDR ARCHITECTURE VIA TREEHUGGER

Installazione temporanea è realizzata allo scopo di sensibilizzare il pubblico alle tematiche ambientali. La bici è collegata alla struttura in pallet e ad una dinamo, la quale produce energia generata dalle pedalate dei visitatori. L'elettricità accumulata viene rilasciata la notte permettendo di illuminare l'opera donandole una seconda vita.



Figura 3.28 Unit Load Redux



Figura 3.28 Unit Load Redux

MANIFESTO HOUSE / JAMES & MAU + INFINISKI VIA ARCHDAILY
 L'edificio progettato da James & Mau vuole rappresentare un manifesto per Infiniski: società che progetta e realizza abitazioni eco-friendly: realizzate con materiali riciclati, non inquinanti e riutilizzabili. Inoltre Infiniski propone altre soluzioni abitative pensate in termini di sostenibilità energetica, modularità, velocità di costruzione e smontaggio rapido. Il progetto assume i concetti della progettazione bioclimatica come le tecniche di "vestire e svestire" la casa per soddisfare l'alternarsi delle stagioni e ottenere un riscaldamento passivo in inverno e raffrescamento in estate. Assemblati da 3 container e fatto per l'85% di materiali riciclati, il Manifesto House è una residenza di 160 mq prefabbricati e sostenibile.

Considerando i "mostri" di cemento che caratterizzano lo skyline delle nostre città, le installazioni e i padiglioni in pallet appaiono come una boccata d'aria fresca. La maggior parte dei bancali finiscono in discarica una volta assolto il loro compito e vanno irrimediabilmente ad accumularsi su altri rifiuti; con la strategia del riutilizzo non divengono usa e getta, ma sono recuperati e reimpiegati per realizzare molti oggetti e progetti singolari.

ARREDI DI DESIGN

L'uso dei pallet sta inoltre sempre più prendendo piede nell'uso dell'arredo domestico e nel design. Allineando più pallet uno sull'altro, o uno a fianco all'altro, è possibile ottenere alcuni arredi di notevole effetto, come in alcuni dei casi di seguito proposti. Il tavolino in bancali è green,

ed è adatto al giardino, con uno stile di rilievo. Utilizzati negli esterni anche per ricavare panche adatte ad ospitare vasi e piante è coniugato in una soluzione originale: è Green Pallet ed è un progetto della Palm; una seduta realizzata completamente in pallet riciclati. Per gli arredi da interni, i pallet possono essere utilizzati nei modi più svariati: per ricavare tavoli o tavolini, sedute singole o multiple, originali e variegati culle per bimbi o spaziose basi per il letto matrimoniale, oltre a numerosi e fantasiosi mobili bassi, da esposizione sia in attività commerciali che in ambito domestico. Oltre ad oggetti d'arredo interi spazi interni possono essere progettati, suddivisi e realizzati interamente in pallet.

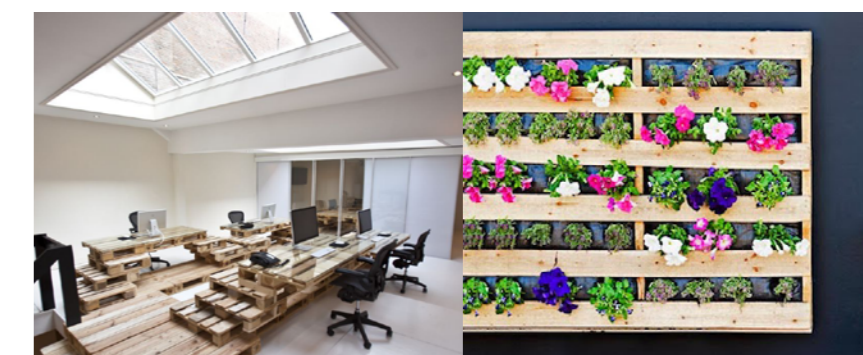
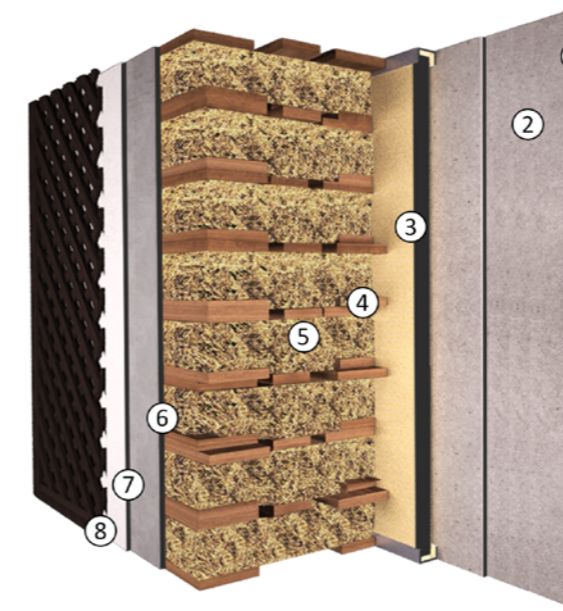


Figura 3.29 Esempi di utilizzo dei pallet nel design

3.5 SOLUZIONI TECNOLOGICHE

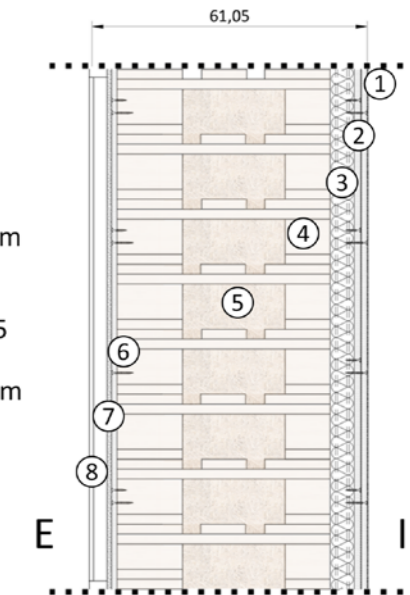
I materiali fino ad ora visti sono i protagonisti principali all'interno del progetto Rice Up. Si può dunque dichiarare la precisa scelta nell'uso di materiali locali, tipici della tradizione vietnamita (legno teak e uso della ceramica), e materiali che guardano alla sostenibilità e al risparmio (pallet e paglia), aspetti da non sottovalutare considerando Phu Do, il villaggio del sito di progetto. In particolare la produzione della paglia può derivare anche dalla lavorazione del riso, prodotto simbolo del piccolo villaggio vietnamita. Così anche i pallet sono stati pensati, oltre per essere un materiale di riuso e per le loro proprietà, anche per la vicinanza al sito del mercato di Phu Do. Accanto ad un uso sostenibile dei materiali però non deve mancare l'efficienza energetica e tecnologica. Infatti la corretta progettazione di un ambiente interno passa anche dall'impiego e dalla scelta degli elementi tecnologici che andranno a definire lo spazio, delimitandolo dal mondo esterno. Per poter raggiungere dei livelli di comfort soddisfacenti, è quindi necessario definire le stratigrafie delle pelli dell'edificio, di modo che esse concorrano al raggiungimento del benessere abitativo. Le chiusure orizzontali e verticali devono quindi rispondere a dei requisiti prestazionali specifici in relazione all'isolamento termico, acustico, ed al controllo dell'umidità relativa. Non avendo reperito nessun tipo di indicazione normativa specifica per l'area di Hanoi, ci si è attenuti alle indicazioni delle normative europee. In particolare sono state considerate le norme UNI EN ISO 13786 e UNI EN ISO 13788.

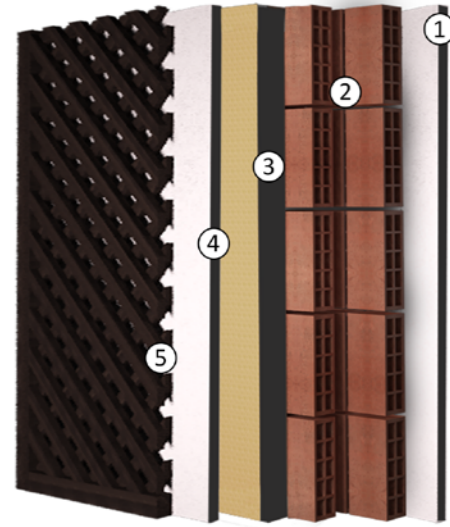


CV01_Chiusura verticale

- 1 Strato di finitura interna spessore 0,2cm
- 2 Doppia lastra in gesso rivestito sp 1,25+1,25 cm
- 3 Strato di isolamento termico realizzato in lana di roccia sp. 5 cm
- 4 Euro Standard Pallets dimensioni 800x1200x14,4 cm
- 5 Isolamento in paglia
- 6 Lastra tipo aquapanel outdoor dimensioni 120x240 cm sp 1,25 cm
- 7 Intonaco premiscelato a base gesso/calce/perlite spessore 1 cm
- 8 Rivestimento con listelli intrecciati di legno teak

Resistenza totale 9,4373 m²K/W
 Trasmittanza 0,1060 W/m²K

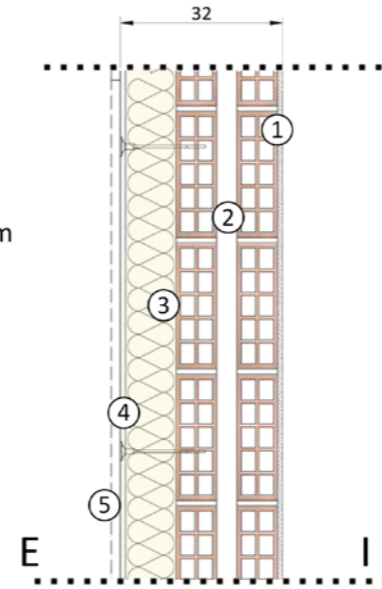




CV02_Chiusura verticale

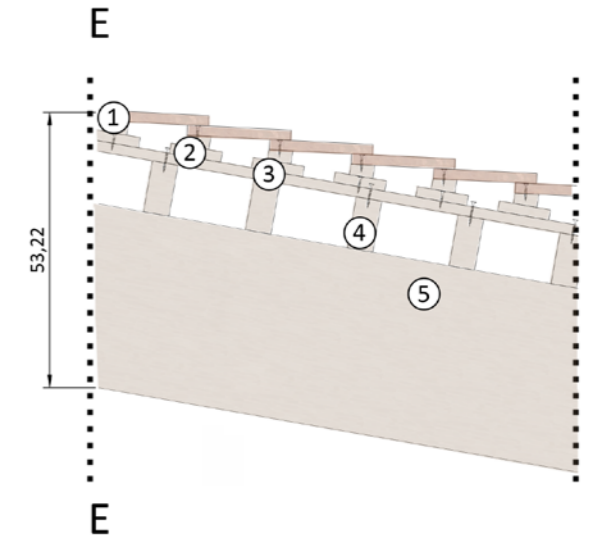
- 1 Intonaco premiscelato a base gesso/calce/perlite spessore 1 cm
- 2 Elemento in laterizio per muratura
- 3 Strato di isolamento termico realizzato in lana di roccia sp. 10 cm
- 4 Finitura superficiale di intonaco civile spessore 1cm
- 5 Rivestimento con listelli intrecciati di legno teak

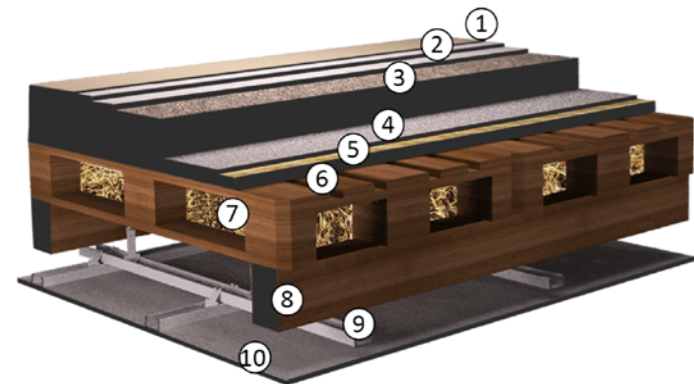
Resistenza totale 13,9732 m²K/W
 Trasmittanza 0,0716 W/m²K



PE01_Copertura inclinata

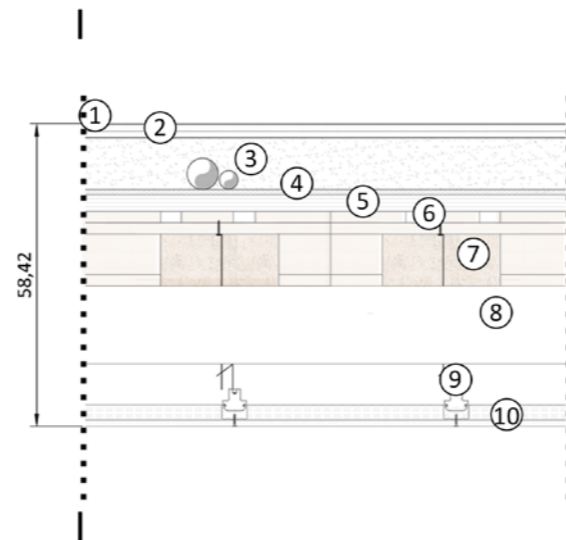
- 1 Tavelle in terracotta stile vietnamita 10x20cm
- 2 Listello secondario in legno teak 2x10cm
- 3 Listello principale in legno teak 2x10cm
- 4 Travetto secondario in legno teak 5x10cm
- 5 Trave principale in legno massiccio teak 15x35cm



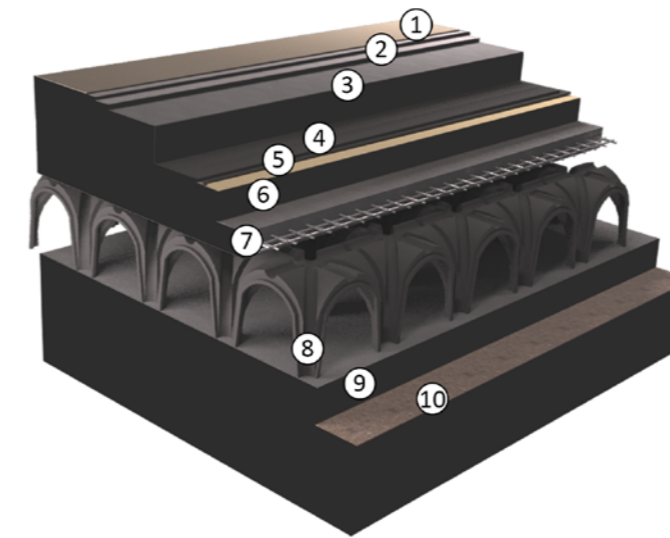


PO01_Partizione orizzontale

- 1 Strato spatolato cementizio (tipo: Materia) sp. 0,2cm
- 2 Doppio strato di lastre in gesso rivestito incollate a giunti sfalsati (tipo: Knauf pavilastre) sp 1,25+1,25cm
- 3 Strato di livellamento per impianti per sottofondi a secco in inerte granulare tipo Knauf sp. 10cm
- 4 Isolamento acustico anticalpestio in fibra di poliestere accoppiata a film di polietilene impermeabilizzante sp 1cm
- 5 Pannello di irrigidimento in OSB sp 3cm
- 6 Strato portante in Euro Standard Pallets 80x120x14,4cm
- 7 Isolamento in paglia
- 8 Trave in legno massiccio 10x15cm
- 9 Controsoffitto con orditura metallica (tipo: Knauf profili)
- 10 Lastre in gesso rivestito impregnate, sottoposte a speciale procedimento per limitare l'assorbimento di umidità (tipo: Knauf Idrolastra GKI) sp 1,25cm

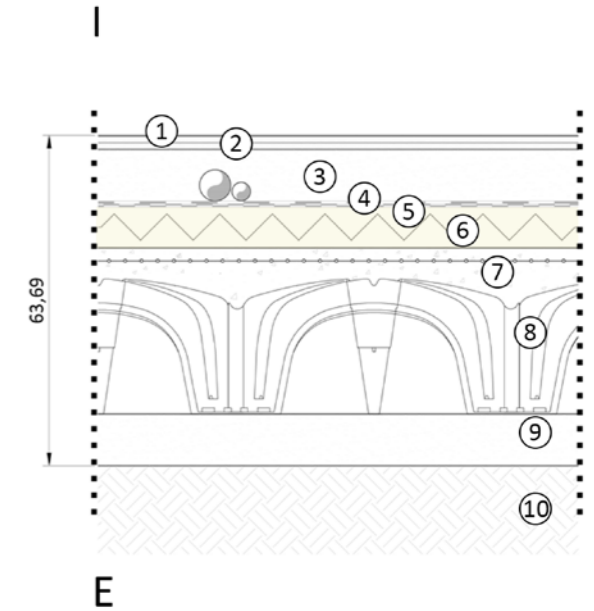


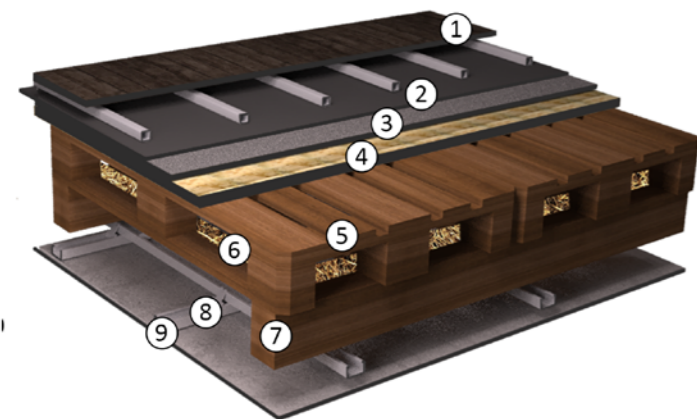
Resistenza totale 478,5217 m2K/W
Trasmittanza 0,0021 W/m2K



CO02_Solaio a terra

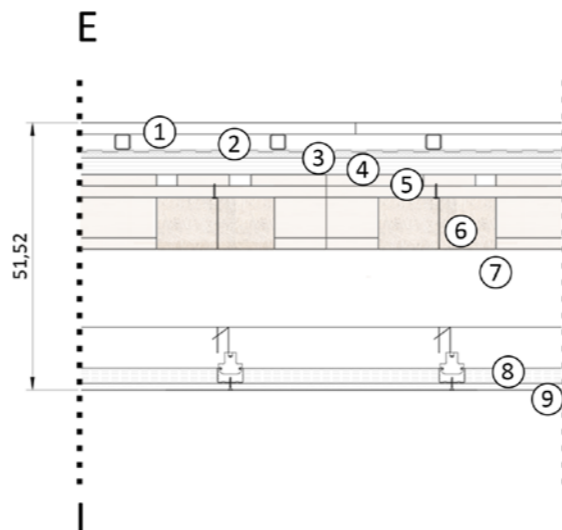
- 1 Strato spatolato cementizio (tipo: Materia) sp. 0,2cm
- 2 Doppio strato di lastre in gesso rivestito incollate a giunti sfalsati (tipo: Knauf pavilastre) sp 1,25+1,25cm
- 3 Strato di livellamento per impianti per sottofondi a secco in inerte granulare a base di perlite ricoperta in anidrite (tipo: Knauf) sp. 10cm
- 4 Barriera al vapore a quattro strati sp 0,5cm
- 5 Doppia guaina impermeabilizzante di sp 0,3+0,3cm (tipo: Kerdy-flex)
- 6 Isolamento termico autoprotettivo in poliestere estruso con strato di TNT sulla superficie esterna sp. 8cm
- 7 Getto in cls strutturale premiscelato armato con rete elettrosaldata per la ripartizione dei carichi (tipo Leca cls 1600) sp. 7cm
- 8 Vespaio areato con casseri h.26cm (tipo: Cupolex)
- 9 Magrone sp. 10 cm.
- 10 Terreno naturale



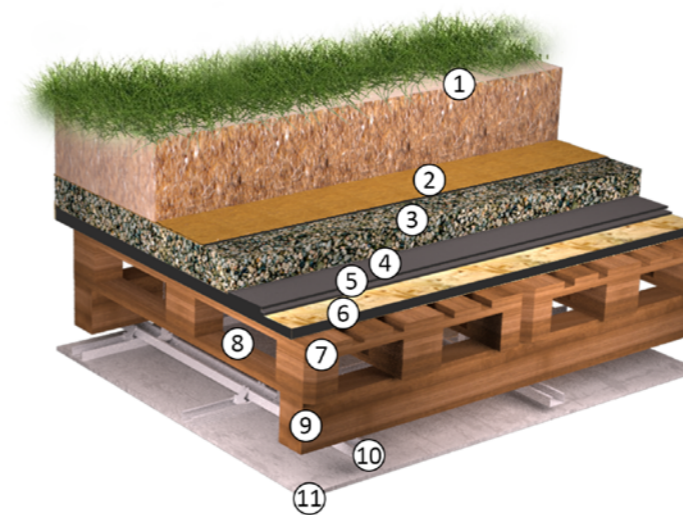


CO03_Chiusura orizzontale

- 1 Doghe tipo Legnotec® sezione piena 2,2x14,6x200 cm montante su tubolari in alluminio 3x3 cm sp. 2mm
- 2 Membrana impermeabilizzante sintetica in PVC-P rinforzata con un'armatura in velo di vetro tipo Sintoplan RG
- 3 Isolamento acustico anticalpestio in fibra di poliestere accoppiata a film di polietilene impermeabilizzante sp1cm
- 4 Pannello di irrigidimento in OSB sp 3cm
- 5 Strato portante in Euro Standard Pallets 80x120x14,4cm
- 6 Isolamento in paglia
- 7 Trave in legno massiccio teak 10x15cm
- 8 Controsoffitto con orditura metallica (tipo: Knauf profili)
- 9 Lastre in gesso rivestite impregnate, sottoposte a speciale procedimento per limitare l'assorbimento di umidità (tipo: Knauf Idrolastra GKI) sp 1,25cm

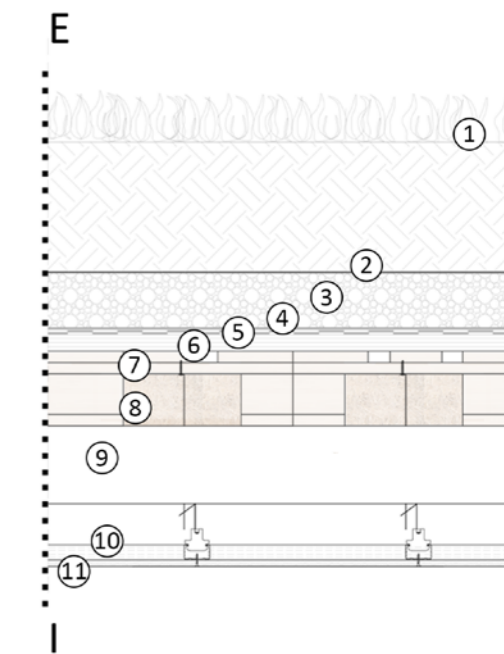


Resistenza totale 478,5217 m2K/W
Trasmittanza 0,0021 W/m2K

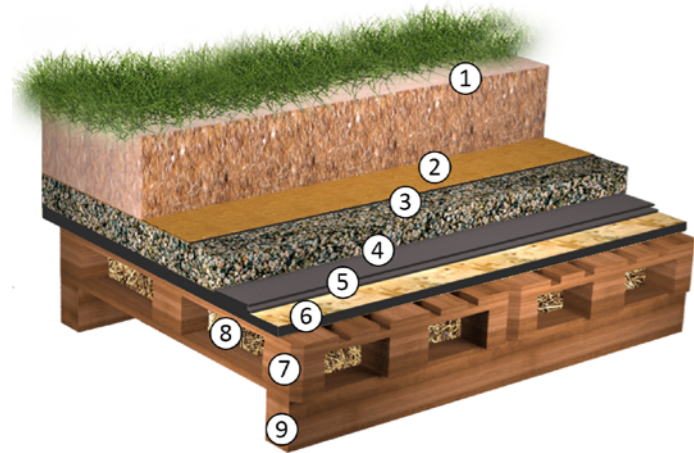


CO01_Copertura praticabile

- 1 Strato di terriccio dello spessore di 15 cm
- 2 Strato di tessuto non tessuto di spessore 0,2 cm
- 3 Strato drenante in ghiaia di spessore 10,5 cm
- 4 Strato di protezione in PVC di spessore 0,4 cm [I=0,13-0,18 W/mK] (tipo Delta)
- 5 Strato di antiradice di spessore 0,8 cm
- 6 Pannello OSB (Oriented Strand Board) a base legno costituito da diversi strati spessore 3 cm
- 7 Euro Standard Pallets dimensioni 80x120x14,4 cm
- 8 Isolamento in paglia
- 9 Trave di dimensioni 10x15 cm in legno teak
- 10 Soffitto ribassato composto da: Orditura metallica: profili Knauf da cm 5x2,7
- 11 Lastre in gesso rivestite impregnate, sottoposte a speciale procedimento per limitare l'assorbimento di umidità, tipo Idrolastra Knauf GKI spessore 1,25 cm



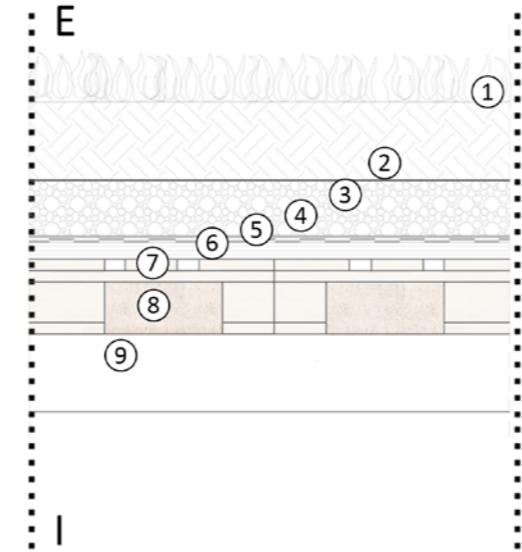
Resistenza totale 478,1614 m2K/W
Trasmittanza 0,0021 W/m2K



PE032_Copertura non praticabile

- 1 Strato di terriccio dello spessore di 25 cm
- 2 Strato di tessuto non tessuto di spessore 0,2 cm
- 3 Strato drenante in ghiaia di spessore 10,5 cm
- 4 Strato di protezione in PVC di spessore 0,4 cm [l=0,13-0,18 W/mK]
- 5 Strato di antiradice di spessore 0,8 cm
- 6 Pannello OSB (Oriented Strand Board) a base legno costituito da diversi strati spessore 3 cm
- 7 Euro Standard Pallets dimensioni 80x120x14,4 cm

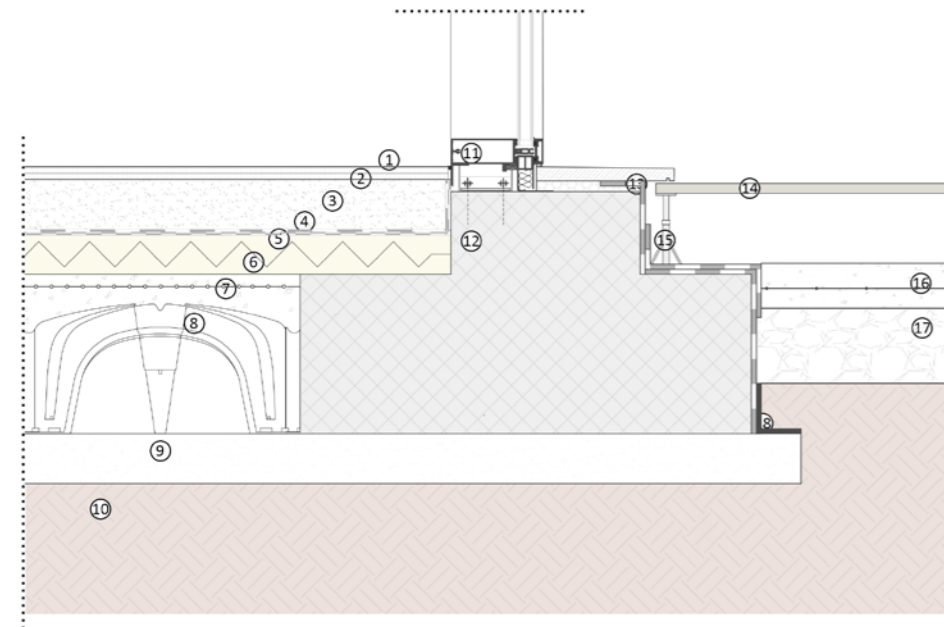
Isolamento in paglia, spessore 10 cm, resistenza 9,4373 m2K/W
 Trave di dimensioni 10x15 cm in legno teak, trasmittanza 0,100 W/m2K



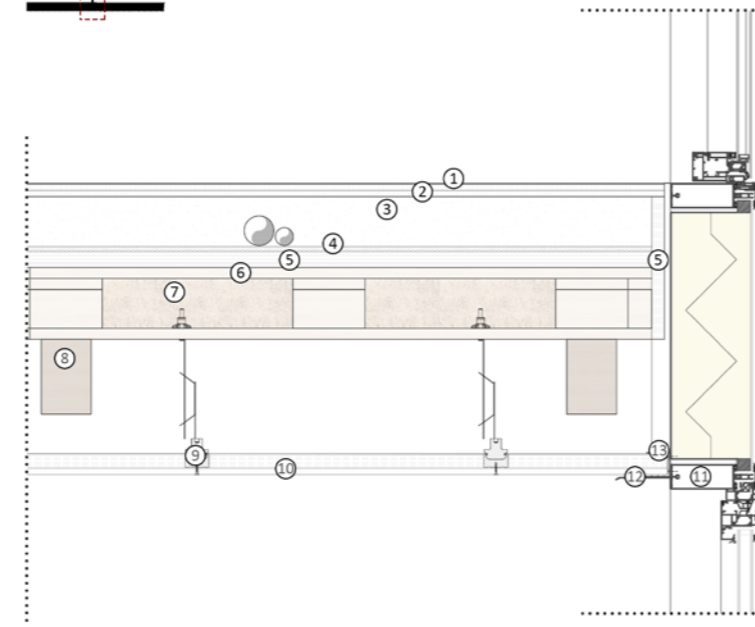
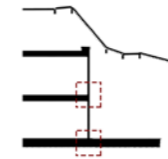
Resistenza totale 478,1614 m2K/W
 Trasmittanza 0,0021 W/m2K



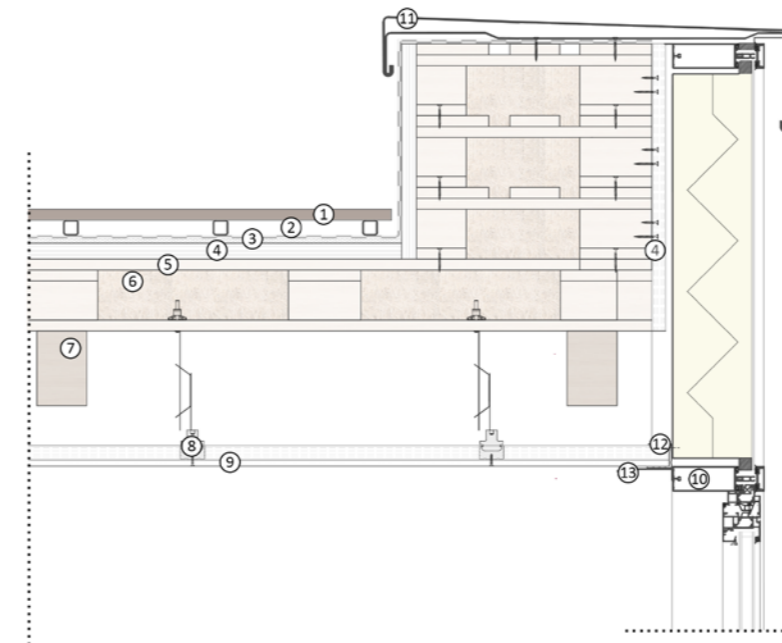
- 1 Strato spatolato cementizio (tipo: Materia) sp. 0,2cm
- 2 Doppio strato di lastre in gesso rivestito (tipo: Knauf pavilastre) sp 1,25+1,25cm
- 3 Strato di livellamento per impianti per sottofondi a secco in inerte granulare sp. 10cm
- 4 Barriera al vapore a quattro strati sp 0,5cm
- 5 Doppia guaina impermeabilizzante di spessore 0,3+0,3cm (tipo: Kerdy-flex)
- 6 Isolamento termico autoprotettivo in poliestere estruso sp. 8cm
- 7 Getto in cls strutturale premiscelato armato con rete elettrosaldat sp. 7cm
- 8 Vespaio areato con casseri h.26cm (tipo: Cupolex)
- 9 Magrone sp. 10 cm.
- 10 Terreno naturale
- 11 Sistema Schüco FW 50
- 12 Plinto di fondazione
- 13 Membrana bugnata in Polietilene ad Alta Densità
- 14 Gres porcellanato outdoor sp. 2 cm
- 15 Supporto per pavimenti esterni
- 16 Getto in calcestruzzo armato con rete elettrosaldata di ripartizione dei carichi sp. 9 cm
- 17 Strato drenante in ghiaia di sp.15 cm
- 18 Angolare di supporto



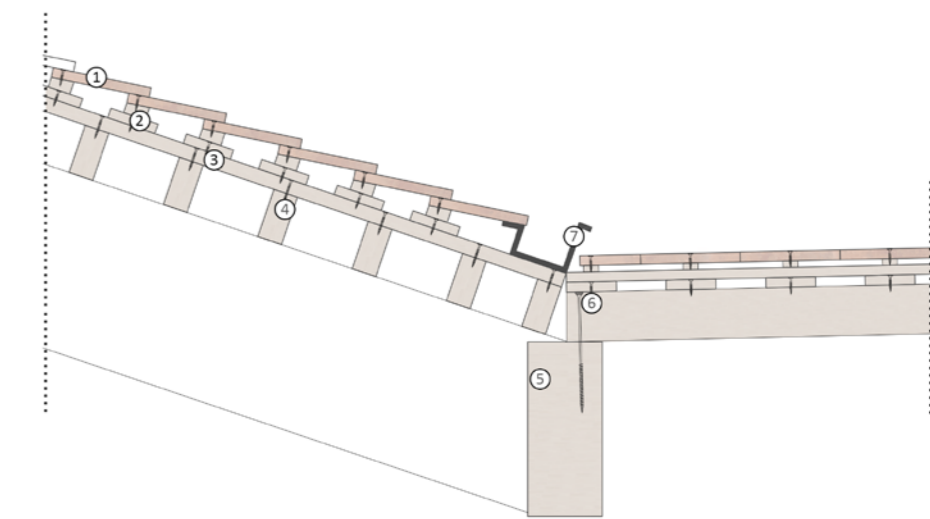
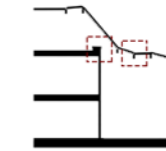
- 1 Strato spatolato cementizio (tipo: Materia) sp. 0,2cm
- 2 Doppio strato di lastre in gesso rivestito (tipo: Knauf pavilastre) sp 1,25+1,25cm
- 3 Strato di livellamento per impianti in inerte granulare sp. 10cm
- 4 Isolamento acustico anticalpestio sp 1cm
- 5 Pannello di irrigidimento in OSB sp 3cm
- 6 Strato portante in Euro Standard Pallets 80x120x14,4cm
- 7 Isolamento in paglia
- 8 Trave in legno massiccio teak 10x15cm
- 9 Controsoffitto con orditura metallica (tipo: Knauf)
- 10 Lastre in gesso rivestito (tipo: Knauf Idrolastra GKI) sp 1,25cm
- 11 Sistema Schüco FW 50
- 12 Angolare di supporto
- 13 Profilo a U



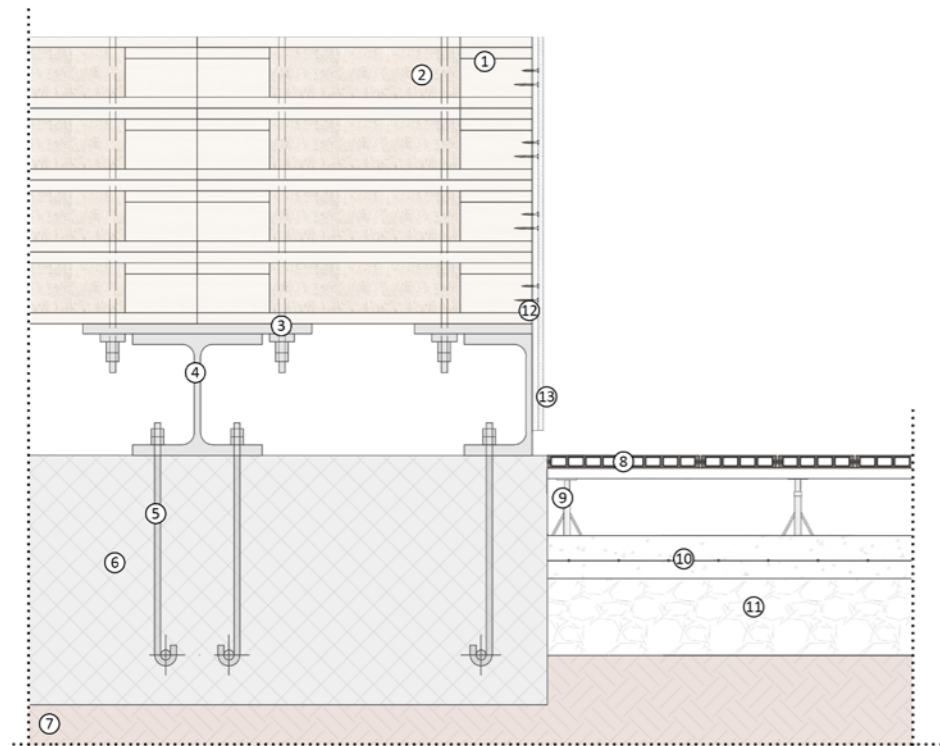
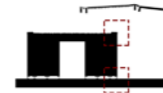
- 1 Doghe tipo Legnotec® sezione piena 2,2x14,6X200 cm montate su tubolari in alluminio 3x3 cm sp.2mm
- 2 Membrana impermeabilizzante sintetica in PVC-P
- 3 Isolamento acustico anticalpestio sp 1cm
- 4 Pannello di irrigidimento in OSB sp 3cm
- 5 Strato portante in Euro Standard Pallets 80x120x14,4cm
- 6 Isolamento in paglia
- 7 Trave in legno massiccio teak 10x15cm
- 8 Controsoffitto con orditura metallica (tipo: Knauf)
- 9 Lastre in gesso rivestito (tipo: Knauf Idrolastra GKI) sp 1,25cm
- 10 Sistema Schüco FW 50
- 11 Scossalina metallica con rompigoocia
- 12 Profilo a U
- 13 Angolare di supporto



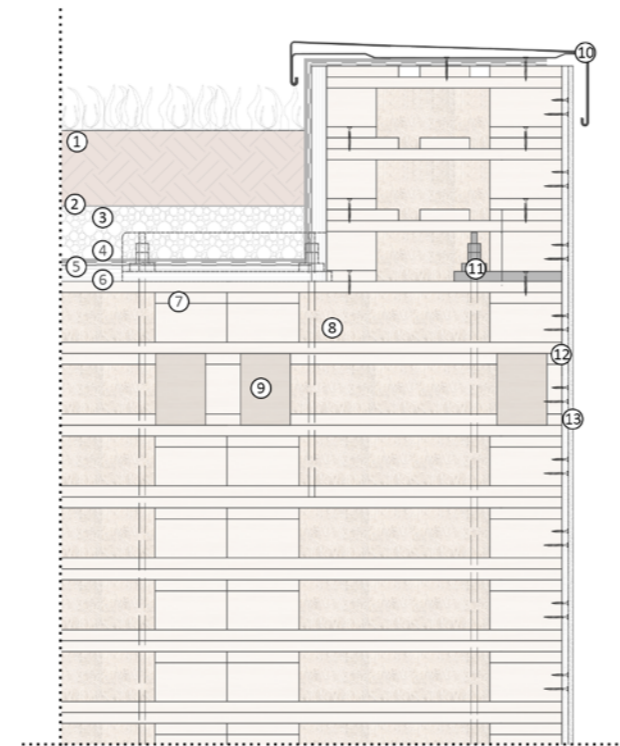
- 1 Tavelle in terracotta stile vietnamita 10x20cm
- 2 Listello secondario in legno teak 2x10cm
- 3 Listello principale in legno teak 2x10cm
- 4 Travetto secondario in legno teak 5x10cm
- 5 Trave principale in legno massiccio teak 15x35cm
- 6 Viti da legno
- 7 Pluviale in scossalina metallica

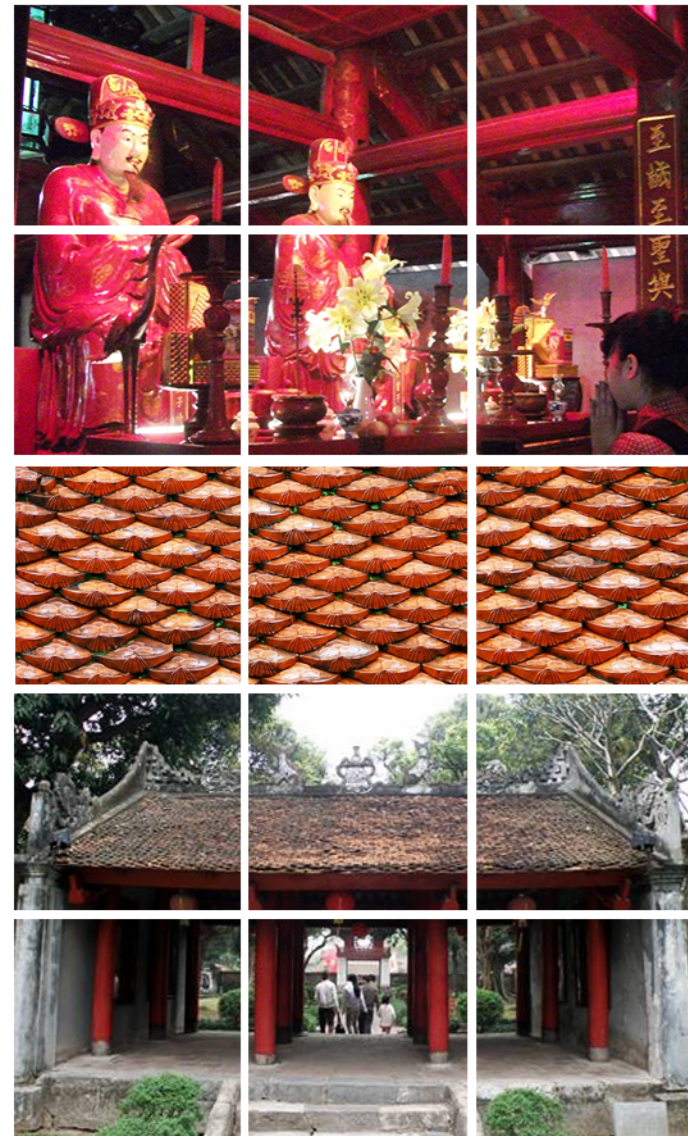


- 1 Strato portante in Euro Standard Pallets 80x120x14,4cm
- 2 Isolamento in paglia
- 3 Piastra in acciaio di collegamento
- 4 Profilo asimmetrico SFB in acciaio laminato a caldo
- 5 Tirafondi di ancoraggio
- 6 Getto di fondazione
- 7 Terreno naturale
- 8 Bamboo deck per pavimenti esterni di tipo WPC-DECK con sistema di giunzione in plastica
- 9 Supporto per pavimenti esterni in Bamboo deck di tipo WPC-DECK
- 10 Getto in calcestruzzo armato con rete elettrosaldata di ripartizione dei carichi sp. 9 cm
- 11 Strato drenante in ghiaia di sp.15 cm
- 12 Lastra ACQUAPANEL OUTDOOR dimensioni 120x240 cm spessore 1,25 cm
- 13 Intonaco premiscelato a base gesso/calce/perlite spessore 1 cm

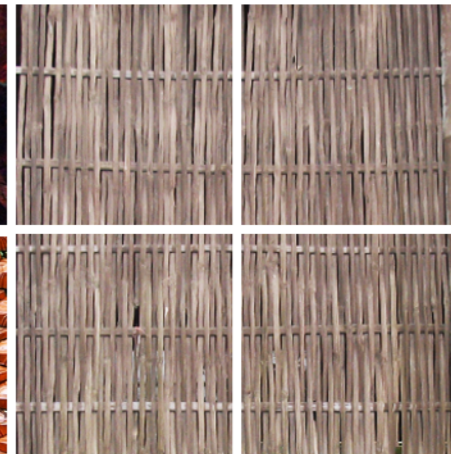


- 1 Strato di terriccio dello spessore di 25 cm
- 2 Strato di tessuto non tessuto di spessore 0,2 cm
- 3 Strato drenante in ghiaia di spessore 10,5 cm
- 4 Strato di protezione in PVC di spessore 0,4 cm
- 5 Strato di antiradice di spessore 0,8 cm
- 6 Pannello OSB (Oriented Strand Board) a base legno costituito da diversi strati spessc
- 7 Euro Standard Pallets dimensioni 80x120x14,4 cm
- 8 Isolamento in paglia
- 9 Trave di dimensioni 10x15 cm in legno teak
- 10 Scossalina metallica con rompigoccia
- 11 Piastra in acciaio di collegamento
- 12 Lastre ACQUAPANEL OUTDOOR dimensioni 120x240 cm spessore 1,25 cm
- 13 Intonaco premiscelato a base gesso/calce/perlite spessore 1 cm





Costruzione
Paglia
Pallet



Tegole
Tempio
Colonne



Legno
Traliccio
Listelli



Camino
Ventilazione
Vetro



04 PROGETTO STRUTTURALE

4.1 INTRODUZIONE

4.2 STRUTTURE IN LEGNO NELLA TRADIZIONE VIETNAMITA

4.3 ANALISI DEI CARICHI

4.4 IL PALLET

4.5 IL TEAK

4.6 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA STRUTTURA BLOCCHI URBAN FARM

4.7 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA STRUTTURA DELLA COPERTURA



4.1 INTRODUZIONE

Di seguito si presenta l'analisi strutturale eseguita per il progetto Rice Up - Thang Long Food and Energy Urban Farm.

Come descritto nei capitoli precedenti, il progetto è composto da due porzioni distinte, relative però ad un unico lotto:

- Urban farm
- Mercato pubblico

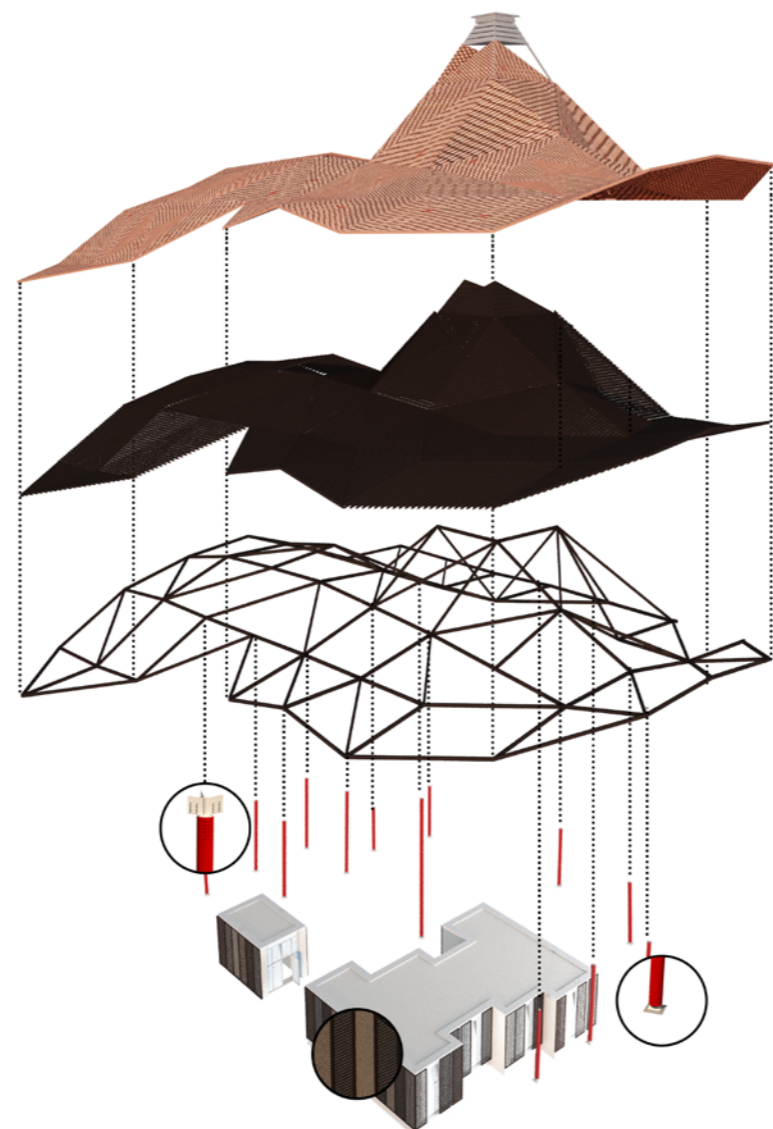
Il complesso è logisticamente e funzionalmente diviso, ma accomunato per quanto riguarda le tecnologie costruttive e quindi anche per la tipologia strutturale utilizzata.

Per comodità, si suddivide l'impianto strutturale in due parti fondamentali:

- Le coperture, formate da un graticcio di travi in legno massiccio teak, sostenute da un sistema di pilastri circolari nel medesimo materiale, con connessioni in acciaio zincato;
- Gli edifici posti al di sotto delle coperture, con struttura a pareti portanti e solaio costituiti da Epal pallet sovrapposti, coadiuvati da un sistema post tensione con trefoli e piastre in acciaio.

Per semplificare l'analisi, è stato selezionato un elemento significativo in base alla scala per ognuna delle parti fondamentali:

- La prima parte della copertura, che copre la parte di lotto relativa a reception e point;
- Un portale, come blocco tipo, per quanto riguarda gli edifici del complesso della Urban Farm.



Le analisi seguono le direttive dettate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni relative alle NTC 2008 per la quasi totalità delle verifiche effettuate; si è fatta un'unica eccezione per il calcolo delle azioni variabili di vento e sisma, per cui è stata utilizzata la Norma Vietnamita Standard per il calcolo strutturale TCVN 2737/1995.

Infatti, per la specificità del contesto infatti, non sarebbe stato possibile calcolare il carico derivante dall'azione del vento con le condizioni tipiche del territorio italiano.

Il carico derivante dalle precipitazioni nevose è stato trascurato, poiché nel territorio vietnamita non si registrano fenomeni significativi al di sotto dei 1500m s.l.m.; la città di Hanoi infatti si trova ad un'altitudine di 19m s.l.m..

Inoltre, nell'analisi dei carichi orizzontali, per la prevalenza del carico relativo al vento, viene trascurata l'azione sismica, secondo i dettami della normativa vietnamita.

4.2 STRUTTURE IN LEGNO NELLA TRADIZIONE VIETNAMITA

4.2.1 L'INDUSTRIA DEL LEGNO IN VIETNAM

L'industria di trasformazione del legno in Vietnam si sta espandendo notevolmente negli ultimi decenni. Fino al 2009, si contano circa 3.400 imprese di trasformazione del legno attive, in espansione ad un tasso medio annuo di circa il 18%.

L'industria del legno vietnamita è export-oriented. Nel 2010, il totale delle entrate delle esportazioni derivante dal legno ha raggiunto 3.4 miliardi di dollari. Questo rende l'esportazione del legno il quinto settore più grande di esportazioni del paese.

Ogni anno, sono necessari circa 6 milioni di m³ di legno per alimentare l'industria della lavorazione del legno. Intorno a due terzi di questo totale vengono importati all'estero, mentre il restante terzo deriva da fonti interne.

SUPERFICIE FORESTALE E GESTIONE

Fino al 2009, il Vietnam ha avuto 13,2 milioni di ettari di foreste, di cui 10,3 milioni di ettari (78%) sono foreste naturali e le restanti 2,9 milioni di ettari (22%) sono piantagioni (Forest Protection Department, 2010).

Le foreste in Vietnam si dividono in tre tipi principali in base alla loro funzione:

- Uso speciale - aree prevalentemente protette (PA): quasi due milioni di ettari.
- Tutela forestale: pari a 4,8 milioni di ettari. Usate per la protezione dei bacini idrici, il suolo e l'ambiente.
- Foresta per la produzione ammonta a 6,3 milioni di ettari, di cui 4,1 milioni (66%) sono foreste naturali e le restanti 2,1 milioni di ettari (34%) sono le foreste delle piantagioni.

Lo scopo delle foreste di produzione è di produrre prodotti di legno e a base di legno, e la produzione agroforestale. La figura 4.1 mostra la proporzionalità dei tre diversi tipi di foreste vietnamite.

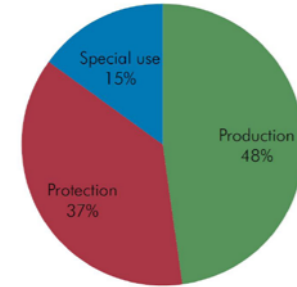


Figura 4.1 Percentuali di uso delle aree forestali. Fonte: Forest Protection Departmen

4.2.2 USO DEL LEGNO NELLA TRADIZIONE VIETNAMITA



Figura 4.2 Tempio della letteratura, Hanoi

L'architettura tradizionale vietnamita è stata costruita all'interno della condizione di clima tropicale con alto tasso di umidità e precipitazioni. La maggior parte dei componenti della struttura sono stati fabbricati in legno teak, tipologia rara e preziosa di legno tipica delle zone tropicali. Molti degli edifici storici vietnamiti, caratterizzati dall'utilizzo di questo materiale, sono stati danneggiati a causa della guerra dalle condizioni atmosferiche tropicali e dal tempo.

Una parte di questi è stata ricostruita e riparata mantenendo l'impianto, la struttura e l'aspetto originale.

Le principali tipologie di edifici storici legati alla architettura vietnamita in legno sono:

- LA CASA COMUNALE



Figura 4.3 Casa tipica rurale vietnamita

Luogo di culto delle divinità locali è anche sede delle attività politiche e sociali comunali all'interno del villaggio vietnamita.

Inoltre vi si organizzano delle attività culturali di vacanze e feste locali, rappresentando quindi un punto di interesse e di ritrovo della comunità.

- LA PAGODA

Luogo di culto buddista, di organizzazione di feste e ricorrenze.

Secondo lo standard di vita, la pagoda ha una dimensione differente, in base alla scala di ogni villaggio. Inoltre lo spazio architettonico di una pagoda è stabilito da tre componenti principali: il piazzale (TienDuong), lo spazio per la fumigazione dell'incenso (ThieuHuong) e la parte alta del palazzo (ThuongDien).



Figura 4.4 Pagoda vietnamita



Figura 4.5 Tempio vietnamita

- TEMPIO E SANTUARIO

Luogo di culto Taoista, si basa su una sorta di filosofia delle persone oppresse.

I luoghi che sono stati scelti per la costruzione del tempio e del santuario sono solitamente legati direttamente a leggende e alla vita di eroi o divinità soprannaturali.

La struttura in legno dell'edifici tipici:

All'interno del sistema vietnamita della struttura in legno, il traliccio di legno primario, denominato Bovi, è considerato come l'elemento base fondamentale. Il Bovi infatti è l'aspetto che contribuisce a descrivere al meglio le caratteristiche specifiche dell'architettura in legno vietnamita.



Figura 4.6 Portale bovi

Sulla base delle documentazioni storiche e del patrimonio lasciato, la prima comparsa del Bovi è probabilmente da ricondurre all'era legata all'impero Tran, che si sviluppò nella seconda metà del XIV secolo nella parte nord del paese.

Nel XIX secolo, ci sono anche altre tipologie che sono stati costruiti sporadicamente dall'area centrale, provincia QuangBinh, fino all'area sud del Vietnam; questo tipo di bovi fu chiamato con il nome di "Ruong Hous". Caratteristica peculiare di queste strutture è la mancanza di una fondazione al di sotto delle colonne, il basamento di quest'ultime è appoggiato soltanto su una sorta di piedistallo.

Tutto il carico della casa è stato trasferito direttamente ai piedistalli, che poggiano categoricamente sul pavimento.



Figura 4.7 Due diverse tipologie di piedistallo tradizionale

Il Sistema della struttura tradizionale in legno comprende: Culla (colonna), Xa (trave), Ke, Bay, Vi Noc, Vi Nach, Cau Dau, Bovi (capriata primaria in legno), Hoanh (arcarecci), Thuong Luong, Rui (trave), Me (arcarecci a morsetto) e molti altri elementi di supporto.

Ogni componente ha la propria funzione che può contribuire alla struttura, come sostenere l'azione di compressione, l'azione di flessione, l'impatto di azione interne ed esterne alla casa. Solitamente i componenti sono uniti con la tecnica mortasa del giunto ad incastro.

La composizione degli elementi ad arco (Hoanh, Xa ...) di solito segue come regola il modulo tradizionale. Le persone usano il Tam Ruler quando costruiscono un edificio tradizionale in legno.

Anche gli altri componenti che sono stati precedentemente descritti seguono una composizione basata sul multiplo del modulo base.

Questo particolarità rende anche minime le differenze tra le caratteristiche principali degli edifici, che seguono quindi la loro propria scala, ma ancora obbediscono una regola originale.



Figura 4.8 Edificio a più portali bovi

Solitamente all'interno di un edificio tradizionale in legno sono presenti 4 o 6 bovi, che scandiscono in campate in numero dispari gli ambienti dell'intera costruzione.

La costruzione base è formata da due capriate e rappresenta la casa tipica vietnamita.

Un'ulteriore classificazione può essere fatta per le tipologie di traliccio primario, che sono:

- GiaChieng (Supporto Gong): la prima apparizione è datata XIV secolo, successivamente si avranno alcune modifiche alla fine del XVII. Dopo questo periodo viene sostituito da una versione con numerose sculture.



Figura 4.9 GiaChieng



Figura 4.10 ChongRuong

- ChongRuong: questo tipo è stato mostrato in alcuni patrimoni che risalgono al XVIII secolo. Tutti i manufatti di questa tipologia sono stati fissati uno ad uno attraverso l'apposizione di un cubo di legno (DauVuong). Ci sono circa da 3 a 7 "ChonRuong" all'interno di un Bovi. In qualche edificio in legno nella zona centrale del Vietnam, questo elemento ha subito alcuni cambiamenti per diventare quindi una nuova suddivisione, chiamata GiaThu.

- VanMe: questa tipologia è suddivisa in più pannelli di legno che si trovano gli uni sopra gli altri, fissati uno per uno e sono fissati utilizzando dei travetti di legno (QuaGiang); questi possono anche avere decorazioni scultoree con tigri e dragoni e altri temi.

Nella zona centrale, la VanMe ha subito alcune modifiche, diventando l'elemento VoCua (granchio-conchiglia) di meravigliosa fattezza e struttura

- BaHangChan (Tre file di appoggi): questo tipo rispetto alle altre tipologie più comuni è caratterizzata da una colonna centrale, chiamata CotCai, e da due colonne laterali, chiamate CotQuan. Il traliccio è unito utilizzando due grandi travi che partono dalla parte centrale, congiungendola alle parti laterali. Il Nach è il componente che giunta tutta la parte nello spazio triangolare tra il CotCai e le CotQuan.



Figura 4.11 VanMe



Figura 4.12 BaHangChan

Analizzando la diffusione di questi sistemi edilizi, gli edifici risalenti alla dinastia Nguyen nel Vietnam del Nord, presentano ancora la capriata con il tipo ChongRuong o GiaChieng.

Tuttavia, per esempio nella città di Hue, la forte diffusione degli edifici in legno durante la dinastia Nguyen, portò ad un progressivo adattamento degli stessi alle tipologie ed alle esigenze locali.

Alla struttura Ruong sono stati quindi aggiunti i componenti nominati GiaThu. Alle due estremità della Ruong, sono stati posti alcuni piccoli pilastri con il ruolo di braccio di supporto degli Hoanh (arcarecci). Per collegare armonicamente le varie parti dell'edificio, in accordo con la tradizione della casa tipo "Trung Loro Diep Oc", viene utilizzato il traliccio VoCua all'interno della struttura in legno.

Altro aspetto importante legato alla tradizione dell'architettura in legno vietnamita è il sistema artistico di sculture, che caratterizzano la gran parte degli elementi strutturali.

I temi della scultura sulla struttura principale sono legati alla vita comune, alle abitudini culturali della zona rurale, con una speciale modalità di descrizione.

La struttura contiene quindi il collegamento tra l'arte della scultura e decorazione del legno e l'architettura, che rappresenta anche uno degli aspetti di maggior qualità della tradizione vietnamita.



Figura 4.13 Decorazione legno

Il Vietnam tuttavia non possiede una propria tradizione architettonica vera e propria, traendo spunti prima dalla tradizione indiana poi da quella cinese.

Queste le origini di due costruzioni lignee tipiche: il "dinh" e il "dền".

Il dinh tradizionale si eleva su pilastri collegati da un sistema di travi orizzontali. Il tetto, alto due terzi dell'edificio, è spesso e notevolmente curvato verso l'alto ai quattro angoli, decorati con incisioni che raffigurano pesci, draghi, fenici. Uno dei più famosi dinh è in Dinh Bang nel nord del Vietnam; costruito tra il 1700 e il 1736, è divenuto simbolo nazionale perché è stato la sede della prima assemblea nazionale presieduta dal presidente Ho Chi Minh.

La costruzione si sviluppa su pianta rettangolare di 20x14 metri ed è alta

8. La massiccia copertura è sostenuta da 60 colonne di legno dal diametro variabile da 55 a 65 cm. I pannelli lignei sono decorati con sculture raffiguranti animali e piante esotiche. Il pavimento poggia su una struttura sopraelevata posta a 60 centimetri da terra, così come le strategie per un clima caldo umido suggeriscono.

I Den, di piccole e grandi dimensioni, sono luoghi dedicati agli eroi nazionali o locali o ai geni del luogo: dei campi, del villaggio, del giume, della montagna. Il Den è decorato con simboli religiosi, mitologici o con armi e vestiti.



Figura 4.14 Đình Bảng communal house

4.2.3 ESEMPI DI ARCHITETTURE VIETNAMITE IN LEGNO

TEMPIO DELLA LETTERATURA

Il tempio della letteratura si trova in Hanoi Vietnam. Il suo nome è Van Mieu (Văn Miếu), cui traduzione letterale significa tempio della letteratura. Secondo il libro la storia completa della grande Viet Nam, il tempio della letteratura fu costruito in onore di Confucio nell'anno 1070 dal re Ly Thanh Tong.

Anche se ci sono diversi Mieu Vam o Tempio della Letteratura intorno tutto il Vietnam, il tempio si trova a Hanoi, senza dubbio, il più famoso di tutti.

Motivi per cui è famoso questo tempio è che il tempio della letteratura in Hanoi fu anche la prima Università del Vietnam o Accademia Imperiale verso l'anno 1076.

Il Tempio della Letteratura è un luogo molto interessante da visitare perché costituisce un raro esempio di architettura tradizionale vietnamita, con la sua struttura in legno laccata in rosso.

In uno dei cortili interni si trova la Grande Casa delle Cerimonie, con le sue nove campate a colonne e il santuario dove la statua di Confucio tiene eterna corte circondato dalle statue dei suoi quattro discepoli più fedeli.

L'ingresso della Sala Thai Hoc, un magnifico museo e santuario rivestito di legno per l'adorazione di tre grandi re vietnamiti. Tutto rigorosamente rosso, colore sacro e di potere.



Figura 4.15 Tempio della Letteratura, Van Mieu, ad Hanoi

TILE-ROOF BRIDGE DELLA PAGODA DI LUONG

Il Tile-Roof Bridge della Pagoda di Luong a Hai Anh, Nam Dinh esiste da oltre 400 anni.

Nonostante l'effetto del tempo, il ponte conserva ancora intatte le antiche caratteristiche architettoniche da cavallo tra XVII e XVIII secolo, che mostrano l'arte e la perizia di artigiani del passato.

Il ponte si trova a circa 100 metri lungo il sentiero che conduce alla Pagoda di Luong.

Il ponte viene utilizzato non solo per il trasporto, ma è anche un luogo per attività culturali della comunità. Qui, la gente del posto si ferma spesso a parlare sul tragitto di ritorno dalla pagoda e dai campi.

Secondo i documenti antichi, il ponte è stato costruito nel XVI secolo, così come la Pagoda. Esso attraversa il piccolo Trung Giang, fiume che attraversa Hai Anh.

Il ponte è stato progettato secondo lo stile di "Thuong Gia ha Kieu" (letteralmente la casa è al di sopra e il ponte è di seguito) con un tetto erboso. Tuttavia, il ponte è stato riparato per la prima volta nel XVII secolo per essere adatto al paesaggio della Pagoda di Luong. Nel 1922, è stato restaurato per la seconda volta ed ha assunto l'imponente aspetto conservato fino ad oggi.

Il ponte sembra una lunga tegola nella parte superiore essendo un tetto di mattonelle con un sistema trave-pilastro di una casa tradizionale vietnamita. La parte inferiore è costituita dalla balaustra del ponte e dal pavimento. Le parti superiore ed inferiore sono unite insieme utilizzando colonne circolari lungo la balaustra del ponte e due porte alle due estre-

mità del ponte.

Il ponte è costituito da nove campate costruite saldamente su 18 pilastri di pietra quadrati. Sopra i pilastri di pietra è il sistema di tiranti e travi orizzontali in legno puntella la trave e il pavimento del ponte. I due metri di larghezza del piano di calpestio del ponte è stato realizzato a partire dal legno Lim. Il tetto del ponte è coperto con le caratteristiche tegole a forma di scaglie di drago .

Anche se la parte in legno del ponte è stata scolpita in modo semplice, mostra lo stile architettonico tipico del popolo vietnamita, in particolare si può osservare la struttura delle travi e la tecnica di giunzione ad incastro del legno.

Le grandi porte d'ingresso alle due estremità del ponte sono state costituite da grandi arcate con due file di pilastri decorati con caratteri cinesi. Sopra alle arcate si trovano due cuccioli di leone che trasportano una grande lettera solenne.

Il ponte della Pagoda di Luong è una delle più belle opere architettoniche e meglio conservate relative al trasporto di tutto il Vietnam.

PONTI DI LEGNO CON TEGOLE D'ARGILLA

Così come il ponte della Pagoda di Luong, esistono altri ponti disseminati sul territorio vietnamita con struttura in legno e tetto ricoperto da tegole in argilla a forma di scaglie di drago. A seguire vengono mostrati alcuni esempi di questi antichi ed affascinanti esempi di architettura tradizionale vietnamita.



Figura 4.17 Ponte Chua Cau, Hoi An



Figura 4.16 Tile roof Bridge della Pagoda di Luong



Figura 4.21 Thanh Toan bridge, Hue



Figura 4.18 Pond Bridge, Hanoi



Figura 4.19 Pnd Bridge, dettagli interni



Figura 4.20 Chua Thay, Hanoi, 1602



Figura 4.22 Phat Diem bridge, Kim Son

LA CASA DI LEGNO PIÙ ANTICA A HUE

Questa centenaria casa di legno , di nome An Hien, fu in passato la casa di una principessa dell'imperatore Duc Duc e molti mandarini della dinastia Nguyen. Si tratta di un ruong Nha, una casa tradizionale in legno fatta a mano con 48 colonne. Ogni ruong Nha è costruito con diverse travi (ruong) e pilastri (Nha), da cui deriva il suo nome. La caratteristica più distintiva di tutte è che le travi e i pilastri sono uniti da mortase e tenoni, non da chiodi. Coperta con tegole in laterizio, Ruong Nha ha travi e pilastri in pregiato legno massello. La struttura è costituita da grandi pilastri posti su un piedistallo in pietra a base quadrata.

Nel 1936, divenne la casa del signor Nguyen Dinh Chi, il Governatore della Provincia di Ha Tinh. Dopo che Nguyen Dinh Chi morì, la moglie, Dao Thi Xuan Yen, ha ereditato la casa. Nel 1997, è morta e la casa è stata ereditata da sua figlia.



Figura 4.23 Casa in legno a Hue

4.3 ANALISI DEI CARICHI

Seguendo le direttive delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) si classificano le azioni agenti sulle strutture dell'edificio, secondo la variazione della loro intensità nel tempo:

- (G) PERMANENTI: azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:
 - Peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G1);
 - Peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2);
 - Spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;
 - Pretensione e precompressione (T);
 - Ritiro e viscosità;
 - Spostamenti differenziali;
- (Q) VARIABILI: azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
 - Di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
 - Di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve

rispetto alla vita nominale della struttura;
 - (E) SISMICHE: azioni derivanti dai terremoti

Vengono invece trascurate le (A) ECCEZIONALI: azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura:

- Incendi;
- Esplosioni;
- Urti ed impatti;

Le azioni individuate serviranno per il calcolo degli stati limite che determinano i requisiti di sicurezza previsti dalla normativa:

- Sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possono compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera; il superamento dello stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso,
- Sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio; il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.

4.3.1. ANALISI AZIONI PERMANENTI

Si calcolano le azioni permanenti agenti sulla costruzione durante tutta la vita utile di quest'ultima.

Esse sono legate all'azione gravitazionale e sono determinate a partire

dalle dimensioni geometriche e dai pesi dell'unità di volume dei materiali di cui è composta la costruzione, sia nelle parti strutturali sia in quelle non strutturali.

G1_PESO PROPRIO ELEMENTI STRUTTURALI:

- PB_Parete portante in pallet, costituenti la struttura verticale dei blocchi;

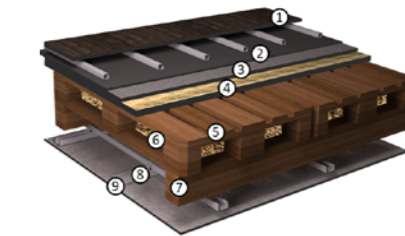


- TB_Travetti in legno teak, costituenti la struttura orizzontale dei blocchi;

Analisi dei carichi - Travetto - Teak				
	Carico q [kN/m]	Coeff [-]		Carico q [kN/m]
Carichi perm strutturali G1	0.26	γ-G1	1.3	SLU 4.78
Carichi perm non strutturali G2	0.56	γ-G2	1.5	SLE rara 3.22
Carichi var persone Qk1	2.40	γ-Q1	1.5	SLE qp 2.50
		γ-21	0.7	

- SB_Solaio in pallet dei blocchi;

C.V.01 Chiusura verticale Legno-Gesso					
Elemento	Materiale	Spessore [m]	Densità [kg/m³]	Carico [kg]	Carico [kN]
Ext					
Rivestimento listelli	Legno Teak	0.03	700	44.10	0.43
Listello sottostruttura	Legno Teak	0.02	700	9.80	0.10
Intonaco	Malta	0.01	225	4.73	0.05
Pannello irrigidimento	OSB	0.018	650	24.57	0.24
Struttura	Pallet	0.145	-	7.70	0.08
Doppia lastra+Orditura	Paglia	0.145	200	47.96	0.47
Int	Cartongesso	0.025	760	39.90	0.39
Totale				178.75	1.75



- PC_Pilastri in legno teak, costituenti la struttura verticale della copertura;

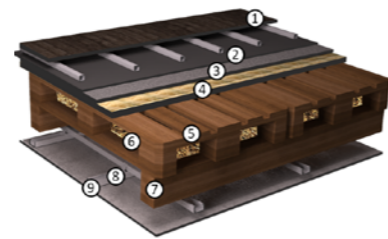
- S.C._Solaio in listelli intralciati in legno teak della copertura;

P.E.O.01_Partizione orizzontale esterna					
Elemento	Materiale	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Carico [kg/m ²]	Carico [kN/m ²]
Ext sup					
Tavelle	Terracotta	0,03	1800	54,00	0,53
Listelli sup	Legno Teak	0,02	700	4,20	0,04
Listelli inf	Legno Teak	0,03	700	14,70	0,14
Travetti secondari_10x14.5	Legno Teak		700		0,05
Travi principali	Legno Teak		700		
Ext inf					
Totale				72,90	0,71
					0,76



- TVC_Travetti in legno teak, costituenti la sottostruttura per i listelli della copertura;

Travetti secondari_Teak	
γ_M [-]	1,50
fmk [N/mm ²]	85,00
fvk [N/mm ²]	8,20
fmd [N/mm ²]	45,33
fvd [N/mm ²]	4,37
I_mezzeria [mm ⁴]	28125000
W_mezz [mm ³]	350416,67
A_appoggio [mm ²]	14500,00



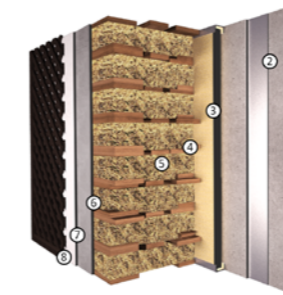
- TC_Travi in legno teak, costituenti la struttura inclinata della copertura;

Travi principali_Teak	
γ_M [-]	1,50
fmk [N/mm ²]	85,00
fvk [N/mm ²]	8,20
fmd [N/mm ²]	45,33
fvd [N/mm ²]	4,37
I_mezzeria [mm ⁴]	535937500
W_mezz [mm ³]	3062500,00
A_appoggio [mm ²]	52500,00

G2_AZIONI PERMANENTI NON STRUTTURALI:

- CO03_Chiusura orizzontale

C.V.01_Chiusura verticale_Legno-Gesso					
Elemento	Materiale	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Carico [kg]	Carico [kN]
Ext					
Rivestimento listelli	Legno Teak	0.03	700	44.10	0.43
Listello sottostruttura	Legno Teak	0.02	700	9.80	0.10
Intonaco	Malta	0.01	225	4.73	0.05
Pannello irrigidimento	OSB	0.018	650	24.57	0.24
Struttura	Pallet	0.145	-	7.70	0.08
	Paglia	0.145	200	47.96	0.47
Doppia lastra+Orditura	Cartongesso	0.025	760	39.90	0.39
Int					
Totale				178.75	1.75

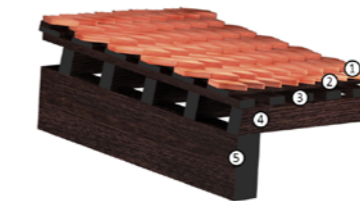


- CV01_Chiusura verticale

C.V.01_Chiusura verticale_Legno-Gesso					
Elemento	Materiale	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Carico [kg]	Carico [kN]
Ext					
Rivestimento listelli	Legno Teak	0.03	700	44.10	0.43
Listello sottostruttura	Legno Teak	0.02	700	9.80	0.10
Intonaco	Malta	0.01	225	4.73	0.05
Pannello irrigidimento	OSB	0.018	650	24.57	0.24
Struttura	Pallet	0.145	-	7.70	0.08
	Paglia	0.145	200	47.96	0.47
Doppia lastra+Orditura	Cartongesso	0.025	760	39.90	0.39
Int					
Totale				178.75	1.75

- P.E.XX_Partizione esterna inclinata

P.E.O.01_Partizione orizzontale esterna					
Elemento	Materiale	Spessore [m]	Densità [kg/m ³]	Carico [kg/m ²]	Carico [kN/m ²]
Ext sup					
Tavelle	Terracotta	0,03	1800	54,00	0,53
Listelli sup	Legno Teak	0,02	700	4,20	0,04
Listelli inf	Legno Teak	0,03	700	14,70	0,14
Travetti secondari_10x14.5	Legno Teak		700		0,05
Travi principali	Legno Teak		700		
Ext inf					
Totale				72,90	0,71
					0,76



4.3.2 ANALISI AZIONI VARIABILI PER DESTINAZIONE D'USO

Nel capitolo 3.1.4 NTC 2008 s'illustra che questi carichi sono legati alle destinazioni d'uso dell'opera e i modelli di queste azioni sono costituiti da:

- Carichi verticali uniformemente distribuiti qk [kN/m²]
- Carichi verticali concentrati Qk [kN]
- Carichi orizzontali lineari Hk [kN/m]

Dalla tabella 3.1.II si ricava che per ambienti suscettibili di affollamento di categoria C1, cioè ad uso ristorazione, i valori dei carichi di esercizio variabili sono:

- qk 3.00 [kN/m²]
- Qk 2.00 [kN]
- Hk 1.00 [kN/m]

Per quanto riguarda invece ambienti suscettibili di affollamento di categoria C2, cioè ad uso balcone, ballatoio e sale convegni, i valori dei carichi di esercizio variabili sono:

- qk 4.00 [kN/m²]
- Qk 4.00 [kN]
- Hk 2.00 [kN/m]

4.3.3 ANALISI AZIONI VARIABILI DEL VENTO

Nel capitolo 6 della Norma Vietnamita Standard per il calcolo strutturale TCVN 2737/1995 si trova la definizione di pressione del vento che servirà a calcolare la forza del vento agente su ogni piano, applicata nel baricen-

tro di ogni superficie.

Il carico del vento applicato alle costruzioni comprende:

- W_e pressione normale applicata su una superficie esterna o elemento dell'edificio,
- W_f forza di attrito tangenziale a superfici esterne proporzionale alla proiezione in pianta (indice adatto per coperture a shed o parti di edifici con presenza di logge)
- W_i pressione normale applicata su un superficie interna di edifici parzialmente chiusi o edifici con aperture;
- W_x, W_y pressioni normali determinate dalla proiezione dell'edificio in pianta rispettivamente perpendicolari agli assi x e y:

Il carico del vento presenta due componenti: una statica e una dinamica. La parte dinamica non è considerata per l'analisi degli edifici multipiano con altezza minore di 40m e di edifici monopiano di altezza non superiore a 36m, con un rapporto altezza luce inferiore ad 1,5 e edificati in siti con categoria di esposizione A e B.

Si calcola quindi il valore standard della componente statica della pressione del vento W alla quota Z , rispetto al piano di riferimento, utilizzando la seguente formula:

$$W = W_0 * k * c \quad [N/m^2]$$

Dove:

- W_0 è la pressione dinamica caratteristica del sito di progetto;

Si individua il sito di progetto nella cartina posta nell' Appendice D, oppure nella tabella E.1 dell'appendice E della normativa;

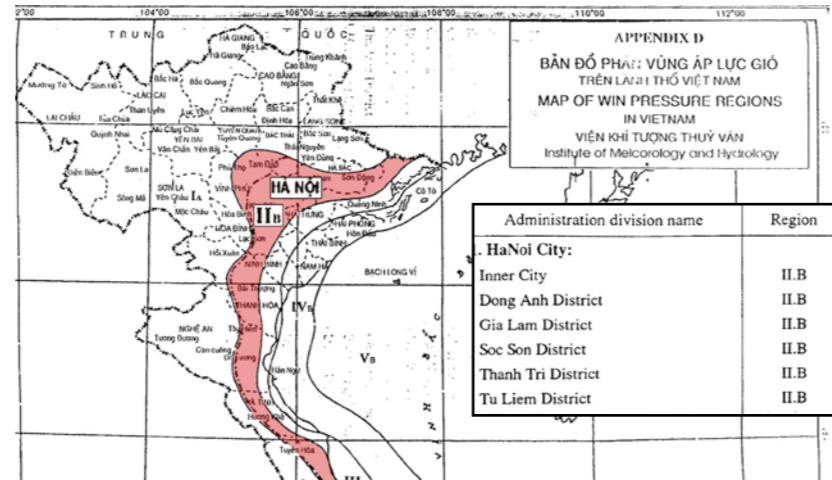


Figura 4.24 Carta Vietnam, coefficiente W_0

Hanoi è collocata nella regione ventosa II.B;

Successivamente, in base alla zona di appartenenza si può ricavare il valore di W_0 dalla tabella 4 presente nell'articolo 6.4;

Wind regions (see Map)	I	II	III	IV	V
W_0 (daN/m ²)	65	95	125	155	185

Il valore di W_0 da tabella è quindi 95 daN/m², ovvero 950 N/m².

- k è il fattore di variazione della pressione del vento in base alla quota, ricavabile dalla tabella 5 presente nell'articolo 6.4; la città di Hanoi presenta una esposizione in classe B.

Level Z,m	Exposure		
	A	B	C
3	1,00	0,80	0,47
5	1,07	0,88	0,54
10	1,18	1,00	0,66
15	1,24	1,08	0,74
20	1,29	1,13	0,80
30	1,37	1,22	0,89
40	1,43	1,28	0,97
50	1,47	1,34	1,03
60	1,51	1,38	1,08
80	1,57	1,45	1,18
100	1,62	1,51	1,25
150	1,72	1,63	1,40
200	1,79	1,71	1,52
250	1,84	1,78	1,62
300	1,84	1,84	1,70
350	1,84	1,84	1,78
≥ 400	1,84	1,84	1,84

Figura 4.25 Tabella coefficiente k

Il blocco della urban farm in esame presenta un'altezza di riferimento pari a 5 m, quindi il valore di k ottenuto è pari a 0.88; per quanto riguarda invece la copertura è stato utilizzato un valore medio calcolato in base alla superficie esposta al vento per i vari livelli di quota.

- c è il fattore di aerodinamico, ricavabile dalla tabella 6 presente nell'articolo 6.4;

Building and structure schemes and wind load distribution	Aerodynamic coefficient
I. a. Vertical planes :	
windward	$c = + 0.8$
leeward	$c = - 0.6$

Figura 4.26 Tabella coefficiente c , blocchi Urban Farm

Il blocco della urban farm preso in analisi presenta superfici verticali, i coefficienti si ottengono dallo schema 1 e sono rispettivamente -0.8 sovravento e -0.6 sottovento.

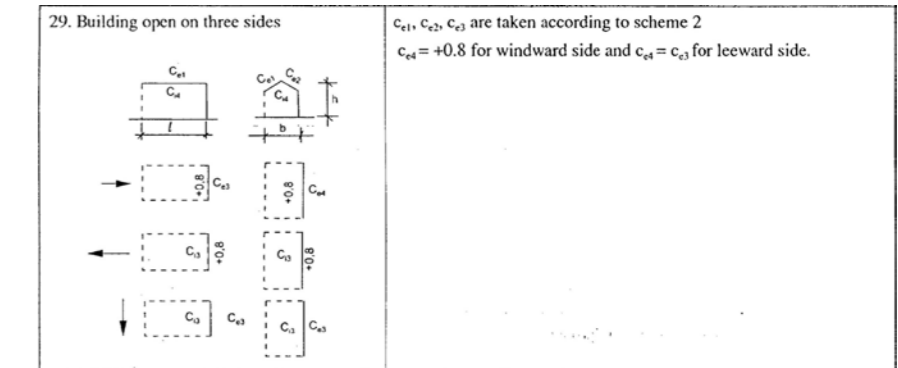


Figura 4.27 Tabella coefficiente c , copertura

Building and structure schemes and wind load distribution	Aerodynamic coefficient					
	Coefficient	α degree	h_f/l			
			0	0.5	1	≥ 2
2. Building with gable roof	c_{e1}	0	0	-0.6	-0.7	-0.8
		20	+0.2	-0.4	-0.7	-0.8
40		+0.4	+0.3	-0.2	-0.4	
60		+0.8	+0.8	+0.8	+0.8	
c_{e2}	≤ 60	-0.4	-0.4	-0.5	-0.8	
	b/l	c_{e3} when h_f/l equals				
	≤ 1	-0.4	-0.5	-0.6		
	≥ 2	-0.5	-0.6	-0.6		

Figura 4.28 Tabella coefficiente c , copertura

Per la copertura invece si utilizzano i coefficienti aerodinamici rappresentati nello schema 29:

Si ottengono quindi i valori di pressione parziale sopravvento e sottovento che, sommati in valore assoluto, permettono di ottenere il valore di pressione totale del vento:

$$W_{tot} = |W_{sop}| + |W_{sot}| [N/m^2]$$

Moltiplicando la pressione totale del vento per la sua superficie d'applicazione, si ricava la forza del vento agente su ogni piano applicata nel baricentro di ogni elemento.

Vento		Vento	
Sito	Hanoi	Sito	Hanoi
Wind region	IIB	Wind region	IIB
W0 [N/m ²]	950,00	W0 [N/m ²]	950,00
Exposure	B	Exposure	B
k h=5m [-]	0,88	k h=5m [-]	0,88
k h=10m [-]	1,00	k h=10m [-]	1,00
k h=15m [-]	1,08	k h=15m [-]	1,08
Schema strutt c	29	Schema strutt c	1a
h/l	0,50	c soprav ce [-]	0,80
α	40	c sottov ce3 [-]	-0,60
		W sop[N/m ²]	668,80
c sopra cop e1 [-]	0,30	W sot[N/m ²]	-501,60
c sopra cop e2 [-]	-0,40	W tot[N/m ²]	1170,40
c sotto cop e4 [-]	-0,80	Largh infl [m]	0,6
W sop [kN/m ²]	-0,51	W lin tot[N/m]	702,24
W sot [kN/m ²]	-1,23		

Figura 4.29 Tabelle carico variabili del vento copertura e blocchi Urban Farm

4.3.4 COMBINAZIONI DI CARICO

Per un corretto dimensionamento degli elementi strutturali e le loro verifiche, vengono identificati dalla normativa diversi tipi di azioni agenti identificati come causa o insieme di cause capaci di indurre stati limite in una struttura.

Qk1 identifica l'azione dominante e Qk2, Qk3, ... identificano le azioni variabili che possono agire contemporaneamente a quella dominante. Quest'ultime vengono combinate con i coefficienti di combinazione ψ_{0j} , ψ_{1j} , ψ_{2j} , che permettono di considerare la non contemporaneità delle azioni.

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Figura 4.30 Coefficienti combinazioni carichi variabili SLE

Nelle combinazioni per SLE, s'intende che vengono omessi i carichi Qkj che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G2.

I coefficienti parziali di sicurezza relativi ai carichi variabili considerati, sono relativi alle categorie:

- C : ambienti suscettibili di affollamento: $\psi_{0j}= 0.7$; $\psi_{1j}= 0.7$; $\psi_{2j}= 0.6$;
- A : ambienti adibiti ad uso commerciale: $\psi_{0j}= 0.7$; $\psi_{1j}= 0.7$; $\psi_{2j}= 0.6$;
- Vento: $\psi_{0j}= 0.6$; $\psi_{1j}= 0.2$; $\psi_{2j}= 0.0$;

Riferendosi alla durata percentuale relativa ai livelli d'intensità dell'azione variabile si definiscono:

- Valore raro: $\psi_{0j} \cdot Q_{kj}$ il valore di durata breve ma ancora significativa nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni;
- Valore frequente: $\psi_{1j} \cdot Q_{kj}$ il valore corrispondente al percentile 95% della distribuzione temporale dell'intensità, quindi superato per una limitata frazione del periodo di riferimento;
- Valore quasi permanente $\psi_{2j} \cdot Q_{kj}$ la media della distribuzione temporale dell'intensità.

Ai fini dei nostri studi è necessario utilizzare le combinazioni dei carichi al m2 allo Stato Limite di Esercizio (SLE) e allo Stato Limite Ultimo (SLU). Per quest'ultimo si è considerato il caso con carichi sempre sfavorevoli, impiegando un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali definiti per le azioni, per la resistenza dei materiali e per la resistenza globale.

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Figura 4.31 Coefficienti combinazioni carichi variabili SLU

I coefficienti parziali scelti per le verifiche SLU sono:

- Carichi permanenti: $\gamma_{G1} = 1.3$;
- Carichi permanenti non strutturali: $\gamma_{G2} = 1.5$;
- Carichi variabili: $\gamma_{Qk} = 1.5$.

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

- COMBINAZIONE FONDAMENTALE, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi [SLU]:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} \dots$$

- COMBINAZIONE CARATTERISTICA (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche



alle tensioni ammissibili:

$$G1 + G2 + P + Qk1 + \psi02*Qk2 + \psi03*Qk3...$$

- COMBINAZIONE FREQUENTE, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G1 + G2 + P + \psi11*Qk1 + \psi22*Qk2 + \psi23*Qk3...$$

- COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G1 + G2 + P + \psi21*Qk1 + \psi22*Qk2 + \psi23*Qk3...$$

- COMBINAZIONE SISMICA, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E

$$E + G1 + G2 + P + \psi21*Qk1 + \psi22*Qk2...$$

- COMBINAZIONE ECCEZIONALE, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto:

$$G1 + G2 + P + Ad + \psi21*Qk1 + \psi22*Qk2...$$

All'interno delle quali si riscontrano i seguenti parametri:

- G1: peso proprio degli elementi strutturali;

- G2: peso proprio degli elementi non strutturali;

- Pk: riferito alla pretensione e precompressione dell'elemento strutturale;

- Q1k: riferito all'azione variabile considerata come principale;

- Qik: riferito alle altre azioni variabili che insistono sulla struttura e che sono considerate nella combinazione in esame come non principali;

- γ G1: coefficiente di amplificazione dei pesi propri degli elementi strutturali;

- γ G2: coefficiente di amplificazione dei pesi propri degli elementi non strutturali;

- γ p: coefficiente di amplificazione delle azioni di pretensione e precompressione;

- γ q: coefficiente di amplificazione di tutte le azioni variabili;

- ψ 0i: coefficiente di combinazione delle azioni variabili che sono considerate nella combinazione in esame come non principali;

Combinazioni delle azioni agenti sulla struttura orizzontale dei blocchi della urban farm:

- Combinazione del solaio copertura in pallet [kN/m²]:

Analisi dei carichi_Solaio_Pallet					
	Carico q [kN/m ²]	Coeff [-]		Carico q [kN/m ²]	
Carichi perm strutturali G1	0,26	γ G1	1,3	SLU	7,74
Carichi perm non strutturali G2	0,94	γ G2	1,5	SLE rara	5,19
Carichi var persone Qk1	4,00	γ Q1	1,5	SLE qp	3,99
		ψ 21			0,7

- Combinazione travetto in legno teak [kN/m]:

Analisi dei carichi_Travetto_Teak					
	Carico q [kN/m]	Coeff [-]		Carico q [kN/m]	
Carichi perm strutturali G1	0,26	γ G1	1,3	SLU	4,78
Carichi perm non strutturali G2	0,56	γ G2	1,5	SLE rara	3,22
Carichi var persone Qk1	2,40	γ Q1	1,5	SLE qp	2,50
		ψ 21			0,7

Combinazioni delle azioni agenti sulle strutture orizzontali della copertura:

- Combinazione del solaio copertura in legno teak intralciato [kN/m²]:

Analisi dei carichi_Listelli_solaio					
	Carico q [kN/m ²]	Coeff [-]		Carico q [kN/m ²]	
Carichi perm strutturali G1	0,19	γ G1	1,3	SLU	5,22
Carichi perm non strutturali G2	0,53	γ G2	1,5	SLE rara	4,17
Carichi variabili Qk1 pioggia	2,22	γ Q1	1,5	SLE qp	3,13
Carichi variabili Qk2 vento	1,23	ψ 01			0,7

- Combinazione travetti in legno teak [kN/m]:

Analisi dei carichi_Travetti_secondari_Teak					
	Carico q [kN/m]	Coeff [-]		Carico q [kN/m]	
Carichi perm strutturali G1	0,10	γ G1	1,3	SLU	2,98
Carichi perm non strutturali G2	0,36	γ G2	1,5	SLE rara	2,18
Carichi variabili Qk1 pioggia	1,11	γ Q1	1,5	SLE qp	1,67
Carichi variabili Qk2 vento	0,62	ψ 01			0,7

- Combinazione trave in legno teak [kN/m]:

Per il calcolo della travatura principale sono stati calcolati due differenti carichi agenti, uno con carichi permanenti e variabili del vento, e uno con l'aggiunta del carico della pioggia che verrà utilizzato solo per le zone di impluvio.

Analisi dei carichi_Travi_principali_Teak_Impluvio_Si_pioggia					
	Carico q [kN/m]	Coeff [-]		Carico q [kN/m]	
Carichi perm strutturali G1	0,36	γ G1	1,3	SLU	12,02
Carichi perm non strutturali G2	1,53	γ G2	1,5	SLE rara	8,80
Carichi variabili Qk1 pioggia	4,45	γ Q1	1,5	SLE qp	6,73
Carichi variabili Qk2 vento	2,46	ψ 01			0,7

Analisi dei carichi_Travi_principali_Teak_Impluvio_No_pioggia					
	Carico q [kN/m]	Coeff [-]		Carico q [kN/m]	
Carichi perm strutturali G1	0,36	γ G1	1,3	SLU	5,35
Carichi perm non strutturali G2	1,53	γ G2	1,5	SLE rara	4,35
Carichi variabili Qk1 pioggia	0,00	γ Q1	1,5	SLE qp	3,61
Carichi variabili Qk2 vento	2,46	ψ 01			0,7

Per le azioni agenti sulle strutture verticali dei blocchi della urban farm e della copertura si sono considerate:

- Le due combinazioni di azioni peggiori per solaio e copertura da utilizzare per SLU e SLE;

- Il peso proprio della chiusura verticale e la sua struttura portante sulla lunghezza di influenza del singolo pallet per i blocchi della urban farm;

- L'azione di post tensione agente sul singolo pallet per i muri portanti della urban farm.

4.4 IL PALLET

In questo paragrafo si descrive il Pallet principali, che è l'elemento alla base della struttura degli edifici costituenti la Urban Farm, in tutte le sue caratteristiche e utilizzi principali.

4.4.1 TERMINI E DEFINIZIONI

“L'imballaggio è il prodotto, composto di materiali di qualsiasi natura, adibito a contenere e proteggere determinate merci, dalle materie prime ai prodotti finiti e a consentire la loro manipolazione e la loro consegna oltre che assicurare la loro presentazione.”

I pallet, che appartengono alla famiglia degli imballaggi in legno, proteggono le merci da urti che possono verificarsi durante il trasporto, la movimentazione e lo stoccaggio. Sono principalmente dei supporti di movimentazione per prodotti che non siano allo stato sfuso, ma costituiti da materiali indipendenti e nella grande distribuzione stanno giocando



Figura 4.32 Esempio di uso strutturale di pallet

un ruolo sempre più importante anche per l'esposizione dei prodotti.

4.4.2 CARATTERISTICHE DEL PALLET

Il pallet è una "piattaforma orizzontale caratterizzata da un'altezza minima, compatibile con la movimentazione tramite carrelli trans pallet, elevatori a forche o altre appropriate attrezzature di movimentazione, impiegata per la raccolta, l'immagazzinamento, la movimentazione e il trasporto di merci e carichi".

In relazione al materiale costruttivo si distinguono cinque categorie di pallet:

- Pallet in legno: è la tipologia di pallet più diffusa e può essere realizzata con diversi tipi di legno (abete, pino, faggio, pioppo); la presenza di materiale vergine conferisce a questi pallet elevate performance di resistenza sia statica che dinamica
- Pallet pressato: composto da tavole di legno ottenute da sottoprodotti di segheria incollati con resine sintetiche e poi pressati in stampi ad alta temperatura; si tratta di pallet leggeri con capacità di carico limitata.
- Pallet in plastica: possono essere di polistirene espanso o di polietilene ad elevata densità; sono impiegati di solito nel settore farmaceutico.
- Pallet in metallo: di solito in acciaio o alluminio, hanno ottime caratteristiche di resistenza e durata, ma hanno costi molto alti.

Le due principali tipologie di "pallet standard" sono:

- Pallet EUR-EPAL: è marcato con la sigla EUR, marchio di proprietà di EPAL a partire dal 1995. Si tratta di un pallet piatto non reversibile a quattro vie di dimensioni 800 x 1200 mm.

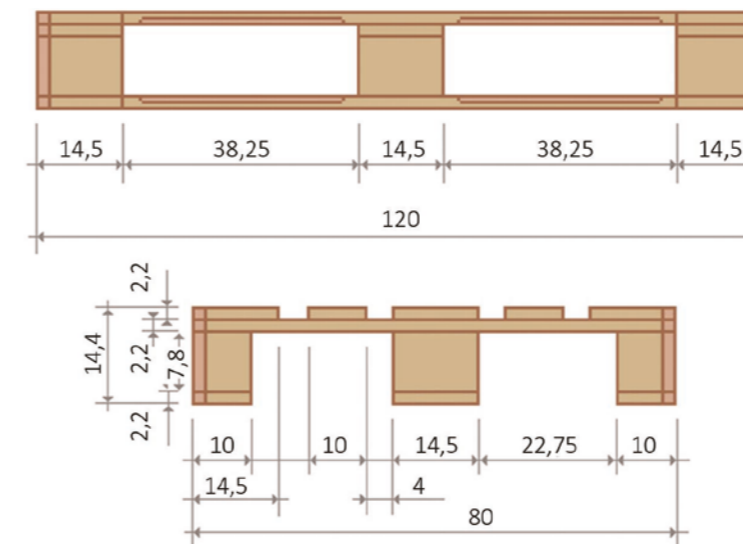


Figura 4.33 Epal Pallet

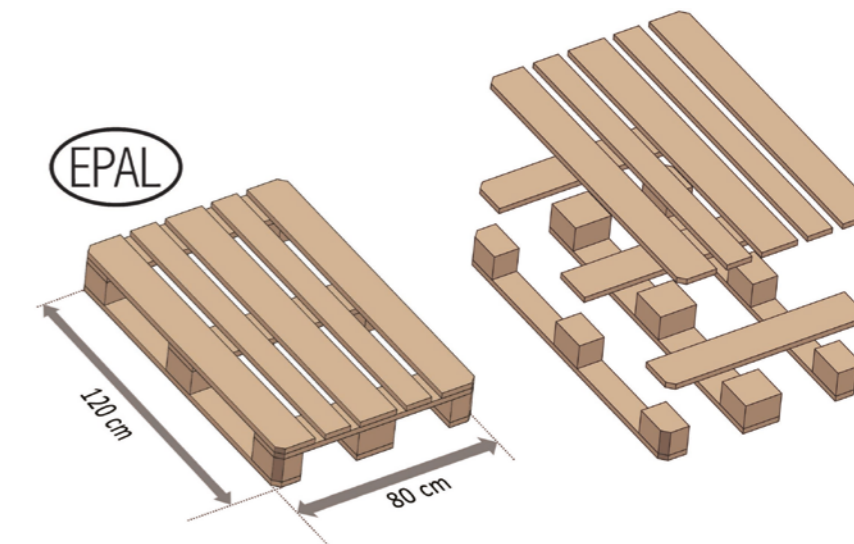


Figura 4.34 Epal pallet componenti

- Pallet CP: ovvero i chemical pallet; attualmente sono utilizzati nove tipi di pallet contrassegnati da codici da CP1 a CP9.

Ulteriori classificazioni dei pallet possono definirsi in relazione alla reversibilità e al numero di "vie d'inforcamento", ovvero le aperture (solitamente due o quattro) che permettono l'ingresso delle forche dei carrelli impiegati per la movimentazione. Un pallet è reversibile solo se entrambi i piani superiore e inferiore possono essere utilizzati indifferentemente come basi di appoggio, mentre è definito a due o quattro vie a seconda che permetta il passaggio delle forche solo sui due lati opposti o su tutti e quattro i lati.

I componenti principali di cui è composto il pallet secondo la norma UNI EN ISO 4456 sono:

- Piani: i pallet possono essere di uno o due piani. In caso di pallet a due piani si distingue tra il piano superiore, ossia la superficie piana orizzontale su cui posa il carico (può essere una superficie orizzontale piena o con tavole distanziate); e il piano inferiore, ossia la superficie piana orizzontale che ripartisce il peso a terra.
- Travetti/blocchetti: i due piani sono uniti da elementi distanziatori che creano uno spazio per il passaggio delle forche dei carrelli elevatori. Questi elementi sono realizzati con "travetti" per i pallet a due vie (elementi a sezione rettangolare), o con "blocchetti" per i pallet a quattro vie

(elementi corti a base quadrata rettangolare o circolare). Il travetto del pallet a due vie può essere dotato di scanalature (incavi) per permettere il passaggio delle forche degli elevatori; un pallet di questo tipo viene chiamato pallet parzialmente a quattro vie.

- Elemento/tavola di entrata: tavola del piano più vicina al vano d'inforamento.
- Traverse: elementi orizzontali, disposti perpendicolarmente alle tavole, di collegamento tra i blocchetti e le tavole stesse del piano.
- Biselli/smussi d'invito: vengono asportati gli spigoli superiori delle travi per facilitare il passaggio delle forche.
- Luci: aperture nel piano inferiore di un pallet a due piani che permettono alle branche munite di ruote dei carrelli dei trans pallet di poggiare al suolo.

In relazione all'impiego del pallet, i collegamenti dei suoi componenti possono essere realizzati mediante l'uso di chiodi, graffe e altri particolari elementi di fissaggio.

- Chiodi: il chiodo è quell'elemento di fissaggio costituito da una testa e da un gambo a sezione tonda o quadrata, generalmente a punta, concepito per essere infisso a impulsi. Le caratteristiche che definiscono tecnicamente un chiodo sono la lunghezza, il diametro del filo, la testa, le tacche di mordenza, il gambo, la punta e la parte filettata. La scelta dei chiodi da usare nella fabbricazione dei pallet dipende dal tipo di legno, dalla sua umidità, dallo spessore dei segati, dalla resistenza allo strappo e a volte dall'ambiente climatico o chimico di destinazione del prodotto. Per la realizzazione di un pallet occorrono in media una settantina di

chiodi aventi peso complessivo compreso tra i 400 e i 1000 grammi. La composizione chimica e gli eventuali trattamenti tecnici conferiscono al chiodo resistenze meccaniche anche notevolmente diverse. I chiodi più impiegati sono quelli con una parte del gambo sagomata in modo tale da offrire un'aderenza migliore e una maggiore resistenza all'estrazione. Sono suddivisi in: chiodo liscio, chiodo elicoidale, chiodo anellato, chiodo a filettatura interrotta, chiodo dentellato, chiodo ritorto.

- Graffe: la graffa è un elemento di fissaggio a forma di U, realizzato con filo a sezione rotonda o quadrata, con due gambe generalmente appuntite e per lo più della stessa lunghezza. Sono impiegate di solito per la fabbricazione di pallet a perdere a due vie e, qualche volta, per assemblare i piani del pallet a quattro vie; nel caso di pallet EUR-EPAL la graffa riveste il ruolo di marchio di qualità.

Le caratteristiche dei chiodi e degli altri elementi di fissaggio sono particolarmente importanti per stabilire la prestazione dei pallet. Le prove effettuate su pallet uguali, ma realizzati usando chiodi di diversa tipologia hanno evidenziato variazioni, anche notevoli, della capacità di carico.

Oltre a fare molta attenzione ai tipi di elementi di fissaggio scelti non bisogna trascurare la loro disposizione nelle diverse parti del pallet. Gli elementi di fissaggio devono essere disposti in maniera tale da non fuoriuscire dai bordi di una tavola, di una traversa o di un blocchetto; devono essere infissi nel legno a una profondità per cui le teste non sporgano e si trovino al massimo a 3 mm sotto la superficie e a una distanza minima di 20 mm da bordi, traverse, blocchetti e dal foro centrale del blocchetto in agglomerato. Non devono essere inseriti parallelamente alla direzione

della fibratura del legno per non provocare la formazione di fessurazioni; il chiodo dovrebbe penetrare nel blocchetto per almeno due terzi della sua lunghezza, senza fuoriuscire dalla parte opposta.

I SETTORI E RELATIVO UTILIZZO

L'utilizzo di unità di trasporto pallettizzate è comune a gran parte dei settori industriali e commerciali anche se le tipologie di imballaggio possono variare sensibilmente da settore a settore:

- Industria: l'utilizzo di gabbie e pallet box è molto frequente soprattutto per il trasporto di componenti di ridotte dimensioni (ex. Componenti automobilistici). Si utilizzano imballaggi non standard per il trasporto di elementi particolarmente problematici da movimentare, mentre per carichi pesanti è previsto l'uso di supporti EUR-EPAL. L'industria ceramica ed edilizia utilizzano prevalentemente pallet a perdere di modesta consistenza
- Commercio: la necessità di distribuire in modo veloce e sicuro la merce porta gli operatori commerciali all'utilizzo di pallet standard. Comune è l'impiego di pallet EPAL che soddisfano appieno le norme di sicurezza internazionali.
- Agricoltura: si utilizzano soprattutto pallet a perdere per le spedizioni ai commercianti o ai punti vendita.
- Architettura e Design: negli ultimi anni ha preso piede il riutilizzo dei pallet anche per la costruzione di padiglioni e complementi di arredo come sedute, mobili o fioriere.



4.4.3 NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

Le caratteristiche dei pallet necessitano di essere vincolate da norme tecniche di riferimento. Per questo esistono commissioni a livello nazionale (UNI – ente nazionale italiano di unificazione), europeo (CEN – comitato europeo di normazione) e mondiale (ISO – organizzazione internazionale per la normazione), il cui ruolo è di elaborare delle norme valide rispettivamente in Italia, in Europa e nel mondo. La creazione di regole volontarie ha lo scopo di armonizzare il sistema normativo dei singoli paesi, eliminando così gli ostacoli agli scambi delle merci. In Italia la conoscenza, la diffusione e l'applicazione di tali norme ha mostrato finora una scarsa o almeno minore sensibilizzazione rispetto a quella degli altri Paesi Europei.

NORME GENERALI

Sono relative alle dimensioni principali del pallet e alla definizione delle sue componenti. Per quanto concerne le prime si fa riferimento alla norma UNI EN 133829, valida in Europa a partire dal 2002. La norma specifica le principali dimensioni e le tolleranze per nuovi pallet piatti a un piano e a due piani e per i pallet piatti non reversibili. Per quanto riguarda invece le componenti si fa riferimento alla norma UNI EN ISO 44511. Essa definisce i termini relativi al pallet usato per la movimentazione e il trasporto di merci in carichi unitari, descrivendone le componenti principali.

NORME PRESTAZIONALI

Fanno riferimento alle prove statiche (compressione, flessione, deforma-

zione e resistenza ad assemblaggi) e dinamiche (es. comportamento agli urti) cui sottoporre il pallet per testarne le prestazioni meccaniche. In questo caso le norme in vigore sono la EN ISO 861112 e la UNI 1106613. La prima fa riferimento ai prototipi e ai pallet piatti per la movimentazione e si divide in tre parti:

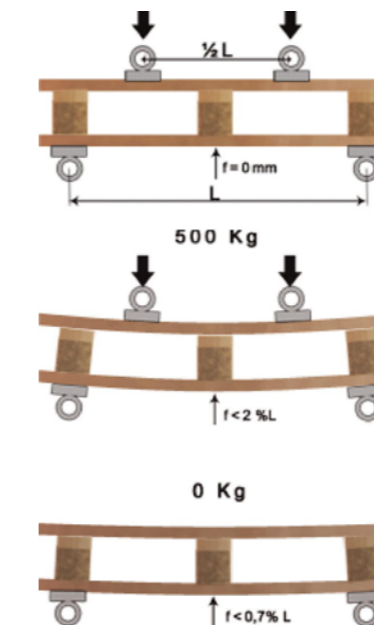
- Metodi di prova: la norma specifica quindici metodi di prova che servono per determinare la capacità di carico del pallet oltre che a valutare la stabilità della sua struttura. Questa norma definisce il concetto di carico limite ultimo di rottura (ultimate load) che rappresenta “il carico massimo in corrispondenza del quale si ha la rottura del pallet ovvero quando la deformazione alla flessione supera i valori indicati nella norma stessa”;
- Requisiti prestazionali e selezione dei test: la norma indica quali test utilizzare in base all'impiego cui il pallet è destinato; definisce inoltre i valori massimi entro i quali il pallet deve restare quando si trova sotto sforzo o in fase di rinvenimento. Questa norma definisce il concetto di carico nominale (nominal load) come “carico più basso rilevato nelle diverse condizioni di prova a cui viene sottoposto il pallet”;
- Carico massimo ammissibile: la norma indica la relazione tra il carico nominale di un pallet e le differenti possibilità di carico massimo consentito in funzione del tipo, della disposizione e della modalità di stabilizzazione del carico sul pallet.

La seconda norma costituisce invece uno strumento tecnico per la realizzazione di pallet riutilizzabili di legno e fornisce i termini, le definizioni, gli elementi necessari per la progettazione, i criteri di costruzione, le prestazioni, le prove, i limiti di accettabilità e la marcatura. Essa definisce

anche le modalità per la riparazione e l'utilizzo di tali pallet, riutilizzabili purchè non superino il carico nominale originario per la destinazione d'uso prevista.

NORME RELATIVE AI MATERIALI

Fissano le caratteristiche dei materiali di base utilizzati per la fabbricazione del pallet e dei suoi elementi. A livello europeo sono in vigore la norma UNI EN 1224614 e la UNI EN 1224915. Tali norme sono molto importanti poiché forniscono ai produttori di pallet gli elementi necessari a trasmettere le loro esigenze tenendo conto dei limiti che regolano l'attività delle segherie.



NORME RELATIVE AGLI ASSEMBLAGGI

Concepite per garantire un'elevata qualità degli assemblaggi, fattore sostanziale per determinare le caratteristiche dei pallet e la loro solidità e resistenza a urti e deformazioni. In particolare si fa riferimento alla norma EN ISO 1277716, divisa in tre parti:

- Metodi di prova per l'assemblaggio dei pallet (1997): descrive il metodo per determinare la resistenza a flessione dei chiodi dei pallet in legno, degli altri elementi di collegamento dei pallet e di chiodi a U;
- Metodi di prova per le giunzioni dei pallet (2001): specifica i metodi per determinare la resistenza all'estrazione di punta e di testa dei chiodi e delle graffe;
- Metodi di prova per le giunzioni dei pallet (2004): stabilisce le modalità e le condizioni per condurre le prove sugli imballaggi in legno, ovvero per determinare la resistenza alla separazione delle giunzioni dei pallet.

NORME RELATIVE AL PRODOTTO

Sono la UNI EN 13698-117 e la UNI EN 13698-218; stabiliscono i requisiti di prestazione e le specifiche per la produzione del pallet, con particolare riferimento a quelli di legno con dimensioni 800 x 1200 mm e 1000 x 1200 mm, ovvero i pallet maggiormente prodotti a livello europeo.

NORME FITOSANITARIE

Nel 2002 la convenzione internazionale per la protezione dei vegetali, supervisionata dalla Fao, ha elaborato lo standard Ispm-1520, per la regolamentazione degli imballaggi in legno nel commercio internazionale.

Tale norma è molto importante ai fini della riduzione dei parassiti e per la protezione dal rischio di introduzione di organismi nocivi, soprattutto quando si esportano o importano merci da un continente a un altro. Le misure di intervento previste dall' Ispm-15 sono il trattamento termico (HT), che prevede di portare la temperatura del cuore del legno ad almeno 56° per un minimo di 30 minuti; e la fumigazione con bromuro di metile per un tempo di esposizione di almeno 16 ore alla concentrazione di 48 g/m³ a una temperatura di 21°C. Le linee guida prevedono che gli imballaggi in legno grezzo e il materiale da stivaggio trattati in conformità all'isp-15 siano certificati attraverso l'apposizione del marchio "IPPC/FAO-FITOK" in maniera indelebile e chiaramente visibile.



Figura 4.35 Esempio di utilizzo di pallet

4.5 LEGNO TEAK

Tectona è un genere di alberi tropicali a legno duro che comprende tre specie comunemente note come teak o teck. Sono specie tipiche delle foreste tropicali e subtropicali del sud e del sud-est dell'Asia.

Sono alberi dal fusto grosso, diritto e cilindrico, che cresce fino ai 30-40 metri in altezza e fino a 1,5 m di diametro. Il tratto inferiore del tronco, sotto i rami più bassi, può superare anche i 10 m.

Le foglie sono opposte e molto grandi (da 30 a 60 cm), oblunghe, vellutate. Il teak perde le foglie nella stagione delle piogge.

I fiori sono raccolti in infiorescenze e sono bianchi e profumati.

I frutti sono drupe rotonde, commestibili. Il teak fiorisce e fruttifica dall'età di 20 anni circa.

Il legno ha un colore che varia dal giallo pallido al bronzo e tende a volte al rosso. Contiene una resina oleosa naturale che lo rende estremamente resistente. Non è attaccato neppure dalle termiti.

Il legno è usato nella costruzione di manufatti per l'esterno, ponti di navi, strumenti musicali come il didgeridoo e in tutti quei posti dove è richiesta una forte resistenza all'acqua. È anche usato per i parquet.

Il teak si lavora facilmente ed ha un olio naturalmente prodotto dalla pianta.

Esistono anche usi medicinali di questa pianta.

L'alburno del teak è chiaro, mentre il durame è bruno-dorato, con venature verdastre, a volte nere e grigie. Al tatto ed alla vista appare oleoso

e con un caratteristico odore di cuoio vecchio. Contiene un'apprezzabile percentuale di silice ed è refrattario all'impregnazione, anche in autoclave.

La sua essiccazione all'aria è un processo piuttosto semplice, particolarmente per i fusti ai quali è stata praticata "l'anellatura di base".

L'operazione, che viene effettuata ogniqualvolta si vogliono rendere i tronchi più galleggianti per farli fluitare facilmente, consiste nell'asportare un anello di corteccia in prossimità della base dell'albero per provocare la morte in piedi.

L'alimentazione risulta così interrotta avendo tagliato i canali principali di ascesa. Probabilmente l'effetto combinato di uno "svuotamento" del fusto, per gravità unito al consumo da parte delle foglie di ciò che rimane ancora a loro disposizione rende possibile una certa "pulizia" del tronco, che si libererà da molte sostanze coloranti assumendo, all'atto della segagione, un aspetto cromatico meno variegato.

Il teak, inoltre, è caratterizzato da un disegno naturale, variegato con striature irregolari, ondulate. La sua struttura e la sua composizione lo rendono un ottimo legno da impiegare per le costruzioni navali e come alleato dell'edilizia per la realizzazione di pavimenti pregiati e resistenti. Infatti, il Teak è immune agli attacchi degli insetti ed è anche molto resistente all'azione penetrante e corrosiva dell'acqua. Al tatto si caratterizza di una sensazione di oleosità e questa caratteristica lo rende un legno ampiamente impiegato anche per la pavimentazione per esterni, anche senza l'impiego di trattamenti preservanti.

Le caratteristiche principali sono riportate nella seguente tabella:

PROPRIETÀ DELL'ESSENZA	COMPORTAMENTO
RESISTENZA	Buona. Il Teak resiste alla flessione e agli urti.
DUREZZA (predisposizione ad opporsi alla penetrazione, espressa in kg/mm ²)	Media. Il Teak è classificabile come legno tenero.
DURABILITÀ E DUREVOLEZZA (la reazione del legno alle sollecitazioni esterne)	Eccellente. Il Teak, infatti, è un legno che dura nel tempo, reagendo in maniera ottimale all'acqua, agli insetti, agli agenti atmosferici e alle escursioni termiche.
STABILITÀ (resistenza alle deformazioni)	Alta.
POROSITÀ	Elevata. Nonostante il Teak sia un legno mediamente poroso, la sua natura oleosa non gli consente di assorbire facilmente l'acqua e l'umidità.
IGROSCOPITÀ	Bassa. Il Teak è un legno idrorepellente.
ESSICCATURA O STAGIONATURA	Il Teak è poco sensibile alla stagionatura.
RITIRO E DILATAZIONE (sensibilità alle variazioni di temperatura e di umidità)	Il Teak è caratterizzato da una forte resistenza all'acqua, nonostante esso sia un legno poroso.
PESO SPECIFICO	Il Teak viene definito un legno pesante, a fibra compatta, con un peso di circa 650 kg/mc (legno essiccato)
LAVORABILITÀ E FACILITÀ DI TAGLIO	Buona lavorabilità, nonostante il Teak sia un legno duro.
ATTITUDINE ALLA FINITURA	Il Teak può presentare qualche difficoltà nel processo di verniciatura a causa della sua natura oleosa.
ATTITUDINE ALL'ASSEMBLAGGIO	Buono l'incollaggio e l'assemblaggio con viti e chiodi.

Il legno Teak asiatico è quello commercialmente più noto e comprende le specie seguenti:

- Teak Comune (chiamato anche Tectona grandis) conosciuto per le sue ottime caratteristiche tecniche, quali la buona capacità a resistere agli agenti atmosferici, alle variazioni termiche, al tasso di umidità, all'acqua e alla salsedine; esso è ampiamente impiegato per la realizzazione di pavimentazioni esterne;
- Teak Burma (chiamato anche teak Birmano o con il nome tecnico di Tectona hamiltoniana e conosciuto nel resto del mondo come Teck Dahat) è la specie di maggiore pregio, sia per la caratteristica venatura, sia perché si tratta di una specie a rischio estinzione.
- Teak indonesiano che proviene dalle foreste, o da coltivazione.
- Teak filippino (chiamato Tectona philippinensis) anch'esso a rischio

estinzione.
 - Teak naturale importato in Europa è costituito da un unico esemplare, ovvero il Burma o Birmano, poiché tutti gli altri sono legni lavorati o di piantagione.
 - Teak sintetico, ugualmente bello e costoso, viene realizzato con materiali in pvc; quest'ultimo presenta numeroso vantaggi e svantaggi rispetto al legno naturale, poiché esso è facile da pulire, non assorbe i liquidi, non richiede detergenti particolari per la pulizia, resiste alla salsedine, non necessita di una manutenzione continua ed è caratterizzato da un prezzo sempre fisso, inoltre esso non cambia di molto il colore ed è antiscivolo.



Figura 4.36 Esempio di struttura in teak

4.6 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA STRUTTURA BLOCCHI URBAN FARM

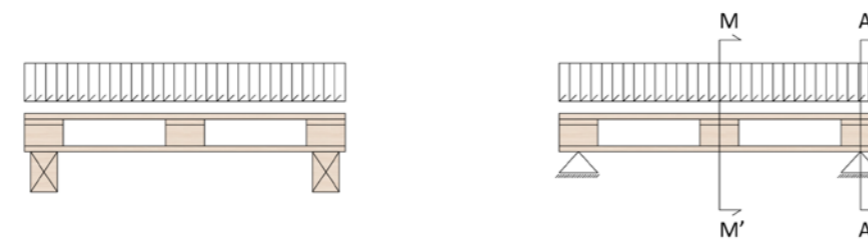
4.6.1 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA STRUTTURA ORIZZONTALE

SOLAIO CHIUSURA ORIZZONTALE

Per il dimensionamento e la verifica degli elementi orizzontali si considera un solaio formato da Epal pallet (1200x800mm), in configurazione appoggio-appoggio sui travetti in legno teak in corrispondenza dei blocchetti laterali (100x145x76mm).

Si considera la configurazione con incastri tra assi e blocchetti, ipotizzando che la resistenza delle giunzioni sia verificata dalla normativa di riferimento degli elementi.

La verifica a SLU viene effettuata per completezza, sebbene risulti superflua, poiché il carico massimo presente all'interno del nostro progetto è inferiore al massimo ammissibile dalle prove di carico da normativa di riferimento.



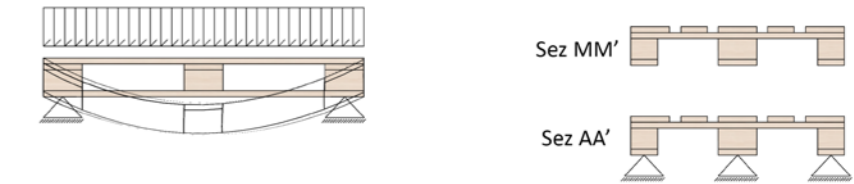
Si calcolano quindi le aree di influenza relative alle assi del pallet per applicare il carico distribuito della copertura.

Aree influenza Pallet Intero					
Asse	Largh	Lungh	Largh infl [mm]	Area infl [mm ²]	Area infl [%]
A1	145	1200	166,00	99750	0,21
A2	100	1200	141,00	84750	0,18
A3	145	1200	185,00	111000	0,23
A4	100	1200	141,00	84750	0,18
A5	145	1200	166,00	99750	0,21

Legno massiccio_Pallet	
Tensioni ammissibili	
σ ₀ fless [N/mm ²]	10,00
σ ₂ traz paral [N/mm ²]	8,50
σ ₂ traz perp [N/mm ²]	0,05
σ ₀ pres paral [N/mm ²]	8,50
σ ₀ pres perp [N/mm ²]	3,00
τ ₀ [N/mm ²]	0,90
τ _t tors [N/mm ²]	1,00
E paral [N/mm ²]	10000,00
E perp [N/mm ²]	300,00
G [N/mm ²]	500,00
Rottura	
f _{m0} fless [N/mm ²]	62,00
f _{m2} traz [N/mm ²]	80,00
f _{m0} pres [N/mm ²]	40,00
f _{v0} [N/mm ²]	4,90
E fless [N/mm ²]	11000,00

- STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Si considera come sezione reagente, in mezzeria e all'appoggio, la condizione sfavorevole (asse superiore + asse trasversale + blocchetto 100x145 + asse inferiore) con area pari a:
 A = (100*144)mm = 14400 mm².



Calcolo della tensione ammissibile di calcolo a flessione_ Sezione mezzeria:

$$f_{m,d} = (k_{mod} * f_{m,k}) / \gamma_M = 24.00 \text{ N/mm}^2$$

Calcolo della resistenza a flessione:

$$s_{max} = M_{max} / W_x = 4.87 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a flessione:

$$\sigma_{max} = 4.87 \text{ N/mm}^2 \leq 24.00 \text{ N/mm}^2 = f_{m,d} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

Calcolo della tensione ammissibile di calcolo a taglio_ Sezione appoggio:

$$f_{v,d} = (k_{mod} * f_{v,k}) / \gamma_M = 1.60 \text{ N/mm}^2$$

Calcolo della resistenza a taglio:

$$V_{max} = (q * L) / 2 = 3840 \text{ N}$$

$$\tau_{max} = (1.5 * V_{max}) / A = 0.40 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a taglio:

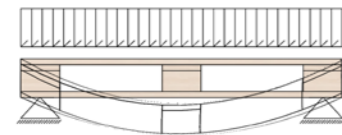
$$\tau_{max} = 0.40 \text{ N/mm}^2 \leq 1.60 \text{ N/mm}^2 = f_{v,d} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

- STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Le deformazioni degli elementi strutturali lignei dipendono dalla loro umidità e sono soggetti agli effetti di viscosità, si devono quindi valutare sia la deformazione istantanea sia quella a lungo termine dovuta all'azione prolungata di carichi nel tempo.

Le deformazioni in condizione di SLE, vista la complessità dell'elemento pallet, sono state calcolate tramite il software SAP2000, tramite il modello verificato in precedenza tramite le normative di riferimento.

Vengono quindi calcolati i valori di freccia istantanea da carico variabile e differita totale relativa alla combinazione di carico SLE rara, nella sezione di mezzeria, che rappresenta la sezione maggiormente sollecitata.



Deformazione elastica iniziale per carichi in combinazione SLE rara:

$$u_{1,ist} = (5/384) * [(g_k * L^4)/(E_{0,mean} * J)] + c * [(g_k * L^2)/(G_{0,mean} * A)] = 0.11 \text{ mm}$$

$$u_{2,ist} = (5/384) * [(q_k * L^4)/(E_{0,mean} * J)] + c * [(q_k * L^2)/(G_{0,mean} * A)] = 0.36 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea massima ammissibile:

$$u_{2,ist\ limite} = L / 300 = (1200/300) \text{ mm} = 4.00 \text{ mm}$$

Verifica freccia istantanea da carichi accidentali:

$$u_{2,ist} = 0.36 \text{ mm} \leq 4.00 \text{ mm} = u_{2,ist\ limite} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

Deformazione viscosa elastica finale per carichi in combinazione SLE rara:

$$u_{net,fin} = u_{1,ist} * (1 + k_{def}) + u_{2,ist} * (1 + \psi_{2,1} * k_{def}) = 0.69 \text{ mm}$$

Deformazione finale massima ammissibile:

$$u_{2,ist\ limite} = L / 250 = (1200/250) \text{ mm} = 4.80 \text{ mm}$$

Verifica freccia istantanea da carichi accidentali:

$$u_{net,fin} = 0.69 \text{ mm} \leq 4.80 \text{ mm} = u_{net,fin\ limite} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

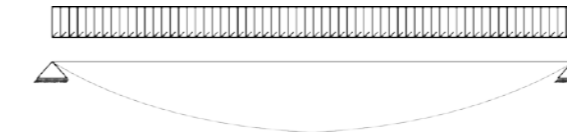
Per la resistenza in caso d'incendio, non trattandosi di struttura a vista ci si riferisce alla verifica degli strati che rivestono il solaio.

TRAVETTI IN LEGNO TEAK

Per il dimensionamento e la verifica degli elementi orizzontali si considera un travetto (100x150mm).

In questo caso la verifica viene effettuata a favore di sicurezza in condizione appoggio-appoggio.

La struttura definitiva si presenta come configurazione incastro-incastro, quindi con momenti e tagli ridotti dall'effetto telaio, tuttavia in fase di dimensionamento e verifica si preferisce utilizzare un caso cautelativo.



Legno massiccio Teak	
Tensioni ammissibili	
σ0 fless [N/mm ²]	11,00
σ2 traz paral [N/mm ²]	10,00
σ2 traz perp [N/mm ²]	0,05
σ0 pres paral [N/mm ²]	10,00
σ0 pres perp [N/mm ²]	3,00
τ0 [N/mm ²]	1,00
τt tors [N/mm ²]	1,60
E paral [N/mm ²]	12500,00
E perp [N/mm ²]	600,00
G [N/mm ²]	1000,00
Rottura	
f _{m0} fless [N/mm ²]	85,00
f _{m2} traz [N/mm ²]	117,00
f _{m0} pres [N/mm ²]	52,00
f _{v0} [N/mm ²]	8,20
E fless [N/mm ²]	11000,00

- STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Calcolo della tensione ammissibile di calcolo a flessione_ Sezione mezzeria:

$$f_{m,d} = (k_{mod} * f_{m,k}) / \gamma_M = 45.33 \text{ N/mm}^2$$

Calcolo della resistenza a flessione:

$$M_{max} = (q * L^2) / 8 = 47336.48 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{max} = M_{max} / W_x = 0.13 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a flessione:

$$\sigma_{max} = 20.69 \text{ N/mm}^2 \leq 45.33 \text{ N/mm}^2 = f_{m,d} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

Calcolo della tensione ammissibile di calcolo a taglio_ Sezione appoggio:

$$f_{v,d} = (k_{mod} * f_{v,k}) / \gamma_M = 3.28 \text{ N/mm}^2$$

Calcolo della resistenza a taglio:

$$V_{max} = (q * L) / 2 = 41157.19 \text{ N}$$

$$\tau_{max} = (1.5 * V_{max}) / A = 1.07 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a taglio:

$$\tau_{max} = 1.07 \text{ N/mm}^2 \leq 3.28 \text{ N/mm}^2 = f_{v,k} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

- STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Le deformazioni degli elementi strutturali lignei dipendono dalla loro umidità e sono soggetti agli effetti di viscosità, si devono quindi valutare sia la deformazione istantanea sia quella a lungo termine dovuta all'azione prolungata di carichi nel tempo.

Deformazione elastica iniziale per carichi in combinazione SLE rara:

$$u_{1,ist} = (5/384) * [(g_k * L^4)/(E_{0,mean} * J)] + c * [(g_k * L^2)/(G_{0,mean} * A)] = 2.24 \text{ mm}$$

$$u_{2,ist} = (5/384) * [(q_k * L^4)/(E_{0,mean} * J)] + c * [(q_k * L^2)/(G_{0,mean} * A)] = 6.56 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea massima ammissibile:

$$u_{2,ist\ limite} = L / 300 = (3500/300) \text{ mm} = 11.67 \text{ mm}$$

Verifica freccia istantanea da carichi accidentali:

$$u_{2,ist} = 6.56 \text{ mm} \leq 11.67 \text{ mm} = u_{2,ist\ limite}$$

Verifica soddisfatta

Deformazione viscosa elastica finale per carichi in combinazione SLE rara:

$$u_{net,fin} = u_{1,ist} * (1 + k_{def}) + u_{2,ist} * (1 + \psi_{2,1} * k_{def}) = 12.89 \text{ mm}$$

Deformazione finale massima ammissibile:

$$u_{2,ist\ limite} = L / 250 = (3500/250) \text{ mm} = 14.00 \text{ mm}$$

Verifica freccia istantanea da carichi accidentali:

$$u_{net,fin} = 12.89 \text{ mm} \leq 14.00 \text{ mm} = u_{net,fin\ limite}$$

Verifica soddisfatta

Per la resistenza in caso d'incendio, non trattandosi di struttura a vista ci si riferisce alla verifica degli strati che rivestono il solaio.

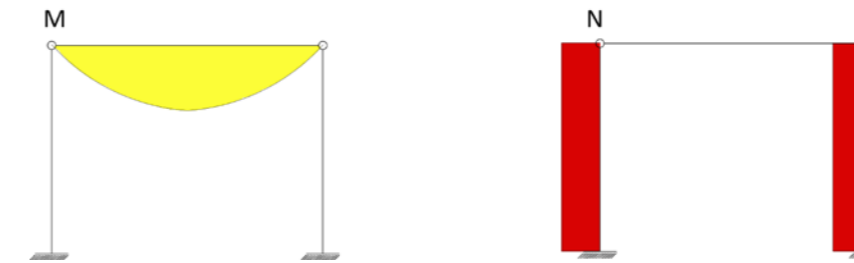
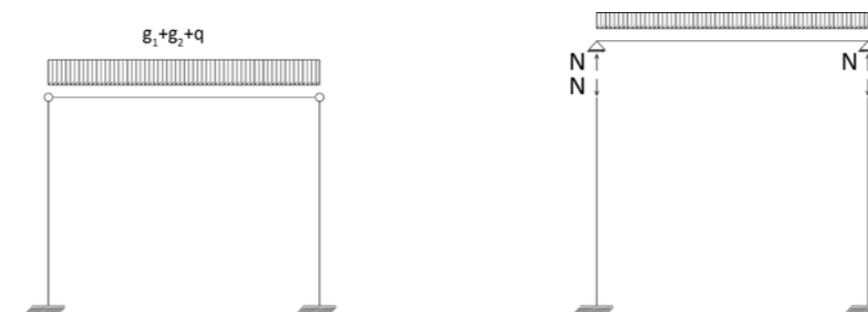
4.6.2 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA STRUTTURA VERTICALE

La struttura verticale dei blocchi della Urban Farm è formata da pareti forate da pallet sovrapposti, appoggiate su profili SFB in acciaio, con l'aggiunta di trefoli di post tensione in acciaio.

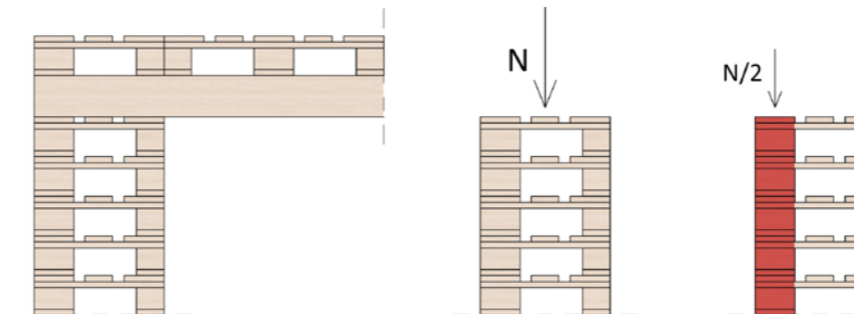
PORTALE INCERNIERATO

In una prima fase si effettua una verifica sommaria assumendo il caso del travetto in semplice appoggio.

La parete si presenta quindi totalmente compressa e si assume come sezioni reagenti le "colonne" in legno formate dalle sezioni laterali dei pallet sovrapposti (asse superiore + asse trasversale + blocchetto + asse inferiore).



Si utilizza la combinazione SLU per verificare lo sforzo agente nelle due "colonne", con area di base rispettivamente di 145x145 mm e 100x145 mm.



Calcolo della tensione ammissibile di calcolo a compressione centrata:

$$f_{m,d} = (k_{mod} * f_{m,0}) / \gamma_M = 16.00 \text{ N/mm}^2$$

Calcolo della resistenza a compressione centrata:

$$N_{max} = N_{SLUtrave} + N_{Gparete} = (41.61 + 0.88) \text{ kN} = 42.49 \text{ kN}$$

$$\sigma_{max\ colonna\ 145x145} = N_{max} / A = 1.01 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{max\ colonna\ 100x145} = N_{max} / A = 2.12 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a compressione centrata:

$$\sigma_{max\ colonna\ 145x145} = 1.01 \text{ N/mm}^2 \leq 16.00 \text{ N/mm}^2 = f_{m,d}$$

Verifica soddisfatta

$$\sigma_{max\ colonna\ 100x145} = 2.12 \text{ N/mm}^2 \leq 16.00 \text{ N/mm}^2 = f_{m,d}$$

Verifica soddisfatta

PORTALE INCASTRATO CON CARICHI VARIABILI DESTINAZIONE D'USO SENZA POST TENSIONE

Successivamente è stata analizzata la struttura con vincoli incastro-incastro tra travetti e pareti, sfruttando quindi il contributo garantito dall'effetto telaio e la trasmissione dei momenti e dei tagli tra struttura orizzontale e verticale; questo fenomeno diminuisce le sollecitazioni agenti sulla trave, tuttavia provoca la nascita di un momento nella parete, che quindi non si trova più in una condizione di compressione centrata, ma di pressoflessione.

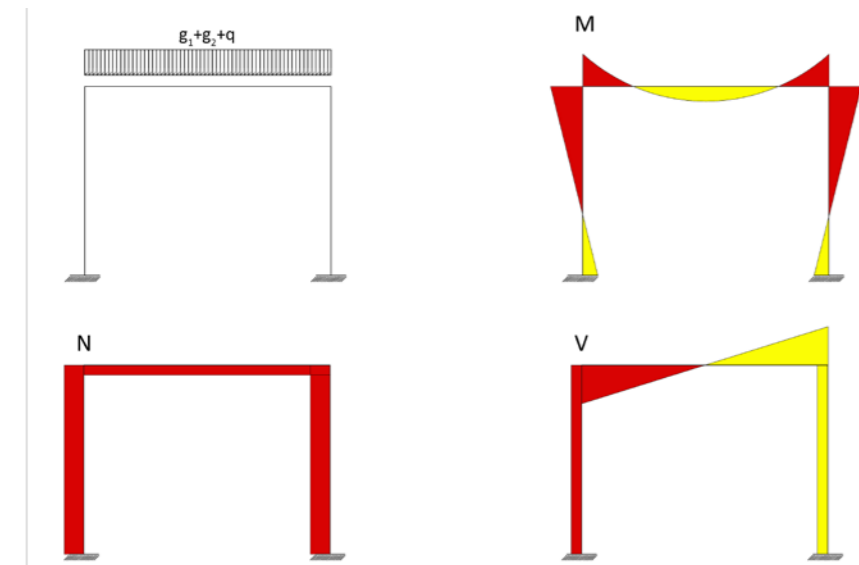
Questo schema è stato realizzato aggiungendo, ai semplici appoggi di acciaio, dei tiranti passanti per la parete in pallet e per i travetti della campata.

In questa fase i tiranti non sono sottoposti ad un carico di post tensione, ma hanno l'unica funzione di raggiungimento della configurazione definita dallo schema statico.

La struttura è stata quindi schematizzata come un semplice telaio inca-

strato e calcolata con il metodo degli spostamenti, per trovare le azioni interne e gli sforzi agenti sulle sezioni maggiormente sollecitate.

Valutate le entità dei carichi variabili si è analizzato in prima istanza il caso caratterizzato dai carichi permanenti G1+G2 combinati con il carico variabile Q derivante dalla destinazione d'uso del solaio superiore.

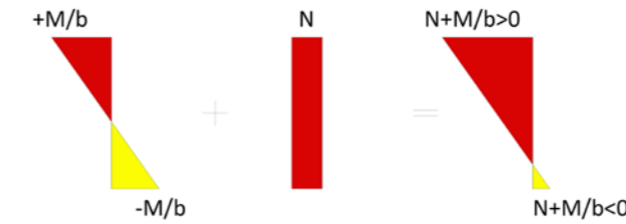
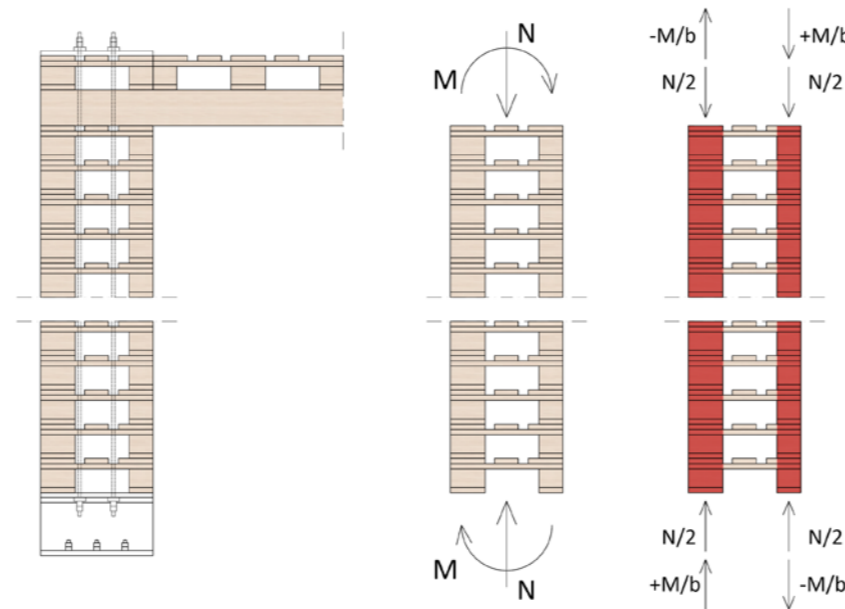


Verifica_Muratura_Pallet_Incastro-Incastro_G1+G2+Q					
	Nodo 1	Nodo 2	Mezzeria	Nodo 3	Nodo 4
N SLU [kN]	36,35	36,35	9,52	36,35	36,35
M SLU [kNm]	-6,57	15,75	22,36	-15,75	6,57
V SLU [kN]	-9,52	-9,52	-42,36/0/42,36	9,52	9,52

	b145_h3,50m	b100_h3,50m	σ_{b145} [N/mm ²]	σ_{b100} [N/mm ²]	σ_{amm} [N/mm ²]
N G1+G2 solaio [kN]	1,86	1,86	0,04	0,09	16,00
N -> M SLU G1+G2+Q[kN]	-45,62	45,62	1,08	2,28	
N tot [kN]	-43,76	47,48	-2,08	4,75	
	b145_h0,00m	b100_h0,00m	σ_{b145} [N/mm ²]	σ_{b100} [N/mm ²]	σ_{amm} [N/mm ²]
N G1+G2 solaio [kN]	1,86	1,86	0,04	0,09	16,00
N -> M SLU [kN]	19,03	-19,03	-0,45	-0,95	
N -> G1+G2 parete [kN]	0,88	0,88	0,02	0,04	
N tot [kN]	21,77	-16,29	1,04	-1,63	

La sezione è quindi sollecitata da:

- Una componente assiale;
- Una componente di momento, con centro in mezzeria della parete, che tende le fibre dei blocchetti 145x145 mm e comprime quelle dei blocchetti 100x145mm (la disposizione dei pallet con i blocchetti da 145x145 mm in posizione esterna rispetto a quelli da 100x145 mm);



Si può notare come la sezione in sommità della colonna con base 145x145 mm e la sezione all'incastro della colonna con base 100x100mm si presentino in trazione.

La parete presenta quindi delle sezioni caratterizzate da sforzo agente di trazione che, nel lungo termine, essendo i pallet progettati per sopportare sforzi di compressione, potrebbero portare a sfilamenti per trazione della chiodatura o fessurazioni delle parti lignee.

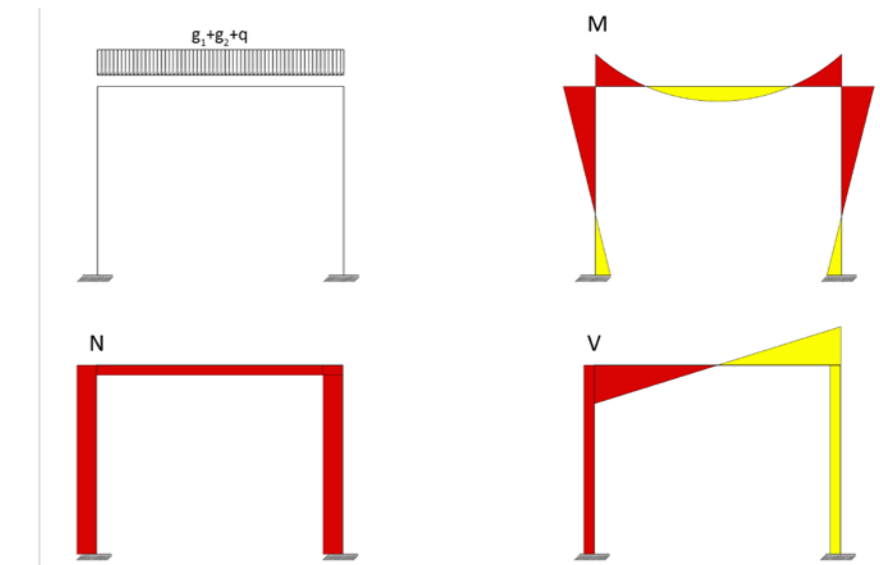
Si è quindi dimensionato il carico di post tensione in base al valore di trazione maggiore tra le azioni assiali presenti, cioè quello della sezione in sommità; si sottolinea come il carico sia stato ipotizzato uniforme per mantenere l'orizzontalità delle piastre di contrasto e quindi dell'intera muratura sebbene, per le sezioni interne meno sollecitate, fosse sufficiente un carico minore.

PORTALE INCASTRATO CON CARICHI VARIABILI DESTINAZIONE D'USO E POST TENSIONE

Per le ragioni sopra citate, lo studio della struttura ha come obiettivo l'assenza di zone sottoposte a trazione e di ottenere una situazione di parete

totalmente compressa.

Si è quindi inserito in carico di post tensione T nei tiranti in acciaio posti all'interno delle pareti, dimensionato in base all'azione agente nelle sezioni in trazione.



Verifica_Muratura_Pallet_Incastro-Incastro_G1+G2+Q					
	Nodo 1	Nodo 2	Mezzeria	Nodo 3	Nodo 4
N SLU [kN]	36,35	36,35	9,52	36,35	36,35
M SLU [kNm]	-6,57	15,75	22,36	-15,75	6,57
V SLU [kN]	-9,52	-9,52	-42,36/0/42,36	9,52	9,52

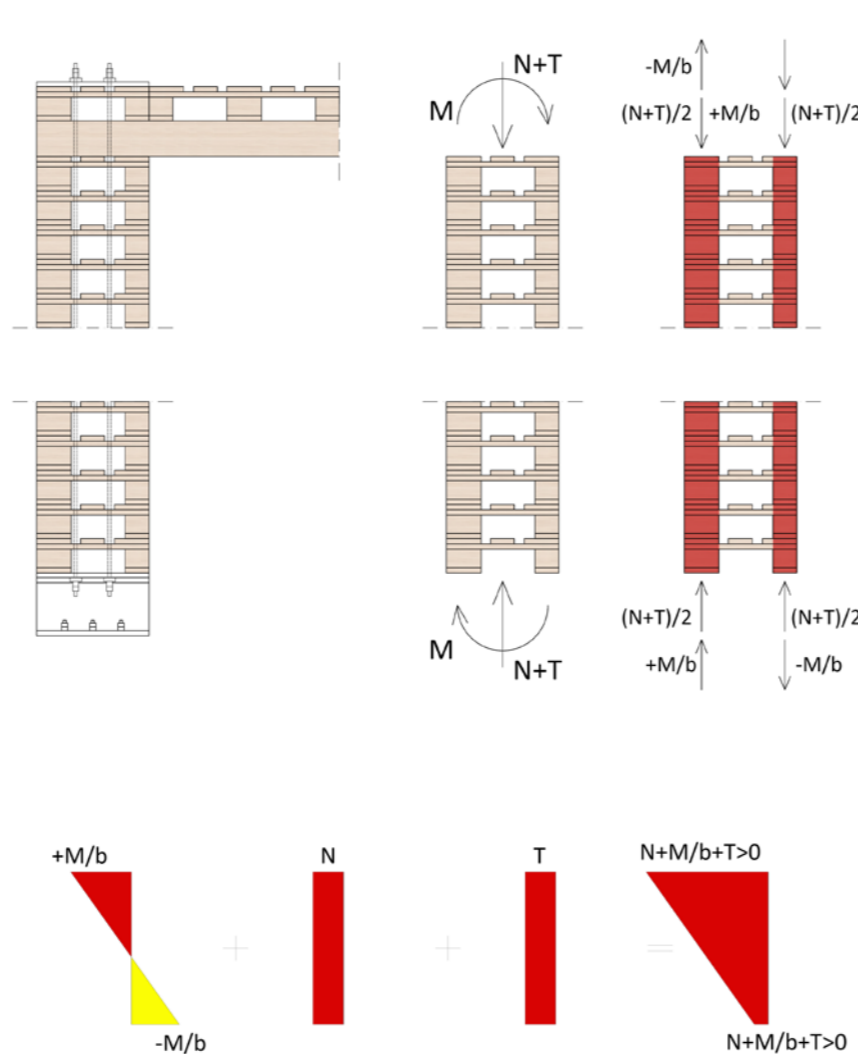
	b145_h3,50m	b100_h3,50m	σ_{b145} [N/mm ²]	σ_{b100} [N/mm ²]	σ_{amm} [N/mm ²]
N G1+G2 solaio [kN]	1,86	1,86	0,04	0,09	16,00
N -> M SLU G1+G2+Q [kN]	-45,62	45,62	1,08	2,28	
T [kN]	45,00	45,00	1,07	2,25	
N tot. [kN]	1,24	92,48	0,06	9,25	
	b145_h0,00m	b100_h0,00m	σ_{b145} [N/mm ²]	σ_{b100} [N/mm ²]	σ_{amm} [N/mm ²]
N G1+G2 solaio [kN]	1,86	1,86	0,04	0,09	16,00
N -> M SLU [kN]	19,03	-19,03	-0,45	-0,95	
N -> G1+G2 parete [kN]	0,88	0,88	0,02	0,04	
T [kN]	45,00	45,00	1,07	2,25	
N tot. [kN]	66,77	28,71	3,18	2,87	

La sezione è quindi sollecitata da :

- Una componente assiale;
- Una componente di momento, con centro in mezzeria della parete, che tende le fibre dei blocchetti 145x145 mm e comprime quelle dei blocchetti 100x145mm (la disposizione dei pallet con i blocchetti da 145x145 mm in posizione esterna rispetto a quelli da 100x145 mm);
- Una componente derivante dal carico di post tensione che ha la funzione di mantenere la parete sempre totalmente compressa.

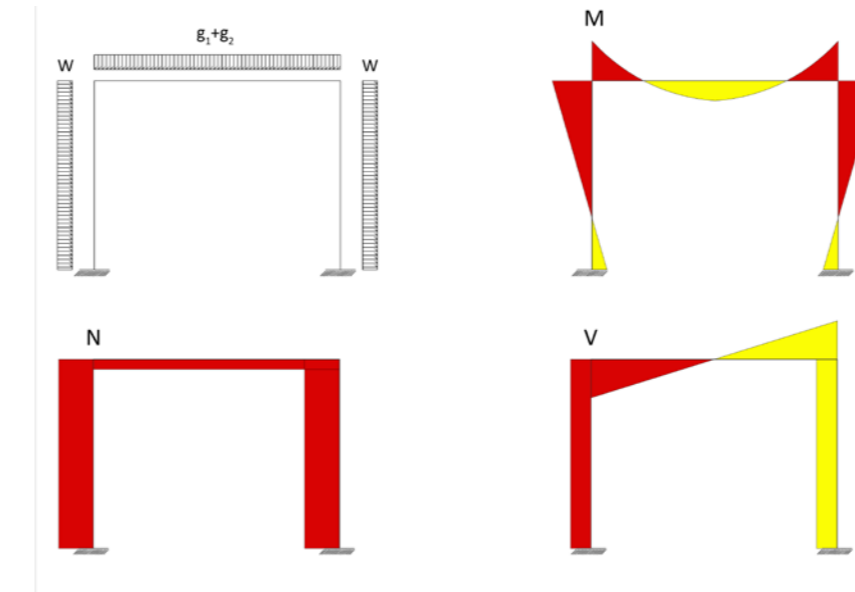
Il carico di post tensione stimato per ottenere tutte le sezioni in compressione è quindi di 45kN.

Si è verificato lo sforzo agente nelle sezioni al piede, che risultano maggiormente sollecitate lato compressione per il carico dovuto alla copertura, alla precompressione e alla chiusura verticale.



TRAVE INCASTRATA CON CARICHI VARIABILI VENTO E POST TENSIONE

Stimato il carico di post tensione con i carichi variabili dovuti alla destinazione d'uso, la parete è stata verificata con il carico orizzontale dovuto alla pressione del vento.



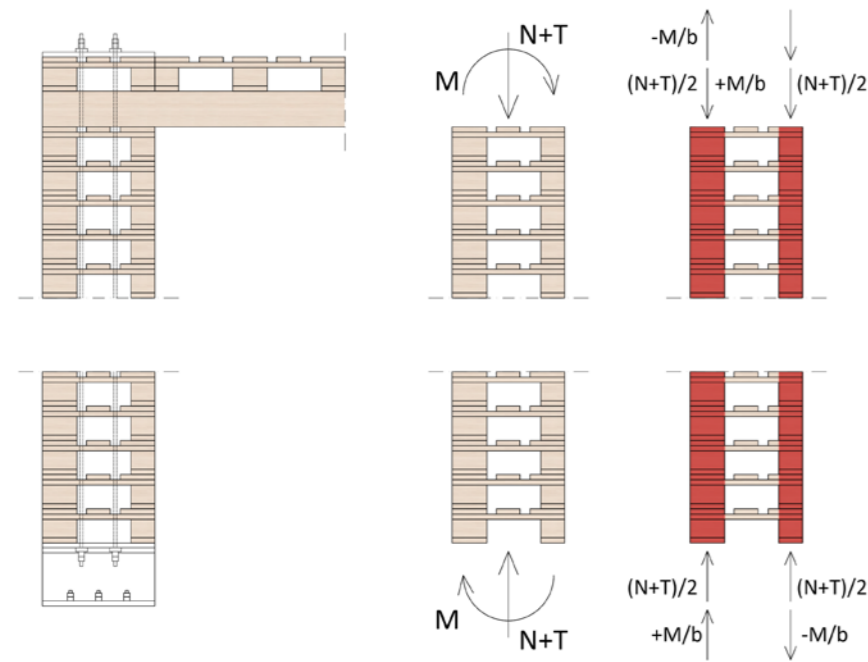
Verifica_Muratura_Pallet_Incastro-Incastro_G1+G2+W					
	Nodo 1	Nodo 2	Mezzeria	Nodo 3	Nodo 4
N SLU [kN]	35,06	33,91	7,68	34,42	35,57
M SLU [kNm]	-6,97	15,77	20,43	-18,93	10,09
V SLU [kN]	-6,45	-7,68	-35,06/0/34,42	7,68	8,91

	b145_h3,50m	b100_h3,50m	σ_{b145} [N/mm ²]	σ_{b100} [N/mm ²]	σ_{amm} [N/mm ²]
N G1+G2 solaio [kN]	1,86	1,86	0,04	0,09	16,00
N -> M SLU G1+G2+Q [kN]	-45,62	45,62	1,08	2,28	
T [kN]	45,00	45,00	1,07	2,25	
N tot. [kN]	1,24	92,48	0,06	9,25	
	b145_h0,00m	b100_h0,00m	σ_{b145} [N/mm ²]	σ_{b100} [N/mm ²]	σ_{amm} [N/mm ²]
N G1+G2 solaio [kN]	1,86	1,86	0,04	0,09	16,00
N -> M SLU [kN]	19,03	-19,03	-0,45	-0,95	
N -> G1+G2 parete [kN]	0,88	0,88	0,02	0,04	
T [kN]	45,00	45,00	1,07	2,25	
N tot. [kN]	66,77	28,71	3,18	2,87	

La sezione è quindi sollecitata da :

- Una componente assiale;
- Una componente di momento, con centro in mezzeria della parete, che tende le fibre dei blocchetti 145x145 mm e comprime quelle dei blocchetti 100x145mm (la disposizione dei pallet con i blocchetti da 145x145 mm in posizione esterna rispetto a quelli da 100x145 mm);
- Una componente derivante dal carico di post tensione che ha la funzione di mantenere la parete sempre totalmente compressa.

Le sezioni risultano tutte compresse, quindi il carico di post tensione stimato nel primo caso di carico viene confermato anche per quello legato alla pressione del vento.


VERIFICHE A TAGLIO

Per l'analisi della stabilità della muratura, si è suddiviso il carico del vento per il numero dei pallet che formano la stessa, per stimare lo sforzo di taglio agente in corrispondenza del punto di contatto tra i pallet.

Si è quindi introdotto il coefficiente d'attrito $m=0.3$ legno-legno, tra le superfici dei bancali impilati.

Successivamente per i diversi casi di carico è stato comparato il valore di azione assiale di compressione dovuta ai carichi verticali con quello necessario per la stabilità della parete sottoposta al carico orizzontale.

- TRAVE INCASTRATA CON CARICHI VARIABILI DESTINAZIONE D'USO SENZA POST TENSIONE

Calcolo taglio V totale agente sul singolo punto di contatto tra i pallet:

$$V_{tot} = V_{SLU} + V_{wind} = 9.52 \text{ kN} + 0.06 \text{ kN} = 9.58 \text{ kN}$$

A favore di sicurezza si analizza la sezione più sfavorevole con carico assiale minore, che risulta essere quella in sommità.

Verifica di resistenza ai carichi orizzontali della muratura:

$$N_v = V_{tot} / m = 31.94 \text{ kN} \geq 3.72 \text{ kN} = N_{M+N} \quad \text{Verifica non soddisfatta}$$

Il carico assiale necessario per la stabilità per il carico orizzontale risulta maggiore di quello relativo ai carichi verticali, la sezione risulta quindi non verificata a taglio.

- TRAVE INCASTRATA CON CARICHI VARIABILI DESTINAZIONE D'USO E POST TENSIONE

Calcolo taglio V totale agente sul singolo punto di contatto tra i pallet:

$$V_{tot} = V_{SLU} + V_{wind} = 9.52 \text{ kN} + 0.06 \text{ kN} = 9.58 \text{ kN}$$

A favore di sicurezza si analizza la sezione più sfavorevole con carico assiale minore, che risulta essere quella in sommità.

Verifica di resistenza ai carichi orizzontali della muratura:

$$N_v = V_{tot} / m = 31.94 \text{ kN} \leq 93.72 \text{ kN} = N_{M+N} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

Il carico assiale necessario per la stabilità per il carico orizzontale risulta

minore di quello relativo ai carichi verticali, la sezione risulta quindi verificata a taglio.

- TRAVE INCASTRATA CON CARICHI VARIABILI VENTO E POST TENSIONE

Calcolo taglio V totale agente sul singolo punto di contatto tra i pallet:

$$V_{tot} = V_{SLU} + V_{wind} = 6.45 \text{ kN} + 0.06 \text{ kN} = 6.51 \text{ kN}$$

A favore di sicurezza si analizza la sezione più sfavorevole con carico assiale minore, che risulta essere quella in sommità.

Verifica di resistenza ai carichi orizzontali della muratura:

$$N_v = V_{tot} / m = 21.70 \text{ kN} \leq 93.72 \text{ kN} = N_{M+N} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

Il carico assiale necessario per la stabilità per il carico orizzontale risulta minore di quello relativo ai carichi verticali, la sezione risulta quindi verificata a taglio.

DIMENSIONAMENTO E VERIFICA ELEMENTI POST TENSIONE

Il sistema per l'applicazione della post tensione è composto da quattro tipologie di elementi:

- Profili SFB in acciaio di appoggio della parete sulla fondazione e di agancio inferiore dei tiranti
- Barre a filettatura continua in acciaio per applicazione del carico di post tensione
- Piastra in acciaio per il contrasto superiore

- Bulloni in acciaio per l'ancoraggio delle barre

- DIMENSIONAMENTO E VERIFICA BARRE POST TENSIONE

Il diametro delle barre è stato scelto in base all'entità del carico di post tensione applicato ed è pari a 12mm.

Sono quindi state verificate le barre in acciaio, per quanto riguarda le tensioni ammissibili e l'allungamento ammissibile.

Calcolo della resistenza a compressione centrata:

$$N_p = 45.00 \text{ kN} = 45000 \text{ N}$$

$$\sigma_{s,p} = N_p / A = 99.47 \text{ N/mm}^2$$

Tensione ammissibile acciaio post tensione:

$$f_{s,k} = f_{0,2k} / \gamma_M = 476.19 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a trazione:

$$\sigma_{s,p} = 99.47 \text{ N/mm}^2 \leq 476.19 \text{ N/mm}^2 = f_{s,k} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

Deformazione elastica per trazione:

$$u_{p,d} = (N_p * L_p) / (E_p * A_p) = [(30000 * 3500) / (210000 * 452.16)] \text{ mm} = 11.06 \text{ mm}$$

Deformazione massima:

$$u_{p,k} = 210 \text{ mm}$$

Verifica deformazione:

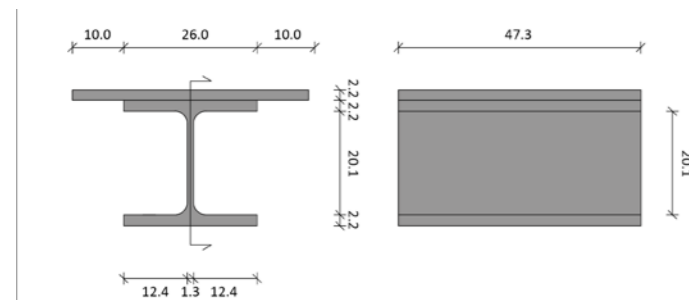
$$u_{p,d} = 11.06 \text{ mm} \leq 210 \text{ mm} = u_{p,k}$$

Verifica soddisfatta

- DIMENSIONAMENTO E VERIFICA ELEMENTO DI APPOGGIO

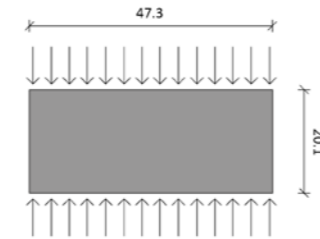
Ultimo elemento analizzato è il profilo in acciaio utilizzato per l'appoggio dei pallet sul cordolo di fondazione e per l'ancoraggio inferiore degli elementi di post tensione.

Il profilo scelto è un SFB (tipo: Arcelor Mittal SFB_HEM260) in acciaio con ali asimmetriche per vincoli geometrici derivanti dai pallet; infatti con l'adozione dell'ala asimmetrica risulta possibile l'inserimento dei tiranti negli spazi vuoti tra le assi dei bancali, senza dover quindi operare con ulteriori lavorazioni oltre al semplice impilaggio degli stessi.



In particolare è stata effettuata la verifica sotto l'effetto dei carichi verticali agenti ad instabilità dell'anima della trave e degli sforzi dell'ala del profilo.

Calcolo del carico critico per instabilità dell'anima del profilo:

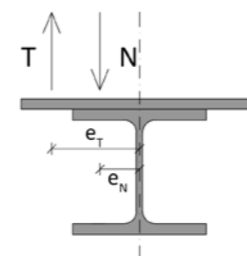


$$\sigma_{cr} = [k * (p^2 * E)] / [(1 - n^2) * (b / i)] = 1824.33 \text{ N/mm}^2$$

Dove:

- b è la larghezza del profilo in direzione perpendicolare alle s, che è pari alla larghezza di metà pallet: b = 470 mm;
- k è un coefficiente correttivo: $k = 0.456 + (b^2 / a^2) = 4.87$;
- n è il modulo di Poisson per l'acciaio: n = 0.3;
- i è il raggio d'inerzia: $i = t / (12^{0.5})$;
- t è lo spessore dell'anima: t = 10 mm;
- E è il modulo elastico dell'acciaio: E = 210000 MPa.

Verifica instabilità anima del profilo di appoggio:



$$\sigma_s = N / A = 10.68 \text{ N/mm}^2 \leq 1824.33 \text{ N/mm}^2 = \sigma_{cr} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

Azioni agenti sull'ala del profilo di appoggio e relative eccentricità rispetto all'asse baricentrico:

$$N_{max} = 95.48 \text{ kN}$$

$$e_{Nmax} = 72.50 \text{ mm}$$

$$T = 45.00 \text{ kN}$$

$$e_T = 170.00 \text{ mm}$$

Calcolo momento agente sull'ala del profilo:

$$M = T * e_T - N_{max} * e_{Nmax} = 728.03 \text{ kNmm}$$

Calcolo sforzo agente sull'ala del profilo:

$$\sigma_s = M / [t * (L / 2)] = 30.19 \text{ N/mm}^2$$

Verifica sforzi agenti sull'ala del profilo:

$$\sigma_s = 30.19 \text{ N/mm}^2 \leq 476.19 \text{ N/mm}^2 = f_{yk} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

4.7 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA STRUTTURA DELLA COPERTURA

La struttura della grande copertura che sovrasta la Urban Farm è formata da un solaio costituito da una doppia orditura di listelli, di due differenti spessori, fissate su un ordine di travetti secondari, poggianti sulla travatura principale.

Gli elementi verticali su cui scarica il traliccio di travi, sono pilastri circolari a sezione piena.

Tutti gli elementi costituenti la struttura della copertura sono in legno teak, un'essenza dura tipica delle zone tropicali, gli elementi di connessione invece sono realizzati con piastre e bullonature in acciaio zincato.

Legno massiccio Teak	
Tensioni ammissibili	
σ_0 fless [N/mm ²]	11,00
σ_2 traz paral [N/mm ²]	10,00
σ_2 traz perp [N/mm ²]	0,05
σ_0 pres paral [N/mm ²]	10,00
σ_0 pres perp [N/mm ²]	3,00
τ_0 [N/mm ²]	1,00
τ_t tors [N/mm ²]	1,60
E paral [N/mm ²]	12500,00
E perp [N/mm ²]	600,00
G [N/mm ²]	1000,00
Rottura	
f _{m0} fless [N/mm ²]	85,00
f _{m2} traz [N/mm ²]	117,00
f _{m0} pres [N/mm ²]	52,00
f _{v0} [N/mm ²]	8,20
E fless [N/mm ²]	11000,00

4.7.1 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA STRUTTURA INCLINATA

SOLAIO PARTIZIONE ESTERNA INCLINATA

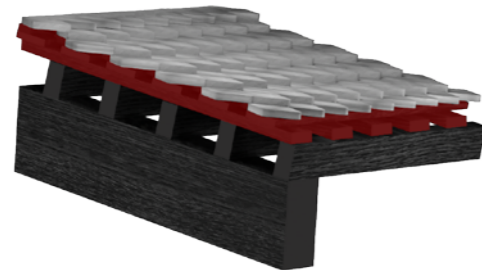
a_DIMENSIONAMENTO E VERIFICA LISTELLI IN TEAK

Per il dimensionamento e la verifica degli elementi inclinati si considera un doppio ordine di listelli di larghezza 100mm, uno secondario di spessore 20mm e uno principale di spessore 30mm.

Il doppio ordine di listelli rappresenta lo strato di appoggio per le tavelle in cotto costituenti il manto di copertura e dei carichi da esso sostenuti. In questo caso la verifica viene effettuata a favore di sicurezza in condizione appoggio-appoggio semplice, sebbene i listelli siano appoggiati su più punti ai travetti principali.

Si omette la verifica dell'ordine superiore di listelli, poiché privo di importanza per il ridotto passo tra gli appoggi degli stessi, che quindi risultano assimilabili ad uno strato omogeneo.

Si rimanda quindi alla verifica sull'ordine principale di listelli che presenta un passo tra gli appoggi maggiore e quindi una importanza di calcolo più significativa.



Listelli_Teak	
γ_M [-]	1,50
fmk [N/mm ²]	85,00
fvk [N/mm ²]	8,20
fmd [N/mm ²]	45,33
fvd [N/mm ²]	4,37
I_mezzeria [mm ⁴]	225000
W_mezz [mm ³]	15000,00
A_appoggio [mm ²]	3000,00

- STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Calcolo della tensione ammissibile di calcolo a flessione_ Sezione mezzeria:

$$f_{m,d} = (k_{mod} * f_{m,k}) / \gamma_M = 45.33 \text{ N/mm}^2$$

Calcolo della resistenza a flessione:

$$M_{max} = (q * L^2) / 8 = 163.06 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{max} = M_{max} / W_x = 10.87 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a flessione:

$$\sigma_{max} = 10.87 \text{ N/mm}^2 \leq 45.33 \text{ N/mm}^2 = f_{m,d} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

Calcolo della tensione ammissibile di calcolo a taglio_ Sezione appoggio:

$$f_{v,d} = (k_{mod} * f_{v,k}) / \gamma_M = 4.37 \text{ N/mm}^2$$

Calcolo della resistenza a taglio:

$$V_{max} = (q * L) / 2 = 1304.48 \text{ N}$$

$$\tau_{max} = (1.5 * V_{max}) / A = 0.43 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a taglio:

$$\tau_{max} = 0.43 \text{ N/mm}^2 \leq 4.37 \text{ N/mm}^2 = f_{v,k} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

- STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Le deformazioni degli elementi strutturali lignei dipendono dalla loro umidità e sono soggetti agli effetti di viscosità, si devono quindi valutare sia la deformazione istantanea sia quella a lungo termine dovuta all'azione prolungata di carichi nel tempo.

Deformazione elastica iniziale per carichi in combinazione SLE rara:

$$u_{1,ist} = (5/384) * [(g_k * L^4) / (E_{0,mean} * J)] + c * [(g_k * L^2) / (G_{0,mean} * A)] = 0.05 \text{ mm}$$

$$u_{2,ist} = (5/384) * [(q_k * L^4) / (E_{0,mean} * J)] + c * [(q_k * L^2) / (G_{0,mean} * A)] = 0.21 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea massima ammissibile:

$$u_{2,ist\ limite} = L / 300 = (500/300) \text{ mm} = 1.67 \text{ mm}$$

Verifica freccia istantanea da carichi accidentali:

$$u_{2,ist} = 0.21 \text{ mm} \leq 1.67 \text{ mm} = u_{2,ist\ limite} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

Deformazione viscosa elastica finale per carichi in combinazione SLE rara:

$$u_{net,fin} = u_{1,ist} * (1 + k_{def}) + u_{2,ist} * (1 + \psi_{2,1} * k_{def}) = 0.30 \text{ mm}$$

Deformazione finale massima ammissibile:

$$u_{2,ist\ limite} = L / 250 = (500/250) \text{ mm} = 2.00 \text{ mm}$$

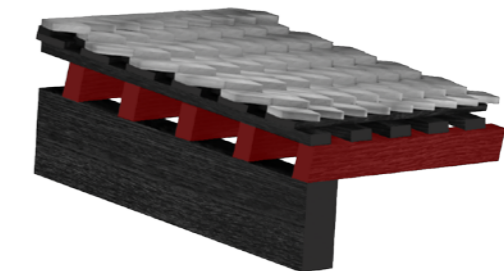
Verifica freccia istantanea da carichi accidentali:

$$u_{net,fin} = 0.30 \text{ mm} \leq 2.00 \text{ mm} = u_{net,fin\ limite} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

b_DIMENSIONAMENTO E VERIFICA TRAVETTI IN TEAK

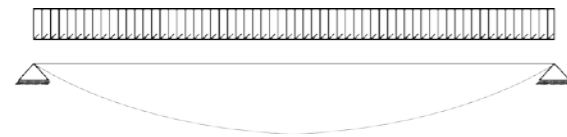
Per il dimensionamento e la verifica degli elementi secondari inclinati si considera un travetto (100x150mm) in legno teak, vincolato con passo di 15 cm alla travatura principale.

I travetti fungono da sostegno per il traliccio di listelli e per i carichi da esso sopportati.



Travetti secondari_Teak	
γ_M [-]	1,50
fmk [N/mm ²]	85,00
fvk [N/mm ²]	8,20
fmd [N/mm ²]	45,33
fvd [N/mm ²]	4,37
I_mezzeria [mm ⁴]	28125000
W_mezz [mm ³]	350416,67
A_appoggio [mm ²]	14500,00

A favore di sicurezza la verifica viene effettuata in condizione statica di appoggio-appoggio semplice, considerando il listello di dimensione pari al passo dei travetti; la configurazione reale sarà di un listello continuo su più appoggi, condizione che permetterà un abbassamento sostanziale delle sollecitazioni.



- STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Calcolo della tensione ammissibile di calcolo a flessione_ Sezione mezzeria:

$$f_{m,d} = (k_{mod} * f_{m,k}) / \gamma_M = 45.33 \text{ N/mm}^2$$

Calcolo della resistenza a flessione:

$$M_{max} = (q * L^2) / 8 = 9313.78 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{max} = M_{max} / W_x = 26.58 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a flessione:

$$\sigma_{max} = 26.58 \text{ N/mm}^2 \leq 45.33 \text{ N/mm}^2 = f_{m,d} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

Calcolo della tensione ammissibile di calcolo a taglio_ Sezione appoggio:

$$f_{v,d} = (k_{mod} * f_{v,k}) / \gamma_M = 4.37 \text{ N/mm}^2$$

Calcolo della resistenza a taglio:

$$V_{max} = (q * L) / 2 = 7451.03 \text{ N}$$

$$\tau_{max} = (1.5 * V_{max}) / A = 0.51 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a taglio:

$$\tau_{max} = 0.51 \text{ N/mm}^2 \leq 4.37 \text{ N/mm}^2 = f_{v,k} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

- STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Le deformazioni degli elementi strutturali lignei dipendono dalla loro umidità e sono soggetti agli effetti di viscosità, si devono quindi valutare sia la deformazione istantanea sia quella a lungo termine dovuta all'azione prolungata di carichi nel tempo.

Deformazione elastica iniziale per carichi in combinazione SLE rara:

$$u_{1,ist} = (5/384) * [(g_k * L^4) / (E_{0,mean} * J)] + c * [(g_k * L^2) / (G_{0,mean} * A)] = 6.07 \text{ mm}$$

$$u_{2,ist} = (5/384) * [(q_k * L^4) / (E_{0,mean} * J)] + c * [(q_k * L^2) / (G_{0,mean} * A)] = 8.18 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea massima ammissibile:

$$u_{2,ist\ limite} = L / 300 = (5000/300) \text{ mm} = 16.67 \text{ mm}$$

Verifica freccia istantanea da carichi accidentali:

$$u_{2,ist} = 8.18 \text{ mm} \leq 16.67 \text{ mm} = u_{2,ist\ limite} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

Deformazione viscosa elastica finale per carichi in combinazione SLE rara:

$$u_{net,fin} = u_{1,ist} * (1 + k_{def}) + u_{2,ist} * (1 + \psi_{2,1} * k_{def}) = 19.10 \text{ mm}$$

Deformazione finale massima ammissibile:

$$u_{2,ist\ limite} = L / 250 = (5000/250) \text{ mm} = 20.00 \text{ mm}$$

Verifica freccia istantanea da carichi accidentali:

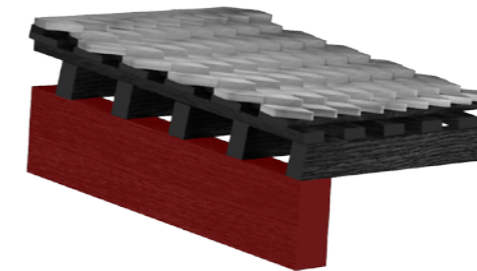
$$u_{net,fin} = 19.10 \text{ mm} \leq 20.00 \text{ mm} = u_{net,fin\ limite} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

c_ DIMENSIONAMENTO E VERIFICA TRAVI PRINCIPALI IN TEAK

Per il dimensionamento e la verifica degli elementi principali inclinati si considera una trave (150x350mm).

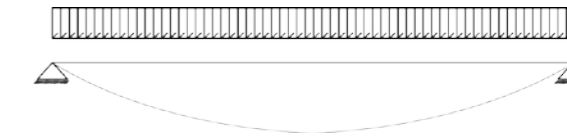
Per ragioni architettoniche la travatura principale si manterrà per tutta la copertura con le medesime misure, si andrà quindi ad analizzare l'elemento con le più gravose condizioni di carico.

L'ulteriore necessità architettonica di avere alcune zone prive di pilastri, in corrispondenza dei camini di ventilazione, quindi porterà ad avere notevoli luci all'interno del graticcio senza la presenza di punti di appoggio.



A favore di sicurezza si effettuerà il dimensionamento e la verifica delle travi in condizione statica di appoggio-appoggio.

Sempre a favore di sicurezza, vista la diversità e la complessità delle aree di influenza dei singoli elementi, a causa delle particolari inclinazioni e interazioni tra i moduli, si applica una maggiorazione del 20%, che verrà poi verificata grazie al modello nel software Sap2000.



- STATO LIMITE ULTIMO (SLU)

Calcolo della tensione ammissibile di calcolo a flessione_ Sezione mezzeria:

$$f_{m,d} = (k_{mod} * f_{m,k}) / \gamma_M = 45.33 \text{ N/mm}^2$$

Calcolo della resistenza a flessione:

$$M_{max} = (q * L^2) / 8 = 37568.34 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{max} = M_{max} / W_x = 12.27 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a flessione:

$$\sigma_{max} = 12.27 \text{ N/mm}^2 \leq 45.33 \text{ N/mm}^2 = f_{m,d}$$

Calcolo della tensione ammissibile di calcolo a taglio_ Sezione appoggio:

$$f_{v,d} = (k_{mod} * f_{v,k}) / \gamma_M = 4.37 \text{ N/mm}^2$$

Calcolo della resistenza a taglio:

$$V_{\max} = (q * L) / 2 = 30054.67 \text{ N}$$

$$\tau_{\max} = (1.5 * V_{\max}) / A = 0.57 \text{ N/mm}^2$$

Verifica di resistenza a taglio:

$$\tau_{\max} = 0.57 \text{ N/mm}^2 \leq 4.37 \text{ N/mm}^2 = f_{v,k} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

- STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Le deformazioni degli elementi strutturali lignei dipendono dalla loro umidità e sono soggetti agli effetti di viscosità, si devono quindi valutare sia la deformazione istantanea sia quella a lungo termine dovuta all'azione prolungata di carichi nel tempo.

Deformazione elastica iniziale per carichi in combinazione SLE rara:

$$u_{1,ist} = (5/384) * [(g_k * L^4) / (E_{0,mean} * J)] + c * [(g_k * L^2) / (G_{0,mean} * A)] = 6.86 \text{ mm}$$

$$u_{2,ist} = (5/384) * [(q_k * L^4) / (E_{0,mean} * J)] + c * [(q_k * L^2) / (G_{0,mean} * A)] = 7.15 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea massima ammissibile:

$$u_{2,ist\ limite} = L / 300 = (5000/300) \text{ mm} = 16.67 \text{ mm}$$

Verifica freccia istantanea da carichi accidentali:

$$u_{2,ist} = 6.86 \text{ mm} \leq 16.67 \text{ mm} = u_{2,ist\ limite} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

Deformazione viscosa elastica finale per carichi in combinazione SLE rara:

$$u_{net,fin} = u_{1,ist} * (1 + k_{def}) + u_{2,ist} * (1 + \psi_{2,1} * k_{def}) = 19.50 \text{ mm}$$

Deformazione finale massima ammissibile:

$$u_{2,ist\ limite} = L / 250 = (5000/250) \text{ mm} = 20.00 \text{ mm}$$

Verifica freccia istantanea da carichi accidentali:

$$u_{net,fin} = 19.50 \text{ mm} \leq 20.00 \text{ mm} = u_{net,fin\ limite} \quad \text{Verifica soddisfatta}$$

- VERIFICA GRATICCIO INCERNIERATO CON SOFTWARE SAP2000

Vista la complessità della struttura, il graticcio di travi che è stato scelto come elemento significativo, cioè quello che copre la parte di lotto relativo a reception e info point, è stato modellato con il software Sap2000, per verificare che le ipotesi introdotte fossero confermate in una configurazione più vicina a quella reale.

Ai diversi elementi del graticcio sono state assegnate le caratteristiche della sezione e del materiale, quindi il peso proprio degli elementi strutturali è stato calcolato, in questa fase, direttamente dal software.

Il peso gravante sugli elementi della copertura è stato simulato applicando il carico calcolato allo stato limite ultimo SLU su delle aree poligonali a cui non sono state assegnate proprietà di sezione, che rappresentano quindi semplici elementi di distribuzione.

Il graticcio è stato modellato con nodi a cerniera, soluzione più vantaggiosa a livello di semplicità e costo delle connessioni, per verificare la stabilità statica della soluzione.

Lo schema incernierato è compatibile con lo schema appoggio-appoggio utilizzato in precedenza per il dimensionamento e la verifica delle travi

principali.

Il nodo a cerniera è stato modellato ponendo dei rilasci delle azioni di momento alle estremità delle aste.

In questa fase sono stati trascurati i pilastri, ponendo al posto di essi dei semplici appoggi a terra; per considerare invece il contributo dato dalla parte di copertura adiacente a quella in esame, sono stati posti in corrispondenza dei punti di contatto con essa, dei carrelli a terra con scorrimento verticale e quindi con asse di orizzontale.

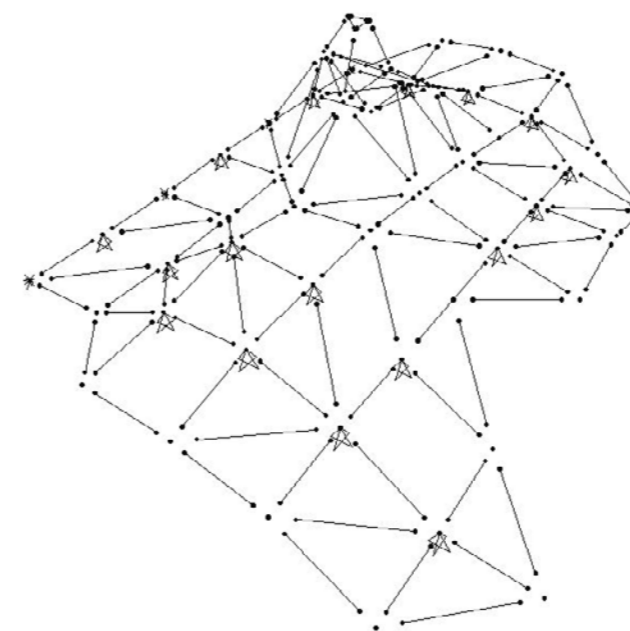


Figura 4.37 Graticcio incernierato SAP2000

Dalla simulazione le azioni agenti sulle travi risultano inferiori a quelle utilizzate per il calcolo e la verifica del singolo elemento, le verifiche sono quindi soddisfatte.

Tuttavia gli spostamenti riscontrati nelle parti a sbalzo risultano con un valore massimo di 84.97 mm, superiore al valore limite per travi a mensola è di L/250.

Verifica freccia massima:

$$f_{\max} = 84.97 \text{ mm} \leq 22 \text{ mm} = (5500 / 250) \text{ mm} = f_{\limite} \quad \text{Verifica non soddisfatta}$$

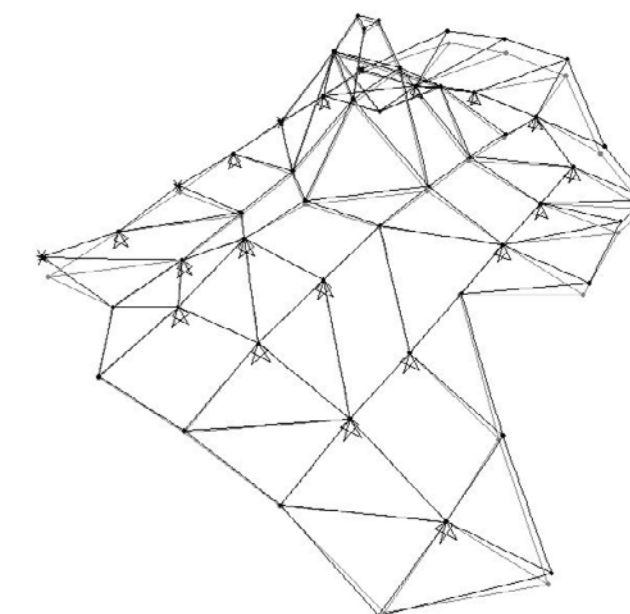


Figura 4.38 Grafico freccia graticcio incernierato SAP2000

- VERIFICA GRATICCIO INCASTRATO CON SOFTWARE SAP2000

Il graticcio di travi è stato scelto è stato successivamente modellato con nodi ad incastro, per diminuire gli spostamenti agli estremi fino a rientrare nei parametri dettati dalla norma.

Come nel caso precedente ai diversi elementi del graticcio sono state assegnate le caratteristiche della sezione e del materiale, quindi il peso proprio degli elementi strutturali è stato calcolato, in questa fase, direttamente dal software.

Il peso gravante sugli elementi della copertura è stato simulato applicando il carico calcolato allo stato limite ultimo SLU su delle aree poligonali a cui non sono state assegnate proprietà di sezione, che rappresentano quindi semplici elementi di distribuzione.

In questa fase sono stati trascurati i pilastri, ponendo al posto di essi dei semplici appoggi a terra; per considerare invece il contributo dato dalla parte di copertura adiacente a quella in esame, sono stati posti in corrispondenza dei punti di contatto con essa, dei carrelli a terra con scorrimento verticale e quindi con asse di orizzontale.

Lo schema con incastri è compatibile con lo schema appoggio-appoggio utilizzato in precedenza per il dimensionamento e la verifica delle travi principali, poiché riduce il carico in campata e quindi il momento agente sulla sezione di mezzera delle travi.

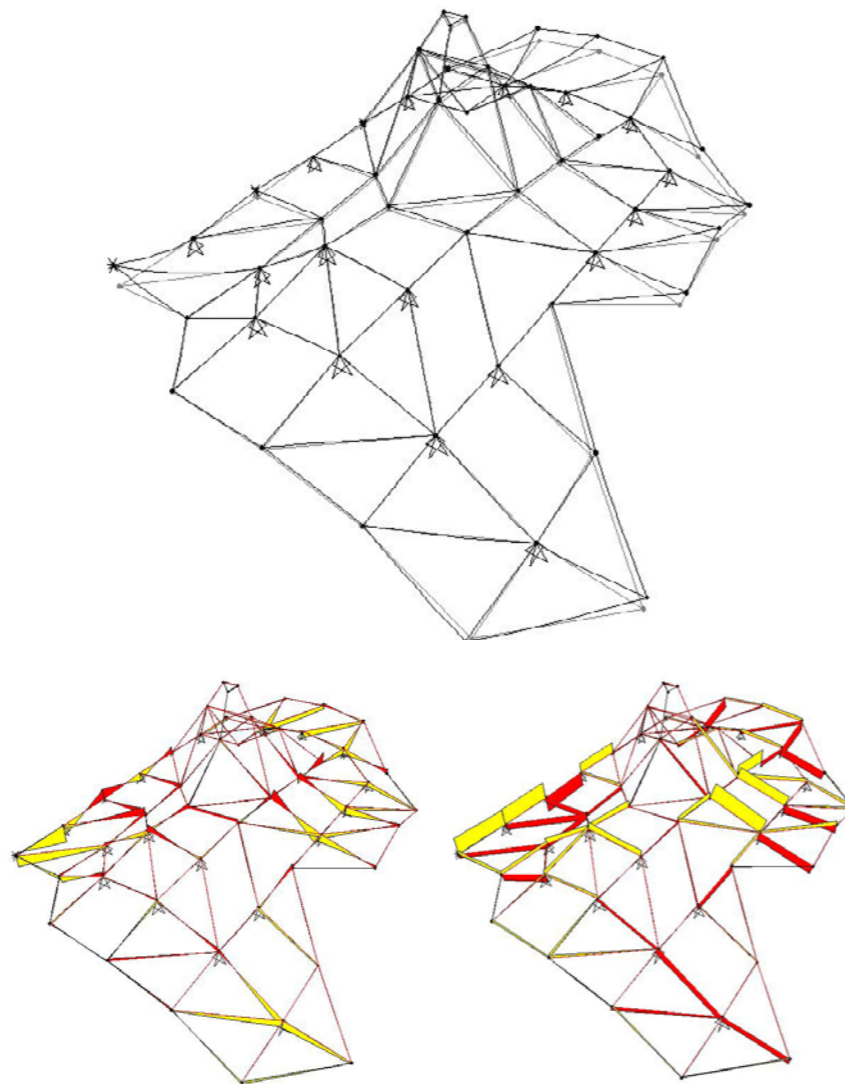


Figura 4.39 Grafico freccia, momento, taglio graticcio incastrato SAP2000

La simulazione le azioni agenti sulle travi risultano inferiori a quelle utilizzate per il calcolo e la verifica del singolo elemento, le verifiche sono quindi soddisfatte.

Gli spostamenti riscontrati nelle parti a sbalzo risultano con un valore massimo di 12.45 mm, inferiore al valore limite per travi a mensola è di L/250.

Verifica freccia massima:

$$f_{\max} = 12.45 \text{ mm} \leq 22 \text{ mm} = (5500 / 250) \text{ mm} = f_{\text{limite}}$$

Verifica soddisfatta

d- DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CONNESSIONE TRAVE-TRAVE

Il modello con travi incastrate è stato utilizzato anche per il dimensionamento e la verifica delle connessioni tra le travi componenti il graticcio.

I vincoli a terra rimangono anche in questa fase semplici appoggi.

Avendo un sistema di travi omogeneo, è stato analizzato con sollecitazioni più gravose e quindi più sfavorevoli, per un dimensionamento generale e, successivamente, è stato verificato in ottica di ottimizzazione dei giunti un caso con un valore medio dei carichi, che comprendeva un numero significativo di elementi all'interno del graticcio.

La normativa definisce come piastre spesse quelle piastre aventi spessori maggiori o uguali al diametro del connettore.

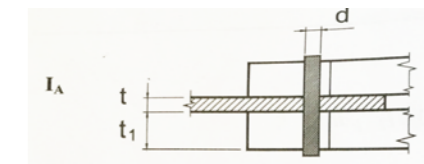
Nel nostro caso utilizzeremo una piastra di spessore 18mm e connettori a bullone di diametro 16mm, quindi rientriamo nel caso di piastra spessa.

Sono quindi stati calcolati i valori caratteristici di resistenza a taglio per le

tre differenti modalità di rottura della connessione, sono stati analizzati i risultati ed è stato utilizzato il minor valore di resistenza per effettuare la verifica degli elementi.

Modi di rottura:

- Modo IA :



$$R_k = f_{h,a,k} * t_1 * d$$

Dove:

$$- f_{h,a,k} = f_{h,0,k} / [(k_{90} * \text{sen}2a) + \text{cos}2a];$$

- $f_{h,0,k}$ è la resistenza a rifollamento per $a = 0$;

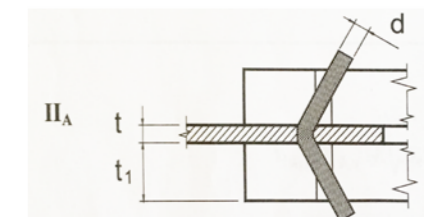
- a è l'angolo di inclinazione dell'elemento analizzato;

$$- k_{90} = 0.90 + 0.015*d;$$

- d è il diametro del bullone;

- t_1 è la dimensione della parte di trave sollecitata a taglio dalla connessione.

- Modo IIA :

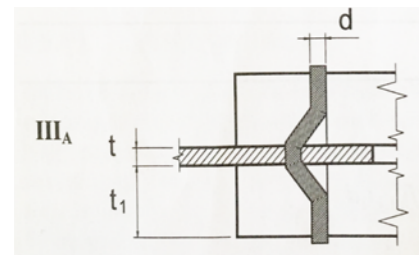


$$R_k = f_{h,a,k} * t_1 * d * \{ [2 + (4 * M_{y,k}) / (f_{h,a,k} * d * t_{12})] 0.5 - 1 \}$$

Dove:

- $f_{h,a,k} = f_{h,0,k} / [(k_{90} * \text{sen}2a) + \text{cos}2a]$;
- $f_{h,0,k}$ è la resistenza a rifollamento per $a = 0$;
- a è l'angolo di inclinazione dell'elemento analizzato;
- d è il diametro del bullone;
- $M_{y,k}$ è il momento caratteristico di snervamento;
- t_1 è la dimensione della parte di trave sollecitata a taglio dalla connessione.

- Modo IIIA :



$$R_k = 2.3 * (M_{y,k} * f_{h,a,k} * d) 0.5$$

Dove:

- $f_{h,a,k} = f_{h,0,k} / [(k_{90} * \text{sen}2a) + \text{cos}2a]$;
- $f_{h,0,k}$ è la resistenza a rifollamento per $a = 0$;
- a è l'angolo di inclinazione dell'elemento analizzato;

- $M_{y,k}$ è il momento caratteristico di snervamento;
- d è il diametro del bullone.

Il numero efficace dei connettori è pari a:

$$n_{r,eff} = n_{0,9} * (a_1 / 10 * d) 0.25 = 3.18$$

Dove:

- a_1 è la distanza minima tra la bullonatura e l'estremo dell'elemento a $1 = 5 * d$;
- d è il diametro del bullone.

La resistenza di progetto per la sezione a taglio è pari a:

$$R_d = (R_{k,min} * k_{mod}) / \gamma_m$$

Verifica Connessione	
k_{90}	1,14
$f_{h,0,k}$ [Mpa]	43,56
$M_{y,k}$ [Nmm]	163840,00
R_k IA [N]	86403,07
R_k IIA [N]	38057,94
R_k IIIA [N]	24579,02
R_k [N]	24579,02
R_d [N]	13108,81

La resistenza per ogni connettore vale:

$$R_{conn,d} = 2 * k_{eff} * n_{r,eff} * R_d = 59.23 \text{ kN}$$

La verifica della connessione avviene nelle due direzioni principali:

- Direzione verticale: in cui i bulloni sono sollecitati dalle azioni di momento e taglio;
- Direzione orizzontale: in cui i bulloni sono sollecitati dall'azione assiale.

Caso sfavorevole	
n° bulloni per fila	3
n°file	2
M [kNmm]	32526,00
T [kN]	14,00
N [kN]	131,00
e [mm]	140,00
T-M _{conn} [kN]	38,72
T-T _{conn} [kN]	2,33
T _{conn} [kN]	41,05
N _{conn} [kN]	21,83

La connessione risulta verificata in entrambe le direzioni.

4.7.2 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA STRUTTURA VERTICALE

DIMENSIONAMENTO E VERIFICA PILASTRO

La struttura verticale della copertura è formata da pilastri circolari in legno massiccio teak di diametro pari a 350mm.

Per ragioni architettoniche i pilastri saranno tutti caratterizzati dallo stesso diametro, si andrà quindi ad effettuare il dimensionamento e la verifica per l'elemento con sollecitazioni più gravose.

Le azioni agenti sul pilastro sono:

$$N_d = 2120 \text{ kN}$$

$$M_d = 6.30 \text{ kNm}$$

Da cui si ottengono i seguenti valore di sollecitazione flettente e assiale:

$$\sigma_{m,y,d} = M_{d,y} / W_y = 0.19 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = N_{d,y} / A = 22.03 \text{ MPa}$$

Successivamente, vista la presenza di momento in alcuni pilastri, i casi più sfavorevoli con $N = N_{max}$ e $M_3 = M_{3max}$ sono stati verificati anche per quanto riguarda la pressoflessione.

-Verifica SLU: resistenza

Poiché $\sigma_{m,z} = 0$, si ottiene che la verifica più severa a pressoflessione risulta:

-Pilastro con $N = N_{max}$

$$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d}) 2 + (\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d}) = 0.181 \leq 1$$

-Pilastro con $M3 = M_{3max}$

$$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d}) 2 + (\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d}) = 0.180 \leq 1$$

Le verifiche risultano soddisfatte.

-Verifica SLU: stabilità

Si calcola dapprima il raggio giratore d'inerzia per la sezione circolare:

$$i = D / 4 = 87.50 \text{ mm}$$

Date le condizioni di vincolo del pilastro che sono incastro alla base e cerniera in sommità, la lunghezza di libera inflessione risulta:

$$l_0 = 0.67 * l = (0.67 * 5500) \text{ mm} = 3685 \text{ mm}$$



La snellezza del pilastro risulta:

$$\lambda = l_0 / i = 42.11$$

La snellezza relativa del pilastro si può quindi determinare con la seguente relazione:

$$\lambda_{rel} = (l / p) * (f_{c,0,k} / E_{0,0.5}) = 0.92$$

La verifica di stabilità secondo il documento di Nicole impone $k_{crit} = 1$, quindi si ha:

-Pilastro con $N = N_{max}$

$$- [\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + k_m * (\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d})] = 0.795 \leq 1$$

$$- [k_m * (\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d}) + \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d}] = 0.797 \leq 1$$

-Pilastro con $M3 = M_{3max}$

$$- [\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} + k_m * (\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d})] = 0.571 \leq 1$$

$$- [k_m * (\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d}) + \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d}] = 0.559 \leq 1$$

Le verifiche risultano soddisfatte.

DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CONNESSIONI PILASTRO

Il modello con travi incastrate implementato aggiungendo le aste verticali per dimensionare e verificare il nodo di connessione tra il graticcio di travi e i pilastri e il nodo alla base.

Il sistema è stato verificato in parallelo con nodi a cerniera ed incastro in sommità, ipotizzando ad incastro il nodo al piede.

Dall'analisi è emerso come l'azione prevalente risultasse quella assiale, per questo motivo si è optato per l'utilizzo di un nodo a cerniera in sommità; questa soluzione, infatti, risulta meno onerosa come progettazione

del nodo, mantiene immutata la trasmissione dell'azione assiale e riduce inoltre le sollecitazioni sia nel graticcio, sia al piede dei pilastri.

Avendo un sistema di travi omogeneo, sono stati analizzati i nodi con sollecitazioni più gravose e quindi più sfavorevoli.

a_ DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CONNESSIONI GRATICCIO-PILASTRO

Nel nostro caso utilizzeremo una piastra unica di spessore 18mm e 2 file da 6 connettori a bullone di diametro 20mm.

Sono quindi stati calcolati i valori caratteristici di resistenza a taglio per le tre differenti modalità di rottura della connessione, sono stati analizzati i risultati ed è stato utilizzato il minor valore di resistenza per effettuare la verifica degli elementi, come effettuato precedentemente per le connessioni tra le travi del graticcio.

I risultati ottenuti sono rappresentati in tabella:

Verifica Connessione	
k_{90}	1,2
$f_{h,v,k}$ [Mpa]	45,92
$M_{y,k}$ [Nmm]	320000,00
R_k IA [N]	307664,00
R_k IIA [N]	128787,40
R_k IIIA [N]	39429,27
R_k [N]	39429,27
R_d [N]	21028,95

La resistenza per ogni connettore vale quindi:

$$R_{conn,d} = 2 * k_{eff} * n_{r,eff} * R_d = 177.39 \text{ kN}$$

La verifica della connessione avviene nelle due direzioni principali, solo per il caso di $N = N_{max}$, poiché il momento in sommità nel vincolo cerniera risulta nullo.

- Direzione verticale: in cui i bulloni sono sollecitati dalle azioni di momento e taglio;

- Direzione orizzontale: in cui i bulloni sono sollecitati dall'azione assiale.

Caso Nmax	
Pressione semplice	
Pilastro	1 lato strada
N [kN] TR-PIL	2120,00
σ_p [N/mm ²]	22,03
Pressoflessione	
N [kN]	2120,00
M2 [kNmm]	665,00
M3 [kNmm]	212,00
$\sigma_{c,d}$ [N/mm ²]	22,03
$\sigma_{m,2,d}$ [N/mm ²]	0,02
$\sigma_{m,3,d}$ [N/mm ²]	0,01
SLU resistenza	
Verifica	0,180
SLU stabilità	
Verifica 1	0,795
Verifica 2	0,795

La connessione risulta verificata in entrambe le direzioni.

b_ DIMENSIONAMENTO E VERIFICA CONNESSIONI PILASTRO-FONDAZIONE

Come accennato in precedenza, è stato utilizzato un vincolo ad incastrato per la connessione al piede del pilastro.

Risultando come azione prevalente quella assiale, anche alla base viene utilizzato lo stesso numero di bulloni, applicando però ogni fila da 6 bul-

lioni su una piastra separata di spessore 18mm.

Per ricreare infatti il vincolo di incastro, risulta necessario dividere la piastra di aggancio in due porzioni separate per ottenere una resistenza al momento per la presenza del centro di istantanea rotazione nella mezzia della distanza le piastre.

La connessione risulta verificata anche alla base per quanto riguarda l'azione assiale, poiché rimane costante all'interno del pilastro, si è quindi analizzata la parte relativa a momento e taglio.

La verifica della connessione avviene nelle due direzioni principali per entrambi i casi di $N = N_{max}$ e $M3 = M_{3max}$:

- Direzione verticale: in cui i bulloni sono sollecitati dalle azioni di momento e taglio;

- Direzione orizzontale: in cui i bulloni sono sollecitati dall'azione assiale.

Caso Nmax	
Pilastro	1 lato strada
n° bulloni per fila	6
n° file	2
N [kN]	2120,00
T [kN]	0,04
M3 [kNmm]	212,00
l [mm]	210,00
T-M _{conn} [kN]	0,17
T-T _{conn, d} [kN]	0,00
$F_{c,d}$ T _{conn, d} [kN]	0,17
$F_{c,d}$ N _{conn} [kN]	176,67

La connessione risulta verificata in entrambe le direzioni.



Dettaglio: render vista pilastro



Dettaglio: render esploso pilastro



05 VENTILAZIONE NATURALE

5.1 INTRODUZIONE

5.2 LA VENTILAZIONE NATURALE

5.3 STRATEGIE

5.4 PROGETTAZIONE

5.5 ANSYS FLUENT





5.1 INTRODUZIONE: NECESSITÀ DI ENERGIE ALTERNATIVE

Lo sfruttamento delle risorse ventilative naturali costituisce un ottimo strumento per garantire il raffrescamento passivo degli edifici, specialmente nei climi caldi e nelle stagioni estive. In pratica, il movimento e il rinnovamento dell'aria, che sono tanto maggiori quanto più consistenti sono le differenze di temperatura e pressione tra l'interno e l'esterno, sottraggono calore alle strutture edilizie per convezione termica. I fenomeni avvengono in modo naturale, senza l'utilizzo di macchinari o il consumo di energia. Questa strategia, oltre a garantire dei miglioramenti refrigerativi, consente anche di apportare benefici per la qualità, la purezza e la freschezza dell'aria.

La progettazione deve porre molta attenzione a una serie di elementi che influiscono esplicitamente sulle caratteristiche del microclima di progetto, ovvero:

- ambiente naturale;
- tessuto urbano;
- orientamento dell'edificio in base alla posizione del sole e della direzione prevalente dei venti;
- caratteristiche dell'involucro edilizio.

Le caratteristiche dell'ambiente naturale che si interfacciano con lo sfruttamento della componente ventilativa riguardano la posizione geografica, la fascia climatica di appartenenza, i parametri meteorologici,

la morfologia e i materiali del luogo. In particolare, è utile conoscere la posizione altimetrica, la vicinanza con mari o fiumi, la distanza dai rilievi che possono creare ombreggiamento o modificare il regime dei venti, la clivometria misurata come la pendenza media rispetto all'orizzontale, l'orientamento dei pendii, il regime dei venti, la pressione atmosferica, la natura del suolo, la presenza di verde e di acqua nel sito. Gli ultimi tre parametri possono essere utilizzati per incrementare le differenze termiche e pressoriche tra le diverse parti all'edificio.

La posizione e la densità del tessuto urbano influiscono direttamente sulle ombre, sui venti e sulle temperature locali. In particolare, i tessuti compatti fanno convogliare la ventilazione naturale, potenziandone gli effetti di raffrescamento passivo.

Gli edifici sono imputabili, su scala mondiale, di circa il 40% del consumo di energia. L'utilizzo diffuso di impianti di condizionamento comporta consumi importanti di energia elettrica e contribuisce in modo consistente all'aumento dell'inquinamento atmosferico. Le emissioni di CO₂ dovute ad impianti di aria condizionata collaborano in modo significativo all'effetto serra. È previsto che il fabbisogno di energia elettrica per il raffrescamento è destinato ad aumentare ancora più rapidamente nei prossimi anni, per effetto del riscaldamento globale, causato a sua volta anche dall'aumento dei consumi energetici portando a interruzioni sempre più assidue. Questo trend crescente è stato causato soprattutto dall'impennata negli acquisti di condizionatori estivi da parte degli utenti del settore residenziale e terziario, i quali normalmente non conoscono alternative sostenibili ed efficaci ai dispositivi di raffrescamento attivo e

vengono fortemente attratti dai loro bassi costi d'impianto.

Nel 2006, negli Usa, la domanda di aria condizionata ha richiesto approssimativamente l'11,5% di tutta energia richiesta, ed è stata responsabile per più del 40% del carico di picco. Questa produsse notevoli problemi legati alla fornitura di energia per quanto riguarda la costa occidentale degli Stati Uniti e soprattutto per l'Italia in occasione dell'eccezionale estate del 2003. Mentre in Europa e negli USA la domanda di carico di punta per aria condizionata minaccia l'interruzione della fornitura, in India e in Cina l'interruzione di alimentazione è un avvenimento normale, costringendo molti grandi consumatori ad investire in costose attrezzature di backup. Alternative ai sistemi convenzionali devono essere urgentemente introdotte per ridurre i rischi di interruzione delle forniture. Dal momento in cui le energie alternative sfrutteranno strategie di dissipazione di calore e materie "low carbon", verrà ridotta la necessità di investimenti aggiuntivi per le infrastrutture. Lo strato di ozono presente a livello della stratosfera è l'unico scudo per il mondo rispetto alle radiazioni UV, le quali colpiscono la fotosintesi ed uccidono il fitoplancton (la base della catena alimentare marina). I fluidi refrigeranti impiegati ai fini di produrre aria condizionata (sia CFCs e HCFCs) sono i principali responsabili del buco dell'ozono: quelli più comunemente usati (come R134a e R22) sono tra le 1300 e le 1700 volte più potenti della CO₂ nel contributo al surriscaldamento globale. I cloro fluoro carburi sono estremamente stabili e sono attualmente ancora prodotti sia in Cina che in India. Gli idro fluoro carburi continuano ad essere usati in tutto il mondo anche se la ricerca di soluzioni alternative, meno dannose, sta dando notevoli risultati. Refrigeranti alternativi

potrebbero essere, in parte, la risposta a questo problema, tuttavia la soluzione migliore è quella di sfruttare energie pulite che rivoluzionino radicalmente i principi del raffrescamento.

La tendenza attuale è quella di ritornare alle soluzioni tecnologiche del passato,

definite passive, che sfruttano in modo positivo la natura e l'ambiente, senza provocare danni irreparabili al nostro ecosistema. L'espressione raffrescamento passivo si riferisce a tutti quei processi di dispersione del calore che avvengono naturalmente senza l'adozione di strumenti meccanici che comportano assorbimento di energia.

Il recupero delle tecniche naturali di raffrescamento può essere, in alcuni casi, a seconda del contesto climatico, sufficiente a ristabilire le condizioni di comfort all'interno degli edifici, limitando consumi energetici ed emissioni inquinanti. In quelle condizioni ambientali dove le sole soluzioni passive non riescono a raggiungere livelli di benessere microclimatico accettabili, strategie definite ibride, ovvero che coinvolgano l'uso di macchinari, risultano, in ogni caso, migliori rispetto alle soluzioni tradizionali, sia in termini di costi che in termini di sostenibilità.



Figura 5.1 Smodato utilizzo di condizionatori per il raffrescamento a Macao



Figura 5.2 Esempio di ventilazione naturale: Il Reichstag a Berlino di Norman Foster

5.2 LA VENTILAZIONE NATURALE

Sia il clima interno sia il bilancio energetico di un edificio sono influenzati in maniera determinante dal ricambio d'aria.

Occorre fare distinzione fra ricambio d'aria per infiltrazione naturale, scambio d'aria che avviene in maniera non controllata attraverso punti dove l'involucro dell'edificio non è stagno (ad es. attraverso gli interstizi attorno a finestre e porte o attraverso la cappa del camino) e ricambio d'aria per ventilazione artificiale (per mezzo di appositi meccanismi come ad es. estrattori d'aria, ventilatori e finestre).

Per poter garantire la presenza d'aria fresca e specialmente per evitare di avere tassi d'umidità relativa dell'aria elevati (condensa sui vetri, muffa nei punti termicamente deboli) in genere l'utente deve svolgere un arieggiamento dei locali. Il ricambio, breve ma completo, permette di evacuare l'aria viziata (ricca di vapore e di diossido di carbonio) senza disperdere, nello stesso tempo, quantitativi notevoli di calore.

La descrizione dello scambio d'aria nell'edificio e attorno l'edificio e i fenomeni ad esso correlati (trasporti di calore, d'umidità e sostanze inquinanti), rappresentano un problema complesso, nel quale occorre considerare le forze motrici (pressione del vento, differenze di temperatura, ...), la permeabilità all'aria, il comportamento dei materiali di costruzione (che possono assorbire dell'aria) e dell'utente.

La ventilazione naturale è da sempre uno dei meccanismi di raffrescamento passivo più utilizzati nei climi caldi per i suoi effetti positivi sia a

livello corporeo che a livello ambientale. La condizione di benessere degli individui, infatti, migliora grazie al movimento dell'aria che induce un aumento degli scambi convettivi tra il corpo umano e l'ambiente, con un incremento delle perdite di calore per sudorazione (soprattutto in caso di flussi d'aria a basso tasso di umidità). Allo stesso tempo, l'introduzione di flussi d'aria a temperatura inferiore rispetto a quella interna consente di rimuovere i carichi termici in eccesso.

In genere, quando i flussi d'aria lambiscono le superfici, il coefficiente di scambio convettivo fra le pareti e l'ambiente aumenta, cosicché la temperatura superficiale della massa muraria diminuisce e, di conseguenza, diminuisce anche la temperatura operante interna, migliorando ulteriormente la sensazione di benessere degli individui.

5.2.1 IL FLUSSO D'ARIA

Ogni flusso d'aria è caratterizzato da:

- velocità v [m/s]
- portata in massa m_r [kg/s]
- portata in volume v_r [m³/s o L/s]

Il flusso d'aria attraverso un'apertura di area A vale $v_r = v \times A$. I flussi di aria di aria in natura sono causati dalle differenze di pressione: la massa d'aria si muove da una zona ad alta pressione verso una zona a pressione più bassa. Le differenze di pressione possono essere dovute da due fattori. L'effetto camino si riscontra quando l'aria all'interno di un contenitore verticale è più calda dell'aria all'esterno (considerando la presenza di

aperture per l'ingresso e l'uscita dell'aria). L'aria più calda solleva e viene sostituita in basso da aria più fredda proveniente dall'esterno. Il migliore esempio di questo effetto è costituito da una canna fumaria: quando l'aria contenuta in essa è calda si ottiene un "tiraggio" considerevole. Negli edifici di moderato sviluppo verticale questo effetto è trascurabile, ma per esempio nei vani scale di edifici a molti piani si possono creare correnti d'aria non trascurabili. Un altro caso che può essere considerato come di "effetto camino indotto" è il camino solare, in cui almeno un lato del contenitore è esposto alla radiazione solare e presenta un'assorbanza molto elevata. In questo modo il contenitore viene riscaldato e l'aria all'interno si riscalda di conseguenza. La differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno induce un flusso d'aria ancora più consistente.

L'effetto del vento è di norma molto più consistente. Il lato esposto al vento di un edificio è sottoposto a un incremento di pressione proporzionale al quadrato della velocità del vento. Allo stesso tempo il lato dell'edificio sotto vento sviluppa una pressione negativa (ridotta) dello stesso tipo. La differenza tra le due pressioni può generare una ventilazione (flusso d'aria) molto forte che attraversa l'edificio attraverso tutte le aperture disponibili.

Gli spostamenti d'aria all'interno dell'edificio sono generati dalla differenza di pressione fra due zone adiacenti, causata dalla forza esercitata dal vento e/o dalla differenza di temperatura fra le zone in esame. Astruendo il problema, quando un solido è soggetto ad un flusso d'aria con direzione perpendicolare ad una delle sue facce, si crea su di essa uno strato di sovrappressione (+) e, di conseguenza, la faccia sottovento si

troverà in uno stato di depressione (-). Inoltre, il flusso d'aria, inizialmente ipotizzabile rettilineo e parallelo, incontrando l'ostacolo, si rompe e devia secondo linee curve, creando così una turbolenza che contribuisce ad aumentare la pressione negativa sulla faccia sottovento e a generare sulle altre un leggero stato di depressione.

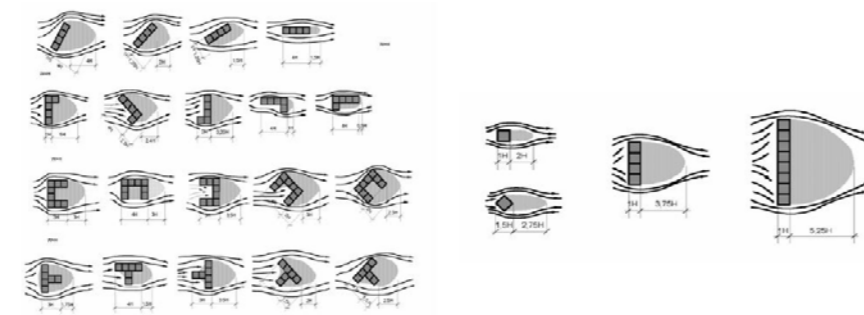


Figura 5.3 Diverse modalità di interazione flusso-solido

Quindi, a seconda dell'esposizione dell'edificio ai venti prevalenti, al fine di sfruttare il gradiente di pressione massimo, sarà da preferire l'apertura di infissi permeabili all'aria, sia sul lato sopravvento sia su quello sottovento. E' utile sottolineare che, nell'ipotesi di un parallelepipedo a sviluppo verticale, come nel caso delle torri del vento, dovrà considerarsi anche l'aumento della velocità del vento all'aumentare dell'altezza e, quindi, il generarsi di un gradiente verticale di pressione sulla faccia sopravvento del solido.

Inoltre, con l'approssimarsi al suolo, le masse d'aria in movimento risen-

tono dell'attrito con la superficie terrestre, ciò comporta un loro rallentamento, sino ad arrivare a una velocità nulla a contatto con il terreno. Lo spessore di atmosfera all'interno del quale si risente di questo effetto varia al variare della rugosità del terreno.

Nel posizionare in pianta due o più chiusure esterne permeabili, valgono le seguenti regole fondamentali

- Disporre le chiusure sia sul lato sopravvento, sia su quelli sottovento; chiusure poste unicamente sui lati sottovento determinerebbero una condizione di ventilazione insufficiente (Figura 2a).
- Nel caso di vento perpendicolare alle facciate in cui sono collocate le chiusure permeabili, evitare di collocarle su pareti opposte in modo direttamente contrapposto (Figura 2b), bensì sfalsarle (Figura 2c).
- Se non si dispone di due pareti opposte, ma di due o tre pareti perimetrali contigue, la distribuzione delle chiusure su queste ultime produce una ventilazione efficace purché il vano non sia troppo profondo.

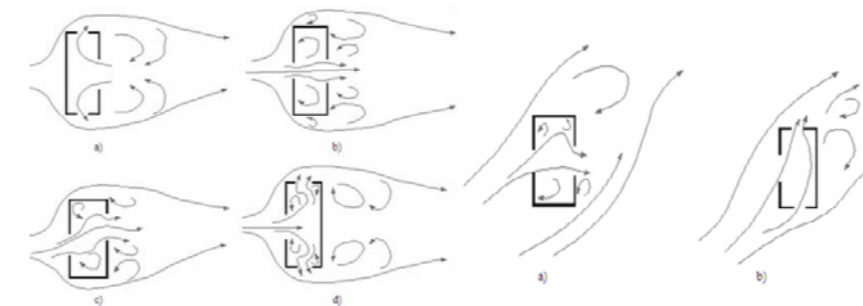


Figura 5.4 Ipotesi di vento perpendicolare

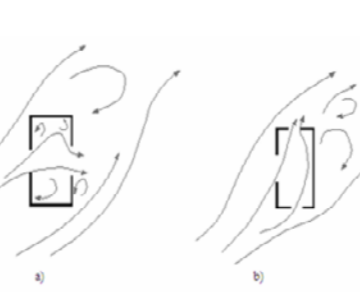


Figura 5.5 Ipotesi di vento obliquo

Nello strato limite dell'atmosfera, che si estende fino ad un'altezza di 500- 1000 m, il vento presente negli strati superiori viene progressivamente frenato a causa dell'attrito con il suolo. In tal modo si forma un profilo, nel quale la velocità del vento v (in m/s o km/h) cresce con la quota z secondo la seguente legge:

$$\frac{v(z)}{v(z_{ref})} = \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^\alpha$$

dove z_{ref} è un'altezza di riferimento alla quale la velocità del vento è nota, ad esempio attraverso la misura con una stazione meteorologica 1, e l'esponente α dipende dalla rugosità del suolo. Alcuni esempi di profili di velocità sono illustrati nella figura 5.6, dove si può osservare come nel caso di suoli lisci i valori di α sono più bassi e la velocità del vento raggiunge più in fretta il valore degli strati superiori.

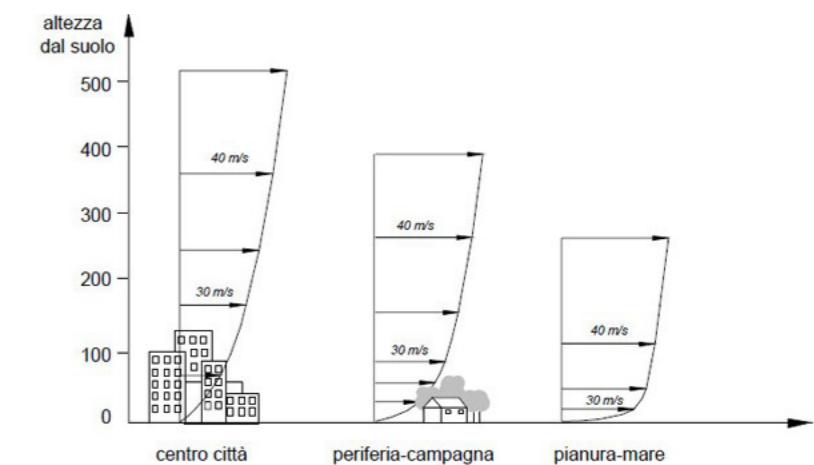


Figura 5.6 Influenza della densità edilizia

Un ostacolo devia il vento dal suo scorrimento rettilineo e lo costringe a seguire delle linee curve – sia verticalmente, sia orizzontalmente – attorno all’ostacolo. L’analisi esatta del comportamento del vento attorno ad un edificio e delle sovrappressioni e depressioni da esso causate dipende dalla forma dell’edificio e dalla configurazione del suo ambiente circostante (presenza di altri edifici, zona più o meno libera, ecc.). Costruzioni possedenti forme complesse (a “L” o “U”) possono generare delle correnti d’aria troppo complesse per essere generalizzate. Per determinare le correnti d’aria influenzate da costruzioni adiacenti o dalla morfologia del terreno, sono normalmente utilizzate le gallerie del vento mediante piccoli modelli (maquettes) oppure dei modelli numerici al computer.

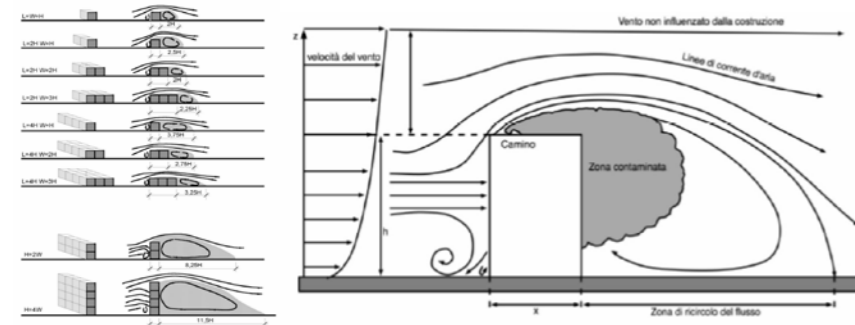


Figura 5.7 Ostacoli e flussi d’aria

La figura 5.7 illustra da un punto di vista qualitativo, come localmente gli ostacoli possano provocare un addensamento delle linee di corrente e di conseguenza un’accelerazione dell’aria trasportata sopra i tetti e attorno agli spigoli laterali. Per effetto di questa accelerazione nella parete

non esposta al vento si può formare una zona d’aria stagnante (zona di depressione). Nel caso di camini troppo bassi in rapporto alla geometria dell’edificio, in questa zona si possono accumulare i gas inquinanti espulsi dal camino, che possono influenzare negativamente la qualità dell’aria all’interno degli edifici.

La figura 6.9 illustra – da un punto di vista qualitativo – come localmente gli ostacoli possano provocare un addensamento delle linee di corrente e di conseguenza un’accelerazione dell’aria trasportata sopra i tetti e attorno agli spigoli laterali.

Per effetto di questa accelerazione nella parete non esposta al vento si può formare una zona d’aria stagnante (zona di depressione). Nel caso di camini troppo bassi in rapporto alla geometria dell’edificio, in questa zona si possono accumulare i gas inquinanti espulsi dal camino, che possono influenzare negativamente la qualità dell’aria all’interno degli edifici.

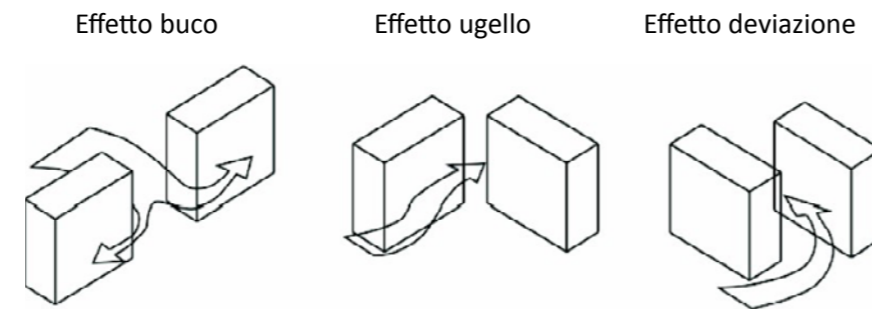


Figura 6.9 Effetto buco, ugello, deviazione

5.2.2 L’INFLUENZA DELLA TEMPERATURA

Per quanto concerne il gradiente di pressione generato dalla differenza di temperatura, ci si riferisce alla legge di Boyle, per cui la pressione di un gas è inversamente proporzionale ad una costante, che a sua volta dipende dalla temperatura del gas: più alta è quest’ultima, maggiore è il volume da esso occupato e, quindi, minore è la pressione esercitata.

$$p V = \text{costante}$$

oppure

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

L’aria calda, essendo più “leggera” tenderà a salire verso l’alto, creando così una stratificazione termica del fluido, a cui corrisponde un gradiente verticale di pressione. Quindi, all’interno degli ambienti, esisterà una zona inferiore in cui la pressione è maggiore rispetto a quella esterna e, viceversa, una zona superiore in cui la pressione interna è inferiore a quella esterna; a una determinata quota i valori interni ed esterni si eguagliano (piano neutrale).

La differenza di pressione sarà tanto maggiore quanto più alto è lo spazio considerato: effetto camino.

5.2.3 FUNZIONAMENTO TORRI DEL VENTO

Non sempre è però possibile prevedere aperture opportunamente collocate nell’involucro ai fini della ventilazione naturale, ciò a causa di problemi urbanistici/ architettonici o per condizioni climatico/ambientali avverse (bassa velocità dei venti e scarsa qualità dell’aria in corrispondenza dei prospetti, ecc.). Le aperture di captazione o di estrazione dei flussi d’aria devono, quindi, essere collocate a quote superiori: in copertura o, se questo non fosse sufficiente, ad altezza maggiore, come accade per le torri del vento. Queste ultime possono funzionare come sistemi di sola captazione, o di sola estrazione, o di captazione/estrazione, in relazione alle loro caratteristiche e alla loro esposizione.

Le torri del vento sono elementi costituiti da un condotto verticale, con sistema

di apertura verso l’esterno nella parte superiore, e sistema di aperture verso l’interno, comunicante con gli ambienti da raffrescare. I sistemi di raffrescamento passivo attuati mediante “camini del vento” o “torri del vento” prendono origine dall’architettura medio-orientale, nel cui contesto sono rintracciabili i primi prototipi di “torri del vento”.

L’attuale situazione climatica, determinata dalle trasformazioni e dai cambiamenti climatici in atto, ne suggerisce l’utilizzazione anche in contesti geograficamente distanti dalle zone medio orientali nelle quali tale sistema si è formalizzato. Attualmente troviamo applicazioni di tale sistema di raffrescamento anche in contesti come la Gran Bretagna, in cui il peso della problematica del raffrescamento estivo è stato fino a pochi decenni fa sicuramente marginale rispetto ad altre problematiche di con-

dizionamento ambientale.

Questi sistemi di raffrescamento passivo sono basati sull'innesco e sull'incremento della ventilazione indoor attraverso appositi elementi architettonici verticali configurati come camini o come, appunto, vere e proprie "torri del vento", ed aventi la funzione di captare i flussi di vento ed immetterli all'interno dell'edificio, o di favorirne il movimento attraverso gli spazi abitati.

L'induzione di una buona ventilazione degli ambienti consente la dissipazione del calore dall'interno dell'edificio, attuata mediante una "asportazione convettiva" del calore accumulato dalle strutture interne, nonché del calore corporeo degli individui, con effetti diretti sul bilancio termico del corpo umano.

Il principio fondamentale mediante il quale si generano i movimenti delle masse d'aria è la differenza di pressione che viene a determinarsi quando zone di alta pressione (controvento) sono poste in collegamento con zone di bassa pressione (sottovento).

CONFIGURAZIONI DEL SISTEMA

Si possono distinguere due fondamentali configurazioni del sistema in rapporto alle specifiche modalità di funzionamento e, più particolarmente, in rapporto all'andamento dei flussi d'aria attraverso l'edificio:

A. Sistemi a flusso d'aria discendente

B. Sistemi a flusso d'aria ascensionale

A. Sistemi a flusso d'aria discendente

- L'elemento "torre" svolge una funzione di captazione del vento attraverso l'apertura in sommità, opportunamente disegnata ed orientata controvento.

- Il sistema attua un movimento discendente dei flussi d'aria attraverso l'elemento "torre": il vento da questa captato viene immesso all'interno e dopo aver attraversato gli spazi abitati defluisce all'esterno da apposite aperture e/o finestrate nel lato sottovento dell'edificio.

- Apposite aperture nel lato sottovento dell'edificio consentono di collegare la zona di alta pressione in corrispondenza della bocca del camino ad una di bassa pressione: la differenza di pressione determina il movimento delle masse d'aria attraverso gli ambienti.

B. Sistemi a flusso d'aria ascensionale

- Il sistema prevede un andamento ascensionale dei flussi d'aria attraverso l'elemento torre: il vento viene captato dal lato controvento dell'edificio ed aspirato dal camino verso la zona di bassa pressione, determinando la ventilazione degli spazi abitati.

- La bocca del camino è configurata in maniera tale da determinare in sommità una zona di bassa pressione, in maniera tale da richiamare le masse d'aria dalla zona di alta pressione.

- Apposite aperture (o finestre) in corrispondenza del lato controvento dell'edificio (lato di alta pressione) consentono la captazione del vento e l'ingresso delle masse d'aria all'interno degli ambienti.

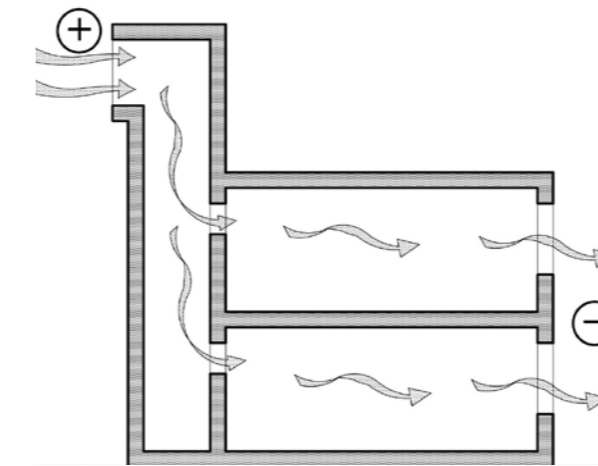


Figura 5.10 Torre del vento a flusso d'aria discendente

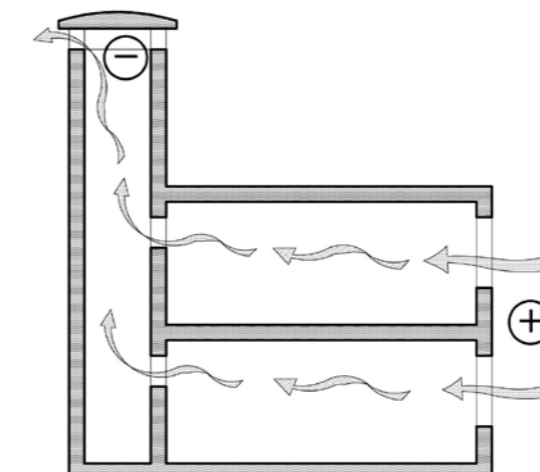


Figura 5.11 Torre del vento flusso d'aria ascensionale

5.2.4 TIPOLOGIE E LE PIRAMIDI DI VENTILAZIONE VIETNAMITE

Le torri del vento si ritrovano in gran parte nella tradizione costruttiva mediorientale, dove si sono diffuse in zone caratterizzate da alti valori di irraggiamento solare e da un'elevata densità edilizia. In tali contesti geografici, infatti, aperture troppo grandi nei prospetti non sono pensabili a causa degli elevati guadagni solari e dei fenomeni di abbagliamento; inoltre, l'alta densità edilizia, tipica di molte città mediorientali, comporta un'eccessiva riduzione della velocità del vento a livello stradale, tale da rendere inefficaci le finestre ai fini della ventilazione.

Da un punto di vista storico e funzionale, si distinguono due tipologie di torre del vento: malqaf e bagdir.

Le prime hanno trovato ampia diffusione in tutto il Medio Oriente, dove si sono sviluppate in diverse forme e dimensioni, in relazione agli specifici contesti climatico/culturali.

Il malqaf è una torre di captazione dell'aria posta sulla sommità di locali, realizzata con un'apertura rivolta verso i venti dominanti ad una certa altezza dall'edificio. Essa ha il pregio di funzionare anche in assenza di vento: durante la notte la massa che lo costituisce si raffresca, per irraggiamento e convezione asporta calore dall'aria presente al suo interno che, aumentando di densità, scende nei locali dell'edificio; durante il giorno, quando la temperatura esterna aumenta, la massa muraria costituente la torre mantiene una temperatura minore, per cui può continuare a raffrescare l'aria al suo interno, che penetra negli ambienti. In presenza di vento questo fenomeno viene accelerato.



Figura 5.12 Malqaf

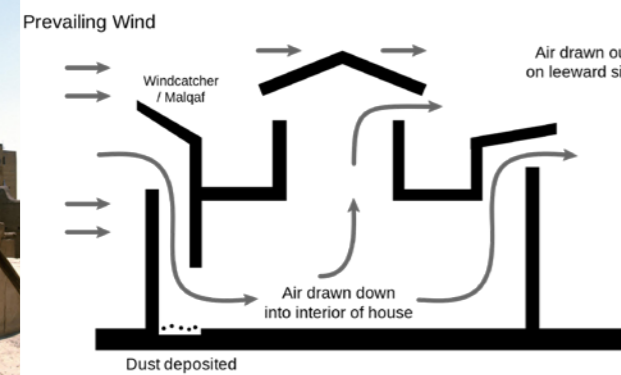


Figura 5.13 Funzionamento del Malqaf



Figura 5.14 Bagdir

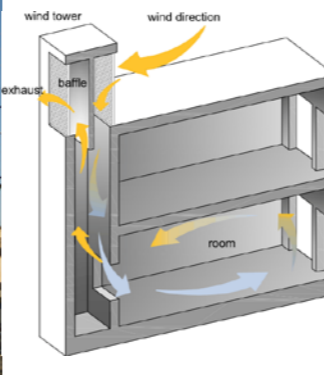


Figura 5.15 Funzionamento

I bagdir, letteralmente in persiano “prende vento”, diffusi in Iran e nelle aree del Golfo. Il sistema è basato sul principio della ventilazione termica o “dei moti convettivi”, ed è costituito essenzialmente da una canna in muratura leggera (generalmente a pianta quadrilatera ma anche ottagonale o circolare), a sua volta suddivisa nel senso dell’altezza in quattro o più settori, quadrati o triangolari. Qualunque sia la giacitura dell’edificio, la stagione e l’ora, almeno due settori contigui saranno in ombra e all’interno della canna si determinerà un doppio flusso parallelo, tale da estrarre aria calda e immettere aria fresca. Inoltre la massa del bagdir funziona da volano termico: il mattino è più fredda dell’aria esterna che, a contatto con la massiccia muratura, si raffredda e diventando più densa scende verso il basso ed entra nell’edificio; durante il giorno accumula calore che restituisce di notte all’aria che tende a salire, innescando così un ciclo di ventilazione inverso.

La diffusione dei camini di ventilazione ha assunto nei secoli diverse espressioni sia architettoniche che funzionali. Questo è quanto è stato riscontrato durante il viaggio in Vietnam, osservando la miriade di tetti che compongono la metropoli di Hanoi. Infatti qui sono presenti, sulla maggior parte degli edifici, tronchi piramidali in vetro e acciaio, culminanti in una sorta di ventola sferica metallica. Questi diffusissimi elementi, quasi sempre abbinati ad un boiler dell’acqua, servono per l’estrazione dell’aria degli ambienti interni, che come già detto nei capitoli precedenti si presentano nella maggior parte dei casi come stanze strette e lunghe, senza o con piccolissime finestre. Questa condizione molto comune giustifica probabilmente la presenza frequentissima di questi particolari camini. A queste caratteristiche piramidi vetrate vietnamite si ispirano in parte i camini di ventilazione presenti nella copertura del progetto.



Figura 5.16 Tipica veduta dall’alto di città vietnamite



Figura 5.17 Piramide di estrazione dell’aria e boiler

5.2.5 VALUTAZIONE DELLA PORTATA

La velocità del flusso d’aria all’imbocco e le dimensioni delle aperture al vertice, influenzano la portata del sistema. Specificando che la velocità dei flussi d’aria varia al variare dell’altitudine, diminuendo progressivamente dall’alto verso il basso, fino ad annullarsi alla quota del terreno, si deduce come l’altezza maggiore delle torri, a parità di grandezza delle aperture, avranno maggiori volumi d’aria in ingresso. Inoltre, la maggiore lunghezza dei canali permette di ridurre il rumore dovuto alla ventilazione, poiché esso viene dissipato lungo il condotto. Le dimensioni dell’apertura in sommità, quindi, devono essere tali da garantire un opportuno volume d’aria in ingresso, in funzione della velocità del vento e quindi dell’altezza della torre: ad esempio, in Pakistan ed in Egitto, dove i venti sono deboli e le torri poco si distaccano dal piano di copertura, le aperture sono ampie; in Iran, invece, dove le torri hanno uno sviluppo in altezza notevole (in modo da captare aria a basso contenuto di polveri) e sono, quindi, investite da venti ad elevate velocità, le aperture hanno dimensioni contenute.

5.2.6 DISEGNO E DIMENSIONE DEI CONDOTTI

Per ottenere un effettivo beneficio dalla ventilazione naturale, è però importante tenere le velocità dei flussi all’interno di un range. Questa infatti dovrebbe essere compresa fra i 0,25 m/s e gli 0,8 m/s, al fine da evitare condizioni di disagio all’interno degli ambienti. A tale scopo è possibile operare sulla dimensione dei condotti: aumentando la loro sezione trasversale si implica una diminuzione della velocità dei fluidi che li attra-

versano.

Particolari considerazioni devono essere fatte per i sistemi, come i Bagdir, che presentano aperture su ogni lato. Maggiore è il numero dei lati in pianta, minore è la dimensione dell'apertura tenendo tuttavia in considerazione i problemi di natura strutturale, a parità di velocità del vento, minore è il volume d'aria in ingresso. In questo caso, però, la torre in modo migliore ai cambiamenti di direzione dei flussi d'aria: il condotto potrà essere ripartito verticalmente in modo che in presenza di vento, da qualsiasi parte esso giunga, l'aria fluisce verso il basso nella sezione di sovrappressione, mentre si crea una corrente ascensionale nella sezione sottovento della torre. Torrette di estrazione/captazione del vento (come quelle vietnamite) sono state progettate con stessa modalità di funzionamento dei bagdir iraniani, reinterprestandone l'aspetto formale ed adattandolo a nuove esigenze.

5.2.7 FINITURA SUPERFICIALE

Le finiture superficiali hanno il loro peso all'interno delle torri del vento, in quanto esse possono influenzare la temperatura dell'aria all'interno di essi. Come già detto esiste a prescindere un gradiente termico fra la base e la sommità della torre, l'effetto sulla ventilazione può essere così amplificato se la temperatura dell'aria in sommità aumenta. In questo senso è possibile scegliere materiali ad elevata conducibilità termica (metalli), o finiture con colori scuri. In entrambi i casi, quando è presente la radiazione solare, si verifica un aumento della temperatura che aumenta lo stato di depressione nella sommità della torre consentendo di richiamare, at-

traverso i condotti della torre, l'aria dai piani inferiori anche in assenza di vento. Questo sistema di estrazione è noto come camino solare.

5.2.8 MATERIALI A INERZIA TERMICA

Per di garantire un funzionamento del sistema nell'arco dell'intera giornata, è possibile far uso di materiali ad elevata inerzia termica. Questo fa sì la ventilazione naturale venga attivata anche in assenza di vento, in estrazione durante la notte e in captazione durante il giorno. Ne sono un esempio, i già citati bagdir. In questo caso, le torri vengono realizzate interamente in muratura con spessori importanti e, quindi, con elevata inerzia termica. Il passaggio del calore dall'esterno all'interno della muratura avviene con un certo sfasamento temporale. Pertanto, durante le ore notturne la struttura interna della torre si trova ad una temperatura superiore rispetto all'aria circostante in modo che, a contatto con la muratura, quest'ultima si riscalda con conseguente creazione di una zona di depressione tale da richiamare aria più fresca dai piani inferiori.

Durante il giorno, invece, lo spessore murario, avendo ceduto il proprio calore nella notte, si trova ad una temperatura più bassa rispetto all'aria contenuta nella torre che quindi si raffredderà e subirà un aumento la sua pressione, scendendo naturalmente verso il basso e fuoriuscendo dalle aperture qui presenti. Quando la temperatura dell'aria esterna sarà pari a quella della struttura, cesserà la circolazione verso il basso e la torre, riscaldandosi ancora, comincerà a funzionare come camino di estrazione, creando un'inversione del moto d'aria.

5.2.9 EFFETTI SOVRAPPOSTI

Naturalmente, l'effetto del vento e quello del camino possono sovrapporsi. A tale proposito vengono distinti due casi:

- Effetto del vento e effetto camino comportano una stessa modalità di funzionamento: o di sola estrazione o di sola captazione;
- Mentre l'uno determina un moto di estrazione, contemporaneamente l'altro induce un moto di captazione.

Nella prima ipotesi, intuitivamente, si otterrà un miglioramento delle prestazioni del sistema. Nel secondo caso, invece, la pressione esercitata dal vento in genere prevale: è ciò che avviene nei bagdir nelle notti con vento. Sebbene l'aria venga riscaldata per irraggiamento e convezione attraverso il contatto con le pareti della torre, essa fluisce verso il basso a causa della pressione esercitata dal vento, contribuendo comunque a migliorare le condizioni di comfort interno, grazie all'aumento degli scambi convettivi fra il corpo e l'ambiente.

5.2.10 TORRI DEL VENTO NELL'ARCHITETTURA CONTEMPORANEA

A seguire vengono mostrati alcuni esempi di usi di torri del vento nell'architettura contemporanea, partendo da uno degli esempi più emblematici: La Pedrera di Antoni Gaudì. Qui sulla terrazza prende vita un paesaggio montagnoso popolato dagli episodi plastici dei camini, dissimulati con sculture dall'aspetto surreale e fantastico.



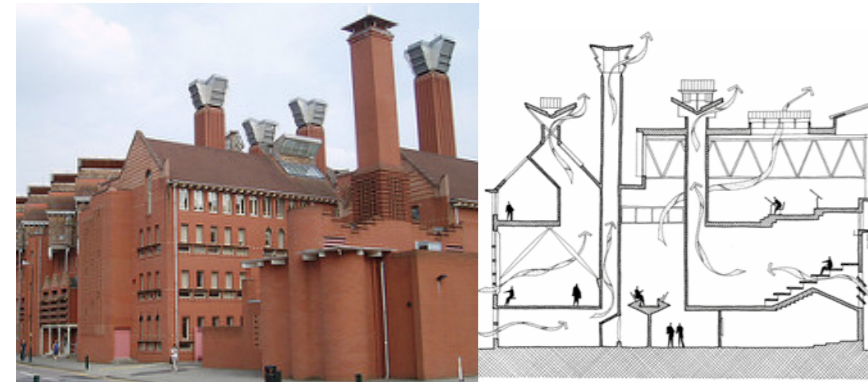


Figura 5.18 Queens building de monfort university, Leicester



Figura 5.21 Portcullis House, Londra

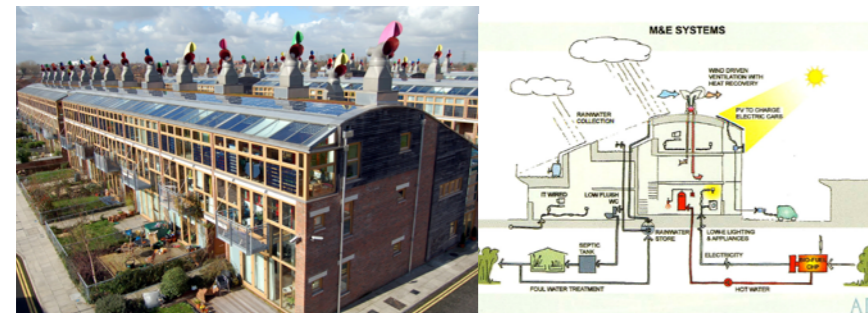


Figura 5.19 bedZED, Londra



Figura 5.22 Lanchester Library, Coventry



Figura 5.20 CH2, Melbourne



Figura 5.23 Zion National Park Visitor Centre Utah

5.3 STRATEGIE

5.3.1 STRATEGIE DI CLIMATIZZAZIONE PASSIVA PER IL RAFFRESCAMENTO

“Le strategie di climatizzazione passiva applicabili ad un edificio in climi, o periodi, caldi, sono raggruppabili nelle tre modalità fondamentali di raffrescamento passivo:

- Il controllo degli apporti termici
- Il raffrescamento corporeo
- Il raffrescamento naturale degli ambienti

CONTROLLO DEGLI APPORTI TERMICI

Il controllo degli apporti termici viene attuato tramite manipolazione delle caratteristiche geometriche, di trasmittanza solare e termiche degli elementi edilizi, nonché il controllo, di progetto e operativo (aumento dell'efficienza), sulle apparecchiature interne (apparecchi illuminanti, domestici, per ufficio) che producono calore. La manipolazione degli elementi edilizi può essere attuata tramite:

- Controllo solare, riferito prevalentemente ai componenti trasparenti dell'involucro e applicabile in modo permanente o variabile, in funzione delle esigenze di uso degli spazi interni dell'edificio;
- Isolamento termico, atto a ridurre gli apporti termici dall'esterno, ma con lo svantaggio di limitare anche il tasso di dissipazione del calore prodotto all'interno dell'edificio;
- Capacità termica, complementare all'isolamento termico e in grado di

- prevenire le ampie fluttuazioni di temperatura all'interno dell'edificio;
- Riduzione delle infiltrazioni d'aria attraverso le fessure dell'involucro, quando l'aria esterna sia più calda di quella interna
- Riduzione degli apporti interni, determinati dalle apparecchiature per l'illuminazione, attraverso un incremento di illuminazione naturale.

RAFFRESCAMENTO CORPOREO

Il raffrescamento corporeo avviene essenzialmente tramite movimentazione dell'aria a contatto con la pelle degli occupanti di un dato spazio; perché tale raffrescamento sia efficace è necessario che la temperatura dell'aria non sia superiore a quella della pelle (33°C), benché anche la movimentazione di aria leggermente più calda può dare benessere in climi caldo umidi.

RAFFRESCAMENTO NATURALE

Il raffrescamento naturale degli ambienti avviene tramite la dissipazione del calore in eccesso con mezzi naturali, dipendente dalla disponibilità di due tipi di risorse:

- Un pozzo termico, ad una temperatura inferiore a quella dell'aria, o delle superfici, interne;
- Un mezzo di trasporto del calore verso il pozzo.

In relazione alle caratteristiche di tale mezzo, si può parlare di raffrescamento naturale con trasferimento passivo, quando non si utilizza energia esogena rispetto a quella prodotta durante la dinamica stessa della dissipazione (ad esempio, movimentazione d'aria per effetto camino), oppure di raffrescamento naturale con trasferimento attivo (o raffrescamento naturale ibrido), se il trasporto di calore è attuato con l'ausilio di ener-

gia esogena rispetto al meccanismo di dissipazione (ad esempio, energia elettrica per azionare una ventola).

I principali pozzi termici ambientali utilizzabili per gli edifici sono:

- L'aria esterna, purché a temperatura inferiore di quella interna, con trasferimento del calore per convezione, dagli ambienti interni, e dalla massa edilizia, all'esterno, attraverso canalizzazioni e/o aperture nelle pareti o sul tetto;

- L'acqua, con trasferimento del calore per evaporazione;

- Il cielo notturno, con trasferimento del calore per convezione, dall'aria interna alle superfici esterne dell'involucro (in genere, il tetto) e, quindi, per reirraggiamento ad onde lunghe (infrarosso lontano), dalle superfici al cielo;

- Il terreno, con trasferimento del calore per conduzione, dall'involucro edilizio al terreno (scambio diretto), o per convezione e conduzione, dall'aria interna a canali sotterranei e da questi al terreno (scambio indiretto).

La differenza, tra la temperatura dell'aria interna desiderata in un certo ambiente

e quella dei pozzi termici ambientali sopra descritti, determina il potenziale di raffrescamento delle tecniche di dissipazione ad essi connesse.

La scelta delle strategie di raffrescamento passivo, da applicare ad un edificio da costruire o ristrutturare scaturisce, a parità di altre considerazioni dal confronto tra programma di progetto e dati climatici del sito.

Le caratteristiche progettuali edilizie che maggiormente influenzano, e ne sono a loro volta influenzate, la scelta delle strategie di raffrescamento, sono riassumibili come segue:

a. la destinazione d'uso dell'edificio;

b. i modelli di occupazione degli spazi interni;

c. la forma dell'involucro e le dimensioni delle aperture;

d. la distribuzione degli spazi interni;

e. la consistenza della massa edilizia.

Dalle caratteristiche del programma di progetto (a,b) derivano i requisiti ambientali, quali ventilazione e illuminazione, e di comfort termico, a cui l'edificio deve rispondere, nell'arco dell'intero anno, mentre le caratteristiche della progettazione generale (c,d,e) determinano i vincoli costruttivi e le potenzialità di risposta con mezzi passivi e naturali. In una determinata zona climatica, i requisiti di comfort termico dei periodi caldi vanno commisurati con quelli dei periodi freddi, e neutri (rispetto ai livelli di comfort). Requisiti di comfort, e vincoli e potenzialità costruttive, vanno, quindi, confrontati con le condizioni climatiche del sito. Al fine di ottenere una valutazione delle potenzialità di rispondenza ai requisiti di comfort di un edificio in progetto, già dalle prime fasi progettuali, sono stati elaborati due tipi di strumenti:

- Le carte bioclimatiche, sviluppate da V. Olgyay, nel 1963, e rielaborate da Givoni, dal 1976, utilizzabili già in fase di programma di progetto;

- Un metodo di valutazione basato sulla temperatura di equilibrio, sviluppato da ricercatori americani e rielaborato, con linguaggio informatico, nell'ambito del programma PASCOOL, utilizzabile in fase di programmazione generale.”^a

^a Grosso M., [2011]: Il raffrescamento passivo degli edifici, concetti, precedenti architettonici, criteri progettuali, metodi di calcolo e casi studio, Maggioli, Milano

5.3.2 FUNZIONI DI CONTROLLO DELLE VARIABILI DI PROGETTAZIONE

COMPONENTI DEL BILANCIO ENERGETICO

- QI (guadagno di calore interno). Può essere influenzato solo in minima parte dalla progettazione: si può tentare di separare le attività che producono calore degli spazi normalmente occupati, o tentare di dissipare il calore generato vicino alla sorgente.

- QS (guadagno solare). Nel caso di superfici opache è influenzato non soltanto dalla proprietà della superficie (riflettanza) ma anche dalla forma e dall'orientamento dell'edificio. Per ridurre il suo valore, la forma del suo edificio deve essere concepita sulla base della geometria solare: il progettista deve ridurre il più possibile la quantità di superficie esposta direttamente al sole. Il guadagno solare attraverso le finestre costituisce il più importante fattore di controllo passivo. Questo è influenzato dalla dimensione delle finestre, dalla loro esposizione, dal tipo di vetri adottati e dai sistemi di ombreggiamento.

E' possibile utilizzare dispositivi regolabili per adattare le esigenze di ombreggiamento. in base alle diverse situazioni climatiche. La variazione stagionale dell'altezza solare può fornire da sola una soluzione. Anche la vegetazione e gli oggetti di contorno possono avere una grande influenza nel controllo della penetrazione solare.

L'utilizzo di piante decidue è efficace per fornire ombra durante l'estate ma consentire l'irraggiamento durante l'inverno.

- QC (flusso di calore per conduzione). Viene influenzato dalla forma dell'edificio, dal rapporto superficie/ volume e dalle prestazioni di iso-

lamento termico dell'involucro. L'isolamento riflessivo e resistivo influenzano l'entità del flusso termico, mentre l'isolamento capacitivo ne modifica l'andamento temporale oltre alla sua entità complessiva. La sequenza di strati resistivi e capacitivi costituisce un fattore importante di produzione degli elementi multistrato. Le migliori condizioni di stabilità della temperatura interna si ottengono quando la massa termica è localizzata all'interno dell'isolamento resistivo e all'esterno di questa.

- QV (flusso di calore per ventilazione). E' influenzato dalla progettazione delle aperture, porte e finestre, dal loro orientamento rispetto alla direzione del vento, dalla qualità dei serramenti e in generale dalla tenuta all'aria anche in condizioni di vento dell'involucro. Nella forma dell'edificio costituisce un altro elemento di influenza la presenza di zone in cui il vento genera sovrappressioni o depressioni che, a loro volta, influenzano l'ingresso dell'aria. Un effetto aggiuntivo di protezione può anche essere ottenuto dalle sistemazioni esterne: recinzioni, muri esterni e anche la presenza di vegetazione.

- QE (raffreddamento evaporativo) Costituisce una tecnica molto utile, specialmente in condizioni di clima caldo-secco. Può essere attivato installando un impianto ad hoc, ma anche da sistemi puramente passivi, realizzando specchi d'acqua. Tali sistemi, tuttavia, non funzionano da soli: l'aria più fredda deve essere mantenuta, se non all'interno dell'edificio, racchiusa all'interno di cortili esterni circondati da mura pieni. Il progettista deve assicurarsi che il potenziale di raffreddamento sia disponibile quando necessario e che non sia contrastato dal vento o dal riscaldamento solare.



5.3.3 SCELTE PROGETTUALI

Le quattro scelte progettuali che hanno la maggior influenza sull'efficienza termica sono: forma, tecnologia, aperture, ventilazione. Su ciascuna variabile vengono fatte ora le considerazioni necessarie alla luce delle discussioni precedenti.

FORMA

- Rapporto superficie/volume: dal momento che il guadagno o la dispersione di calore dipendono dall'estensione dell'involucro, specialmente per i climi estremi, è consigliabile presentare la minore superficie possibile per la volumetria data. Da questo punto di vista la forma semisferica è la più efficiente in assoluto, ma la planimetria compatta è la più efficace di una scelta progettuale che disperde e frammenta i volumi.

- Orientamento: se la planimetria non è circolare, l'orientamento in relazione allo spostamento del sole presenta un effetto considerevole. Il termine "rapporto di forma" è spesso utilizzato per indicare il rapporto tra la dimensione più lunga e quella più corta di una planimetria simmetrica. Nella maggior parte dei casi i lati esposti a nord e a sud dovrebbero essere più lunghi di quelli esposti a est e a ovest e il rapporto di forma compreso tra 1.3 e 2.0, a seconda delle condizioni di temperatura e di radiazione. Questo può essere ottimizzato in ragione dell'incidenza solare e del guadagno solare o di dissipazione del calore che si intende perseguire.

TECNOLOGIA

- La proiezione delle ombre di muri e tetti è in grado di controllare il gua-

dagno solare. Nelle situazioni più estreme può essere utilizzato anche un secondo tetto "para sole" sopra la copertura stessa, o si può utilizzare una struttura che proietti l'ombra su muri esposti a ovest per eliminare il calore solare dalle ore pomeridiane. Se la forma della planimetria è complessa, è possibile considerare la proiezione di ombre da parte di ali dell'edificio stesso.

- Qualità della superficie: le proprietà di assorbimento e riflettanza hanno una grande influenza sull'assorbimento del calore solare; se l'apporto di calore deve essere ridotto è preferibile utilizzare superfici riflettenti. Una superficie metallica lucida e una superficie bianca ha un'emittanza simile a quella del corpo nero alle normali temperature, mentre l'emittanza della superficie metallica è praticamente nulla. Se si persegue lo scopo di dissipare il calore, la superficie bianca è assolutamente preferibile.

- L'isolamento resistivo: controlla il flusso di calore in entrambe le direzioni, ed è particolarmente importante nei climi molto freddi (edifici riscaldati) o nei climi molto caldi (edifici condizionati). Per gli edifici non condizionati questo tipo di isolamento è importante per gli elementi esposti per la radiazione solare. In un contesto, di surriscaldamento i muri dovrebbero essere protetti da un'ombra oppure contenere un efficace isolamento resistivo.

- L'isolamento riflettente: il modo più efficace per ottenere questo tipo di isolamento consiste nel dividere a metà un'intercapedine con una pellicola caratterizzata sia da un'elevata riflettanza sia da un'elevata emittanza. Questo solitamente non si può fare. Non esiste una differenza in grandezza tra gli effetti di bassa emittanza e di alta riflettanza. E' neces-

sario considerare il fatto che le superfici riflettenti si possono deteriorare col tempo, per esempio per depositi di polveri inoltre un foglio metallico applicato sotto il solaio del tetto con il lato lucido rivolto verso l'ambiente interno è preferibile a un foglio applicato all'esterno del tetto. Questo isolamento è in grado di influenzare il flusso di calore verso l'interno molto più che quello verso l'esterno.

- L'isolamento capacitivo: consente un controllo ottimale dei tempi di ingresso del calore, specialmente nei climi dove esiste un'ampia escursione termica quotidiana. E' in grado infatti di immagazzinare surplus di calore in un dato momento, per poterlo rilasciare in un periodo successivo, quando necessario.

APERTURE

- La dimensione, la posizione e l'orientamento delle finestre influenzano la penetrazione del sole, perciò l'apporto di calore solare, ma influenzano anche la ventilazione specialmente dove è desiderabile utilizzare ventilazione trasversale (raffreddamento fisiologico)

- Il vetro: singolo doppio, multistrato, e la qualità del vetro vetri speciali (ad assorbimento di calore o a riflessione di calore) possono essere utilizzati per migliorare una condizione di isolamento efficace, ma riducendo il contributo termico solare. Le loro proprietà restano costanti per cui l'apporto solare viene escluso anche quando sarebbe utile, riducendo anche l'apporto di luce naturale. Devono essere considerati come ultima risorsa.

- Meccanismi di apertura: possono essere utilizzati vetri fissi, lucernari,

finestre scorrevoli verticali e orizzontali, diversi tipi di telai. Tende e tapparelle interne possono ridurre parte dell'irraggiamento solare in ingresso, riducendo la radiazione diretta che entra dalle aperture, ma si scaldano e tendono a ri-emettere l'effetto di queste strutture re il calore verso l'interno causando un guadagno di calore convettivo.

- I sistemi esterni di ombreggiamento e controllo solare costituiscono il metodo migliore per controllare il flusso di calore solare incidente. Bisogna comunque tenere in considerazione l'effetto di queste strutture sui percorsi del vento (e quindi sulla ventilazione), l'effetto negativo sulla disponibilità di luce naturale e il potenziale di impedimento della vista verso l'esterno.

- Le reti di protezione degli insetti

VENTILAZIONE

- Un involucro a elevata tenuta all'aria è importante per ridurre le infiltrazioni non controllate sia nei climi freddi sia in quelli caldi, quando gli edifici sono condizionati.

- Oltre al normale apporto di aria fredda, la ventilazione può essere utilizzata per dissipare il calore in eccesso quando $T_o < T_i$

- Il raffreddamento fisiologico può essere utilizzato anche quando $T_o > T_i$ e per ottenere il giusto effetto non è importante il volume d'aria utilizzata, ma la sua velocità. Questo effetto può essere ottenuto attraverso la ventilazione trasversale (o attraverso mezzi meccanici) e può anche costituire uno dei principali fattori per scegliere non soltanto la disposizione delle aperture e l'orientamento della casa ma anche la disposizione interna

dei locali.

5.3.4 ARCHETIPI PER LA PROGETTAZIONE CLIMATICA

NEI CLIMI FREDDI

Nei climi freddi nei quali il problema dominante è la bassa temperatura, anche il miglior edificio ha bisogno di un impianto di riscaldamento, per cui la principale preoccupazione è ridurre al minimo la dispersione di calore. Il rapporto superficie/volume è importante, e anche se non sempre possibile costruire igloo eschimesi, che possiedono il miglior rapporto superficie/volume, questa idea dovrebbe sempre essere tenuta presente. In ogni caso è preferibile costruire edifici compatti. L'isolamento dell'involucro costituisce il principale motivo di attenzione. L'utilizzo di materiali per ottenere valori della trasmittanza inferiori a $0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ è cosa comune nella maggior parte delle località in questo tipo di clima. Le finestre dovrebbero essere piccole, almeno a doppio vetro, se non addirittura triplo, con vetri a bassa emissione intercapedine di gas inerte. Quando un impianto di riscaldamento è necessario, l'isolamento capacitivo costituito da una costruzione massiva produce benefici solo negli edifici abitati in maniera continua, dal momento che permette di attivare il riscaldamento in maniera intermittente (mantenendo l'edificio ragionevolmente caldo quando non riscaldato). Nel caso di edifici occupati in maniera intermittente, è invece preferibile realizzare un edificio "leggero" fortemente isolato, che richiede un riscaldamento iniziale molto più basso. La temperatura di questi edifici durante la notte può scendere

anche di molto, e nel caso in cui è necessario avere una protezione contro il gelo (per esempio per la presenza di tubature d'acqua) allora una costruzione massiva può consentire un risparmio energetico durante il riscaldamento notturno.

La disponibilità di energia solare durante l'inverno per una finestra verticale esposta verso l'equatore può essere significativa, quando l'altezza del sole sull'orizzonte è bassa. Tutte le altre finestre dovrebbero essere mantenute delle dimensioni più contenute possibili. E' necessario verificare se una finestra orientata nella giusta posizione possa produrre benefici, ma è molto probabile che il riscaldamento solare sia efficiente solamente se esiste una forma di isolamento notturno della finestra. Questo tipo di riscaldamento solare passivo è in grado di funzionare solamente se esiste una massa disponibile per l'immagazzinamento termico. In questo caso potrebbe costituire una buona scelta l'utilizzo di un muro pieno isolato esternamente.



Figuraigloo 5.24 Igloo eschimesi (miglior rapporto superficie/volume)

NEI CLIMI TEMPERATI

Nei climi temperati i requisiti di isolamento invernale sono simili a quelli già visti per i climi freddi, anche se con parametri meno restrittivi, in base alle temperature raggiunte durante l'inverno. Trasmittanze termiche intorno a 0.7 sono normali nei climi temperati caldi (per esempio nel bacino del Mediterraneo), mentre nelle regioni temperate fredde questo valore può scendere fino a 0.3 . Le soluzioni costruttive degli edifici devono essere differenti, per consentire anche di soddisfare i requisiti estivi. Qualunque finestra o apertura rivolta verso l'equatore, utilizzata per catturare il calore solare durante l'inverno, può generare surriscaldamento durante l'estate.

Tettoie sospese o altre strutture di ombreggiamento orizzontale costituiscono la soluzione che garantisce ombra durante l'estate ma che consenta irraggiamento solare durante l'inverno. Nel caso di surriscaldamento estivo, è possibile utilizzare un dispositivo di ventilazione per dissipare il calore in eccesso, dal momento che le temperature non dovrebbero essere mai troppo elevate. Non dovrebbero essere necessari accorgimenti aggiuntivi di ventilazione rispetto ad un normale apporto di aria fresca. Nella maggior parte dei climi temperati, le temperature notturne. Per questa ragione è preferibile usare costruzioni massive <8 che consentano isolamento capacitivo). Progettualmente si può imporre che lo sfalsamento di un muro massivo riscaldato al sole corrisponda alla differenza di tempo tra il punto di picco dell'irraggiamento solare e l'ora in cui il rilascio di calore risulti positivo.

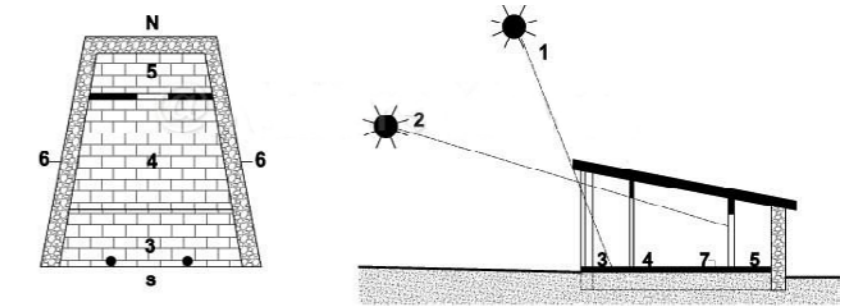


Figura 5.25 La casa proposta da Socrate (400 a.C. circa) per un clima temperato

NEI CLIMI CALDO-SECCHI

Nei climi caldo secchi, la temperatura diurna può essere molto alta, ma l'escursione termica è elevata, fino anche a 20K . La temperatura notturna può essere molto bassa. Di conseguenza, la più importante e unica caratteristica di un edificio dovrebbe essere la sua elevata massa termica: la presenza di muri massivi ma anche di tetto con un'elevata capacità termica. Le superfici esterne dovrebbero essere bianche, per diventare superfici selettive. Questo è molto importante per i tetti esposti durante la notte. L'effetto di raffreddamento radiante può aiutare a dissipare il calore immagazzinato durante il giorno.

Le condizioni ambientali esterne sono di solito ostili, con presenza di caldo e polvere, per cui la soluzione migliore è costituita da edifici chiusi con cortile interno. L'aria racchiusa dall'edificio, dai muri massivi e dai recinti può essere più fredda e più pesante, ristagnando all'interno del cortile come in una vasca. Quest'aria può essere raffreddata tramite evaporazione realizzando uno specchio d'acqua libero. Questa riserva di aria

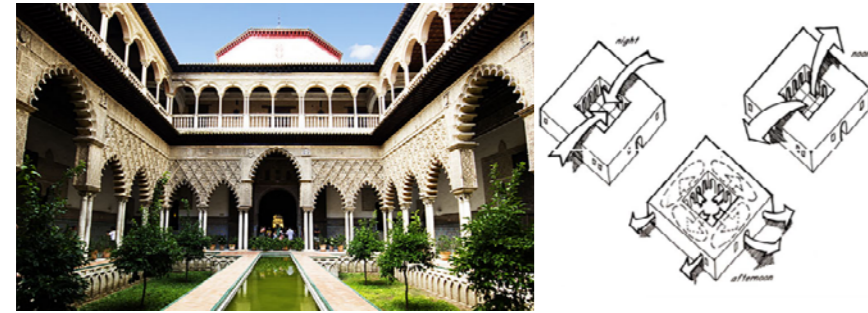


Figura 5.26 Esempio di architettura in clima caldo-secco. Alcazar, Andalusia.

fredda così creata può quindi essere utilizzata come rifornimento di aria fresca nelle stanze abitate. Se si aggiunge una adeguata vegetazione, questi cortili possono diventare un'area vivibile di qualità. Buona parte di quanto detto dipende da come il cortile viene progettato. Un cortile senza ombra e senza presenza di acqua può essere un problema nei periodi più caldi e diventare più caldo dell'ambiente esterno. La ventilazione, al di fuori del contributo di aria fresca proveniente dal cortile, non è consigliabile dal momento che l'aria è calda e polverosa.

NEI CLIMI CALDO-UMIDI: IL NOSTRO CASO DI STUDIO

I climi caldo umidi sono i più difficili da trattare. Le temperature di massime di norma non raggiungono quelle dei climi caldo secchi, ma l'escursione termica tra giorno e notte è molto limitata e di solito non superiore a 5 K, per cui l'effetto massa non fornisce risultati apprezzabili. Dal momento che l'umidità è elevata, l'evaporazione della pelle è di solito limitata, per cui il raffreddamento evaporativo non è efficace, e non è

consigliabile dal momento che tenderebbe ad aumentare ulteriormente l'umidità. Può essere invece utilizzato il raffreddamento evaporativo indiretto, dal momento che la percentuale di umidità non viene aumentata, e si ottiene raffreddamento percepibile.

La costruzione di case in posizione sopraelevate è tipica di questi climi, per poter catturare le brezze evitando gli ostacoli al livello del terreno. La struttura di queste case è molto leggera, i migliori progettisti possono fare in modo che l'interno non si riscaldi molto più che l'esterno: questo può essere ottenuto procurando una ventilazione adeguata e rimuovendo il contributo del calore solare in eccesso. I climi caldo-umidi sono localizzati nelle zone equatoriali, dove i tetti subiscono un irraggiamento solare molto consistente, dal momento che il percorso del sole è vicino allo zenit. Non è sufficiente in questo caso limitare la temperatura interna delle abitazioni. La temperatura dei soffitti può essere elevata a causa dell'irraggiamento solare del tetto. L'eccessiva temperatura dei soffitti può essere limitata:

- Utilizzando un tetto a superficie riflettente
- Utilizzando un doppio solaio per formare un sottotetto
- Procurando una ventilazione adeguata al sottotetto
- Utilizzando una superficie riflettente da applicare all'interno del solaio del tetto
- Utilizzando un isolamento resistivo da applicare al soffitto

I muri esposti a Est e a Ovest non dovrebbero avere finestre, per evitare l'ingresso dell'irraggiamento solare quando il sole è basso sull'orizzonte. Questi muri dovrebbero essere anche riflettenti e provvisti di isolamen-

to termico. La temperatura aria-sole di questi muri potrebbe essere più elevata della temperatura dell'aria. Oltre alla riduzione del guadagno solare, l'unico modo passivo di raffreddamento consiste nel raffreddamento fisiologico tramite la ventilazione. Per consentire la massima ventilazione trasversale, le aperture principali dovrebbero essere orientate entro 45° rispetto alle direzioni dei venti dominanti. Bisogna comunque ricordare che è possibile influenzare la corrente d'aria ma non è possibile modificare la direzione dell'incidenza solare. Quindi la scelta dell'orientamento rispetto alla direzione del sole deve essere prevalente. I muri a Nord e a Sud possono avere aperture molto ampie. Laddove non sia possibile godere dei benefici della sopraelevazione per via dell'alta densità abitativa, una piattaforma di cemento come pavimento può essere considerata allora un buon regolatore di calore. La costruzione massiva può assicurare che la temperatura interna sia vicina alla temperatura minima giornaliera.

Le abitazioni in questo tipo di clima hanno bisogno quindi di protezione dalla radiazione solare e dalle intense piogge. Il tetto diventa la parte predominante dell'edificio con pendenze elevate (veloce deflusso delle piogge torrenziali) e ampi sporti a proteggere le pareti e gli abitanti dal sole e dalla pioggia a vento.

Come detto spesso gli edifici sono rialzati in modo da esporli meglio alle brezze fresche, proteggere dagli animali e distaccarle dal suolo riscaldato dalla radiazione solare. Le pareti sono in genere leggere, realizzate con legno, stuoie, graticci, fibre vegetali. Data infatti la scarsa escursione termica non si trae molto vantaggio da pareti massicce. La forte inclina-



Figura 5.27 Tongkonan dei Toraja, Indonesia e capanna adatta al clima caldo umido

-zione del tetto è determinata principalmente dalla necessità di creare un efficace scarico dell'acqua piovana, anche con coperture incoerenti in foglie o paglia, ma ciò determina anche uno sviluppo ridotto delle pareti in elevazione.

La struttura a graticcio consente una ampia e libera ventilazione dell'interno, mentre la sporgenza del tetto sui lati, e lo spazio coperto sulla parte anteriore, tiene in ombra tutta la struttura verticale ed evita il surriscaldamento. Numerosi esempi di insipienza energetica si possono rilevare ancora oggi nelle ex colonie africane dove insediamenti per le popolazioni locali sono stati realizzati su modelli occidentali con ampio sviluppo di pareti verticali in calcestruzzo e tetti in lamiera.

Nelle aree a clima caldo di tipo monsonico (alcune parti dell'Africa, India, Sud-est Asiatico) le abitazioni tradizionali sono caratterizzate da pareti di massa notevole combinate con ampi tetti spioventi e con grandi sporti che proteggono le pareti dalla pioggia. Tetti ventilati costituiti da un solaio in fango su cui viene steso una copertura in fibra vegetale sostenuta

da un sistema di montanti e traversi, sono particolarmente indicati per questo tipo di clima. Essi infatti combinano una discreta massa con la protezione dalla pioggia e un buon smaltimento del calore estivo.

5.3.5 HANOI: STRATEGIE PER UN CLIMA SUBTROPICALE UMIDO

Il clima della penisola vietnamita è monsonico, con una umidità media dell'84% ed una temperatura che oscilla durante l'anno fra i 5 °C e i 37 °C. Le precipitazioni piovose variano tra i 120 e i 300 cm. È caratterizzato da inverni secchi e estati piovose. La stagione estiva è sempre preceduta da periodi caldissimi e afosi. Durante l'estate le regioni meridionali sono spesso colpite da tifoni, e l'escursione termica è abbastanza moderata: grazie all'azione mitigatrice del mare le temperature non superano mediamente i 30°.

Il clima monsonico è un clima tropicale umido, Am secondo la classificazione climatica di Köppen.

Il clima monsonico è tipico del subcontinente indiano, del sud-est asiatico e della Cina meridionale. Da giugno a ottobre i monsoni, caldi e carichi di umidità, provengono dall'oceano Indiano soffiando da sud-ovest a nord-est, dal mare verso la terraferma.

Nel loro percorso dai Ghati occidentali, dove scaricano una parte della loro umidità, attraversano il tavolato del Deccan e si scontrano con l'insormontabile massiccio himalayano, raffreddandosi e rovesciando enormi quantità di pioggia. La pianura del Gange, la zona del golfo del Bengala, che si trovano ai piedi dell'Himalaya, e soprattutto l'Assam sono



Figura 5.28 Stagione delle piogge, Vietnam

pertanto tra le zone più piovose della Terra.

L'alternanza dei monsoni determina anche i ritmi dell'agricoltura e le rese dei singoli anni. Ritardi o anticipi di questi venti possono causare grandi siccità o disastrose alluvioni, che hanno spesso compromesso i raccolti, portando nell'intera regione parecchie carestie.

Per capire ed applicare una qualsiasi tipo di strategia di raffrescamento è necessario interrogare, la psicrometria, scienza che studia il comportamento dell'aria.

L'atmosfera terrestre è una miscela gassosa costituita da azoto, ossigeno, neon, vapore acqueo, anidride carbonica, metano, anidride solforosa, idrogeno, ecc.; generalmente sono presenti anche particelle solide in sospensione.

E' intuitivo che la composizione dell'aria varia da luogo a luogo dipendendo non solo da particolari fattori inquinanti ma anche da ragioni fisiche quali, in primo luogo, l'altezza sul livello del mare. In pratica, nella termo-

dinamica, ci si riferisce ad un campione di aria secca avente la seguente composizione percentuale in volume:

azoto 78,08%; ossigeno 20,94%; argon 0,93%; anidride carbonica 0,03%; il resto è costituito da tracce di altri gas.

Considerando una temperatura di 15°C e una pressione di 101,3 kPa (760 mm Hg) le caratteristiche fisiche dell'aria campione sono:

- densità media: $d = 1,225 \text{ kg/m}^3$

(ossia un metro cubo di aria ha massa di 1,225 kg)

- calore specifico a pressione costante: $c_{sp} = 0,241 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$

(ossia per innalzare di un grado centigrado un chilogrammo d'aria

mantenendo la pressione costante sono necessarie 0,241 kcal.)

L'aria, ai fini che qui interessano, può essere considerata come un gas ideale che obbedisce alla equazione di stato:

$$p V_{sp} = R T$$

dove:

$$p = \text{pressione [Pa]}$$

V_{sp} = volume specifico [m^3/kg] (ossia il volume espresso in m^3 occupato da un chilogrammo d'aria)

R = costante caratteristica pari a 286,85 J/kg K per l'aria

T = temperatura assoluta [K] ($^\circ\text{C} + 273,15$)

L'aria in cui viviamo è composta da una quota parte di aria secca e di un'altra di vapore acqueo. Sebbene il quantitativo di acqua nell'aria è minimo, tuttavia i suoi effetti influenzano molto il comfort climatico.

Per raffreddare l'aria da 30°C e 60% RH a 24°C e 50% RH, l'energia richiesta per rimuovere l'umidità è circa 2,7 volte di quella richiesta per ridurre

solamente la temperatura dell'aria. Il quantitativo di umidità nell'aria influisce su eventuali impianti di raffreddamento, sui sistemi di raffrescamento passivi, sul metabolismo energetico umano e sulla percezione del comfort. Il corpo umano risponde alle sollecitazioni ambientali attraverso vari sistemi come la sudorazione, la respirazione e l'evaporazione; pertanto ad un aumento di temperatura corporea il sistema cerca di dissipare calore. Tuttavia il nostro corpo può sfruttare l'evaporazione, per raffreddare, solamente in determinate condizioni di umidità dell'aria.

DEFINIZIONI

I processi di raffreddamento coinvolgono sia la componente sensibile, ovvero la semplice riduzione della temperatura dell'aria, sia la componente latente, ovvero la dissipazione dell'umidità. In un condizionatore, il raffrescamento per la sola quota sensibile è evidenziato dal flusso d'aria fredda che esce dall'unità di trattamento mentre le gocce d'acqua, prodotte dalla condensazione, indicano che anche il processo latente è in atto.

Il controllo della temperatura dell'aria negli edifici è molto importante, tanto quanto il giusto bilanciamento della umidità presente. La dissipazione dell'umidità dall'aria richiede un grande quantitativo di energia, tra il 20% e il 40% dell'energia totale per il raffrescamento richiesta per la maggior parte degli edifici. L'umidità è rilevante in tutti quei processi dove si svolgono cambiamenti di fase, tra liquido e solido, o tra liquido e vapore. Come per la maggior parte dei materiali, durante questi cambiamenti di fase sono coinvolte grandi quantità di calore, molto di più

di quelle che interessano le variazioni di temperatura entro uno stesso stato fisico.

Prima di procedere nella trattazione, è necessario definire alcuni termini:
 Temperatura a bulbo secco: temperatura dell'aria misurata da un normale termometro.

TEMPERATURA A BULBO UMIDO:

temperatura dell'aria misurata da un termometro il cui il bulbo è coperto da una garza mantenuta costantemente bagnata; fornisce l'indicazione della quantità di umidità presente nell'aria. La temperatura dell'acqua e quindi di quella del bulbo si abbassano per effetto del calore sottratto per evaporazione e di conseguenza si ha uno scambio di calore tra l'aria ambiente e l'acqua della garza. Quando la quantità ceduta dall'aria eguaglia la quantità di calore assorbita per evaporazione dell'acqua il termometro raggiunge il punto di equilibrio e la temperatura così misurata viene appunto definita come temperatura a bulbo umido. A parità di temperatura a bulbo secco, tanto più bassa è l'umidità contenuta nell'aria, tanto maggiore sarà l'evaporazione. Di conseguenza, visto che il calore di evaporazione inizialmente è sottratto anche al bulbo del termometro, tanto minore risulterà la temperatura a bulbo umido. La conoscenza delle due temperature, a bulbo secco e a bulbo umido, è sufficiente per individuare sul diagramma psicrometrico le condizioni dell'aria considerata.

UMIDITÀ SPECIFICA:

misura la quantità di vapore acqueo presente in un campione di aria. Nei diagrammi dell'aria umida, l'umidità specifica è indicata in grammi (g/

kg). Per ogni temperatura vi è un umidità specifica massima o di saturazione che corrisponde alla pressione di saturazione.

Umidità relativa: misura la concentrazione di vapore acqueo in un campione di aria umida, espressa come rapporto percentuale tra il contenuto di vapore acqueo ad una certa temperatura e la quantità massima contenibile alla stessa temperatura.

$$RH = \left(\frac{\text{kg vapore esistente}}{\text{Kg vapore aria satura}} \right) \times 100$$

L'aria secca può assorbire vapore d'acqua fino al punto di saturazione; l'aggiunta di una ulteriore quantità di vapore alla miscela provoca la condensazione e la formazione di nebbia.

L'umidità relativa può ritenersi anche pari al rapporto tra la pressione parziale del vapore contenuto nell'aria e la pressione di saturazione alla stessa temperatura.

CALORE SPECIFICO:

rappresenta la quantità di calore necessaria per riscaldare di 1°C la massa di 1 kg di materia. Viene misurato in kJ/kg K (kcal/kg °C per il diagramma dell'aria umida). Il calore specifico varia, generalmente, con il variare della temperatura; per i calcoli relativi all'aria umida si fa riferimento al calore specifico valutato alla temperatura di 20°C. I valori utilizzati sono i seguenti:

Aria secca: $c = 1,10 \text{ kJ/kg K}$

Acqua: $c = 4,19 \text{ kJ/kg K}$

Vapore d'acqua $c = 1,86 \text{ kJ/kg K}$

Calore sensibile: esso è il calore associato ad una variazione di temperatura, e la quantità di calore viene calcolata dall'equazione:

$$Q = m C_p (T_1 - T_2)$$

Calore latente: esso è il calore associato ad una variazione del contenuto di vapore acqueo in un campione d'aria.

ENTALPIA:

misura il calore totale contenuto in un campione di aria umida considerando sia la quota parte di calore sensibile che quella latente. L'entalpia specifica, invece, è espressa in kJ/kg (sui diagrammi in kcal/kg) rappresenta la quantità di calore per portare 1 kg di aria e gli x grammi di vapore in essa contenuti da una condizione iniziale ad una finale.

VOLUME SPECIFICO:

grandezza definita come il rapporto tra il volume di un corpo in m^3 e la sua massa in kg.

Occorre precisare che la pressione del vapore p_v generalmente si riferisce al vapore surriscaldato, cioè senza la presenza di liquido. Se per una fissata temperatura si continua a somministrare vapore acqueo ad un ambiente, ad un determinato punto l'aria diventa satura di vapore e vi è la presenza di acqua allo stato liquido.

La pressione del vapore è allora la massima che può avere a quella temperatura e si dice pressione di saturazione. Questa risulta tanto maggiore quanto più elevata è la temperatura.

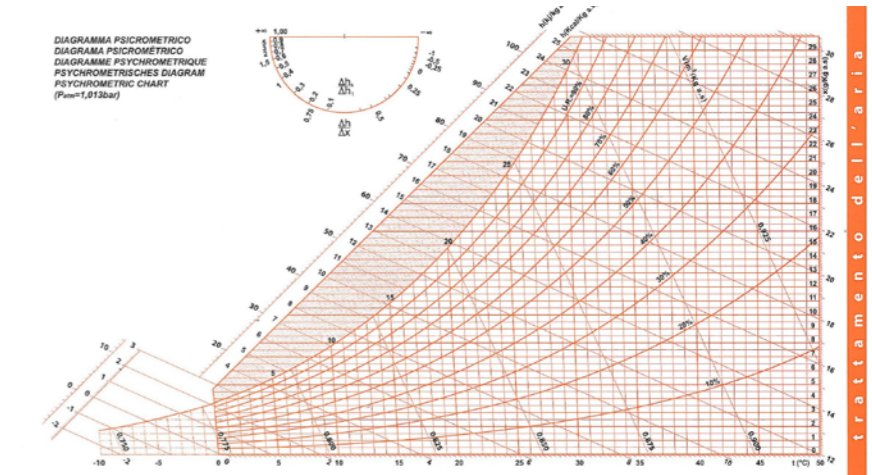


Figura 5.29 Diagramma Psicrometrico

ANALISI DEL CLIMA LOCALE

Le strategie principali per un clima subtropicale umido possono essere riassunte con i seguenti sistemi passivi:

MASSA TERMICA:

Prevede l'utilizzo di materiali con alte proprietà di capacità termica che, integrati nell'edificio, permettono di livellare le fluttuazioni di temperatura interna sia giornaliere che stagionali.

GUADAGNI SOLARI GRATUITI:

Si riferisce alla possibilità di sfruttare la radiazione solare per riscaldare gli spazi interni dell'edificio in stagione invernale. Questa tecnica può essere perseguita utilizzando un sistema di guadagno diretto, in cui la luce solare



attraversando gli elementi trasparenti investe direttamente gli ambienti abitati, oppure sfruttando un sistema indiretto in cui un collettore si scalda e trasferisce calore all'interno.

VENTILAZIONE NOTTURNA:

In estate, durante il periodo notturno, l'aria fresca esterna che si trova ad una temperatura inferiore rispetto a quella interna, penetra all'interno dell'edificio, sostituendosi all'aria esausta. Questo sistema ha bisogno di elementi che funzionino da massa termica, integrati nella progettazione dell'edificio: l'aria fresca raffredda questi elementi che, durante il giorno, riducono la temperatura media radiante dell'ambiente aumentando notevolmente i livelli di comfort degli spazi.

VENTILAZIONE NATURALE:

Lo studio della ventilazione naturale permette di attivare tutti quei processi che favoriscono l'evaporazione del sudore al fine di diminuire la temperatura corporea, anche se le temperature a bulbo secco sono molto elevate. Tuttavia l'efficacia della ventilazione naturale dipende anche dai livelli di umidità relativa. Lo studio delle brezze e dei venti locali permette di progettare l'edificio al fine di garantire l'espulsione dell'aria esausta, mediante ventilazione incrociata o effetto camino.

RAFFRESCAMENTO EVAPORATIVO DIRETTO:

Il raffrescamento evaporativo è un processo in cui l'effetto dell'evaporazione è utilizzato come pozzo termico naturale: il calore sensibile dell'aria

è ceduto alle molecole d'acqua sotto forma di calore latente, al fine di consentirne l'evaporazione.

La quantità di calore sensibile assorbito dipende dalla quantità d'acqua che può evaporare. Il raffrescamento avviene attraverso il processo di evaporazione che consente il passaggio di una parte del calore dall'aria all'acqua. L'aria esterna viene aspirata, ed attraversando un tessuto o una garza satura d'acqua, cede il calore, abbattendo così la temperatura. L'aria si raffredda, e aumentando di densità, scende verso il basso.

Questa tecnica può anche essere ibrida nel caso in cui necessita di sistemi che attivano il movimento dell'aria. Tuttavia l'energia richiesta è relativamente bassa comparata ai tradizionali sistemi di raffreddamento.

RAFFRESCAMENTO EVAPORATIVO INDIRETTO:

Le unità di raffreddamento evaporativo ibrido indiretto operano attraverso uno scambiatore di calore tra un circuito primario dell'aria, in cui avviene l'evaporazione, ed uno secondario, in cui l'aria si raffredda ed entra in ambiente, senza modificare il suo contenuto di umidità. Tali unità possono operare solo se l'umidità non supera certi valori. Il parametro che si analizza in questi casi è la temperatura a bulbo umido, che rappresenta il potenziale di raffreddamento di una massa d'aria: essa è la temperatura più bassa a cui può uscire la massa d'aria in cui si immette acqua nebulizzata. Più alta è la temperatura a bulbo umido meno si potrà raffreddare quella massa d'aria con il sistema evaporativo, questa deve essere $< 21^{\circ}\text{C}$ per l'aria interna, $< 24^{\circ}\text{C}$ per l'aria esterna.

Uno studio dell'University of Liège, Belgium, tenuto dai professori Anh-Tuan Nguyen e Sigrid Reiter, "Analysis of passive cooling and heating potential in Vietnam using graphical method and typical meteorological year weather file" restituisce dei dati interessanti.

Una piena comprensione del clima locale è il requisito principale per un progettazione verso lo sviluppo sostenibile. Questo requisito indica che il progettista dovrebbe essere adeguatamente supportato da strumenti che analizzano il clima, piuttosto che fare affidamento completamente su statistiche meteorologiche. Tuttavia, l'applicazione di uno strumento che supporti l'analisi climatica risulta piuttosto limitata tra i progettisti che operano nel clima caldo umido. Wong ha condotto un sondaggio sull'applicazione di strumenti di progettazione ambientale tra i progettisti a Singapore. I risultati hanno rivelato che quasi tutti i progettisti non impiegano questi strumenti nei loro studi. Ciò significa che i progettisti sono probabilmente riluttanti a utilizzare strumenti sofisticati o strumenti commerciali, che possono imporre un onere tempistico e monetario. Risulta perciò essenziale l'uso di uno strumento semplice per l'analisi del clima nel corso della progettazione preliminare. Recentemente ci sono stati alcuni strumenti meteo sviluppati per l'analisi di clima. A causa dei criteri attuati, sono strumenti di supporto di progettazione finalizzati ad applicare nei climi temperati e freddi dove occupante tende ad usare sistemi HVAC più frequentemente. In clima caldo umido, edifici che fanno uso della ventilazione naturale sono molto comuni e quindi criteri di comfort degli occupanti potrebbero differire significativamente. Lo studio propone un metodo semplice per l'analisi del clima.

Il metodo proposto sarà effettuata attraverso tre fasi: (1) la proposta di una zona di comfort adeguato Costruire il diagramma psicrometrico per le persone che vivono in caldo clima umido; (2) l'estrazione e la stampa dei dati climatici su questo grafico; e (3) analisi quantitativa e la valutazione di comfort termico, riscaldamento e potenziale di raffreddamento di strategie passive. Tre regioni climatiche in Vietnam sono indagati come casi di studio.

Il Vietnam ha generalmente un tropicale clima monsonico. L'intero territorio del Vietnam si trova ai tropici, al bordo sud-est del continente asiatico, confinante con il Mare Orientale (parte dell'Oceano Pacifico). Il clima del Vietnam è fortemente influenzato dagli alisei, che spesso soffia a basse latitudini.

Hanoi ha quattro stagioni separate con un inverno non troppo freddo, con temperature che scendono difficilmente sotto i 5°C . La temperatura più alta può raggiungere invece i 40°C . Le precipitazioni sono abbastanza abbondanti. Alta temperatura media dell'aria e radiazione solare durante l'anno indicano che una domanda importante del raffrescamento. L'abbondante presenza di vento durante l'anno offre un grande potenziale per il raffrescamento passivo e il miglioramento della qualità dell'aria interna.

In Vietnam, l'umidità relativa dell'aria è sempre alta e raggiunge circa il 90% durante la notte. Le escursioni termiche sono piuttosto ridotte (circa 7°) anche in estate. Questo perché l'elevata umidità relativa e il cielo nuvoloso agiscono come una "coperta" che previene la perdita di radiazione e impedisce che la temperatura scenda molto durante la notte.



Figura 5.30 Tipica giornata di foschia ad Hanoi

La zona di comfort sul diagramma psicrometrico legato agli edifici è notoriamente un indicatore da utilizzare nelle analisi climatiche per stabilire delle strategie di progettazione climatica.

Lo studio conferma che il modello statico di Fanger, per cui valgono condizioni di comfort fisse e stabilite a priori, non è applicabile al clima vietnamita in quanto trascura l'adattamento all'umidità delle persone che vivono in quel clima e definisce confini di comfort inappropriati a causa del fatto che omette l'effetto dell'adattamento all'umidità delle persone che vivono in clima caldo umido; utilizzando lo Standard ASHRAE 55 si ottengono risultati poco convincenti: infatti solo il 4,9 % del tempo totale in un anno rientrerebbe nella fascia di comfort, valore decisamente troppo basso.

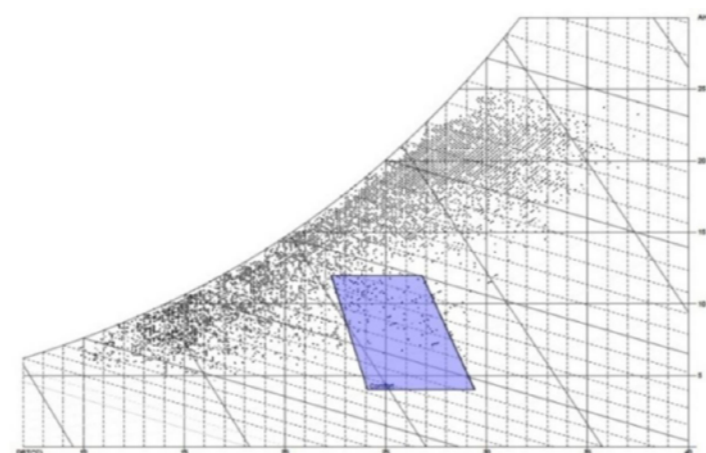


Figura 5.31 Previsione errata della zona di comfort per Hanoi con metodo "Szokolay"

Adottando il metodo di Szokolay il risultato peggiora: secondo questa previsione, solo il 2,5% del tempo totale in un anno rientra nella condizione considerata confortevole; la debolezza del metodo, in questo caso, deriva dall'utilizzare una condizione stazionaria per un modello adattivo. In entrambi i casi si sta fortemente sottostimando l'ambiente termico ed è necessario rivedere opportunamente i confini di comfort termico, in riferimento a un normale vietnamita di altezza 1,65 m e di peso pari a 60 kg, a lavoro sedentario (1 met), considerando una velocità dell'aria di 0,15 m/s e un abbigliamento pari a 0,5 clo per l'estate, 1 clo per l'inverno; si stabilisce che almeno il 90% degli occupanti ritenga il comfort accettabile.

I confini legati alle temperature più fredde e più calde sono definiti dal modello statico PMV-PPD ($-0,5 \leq PMV \leq 0,5$; $PPD \leq 10\%$) e sono, rispettiva-

mente, le linee AB e CD. I punti B e C si collocano a 70%.

RH, valore limite dell'umidità perché il modello PMV-PPD sia preciso; il limite inferiore della zona di comfort per l'umidità è stato fissato a 30% UR, valore sotto il quale raramente si scende nel clima umido vietnamita. Determinare il limite superiore è più complicato a causa della mancanza di un'indagine specifica a proposito: lo standard di comfort adattivo non indica nessun limite relativo all'umidità per la definizione del comfort; ASHRAE ne definisce uno per garantire le condizioni igieniche, più che quelle di comfort termico. In questo senso, la riduzione del rischio di formazione di condensa e muffe è ridotto dal clima caldo e umido, per il quale le temperature superficiali si avvicinano a quelle dell'aria dell'ambiente.

Per la fascia temperata degli Stati Uniti è stato proposto come limite massimo circa il 78%, esteso da Givoni al 90% e al 93%, in presenza di ventilazione. Pham, in Bioclimatic architecture.

Construction publisher, Hanoi, 2002, rivela i risultati di un piccolo sondaggio il comfort in Vietnam nel 2002, per cui oltre l'80% dei soggetti trovati si trova termicamente confortevole un compresa tra 28,5-29,5 ° C, con il 90% di umidità relativa.

Sulla base degli studi e dei risultati sopra menzionati, si definisce il limite superiore della zona di comfort fissato al 90% di umidità relativa, ampliato anche al 95% d'estate, con una velocità del vento pari a 0,8 - 1 m/s, perché il movimento dell'aria è in grado di eliminare l'afa e accelerare l'evaporazione del sudore e diffusione del calore.

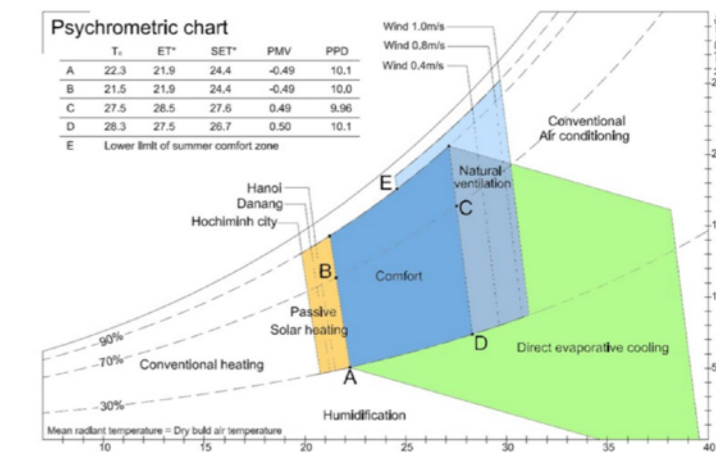


Figura 5.32 Diagramma psicrometrico adattato al clima caldo umido di Hanoi

Non è difficile creare comfort termico per una persona esposta ad una velocità del vento di 1 m/s e, in condizioni di surriscaldamento, velocità dell'aria fino a 2 m/s possono essere benaccette.

Un'ulteriore analisi è stata effettuata per esaminare il potenziale di miglioramento del Comfort, adottando tre strategie diverse e le loro combinazioni, in ogni stagione e ogni mese ad Hanoi:

- Ventilazione Naturale (NV)
- Raffrescamento per evaporazione diretta (DEC)
- Riscaldamento passivo solare (PSH)

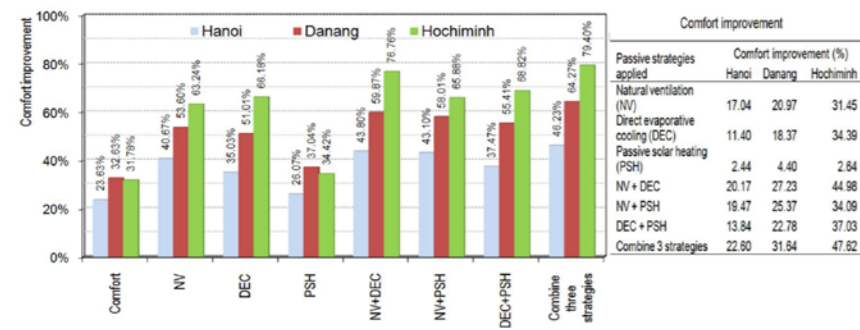


Figura 5.33 Miglioramento del comfort con diverse strategie

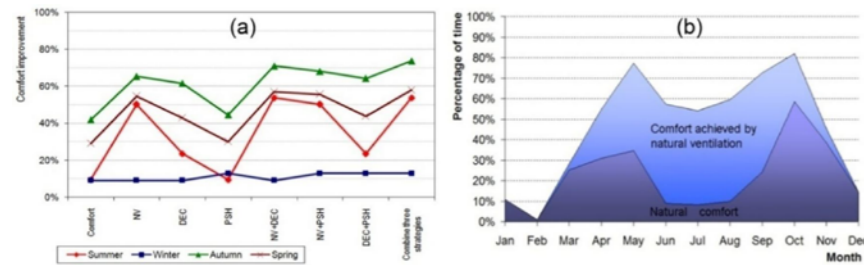


Figura 5.34 Miglioramento del comfort durante le 4 stagioni e durante i 12 mesi di Hanoi

Le figure 5.33 e 5.34 mostrano che in inverno, il clima confortevole occupa solo il 10% della stagione e solo riscaldamento solare passivo sarebbe efficaci. In altre stagioni, ventilazione naturale fornirebbe il comfort di almeno 54% del totale. In condizioni umide, la ventilazione naturale offre molti vantaggi, ad esempio miglioramento della qualità dell'aria interna e la prevenzione della formazione di muffe. La combinazione con altre strategie mostra invece come non vi sia un importante miglioramento del comfort. La soluzione migliore risulta tuttavia quella che combina le

tre diverse strategie.

Questa analisi rivela che la ventilazione naturale e il riscaldamento solare passivo sono tra le più importanti soluzioni passive per Hanoi e dovrebbero essere la più grande preoccupazione del progettista.

In base alla figura 5.34, la ventilazione naturale è efficace da aprile a fine settembre. Il periodo più efficace rientra nel periodo estivo (da giugno a fine agosto), confermando che una naturale ventilazione ridurrebbe in modo significativo il raffrescamento meccanizzato. Massimo comfort si verifica a metà primavera e metà autunno.

CONCLUSIONI E SCELTA DELLA VENTILAZIONE NATURALE COME STRATEGIA

Questo studio mostra in dettaglio un metodo semplice per analizzare il clima caldo umido in fase preliminare. I risultati mostrano che la ventilazione naturale e il raffrescamento per evaporazione diretta hanno quasi la stessa efficacia. Tuttavia il raffrescamento per evaporazione diretta richiede spesso sofisticate attrezzature e può contribuire ad aumentare l'umidità dell'aria e la formazione di muffe su pareti e vestiti. La ventilazione naturale risulta invece a basso costo, di facile applicazione e garantisce una buona qualità dell'aria interna, ma si basa fortemente sul vento naturale e sulla configurazione e sulla posizione dell'edificio. Dal momento che il Vietnam ha un clima umido, la ventilazione naturale in molti casi sarebbe la scelta migliore per il raffrescamento passivo perché il raffrescamento per evaporazione diretta causerebbe l'aumento di umidità nell'aria.

5.4 PROGETTAZIONE

5.4.1 LINEE GUIDA ALLA PROGETTAZIONE

Le seguenti linee guida hanno condotto la progettazione preliminare ed hanno permesso di applicare, in maniera soddisfacente, i principi della ventilazione naturale ai fini del raffrescamento degli ambienti interni e soprattutto dei grandi spazi esterni sottostanti alla grande copertura che domina il progetto.

In particolare, la morfologia dell'edificio gioca un ruolo importantissimo nella distribuzione delle pressioni del vento, influenzando la propagazione dei flussi d'aria.

Analisi e Strategie

- Analizzate le condizioni climatiche locali: temperature, umidità, velocità del vento e direzioni prevalenti;

- Identificata una strategia energetica;

Progettazione morfologica:

- Progettato la complessa copertura con il posizionamento dei camini di ventilazione in corrispondenza delle piazze di raccolta in modo tale da permettere il funzionamento contemporaneo della ventilazione naturale e dell'effetto camino.
- Progettati gli edifici al fine di rispondere positivamente alle sollecitazioni del vento da qualsiasi direzione e da innescare o aumentare la ventilazione con la loro morfologia;
- Assicurate vani d'ingresso e d'uscita da ogni ambiente al fine di promuovere i flussi d'aria; questi sono stati localizzati in posizioni strategiche, in modo da evitare il ristagno dell'aria e garantire raffrescamento degli spazi;
- Sfruttata sia la ventilazione orizzontale, mediante l'apertura di finestre

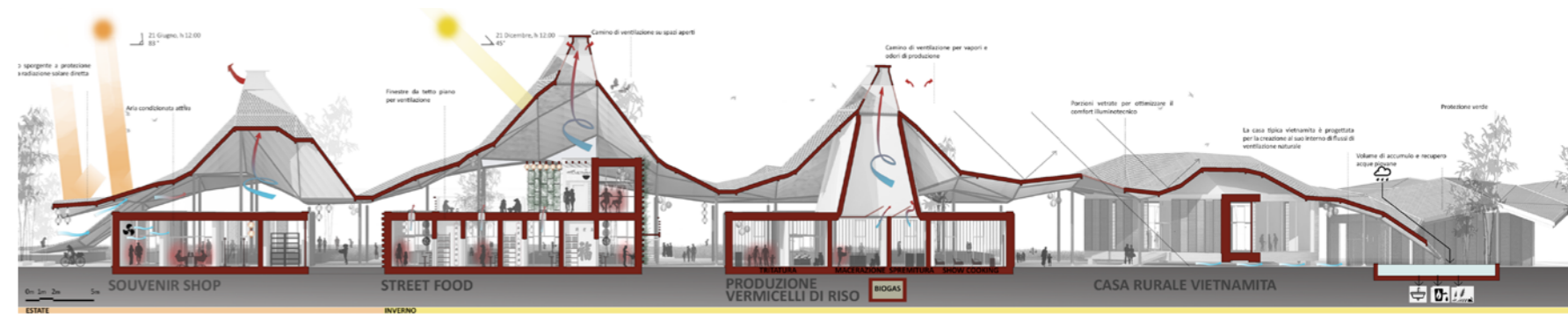


Figura 5.36 Schematic Design

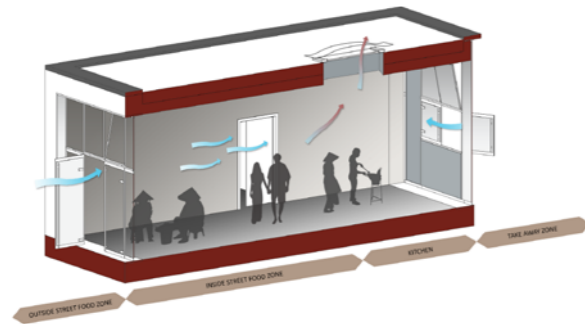


Figura 5.37 Aperture e ventilazione nel blocco dello Street Food

sui fronti contrapposti, che quella verticale, sfruttando i camini di ventilazione

- Utilizzati ventilatori elettrici in supporto alla ventilazione naturale all'interno degli edifici e un estrattore in corrispondenza dei camini;
- Potenziato l'effetto naturale di aspirazione del sistema, mediante corpi scaldanti all'imbocco superiore del vano: camino solare;
- Massimizzata la distanza verticale tra l'apertura superiore ed inferiore dei camini per un maggior flusso d'aria;
- Progettata la forma del camino previsto nella sezione di uscita di un sistema di alette metalliche mobili

Gestione, uso e manutenzione

- Fornire ai fruitori linee guida per l'utilizzo dei sistemi di ventilazione e sensibilizzare gli stessi sulle tematiche di risparmio energetico: preferire la ventilazione naturale all'aria condizionata quanto più possibile.
- Assicurarsi che tutte le aperture possano essere opportunamente sigillate

late durante il periodo invernale o durante i periodi in cui entra in funzione l'aria condizionata;

- Sistemi di ventilazione naturale accessibili a tutti e di facile utilizzo;
- Localizzate le finestre in posizioni che permettono la facile manutenzione delle stesse;

5.4.2 SCELTA DEL CAMINO DI VENTILAZIONE OGGETTO DI STUDIO

Individuata la strategia più adatta ad un clima caldo umido, ovvero l'utilizzo di ventilazione naturale, diviene necessaria una sapiente progettazione ed analisi del camino di ventilazione. In concordanza con la scelta di aver analizzato la campata strutturale relativa al primo blocchetto, quello della Reception, per coerenza e completezza di analisi, lo stesso camino è stato analizzato nello studio fluidodinamico che segue. La decisione è sembrata inoltre particolarmente interessante e accolta come una sfida. Infatti il camino in questione è relativo ad una interazione esterno-esterno dell'aria: sotto alla grande copertura e al di sopra di essa.

La sfida è stata infatti quella di progettare un camino che potesse garantire il comfort anche negli spazi esterni, molto più complesso del controllo di uno spazio chiuso, in quanto le condizioni climatiche non sono prevedibili o modificabili.

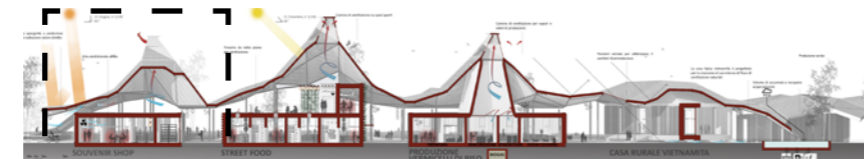


Figura 5.38 Scelta del camino di ventilazione per lo studio fluidodinamico

5.4.3 IL CAMINO DI VENTILAZIONE

Il camino scelto come oggetto di studio raggiunge i 15 m di altezza e copre un'area di 23x37 m. Strutturalmente retto da un sistema di pilastri circolari, travi primarie e travetti secondari, ricoperto da un manto di tegole vietnamite in terracotta. La morfologia scelta con prevalente andamento verticale funge in modo da incanalare l'aria calda e ormai satura ed espellerla esternamente.

La parte finale del camino è costituito da una sorta di lanterna che si restringe, proprio per favorire il passaggio ascensionale dell'aria. Inoltre la morfologia dell'imbocco è costituita da alettoni metallici che si attivano e si aprono solo per valori superiori ad una determinata variazione di temperatura in modo da favorire la ventilazione naturale e determinare una ventilazione ottimizzata.

Nella lanterna sommitale è stata prevista una porzione vetrata. Questa, unita all'uso di un metallo scuro per gli alettoni, contribuirà ad un importante aumento di temperatura nella parte alta del camino, andando a sfruttare la presenza del camino anche come camino solare.

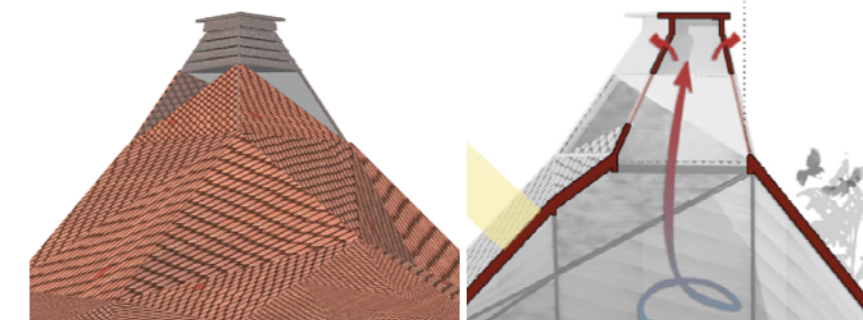
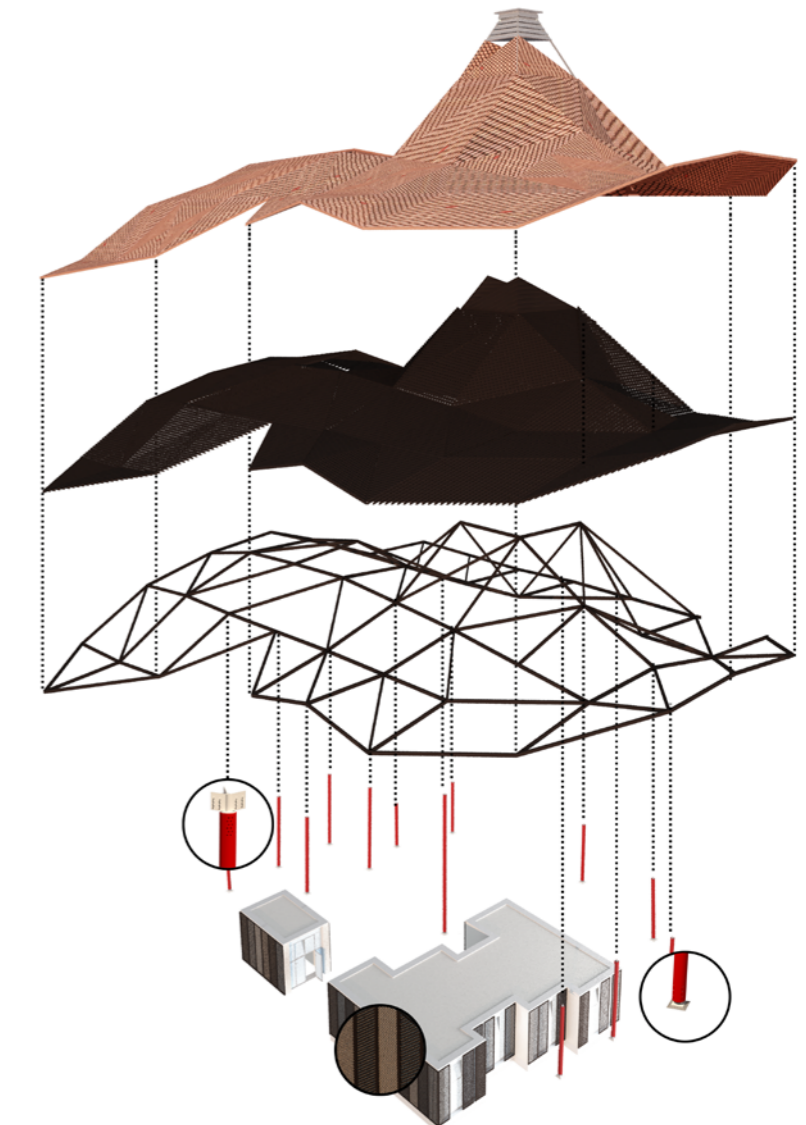


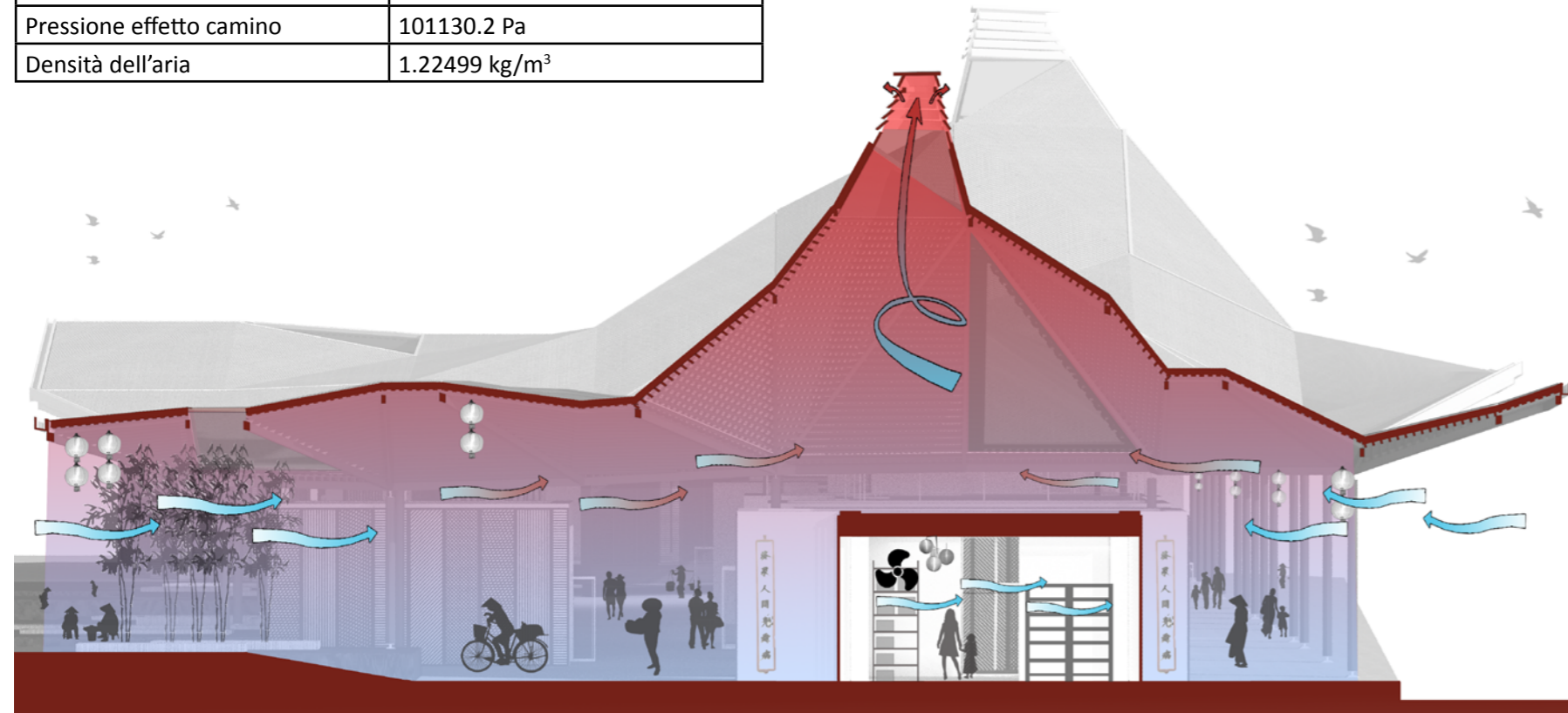
Figura 5.39 Dettaglio e sezione del camino di ventilazione





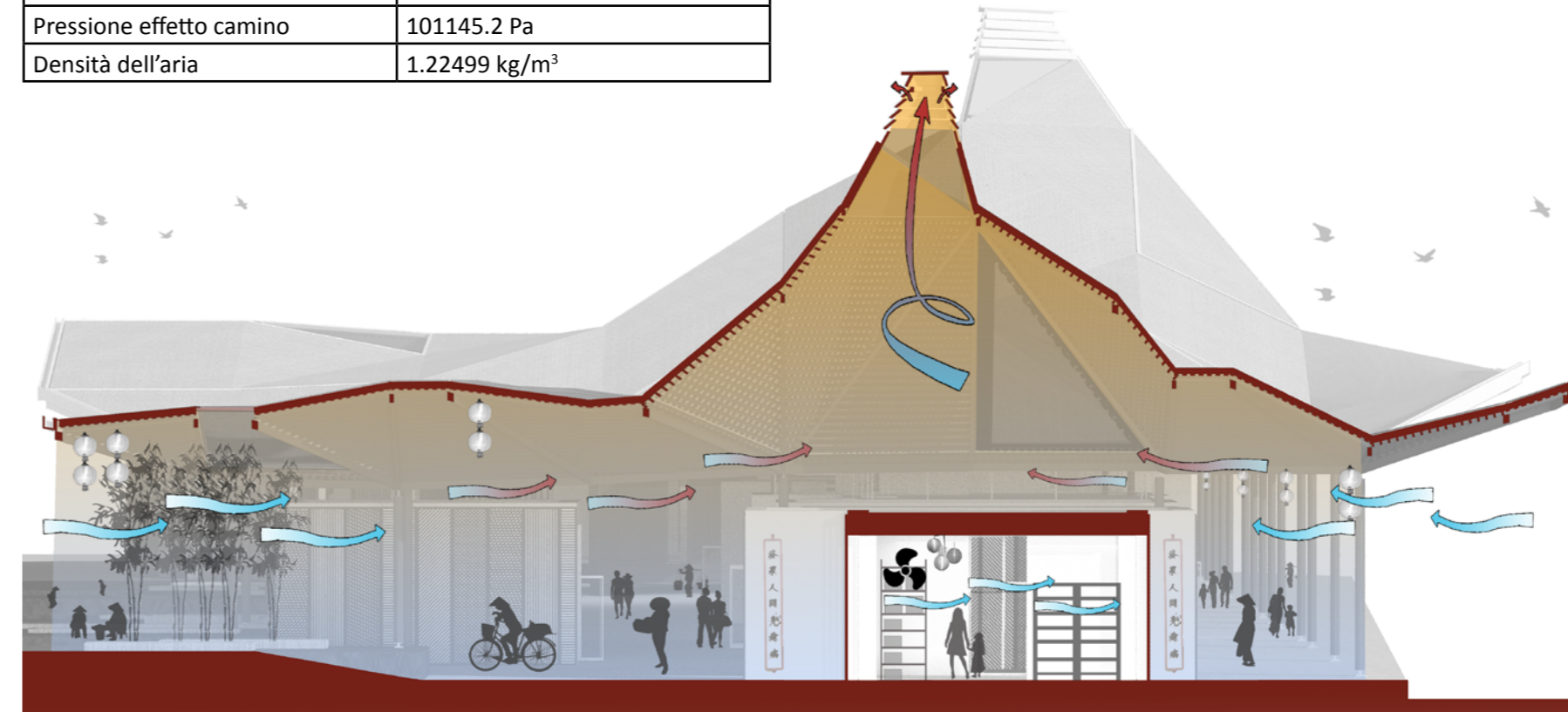
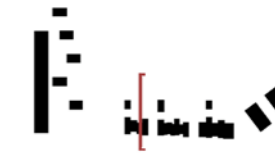
VENTILAZIONE ATTIVA, CIELO SERENO

Luogo	Hanoi
Altezza lanterna	2m
Temperatura	2328015 K
Velocità vento	1.7 m/s (media)
Cielo	sereno
Pressione	101325 Pa
Pressione effetto camino	101130.2 Pa
Densità dell'aria	1.22499 kg/m ³



VENTILAZIONE ATTIVA, CIELO COPERTO

Luogo	Hanoi
Altezza lanterna	2m
Temperatura	297.15 K
Velocità vento	1.7 m/s (medio)
Cielo	coperto
Pressione	101325 Pa
Pressione effetto camino	101145.2 Pa
Densità dell'aria	1.22499 kg/m ³



5.5 ANSYS FLUENT E LA FLUIDODINAMICA

5.5.1 INTRODUZIONE

Il sistema di ventilazione è stato progettato al fine di rispondere attivamente alla variazione delle sollecitazioni ambientali. Esso deve modificare il suo funzionamento in modo da ottimizzare la ventilazione per poter garantire condizioni di comfort. Pertanto il sistema non deve essere statico per una sola condizione ambientale, ma dinamico per gestire un ventaglio di diverse temperature e umidità dell'aria, sia nei mesi temperati che in quelli molto caldi e umidi.

A questo scopo sono state pensate le alette metalliche alla base della lanterna, che si attivano solo quando si raggiungono elevate temperature in modo da facilitare la ventilazione naturale e l'espulsione dell'aria saturata. Fondamentale è risultata quindi l'analisi delle condizioni climatiche del sito che ha permesso di valutare l'intensità e la frequenza del vento: esiste infatti un verso prevalente da sud. Il vento soffia in quella direzione per tutto il corso dell'anno.

Queste considerazioni hanno condotto la modellazione della urban farm anche in funzione del vento, generando corridoi di aerazione tra gli edifici e camini di ventilazione nella copertura che permettono l'asportazione del calore.

Normalmente in presenza di ventilazione l'aria si convoglia nel camino e viene espulsa dalle aperture laterali della lanterna.

Tuttavia, nei giorni in cui non tira vento, questo processo non viene attivato: il sistema, in questo caso è stato progettato in modo da espellere

l'aria secondo effetto venturi: il camino funge da camino solare. L'aria calda, essendo più leggera rispetto a quella fredda sale verso le zone dell'ambiente poste ad un'altezza maggiore, dove incontrando delle bocchette di aerazione, viene convogliata all'interno del camino ed espulsa. Questo fenomeno viene potenziato localizzando delle lamiere metalliche poste all'imbocco alto del camino, che, colpite dall'intensa radiazione solare si scaldano, aumentando la temperatura dell'aria in quella zona. Questo genera una differenza di potenziale attiva il moto d'aria. Eventualmente, lo spazio a disposizione permette l'installazione di ventilatori per l'espulsione dell'aria.

Per verificare analiticamente il funzionamento dell'oggetto di studio è stata compiuta un'analisi fluidodinamica supportata da un software:

Ansyst Fluent.

5.5.2 ANALISI FLUIDODINAMICHE

DESCRIZIONE

La fluidodinamica computazionale o numerica (brevemente detta CFD, Computational Fluid Dynamics in inglese) è la tecnica che permette lo studio dei problemi di fluidodinamica mediante l'utilizzo del computer, è ampiamente usata in ingegneria come strumento di analisi e progettazione.

Oggi, le simulazioni CFD supportano la progettazione di una vasta gamma di componenti in ambito, per esempio, automotive, aerospaziale, chimico e nelle industrie produttrici di energia, dove la CFD ha dimostrato di ridurre in modo significativo i costi per la progettazione e sviluppo dei

prodotti e la tempistica per l'immissione sul mercato. Viene utilizzata nel campo dell'industria e della ricerca per tutte le problematiche che coinvolgono l'azione di fluidi (forze aerodinamiche, motori, pompe, impianti chimici, comfort ambientale, ecc.). Esistono oggi numerosi software commerciali che risolvono in questa maniera le equazioni della fluidodinamica. Tra i più noti troviamo CFX, Fluent, KIVA, NUMECA, Phoenix, STAR-CD, STAR-CCM+, CFD++, Floworks ed altri open source come Code Saturne, OpenFOAM e SU2 (Stanford University Unstructured).

Il principale utilizzo della CFD è quello di risolvere le equazioni di Navier-Stokes e le equazioni ad esse collegate. La risoluzione per via analitica di queste equazioni è fattibile solamente in casi semplici con flussi laminari, e geometrie semplici (sfere, lastre piane), mentre le risoluzioni di casi reali, in cui compaiono di frequente flussi turbolenti, richiedono per forza un approccio numerico. Esistono quindi diversi metodi per risolvere le equazioni di Navier-Stokes, e poiché generalmente sono operazioni dall'elevato costo computazionale, si sono sviluppati approcci via via più raffinati basati su modelli:

- DIRECT NUMERICAL SIMULATION (Simulazione Numerica Diretta: DNS): è l'approccio concettualmente più semplice, si discretizzano lo spazio e il tempo con griglie della dimensione voluta e si eseguono i calcoli su esse. È l'approccio che restituisce i risultati più accurati ma ha un costo computazionale elevatissimo, devono essere impiegati dei supercomputer. Per le applicazioni industriali risulta quindi troppo dispendioso.
- REYNOLDS AVERAGED NAVIER-STOKES (Equazioni mediate alla Reynolds: RANS): si basano sull'assunzione che si possa vedere il moto tur-

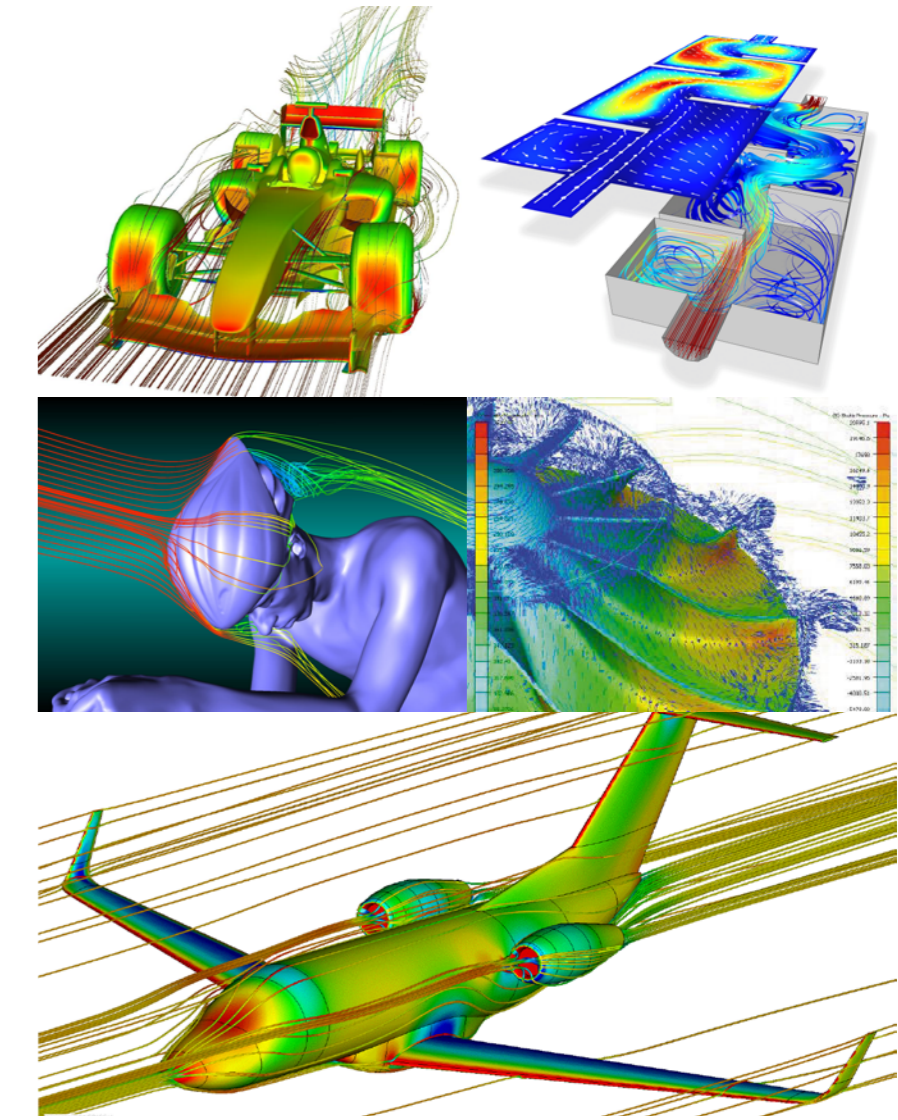


Figura 5.40 Esempi di applicazione di CFD

bolento come formato da un moto medio e da una sua fluttuazione nel tempo. Le grandezze delle equazioni di partenza vengono mediate in un certo intervallo di tempo; così facendo i tempi di calcolo vengono notevolmente ridotti in quanto le scale del moto medio risultano essere notevolmente maggiori di quelle del moto turbolento. Richiedono l'utilizzo di ulteriori equazioni (ad esempio il modello $k-\epsilon$) per la chiusura del problema.

- LARGE EDDY SIMULATION (LES): consiste nel calcolare numericamente il comportamento delle scale turbolente più grandi e modellare opportunamente le scale più piccole (Sub-grid Scale o scale di Kolmogorov). Per operare questa suddivisione si introducono filtri numerici creati ad hoc. Fornisce risultati più accurati delle RANS e ha al contempo un costo computazionale notevolmente inferiore a quello della DNS, per questo motivo è un metodo in forte sviluppo.

In molti casi devono essere risolte anche altre equazioni contemporaneamente alle equazioni di Navier-Stokes e alle equazioni del modello di turbolenza. Esse possono comprendere quelle relative alla concentrazione di specie diverse (flusso multicomponente), di reazioni chimiche (flussi reagenti), irraggiamento termico, ecc.. Problemi più complessi richiedono la modellazione di ulteriori fenomenologie, come nel caso dei flussi bifase (ad esempio gas / liquido) o nel caso di fluidi non Newtoniani.

METODI DI DISCRETIZZAZIONE

Metodo ai volumi finiti: è l'approccio standard utilizzato nella maggior parte dei codici commerciali per la CFD. Le equazioni vengono risolte in

un volume di controllo discreto (cella).

Metodo agli elementi finiti: questo metodo (il cui acronimo inglese è FEM) è generalmente utilizzato nell'analisi strutturale, ma viene applicato a volte anche allo studio dei fluidi laddove i numeri di Reynolds siano dell'ordine delle decine di migliaia.

Metodo alle differenze finite: è stato il primo adottato nell'ambito della fluidodinamica. Oggi viene comunque usato solo in alcuni codici specializzati.

PROCEDURE DI ANALISI

L'approccio tipico richiede di discretizzare il dominio fluido in celle elementari così da ottenere una griglia di calcolo (anche detta mesh), sulla quale applicare dei metodi di risoluzione iterativi al fine di risolvere le equazioni di Navier-Stokes o le equazioni di Eulero.

Nei diversi approcci evidenziati la procedura di analisi risulta sempre, per grandi linee, simile:

Viene definita la geometria (o dominio fisico) del problema da analizzare. Il volume occupato dal fluido viene discretizzato, cioè suddiviso in un gran numero di celle elementari generando una griglia di calcolo.

Viene definito il modello fisico (ad esempio, le equazioni del moto + l'equazione dell'energia + le equazioni delle specie) e quindi quello numerico (metodo di discretizzazione delle equazioni, algoritmi per la risoluzione delle equazioni).

Vengono definite le condizioni al contorno, ossia vengono specificate le proprietà del fluido nel dominio di calcolo. Per problemi dipendenti dal

tempo devono essere specificate le condizioni iniziali.

Vengono risolte le equazioni in maniera iterativa. Il calcolo viene interrotto una volta che sia stato raggiunto il grado di accuratezza desiderato.

I risultati prodotti vengono visualizzati con un post-processore.

Si effettua, infine, l'analisi dei risultati.

Va sottolineato che l'integrazione iterativa fra i risultati dell'analisi fluidodinamica e quelli strutturali ad elementi finiti permette di valutare non solo gli effetti dei flussi attorno ai solidi ma anche le loro deformazioni, permettendo di valutare approfonditamente anche effetti variabili nel tempo delle pressioni su una superficie.

5.5.3 ANSYS FLUENT

Le analisi fatte con l'approccio CFD, per la verificare l'efficacia del camino, sono state effettuate con il software ANSYS FLUENT in gradi di fornire il modello tridimensionale del fluido di studio.

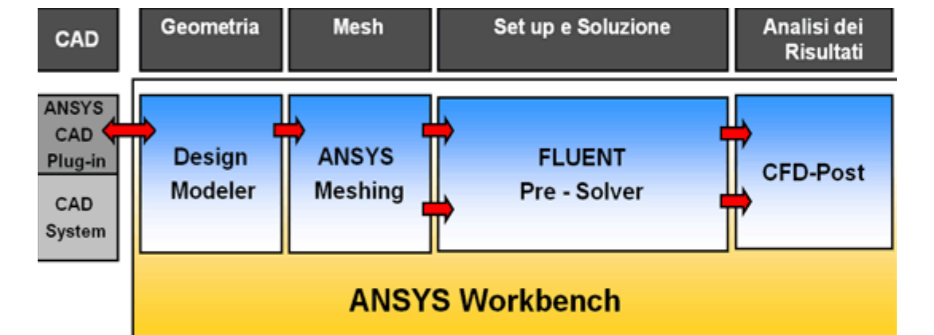
ANSYS FLUENT è una tecnologia allo stato dell'arte per la termo-fluido-



dinamica numerica (CFD). In seguito all'acquisizione di FLUENT da parte di ANSYS Inc., il software fluidodinamico è stato integrato nell'ambiente di lavoro ANSYS WorkBench, con benefici in termini di interfacciamento con gli strumenti CAD e con altri strumenti di analisi, per esempio per lo studio di interazione fluido-struttura.

ANSYS FLUENT è in grado di simulare un'ampia gamma di fenomeni termo-fluidodinamici e fornisce un set completo di modelli fisici avanzati:

- flussi incomprimibili e comprimibili
- scambio termico
- turbolenza
- terne rotanti
- flussi multi-fase
- flussi reagenti e combustione
- radiazione
- mesh mobili
- interazione fluido-struttura
- calcolo parallelo



Il programma prevede i seguenti passaggi:

- GEOMETRIA: modellazione semplificata dell'oggetto di studio.

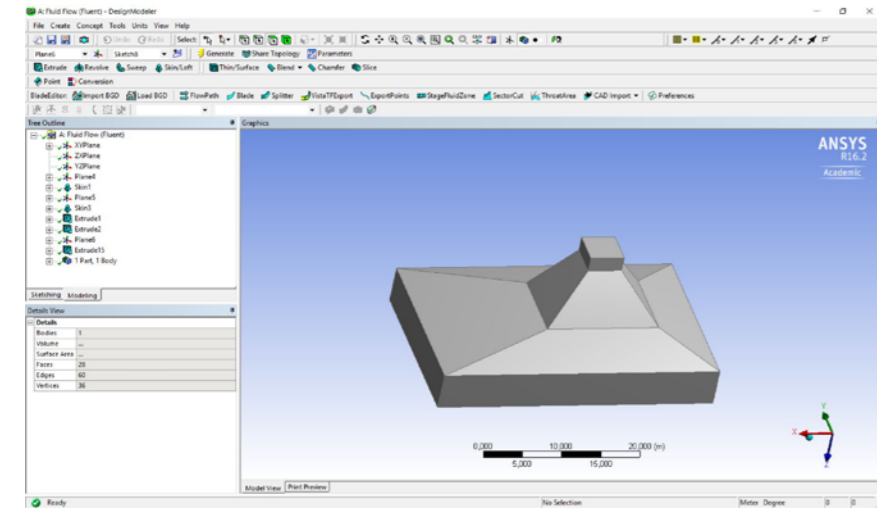


Figura 5.41 Creazione della geometria del camino

- MESH:

in questa fase avviene la discretizzazione dell'oggetto generando una griglia di calcolo. Il camino viene inoltre suddiviso in tre macro gruppi di mesh: INLET, OUTLET e FLUIDE, ovvero l'ingresso dell'aria, la fuoriuscita ed il fluido che occupa il volume del camino.

A tale scopo è risultata fondamentale l'analisi del vento prevalente per determinare da quale lato avvenisse l'ingresso dell'aria e da quale la fuoriuscita. Inoltre sono state impostate come outlet le pareti laterali della lanterna.

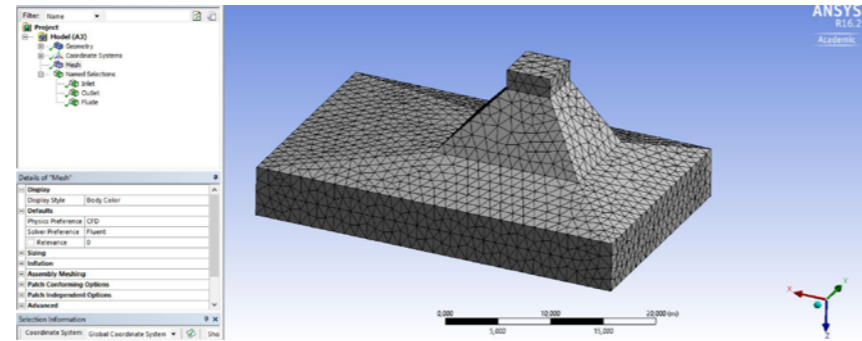


Figura 5.42 Creazione delle mesh

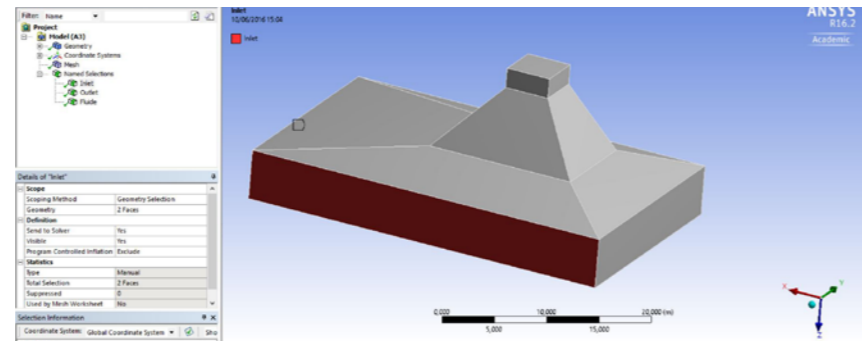


Figura 5.43 Inlet in direzione S/O

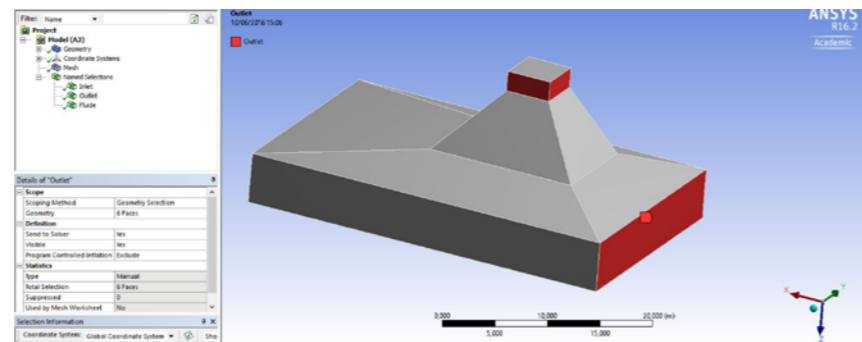


Figura 5.44 Outlet in direzione opposta all'Inlet alla base e sulle pareti della lanterna

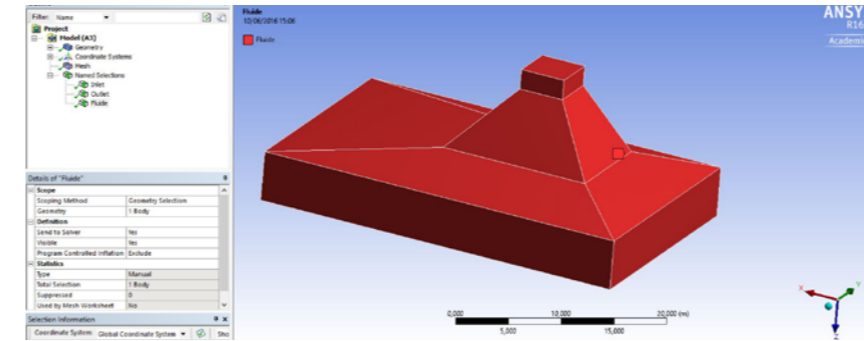


Figura 5.45 Fluide

- SET UP E RISULTATI:

In questa fase avviene la vera analisi. E' qui infatti che vengono inserite le condizioni iniziali e al contorno dell'oggetto. Questo avviene solo a fronte di un'attenta analisi del clima in cui si trova il progetto. Come verrà spiegato successivamente sono state definite diverse condizioni al contorno per decretare il funzionamento o meno sotto diverse ipotesi.

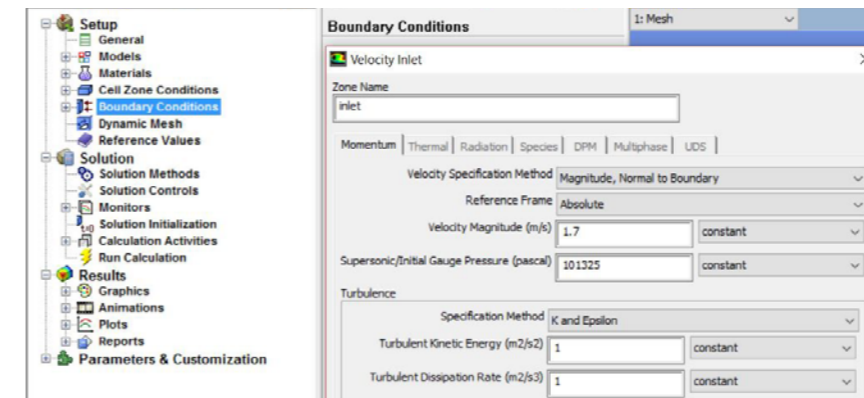


Figura 5.46 Condizioni al contorno Inlet

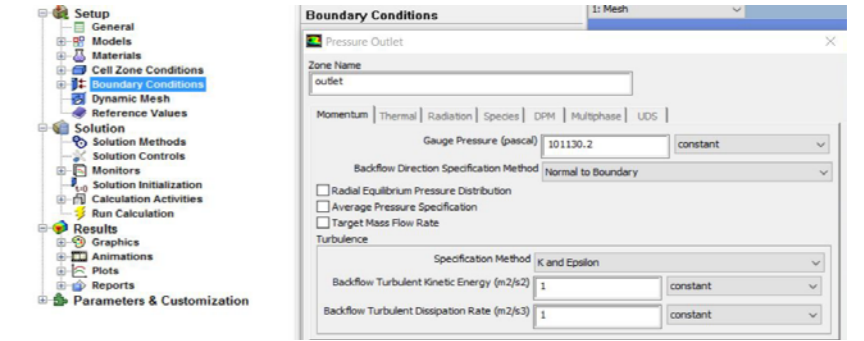


Figura 5.47 Condizioni al contorno Outlet

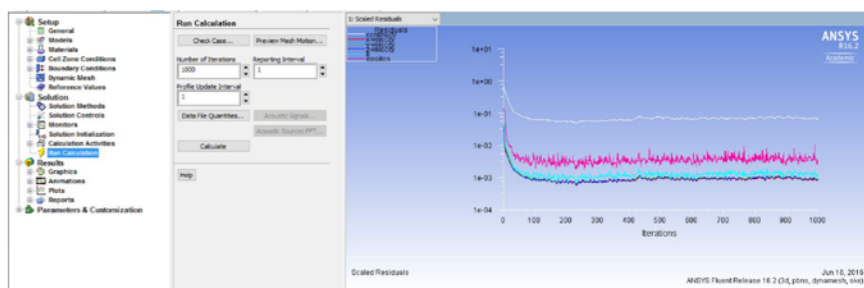


Figura 5.48 Andamento tipico dei residui numerici nelle simulazioni svolte

ANALISI DEI RISULTATI:

Alla fine del processo di settaggio ed elaborazione delle soluzioni avviene l'analisi dei risultati da parte del software.

Graficamente si ottengono modelli tridimensionali e bidimensionali del campo delle velocità, delle pressioni, delle turbolenze ed altre ancora, come vedremo.

L'obiettivo sarà quello di determinare il campo delle velocità al fine di definire il comfort sottostanti al camino e le portate in uscita.

5.5.4 DIVERSE CONDIZIONI AL CONTORNO E GEOMETRIE PER RISULTATI DIVERSI: 24 CASI STUDIO

Le analisi seguenti forniscono informazioni utili inerenti alla distribuzione delle velocità dell'aria e del moto relativo nell'ambiente.

Questa verifica, di tipo qualitativo/sensitivo, mostra come al variare del parametro impostato la risposta del aria si modifica.

Lo studio effettuato ha previsto un totale di 24 casistiche diverse considerando le seguenti variabili:

- Altezza di Outlet della lanterna: 1m, 2m, 3m.
- Posizionamento del camino ad Hanoi o Milano. Questo per verificare che l'eventuale funzionamento del camino si adattasse non solo al clima caldo umido vietnamita ma anche a quello temperato occidentale.
- Ventilazione presente, ventilazione minima o assente. In questo caso l'obiettivo era quello di verificare se l'attivazione del camino avvenisse solo in condizioni favorevoli considerando i valori medi di ventilazione annuali o anche con valori minimi o nulli.
- Cielo coperto o cielo sereno. Questa ulteriore variabile è atta alla verifica del funzionamento del camino come camino solare e ha previsto la collaborazione del software Trnsys17 per ricavare il ΔT tra l'aria sottostante al camino e quella al di sopra della copertura.

Per le condizioni climatiche di Hanoi e di Milano, relative a temperature e velocità del vento, si è fatto riferimento alla banca dati del software Meteonorm. A seguire sono riportati i dati utilizzati:

HANOI VM							Milano IT						
Irraggiamento globale giornaliero				Temperature giornaliere			Irraggiamento globale giornaliero				Temperature giornaliere		
	Gh	Dh	Bn	Ta	Td	FF		Gh	Dh	Bn	Ta	Td	FF
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	°C	m/s		kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	°C	m/s
Gennaio	67	49	32	15,4	12,4	1,8	Gennaio	33	19	43	4,2	-0,4	0,2
Febbraio	69	53	26	17,5	15,2	2,1	Febbraio	51	31	49	6,3	0,6	0,5
Marzo	87	64	34	20,6	17,6	1,9	Marzo	96	53	86	10,9	4,1	0,8
Aprile	106	77	40	24,7	21,1	2,2	Aprile	119	70	82	14,6	7,9	0,8
Mag	145	87	79	27,8	23,4	1,9	Mag	148	75	113	20,1	12	0,9
Giugno	152	95	76	29,7	25	1,7	Giugno	153	89	100	24,5	15,9	1
Luglio	161	86	102	29,4	25,3	1,8	Luglio	169	87	129	26	17,8	0,8
Agosto	158	87	98	28,5	25,3	1,4	Agosto	146	80	109	25,4	17,7	0,5
Settembre	133	79	79	27,2	23,5	1,2	Settembre	95	63	60	20,7	13,5	0,4
Ottobre	130	79	77	25	21,4	1,3	Ottobre	60	44	36	15,8	10,8	0,1
Novembre	103	62	70	21	16,5	1,5	Novembre	32	21	33	9,9	5,2	0,2
Dicembre	77	56	39	17,2	13,6	1,6	Dicembre	26	19	23	5,1	0,8	0,2
Anno	1388	874	751	23,7	20	1,7	Anno	1125	652	862	15,3	8,8	0,5

5.5.5 EFFETTO CAMINO E CAMINO SOLARE

Per determinare la differenza di pressione che si genera al di sotto della copertura è stata determinata numericamente la differenza di pressione dovuta all'effetto camino e al camino solare.

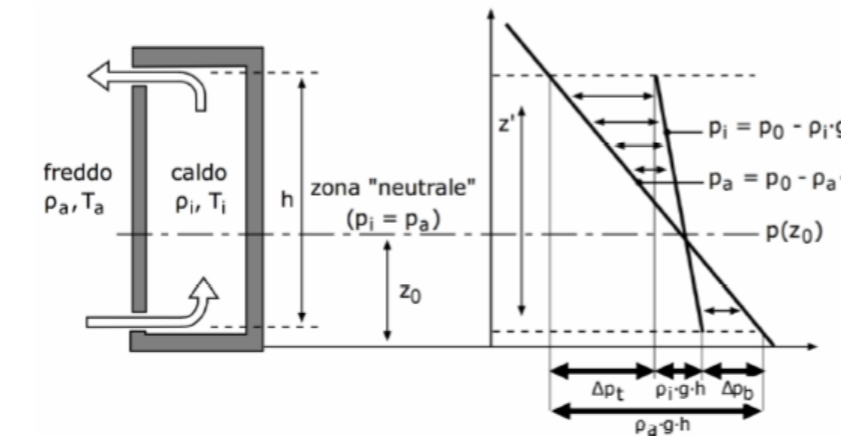
La forza peso della massa dell'aria che ci sovrasta determina la pressione dell'atmosfera. La pressione diminuisce con l'altezza in quanto la parte d'aria che si trova al di sotto di una determinata quota non contribuisce al peso della colonna d'aria che si trova sopra una quota prestabilita. Un'analisi precisa della pressione in funzione dell'altezza deve tener conto anche della rarefazione dell'atmosfera.

Tuttavia se ci si limita a piccole differenze di quote, come si incontrano di solito nell'analisi degli edifici, la variazione della pressione è descritta da una semplice funzione lineare.

La pressione di una colonna d'aria all'altezza z_0+z' può essere calcolata sottraendo dal valore di $p(z_0)$ la pressione esercitata dal volumetto

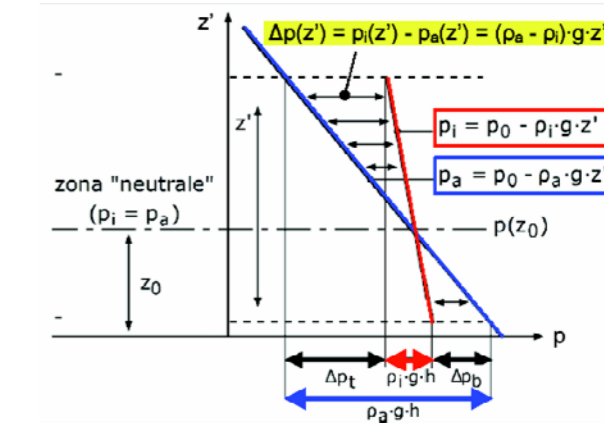
$$p = p(z_0) - \rho_a \cdot g \cdot z'$$

Dato che l'aria calda ha una densità inferiore a quella dell'aria fredda, la variazione di pressione con la quota per l'aria calda è quindi inferiore a quella che si riscontra per l'aria fredda. Nel caso di spazi riscaldati alti o ancora maggiormente nel caso di camini (temperature dei fumi molto elevate) ciò può causare grandi differenze di pressione tra l'interno e l'esterno e quindi un elevato ricambio d'aria.



Ponendo l'altezza di riferimento z_0 nel punto neutro, dove la pressione interna eguaglia quella esterna, l'andamento delle pressioni interne ed esterne in funzione dell'altezza z' (misurata rispetto a z_0) può essere scritto nel seguente modo:

$$p_i(z') = p(z_0) - \rho_i \cdot g \cdot z' \quad p_a(z') = p(z_0) - \rho_a \cdot g \cdot z' \quad \text{con } \rho_i < \rho_a$$



Considerando l'aria come un gas ideale si può mettere in relazione la pressione p dell'aria alla sua temperatura T in Kelvin (K):

$$pV = m \cdot R_s \cdot T$$

dove R_s è la costante dei gas per l'aria secca.

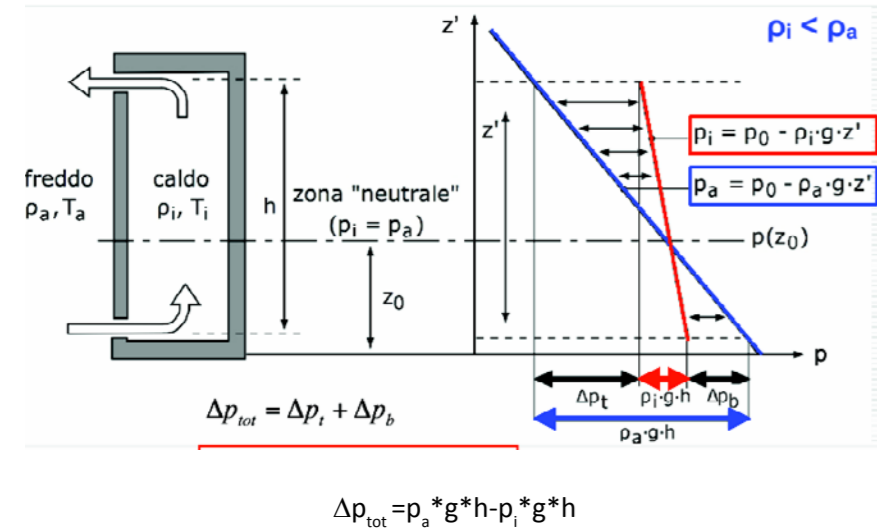
Da tale equazione si può dedurre una relazione tra la densità ρ dell'aria e la sua temperatura:

$$\rho = m/V = p / R_s \cdot T$$

Utilizzando la pressione media del luogo – nel quale è situata la costruzione – le densità dell'aria interna ed esterna si possono esprimere nel modo seguente:

$$\rho_i = p_m / R_s \cdot T_i \quad \rho_a = p_m / R_s \cdot T_a$$

Si ottiene quindi:



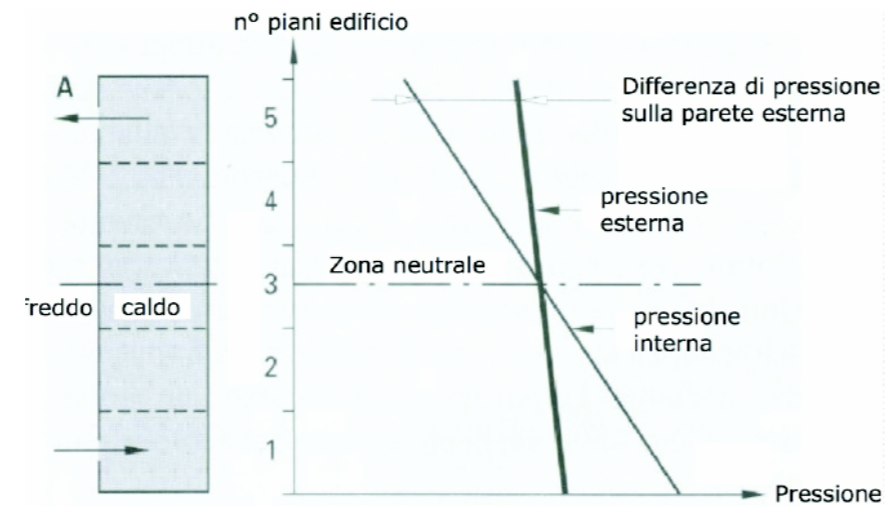
con l'equazione dei gas ideali applicata all'aria si ottiene:

$$\Delta p_{tot} = (p_m * g) / R_s * h * (1/T_a - 1/T_i)$$

dove p_m è la pressione atmosferica media del luogo.

La dipendenza dall'altezza di questa differenza di pressione (Δp) indotta dall'azione termica (spinta termica) è determinata dalle caratteristiche dall'involucro ed in particolare dalla distribuzione dei punti di "non-ermeticità" sulla facciata dell'edificio. Se questi punti sono distribuiti in maniera uniforme, la cosiddetta zona neutra (dove pressione interna ed esterna si eguagliano) si situa in corrispondenza della metà dell'altezza

dell'edificio. Nel caso di edifici a più piani e con un'elevata permeabilità tra i piani (per es. scala interna), la differenza di pressione dovuta all'azione termica si forma sull'altezza dell'intera facciata.



Si può ricorrere all'effetto camino fornendo l'edificio di aperture sia in basso che alla sua sommità, l'aria calda salirà naturalmente e uscirà dalle aperture in alto mentre l'aria fredda entrerà attraverso le aperture alla base. La ventilazione con effetto camino, non è molto alta e di norma non si superano i 4 - 6 rinnovi orari dell'aria in un ambiente.

Tuttavia il sistema è molto utile per evitare stratificazioni d'aria calda nella parte alta degli ambienti interni e questo è importante soprattutto nel caso di spazi con una grande connessione verticale. Per una buona estrazione dell'aria è utile che la temperatura esterna non sia troppo alta; più precisamente occorre che vi siano differenze piuttosto rilevanti

tra l'aria calda nella parte più alta dell'edificio e l'aria esterna per aumentare queste differenze, si può usare il camino solare.

Il funzionamento di questo sistema è basato sulla realizzazione di una camera d'aria sul tetto costituita da un captatore, di colore scuro, coperto da un vetro.

L'aria che si trova nel camino solare, scaldandosi, diminuisce la sua densità e richiama aria nuova dalle aperture inferiori.

A questo intento sono stati inserite nella lanterna porzioni vetrate ed alettoni metallici di colore scuro.

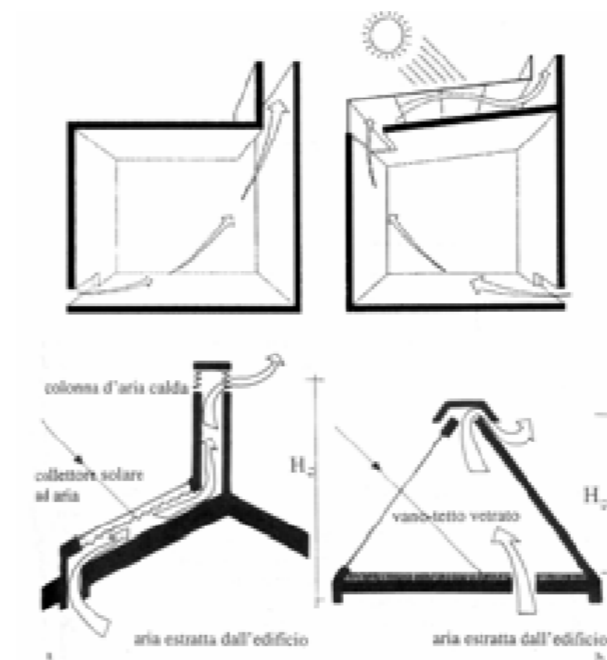


Figura 5.49 Schemi di funzionamento per il camino solare

Come accennato in precedenza l'effetto camino è stato valutato in condizione di cielo coperto e cielo sereno.

A queste diverse condizioni ci si aspetta un ΔT all'interno del camino molto superiore in condizioni di cielo sereno, in quanto sarà attivata la funzione di camino solare. Maggiore ΔT determina una maggiore differenza di pressione, che come appena stato analizzato, determina un maggior tiraggio del camino.

Per la condizione di cielo coperto è stato ipotizzato un $\Delta T = 10^\circ C$.

Per determinare numericamente la differenza di temperatura che si genera in condizione di cielo sereno è stato necessario la collaborazione con il programma Trnsys17.

Nel capitolo successivo, verrà analizzato il comfort microclimatico del complesso della Urban Farm, attraverso l'utilizzo del software Trnsys17. In questa fase si farà cenno ad una breve simulazione, effettuata con lo scopo di avere dati sensibili nel campo delle temperature presenti all'interno del camino di ventilazione preso in esame.

Infatti temperatura e pressione, nel problema preso in esame, sono presenti sotto forma di incognita, risulta quindi necessario effettuare un'ipotesi da porre come condizione al contorno per il modello nel software Ansys Fluent.

In questo caso è stata scelta come termine da ipotizzare il valore di temperatura, da cui poi deriverà il valore di pressione relativo.

Per ottenere i valori necessari, è stata quindi modellata la porzione di copertura relativa al blocco reception e info point nel software Trnsys17, dividendo lo spazio coperto in tre zone termiche in base alla quota, una

bassa da livello 0m a 5m, una intermedia da 5m a 10m e una in sommità da 10m a 15m.

Il volume è stato modellato come uno spazio chiuso, poiché unico modo per poter valutare le temperature alle tre quote differenti.

Per ottenere una configurazione reale dell'insieme sono stati effettuate utilizzate le seguenti modifiche del modello:

- E' stato impostato un valore fittizio molto elevato di trasmittanza termica alle pareti virtuali poste al contorno del volume, per simulare lo scambio termico tra il volume di aria posto al di sotto del camino e l'aria esterna;

- E' stato definito uno scambio termico "coupling" tra le zone termiche adiacenti, per simulare il passaggio termico e il flusso d'aria tra le diverse quote all'interno del camino.

La simulazione è stata effettuata, in questo caso, con portata in uscita nulla, per verificare le temperature all'interno del camino in assenza di ventilazione dello stesso.

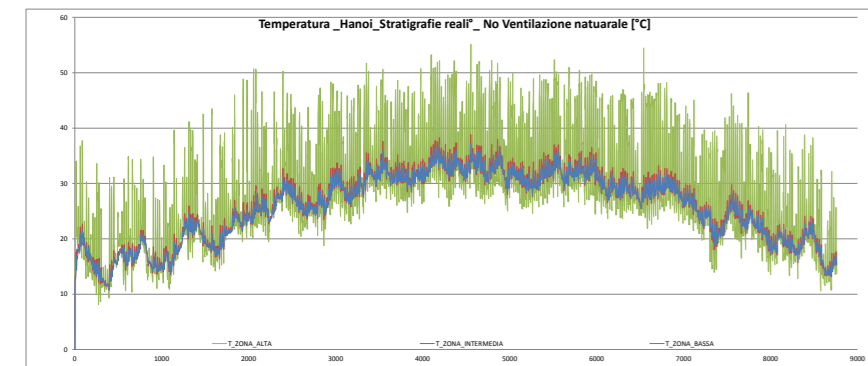


Figura 5.50 Grafico delle temperature ottenuto con Trnsys17 relativo ad Hanoi

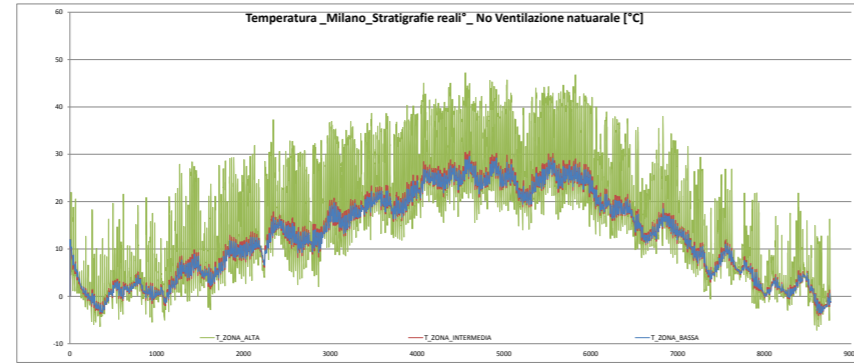


Figura 5.51 Grafico delle temperature ottenuto con Trnsys17 relativo a Milano

Dai grafici in esame possiamo notare come, sia per la città di Hanoi sia per Milano, la zona alta presenti dei picchi più rilevanti rispetto alle zone più basse, questo per le elevate temperature che vengono registrate in sommità nelle ore centrali della giornata e che permettono l'attivazione della ventilazione naturale per effetto camino.

Per questo motivo sono stati calcolati degli intervalli di temperature presenti nelle ore centrali diurne nella parte alta del camino, per poi poterle inserire un valore medio come condizione al contorno per il modello del software Fluent.

Gli intervalli di temperatura e il valore medio ottenuti per le due località in esame sono:

- Milano: $39.75^{\circ}\text{C} < T < 47.23^{\circ}\text{C}$; CC: $T = 43^{\circ}\text{C}$;
- Hanoi: $46.23^{\circ}\text{C} < T < 55.16^{\circ}\text{C}$; CC: $T = 50^{\circ}\text{C}$.

Nel capitolo successivo verranno utilizzate le portate di ventilazione in V/h ottenute dalla simulazione in Ansys Fluent per effettuare verifiche

sui vari livelli di comfort nello spazio aperto al di sotto della copertura e negli edifici del blocco reception e info point, al fine di ottimizzare le scelte progettuali attuate.

Ottenute le differenze di temperature è stato possibile ottenere la differenza di pressione da inserire nel software Ansys Fluent.

5.5.6 24 CASI STUDIO

Di seguito vengono riportati i ventiquattro casi analizzati, specificando di volta in volta i dati utilizzati.

ANALISI 1: Condizioni al contorno e condizioni iniziali

Luogo	Hanoi
Altezza lanterna	1m
Temperatura	297.15 K
Velocità vento	1.7 m/s (medio)
Cielo	coperto
Pressione	101325 Pa
Pressione effetto camino	101145.2 Pa
Densità dell'aria	1.22499 kg/m ³

A seguire i grafici delle velocità espresse in m/s all'interno del volume di studio. Nell'ordine si vedono: sezione verticale, sezione orizzontale all'altezza di 2 m, ovvero l'altezza massima interessata dal comfort percepibile dall'uomo, visione 3D. Così per tutte le altre analisi.

