

Architettura Tecnica + LAB

prof. Marina FUMO
Claudia LOMBARDI
Ing. Arch. Veronica VITIELLO
(ass.) Gigliola D'ANGELO
Giuseppe TRINCHESE

Il termine "Architettura Tecnica" fa pensare al termine "tecnica" come a un aggettivo; esso può però essere anche inteso come sostantivo, come commistione di Architettura e Tecnica.

Cerchiamo di definire i termini:

Architettura: È arte? La definizione in un primo momento non è omogenea; con l'esperienza si raggiunge una definizione più precisa.

Tecnica: La definizione è più omogenea, è un complesso di norme su cui si fonda l'esercizio pratico di una determinata attività manuale, intellettuale o artistica.

In ogni caso, l'architettura nasce per soddisfare le necessità biologiche dell'uomo (inizialmente identificate col ripararsi dagli agenti atmosferici o di avere un posto sicuro dove trascorrere la notte) a cui si aggiungono delle funzioni secondarie, storicamente dovuta alla differenziazione dei lavori (esempio: case dei capo tribù, degli sciamani che curavano e dei sacerdoti che diventano edifici amministrativi, ospedali e chiese).

- Esempi:**
- Ospedale dei Pellegrini: era un monastero, i monaci accoglievano i pellegrini e li curavano; diventa un polo assistenziale e, successivamente, un ospedale.
 - San Gennaro dei Poveri: polo assistenziale in uso dall'età paleocristiana, oggi dedicato ai poveri
 - Ospedale degli Incurabili: comprendeva chiesa e farmacia (settecentesca, illuministica)

Si osserva che la tradizione di assistenza sanitaria in Europa è strettamente legata alla cultura monastica, ciò perché i monaci non vivevano una vita mondana, ma studiavano le erbe mediche e ricoprivano i libri.

- Per quanto riguarda le scuole, vengono spesso sistemate in ex complessi monastici, in virtù dell'organizzazione degli spazi; l'istituzione vera e propria però è MODERNA: non esistono, a differenza degli ospedali, scuole pubbliche "antiche" ancora in funzione oggi; fino a metà '800 circa era ancora in uso la figura del precettore che educava le famiglie benestanti; con la riforma Cattaneo di fine '800 nasce e si definisce la scuola pubblica.
- Gli edifici commerciali non sono antichi quanto l'attività stessa: praticata inizialmente all'aperto (Piazza del Mercato), svolgeva (e svolge) una funzione sociale: sono luoghi d'incontro. Nel Medio Evo, con le corporazioni di mestiere, alcuni edifici abitativi avevano al piano terra delle botteghe (casa e bottega); la concezione della bottega, luogo dove viene prodotta e venduta una data merce, è sopravvissuta fino ai giorni nostri: ad esempio, panifici e caseifici hanno questa concezione. Successivamente, oltre al commercio su piccola scala (negozio), nasce il commercio su grande scala, che si evolvono fino ad arrivare ai grandi mall statunitensi (davanti alla "tradizione costruttiva": principalmente i nuclei abitativi sono agglomerati di villette unifamiliari che si estendono per ettari → nei mall ci si rifornisce e si occupa il tempo libero). In America però si guarda con ammirazione all'urbanistica delle città europee, con le passeggiate pedonali su cui si affacciano i negozi. Nasce dunque il Designer Outlet, di cui il più noto è il McArthur - Glen, che recupera quest'idea, è aperto e formato da complessi di edifici, riprendendo linguaggi architettonici locali e formando una mixité fonctionnelle.

Lo studio dell'Architettura dipende strettamente dalla figura di Vitruvio: scrive per Augusto i suoi 10 libri di Architettura, poiché l'imperatore voleva modificare l'organizzazione urbana dell'Urbs aumentando la monumentalità ma conservando il linguaggio e le tradizioni. Il trattato vitruviano è riconosciuto come punto d'inizio della manualistica (come si devono fare le cose), che avrà una lunga fase di vuoto fino alla riscoperta nel 1414 di Poggio Bracciolini dei 10 libri, che vengono nuovamente pubblicati.

Importante è la triade fondamentale vitruviana: *Utilitas, Firmitas, Venustas*.

Utilitas: Funzione, a seconda dell'uso di un edificio determina progetti diversi.

Bruno Zevi differenzia l'architettura in base allo spazio interno, ovvero la presenza di un ambiente abitabile e fruibile: un edificio con uno spazio interno irrilevante **NON** è architettura, ma scultura su ampia scala.

Walter Gropius ha una visione simile, ma più astratta: per lui l'architettura è l'arte di organizzare lo spazio e si esprime tramite la costruzione di edifici.

Una via di mezzo tra le due concezioni è guardare alla funzione delle strutture costruite: grazie alla utilità possiamo parlare di architettura, altrimenti si parla semplicemente di scultura in grande scala.

Firmitas: Stabilità, che occorre per "reggere" gli edifici.

Si identifica con la statica: un edificio deve reagire a molteplici forze, come il peso proprio, carichi accidentali (persone, mobili), forze esterne (agenti atmosferici, sia ordinari che straordinari).

Un edificio deve essere progettato in modo tale da resistere e sopportare ogni forza, anche quelle straordinarie.

Venustas: Bellezza, armonia, proporzione delle parti.

Vitruvio la identifica con un attento calcolo della simmetria; nell'attività progettuale contemporanea è però spesso vista come un limite. Recenti studi neuroscientifici hanno dimostrato che l'uomo ha in sé un'idea di simmetria, vista come "rassicurante": i bambini interpretano la simmetria (dei volti) come normale, si stupiscono con espressioni facciali asimmetriche.

Sulle proporzioni, ci sono diverse misure e proporzioni nella Storia, che spesso imitano la natura: è importante per un progettista progettare secondo le proporzioni della natura poiché esse portano benessere e rassicurazione all'uomo.

Sezione Aurea: $(a+b):a = a:b$; $\Phi = 1,618...$ è un rapporto fra due grandezze disuguali, di cui la maggiore è media proporzionale tra la minore e la loro somma. Tale proporzione fu osservata in natura da Pitagora.

Fibonacci: figlio di un rappresentante di mercanti pisani in Algeria, studia l'aritmetica e i numeri arabi spostandosi anche a Costantinopoli; al suo ritorno pubblica il Liber Abaci, dove introduce le nove cifre "indiane" e lo zero (dal latino zephyrus). Federico II di Svevia finanzia i suoi studi a vita. La sua celebre successione, modello di molti fenomeni naturali, contiene anche proporzioni visive.

La bellezza è comunque associata al concetto di estetica (aesthetica: percezione mediata dal senso): deve esserci un'idea, aggiunta alle considerazioni strutturali e funzionali, espressa nel progetto tramite una certa grazia.

Infine, l'Arte dipende dall'intensità dell'intuizione-espressione: l'intuizione dell'artista è più forte e ricca, ma per essere un vero artista bisogna poterla tradurre in espressione (fatto spirituale, interiore ed inscindibile dall'intuizione); per saper comunicare bisogna conoscere il linguaggio e aumentare il proprio livello di percezione (non bisogna chiudersi nel proprio mondo).

Sappiamo che esiste una distinzione tra ingegneri ed architetti, ma è anche noto che i confini sono molto labili al giorno d'oggi; l'Architettura Tecnica può essere vista come una sintesi delle due anime.

Storicamente, la distinzione tra ingegneri ed architetti nasce nell'800 in Francia, con la nascita dell'École des Beaux Arts e della École des Ponts et Chaussées; la seconda era a servizio dell'esercito (Napoleone imita gli imperatori romani) e gli architetti si occupavano della decorazione delle opere ingegneristiche GIÀ REALIZZATE; minore il concetto di architettura come sintesi di tecnica e bellezza.

Edilizia: Costruzione per meri fini pratici, senza alcuna estetica. Prima la distinzione tra edilizia e architettura era data dall'assenza di progetto ("edilizia spontanea"), ora la definizione è più complessa.

Architetto: Da archos (capo) + tékton (costruttore) \Rightarrow bisogna conoscere. (Etimologia comune a molte lingue)

Le uniche caratteristiche notate in architettura da una persona non esperta sono quelle visive, come la monumentalità. Quelle strutturali sono nascoste, comprensibili nella loro interezza solo da esperti nel settore, mentre quelle funzionali sono date per scontate.

Gli edifici possono essere visti come una terza pelle (la seconda sono i vestiti) che l'uomo ha creato per adattarsi ad ogni ambiente, danneggiandolo. Bisogna dunque progettare con coscienza.

Attraverso la **Tecnica**, partendo da una consuetudine operativa si crea spazio per l'innovazione sia teorica (scienza) che pratica (esperimento); essa è solitamente legata a una forma di produzione (materiale e immateriale), la sua etimologia, *Techne*, definisce infatti l'arte del produrre, da cui derivano lezioni del tipo "impara l'arte e mettila da parte", "lavoro a regola d'arte"...

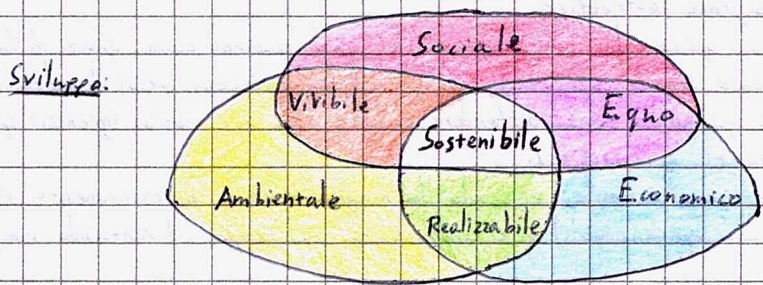
Dall'analisi di ciò che ci circonda possiamo trarre importanti osservazioni valide anche in Architettura Tecnica: ad esempio, osservando bottiglie d'acqua in plastica si notano numerose nervature e pieghe; da qui si nota che la forma può sopprimere allo spessore delle strutture (forma corrugata \Rightarrow più resistenza: ~~=====~~ = v w w), si può anche notare dalle moderne barracche in alluminio che l'aria funge da isolante, spesso meglio di altri materiali isolanti; nella muratura esterna è infatti spesso presente una cavità di massima 5 cm (evita moti convettivi, che annullerebbero questa proprietà) che isola termicamente l'edificio; si possono anche fare delle preliminari indagini sul colore (bottiglia verde rievoca le prime bottiglie di vetro, se trasparente induce a pensare a un'acqua pura).

A causa del progressivo peggioramento delle condizioni ambientali, è diventato fondamentale evitare di peggiorare le condizioni ambientali: un buon progetto porta benessere alla comunità e all'ambiente. I parametri che definiscono un progetto sono:

• USO	informa le scelte spaziali e progettuali, definisce i tipi edilizi
• SITO	risorsa naturale (materiali) e culturale (linguaggio arch.)
• COSTO	sia legato alla realizzazione (costo di costruzione (materiali, manodopera...), di gestione (tenuta in esercizio), manutenzione (aggiornamento delle funzionalità in virtù del deperimento del materiale), ma demolizione (riciclabilità dei materiali), coi costi valutati nel LCA (life cycle assessment) che considera l'intero ciclo vitale dell'edificio, che al costo ambientale e sociale (assicurativo, sociale ricostruzione). Un progetto mal fatto vede una levitazione di TUTTI I COSTI.

LED: ecologici, ottimo rapporto consumi/durata MA si tende ultimamente a una sovrilluminazione, che contribuisce all'inquinamento.

Sviluppo Sostenibile: Nato in Francia come *Developement Durable*, ha come obiettivo il garantire i bisogni del presente senza compromettere le generazioni future; comprende uno sviluppo economico (dove preservare qualità e quantità di patrimonio e riserve naturali), sociale ed ambientale:



Nel 1991, Hermann Daly riconduce lo sviluppo sostenibile a tre condizioni sull'uso delle risorse naturali da parte dell'uomo:

- Il tasso di utilizzo delle risorse rinnovabili non deve essere superiore al loro tasso di rigenerazione.
- L'immissione di sostanze inquinanti nell'ambiente non deve superare la sua capacità di carico.
- Lo stock di risorse non rinnovabili deve restare costante nel tempo.

Con l'Agenda 21 della Conferenza di Rio del 1992 si ritenne necessario integrare considerazioni ambientali in tutti i livelli governativi dei vari stati, istituire un sistema di controllo, pianificazione e gestione per sostenere detta integrazione e un incoraggiamento della partecipazione pubblica.

Nel 1997 fu istituito il Protocollo di Kyoto, accordo internazionale tra 118 paesi (non fu ratificato dagli Stati Uniti, primi produttori di gas serra nel mondo) che determina l'impegno a ridurre le emissioni di gas serra per rimediare ai cambiamenti climatici, puntando sul risparmio energetico (sia ottimizzando la produzione che attraverso un consumo consapevole) e lo sviluppo di fonti alternative di energia.

Seguirono numerose iniziative fallimentari, fino al 2015 con l'Agenda 2030: un insieme di 17 goals interconnessi, con 163 obiettivi più specifici e stringenti; approvato dall'assemblea ONU, viene ratificato da 113 paesi. È un programma d'azione per: Persone, Prosperità, Pace, Partnership, Pianeta.

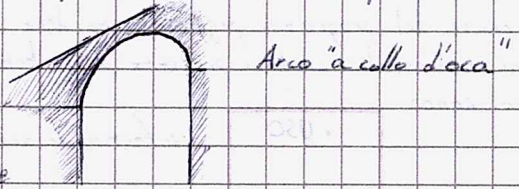
Sappiamo che la densità abitativa è in forte aumento, determinando un sovraccollamento: come disse Steve Jobs, il vero problema dell'uomo sulla Terra, prima dell'estinzione delle specie animali, sarebbe stata la crescita e lo sviluppo dei Virus: essendo nel 2020, è chiara la necessità di un'inversione di tendenza.

Architettura rurale e Architettura Mediterranea

L'architettura rurale può essere vista in un certo senso come un'architettura seriale: ogni area (non necessariamente coincidente col comune, dipende dal materiale reperibile sul posto) ha le proprie caratteristiche: tale architettura viene realizzata autonomamente dalle comunità (arch. spontanea) ed è strettamente legata al territorio.

Molto spesso, gli edifici residenziali rurali sono di due piani e con una scala esterna: ciò sia per aumentare lo spazio interno, da usare il più possibile (soprattutto al piano terra, di deposito) che per un motivo tecnologico: spesso le coperture e i solai erano realizzati mediante volta, e "bucarle" era estremamente complesso; si realizza dunque una scala esterna, retta da un arco a collo d'oca (policentrico).

Per quanto riguarda i materiali, in Campania è presente il Calcare (materiale più diffuso al mondo), tranne nelle zone vulcaniche, in cui è molto più diffuso il tufo: anticamente, le cave erano anche "a giorno": l'uomo ha sempre ricercato la convenienza nelle sue azioni, dunque ogni azione apparentemente eccessiva è dettata dalle necessità (es. Napoli sotterranea).



A causa del cambiamento climatico, bisognerà cambiare il modo di progettare: ad esempio, essendo presenti temperature più violente sarà necessario sovradimensionare le pluviali e, eventualmente, iniziare a considerare coperture a falde.

L'ambiente caratterizzato dal clima Mediterraneo comprende anche parte dell'Europa continentale; questo clima è caratterizzato dalla presenza del Mediterraneo, un bacino salato chiuso (ne segue che ogni inquinante resta nel bacino). Datto mare era il fulcro di una comunità unica; oggi esiste invece una netta distinzione sia tra Nord e Sud che Ovest ed Est: si potrebbero definire 3 diversi gruppi ed aree culturali: l'area Occidentale (fino alla Grecia e parte dell'Asia Minore, come la Turchia), quella Orientale (con chiare influenze arabe) e quella Meridionale (Africa). Dal punto di vista delle costruzioni, caratterizzate da USO-SITO-COSTO, tali differenze sono più labili: le condizioni climatiche sono simili, dunque le costruzioni hanno simili caratteristiche; poiché i siti sono anche culturali esistono però diversi modi di abitare, i quali determinano diverse esigenze costruttive.

Le città antiche delle aree più calde hanno spesso dei cortili interni (i quali nascono come spazi di lavoro riparati); i centri ad elevata densità costruita hanno spesso strade strette, con gli edifici adiacenti privi di attaci e tinteggiati di bianco (sia per il riflesso della luce solare garantito senza diffondere calore che per motivi igienici: spesso tali intonaci erano realizzati con calce, materiale disinfettante e caustico).

Il tracciato urbano di Napoli antica era molto simile; essendo la maglia viaria estremamente resiliente (prima vi era circolazione promiscua di auto e pedoni su Spaccanapoli) si è conservata nel tempo, diventando un patrimonio della umanità UNESCO.

I centri storici delle città del mondo arabo invece sono più labirintici, la piazza principale gravita al centro di un dedalo di strade, realizzato senza ordine precisamente per una funzione di difesa della città.

Ricorrenti nei centri mediterranei sono i mercati, di cui un esempio è il Macellum di Pozzuoli (erroneamente detto Tempio di Serapide), situato strategicamente nel centro portuale, di commercio con altre culture; analogamente, la tipologia del mercato all'aperto è antica e tutt'ora esistente: sono sempre presenti le piazze del mercato, spesso circondate da strade strette per dissuadere i furti; sono inoltre spesso presenti coperture smontabili (spesso in tela) come schermatura dal Sole.

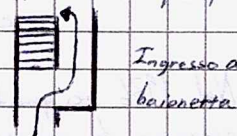
In Italia, importante nodo di transito tra Est ed Ovest è Venezia; ciò si traduce anche nel tessuto urbano, in cui le strade vengono dette calle, e ad eccezione di Piazza San Marco gli slarghi sono detti campi; l'impostazione urbana si ipotizza sia di Geni Romani che alla caduta dell'Impero Romano d'Occidente adottano le loro tecniche costruttive per insediarsi su un sistema insulare, allestendo anche una flotta per difendersi. Le coperture sono spesso a falde, e la Basilica di San Marco è ricca di cupole: le chiese mediterranee sono spesso ricche di cupole per motivi di illuminazione; nel mondo islamico

sono però spesso polilobate, con tamburi chiusi: ciò perché, essendo il clima più torrido, con questa forma si garantisce una maggiore ombreggiatura nel corso della giornata, con un maggior ricircolo dell'aria (dove è presente una differenza di temperatura/pressione esiste un ricircolo d'aria) e un aumento della superficie, che all'interno consente una maggior distribuzione del calore (determinata dall'umidità interna), evitando la formazione di gocce d'acqua: in Andalusia, le chiese hanno coperture dalle forme complesse per un motivo analogo; questa forma di ricircolo localizzato era in uso anche nelle Terme romane.

Analogamente, le cupole napoletane sono rivestite in embrici maiolicati: in questo caso la funzione è impermeabilizzante e facilmente lavabile; poiché le chiese erano costruite in tufo ed intonacate (che, pur essendo da esterni, era parzialmente permeabile); la forma degli embrici per permettere la copertura della superficie deriva dall'analisi delle squame dei pesci, che si adattano a qualunque curvatura; da ciò è poi derivata la pellicromia, in cui il colore spesso segna le strutture.

Tecnologie simili non si limitano all'Architettura: il forno a legna delle pizze è attentamente disegnato in modo tale da determinare un elevato calore nella zona di base, con una parte superiore dove l'aria è a temperatura costante in cui si accumula il fumo della combustione a legna, che scende verticemente ma non affumica la pizza.

Le case antiche del mondo islamico e romano sono tra loro molto simili, hanno infatti un'organizzazione degli ambienti simile. Differenza principale è l'assialità: nella domus si ha una vista diretta dall'ingresso al peristilio, con l'obiettivo di mostrare la ricchezza del proprietario; la casa islamica ha invece un ingresso a balconata, ed è dunque più riservata. Entrambe hanno uno spazio interno aperto, che risulta essere un invariante dell'architettura mediterranea, dall'antichità ad oggi. Nelle zone più calde, sia il cortile che i tetti vengono usati anche per dormire, dunque sono spesso ripartiti. In generale, le corti modulano temperatura e calore (poiché hanno sempre una zona in ombra); spesso per contribuire a questo fenomeno si usano vasche d'acqua o spazi verdi, per protezione dagli agenti atmosferici e regolazione termigrometrica; in ambiente Mediterraneo sono altrettanto frequenti le pergole, soprattutto dove viene coltivata l'uva da vino.



Nel mondo arabo sono inoltre presenti diverse soluzioni di circolazione passiva dell'aria, con i camini del vento orientati secondo la direzione del vento dominante; sono particolarmente presenti in Iran e Asia Minore; associate a questi sono le finestre intarsiate: per l'Islamo la casa è il luogo della protezione, bisogna evitare la possibilità di essere visti dall'esterno, dunque per il passaggio dell'aria vengono realizzati degli intarsi geometrici (senza vetri), MAI con forme naturali poiché ciò è visto come imitazione del Creatore; anche le zone di affaccio sono ricoperte in griglia del genere, soprattutto nelle zone di affaccio delle donne; nella contemporaneità furono adottate simili soluzioni con le bow windows.

Nell'architettura tradizionalmente mediterranea, sono presenti numerose tipologie di edifici assimilabili a cubi con calotte estradossate e un camino, come ad esempio i Trulli, che hanno una copertura a pietre scistose (piatte, senza legante) coniche, con una chiusura stabilizzante con una statua che identifica la specifica abitazione; il materiale è di risulta dal dissodamento del terreno; forse nacquero come depositi per le attività agricole e per il riposo; poi, diventando attività molto redditizie, il Re di Napoli impose una tassa, e dunque i contadini realizzano coperture senza molto smantabili; ciò rende le costruzioni dei depositi a cielo aperto non abitabili.

Questa tipologia di architettura era spesso vicina a un pozzo (no acqua => no casa), che spesso cono gliara anche l'acqua piovana, raccolta dalla copertura con specifiche geometrie e canali; per la depurazione era spesso usata un'anguilla (mangia insetti).

L'interesse per l'architettura minore diventa un interesse colto grazie all'interesse di personaggi esteri di spicco, come Goethe, Schinkel e Hoffmann; i quali producono anche schizzi dettagliati delle tecniche costruttive: ad esempio nello schizzo di Hoffmann del cubo mediterraneo oltre alla rappresentazione dell'accostamento dei vanni viene sottolineata l'ombra della volta estradossata; la differenza tra parte in ombra e illuminata determina all'interno un movimento d'aria, che favorisce un ricircolo passivo.

Le Corbusier studiò il modo di abitare degli antichi, realizzando numerosi schizzi di Pompei e delle varie domus, in cui si nota la sua attenzione per gli spazi vuoti o aperti, dai quali prenderà spunto: insieme allo studio degli invarianti dell'Architettura Mediterranea, grazie a queste analisi elaborerà i suoi 5 punti dell'Architettura, tra cui figurano i piloni e i tetti-giardino.

Adolf Loos pose l'attenzione sulle zone in affaccio sul mare: interessante è il suo progetto per villa Moissi, sul lido di Venezia (1923): sono presenti tutti gli stilemi della casa mediterranea: la scala è esterna e in vista, c'è l'alternanza di volumetrie alte e basse... È un cubo mediterraneo rivisitato in chiave moderna.

Luigi Piccinato realizza numerosi progetti di case coloniali in Africa (1933), trovando un compromesso tra il linguaggio della casa mediterranea e le necessità costruttive dei luoghi (più caldi): le terrazze ad esempio sono più ampie e presentano spesso delle coperture; la scala è esterna, le finestre si rifanno spesso ai linguaggi islamici, così come le mura alte con minime aperture (intimità dell'interno); nella corte è spesso presente una piscina, che funge da mitigatore climatico.

Gio Ponti progetta (ma non realizza) una villa alla pompeiana moderna, con un'abbondanza del rosso emblematico; la rivisitazione prevede una corte con piscina tra due corpi avanzati e gli spazi più intimi in fondo, lontani dalla strada.

(1934)
Carlo Enrico Rava: nel suo progetto per la Fiera di Tripoli (Padiglione delle Colonie) in nuovi materiali, tra cui spicca il vetrocemento (vetro + $U.S.$ armato), cerca un compromesso tra la cultura latina e quella africana; col vetrocemento realizza una copertura che "conserva" però la luce.

Luigi Casenzani realizza Villa Oro (e molti altri edifici di stampo Mediterraneo) in un lotto molto ridotto, con una successione di cubi bianchi e terrazze, con pamperti sia tradizionali (murati) che moderni (in ferro battuto), ci sono anche delle aiuole (a tetto giardino). I volumi e le aperture sono semplici, e interessante è il sistema di scale su più livelli.

Adalberto Libera: Tra le sue opere più famose c'è la Casa Malaparte a Capri, che si sviluppa su una sperone di roccia longitudinalmente, con un'inattesa e suggestiva scala esterna. Altra "deroga" è il rosso sull'esterno, le aperture sono però mediterranee. Recentemente è emersa l'autorizzazione a costruire dell'epoca, in cui era riportata una richiesta di edificazione di una casa agricola; il risultato è un monumento alla architettura contemporanea. (1938)



Nel 1936 nei quaderni della Triennale di Milano è presente un elogio all'architettura rurale italiana, per "l'importanza estetica, la conoscenza delle leggi della funzionalità e il rispetto artistico di questa poco conosciuta architettura rurale, che preserva la vera tradizione antichiana". L'architettura rurale viene già vista come segnale del valore che assume la tradizione e, dunque, l'architettura spontanea, che ha un suo valore estetico pur essendo priva di architetti.

Menno la cultura occidentale è strettamente legata all'idea della funzionalità, quella orientale (ad es. la Cina) ha una maggior gratuità e una visione più estetica che utile: ciò perché la vita ha una dimensione più spirituale, che permea tutti gli aspetti della vita (ad esempio, per la composizione architettonica esiste il feng shui).

Dall'oriente si è presa un'attenzione progettuale ai 4 elementi: Luigi Casenzani fu tra i primi a fare simili considerazioni: la facoltà di Ingegneria ha un patio, un idemato al piano terra, tramezzi bassi negli uffici per il ricambio dell'aria, finestre a ghigliottina e molte piante, non solo ornamentali.

Con il dopoguerra, le tecnologie costruttive americane furono adottate in larga parte del mondo, portando alla diffusione del mall, grande spazio sociale e di aggregazione, che porta naturalmente all'incontro: per questo motivo a causa del COVID in Lombardia sono state imposte le chiusure dei grandi centri commerciali del fine settimana; intanto si è persa la tradizione del commercio al dettaglio, bisogna riscoprire le forme di architettura tradizionale e i suoi usi pratici, riadattandoli in base alle nostre esigenze.

Materiali nelle Costruzioni

Il concetto di materiale è sempre legato ad un prodotto e, dunque, ad una filiera di produzione (es: geomateriali sottoposti a taglio il più delle volte; i laterizi seguono un processo di impasto con acqua ed essiccazione).

Poiché il settore dell'edilizia consuma il 40% dell'energia mondiale, bisogna essere attenti ad ogni progetto ed ogni elemento: i metalli, ad esempio, hanno un elevato costo energetico nella produzione ma sono riciclabili (se martati a secco).

Un'altra considerazione va fatta sui dissesti: le macerie di un edificio in muratura possono essere spostate da uomini; per strutture in ferro invece sono necessari macchinari.

Legno: Tra i primi materiali utilizzati dall'uomo (non solo nelle costruzioni, ma anche per utensili o cuocere), viene tagliato e stagionato (essiccazione); dallo strido si può creare un altro materiale, il legno lamellare, che permette la creazione di travi di elevata lunghezza assemblabili a secco (trasportabili): è un materiale estremamente versatile.

Esistono altri materiali vegetali usati nel settore, come le canne o la canapa per falso volte (Orientale, P. San Domenico Maggiore) o controsoffitti (buchi => materiale naturale che deve respirare). ^{simbolo di ricchezza}

Materiali Lapidari: Può essere sia pietra naturale (antico Egitto, Messico, Grecia; sistema tipicamente assemblato a secco, con strutture trilitiche o ad arco; il materiale è molto durevole) che pietra artificiale (laterizio, malta usata a Roma e radicata nella tradizione Occidentale; tipicamente gli elementi sono assemblati con malta e permettono la costruzione di archi, volte, cupole).

Ferro Chiodato: Usato per le infrastrutture nell'Ottocento (come il Forth Bridge), inizialmente assemblate con chiodi: gli elementi erano forati, vi si inseriva il chiodo (a una testa) che, dopo esser stato inserito, veniva deformato sull'altro lato formando un'altra testa simmetrica \Rightarrow smontabile solo tagliando le teste.

Le strutture in ferro sono caratterizzate da:

- elevata leggerezza
- montaggio in opera
- elevata resistenza a flessione (si assume che i lapidei abbiano resistenza \odot a flessione e trazione!)

Calcestruzzo Armato: Rompe la tradizione edilizia degli elementi scatoleari: lo struttamento del CLS nel miglior modo possibile (non ripetendo telai e forme antiche) consente la nascita di forme nuove: con Môre Dame du Haut a Ronchamp, Le Corbusier mostra le possibilità di questa pietra artificiale: partendo dallo stato fluido si possono creare nuove forme.

Essendo armato e posato in opera allo stato liquido, il processo di posa è più complesso (necessita di cassaforma e di un progetto estremamente accurato: una volta gettato, non è possibile fare modifiche!).

- Altre caratteristiche sono:
- resistenza a flessione (grazie alle armature)
 - possibilità di pianta libera
 - possibile realizzare forti sbalzi

Acciaio e Vetro: Grazie all'evoluzione della tecnologia del vetro (+ resistente, nascita di retrocemento e retrocamera...) nasce questa nuova tipologia strutturale, caratterizzata da:

- leggerezza
- montaggio a secco
- modularità strutturale

Un esempio è la Neue Galerie di Ludwig Mies Van der Rohe, in cui sono reinterpretati gli stili del tempo classico (stilobate, crepidoma, sopraelevazione del calpestio, pilastri-colonne (pochi) che sorreggono una copertura cassettonata e sono leggermente rientranti; allo stesso modo la facciata interamente in vetro è rientrante rispetto alla copertura, conferendo un'idea di leggerezza senza sacrificarne l'autorevolezza.

Con l'avvento di vetri speciali, questa tipologia si adatta alla moderna ^{pro} produzione vetraia, che inizia a avere nodi strutturali e di benessere ambientale: un esempio è l'Istituto del mondo Arabo, con quadrati a doppio vetro articolati in sottomoduli grazie a telai in acciaio inossidabile e con dei sistemi a diaframma fotografico che si autoregolano per favorire un'illuminazione interna regolare. (di Jean Nouvel)

Calcestruzzo Prefabbricato: La realizzazione dell'elemento avviene in fabbrica, in condizioni controllate, evitando criticità realizzative (ad esempio negli ambienti freddi: la tecnologia nasce infatti in CCCP); il cantiere dunque non è ~~realit~~ condizionato dal clima ed è possibile una standardizzazione dimensionale.

È possibile però commissionare elementi in prefabbricato francesi, realizzando architetture interessanti (ma con costi notevoli; un esempio è l'architettura di Botill)

Calcestruzzo e Vetro: Strutture solide ma leggere, con buona compatibilità tra i materiali; spesso al posto del calcestruzzo si trova l'acciaio (leggero rispetto alle proprietà strutturali) nelle costruzioni alte, bisogna però progettare i controventi, strutture che irrigidiscono l'edificio rendendolo resistente alle sollecitazioni orizzontali.

Con questa tecnologia è possibile realizzare i curtain wall: facciate interamente in vetro, prive di fasce marcapiana; generalmente questi vetri non si aprono (motivi di sicurezza), nascono per edifici per uffici.

Vetro Strutturale: Presenta tipicamente sistemi di ancoraggio in acciaio inox, ha una (modesta) funzione strutturale. Un esempio è la Kunsthaus a Bregenz.

Legno Lamellare: Presenta ottime funzioni strutturali, anche a trazione. È possibile realizzare edifici interamente in legno lamellare, dalla struttura fino alle opere di completamento.

Questo legno viene trattato in modo tale da resistere all'attacco di organismi xilofagi e avere una ridotta incendiabilità (impregnato con resine); ha un'elevata flessibilità, con elementi fabbricabili anche in grandi dimensioni. Un esempio è il Padiglione del Giappone all'EXPO di Siviglia del 1992, di Tadao Ando.

Costruire in maniera Sostenibile

Data la complessità della situazione in cui viviamo, è vitale considerare gli elementi ambientali nel progetto, poiché abbattano molti dei costi legati al ciclo di vita di un edificio e determinano un minore inquinamento:

- Sole: luce, calore \Rightarrow orientamento degli edifici, involucro edificio
- Luce: schermatura da (eccessiva) luce naturale, integrazione (non esagerata) con luce artificiale
- Suolo: È sempre necessario uno scavo o una movimentazione di terra, bisogna isolare il primo calpestio dall'umidità ascendente del suolo; può essere sfruttata la geotermia, riscaldando gli ambienti attraverso il calore del sottosuolo.
- Vento: Utile per sistemi di ventilazione naturale/passiva: il vento dominante è il principale attore.
- Acqua: Umidità (porta danni, si risolve con un'efficace ventilazione) e raccolta di acque piovane (è imminente un periodo di carenza d'acqua).

Note:
• Un edificio in acciaio NON ha fondazioni in acciaio, ma in calcestruzzo!
• Spesso si ragiona su strutture antisismiche, ma non sulle interazioni tra i materiali: una facciata in vetro può rompersi nelle scosse, diventando un pericolo

Sole: La massima illuminazione nell'emisfero boreale è a Sud, con angolazioni diverse a seconda del giorno e delle coordinate: l'energia solare fornita è un apporto gratuito di energia all'impianto, fornendo calore utile per il riscaldamento dell'ambiente, dell'acqua (e i consumi di energia elettrica).

Nella norma UNI 8290 sono classificate le chiusure (in cui sono anche specificate le dispersioni).

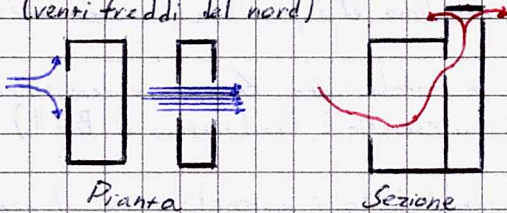
Luce: È collegata al Sole, ma è anche artificiale (alle volte il rapporto luce-ombra caratterizza il progetto architettonico)

- Schermature: divise in Architettoniche, Naturali, Tecnologiche ...
- Luci: LED, luminifera, ...

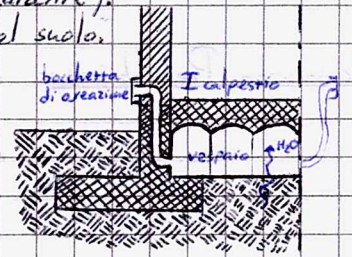
Suolo: Le fondazioni determinano sempre la necessità di movimentare terra, è importante pensare a dare posizione a questo suolo (un tetto-giardino, ad esempio).

- Impianto geotermico: una sonda a 80-120 metri di profondità, connessa ad una pompa di calore per il riscaldamento dell' H_2O (e, dunque, per un eventuale pavimento radiante).
- Vespaio aereo: in plastica riciclata, isola il primo calpestio dall'umidità del suolo.

Vento: Bisogna valutare, in base al vento dominante, se captarlo (brezza) o defletterlo (venti freddi dal nord)



⚠ Nella progettazione di oggi è importante il ciclo di vita dell'edificio: i materiali hanno durata limitata, bisogna progettare gli elementi costruttivi in base al possibile degrado e alle necessità d'intervento.



Alcuni dei materiali più sostenibili usati in edilizia sono:

- Legno: resistenza termomeccanica, leggero, economico, protegge dall'inquinamento
- Bambù: analogo al legno, ha una rapida crescita e una naturale resistenza all'attacco dei funghi (è un intestante!)
- Terra Cruda: facile lavorazione, resistenza termoacustica, reperibile, biodegradabile ed economica (trasporto 0)
- Balle di Paglia: resistenza termoacustica, economiche, salubri; sono messe in strutture di legno e poi intonacate; occorre cura nella manutenzione e produzione.

< Manca la lezione sulle opere studiate di Piano, presente sul quaderno ad anelli >

Una scelta efficace di materiale e tecnica (tecnologie costruttive) ottimizzano il rendimento dell'edificio: il ciclo di vita di un edificio dipende dal ciclo di vita del singolo materiale (sia proprio che dipendente dal suo utilizzo, ovvero dai carichi agenti).

Le esigenze degli edifici dunque rispecchiano ed influenzano la scelta del materiale: l'uso di un edificio (residenza, uffici, ospedale) ne caratterizza l'organizzazione e le scelte tecniche.

Carichi e Strutture

Le strutture rispondano a requisiti:

- Statii:
 - resistenza (restano integre sotto carico)
 - equilibrio (tra forze attive e reazioni)
 - stabilità (assenza di spostamenti globali dell'edificio)
- Funzionali:
 - rigidità (strutturale)
 - deformabilità (assorbire i moti orizzontali senza rompersi)
- Economici
 - rendimento
 - ottimizzazione (- costi, - sprechi ma con resa)
- Compositivi
 - forma - sollecitazioni (desunta dall'uso)
 - tipologia edilizia

I carichi si distinguono in:

- Permanenti: Peso proprio delle strutture, carichi fissi \Rightarrow ridurre la struttura all'essenziale fa lavorare meglio
- Semipermanenti: Divisori, pavimentazioni, impianti: in una struttura in CLS possono essere spostati (eccetto le tamponature esterne e quelle del vano scala, che collaborano alla struttura).
- Accidentali: Sono mutevoli, determinano effetti diversi, sono sia statii che dinamici e possono essere:
 - Ripartiti, ovvero condivisi tra più elementi strutturali
 - Concentrati: Puntuali, possono dare sofferenza al singolo punto dove sono applicati; per questo motivo, le travi hanno un cuscinetto di distribuzione (ad esempio una trave dormiente) che distribuisce lo sforzo gravante su una trave (puntuale) agli altri elementi; allo stesso modo un solaio lateroedentario ha una soletta armata che distribuisce il carico su travi e travetti anche se l'elemento grava sulle pignette.
 - Fissi/mobili

Per gli opportuni dimensionamenti, si effettuano dei calcoli relativi ai pesi:

- Peso delle strutture: Dipende dalla tabella del carico per unità di volume, in cui si osserva che il peso proprio dell'acciaio (ad esempio) è pari a 3 volte quello del calcestruzzo ma ha un maggior rendimento: possono essere impiegate sezioni minori a parità di carico.
- Pesi accidentali: Vengono definiti "empiricamente" in una tabella che raggruppa edifici e connettivi in categorie a seconda della tipologia e, dunque, dell'uso; essa definisce infatti i carichi verticali (concentrati $[kN]$ e ripartiti $[kN/m^2]$) e orizzontali $[kN/m]$ con dei coefficienti.

Differenze tra le Strutture

Struttura	Materiali	Configurazione Strutturale	Costruzione in Cantiere
Muratura	Conci lapidei o pietre artificiali (laterizi) in forma di solidi regolari o irregolari (pietra calcarea); più sono irregolari più è necessario mettere malta, con o senza malta	Pannelli murari continui e massicci; le pareti di confine ed alcune (eventuali) murature interne sono portanti	Elementi maneggevoli (mattoni) posti in opera a mano o con macchine semplici; occorrono muratori, scalpellini e carpentieri (per le opere in legno). Tempi di cantiere dettati dall'indurimento della malta e l'assestamento murario.
CLS-A	Conglomerato cementizio (aggregati fine e grosso + $CEM + H_2O$) e ferro in forma di barre (posto prima del getto)	Struttura a gabbia, con pannelli di chiusura NON PORTANTI in muratura	È necessario l'impiego di betoniere (CLS fresco) e gru per la movimentazione dei materiali; occorrono operai specializzati per la posa in opera e carpentieri (legno delle cassaforme e lavorazione del ferro). Tempi di cantiere dettati dall'indurimento del calcestruzzo.
Acciaio	Profilati in acciaio di diverse sezioni standardizzate (le dimensioni), lamiera grecata o elementi in CLS prefabbricato (cantiere a secco) per gli orizzontamenti	A gabbia, con pannelli di chiusura non portanti (prefabbricati trasparenti o opachi, modulari).	Gru per movimentazione dei materiali (costosa ma essendo il cantiere a secco la produzione è rapida) ed eventuali betoniere per le opere in CLS gettato in opera (FONDAZIONI). Sono necessari i carpentieri per le opere in ferro e in legno (cassaforme delle fondazioni in cui si attaga il ferro).
	Fondazioni	In esercizio	<u>Cassaforme in cartone</u>
Muratura	Continue, della stessa tipologia della muratura in elevazione (es. tuto-tuto), non molto profonde.	Buona inerzia termica \Rightarrow \Rightarrow riduzione degli impianti di climatizzazione.	Vengono realizzate in forma cilindrica (non si deformano negli spigoli), sono sostenibili, rapide da smontare ed economiche; si impiegano nella realizzazione di pilastri cilindrici.
ACLS-A	Puntuali o continue (zona sicura \Rightarrow distribuzione dei carichi orizzontali) in CLS-A, anche molto profonde (in terreni poco consistenti)	Buon comportamento elastico (grazie alle armature in acciaio; i materiali lapidei non hanno resistenza a trazione \Rightarrow il complesso è più elastico di una struttura in muratura).	
Acciaio	Puntuali o continue in CLS-A, profonde in terreni poco consistenti.	Ingombro strutturale molto ridotto, da aumentare in superficie per proteggere la struttura dall'ossidazione (con vernici) e la deformabilità sotto incendio (gesso/schiuma + cartee).	

- Tem:**
- Storia: gli eventi caratterizzano l'evoluzione di materiali e tecniche (sismi)
 - Materiali
 - Tecniche
 - Artificio Umano
 - Natura (cui bisogna confrontarsi)
 - Valori non negoziabili: culturali, riscontrabili ad es. nelle tradizioni costruttive (o culinarie)

- Parole chiave:**
- Osservare (≠ vedere) colori, spazi, dimensioni...
 - Confrontare (con sé stessi: che sensazioni? Poi con le esperienze; apre lo sguardo alla Storia)
 - Chiedere
 - Apprendere (valore massimo quando risolve mancanze e lacune).

Ruviano: Composto da 3 nuclei urbani, ha un'orografia basso-collinare, nasce su una Necropoli; i primi insediamenti risalgono al VIII-VI sec. a.C.; la sua Storia è strettamente legata al castello, Normanno poi Svevo e infine d'Angiò; domina sul paese la torre dell'orologio.
I materiali a disposizione portano a comprendere le tecniche costruttive tradizionali, inclusi i procedimenti: spegnimento della calce, impasto con cazzuola nella cardarella.

San Pietro Sannitico: Fabrizio Carola vi ha edificato delle strutture a cupola antisismiche basate sull'utilizzo di uno strumento detto compasso: la risposta al sisma (e dunque la capacità di resistere alle scosse sismiche) è data dalla particolare forma a cupola ogivale (con fondazioni "a cupole e travi rovescie").
È quasi assente la distinzione tra interno ed esterno: il complesso si articola intorno ad una corte centrale.
La tecnica del compasso determina una disposizione "a raggiera" dei mattoni in cotto, legati con malta fino alla chiusura in chiave; il "piano" d'imposta è determinato da archi, posti precedentemente in opera con centina (tecnologia antica, ma la centina è in metallo): da questi inizia la posa delle cupole senza centina; ogni mattone dopo la posa viene battuto col manico della cazzuola (assestamento, tradizionale).
Per un'analisi statica, la struttura è stata discretizzata col metodo degli elementi finiti, una schematizzazione della struttura in una composizione di quadrangoli, da cui si è osservato che l'elevata capacità di risposta sismica non dipende solo dalle qualità intrinseche del materiale, ma anche per la forma e la geometria delle masse (che fornisce anche un'ottima risonanza acustica grazie alla simmetria).

Telese Terme: Vive una Storia particolare: dopo un violento sisma nel 1349 si aprono delle sorgenti termali, determinando però un'aria insalubre; l'area viene abbandonata fino al 1600 circa, con ~500 abitanti. Solo con degli studi del XIX secolo furono riconosciute le proprietà benefiche dell'acqua; con la costruzione delle terme il sito riacquisisce importanza fino a diventare un luogo rilevante, con una stazione ferroviaria. Il nome "Terme" è stato aggiunto nel XIX secolo a seguito di una petizione comunale.

Cerreto Sannita: Raso al suolo da un sisma (di 9-10 sulla scala Mercalli) nel 1688, è una città della ceramica (arte in uso in più territori, dove sono presenti le materie prime ⇒ non solo la Costiera Amalfitana) ed ha un museo ad esse dedicato: molte di queste ceramiche hanno temi religiosi, con maioliche, elementi di arredo e di corredo. La quantità di produzione religiosa è legata alla frequenza e all'intensità dei sismi: venivano affidate le strutture e la vita quotidiana al divino, al tal punto da vedere tra gli oggetti delle asquavantiere "tascabili", da casa i erano usate per benedirsi prima di uscire di casa, per evitare sismi.
L'impostazione Settecentesca del sito non è più quella di un borgo medievale: in risposta al sisma la città è stata progettata con strade larghe, grandi piazze (centri di raccolta) e ampi spazi tra gli edifici. Spesso si vedono davanzali in marmo con dei tagli: ciò è voluto per creare linee preferenziali di rottura per evitare l'impossibilità di apertura delle imposte in un sisma.

Castellvenere: Il nome deriva da *castrum veneris*; quest'area presenta un esempio di investimento sul territorio: da sempre soggetto a spopolamento, il territorio verterà in una situazione di crisi e rischio finché non si è puntato sulla qualità enogastronomica.

Non scappare perché non vedi nel tuo territorio ciò che reputi sia "vivere bene": mettilo in gioco ed investi sulle tue radici.

Pontinpietra - Rigenerazione

Ing. Giustina Mastroianni

La teoria è sempre molto diversa dalla pratica: è necessario unire la cultura universale a quella tradizionale e locale (le maestranze); l'associazione Pontinpietra attraverso una serie di iniziative e laboratori partecipati (doppio scambio tra i corsisti che apprendono la tecnica e una possibile attivazione della comunità locale).

Essa media tra cultura universale e cittadini, mette in rete tecnici e maestranze e innescava meccanismi di rigenerazione urbana (coprogettazione).

- Attivazione della comunità: Cantieri con ascolto della comunità, eventi sociali che coinvolgono gli abitanti.
- Rigenerazione urbana: Attivare lo spazio, dare nuove visioni ai luoghi, ridare vita ai luoghi in disuso o in rovina, con occhio non solo tecnico ma anche sociale. È diverso da un intervento di rigenerazione (riverbera del proprio realizzarsi) poiché non è il prodotto di azioni distinte ma di azioni connesse. È fondamentale un contatto col terzo settore (enti per finalità civiche, solidaristiche, utilità sociale).
- Coprogettazione: Laboratori partecipati/cantieri collettivi, divisi in 4 fasi:
 - Ascolto
 - Progetto
 - Cantiere
 - Rito

→ I tecnici ascoltano il luogo e la comunità

si decanta il percorso fatto per estrarre considerazioni sull'opera.

Case Study: Le Cupole di San Potito

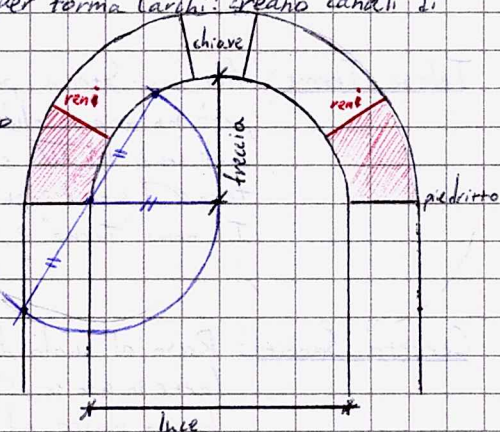
Progettate dall'arch. Fabrizio Carola sulla base di cupole tradizionali in Africa (torate ed aperte), sono realizzate senza centina come cantieri-scuola estivi, realizzate da studenti (autocostruzione). Questo traffico di studenti ha portato all'apertura nel paese di numerosi altri workshop, valorizzando anche la street art.

Queste strutture, resistenti per forma, presentano flussi di carico particolari in concomitanza delle aperture nel setto murario, su cui influisce la geometria.

Si sottolinea che le strutture possono lavorare per massa (architrave) o per forma (archi: creano canali di forza scaricando meglio).

Reni: superficie di separazione tra piedritti ed arco strutturale (dove si riscontrano fessurazioni e fragilità)

Esistono vari metodi grafici di dimensionamento dei piedritti; quello di Deran in figura ragiona sull'intradosso, dividendolo in 3 segmenti uguali e ribaltando uno di questi all'innescio del piedritto sulla verticale.



Logicamente, l'immaginaria rotazione di un arco attorno al suo asse

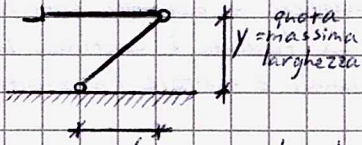
costruisce una cupola, che lavora però in maniera diversa rispetto ad archi e volte: lavorano a **membrana**; non vi sono spigoli, sezioni, forme ortogonali; lo spessore dell'oggetto può essere molto minore rispetto all'area che copre e alle dimensioni della struttura (lavora a guscio, come un uovo, che è fragile solo al centro \odot)

La costruzione di cupole implica un lavoro attento su materiali, centine (strutture su cui l'arco poggia fino al disarmo).

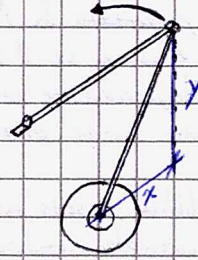
⚠ Il disarmo di una centina avviene SEMPRE in verticale, con l'installazione di conei e sacchi di sabbia prima della posa della centina si evitano spostamenti orizzontali; ciò perché un arco segue un lento processo di maturazione.

Le cupole di San Patito sono invece realizzate senza centina, si ritorna ad una tecnologia tradizionale Nubiana. Il Compasso fornisce una guida per la posa del mattone, implicando una non necessaria specializzazione delle maestranze.

Il compasso più elementare è costituito da chiodo e spago, determinando un'opera semisferica. Carola invece decentra il braccio, che ruota su una circonferenza per formare una cupola ogivale (alta) e rialza l'imposta del braccio determinando il punto più largo della cupola a una certa altezza.



x: forma ogivale; calcolata attentamente per proprietà acustiche, termiche e di spazio.



Schema Assonometrico

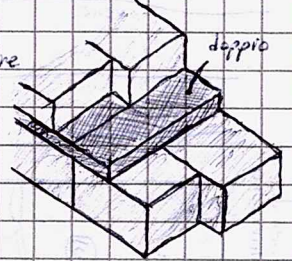
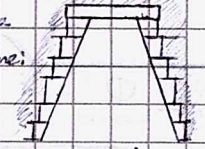
Forme

Come visto nelle cupole di San Patito, esistono delle forme più stabili, più adatte a resistere alle sollecitazioni verticali ed orizzontali; un esempio è il cono, dalle proprietà ottimali ma non utilizzato in edilizia per un inefficace utilizzo degli spazi interni e un eccessivo uso del suolo.

Bisogna tener presente che un sisma è la combinazione di sollecitazioni verticali e orizzontali; più è profonda l'ipocentro più si generano azioni secondarie laterali, con moti ondulatorii.

Messico: Come Napoli, ha uno stretto rapporto con il concetto di morte e caducità della vita; l'edilizia antica mostra tecniche molto diverse da quelle romane: il territorio è ricco di pietre calcaree, difficili da lavorare; in queste civiltà non nasce la cultura dell'arco e della volta.

- Teotihuacan è un sito ricco di "piramidi", organizzate in più terrazzamenti (pendenza elevata) e accessibili tramite gradinate; hanno spesso un "tempietto" religioso (ad esempio a Palenque è calcareo) e in alcuni casi sono interrate; dall'orografia del territorio se ne intuisce la presenza.
- Palenque: Si notano degli edifici a galleria con grandi blocchi e coperture a poligonale (forma insolita nella nostra tradizione); le mura sono spesso in pietra calcarea (irregolare \Rightarrow non c'è strido: per pietre regolari sarebbe necessario troppo lavoro), in alcuni casi si notano dei "tagli" verticali, come se dei pezzi di muro fossero stati accostati tra loro; nelle coperture si nota l'impiego di pietre quasi scistose, piane. Le strutture a volta però non sono archi: si organizzano in due piani inclinati, contrapposti e simmetrici sovrastati da un'architrave; è dunque una falsa volta; non ci sono tutti gli elementi a contrasto, causa della possibilità di realizzare archi con elementi di dimensione ridotta ed uniforme; ciò perché, come anticipato, la materia a disposizione nell'area è calcarea; si può dire che le forme nascono dal materiale e dalle sue proprietà. Alcuni muri hanno pietre calcaree appianate e collegate con malta; spesso sono muri a due teste (due filari), con alcune pietre a doppio spessore per tenere insieme la struttura.
- Uxmal: Si nota l'utilizzo di calcari e pietre più minute nella tipica falsa volta; i muri sono organizzati senza cura nello staccamento, talvolta i filari sono allineati. Alcune pietre sono decorate, dunque sappiamo che la lavorazione del materiale era possibile, ma complessa.



In alcuni accessi si osservano giunti allineati e piedritti già spezzati: la tecnica è simile a quanto visto a Cerreto Sannita: si creano linee preferenziali di rottura per far crollare l'opera senza che si rompano i blocchi (di difficile lavorazione) e rendendo nota la dinamica di rottura. Come nello schema, le pietre delle false volte si incastravano nella muratura circostante; notiamo l'uso di materiale più regolare e resistente negli angoli (ipotetica resistenza maggiore) e di blocchi di grandi dimensioni nei pilastri.

- Chichen Itza: Sala delle 100 colonne: sono presenti roccchi in calcare cilindrico intramezzati da pietre di piccole dimensioni, diversamente da ciò che ci aspetteremmo per le colonne greche: si era intuito che in un sistema era più conveniente far scorrere i roccchi invece di farli rompere: si spostano senza rompersi.
- Grande Piramide: Terrazzata con grandi gradinate (alta, alzata, stretta, pedata).
- Elitici: anche con funzioni ad oggi ignote, le "volte" presentano un'interessante innovazione, con blocchi a cuneo e dunque più stabili.



Rotterdam: Vi è un ristorante che, come la cucina tradizionale messicana, si solleva su una torre e da una vista sull'area del porto, il più grande d'Europa fino ai bombardamenti della II G.M.; vi fu un intenso studio di riqualificazione, con diversi interventi tra cui un'interessante parte stralata interamente in acciaio, appiattita ad un unico pilastro a forcella, levatoio per il transito delle navi (con corsie pedonali, ciclabili, tram e auto; si sollevano anche i lampioni).

Delft: La biblioteca universitaria, progettata da Mecanoo, ha una forma conica su un tetto giardino (in Olanda non si rinuncia mai al verde, è come se il suolo si fosse sollevato per accogliere la biblioteca sotterranea; per l'illuminazione interna è logicamente necessario un grande lucernario. La facciata è continua in materiaie graso e vetro, con elementi lineari orizzontali per dare indicazioni visuali e esaltare l'orizzontalità; la vetrata è doppia.

Il giardino superiore è "pubblico", usato come ambiente di passaggio.

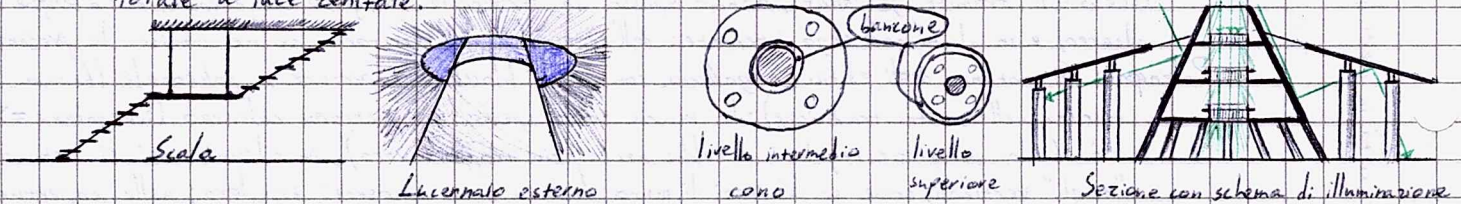
La struttura, in acciaio, si articola attorno ad un cono che sporge all'esterno, sul giardino; all'interno la forma prosegue fino alla base, costituita da pilastri cavi inclinati in acciaio; la copertura al primo livello del cono è in un legno diverso, per segnare l'ambiente. l'elemento nel complesso è cavo al centro, determinando un'incernario che ne illumina ogni livello. La scala di accesso agli altri livelli è appesa, con le mensole solo delle pedate.

I pilastri del resto della struttura sono cilindrici; nella parte superiore si assottigliano per staccare visivamente la copertura dagli appoggi.

In corrispondenza del cono, la distinzione tra interno ed esterno è data mediante una corona circolare di lastre in vetro che, grazie al colore è chiaro dal cono e la riflettività della copertura, diffonde la luce naturale all'interno, fondamentale per lo studio.

È ovviamente presente un sistema di illuminazione artificiale, che svolge però funzione integrativa tramite sensori.

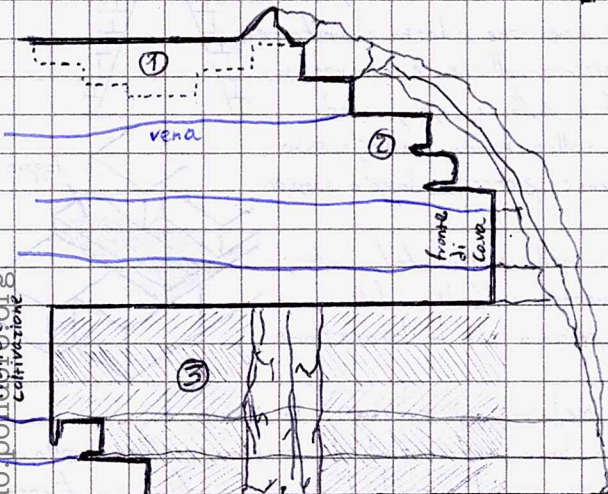
Si osserva come materiali e colori siano fondamentali per il benessere ma anche per il risparmio energetico: intorno al buco centrale del cono si organizzano dei banchi circolari fino al livello superiore, con un lucernario totale a luce zenitale.



Materiali Lapidei nelle Costruzioni

Esistono 3 diversi tipi di estrazione di materiali lapidei:

- ① Coltivazione a giorno (scavo e taglio in blocchi dall'alto)
- ② Coltivazione a gradini (fronti inclinati, tagli in gradinate)
- ③ Coltivazione in Galleria



All'interno delle aree rocciose sono spesso presenti le vene, fessure (o, a volte vere e proprie tagli) acquifere, trattiche: una roccia compatta può presentare zone con acqua, in cui possono capitare allagamenti improvvisi. Essendo vere e proprie fessure, i blocchi tagliati non hanno mai all'interno dello spessore delle vene.

*puntello: pilastro in roccia usata per "tenere" la volta

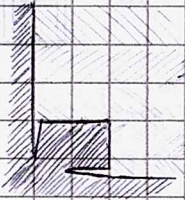
L'altezza dei blocchi tagliati dipende dalla maneggevolezza degli oggetti, dipendente a sua volta dalle caratteristiche del materiale.

Galleria: Presenta un fronte di cava (tranne rare eccezioni, come Napoli sotterranea che ha un accesso verticale); se le cave offrono un buon materiale si lasciano dei piloni a forte spessore di pietra naturale a sostegno della struttura.

Se possibile, il taglio avviene in corrispondenza delle vene per scalfare più facilmente la pietra dal fronte di coltivazione, rompendo sul lato posteriore ed inferiore secondo l'ergonomia dell'operario.

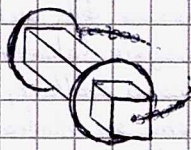
Le dimensioni orientative del blocco sono comunque proporzionate in base alla necessità di trasporto, tipicamente su rotelle in legno.

Gli intagli a $\sim 45^\circ$ visibili in cava sono segni dei tagli in base alla direzione di scavo (da dx[sc]ambi a orientazione). Gli attrezzi impiegati sono cunei, martello, picazza.

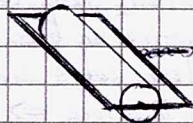


In Tunisia è stato scoperto un antico metodo di cavatura di colonne, rese cilindriche già in cava per poterla far rotolare e dunque trasportare.

Per la movimentazione, i greci Metagene e Clisofante inventarono delle semplici macchine per trasportare blocchi e colonne megalitiche:



Metagene



Clisofante

In altri casi, per il trasporto dall'alto si usavano delle slitte su balle discese con buchi ai lati della "carruggiata" dove inserire dei perni con rudimentali sistemi a carrucola.

In cantiere, lo spostamento e il posizionamento in verticale degli elementi avveniva mediante la capra, una struttura verticale triangolare con carrucola e tiranti (nota grazie a rilievi funerari).

Per il sollevamento di colonne si usava una sorta di compasso fisso con un sistema di funi cui era legata la colonna.

In diversi reperti si possono vedere le tecnologie impiegate nei cantieri:

Nel dipinto di Villa S. Marco a Stabia si vede una macchina per il trasporto di colonne, una capra, operai a lavoro su un muro e scalpellini occupati nella regolarizzazione dei blocchi di cava.



Nella Terracotta sulla via Cassia sono presenti 2 capre simmetriche con un uomo che solleva un blocco tramite un elemento a pinza applicato allo stamento.

In un Rilievo a Terracina è invece visibile la gerarchia del cantiere: operai - architetto - committente.

Per le movimentazioni dei blocchi si impiegano diverse tecnologie:

- Tenoni (o dadi): sporgenze per sollevare il blocco



- Tenaglie: elemento di ferro agganciato, rischiato su pietre pesanti



- Olive: composta da una staffa con gancho cui si legano

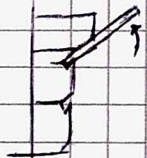
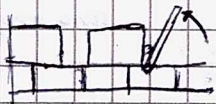
due elementi simmetrici svasati ed uno centrale piano tramite un chiodo passante; la svasatura degli elementi corrisponde ad una convergenza del foro.



- Olivella antablaccante/pinza interna: dipende dalla tenuta del blocco



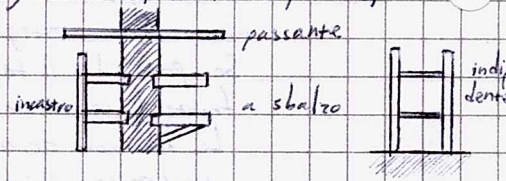
Per gli accostamenti dei blocchi si usava intaccarli per poterli spostare con delle leve, con successivo fissaggio.



Impalcature: A seconda delle necessità possono essere:
(anditi)

- A incastro (incastrata nel muro, con una pertica o *senza*)
- Indipendenti (2 pertiche con ripiani e controventature, con giunzioni all'incastro di pertiche)

Funzionano da sempre con il trasporto in verticale dei materiali dal basso.



La costruzione di un muro inizia sempre dalla fondazione, con uno scavo di profondità dipendente dal peso proprio della struttura. Un tipico muro a sacco è costituito da due paramenti esterni con un riempimento interno (malta + aggregato grosso)

Il legante dell'antichità per antonomasia è la calce, prodotto della cottura dei calcari a temperature elevate; i forni antichi, per non disperdere il calore, erano realizzati con una parete controterra, posizionate in base al vento dominante dell'area per evitare che i fumi del forno intaccino il prato sovrastante. L'unico accesso all'interno era alla base del forno, destinato all'alimentazione; il resto era intonato.

Le pietre calcaree utilizzate nella costruzione della struttura erano distribuite attentamente per garantire un buon tiraggio (alimentazione del fuoco) ed evitare crolli; le pietre di calcare cotte tendono a crollare, è necessaria una forma stabile che conservi il calore \Rightarrow cono su cilindro.

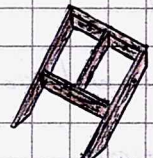
Queste strutture, note come calcare, usate fino ad una legge di anni recenti; questa cultura si sta perdendo: non si tramanda.

Per impastare la calce, si realizzava un vulcano di sabbia e grassello di calce, che viene mischiata all'interno del "cratere" con acqua attraverso l'uso della marra (o smarra), una sorta di pala con cucchiaino retroverso; per separare gli inerti

prima di inserirli nel vulcano.

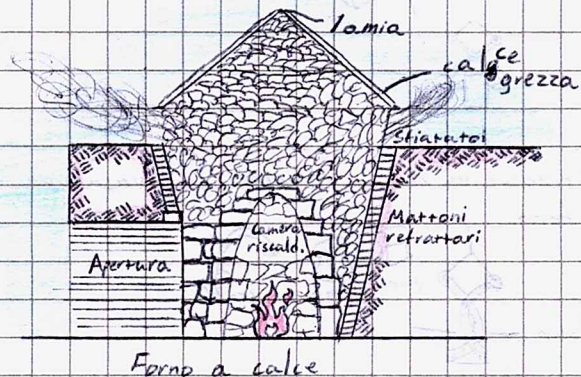
Una tecnica simile è stata utilizzata per i mattoni, che possono essere cotti al forno o formati ed essiccati; la formatura è invece garantita attraverso l'uso di una matrice maneggevole (piccola cassaforna); l'impasto, lavorato con i piedi in un vulcano, è di argilla e paglia; affianco all'area di lavoro si trova un pozzo con una piccola capra (per portare l'acqua).

La paglia, fibra vegetale, funge da legante, come se fosse un materiale fibrorinforzato; nel de Architectura di Vitruvio si è scoperto che i mattoni erano realizzati anche con capelli.

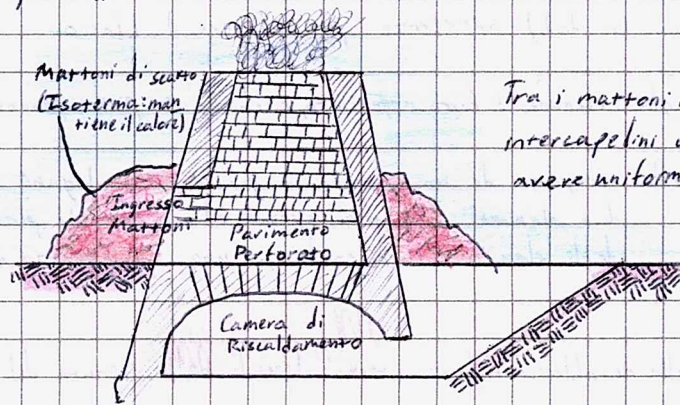


matrice di formatura

I forni di cottura sono differenziati in base al materiale: differenza principale tra calce e mattoni è che il primo è privo di una camera di combustione; nelle calcare la combustione avviene nel materiale.



Forno a calce



Forno per mattoni

Tra i mattoni ci sono delle intercapedini che permettono di avere uniformità nella cottura.

La cottura dei mattoni si nota in base al loro colore: se rosso la cottura è giusta, se abasi (chiaro) sono crudi, se scuri (quasi neri) sono troppo cotti.

"Lamia": Nome usato da Vit. per indicare il solaio

Murature

- Pareti murarie in Pietra Naturale: nell'antichità usati megaliti per strutture trilittiche (Stonehenge, Dolmen...); hanno uso ignoto.

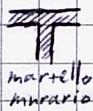
Nelle relazioni tecniche bisogna distinguere i muri (innanzitutto tra portanti/non portanti).

Sono poi state usate nei colonnati dei templi (considerabili pareti murarie: elementi composti in più pietre con giunti), sorretti da architravi poggianti in asse con le colonne; il capitello aiuta a scaricare il peso: i materiali lapidei non resistono a trazione e flessione, col capitello la luce libera viene ridotta di molto.

È importante fare attenzione negli edifici murari ai seguenti punti:



cantonale (angolo)



martello murario



croce

Questi tre punti sono critici: è qui che i pannelli murari si incontrano; per avere comportamento scatolare devono collaborare.

Classificazioni

Prima classificazione di una muratura è quella costruttiva: si distingue tra muratura a secco / con malta. È importante considerare sempre l'aspetto costruttivo per comprendere il comportamento degli elementi.

Altra classificazione è secondo la destinazione d'uso:

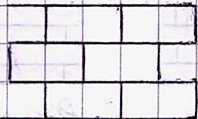
- di fondazione
- di elevazione:
 - di perimetro
 - di partizione/partimento
 - di spina (portanti ma non perimetrali)
 - di tramezzo (più leggeri, non strutturali)

Non di edifici:

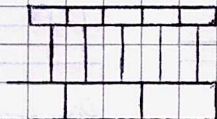
- di cinta
- di sostegno (sorreggono terreni, es. terrazzamenti)
- di rivestimento (riveste il CLS ad esempio)
- speroni, contrafforti, barbacani (sezione trapezia)

Murature a secco in pietra squadrata

Tipicamente per gli edifici le pietre sono squadrate; le giaciture sono solitamente parallele e, se i blocchi hanno la stessa altezza la struttura si dice isodoma, altrimenti è detta pseudoisodoma.



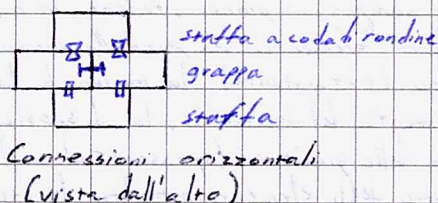
isodoma



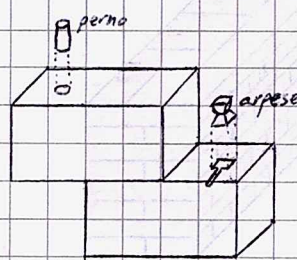
pseudoisodoma

⚠ I giunti sono sempre sfalsati: alla metà di un blocco corrisponde un giunto; l'obiettivo è evitare una rottura, si crea dunque un ammassamento.

Anche se la muratura sembra priva di legami tra i blocchi, all'interno della sezione muraria possono esserci varie connessioni, sia in orizzontale che in verticale:



Connessioni orizzontali (vista dall'alto)



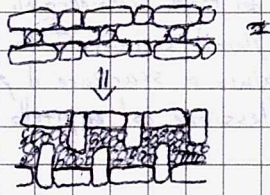
Connessioni verticali

Le connessioni verticali sono utili per strutture alte o in zone sismiche; l'arpese in particolare è un doppio tracco di piramide con piombo che, indurito, impedisce lo sfilamento.

Sono solitamente in materiali metallici
COLATI (es. Piombo)

Murature a secco in pietrame informe

Sono tipicamente murature a 2 fasce, con paramenti in pietre sbazzate, più o meno regolari, con dei blocchi "più piccoli" che sono in realtà in direzione trasversale: si ammorsano "a pettine" nel nucleus, parte centrale del muro in cui si trovano delle pietre più piccole.



Le murature in pietra naturale e malta possono essere anch'esse in pietrame informe; la malta risolve le irregolarità della pietra; bisogna fare molta attenzione alla disposizione dei filari.

Le murature antiche con questa tecnologia erano molto spesse, in modo tale da sorreggere il carico di orizzontamenti e volte (notevole carico orizzontale); all'interno c'era un sacco con pietrame più piccolo.

Murature in letto

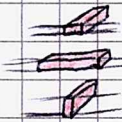
Realizzate con cassatorma, usando la malta come se fosse un betunium (cemento), legando materiali lapidei di scarto. Questa tecnologia è propria delle case coloniche in area vesuviana e flegrea. Può essere usata anche come riempimento tra paramenti (o fasce), nei quali deve essere già indurita la malta.

Murature in mattoni

Tecnologia invariata nei millenni, cambiano però le misure: oggi sono di circa $5,5 \times 12 \times 25$ cm, ovvero in rapporto 1:2:4 (bisogna considerare lo spessore della malta) poiché le murature in mattoni vanno realizzate sempre con malta.

Questa modularità permette di garantire gli ammorsamenti anche in murature a due teste.

La disposizione di un mattone può essere:



- In chiave (perpendicolare allo sviluppo del muro)
- In spessore (parallelo allo sviluppo del muro) \Rightarrow definisce lo spessore del muro (2 teste ecc.)
- In piedi
- In diagonale: ornamenti di edifici; spesso di epoca romanica

In relazione alle dimensioni, distinguiamo i mattoni in:

- Standard - $\frac{3}{4}$ - $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{4}$ - Mattonetto ($h = 2,5$ cm)
- Spessori modulari \Rightarrow variabilità nella disposizione
- Nomenclature per l'effetto prodotto a faccia vista:



Disp. In spessore



Disp. in chiave
2 teste



Disp. a blocco
2-3 teste



Disp. olandese
o diamminga
2 teste

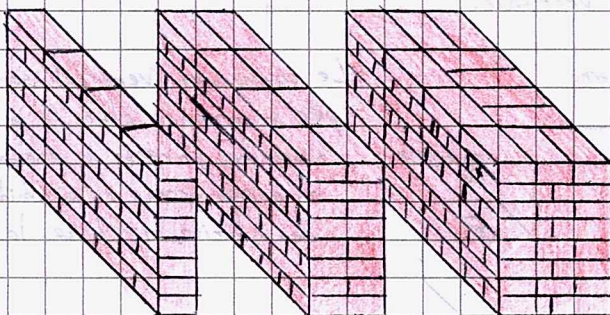


Disp. gotica o
Polacca
2 teste



Disp. a croce
2 teste

Nella composizione in più teste, i muri si compongono in diversi modi:



Sono sempre a giunti sfalsati, in modo tale da rendere l'elemento un pannello murario omogeneo (e resistente): la malta di laterizi è più resistente del materiale; la disposizione alternata delle giaciture (spessore-chiave) crea un intreccio degli elementi in malta; lo stesso avviene in una muratura a 3 teste: si evita la creazione di sezioni preferenziali di rottura.

In murature più spesse (es. Pompei), il nucleo non è a sacco ma con strati diagonali alternati all'interno di fare a spessore/in chiave (per edifici importanti romani).

⚠ I punti critici delle murature (cantonale, martello, croce) devono sempre avere ammassamenti, non devono mai tagliarsi e bisogna dunque evitare giunti a filo; portando i mattoni all'interno utilizzando sottomultipli e ammassamenti.

Esistono anche muri a struttura mista: una cornice in mattoni inghioda una muratura in altra tipologia o geometria (opus reticulatum/spicatum); le strutture sono comunque compenstrate. Viene inventato quando si scopre che le fratture si dispongono a $45^\circ \Rightarrow$ viene messa la malta lungo queste dimensioni direzioni; se nell'area è assente il tuto si usa opus spicatum. Il nucleus è tipicamente in pietra e malta.

Corpi murari isolati

Si distinguono in

- Colonne (base, fusto, capitello)
- Pilastri o predritti

Sono realizzati I pilastri possono essere realizzati in mattoni (non modellati), composti e sovrapposti per creare le forme più varie (quadrato, ad angolo...) sempre secondo il criterio di non sovrapposizione dei giunti lungo alcuna direzione.

Alle volte, alcune costruzioni hanno strutture intelaiate lignee con controventi che presentano paramenti e basamenti e in muratura (il legno non tocca mai terra: marcisce!); sono le tipiche case a graticcio, presenti nella tradizione mitteleuropea; che spesso sporgono sulla strada.

Con l'abolizione della "tassa sui mattoni" in Inghilterra nel 1850 e il brevetto del forno Hoffmann nel 1858 in Germania (forno "mobile": la sorgente di calore si muove tra i mattoni determinando un'omogeneità del prodotto e limitando gli sprechi) e con la prima macchina ad estrusione brevettata nel 1875 a Bridgewater nell'area mittele-europea ~~si~~ diventa molto diffuso l'uso dei mattoni in edilizia: può essere prodotto e conservato in grandi quantità.

Il mattone, elemento strutturale, può avere anche ruoli di decoro: veniva abbinato alla pietra (per cantonali, fasce marcapiano, basamenti), attacco a terra...) o accostato con altri mattoni più o meno cotti per disegnare motivi geometrici decorativi senza ~~richiedere~~ necessità di intonacare o dipingere, rendendo ogni edificio differente. Ciò rappresenta allo stesso tempo un riutilizzo dei materiali di scarto!

Alle volte, le murature in mattoni sono applicate con tessiture in concerto con altri materiali (ferro, vetro...).

Si nota che in Italia le dimensioni dei mattoni presentano piccole differenze locali (es. Napoli è $6 \times 13 \times 26$); è inoltre interessante osservare che la posa della malta influisce sull'effetto del paramento murario: la malta può essere a filo, tagliata a squadra verso l'interno, cantava verso l'interno/esterno, sporgente, arrotondata... Dipende dall'uso degli strumenti; quella a filo è la posa più rapida ma non crea ombra \Rightarrow non fa emergere il mattone e non crea alcun effetto dinamico (L. Casenza aveva messo ogni elemento in risalto, non è stato colto nella manutenzione).



Diversi effetti dati dalle malte

E edifici in muratura portante possono avere fori aperture (si veda anche dagli edifici in tutto del Rettifilo: non è influente l'altezza dell'apertura quanto l'allineamento; da stabilità ai muri che fungono da pannelli portanti, detti maschi murari; sembrano dei pilastri all'interno della muratura, devono essere ben ammassati!)

Oltre ai mattoni albas e ferziali, è possibile smaltare i mattoni garantendo una variabilità cromatica ancora maggiore.

⚠ In una casa in muratura le finestre sono sempre allineate e sovrapposte: devono sempre esserci i maschi murari, elementi strutturali; per questo motivo non è possibile posizionare finestre nei cantonali! Alle volte, i cantonali hanno pietre di rinforzo, ben ammassate nella parete muraria.

Norma UNI 8290

A seconda dell'uso di un edificio esistono normative differenti.

È importante distinguere tra:

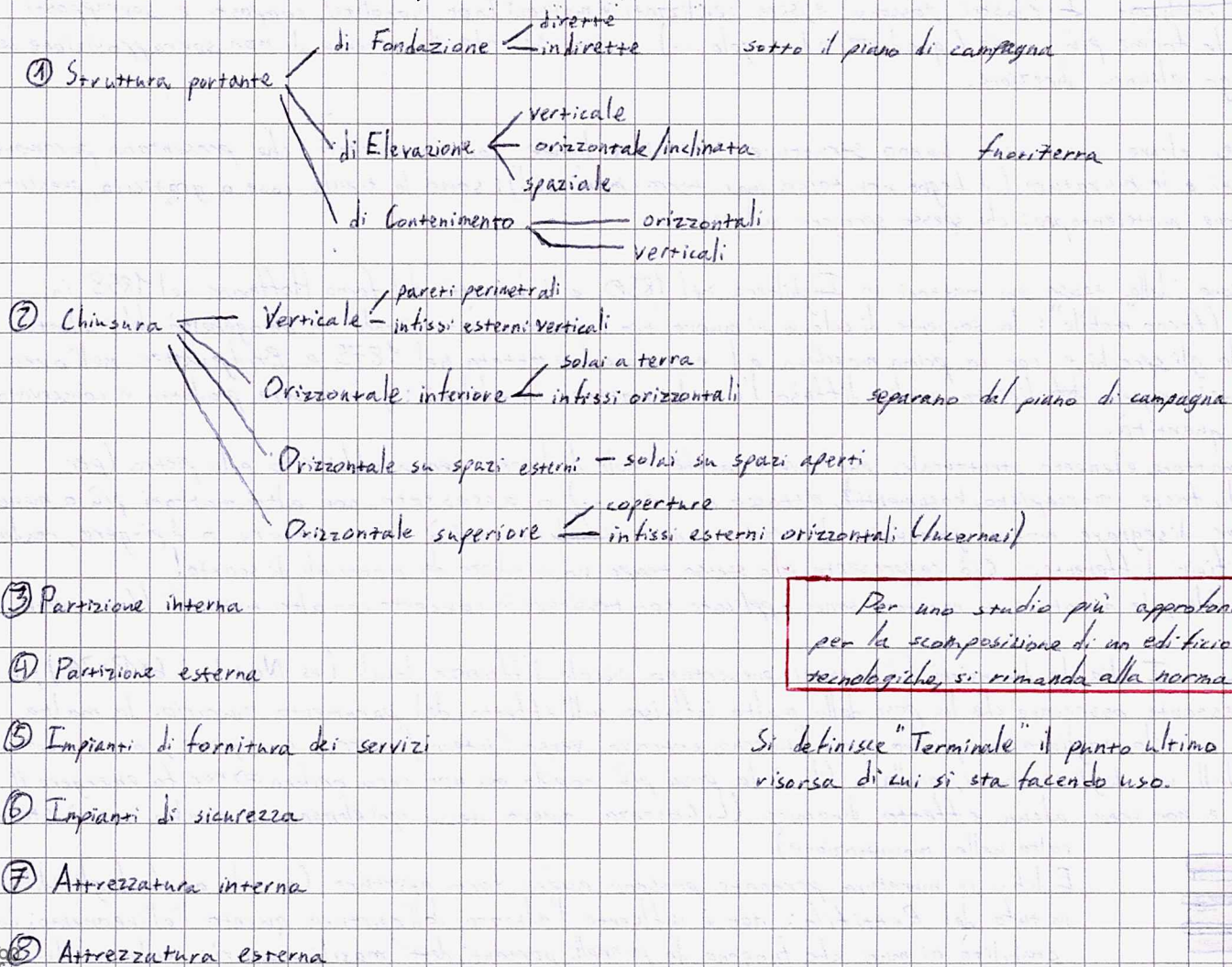
- Regola (regula, assicella di legno per misure): può essere anteimposta
- Norma (latino per squadra, misura angoli): sempre esterna, è consuetudinaria
- Legge: da rispettare assolutamente (o sanzioni)

Non è possibile realizzare un progetto senza riferirsi alle norme, che possono non essere rispettate strettamente salvo se derivanti da leggi.

In generale, un edificio può essere visto come un sistema: non è un insieme di oggetti non collaboranti ma una composizione di sottosistemi che interagiscono.

Il sottosistema strutturale è quello di base (senza non hai un edificio!), MA NON il più importante in assoluto, data la situazione di crisi energetica in cui viviamo.

La norma UNI 8290 classifica e definisce in 8 macroelementi (classi di unità tecnologiche) le unità tecnologiche che possono comporre un qualunque edificio (e dunque un qualunque uso!)

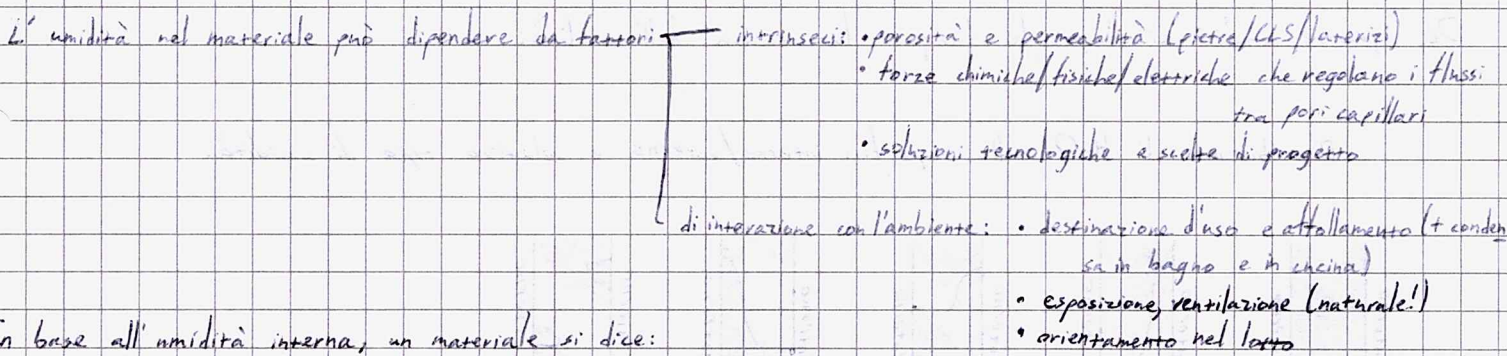
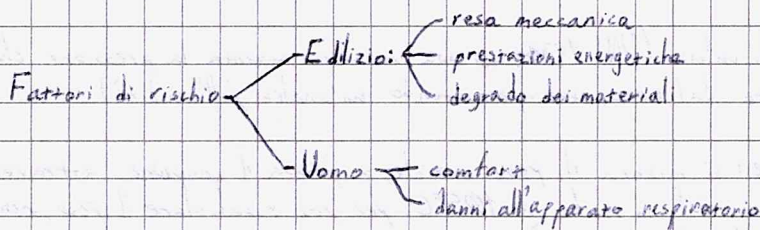


Per uno studio più approfondito, necessario per la scomposizione di un edificio nelle sue unità tecnologiche, si rimanda alla norma in questione.

Si definisce "Terminale" il punto ultimo di percorso della risorsa di cui si sta facendo uso.

L'acqua, sempre presente nei materiali da costruzione, può creare problemi di degrado. L'uomo ^{ha} cercato di allontanarsi (la sumpre) dall'acqua, realizzando barriere contro la risalita capillare o costruendo palafitte.

Contraintuitivamente, anche nell'edilizia in ambienti desertici si cerca di evitare l'accumulo di acqua: a causa della differenza di temperatura, pressione, umidità tra interno ed esterno è necessaria una ventilazione naturale, realizzata attraverso piccole aperture, che permette la fuoriuscita di vapore senza creare condensa, prima causa della formazione di muffe e patogeni; con queste differenze tra interno ed esterno si creano infatti dei flussi termogravitari.



In base all'umidità interna, un materiale si dice:

- asciutto: se nei vuoti non è presente acqua (⚠️ l'acqua è sempre presente nei materiali: la cosiddetta umidità fisiologica di acqua è la quantità di acqua presente nel materiale per mantenere i legami e l'equilibrio con l'ambiente esterno.
- saturo: l'acqua occupa tutti i vuoti.
- umidità intermedia: comportamenti vari e diversi

Si è dimostrato che all'aumentare della presenza di acqua libera si ha una riduzione non lineare delle prestazioni meccaniche: nei tetti, ad esempio, si perde il 40% di resistenza meccanica.

Simili peggioramenti avvengono col comportamento energetico: un materiale in condizioni normali trattiene e piccoli volumi d'aria che fungono da isolante termico: come un maglione di lana, se tale aria è sostituita da acqua aumenta sensibilmente la conducibilità termica e la trasmittanza.

Stando alle norme, esiste una trasmittanza limite da dover rispettare; essa però non tiene conto delle condizioni di esercizio dell'oggetto su cui interveniamo (la norma oltre un calcolo tabellare in base a natura e spessore del materiale, è però dimostrato che con l'acqua aumenta sensibilmente la conducibilità del materiale) in modo tale da comprendere se è meglio attuare un intervento di efficientamento o di riqualificazione.

L'acqua può entrare in un edificio per vari motivi:

- Umidità da costruzione: se una costruzione è realizzata troppo rapidamente (ad esempio la posa di laterizi su malta, i quali devono essere prima bagnati per non interrompere presa e indurimento, e che devono asciugare prima della posa dell'intonaco), non evapora tutta l'H₂O e dunque l'interno resta umido
- Condensa, infiltrazione (anche in spalti nella muratura)
- Risalita capillare: dai terreni di fondazione può risalire fino alla muratura per diversi motivi

Esiste un'ulteriore azione dipendente dalla natura chimico-elettrofisica del materiale, oltre alla sua interazione con l'acqua: il doppio strato di Helmholtz ~~che~~ modella il fenomeno.

Le cariche sulla superficie richiamano dalla soluzione una carica netta uguale e contraria: i materiali lapidei, essendo ricchi di Silicio, presentano carica negativa; detta carica orienta le molecole d'acqua (dipoli) presenti nel poro capillare; questa polarizzazione determina due strati di H_2O che, nel loro movimento, richiamano altra H_2O mentre si verifica il processo di evaporazione della prima; l'attrazione di acqua è alimentata anche da una differenza di potenziale elettrico dovuta al movimento del doppio strato di Helmholtz.

L'intervento di risanamento si divide in:

- Diagnosi
- Progetto dell'intervento
- Collaudo

I laterizi realizzati a mano (usati per il restauro di edifici storici) possono essere cotti in forno o essiccati all'aria; da prove termiche si osserva che nel passaggio da asciutti a bagnati i laterizi hanno un aumento di conducibilità termica maggiore del 100%; da prove meccaniche risulta che la maggior perdita avviene al 50% di saturazione, con una riduzione di oltre il 30%.

Da sperimentazioni analoghe sul tufo giallo napoletano risulta che nel passaggio da asciutto a bagnato il materiale aumenta la conducibilità del 45%.

I metodi di intervento tradizionali sono:

- **Meccanici:** molto presenti a Venezia, sono caratterizzati dall'inserimento di lastre in materiali impermeabili nel muro, bloccando la risalita; limite è l'impossibilità di bloccare la risalita nella parte più sensibile del fabbricato: le fondazioni. Inoltre, i tagli nelle strutture in muratura minano l'integrità del manufatto, rendendolo più suscettibile alle sollecitazioni.
- **Chimici:** iniezione per lenta infusione/bassa pressione di composti chimici con lo stesso obiettivo dell'intervento meccanico; problema è la distribuzione inevitabilmente non omogenea del composto in virtù dell'eterogeneità della muratura; a ciò si aggiungono i problemi della barriera fisica e possibili danni ad opere di valore artistico.
- **Evaporativi:** Si distinguono in interventi attraverso il posizionamento di sifoni e dreni nelle murature che, per TP, fanno uscire l'acqua; problema è la necessità di applicarne molti nel caso di mura sature. Altra tecnica è l'applicazione di intonaci macro-porosi, che aumentano la capacità evaporativa del materiale permettendo la cristallizzazione dei sali senza tensioni interne (+ volume libero); va combinato con un intervento che limiti la risalita.
- **Elettrici:** agiscono sulla causa, limitando il movimento del doppio strato di Helmholtz attraverso l'uso di un campo elettrico "inverso"; ciò è efficace solo in condizioni ottimali: le correnti vaganti degli impianti possono interferire con quello del dispositivo; l'intervento è inoltre molto invasivo.

In evoluzione a detti metodi si stanno sperimentando nuove tecniche, come il CNT che introduce un campo elettromagnetico di debole intensità e frequenza, "neutralizzando" la polarizzazione; l'acqua rimanente evapora e non risale in virtù delle onde elettromagnetiche applicate dal dispositivo (non invasivo).

Fondazioni

Come intuibile dal motto molto usato in edilizia (le fondazioni si fanno e si dimenticano), le fondazioni di un edificio vanno progettate nei minimi particolari; una volta realizzate, non è possibile effettuare interventi di manutenzione; il loro esercizio deve svolgersi durante l'intero ciclo di vita dell'edificio.

Il progetto delle fondazioni dipende dal comportamento che vogliamo affidare al fabbricato nel relazionarsi col terreno: un edificio può essere:

- **Mobile, non inteso a terra:** non essendo radicato al suolo, non si muove con esso nel caso si verificino smottamenti; pur muovendosi la sua geometria resta inalterata (come se fosse una barca); è un sistema strutturalmente più ~~rigido~~ ^{rigido}, realizzato con una base particolarmente solida; in questo modo, l'edificio può muoversi senza perdita di integrità.
- **Radicato:** Contrasta i principali fenomeni atmosferici fuoriterra, l'edificio è stabile grazie alle fondazioni; il sistema costruttivo è più elastico, non ha necessariamente comportamento scatolare.

La decisione sul comportamento dell'edificio dipende dal terreno su cui si opera e dalle sue dinamiche.

Il peso dell'edificio sovraterreno grava su un'area dettata dalle fondazioni, generando delle tensioni; aumentando la superficie queste tensioni si riducono.

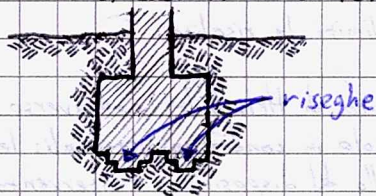
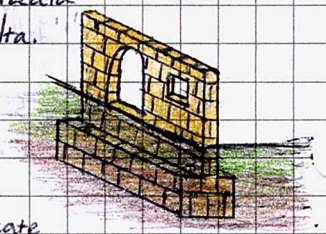
La pressione ammissibile per elementi di carico poggiati su diversi terreni varia in base al tipo di terreno su cui si carica: ad esempio, i terreni paludosi (come Venezia) hanno pressione ammissibile \emptyset ; terreni più coerenti (ovvero più compatti e consistenti, e con meno H_2O) hanno pressioni ammissibili maggiori.

Anticamente, le fondazioni (edifici in muratura) erano il proseguimento del muro in elevazione, spesso con un allargamento; seguivano (segnano) l'andamento dell'intero perimetro, includendo talvolta i muri di spina.

Questa tipologia di fondazione si dice in tela, poiché come per una tela veniva realizzata per filari successivi (filare su filare), sovrapposti attendendo l'indurimento della malta.

Alle volte, per sostenere le trincee nelle quali venivano disposti i primi filari, erano necessari dei puntelli o altri contrasti controterra.

Essendo necessario seguire il perimetro del fabbricato, la fondazione segue le eventuali rientranze [sporgenze] dell'opera rispetto alla tradizionale forma scatolare; inoltre possono essere presenti delle riseghe nel piano fondale, applicate nel caso in cui si temano smottamenti ortogonali alla giacitura del muro (riseghe = dentellature)



Nello studio delle fondazioni, città esemplare è Venezia: sorge su terreni paludosi grazie a piattaforme in legno con palificate infisse nel terreno, che costipano il suddetto rendendolo meno poroso \Rightarrow aumenta la pressione ammissibile.

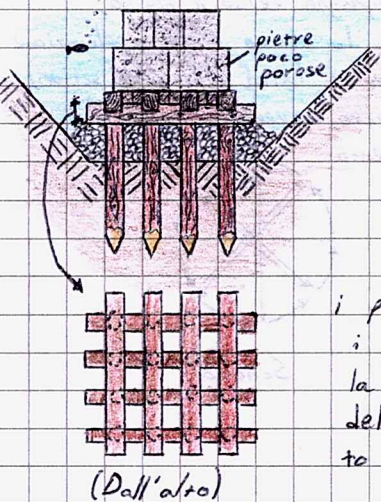
Al di sopra di dette palificate si imposta un tavolato, sul quale viene realizzato l'edificio. È possibile applicare anche considerevoli carichi "puntuali", come avviene nel caso di campanili: ciò perché questa tipologia di fondazioni (in palificate), costipando il terreno per attrito, permettono la realizzazione di edifici.

In passato, la salinità dell'acqua non provocava problemi al legno, che non marciva grazie alla simbiosi con particolari specie di alghe. A causa dell'inquinamento oggi è necessario sostituire questi elementi.

L'acqua salata crea problemi nelle infiltrazioni e sugli intonaci; per questo motivo, gli intonaci vengono applicati solo a partire da $\sim 1m$ dal pelo d'acqua.

Le vie "lungocanal" di Venezia venivano dette "fondamenta" proprio perché aventi ruolo strutturale: estendono la superficie del piano fondale e collaborano alla stabilità degli edifici adiacenti.

Fondi su palificate



Gli edifici che affacciano sui canali sono "più leggeri" in prossimità del corso d'acqua: tali facciate sono tipicamente più aperte, con logge e perticati.

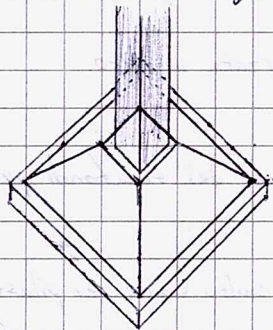
Per ispezionare le fondazioni si intiggono delle barriere, pompando via l'acqua e creando delle vasche asciutte, nelle quali si può operare.

Analogamente, per ottenere spazi di cantiere si creano delle zattere: le gru operano sulla terraferma, mentre i materiali vengono depositati su queste piattaforme.

Le palificate possono essere realizzate anche in altri modi, come i pali trivellati, i pali infissi in CLS (talvolta prefabbricati)... La tecnologia è però la stessa: anticamente i pali erano posizionati con una capra e battuti con battipalo; la punta facilita la penetrazione; eccezione alla tecnica dei pali battuti è il palo trivellato: all'interno della trivellazione viene iniettato del calcestruzzo. Questa tecnica viene usata per il contenimento di pre-gallerie stradali.

Imperial Hotel Tokyo (FL Wright): nel progetto sono presenti mura con giunti allineati, come visto in Messico; il Giappone, terra in cui i terremoti sono frequenti e paese all'avanguardia nelle tecnologie sismiche, ha una ricca tradizione su queste tecniche; i giunti allineati evitano fratture nella muratura.

Le fondazioni, in generale, si distinguono tra puntuali e distribuite



↳ platea: piastra continua (concezione della barca, soluzione diversa in zona sismica)
 ↳ a pali (con piede o plinto)
 ↳ a pozzi (antiche, siavo facile in sottofondazione) colonne cilindriche vuote all'interno

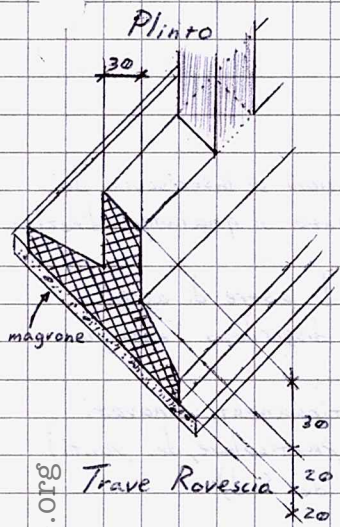
Plinti: Sono degli allargamenti alla base dei pilastri; questo allargamento aumenta la superficie su cui si distribuiscono i carichi, riducendo la pressione.

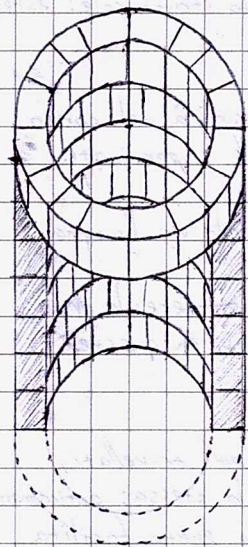
Travi Rovescce: Il nome deriva dal tipo di comportamento statico: è simile a una trave rovesciata, caricata dal terreno che agisce dal basso verso l'alto; essendo sollecitata dai carichi dei pilastri i momenti flettenti avranno segno opposto rispetto alle travi dei solai. Per ottenere una distribuzione più uniforme dei carichi, le travi si collegano ai pilastri nei due sensi ortogonali.

È preferita al sistema a plinti in zona sismica per la maggior collaborazione tra le parti.

Al di sotto si osserva il magrone: è un getto di CLS magro (ovvero a basso contenuto di calce), non armato che evita che il CLS-A sia a diretto contatto col terreno di fondazione.

Platea: Fondazione diretta, può essere vista come il collegamento ulteriore di una maglia ortogonale di travi rovesce con una platea in CLS-A. È importante realizzare una sezione per distinguere tra magrone e CLS-A.



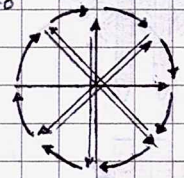


Pozzo

Fondazione a Pozzo: Utilizzata sin dall'antichità per le grandi strutture (archi trionfali); si realizzano per sottotondazione ("filare sotto filare": si scava, si inserisce il primo filare e si prosegue iterativamente fino alla profondità desiderata); l'apertura, di almeno 30 cm, consente di lavorare all'interno.

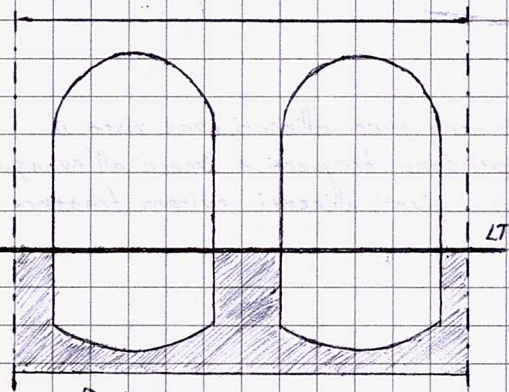
La costruzione dunque si evolve dal piano di campagna verso il basso; per mantenere l'equilibrio e stabilità dell'opera lo scavo e la applicazione dei conci avviene per settori, come nello schema a lato (minimo 8 settori).

La realizzazione può avvenire anche per approfondimento, ovvero schiacciando il terreno con delle lame per permettere l'approfondimento della struttura realizzata fuoriterra.

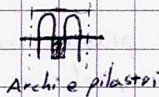


Schema

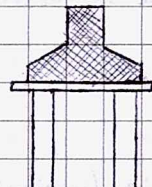
Fondazioni ad archi e pilastri/doppio arco: anch'esse antiche, usate per acquedotti, teatri, terme... La funzione è simile a quella di una moderna platea: distribuisce e ripartisce i carichi sul terreno.



Doppio arco



L'inserimento di pali al di sotto di plinti/travi rovesce rende le fondazioni indirette: scaricano il peso sui pali, a una profondità maggiore della fondazione.



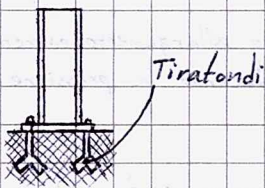
il peso scarica qui

se in CLS, i pali battuti hanno una punta rinforzata in ferro.



Rappresentazione in pianta di un palo di fondazione

Nel caso di strutture in acciaio, le fondazioni (necessariamente in CLS-A) presentano dei tirafondi per evitare movimenti del pilastro:



- I Profilo HE (Dimensioni ala-anima simili, molto usate per pilastri)
- I Profilo HT

Isolatori sismici: In zone particolarmente colpite da terremoti, alla base delle fondazioni si inseriscono dei sistemi che isolano il fabbricato dal terreno, permettendone il movimento in qualunque direzione e rispondendo dunque al sisma, senza provocare danni ingenti.

Sono particolarmente usati dei sistemi cilindrici con alternanza di lastre di acciaio inox e neoprene, vengono fissati con piastre di ancoraggio e disperdono l'energia.

Nei paesi più all'avanguardia nel settore tali sistemi vengono continuamente innovati poiché è vitale garantire l'integrità delle infrastrutture (in particolare, dei ponti) impiegate come vie di fuga (esempio: Ponte Sa-Chung, Corea del Sud)

Terremoti

I sismi sono eventi ed oggi imprevedibili; si parla dunque di rischio e pericolosità sismica come fattori di valutazione \Rightarrow ci si basa sulla statistica.

L'ipotesi attualmente vigente sulla situazione italiana sostiene che detti movimenti tellurici siano dovuti ad uno spostamento della penisola verso Est, con "cerniera" nel Friuli-Venezia Giulia, a metà dell'Appennino e in prossimità di Messina, mentre l'Africa trasla verso Nord.

È importante studiare le culture sismiche locali: in aree di particolare frequenza sismica, le comunità hanno sviluppato empiricamente tecniche sempre più efficaci nella mitigazione dei danni, dalle quali è possibile apprendere alcuni metodi da considerare nel progetto.

La misurazione dell'intensità di un sisma inizia con la Scala Mercalli, del 1902, la cui misura è però legata ai danni procurati agli edifici, e dipende dunque dalla qualità dell'edificio. In questo periodo si osserva inoltre che, negli edifici in muratura portante uno dei punti più sicuri è l'architrave delle aperture (cosa NON vera nelle strutture in CLS-A).

Si può facilmente osservare dalle carte sismiche che la pericolosità sismica in Italia aumenta progressivamente nel tempo, per cause non sempre immediatamente riconoscibili: ad esempio, le prime scosse in Pianura Padana (considerata precedentemente come non sismica) furono attribuite ad una modifica della morfologia del sottosuolo causata da trivellazioni ed estrazione di petrolio.

La zonizzazione sismica ha avuto però anche una matrice politica in alcuni momenti, in virtù della disponibilità di fondi per la messa in sicurezza.

Bisogna effettuare una netta distinzione tra i vari parametri cui ci si riferisce circa un sisma:

$$\text{Rischio Sismico} = \text{Pericolosità}^{(*)} + \text{Esposizione}^{(*)} + \text{Vulnerabilità}$$

- Pericolosità: Probabilità che un certo evento dannoso si verifichi nel lungo periodo.
- Esposizione: Popolazione, infrastrutture, ospedali, scuole... (primi da mettere in sicurezza)
- Vulnerabilità: Propensione a danneggiarsi delle strutture esposte.

Osservando gli epicentri dei vari terremoti su un planisfero, è possibile delineare le placche terrestri (i terremoti sono fenomeni dovuti all'attrito tra placche).

Nell'area mediterranea, l'Italia è uno dei paesi a maggior rischio sismico.

Circa la previsione, si può valutare la probabilità che un terremoto di una determinata Magnitudo avvenga in una certa zona entro un certo intervallo di tempo. Si possono inoltre monitorare i fenomeni precursori, che indicano un'imminente scossa, ma non forniscono alcuna certezza sul momento esatto. Essi sono:

- Deformazioni del suolo in prossimità di faglie attive
- Variazioni ($\Delta \neq 0$) di specie chimiche in acque e gas (ad es. il Radon, gas magmatico)
- Livello d'acqua nei pozzi (spostamento delle faglie acquifere)
- Scosse preliminari
- Comportamento anomalo di animali

Può essere efficace effettuare interventi di prevenzione:

- Costruire e ristrutturare le opere secondo norma
- Fissare armadi e scaffali a muro e altre soluzioni per gli arredi, riducendo le situazioni di rischio (va prestata attenzione agli intissi, che potrebbero rompersi con la convergenza dei pilastri).

Le stime sulla pericolosità vengono principalmente realizzate misurando le PGA (piccole accelerazioni del suolo, viene considerata normale sotto il 10%); la classificazione delle aree più a rischio, riportata nelle carte sismiche, veniva data fino a poco tempo fa DOPO l'avvenimento di un terremoto; oggi le analisi dell'INGV portano a informazioni più dettagliate, rendendo possibile l'individuazione di strutture sismogeniche in base a terremoti e sorgenti; da ciò è possibile valutare i comportamenti di una determinata area, e dunque si possono prevedere i numeri di terremoti di determinate magnitudo attesi in detta area nei 100 anni successivi.

La mappa sismica più recente è la MPS04, impiegata dal 2006, che illustra le PGA degli ultimi 50 anni.

Attraverso l'abbinamento con altre strategie di monitoraggio, l'INGV elabora regolarmente un modello di pericolosità sismica, integrato nella NTC 2008.

Per essere efficace, la stima della pericolosità sismica necessita un'azione amministrativo-politica per essere efficace.

Seminario: Restauro e Culture Sismiche Locali

prof. Ferruccio Ferrigni

⚠ Il RISCHIO è una combinazione di fattori, TRA I QUALI è presente la PERICOLOSITÀ. Tiene conto anche sul sistema (popolazione) su cui agisce.

È importante studiare le tecniche sviluppate nei secoli dalle culture sismiche locali, spesso dimenticate o sottovalutate: in questo modo, è possibile integrare nella concezione di un progetto approcci globali a problemi statici, determinando soluzioni più efficaci.

- **Benemerito:** la tecnologia preponderante è l'applicazione di barbacani, soprattutto in prossimità degli angoli della struttura; in altri casi si osserva un inspessimento della sezione muraria, applicato alla muratura preesistente.
- **Portogallo:** è frequente l'applicazione di contrafforti o di strutture laterali.

In Italia si osservano anche applicazioni di contrafforti, sui quali alle volte si impostano degli archi.

- **Asia:** struttura emblematica è la pagoda giapponese, sorretta da un unico palo centrale cui si appendono i vari livelli mediante bilancieri \Rightarrow la struttura è dunque isostatica; tecnologia simile viene impiegata in Cina nel secolo successivo (XV), solo che le coperture sono semplicemente appoggiate.
Nel XVI sec., si sviluppa una tecnologia diversa in Cina, con pagode formate da piani molto rigidi, connessi tra loro mediante cerniere \Rightarrow i livelli sono rigidi, ma possono scorrere.
- **Anatolia:** le strutture presentano tecniche miste: al piano terra l'edificio è tipicamente in muratura massiccia, mentre ai piani superiori si adottano strutture lignee.
- **Grecia:** Tradizionalmente si utilizza una struttura in legno indipendente che sorregge su pilastri le strutture dei livelli successivi, ai quali si applica al piano terra una muratura; in questo modo, in caso di crollo sono fortemente mitigati i danni agli abitanti nei piani superiori, ed è possibile fruire l'edificio anche durante la ricostruzione.

Si osserva dunque che nel rispondere ai sismi sono state sviluppate tecniche tra loro diverse, riconducibili essenzialmente a due differenti approcci. Per comprendere a fondo queste due tipologie di intervento, bisogna ~~compen~~ approfondire le dinamiche d'impatto di un sisma su un fabbricato.

Un sisma è una scarica di energia, dovuta a motivi tettonici; si misurano in base a 2 scale: la scala Richter, che misura l'intensità dell'energia liberata, e la scala Mercalli, che ne misura gli effetti.

L'energia impartita dalla scossa viene parzialmente "catturata" dall'edificio; questa quota a sua volta viene in parte assorbita (le strutture si muovono senza subire danni), in parte dissipata (le strutture si deformano irreversibilmente, dissipando energia); la parte restante è quella che provoca danni.

L'energia assorbita e dissipata viene raccolta in un termine ombrella: energia metabolizzata.

Si osserva che l'obiettivo da porsi per avere una struttura antisismica è quello di rendere l'energia assorbita del sisma pari all'energia metabolizzata.

Un primo approccio al problema può essere quello per **massività**: aumentando le masse di una struttura, aumenta la capacità di assorbimento dell'energia; aumenta però anche la quota di energia catturata (che, però, si riduce in proporzione l'energia che causa danni: con una certa aggiunta di massa è possibile determinare una condizione di resistenza per ridondanza).

Altro approccio è quello per **deformabilità**: si alleggeriscono le strutture per ridurre la quota di energia catturata; si modifica il rapporto tra energia assorbita e dissipata (quella dissipata è preponderante).



Un edificio viene sottoposto a tre diverse sollecitazioni durante un sisma:

- **Taglio (orizzontale)**: la tecnica antica per rispondere ad essa è l'aumento della resistenza attraverso l'introduzione nella muratura in pietra di filari in laterizi: in questo modo, un'eventuale lesione non può propagarsi tra strati.
- **Verticale**: problematica sono gli sbalzi; si utilizzano dei pali di sostegno connessi alla muratura sottostante (es. ad Algeri)
- **Torsionale**: la sollecitazione incide particolarmente sugli angoli, che vengono rinforzati (in legno in Pakistan, in pietre squadrate e massicce in Grecia)

Tra queste, le forze più dannose sono quelle orizzontali: l'edificio è naturalmente attrezzato per resistere a sollecitazioni verticali. Per resistere ad esse si sono impiegati telai e strutture in legno della più varia natura (Mytilini, Akrotiri in Grecia) o travi lignee sulle architravi (Ceppaloni, Italia).

In altre aree, come il Perù, per murature particolarmente massicce si tagliano deliberatamente le pietre in modo tale che si incastrino, non permettendo slittamenti orizzontali.

Altra tecnologia, adottata per i porticati ad Algeri, è l'impiego di "rulli" tra colonna ed arco (ad Algeri sono in cipressi), che permette lo slittamento della muratura sovrastante (che assorbe più energia) senza trasmettere la scarica alle colonne, evitando crolli.

Contrariamente a quanto immaginato, queste tecniche sono rimaste pressoché invariate nei secoli: ad esempio, a Thira si osserva una muratura armata risalente al 2500 a.C. che presenta le stesse caratteristiche di una muratura armata di Mytilene del 1800 d.C.

Nel caso dell'angolo rinforzato pakistano, la tecnologia resta invariata dal 1800 al 1997

Per quanto riguarda le tecnologie cinetiche, dal IV secolo ad oggi il concetto costruttivo non varia: per ottenere l'inclinazione delle coperture senza determinare ulteriori spinte (a differenza delle capriate, formate da due puntoni connessi da un tirante: la rottura del tirante implica un'assenza di resistenza strutturale) viene realizzata attraverso una successione in elevazione di travi via via più ridotte; la tecnologia è ancora praticata oggi.

Differenti tipologie di Culture Sismiche Locali: nelle pagine precedenti sono state analizzate soluzioni consciamente ed appositamente studiate per rispondere a un sisma; all'interno di una stessa cultura però possono esserci diverse tipologie.

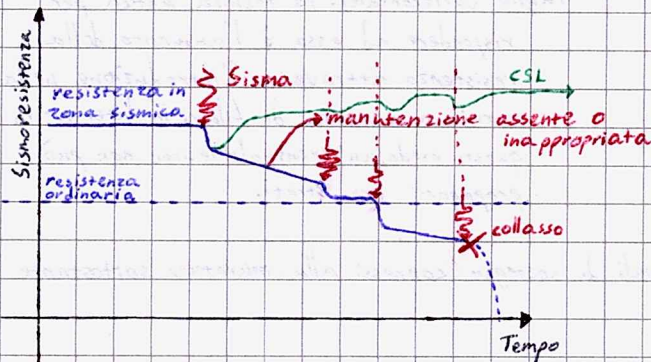
Un primo esempio è quello del barbacane: in Grecia possono presentarsi come impessimenti localizzati della muratura, sono inseriti ed ammassati nel muro; a Sepino invece si notano dei barbacani particolarmente massicci ma aggiunti alla muratura in un secondo momento.

Ciò perché il livello della CSL diminuisce all'aumentare del tempo protratto da una scossa di terremoto particolarmente violenta: se sono sporadici, queste informazioni non vengono efficacemente trasmesse alle generazioni successive.

Se invece i sismi sono particolarmente frequenti, la cultura sismica può rimanere costante nel tempo o addirittura aumentare, poiché è possibile trasmettere e consolidare le tecnologie sviluppate.

Logicamente, ciò dipende anche dall'intensità del sisma: i terremoti devono essere sufficientemente violenti da danneggiare gli edifici meno adatti per permettere una scrematura delle tecnologie, senza che il terremoto sia distruttivo (crollano tutti gli edifici e si hanno vittime tra coloro i quali hanno le conoscenze necessarie); si ipotizza un grado di VIII-IX sulla scala Mercalli con ricorrenza tra 40 e 60 anni come dominio in cui è più probabile avere una Cultura sismica locale con ottica di prevenzione, con tecnologie avanzate (siri greci e centro-americani); nella prossimità di quest'area si parla di una cultura di riparazione (barbacani aggiunti, come in Italia), appena ci si allontana non vi è più cultura sismica.

Problematica degli interventi in centri storici naturalmente ed empiricamente antisismici è la manutenzione: se manca la cultura sismica locale, e dopo un terremoto non si effettua manutenzione (o si effettua una manutenzione errata, che spesso è peggiorativa), si riduce la sismoresistenza nel tempo!



Conferma sperimentale su quanto detto e presentato nello schema a fianco è stata verificata dagli americani con un'analisi sul livello di manutenzione degli edifici relazionato al danno subito nel terremoto di Northridge del 1994 ad Adobe; si osserva che il danno rapportato ai PGA (picco di accelerazione) era in linea con le previsioni teoriche per gli edifici con buona manutenzione; maggiore di quanto previsto per i fabbricati con assenza di manutenzione e un dato variabile per le opere con rattorziamenti; ciò implica che un rattorziamento non appropriato può peggiorare la resistenza dell'edificio! Un esempio di intervento peggiorativo è la sostituzione di solai in legno con opere in CLS-A.

Altri interventi erranei sono l'imitazione di edifici in muratura a vista, a secco con spigolo ammorsato (tipico edificio rurale) con fabbricati in muratura intorchiata, con malta e senza ammorsamenti.

Altro errore è la mancata ricostruzione di edifici in muratura in linea, poiché collaborano tra loro nella risposta al sisma.

Altre volte invece si adotta lo stesso principio antico in chiave moderna, ottenendo risultati efficaci: un esempio è la tecnologia del barbacane su arco di Ariano Irpino (XIX sec.) reinterpretata recentemente in Costa Rica.

Altri Equivoci Ricorrenti:

- Evitare le strutture spingenti (da cui: demolire o irrigidire volte ed archi)
- Inserire diaframmi rigidi nei campi murari (da cui: i solai vengono sostituiti o irrigiditi)

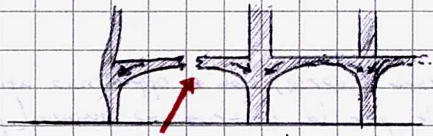
Osserviamo dunque come funzionano le dinamiche di un edificio: ogni struttura ha un carico di lavoro e un carico di rottura; generalmente il carico di lavoro è una frazione del carico di rottura. Valutiamo queste proporzioni:

- Acciaio: Il carico di lavoro è l'80-90% del carico di rottura
- Calcestruzzo Armato: ~50%
- Muratura: ~10%

(Ovviamente, le capacità di resistenza sono incomparabilmente diverse)

In caso di terremoto, il carico aumenta proporzionalmente con l'accelerazione; con un terremoto di 1.2g raddoppia; ciò porta alla facile rottura di strutture in acciaio e CLS-A (meno frequenti), ma NON per la muratura, che resiste a un incremento di sollecitazione molto maggiore (ma sopporta carichi minori in valore assoluto).

Si osserva ad esempio che strutture spingenti come le volte hanno una particolare resistenza: a L'Aquila crolla una facciata, ma le volte a copertura del pianterreno restano pressoché intatte:

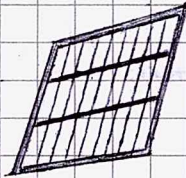
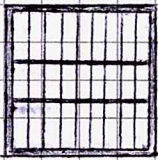


Lesione verso l'esterno: PERICOLOSA, spinge all'esterno e crolla; se si lesiona una volta interna il danno è molto minore

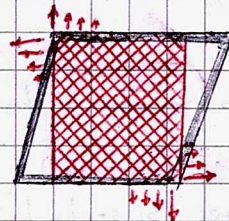
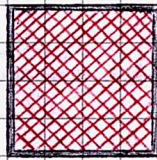
Quando un edificio viene "rinforzato" con la sostituzione di volte e solai in legno in favore di strutture in CLS-A determina una riduzione dell'energia metabolizzata e un innalzamento del baricentro (+ pesante); si riducono le strutture capaci di dissipare energia; il solaio in calcestruzzo non ha alcuna capacità dissipativa, ma trasmette direttamente l'energia alla struttura portante.

L'innalzamento del baricentro aumenta il braccio del momento globale applicato alla struttura, rendendo le sollecitazioni più intense.

Per operare in centri storici spesso le norme delle Sovrintendenze impongono rafforzamenti pericolosi: ad esempio, la sostituzione con solaio in CLS non deve essere visibile dall'esterno; spesso in edifici con muratura a sacco lo si appoggia solo alla muratura interna; con un sisma è facile che la muratura esterna crolli.



Muratura e travi in Legno
Struttura flessibile,
collabora alla metabolizzazione
e non genera spinte.



Solaio in CLS
Non si deforma, trasferisce sollecitazioni verso l'esterno

Altra lezione è dal terremoto nelle Marche, dove son state sostituite coperture in legno con CLS-A; dette strutture hanno resistito al sisma ma le strutture sottostanti collassano; addirittura una di queste coperture resta intatta pur essendo crollati i due livelli sottostanti.

Si notano errori costruttivi anche nella tradizione (aperture in prossimità dei cantonali, risolto con un contrattante), ma bisogna apprendere dal passato!

Questa condizione purtroppo non è inaspettata; circa il 67% dell'edificato in Italia è precedente all'avvento del CLS-A; nelle Università italiane i corsi di strutture relativi alle murature sono invece ridotti al 5%! Si formano dunque pochi tecnici esperti nel campo.

Da una ricerca sui piani urbanistici posteriori al terremoto del 1980 è emerso che la maggior parte degli interventi che AUMENTANO la vulnerabilità erano permessi; gli interventi migliorativi erano invece perlopiù vietati!

Attenzione: non basta la tecnica: è anche necessario che queste conoscenze diventino sapere diffuso, in modo tale da avere comportamenti coerenti nella popolazione; un barbacane non può essere impiegato per un aumento di volume!

Le riparazioni tradizionali diventano architettura vernacola (e archivio tecnico!); si può notare facilmente la successione degli interventi migliorativi, che spesso coprono finestre preesistenti o risultano in apparente contraddizione con altri elementi strutturali, in realtà precedenti.

Per un periodo le tecniche tradizionali sono state imitate senza comprendere le funzioni: ciò può determinare soluzioni peggiorative: una trave in CLS-A in luogo di un arco-ponte di contrasto tra facciate, non deformandosi, in caso di sisma martellerà le facciate aumentando i danni.

Acquisizioni:

- Muratura e calcestruzzo hanno regole e tecniche d'intervento diverse; non è opportuno utilizzare per l'intervento sull'edificio antico le stesse ~~tecniche~~ regole per la costruzione nuova (per un edificio in muratura è opportuno un intervento non sostitutivo, ma di adattamento).
- Le tecniche di intervento vanno necessariamente definite sulla base di quelle localmente consolidate

Questioni Aperte:

- Come stimolare le istituzioni a non considerare obsoleto a priori il sapere empirico depositato?
- Come definire dei protocolli di validazione di tecniche non standardizzate (che quindi non possono essere valutate con parametri numerici, anche in virtù della non omogeneità del materiale)?

Per proteggere l'edificio storico si hanno due approcci complementari:

- **Approccio corrente:** Si studia la Storia dei terremoti nell'area costruendo un modello di terremoto atteso, incrociandolo col modello statico dell'edificio (che modellerà un comportamento inevitabilmente diverso da quello dell'edificio effettivo).
- **Approccio CSL:** Si effettua un'analisi dei danni e delle riparazioni effettuate nel tempo; analizzando la sismologia storica e i meccanismi di danno si selezionano le strategie che si sono dimostrate più efficaci e le si applicano alla struttura presa in esame.

L'architettura tecnica è il primo momento di applicazione della teoria in pratica, fornendo una visione più ampia; si impara a realizzare costruzioni integrate nell'ambiente naturale e costruito e dinamiche, che si muovono verso l'ambiente e l'uomo; sono inoltre rispettose del luogo, dei materiali e delle tecniche costruttive locali.

Il progetto è integrazione anche di diverse figure professionali in un equilibrato risultato dato dalla somma delle competenze, bisogna potersi relazionare con gli altri.

L'opera deve rispettare sia l'ambiente (un brutto condominio si vede per forza) che l'utenza, bisogna creare un edificio armonico, che veicoli equilibrio rispetto alla stratificazione cittadina, rispettando criteri di comfort: le scuole elementari e medie sono di massima 2 piani fuori terra \Rightarrow anche le coperture devono essere progettate concenra.

I parametri che definiscono il progetto scaturiscono dalle esigenze del fruitore per svolgere determinate attività; tali esigenze si traducono in requisiti progettuali, una buona realizzazione determina buone prestazioni, ovvero una buona risposta tecnica al requisito.

Altro parametro fondamentale è la sostenibilità, il rispetto dell'ambiente: le scelte progettuali devono rispettare precise condizioni (ad es. energetiche, condizione più nota).

Rispetto alle costruzioni, l'architetto Peter Reyner Banham ha elaborato diversi modelli energetici di un edificio per poterli classificare rispetto alle consapevolezza energetiche ed ambientali:

- **Conservativo:** si rifà al modello della caverna, presenta grandi masse murarie, poche aperture e volumi compatti, aumentano l'inerzia termica dell'edificio per evitare che le condizioni termo-igrometriche interne si riflettano all'esterno; lo si adotta in climi estremi.
- **Selettivo:** si rifà al modello della capanna, in cui si seleziona e si filtra un determinato elemento della natura per ricavarne determinate condizioni climatiche all'interno (ad es. camini del vento, riscaldamento passivo tramite luce solare).
- **Rigenerativo:** si affida totalmente agli impianti artificiali, è quello più utilizzato, adattabile ad ogni clima; è però ecologico solo se gli impianti sono alimentati da fonti di energia rinnovabili: la dispersione e il consumo energetico è elevato, è il modello più impattante (non pane attenzioni sull'involucro).
- **Bioclimatico e efficiente:** propone un'armonia tra contesto ed edificio, una simbiosi che consente condizioni climatiche ottimali attraverso l'uso combinato di scelte tecnologiche passive e materiali compatibili, con impianti che attingono energia da fonti naturali (ad es. fotovoltaico).

È chiaro che bisogna tendere ad abitazioni intelligenti, efficienti e sostenibili; devono impattare il meno possibile sull'ambiente; i termini che definiscono gli standard odierni sono:

- **Passivhaus:** standard internazionale che mira al massimo benessere abitativo senza l'apporto di fonti energetiche esterne, con una lunga resistenza ed efficienza nel tempo.
- **NZEB**, consumo prossimo allo zero, ora sostituito dal **NET 0**: entro il 2050 tutti gli edifici devono operare senza produrre CO₂ e simili.
- **Active House:** edifici sostenibili ad elevato comfort con grande qualità di luce ed aria interna e esterna, devono rispettare standard di comfort abitativo, efficienza energetica e utilizzo di materiali sostenibili.

È dunque fondamentale lo sviluppo sostenibile: la definizione di sostenibilità del WWF è imparare a vivere nei limiti di un solo pianeta. È fondamentale conoscere l'agenda 2030, l'edilizia abbraccia tutte le categorie e in particolare quella da 7 a 12.

Rispetta alla sostenibilità è importante considerare i parametri ambientali, economici (gestione economica in tutto il ciclo di vita dell'edificio) e sociali (impatto su qualità della vita e la società)

All'idea ambientale si associano i Criteri Ambientali Minimi, requisiti definiti per garantire impatto minimo nell'intero ciclo di vita di un materiale (es. legno, che con un piano di ripiantumazione è rigenerabile).

Il ciclo di vita del materiale va dalla produzione al trasporto in cantiere alla costruzione e con l'usura e la manutenzione va in dismissione; anche se il concetto odierno è quello di rigenerazione e rifunionalizzazione.

La sostenibilità sociale verte sulla progettazione di opere confortevoli per tutti gli utenti, soprattutto i diversamente abili (anche temporanei, pure con un semplice passeggino o una valigia pesante).

Per quanto riguarda i costi, le scelte tecnologiche possono essere più costose ma se garantiscono una minor manutenzione e una maggior durabilità, abbattendo i costi nel tempo (es. intonaco vs. facciata ventilata)

L'architettura nel selezionare la permeabilità ad agenti atmosferici deve essere dinamica, rispondendo all'ambiente per mantenere condizioni interne costanti (es. Al Bahr Towers Dubai con lamelle mobili per ingresso luce; The Rainier Tree in Filippine che abbatte l'impatto col verde e i materiali, assorbendo CO₂ e la Torre de Espacialidades a Città del Messico, con una facciata montata e sovrapposta realizzata con biossido di Titanio, che assorbe lo smog e ne riduce la concentrazione, oppure la Da Vinci Tower di David Fisher per gli UAE, torri mobili in corso di realizzazione a Mosca per un confort interno a seconda delle esigenze del singolo abitante, progetto tutto italiano).

Esistono interventi di sostenibilità molto precedenti a quelli elencati, come la Fabbrica Olivetti di Luigi Cosenza, integrata in un ambiente naturale per dare comfort agli operai anche con frangisole e aperture inclinate in modo tale da avere una luce diffusa, o il Politecnico di Ingegneria con un'altra torre che ha sviluppo curvo per captare i venti dominanti, con frangisole usati solo nelle zone esposte (ascensori, aula disegno III) e criteri di sostenibilità sociale con l'ingresso praticamente piano (pendenza dell'uscio acqua) e materiali poveri, come granigliato, clinker industriale e laterizi => comunica un edificio accessibile a tutti, le panchine rivolte verso i muri - lavagna per scambi di idee (usate ancora malgrado l'edificio sia vincolato).

Nel ciclo di vita si deve pensare anche a come si posa in opera il materiale, non necessariamente intelaiata e regolare (F.O. Gehry, museo Guggenheim); non bisogna dimenticare della manutenzione anche ordinaria, predisponendo determinate soluzioni.

La sostenibilità nelle scelte porta a diversi impatti sulla città, come le Vele di Scampia e quelle di Nizza; progetti strutturalmente all'avanguardia ma privi di qualità di luce e aria nel primo caso, provocando degrado (addirittura la demolizione del 1997 fu mal progettata: l'edificio aveva un brevetto shock-block nelle strutture, che si irrigidivano in presenza di forti urti e sollecitazioni; la demolizione inoltre era totale e non rispettosa, bisogna effettuare una demolizione selettiva che possa differenziare i materiali recuperando molti elementi anche in altri ambiti produttivi)

Componenti del Sistema Edilizio

VITIELLO

Nel progetto bisogna tener conto di tutto ciò che si apprende, integrando tutte le proprie conoscenze. Iniziamo dallo scomporre l'edificio nelle sue componenti, come nella classificazione UNI 8290¹ che scompone il sistema edilizio, definito come sovrastruttura dei sistemi ambientale (unità ambientali che diventano elementi spaziali nella fase progettuale) e tecnologico (unità tecnologiche che diventano elementi tecnici).

Il sistema edilizio viene inoltre definito come insieme organizzato di elementi spaziali e tecnici, concepiti e progettati unitariamente, avente caratteristiche di continuità fisica e di autonomia funzionale.

Il sistema tecnologico si articola in più livelli, cui corrispondano specifici gradi di complessità dei suoi costituenti:

- I: classi di unità tecnologiche (es. chiusura, può essere verticale o orizzontale)
- II: unità tecnologiche (es. chiusura verticale, può essere opaca o trasparente)
- III: classi di elementi tecnici (es. infissi esterni verticali)
- IV: elementi tecnici (es. finestra)

Gli elementi appartenenti a ciascun livello sono selezionati in base a criteri di omogeneità (ad es. la chiusura verticale opaca o trasparente deve rispettare certi requisiti di isolamento termo-igrometrico, fonico...).

Nel dettaglio, le classi di unità tecnologiche si dividono in:

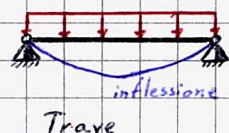
- **Struttura portante:** insieme delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici appartenenti al sistema edilizio aventi funzione di sostenere i carichi del sistema edilizio stesso e di collegare staticamente le sue parti.
- **Chiusura:** ... aventi funzione di separare e conformare gli spazi interni del sistema edilizio stesso rispetto all'esterno (solai a terra etc.).
- **Partizione Interna:** ... aventi funzione di dividere e conformare gli spazi interni del sistema edilizio stesso (sono incluse scale e rampe interne, che talvolta hanno accorgimenti strutturali in quanto vie di esodo; include tramezzii, elementi di protezione, solai, sopralci...).
- **Partizione Esterna:** ... aventi funzione di dividere e conformare gli spazi esterni connessi con il sistema edilizio stesso (balconi, logge, passerelle, rampe ext.).
- **Impianti di fornitura servizi:** ... aventi funzione di consentire l'utilizzazione di flussi energetici, informativi e materiali richiesti dagli utenti e di consentire il conseguente allontanamento degli eventuali prodotti di scarto (climatizzazione, idrosanitaria, smaltimento liquidi/aeriformi/solidi, distribuzione gas...).
- **Impianti di Sicurezza:** ... aventi funzione di tutelare gli utenti e/o il sistema edilizio stesso a fronte di situazioni di pericolo (antincendio, messa a terra, parapulveri...).
- **Attrezzatura interna:** ... consentire o facilitare l'esercizio di attività degli utenti negli spazi interni del sistema edilizio stesso (es. arredo domestico).
- **Attrezzatura esterna:** ... " negli spazi esterni connessi con il sistema edilizio stesso (arredi esterni, allestimenti/resinzioni/pavimentazioni esterne).

Strutture portanti: insieme degli elementi costruttivi destinati a portare carichi e a resistere alle azioni esterne non dipendenti dalla forza di gravità.

Lo sviluppo delle tecnologie costruttive ha portato ad una progressiva tendenza alla riduzione del peso delle strutture ed un conseguente miglioramento del rendimento statico.

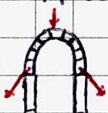
L'organizzazione spaziale degli elementi strutturali si fonda su 3 principi fondamentali:

- **Trilite:** sfrutta la debole resistenza a trazione del materiale lapideo per la realizzazione di un portale costituito da due piedritti ed un architrave con il limite di poter coprire solo piccole luci; se estrinseca modellizza il solaio, grazie al CLSA viene impiegato anche per luci maggiori in virtù della collaborazione dell'acciaio



TRAZIONE => l'architrave deve avere luce minima.

- **Arco:** risposta all'esigenza di luci maggiori, avvalendosi della resistenza a compressione delle pietre per voltare l'arco, non lavorando per trazione ma scaricando forze oblique sui piedritti, che bisogna controbilanciare con altri archi, inspessendo il piedritto o con una catena a contrasto.



- **Fune:** Si fonda sulla resistenza a trazione di alcuni elementi di base (es. cavi in acciaio), coprendo luci ancora maggiori (usato per tensostrutture o strutture pneumatiche).



Partendo da questi principi si distinguono le tipologie strutturali; ogni struttura avrà un determinato linguaggio a seconda del materiale impiegato.

Le diverse tipologie strutturali sono caratterizzate da specifici elementi che hanno il compito di trasferire i carichi dalla struttura edilizia al terreno di fondazione. In funzione del comportamento strutturale, ossia della modalità di trasferimento del carico al terreno di fondazione, si distinguono:

- Edifici a pareti portanti: costituiti da elementi verticali bidimensionali (pareti) opportunamente collegati tra loro (muratura portante, setti o pareti in CLSA, legno)
- Edifici intelaiati: il trasferimento dei carichi avviene attraverso elementi monodimensionali con una dimensione prevalente rispetto alle altre, come travi e pilastri (CLSA in opera o prefabbricato, acciaio, legno).
- Edifici controventati: sfruttano la resistenza a trazione dell'acciaio per assorbire forze orizzontali come sismi e venti, un esempio è il grattacielo Sky di Norman Foster (Acciaio, Legno).

L'edificio in muratura è un assemblaggio tridimensionale di muri e solai caratterizzati da un funzionamento scatolare che conferisce l'opportuna stabilità e robustezza all'insieme; è quindi una struttura complessa in cui tutti gli elementi cooperano nel resistere ai carichi applicati. La resistenza dei muri a forze agenti nel piano del muro è molto maggiore rispetto a quella nel caso di forze agenti ortogonalmente al piano, e quindi è maggiore la loro efficacia come elementi di controventamento (inerzia maggiore)

Un criterio frequentemente seguito è quello di considerare l'edificio come una serie di elementi "indipendenti" opportunamente assemblati:

- Muri che svolgono una funzione portante e/o di controventamento
- Solai sufficientemente rigidi e resistenti per ripartire le azioni tra i muri di controventamento (azione di diaframma).

I muri fra loro ortogonali devono essere efficacemente ammassati tra loro lungo le intersezioni mediante un'opportuna disposizione degli elementi (es. catonali, martelli e incroci); elementi principali delle masse murarie sono i maschi murari, che scaricano il peso e dunque richiedono aperture allineate, essendo particolarmente spessi fungono anche da mura d'andito (separano l'interno dall'esterno non formando ponti termici).

In relazione alla forte variazione di carico assiale che si ha all'aumentare della quota, i muri presentano variazioni di spessore dal basso verso l'alto, indicati come riseghe.

Tali variazioni di spessore possono interessare sia i muri interni che quelli esterni all'edificio. Se i muri sono interni, la variazione di spessore è in genere simmetrica rispetto alla verticale passante per il piano medio del muro; per i muri esterni invece le variazioni di spessore si realizzano di regola all'interno per avere facciate con paramento verticale continuo: in tal caso le variazioni di spessore sono utilizzate come eventuale appoggio per le travi dei solai.

La risega risponde perfettamente alle esigenze di resistenza:

$$G = \frac{N}{A}$$

resistenza costante se non cambia il materiale/la tecnologia costruttiva

carico

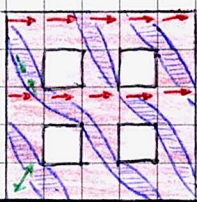
sezione resistente

Le pareti resistono alla azione sismica sviluppando un sistema di isostatiche

⚠ La Muratura NON È UN MATERIALE, è composta da molta e materiali lapidei

di compressione che congiungono i punti di applicazione delle forze sismiche orizzontali con i vincoli a terra. Al sistema di isostati che viene fatto corrispondere un sistema resistente di puntoni obliqui in muratura. L'equilibrio delle componenti verticali delle forze dei puntoni è in generale assicurato dal peso proprio della parte dell'edificio sovrastante e dalla muratura compressa sottostante; l'equilibrio delle componenti orizzontali dell'azione sismica è invece assicurato dalla reazione del terreno e dalla reazione di appositi tiranti disposti ai piani.

I muri portanti fungono da controvento in direzione parallela all'azione sismica, in modo tanto più efficace quanto più sono lunghi in pianta. La stabilità delle azioni orizzontali richiede muri disposti secondo due direzioni ortogonali; la capacità dei muri di resistere alle azioni orizzontali è favorevolmente influenzata dalla presenza di forze verticali stabilizzanti.



isostatiche di compressione

Il muro portante presenta per l'edificio un notevole vincolo alla libera articolazione della pianta che incidano sulle ampiezze massime delle aperture di vani e finestre.

La genesi del telaio può dunque farsi risalire alla riduzione delle sezioni degli elementi portanti verticali che danno origine ai pilastri ed all'aumento delle luci delle architravi che si trasformano in travi.

Ma il sistema è anche ←, dunque cambia sollecitazione ⇒ rotture a 45°

Se la struttura è intelaiata, si può avanzare la chiusura d'andito, che non ha più funzione strutturale ma è anzi portata.

La struttura intelaiata è costituita dall'incrociarsi nello spazio di un insieme di travi e pilastri che formano una gabbia articolata, in grado di trasmettere i carichi verticali ed orizzontali da solai \rightarrow travi \rightarrow pilastri \rightarrow fondazioni \rightarrow suolo.

I carichi che agiscono sul solaio sono generalmente di natura distribuita, con particolari condizioni di carichi concentrati.

La trasmissione dei carichi da un elemento all'altro segue la regola delle aree di influenza.

Carpenteria: I solai latero cementizi scaricano in funzione dell'orditura, ovvero la disposizione degli elementi portanti del solaio (travetti) rappresentata graficamente dal segno \rightarrow che indica gli appoggi.

Nei sistemi intelaiati i solai lavorano prevalentemente a compressione, per cui la misura cui si fa riferimento è l'area.

Tipicamente i solai sono laterocementizi, ovvero composti da CLS-A con alleggerimenti in kerolite (**NON ESISTE IL MATERIALE "laterocemento"**). I travetti hanno la funzione di arcitrave, tipicamente con dei ferri all'estremità inferiore e in minima parte in quella superiore: i solai possono essere anche soggetti ad una trazione superiormente, soprattutto sugli appoggi. La direzione dei travetti determina dove scarica il solaio e dunque quali travi sono sollecitate; per distribuire uniformemente il carico senza inflettere un solo elemento si utilizza una soletta di ripartizione del carico, armata con una rete elettrosaldata (tipicamente 15x15) che provoca una deformazione uniforme del solaio e l'assenza di carichi concentrati; si possono dunque spostare liberamente arredi e tramazzi.

Tra i travetti è presente un elemento di alleggerimento, privo di funzione strutturale: è possibile realizzare solai nervati, costituiti unicamente da conglomerato cementizio armato, ma comporterebbe costi di produzione (casce forme, puntelli, mandopera, molto più intonato) \Rightarrow si utilizzano delle cassaforme a perdere che richiedono unicamente un tavolato come sostegno.

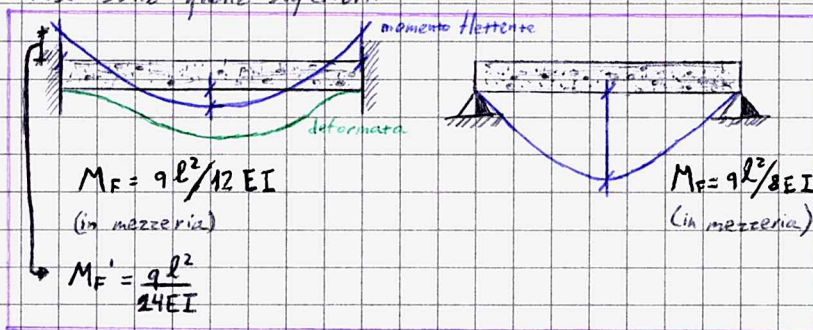
Orditure: la regola base è quella di ordire secondo la luce minore, in modo tale da avere una minore inflessione, rispondente alla formula (nel caso di uno schema appoggiato-appoggiato con carico distribuito) in mezzeria: $i = \frac{9l^2}{8EI}$ con l luce, E modulo di elasticità del materiale e I inerzia, dovuta all'altezza del solaio; si osserva che l'unica variabile su cui si può intervenire è la luce.

L'altezza H del solaio si calcola con una legge di deformabilità, applicata anche per le travi:

$$H \geq l/25 \quad \text{se gettato in opera}$$

$$H \geq l/30 \quad \text{se con travetti prefabbricati, realizzati in condizioni controllate e possono avere ferri pre-tesi, comportando resistenze maggiori.}$$

L'altezza dunque dipende anch'essa dalla luce dell'orditura; nel getto del solaio si realizza però un oggetto monolitico, che non risulta dunque un oggetto appoggiato-appoggiato ma un **incastro**, in cui il momento flettente è ridotto in mezzeria ma è presente un momento opposto sugli appoggi, in cui le fibre tese sono quelle superiori.



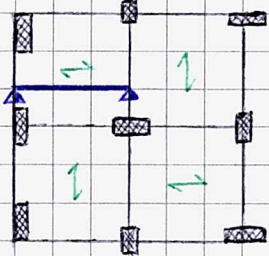
La tecnologia impiegata definisce la distanza tra i pilastri: in un telaio gettato in opera anche le travi sono soggette a inflessione e la loro inerzia va aumentata con spessori maggiori; per non eccedere si preferisce mantenere un interasse di 5,5-6 m.

È importante che la maglia di pilastri sia uniforme; se due incastri sono a una distanza molto ridotta rispetto a quella degli incastri adiacenti si rischia di avere un momento flettente

che si mantiene con fibre tese solo nella parte superiore in tutta la campata.



Tenuto conto di queste condizioni, le orditure sono tipicamente di due tipi:



A scacchiera

Tutte le travi sono caricate, pertanto la distribuzione dei carichi risulta piuttosto omogenea. Lo schema di ogni campo di solaio sarà prossimo a quello di una trave appoggiata-appoggiata. Tutte le travi sono caricate da metà campo di solaio.

Per i ragionamenti visti, nella orditura a scacchiera si ha travi quasi tutte cariche ma con carico ridotto, che possono dunque essere di spessore costante e minore, pur essendo massimo il momento flettente; nell'orditura a trave continua si hanno travi che reggono carichi diversi, hanno diverse sezioni ed inflessioni ma i solai lavorano meglio con un minor momento flettente; è possibile variare l'orditura nell'edificio (ad esempio in ambienti stretti e lunghi).

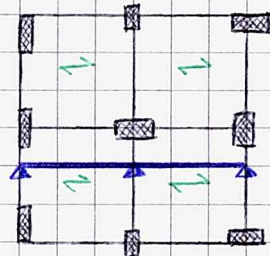
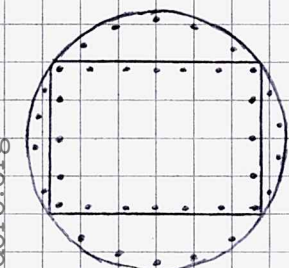
Le travi sono elementi inflessi poiché lavorano prevalentemente a flessione. La caratteristica che si oppone a questa sollecitazione è l'inerzia, che dipende dalla geometria della trave; dipende dalla geometria del profilo scelto: a parità di altezza, due profili di travi in acciaio possono avere momenti d'inerzia molto differenti.

Nel caso di edifici intelaiati in CLSA invece la sezione delle travi è quasi sempre rettangolare. Per esse si distinguono le travi emergenti (che emergono dalla spessore del solaio, siano esse intradosate o estradosate) da quelle a spessore (si sviluppano nella spessore del solaio, che ne condiziona l'altezza), che hanno evidentemente diversa inerzia, data che $I_x = \frac{bh^3}{12}$.

Tecnologicamente, è possibile modellare pilastri che da circolari diventano rettangolari: i ferri non si possono spezzare, ma possono essere piegati per entrare nel pilastro all'impalcato successivo o nel nodo, da cui partono i ferri del pilastro all'impalcato superiore, con una lunghezza di ancoraggio che permette un'efficace ripartizione delle sollecitazioni.

Il nodo però diventa fortemente armato, con molti ferri d'armatura, e ciò non è positivo poiché si irrigidisce la struttura e l'aggregato grosso del CLS-A - composto da tondini, acqua, legante, inerti fini e grossi - ha un diametro massimo dipendente da diversi fattori, tra cui la distanza di interferro e la distanza tra il ferro più esterno (la statta) e il copriferro. Se il diametro è troppo grande si rischia di avere un conglomerato non omogeneo, con dei vuoti o delle zone poco coerenti.

Il copriferro è necessario per evitare la corrosione dalle armature e la conseguente riduzione della sezione resistente; in genere si distingue tra copriferro strutturale e copriferro tecnologico, di cui il secondo, da noi considerato, rappresenta la distanza tra filo esterno e ferro più esterno; il suo spessore varia in base all'esposizione dell'elemento dagli agenti atmosferici, più o meno aggressivi: ad esempio, i pilastri interni sono meno esposti ad agenti aggressivi rispetto a quelli in piscine (cloro e umidità), in fondazione (vari sali, umidità), esterni.



Trave Continua

In questo caso si avrà un sistema di travi principali ed un sistema di travi secondarie (scariche). I solai avranno uno schema prossimo a quello di una trave continua su più appoggi. Le travi centrali sono caricate da due metà campo di solaio, le laterali sono caricate una volta; quelle orizzontali sono scariche!

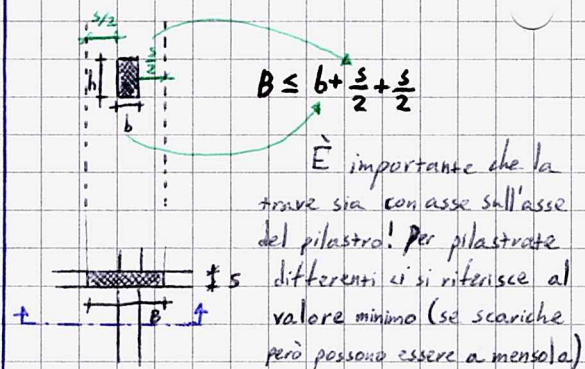
Le travi scariche possono essere travi a spessore, che hanno un'inerzia minore ma si nascondono nella spessore del solaio (utile per impianti in un controsoffitto e per ambienti continui)

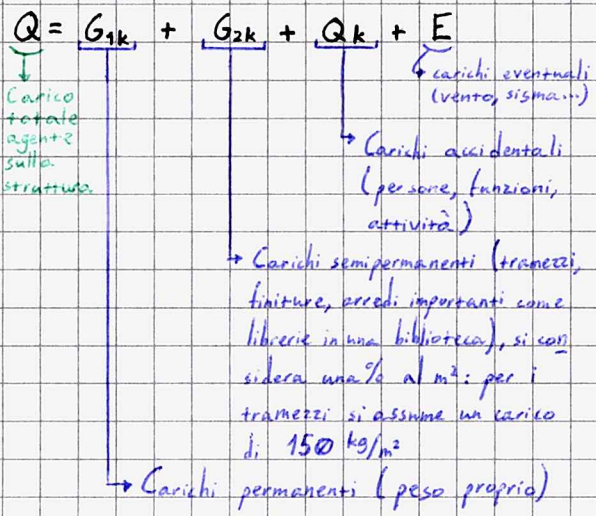
In questo corso, le dimensioni standard di travi sono:

- Carica 1 volta: 30x60
- 2 volte: 30x90
- Scarica: ~30x50 (anche pilastri)

Il solaio va predimensionato con $H = \frac{l}{25}$

Le travi a spessore presentano limiti geometrici dati dal pilastro:





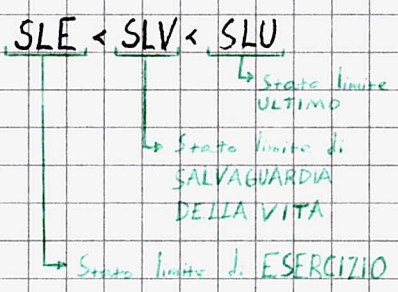
Il peso complessivo di un materiale dipende dal suo peso specifico:

$V = [cm^3]$ $P = [kg]$; $P = \gamma V$
volume peso peso specifico

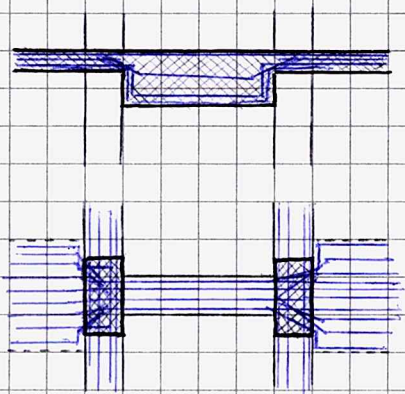
$\gamma_{acc} = 2400 \text{ kg/cm}^3$; $\gamma_{acc-A} = 2500 \text{ kg/cm}^3$

Anche se le strutture in acciaio sono considerate leggere, si osserva che $\gamma_{acciaio} = 7800 \text{ kg/cm}^3$; la leggerezza è dovuta ad una resistenza maggiore che implica una significativa riduzione delle sezioni (un pilastro 60x40 è paragonabile ad una HE da 280 mm).

Nell'equazione di carico, Q_k è dato dalle norme tecniche sulle costruzioni; nelle NTC 2018 si osserva che nelle scuole bisogna considerare 300 kg/m², e 400 kg/m² negli ambienti soggetti ad affollamento maggiore, come scale, terrazzi e ballatoi - vie di fuga e di quiete; in edilizia civile $Q_k = 200 \text{ kg/m}^2$ - poiché la progettazione va effettuata considerando le condizioni limite di esercizio dell'edificio. A questi carichi si sommano eventuali carichi da neve - cenere in aree vulcaniche o soggette a movimenti; allo stato limite l'edificio può subire una deformazione plastica, ma non può crollare.



In edifici particolarmente alti è frequente diminuire le sezioni dei pilastri durante lo sviluppo verticale; per evitare un eccessivo irrigidimento/carico dei nodi dette rastremazioni si effettuano almeno ogni 2 tesse, dove una tesa di pilastro si definisce come la distanza verticale percorsa dal pilastro tra due solai. Questa modifica di sezione è analoga al cambio di sezione tra pilastro circolare e rettangolare. Simile è l'intervento nel cambio di sezione di travi: è dunque preferibile mantenere una sezione costante nelle travi.



Schema di armatura con cambio di sezione di trave

È importante nella progettazione considerare i giunti, elementi che contrariamente a quanto intuibile dal nome non uniscono, ma separano elementi diversi tra loro.

Ad esempio il giunto strutturale è uno spazio ridotto tra due pilastri indipendenti che separa edifici troppo lunghi (ad esempio con pilastrate 240m) per evitare una disparità nella distribuzione di carichi: rispetto al baricentro delle forze assorbite dalla struttura si rischia di avere più pilastri da un lato, spostando i baricentri delle rigidità e portando l'edificio a ruotare, effetto non ammissibile.

Attraverso i giunti strutturali le masse dei telai eccitate dal sisma possono vibrare indipendentemente (il sisma è un'azione orizzontale che si concentra sulle masse).

Lo spessore del giunto, di almeno 10 cm, deve comunque essere $\geq h/100$. Vengono adoperati anche su edifici a L, elementi a diversa altezza o con diversa struttura (ad esempio la maglia strutturale di una grande copertura); lo si maschera con delle finiture, primi elementi a lesionarsi sotto azione sismica e che non ostacolano il movimento.

Nel Politecnico di P.le Teclio, Luigi Eosenza ha segnato con scossaline metalliche o in plastica diversi elementi strutturali, come il giunto con le casse retrostanti, segnato in blu. I giunti sono impiegati anche nei ponti stradali.

Note

Impermeabilizzante \neq Isolante (termoisolante); impermeabilizzare le fondazioni non evita la formazione di condensa; le si protegge con guaine o additivi nel CLS ma sempre con un attento progetto.

Se viene richiesto da cosa è caricato un determinato elemento strutturale, bisogna rispondere con l'elemento che carica direttamente l'elemento richiesto (ad es. se viene chiesto il pilastro la risposta è "le travi").

Scale

V

La norma UNI 8290-1 classifica le scale sia come elementi di struttura portante che di partizione interna, poiché devono essere progettate per sostenere il carico di un forte affollamento di persone, condizione estrema in caso di esodo.

Il vano scala è un foro nella carpenteria in cui si sviluppa la scala che può essere in linea, a doppia/tripla rampa, e tenaglia... Nell'eventuale pozzo - frequente in scale a tre rampe - può essere ipotizzato un ascensore con castelletto (in acciaio se in edifici non particolarmente alti) giuntato alla struttura adiacente.

Le scale a più rampe tipicamente smontano su pianerottoli intermedi, detti pianerottoli di riposo; occorre un numero di pedate per rampa tale da evitare di toccare col solaio - ovvero raggiungere un'altezza netta interna insufficiente - e bloccare il passaggio.

Scale in Muratura

Le scale in muratura sono tipicamente poco trattate nei corsi di progettazione; è però importante comprenderne le dinamiche per eventuali interventi sull'esistente.

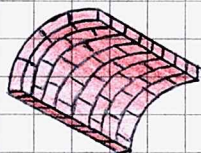
- **Scala su muro di spina:** poggia su un muro centrale ed un muro esterno; se la rampa è particolarmente stretta le pedate possono essere realizzate con delle lastre appoggiate; per evitare problemi legati alla inflessione del materiale litico tipicamente si realizzano delle volte a botte con generatrici inclinate per sorreggere le rampe; esse dovrebbero poggiare su muratura continua, ma è possibile praticare delle aperture attraverso archi, ed ordire una volta ortogonale allo sviluppo della rampa.

Le scale a pozzo chiuso hanno il vano aperto da una volta centrale; i pianerottoli sono tipicamente coperti da volte a crociera, poiché permettano il passaggio su tutti i lati, poiché poggiano su 4 elementi puntiformi; più raramente si organizzano delle volte a botte ortogonali allo sviluppo delle rampe, che permettono solo due aperture laterali.

- **Scale a volta rampante:** se si raggiungono i due livelli attraverso una volta a botte in avanti inclinata; nell'altra direzione invece si parla di una volta a collo d'oca.

Un noto esempio è dato dalle scale aperte napoleoniche di Santelice, nate dalla necessità nei palazzi signorili di avere un elemento monumentale che possa essere prospetticamente percepibile, data l'esigua larghezza degli assi viari del centro storico, che non permette di cogliere appieno le facciate e i grandi portali d'ingresso; sono scale sorrette da volte a crociera inclinate per garantire una totale apertura ed uno svuotamento della muratura.

- **Scale a pozzo libero:** tipologia più rara, hanno un ampio pozzo centrale e sono rette da mezza volte a botte, con mattoncini disposti in foglia, lungo il piano della volta; ogni rampa esercita un mutuo contrasto con l'altra, la scala si regge per forma e non sarebbe realizzabile senza il vano scala ampio.



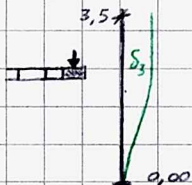
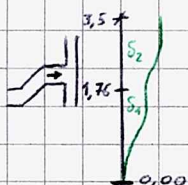
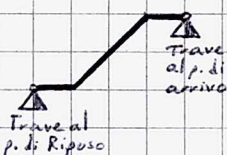
disposizione in foglia

Scale in Calcestruzzo Armato

Le strutture sono molto diverse rispetto a quelle delle scale in muratura; si suppone che il carico cui esse sono soggette a carichi lineari e uniformemente distribuiti (persone e peso proprio della struttura) e ad una forza puntuale sull'estremità della rampa (il corrimano).

- **Scale con trave a ginocchio:** la struttura è data da una trave sagomata con 2 ginocchi, in cui varia la sezione; il gradino e la soletta si comporta come un elemento incastrato a sbalzo; si possono incastrare i gradini isolati che, non essendo connessi, non lesionano nella deformazione le finiture dei gradini adiacenti, o connettere i gradini mediante una soletta collaborante per distribuire i grandi carichi sugli altri gradini, evitando lesioni; in ogni caso i gradini hanno funzione strutturale, sono a sbalzo e connessi da una soletta di circa 5cm (è solo di ripartizione).

Soletta a sbalzo: in questo caso è la soletta ad assolvere funzione strutturale, e ha dunque uno spessore più importante; i gradini dunque sono portati e possono essere calcolati come più leggeri (anche se nella realtà professionale si tende a usare lo stesso CLS poiché è complesso confezionare CLS diversi).



Si osserva che con la trave a ginocchio si hanno due diverse lunghezze libere di inflessione lungo le due direzioni diverse. Il problema della trave a ginocchio è che irrigidisce il pilastro nella direzione di aggancio della trave a ginocchio (2 lunghezze di inflessione).

Le due lunghezze di inflessione implicano una minore inflessione e un conseguente irrigidimento, nelle aree più rigide si assorbe una maggior forza sismica.

- Solaio rampante: realizzate con un solaio ordinario inclinato, è problematico nella posa delle pignatte



- Soletta rampante: è una soletta piena, risolve il problema della posa degli alleggerimenti; stratta le travi di piano per gli appoggi; avviene un fenomeno di irrigidimento analogo alla trave a ginocchio ma nell'altra direzione a causa della trave all'altezza del pianerottolo di riposo.
- Scala alla Giliberti: tipologia sperimentale che evita il fenomeno suddetto attraverso tiranti e puntoni: l'estremità superiore della prima soletta è poggiata tramite pilastri sulla trave di piano inferiore, mentre l'estremità inferiore della seconda rampa è sorretta tramite tiranti alla trave di piano superiore; le due solette sono logicamente giuntate.
- Nel caso di scale a tre rampe si hanno problemi sia con la soletta rampante (molte travi intermedia) che con le travi a ginocchio (problema di irrigidimento nel nodo, risolvibile con un attento calcolo delle rigidità, problema più semplice della soletta).
- Setto centrale: Funziona come una trave a ginocchio, è al centro del vano scala ed è pieno anche sotto al pianerottolo, con uno schema strutturale a bilancia, tipicamente utilizzato in opere di ingegneria civile come gli acquedotti; non si realizzano più di due pianerottoli tranne nel caso di un setto cavo con scale a sbalzo, tipico nel caso di scale a tre rampe e tramite cui è facilmente installabile un ascensore; per i pianerottoli si usano dei solaietti con travi dal setto o di contrappeso tra le solette.

Scale in Acciaio

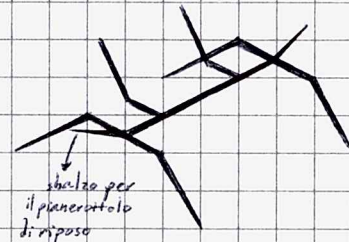
- Ad anima centrale: un elemento metallico centrale portante con schema a bilancia sorregge i vari elementi.
- Con profili cospicivi: I gradini poggiano su due elementi metallici laterali

La scala di Piazzale Teichio è ad anima centrale tra il piano terra e il primo piano, con una trave che aumenta di sezione salendo e che funge da cavalletto su cui poggiano le rampe successive; la scala superiore invece smonta al secondo piano con una piastra annegata con tirantoni; il pianerottolo di riposo è retto da tiranti con piastre in acciaio annegate con tirantoni che ripartiscono le sollecitazioni della scala.

Le scale della torre degli affari sono a soletta rampante, con un giunto segnato da Cozenza nella separazione tra rampa e vano scala; si nota inoltre che i pianerottoli di riposo aumentano di larghezza scendendo perché sono dimensionati in base all'attollamento della via di fuga (di minimo 1m²0); le rampe mantengono larghezza costante mentre i pianerottoli accolgono affollamenti maggiori.



Schema scala ad anima centrale

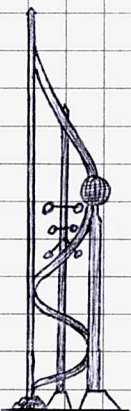


Schema strutturale della scala al piano terra del Politecnico

Scale Intinte

Come la scala della Torre del Tempo, una delle torri usate come sistemazione di Piazzale Teichio per Italia '90, è una torre spiraleiforme lignea con una lunga scala.

Le altre due torri sono in altri materiali e forme: la Torre della Memoria è in GLS-A, la Torre dell'Informazione in acciaio.



Torre del Tempo e dei Fluidi:
in Legno Lamellare

Anche noto come *Chiusura d'Andito*, è l'insieme di elementi che separano l'ambiente esterno da quello interno. Poiché risponde all'esigenza di separare condizioni climatiche diverse, deve rispondere a requisiti di isolamento termico e acustico, di filtraggio della luce per una corretta illuminazione, di impermeabilizzazione per evitare l'ingresso di agenti meteorici, di riciclaggio dell'aria per garantirne la qualità oltre a dover sostenere il peso proprio - nel caso di struttura in muratura portante - e a resistere agli urti accidentali o altre forze e agenti, modellati in fasi più avanzate della progettazione, per evitare fenomeni come il ribaltamento della temperatura.

Esso si compone di chiusure verticali - divisi tra parte trasparente (infissi e telai) ed opaca (pacchetto tecnologico della parete) - e orizzontali - che non sono di definizione immediata e universale, coincidono con il solaio di primo calpestio e spesso quello di copertura, o a copertura dell'ultimo calpestio: non è necessariamente il solaio controterra o quello al piano terra, ma il primo solaio su cui avvengono le attività umane, come un orizzontamento su spazi esterni nel caso di skate; sono anch'essi divisi tra parte opaca e trasparente.

Nelle strutture intelaiate, a differenza di quanto accade per la muratura portante con massi murari che assorbono i carichi verticali, i tamponi possono non essere allineati alla struttura in quanto costituiscono una parte portata, che non regge altro che il peso proprio; ciò vale anche per strutture in acciaio o intelaiate in legno lamellare; si noti che esistono strutture in legno con compartimenti scatolari, come il legno Xlam, che hanno il pacchetto tecnologico di isolamento termico e acustico già inclusa nelle lastre; ovviamente si è soggetti agli stessi vincoli di una struttura in muratura.

I requisiti della chiusura d'andito sono funzionalità, sicurezza, estetica (rappresentanza e identità dell'edificio), durabilità e comfort ambientale (mantenere condizioni termoigrometriche adeguate all'interno dell'edificio).

L'ottimizzazione dell'isolamento termico degli edifici consente di conseguire quattro obiettivi:

Termo-igrometrico:
• Temperatura
• Umidità relativa
• Irradiazione
• Ventilazione

- Rispetto delle disposizioni normative vigenti, come l'efficienza energetica dell'edificio, regolata da valori limite degli indici di prestazione energetica E.P., calcolati attraverso una verifica e modellazione dello involucro; sappiamo però che la classe energetica non dipende solo dall'involucro ma anche dalle scelte impiantistiche (ad esempio che afferiscono a fonti rinnovabili); è istintivo pensare che se la progettazione della componente passiva è attenta, con un involucro con elevata inerzia termica, si abbatta la necessità di utilizzare impianti.

Detti indici sono regolati dalla Norma UNI EN ISO 7730:2006 e il D.M. 26/06/2015 (linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici) con requisiti minimi o, nel caso della **trasmissione** (passaggio di calore attraverso un determinato spessore di un materiale nell'unità di tempo, misurata in W/m^2K e che dipende dalla differenza di temperatura

- * tra interno ed esterno, lo spessore del materiale - che determina l'inerzia termica e lo sfasamento, tempo che il flusso di calore impiega per trasmettere il calore di un ambiente alla superficie opposta dell'elemento di separazione, solitamente calcolato intorno alle 12h in modo tale da sfruttare le condizioni esterne all'interno quando necessario - e la sua natura, in particolare la conducibilità termica $[W/mK]$.

- Impedire i fenomeni di condensa dell'umidità ambientale sia sullo strato superficiale interno delle pareti perimetrali sia all'interno delle stesse.
- Garantire il benessere fisiologico agli utenti del prodotto edilizio contenendo entro limiti accettabili gli scambi di calore per irraggiamento tra le persone e le pareti perimetrali.
- Ottimizzare i costi di gestione degli impianti di riscaldamento e/o condizionamento.

Attriché l'edificio lavori in maniera efficace e intelligente deve esservi un equilibrio tra l'energia fornita da fonti rinnovabili all'edificio, come gli apporti solari o gli apporti interni gratuiti - come il calore corporeo - e quella dissipata anche dagli impianti (dispersione termica per trasmissione o ventilazione).

È importante ricordare le differenti modalità di trasmissione del calore, ovvero la convezione (trasporto microscopico di materia, con spostamenti di aria calda e meno densa), conduzione (tra due corpi a contatto, senza movimenti di massa) e irraggiamento (attraverso onde elettromagnetiche e che non richiede contatto diretto né un mezzo di scambio); queste trasmissioni sono tutte presenti su una superficie d'andito.

È inoltre importante tener conto della propria posizione geografica: alle nostre latitudini il sole effettua un percorso apparente più lungo, sorge e tramonta con i massimi angoli azimutali e ha le massime altezze sull'orizzonte. Per evitare il surriscaldamento estivo dovuto all'eccessiva energia solare è necessario utilizzare strutture a grande inerzia termica o ventilate, schermature idonee a ostacolare la penetrazione di raggi solari e l'abbagliamento estivo e strategie progettuali idonee per migliorare il microclima locale.

In quest'ottica esistono schemature di diverse tipologie:

- Naturali: pergolati, tetti giardino, pareti verdi
- Compositivo-Fornali: logge, porticati, sporti di copertura
- Tecnologici: frangisole, veneziane, tendaggi

Analogamente, per favorire la ventilazione naturale si possono allineare le aperture con diverse esposizioni o creare un cammino del vento, favorendo la risalita d'aria.

Altro elemento su cui dover ragionare oltre alla matrice architettonica o delle masse è il materiale: ogni materiale ha una sua conduttività λ ; in particolare si definiscono isolanti i materiali capaci di ridurre il flusso termico attraverso una parete di separazione di due ambienti a differente temperatura, caratterizzati da un basso valore di λ che in edilizia si assume come non superiore a $0,116 \text{ W/mK}$.

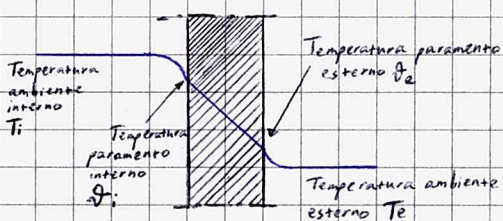
Gli isolanti termici oltre alle specifiche proprietà di avere una bassa conduttività devono possedere in misura dipendente dalla loro destinazione d'uso requisiti di:

- Durabilità: essendo interni ai tetti, la manutenzione è scarsa.
- Impermeabilità: sfruttano spesso la bassa conducibilità dell'aria, sono materiali porosi; oltre alla capacità intrinseca di impermeabilità può essere necessario applicare una barriera al vapore: con l'isolante la temperatura del flusso di calore decresce notevolmente, la maggior parte del calore viene assorbita; il vapore acqueo trasportato tende dunque a condensarsi grazie alla forte differenza di temperatura e un facile raggiungimento della pressione critica; la barriera interviene su questo secondo parametro evitando che l'isolante si bagni; sono solitamente elementi impermeabili in plastica o alluminio.
- Incombustibilità: per resistere in casi di incendio
- Buona resistenza meccanica, soprattutto nei solai (in particolare quella di copertura).

In relazione alla loro natura i materiali isolanti si possono classificare in:

- Isolanti Minerali, i cui componenti di base sono principalmente di tipo minerale (fibra di vetro, lana di roccia, argilla espansa...)
- Isolanti Vegetali (sughero agglomerato, pannelli in fibra di legno, pannelli di paglia compressa, cellulosa...)
- Isolanti Sintetici, principalmente derivati dal petrolio (Poliuretano, polistirolo espanso...)
- Complessi Isolanti Prefabbricati, prodotti prefabbricati costituiti dall'insieme di un isolante termico e di uno o due paramenti superficiali in pannelli o fogli (calcestruzzo alleggerito/cellulare).

Ovviamente bisogna considerare anche la sostenibilità di un materiale isolante: il sughero ad esempio è un materiale ecologico che però si ripristina in tempi molto lunghi; pur avendo importanti caratteristiche isolanti non è rinnovabile. Per questo motivo, sono spesso preferiti gli isolanti minerali.



Schema: trasmissione in un muro d'ardito

Dallo schema a lato - che mostra una condizione invernale, con la temperatura interna più alta che all'esterno - si evince l'evoluzione della temperatura del flusso di calore Φ , assorbita progressivamente dai vari strati della muratura fino al paramento esterno; se non ben progettato si rischia una dispersione eccessiva che non permette il mantenimento della temperatura senza un eccessivo impiego degli impianti.

Il modo in cui questo calore viene disperso dipende dalla trasmittanza del pacchetto tecnologico, costituita dalla somma delle trasmittanze dei suoi strati che dipende a sua volta da λ e dalla spessore.

Si distinguono dunque tre fasi di dispersione/trasmittanza del calore: tra ambiente interna e paramento interno, tra paramento interno e paramento esterno e tra paramento esterno ed ambiente esterno.

- Prima fase: $\Phi_i = d_i \cdot S \cdot (T_i - \vartheta_i)$ Irraggiamento/convezione
- Seconda fase: $\Phi_p = \frac{s_i}{\lambda_i} \cdot S \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e)$ Conduzione/convezione
- Terza fase: $\Phi = d_e \cdot S \cdot (\vartheta_e - T_e)$ Convezione/irraggiamento

- dove:
- Φ = flusso termico [W]
 - λ_i = coefficiente di conduttività termica del materiale [W/mK]
 - s_i = spessore della parete [m]
 - S = superficie della parete [m²]
 - d_i = coefficiente di adduzione interno [W/m²K]
 - d_e = coefficiente di adduzione esterno
 - ϑ_i, ϑ_e = temperature dei parametri int/ext [K]

Coefficiente di conduttività termica λ_i : esprime il flusso termico che si instaura tra il parametro interno ed esterno della parete per ogni metro quadrato di parete e per ogni grado di salto termico, oltre che per ogni metro di spessore di parete; dipende unicamente dal materiale.

Il rapporto s_i/λ_i [m²K/W] rappresenta la resistenza termica esplicita della parete al passaggio di calore.

Coefficiente di adduzione superficiale esterno (analogoamente per l'interno) d_e : flusso termico che si instaura tra il paramento esterno e l'ambiente esterno, per ogni metro quadrato di superficie e per ogni grado di salto termico. Non dipende dal materiale ma dalla direzione del flusso termico ($\leftrightarrow, \uparrow, \downarrow$) e dalla velocità dell'aria che lambisce la parete. Il suo inverso rappresenta la resistenza superficiale interna [esterna] $1/d_e$ [m²K/W].

Il valore è tabellare, fissato dalla norma UNI 7357-54, così come λ , sarebbe più corretto il calcolo poiché dipende dalle condizioni di esercizio!

Uguagliando i termini delle tre fasi si ottiene il flusso termico totale:

$$(T_i - \vartheta_i) = \frac{\Phi}{d_i S}$$

$$(\vartheta_i - \vartheta_e) = \frac{\Phi \cdot \lambda_i}{S \cdot s_i}$$

$$(\vartheta_e - T_e) = \frac{\Phi}{d_e S}$$

$$T_i - T_e = \frac{\Phi}{S} \left(\frac{1}{d_i} + \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{d_e} \right) = \frac{\Phi}{S U}$$

$$\Phi = U S \Delta T \quad [W/m^2K]$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{d_i} + \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{d_e}} \quad [W/m^2K]$$

Coefficiente di trasmissione termica della parete

Ponti Termici: Rappresentano le vie privilegiate di dispersione di calore in quanto sono caratterizzate da una minore resistenza termica rispetto alla restante parte dell'elemento di fabbrica. Dipende da discontinuità geometrico-materiali e può essere risolto attraverso una corretta progettazione dell'involucro, adottando ad esempio una coibentazione a cappetto o una parete ventilata, prevedendo l'impiego di serramenti con profilo a taglio termico (ad es. con camera d'aria in Argon) come i vetri camera. Risulta evidente la necessità di isolare i pacchetti strutturali, con elevata conducibilità termica.

Partendo da quelle più semplici, le pareti si dividono in:

- Monostrato: laterizi forati intonacati, la trasmittanza della parete dipende unicamente dal laterizio (aria + materiale ceramico) e lo spessore dell'intonaco.
- Monostrato con pannello isolante: la trasmittanza diminuisce
- Pluristrato: tipica è la muratura a cassetta, con una federa interna esterna più spessa, uno strato d'aria, un isolante e una federa interna meno spessa. Poiché la principale causa di morte in cantiere è la caduta dall'alto, la ramponatura si realizza dall'esterno all'interno: la prima federa viene posata da un ponteggio, i successivi strati vengono impostati lavorando dai solai interni, evitando cadute. Per questo motivo solitamente l'isolante poggia sulla federa esterna. Le due federe vengono eventualmente intonacate o lasciate a vista (+ darevele dell'intonaco).

Per evitare ponti termici, i tamponi sono solitamente leggermente sporgenti rispetto al filo strutturale, con un isolante leggermente a cavallo sul laterizio; per la differente natura dei due materiali l'intonaco sovrastante presenta solitamente una rete in fibra plastica per cedere alle tensioni generate dalle differenti dilatazioni termiche.

Altra tipologia è la parete con coibentazione a cappotto, in cui l'isolante è posto all'esterno della parete, con intanaco con rete in fibra poiché i pannelli hanno dei lievi spazi fra loro.

Ultima soluzione è la facciata ventilata, una facciata sovrapposta al tamagno esterno che permette il passaggio di aria nell'intercapedine, con spessore maggiore rispetto ai 4 cm di una camera d'aria isolante, evitando che in estate la facciata si surriscaldi; d'inverno le estremità della camera possono essere chiuse, l'aria cessa di essere a contatto con l'esterno, pur essendo in una intercapedine ampia non si creano moti convettivi; l'aria si riscalda grazie all'irraggiamento della superficie interna.

Logicamente, le facciate ventilate vengono applicate solo nei prospetti più esposti; essa si monta con telai in alluminio regolari fissati; bisogna studiare la modularità della facciata e dunque le aperture. Le facciate meno esposte invece richiedono presumibilmente facciate differenti e differenti tecnologie.

Elementi orizzontali

- **Primo Calpestio:** ha requisiti di sicurezza e abitabilità, è costituito da isolamento e pavimentazione.

L'isolamento è essenzialmente di tre tipologie, di cui due sono ormai desuete ma frequentemente trovate negli interventi di riqualificazione.

- **Vespajo di pietrame a secco:** l'attacco a terra è costituito da un attacco a terra con granulometria grossa ma variabile che permette la circolazione d'aria, evitando la risalita di umidità e gas Radon e fornendo un piano di appoggio più o meno livellato su cui si getta un masso di CLS magro (basso contenuto di cemento) su cui si pone impermeabilizzante, sottotenda della pavimentazione e pavimento => non è propriamente un solaio.
- **Vespajo a camera d'aria:** un solaio in CLS su tavelloni lignei poggia su vari muretti in laterizio con alcuni fori per consentire il passaggio d'aria (fori di areazione); l'opera poggia su elementi discontinui, puntuali.
- **Vespajo creato con casseri a perdere:** anch'esso non è propriamente un solaio; si pone un primo strato di magrone, sottotenda di polizia in CLS magro che stacca dal terreno e rende l'area piana; vi si imbastano dei casseri a perdere, solitamente in materiale plastico, modulari e con una forma simile a una cupola schiacciata; sul perimetro si mettono dei tappi per evitare l'ingresso di CLS nel getto creando una camera d'aria ventilata; l'incontro di 4 casseri crea una sorta di imbuto in cui entra il CLS, rendendo la soletta pseudonervata, e di conseguenza più rigida.
- **Copertura:** può essere piana (per impostarvi elementi di impianti o per renderla abitabile) o inclinata (a falde). risponde a requisiti di sicurezza, abilità, isolamento termico ed acustico, protezione dagli agenti atmosferici. La pendenza minima di una copertura è del 1-2% per permettere il passaggio e lo scorrimento delle acque verso le pluviali o le gronde, che a loro volta con una loro pendenza scaricano l'acqua nelle pluviali; se troppo pendenti si rischia che l'acqua salti oltre il canale di gronda.
- **Tetto a falde:** esempio tipico è quello sorretto da una capriata lignea (con una catena a trazione), usata tradizionalmente nel case di legni importanti e connessa alle altre capriate tramite una prima orditura di travetti detti arcarecci, su cui si imbastisce un tavolato sul quale poggiano eventuali isolanti e le tegole, le quali creano piccoli spazi e nella loro posa, per ventilazione/isolamento; la pendenza delle falde implica una necessaria progettazione attenta della gronda e del bicchiere, elemento che incanalava l'acqua dalla gronda alla pluviale.

Si è soliti è importante considerare la fascia piana, fascia di rispetto prima della posa di piastre che evita lesioni e in cui si possono far passare eventualmente degli impianti.

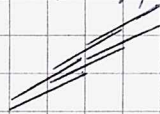
I solai piani di copertura si distinguono essenzialmente in due possibili scelte tecnologiche di isolamento:

- Tetto caldo: si pone una barriera al vapore sotto l'isolante, come barriera al calore sottostante
- Tetto freddo: l'isolante viene posato sopra al masso delle pendenze (che dipende da dove si vuole convogliare l'acqua, con una pluviale $\Phi 100-150$ ogni 80 m^2) con un difficile intervento cantieristico in posa e un rischio di lesionamento dell'isolante, solitamente protetto dal massetto.

L'altezza minima di un massetto di pendenza è circa 2 cm , anche se in cantiere si raggiunge spesso la \emptyset .

Nelle coperture solitamente l'acqua penetra in allettamento e pavimentazione fino al manto impermeabilizzante, posato su un primer (colla) e legato tra i vari rotoli tramite fiammatura, ne segue che l'isolante deve essere ignifugo. Logicamente nel caso di un tetto a falde è frequente il tetto freddo, con guaina direttamente sull'isolante, senza massetto.

Su una pluviale si usa solitamente un contra tubo che si fonde sulla guaina, la quale a sua volta si posa dal punto più basso a salire in una disposizione analoga alle tegole, sovrapposte per circa 10 cm ; per evitare lesioni si fanno minimo due strati, di cui il secondo strato è solitamente a cavallo rispetto al primo.



Sopra la guaina è possibile realizzare qualsiasi tipologia: si può porre la guaina direttamente esposta, nel qual caso si impiega una guaina adesivata - che ha una minor dilatazione termica e si sceglie in base a specifiche fasce climatiche - protetta ulteriormente da vernici acriliche per evitare che il materiale plastico si crepi (va riverniciata ogni anno, sono rosse verdi o raramente bianche)

Tetto-giardino: ^{uno} strato di isolamento - talvolta realizzato tramite cupezzi analoghi al vespaio del primo calpestio - si impasta sulla guaina; su di esso si imposta uno strato di tessuto-non-tessuto (rete sottili anche in fibra naturale che drena l'acqua ma non permette il passaggio di terreno o altri elementi, gli elementi a igloo sono già microporosi) e panni che contribuiscono al drenaggio, sul quale si imposta un terreno con spessore dipendente dalla dimensione dell'apparato radicale di ciò che si vuole piantare.

Benefici sono la termoregolazione interna, un buono smaltimento d'acqua che viene parzialmente assorbita rallentando il flusso e limitando la portata, benessere estetico e evita l'effetto di isola di calore.

Nei calcoli bisogna considerare il carico del terreno bagnato.

I tetti-giardino sono frequentemente impiegati negli ambienti di quiete, terrazzi in cui in caso di emergenza si attendono i soccorsi (ad es. nel caso di diversamente abili); le pareti adiacenti devono rispondere a precisi requisiti REI, ovvero di mantenimento della resistenza in caso di incendi e di tenuta ai fumi e alle fiamme; la minima classe per l'edilizia scolastica è REI 90, ovvero resistenza di 90 minuti.

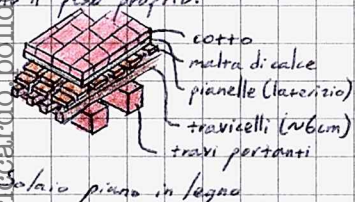
Le scale di emergenza non possono essere progettate, sono interventi di adeguamento delle preesistenze; se esterne le scale devono essere integrate alla facciata, preferibilmente con una zona filtro come le scale a prova di fumo; vanno giuntate alla struttura scolastica.

Una scala a prova di fumo presenta un ambiente filtro per evitare la propagazione di fumo all'interno, con una finestra o un cavedio per l'estrazione del fumo.

Si ricorda che le porte vanno considerate sempre con apertura verso l'esterno.

Excursus - Solai in legno e acciaio

I solai di strutture in muratura sono tradizionalmente in legno, con un primo ordine di travi su cui si imposta una seconda orditura formata da pancanelli, su cui si realizza un riempimento e la posa della pavimentazione; un altro tipo di orizzontamento è dato dalle volte in muratura, utilizzate ai livelli inferiori (più pesanti, salendo occorrono strutture più leggere). Le volte ai livelli più alti sono solitamente volte a incasso, appese al solaio superiore in modo tale da avere superfici su cui si poteva affrescare o apporre tele decorate, portando l'idea architettonica della volta; talvolta erano realizzate con mattoni in foglia (a contrasto) che però reggono solo il peso proprio.

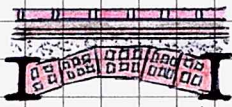


Talvolta le travi portanti ^{come} rettangolari, ottenute stettando i tronchi; ne segue che occorrevano tronchi di dimensioni ~~troppo~~ elevate, anche perché la sezione del tronco diminuisce all'aumentare della quota, con dettami la luce che determina la sezione.

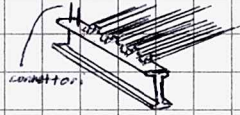
I tralicci connettono le travi portanti, a distanza di $60-70\text{ cm}$, è però assente una soletta collaborante e dunque il piano rigido, che sopporta e ripartisce i carichi.

I solai in legno lamellare recenti presentano travi portanti, un'orditura secondaria che collega le travi, un tavolato superiore e una soletta che permette il comportamento di piano rigido previsto dalla normativa, separata dal tavolato con un tessuto isolante (per evitare che il CLS coli) e connessa tramite dei connettori (elementi metallici separati attraverso il tavolato mentre il CLS è fresco per rendere collaboranti gli elementi con la soletta armata).

I solai in acciaio venivano originariamente realizzati con alleggerimenti in laterizio con sopra i vari riempimenti per massetto e pavimentazione. Oggi invece si pone sulle travi una lamiera sagomata grecata collegata con connettori alle travi, sulla quale si imposta la soletta armata; la lamiera ovviamente è ordita in maniera opposta rispetto alle travi (altrimenti non si ha resistenza per forma)



Copertura con alleggerimenti in laterizio



Copertura con lamiera grecata

Fondazioni

Le fondazioni sono l'ultima cosa ad essere progettata; dipendono innanzi tutto da un'analisi attenta della geomorfologia del territorio, che permette di comprendere quale tipo di fondazione dover progettare; sono però

la prima cosa ad essere realizzata.

La scelta delle fondazioni dipende:

- dai carichi e dalla loro distribuzione
- dalla natura del terreno

I terreni si possono classificare in base alla capacità portante in:

- Buoni ($> 2 \text{ kg/cm}^2$)
- Mediocri ($1,2 - 2 \text{ kg/cm}^2$)
- Modesti ($< 1,2 \text{ kg/cm}^2$)

In generale, si distinguono in:

- Rocce lapidee: elevata durezza, buona resistenza ai carichi, trascurabile compressibilità, modesta permeabilità
- Rocce sciolte:
 - Materiali grossolani: blocchi di grossa peccatura e forma irregolare

La capacità portante è dunque una misura della pressione; per determinare l'area su cui devono scaricare le fondazioni (i carichi verticali; nel predimensionamento non si considerano gli sforzi di taglio e i momenti flettenti dovuti al fatto che i solai sono elementi inflessi, i pilastri sono presso-inflessi dovuto all'inflessione di travi e solai) si utilizza la formula - usata in genere per tutti i carichi verticali - $\sigma = N/A$, dove N è il carico che insiste sulla fondazione, A l'area su cui va distribuito il carico e σ la resistenza del terreno. Logicamente, il carico N si distribuisce a 45° , l'area non può aumentare all'infinito: se il terreno non può resistere al carico bisogna attingere alle capacità di contenimento del terreno a quota inferiore.

- Sabbie: disgregazione delle rocce originarie (susceptibili di costipamento, cedimenti piccoli e rapidi).
- Polveri o limi terreni alluvionali (lenta espansione dell'acqua, cedimenti in periodi lunghi)
- Argille: argille compressibili ed elastiche (maggiore assorbimento di acqua)

È dunque importante verificare la natura, la capacità portante del piano di posa e la stratigrafia al di sotto dello stesso.

- Informazioni sulla natura geologica della località, sull'omogeneità del terreno, sulle eventuali modifiche apportate.
- Esame del comportamento statico delle costruzioni esistenti
- Saggi (perforazioni e prelievi di campioni)

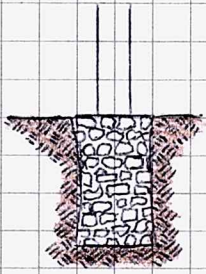
Le fondazioni si classificano in

- Dirette: scaricano direttamente sugli strati superficiali
 - ↳ Discontinue: plinti isolati
 - ↳ Continue: travi rovesce, platee, plinti collegati
- Indirette: raggiungono strati più profondi del terreno
 - ↳ Discontinue: plinti su pali
 - ↳ Continue: platee su pali, plinti su pali collegati

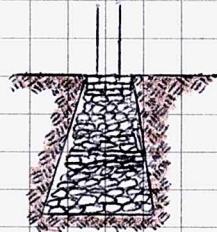
⚠ Le fondazioni discontinue, con elementi non collaboranti, non possono essere realizzate in zona sismica.

Non è però conveniente negli sbancamenti di fondazione sbancare per più di 2 metri; anche nel caso di scavi a sezione obbligatoria, poiché il terreno dovrebbe essere smaltito, comportando costi economici aggiuntivi e un forte impatto ambientale.

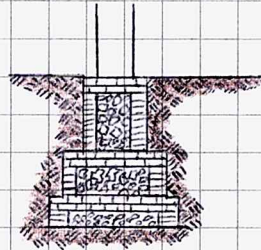
Fondazioni in Muratura: sono ancora elementi in muratura, continue perché realizzate sin dall'inizio secondo l'andamento e la disposizione degli spazi interni, in maniera simile alle ^{case} stampate in 3D.



Muratura a getto



Muratura con paramenti inclinati

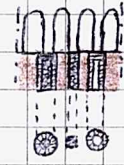


Muratura con paramenti verticali e riseghe

Nel caso di strutture con archi e pilastri invece si utilizzano fondazioni discontinue, come le fondazioni



Archi



Archi e pilastri

su archi, archi e pilastri, o nel caso di terreni con caratteristiche meccaniche scarse, ad archi rovesci.

Fondazioni in CLS-A:

- Discontinue dirette: realizzate nel caso di terreni con buone proprietà meccaniche e non in zona sismica; i plinti isolati sono la prima tipologia di fondazione in CLS nata: sotto ogni pilastro si pone un plinto, rappresentato come un tronco di piramide (poiché gli sforzi si distribuiscono a 45°) ma per difficoltà di realizzazione si tendono a realizzare in forma cubica (meno taglio di cassafornie, meno rischi, più rapido); sotto ogni plinto si getta uno strato di magrone (CLS non armato povero di calce) di pulizia e per separare il CLS della fondazione dal terreno umido, alto e sporgente di $\approx 10\text{cm}$ (altrimenti se più larga si rischia che i carichi spezzino la sporgenza).

- Continue dirette:

- Plinti collegati: per svolgere funzione di irrigidimento, assorbimento di sollecitazioni provenienti dalla struttura e fondazioni per temperature e soletti direttamente poggiati si collegano i plinti con travi, che possono essere allineate alla base del plinto (+ economica) o "sospese".

- Travi rovesce: la trave di fondazione è detta rovescia perché, al contrario di una trave di piano, viene caricata dal basso verso l'alto (dalla reazione del terreno ai carichi che vi si applicano).

Si usa questo sistema quando:

- la superficie di appoggio necessaria a trasmettere il carico al terreno diviene molto ampia (carichi elevati)
- il terreno presenta notevoli disuniformità di resistenza da punto a punto (con conseguente pericolo di cedimenti differenziali)

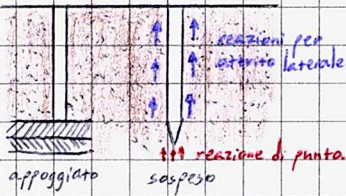
- Platea nervata: è costituita da un unico getto alla stessa quota su cui spiccano i pilastri della struttura in elevazione. Quando si vuole conferire una maggiore rigidezza, la platea può essere progettata con nervature, che costituiscono il collegamento tra i pilastri in entrambe le direzioni.

- Indirette:

- Fondazioni a pozzo: utilizzati quando il piano di posa risulta profondo, e realizzati tramite:
 - sottomurazione, per terreni ordinari
 - affondamento, per terreni con bassa coesione o imbibiti
 possono essere con cassone autoaffondante in CLS o con anelli in muratura

- Fondazioni su pali: si usano quando il piano di posa più idoneo non è raggiungibile con un conveniente scavo. A seconda della natura del terreno, si distinguono in:

- palo appoggiato o pectante: il terreno alla punta del palo è molto consistente
- palo sospeso: il terreno lavora per attrito lungo la superficie del palo



La reazione di attrito laterale è spesso quella preponderante, dati i diametri dei pali e la loro lunghezza.

Fondazioni costituite da più pali collegati si definiscono palificate, spesso usate come sistemi di difesa idrogeologica, realizzate ad esempio come opere di consolidamento prima dello scavo di gallerie. Possono essere a castello o sospese a seconda che siano composte da pali appoggiati o sospesi.

La portanza P di un palo è dunque data dalla resistenza di punta e la resistenza laterale (R_p, R_a), definiscono il carico che può sopportare.

In base alla loro sezione, i pali si dividono in:

- micropali: da $\Phi 150$ mm a $\Phi 300$ mm (usati per sottrattazione, intervenendo sull'esistente).
- pali di medio diametro: da $\Phi 400$ mm a $\Phi 800$ mm
- pali di grande diametro: da $\Phi 1000$ mm a $\Phi 1200$ mm

• Pali infissi: Sono pali prefabbricati, posti in opera per battitura con un maglio lasciato cadere da altezza prefissata. Sono di forma cilindrica o leggermente conica, spesso cava; per facilitare l'intissione nel terreno sono dotati di punta metallica, detta puntazza. In fase di realizzazione delle fondazioni va rotta la testa del palo per collegare le armature; la loro lunghezza massima è di 12-14 m.

Vantaggi:

- è nota l'effettiva geometria del palo
- vengono infissi sino a rifiuto (è nota il carico di intissione)
- metodo rapido e relativamente economico
- danno un contributo alla costipazione del terreno.

La lunghezza massima di un ferro di armatura o una trave in ferro è 12m, dovuta alle dimensioni dei pezzi di trasporre.

Svantaggi:

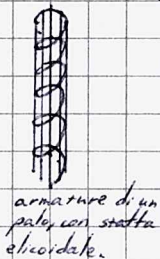
- lunghezza predefinita
- necessità di una buona conoscenza del terreno
- operazioni molto rumorose
- diametri ridotti per l'intissione
- possibili fessurazioni in seguito all'intissione (anche di vicini edifici).

Possono essere:

- In legno: di scarsa resistenza durante l'intissione e nel tempo, lunghezza limitata 3-15m, usati solo per opere provvisorie.
- In acciaio: sono poco economici e soggetti a corrosione, hanno sezione cava con o senza punta; diametro tra $\Phi 2-3,0$ m e lunghezza fino a 100m

• Pali gettati in opera: esistono di diversi tipi.

• Realizzati in opera con un tubo-forma (camicia), infisse per battitura con puntazza recuperabile; levando la camicia il CLS fessura interagisce con le pareti dello scavo, acquisendo una geometria diversa, dopodiché si pone l'armatura. Il getto di CLS deve avvenire dal basso verso l'alto, altrimenti il composto non è più omogeneo, si registra un fenomeno di segregazione.



• Pali gettati in opera: un maglio crea il foro in cui viene posta una tubazione di rivestimento; batte su un tappo di ghiaia che si costipa e forma un bulbo di base fuoriuscendo dalla tubazione e si getta poi il CLS ponendo le armature; la puntazza è a perdere.

Pali Franki

• Pali Wolfshelz: trivellati, realizzati in opera con asportazione di terreno: dalla trivella si getta il CLS, resta un alloggiamento per le armature.

• Pali a Vire: Sono pali prefabbricati in acciaio dotati di una o più eliche, avvitati nel terreno con semplici apparecchiature; presentano una lunghezza compresa tra 1,5 e 3 metri, con diametri compresi tra $\Phi 77$ e $\Phi 130$ mm ed eliche il cui diametro può attestarsi tra $\Phi 180$ e $\Phi 250$ mm.

- **Pali a vite trivellati:** Realizzati in opera con asportazione di terreno. L'infissione della camicia avviene per rotazione meccanica. Viene eseguita una trivellazione nel terreno (foro a pozzo) con asportazione del terreno, successivamente si inserisce la gabbia di armatura e si esegue il getto in sito del palo. La realizzazione del foro può essere eseguita con un tubo di acciaio, che viene stilato fuori, in fase di getto.

Vantaggi:

- operazioni non rumorose
- vibrazioni contenute
- lunghezza e diametro del palo a piacere

Svantaggi:

- tempi di esecuzione lunghi
- costi elevati
- incertezza sul risultato della realizzazione.

- **Plinti su pali:** i pali devono essere equidistanti dal pilastro per distribuire equamente il carico; devono essere rientranti rispetto al bordo del plinto di uno spessore s di minimo 4ϕ cm; il carico gravante sul pilastro si distribuisce dunque sui vari pali, la somma delle portanze dei quali permette di bilanciare lo sforzo normale.

- **Micropali:** pali trivellati aventi diametro da 150 a 300 mm, costituiti da malte o miscele cementizie e da idonee armature di acciaio. Si usano:

- quando si devono realizzare pali con forte inclinazione sulla verticale
- nei lavori di sottofondazione di edifici e strutture esistenti, quando vi è la necessità di operare con attrezzature di ingombro e peso molto ridotti.

In base alle modalità esecutive, si distinguono per:

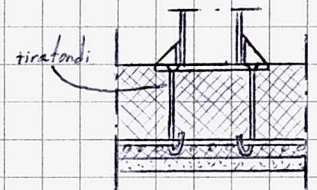
- riempimento a gravità
- riempimento a bassa pressione
- riempimento ad alta pressione

- ① Perforazione
- ② Collocazione armatura
- ③ Riempimento
- ④ Estrazione tubo di trivellazione e compressione getto
- ⑤ Fine

Fondazioni di edifici in Acciaio

Le strutture in acciaio possono avere forme reticolari spaziali, articolate nello spazio; solitamente a terra ha dei giunti (es. cerniere). Nel caso di telai reticolari invece sono collegati alla fondazione tramite delle piastre; la fondazione di edifici in acciaio è sempre in CLS, c'è sempre un giunto predisposto in corrispondenza di ferri di attesa gettati nella soletta.

I pilastri sono dunque saldati ad una piastra con fori predisposti; in cantiere si agganciano dei ferri, detti tirafondi, con agganciati alla rete di armatura e filettati all'estremità; prima del getto di CLS si pone una piastra, che permette il montaggio della contro piastra mediante bulloni \Rightarrow gli sforzi normali agenti sull'acciaio vengono trasferiti al CLS-A; particolare attenzione va data agli allineamenti; per questo motivo **gli elementi prefabbricati si progettano in mm!**



Fondazioni di edifici in Legno Lamellare

Sono anch'essi elementi prefabbricati; necessitano di un giunto tra CLS e legno in acciaio poiché il CLS è umido nel getto e il legno non può entrare nel terreno. Datto collegamento può avvenire in molti modi, con elementi ai lati o piastre interne, i cui elementi di collegamento trasversali possono essere nascosti (spinotti) o usire a vista ed essere bullonati; è sempre realizzabile una forma particolare.

Fondazioni di edifici in Calcestruzzo Armato Prefabbricato

Esistono numerose tipologie, permettono un montaggio a secco e richiedono precisione; i pilastri prefabbricati possono essere con fondazione prefabbricata o no; solitamente poggiano in un bicchiere prefabbricato con tirafondi annegati in una fondazione in opera; i bicchieri prefabbricati permettono anche l'alloggiamento per elementi di collegamento antisismico e spesso presentano altre disposizioni particolari come cavità portaincassanti/pluriali e altri sistemi speciali.

Materiali da Costruzione

I materiali sono regolati da diverse norme, tra cui le N.T.C. (norme tecniche costruttive, la più recente è del 2018); tra le caratteristiche normate figura anche la durabilità del materiale, oltre a due normative acustiche, di isolamento termico.

Le NTC distinguono i materiali in:

- Muratura portante
- Materiali a base di legno
- Acciaio
- Calcestruzzo

la norma sul patrimonio costruito, eventualmente storico, ha altri parametri e vincoli, dovendosi confrontare con l'esistente; la struttura deve però verificare le NTC, che fissano dei parametri minimi/massimi per le verifiche della struttura.

Caratteristiche dei Materiali da costruzione

- Peso specifico (rapporto $\frac{\text{peso}}{\text{volume}}$), in una struttura coincide con il peso proprio G_k
- Omogeneità/Eterogeneità: descrive se le proprietà del materiale variano o meno in funzione della posizione. Ad esempio, il CBS è considerato un materiale omogeneo; la muratura (che non è propriamente un materiale) no; è la composizione di malta e tessitura litica.
- Isotropia/Anisotropia: descrive se le proprietà del materiale variano o meno in funzione della direzione delle forze cui è sottoposto il materiale (ad esempio, il legno naturale è un materiale anisotropo)
- Resistenze meccaniche (Compressione - trazione - taglio)
- Rigidezza: proprietà di un materiale di non deformarsi se soggetto a sollecitazioni esterne
- Duttilità: capacità di un materiale di deformarsi se soggetto a sollecitazioni esterne.
- Conduttività termica: misura ^{la capacità del} materiale di trasmettere calore, la trasmittanza è un elemento tecnico
- Dilatazione termica, resilienza...

Calce
Legante
 H_2O

Malte
Legante
 H_2O
Agregato fine

Conglomerati
Legante
 H_2O
Agregato fine
Agregato grosso

Legante: materiale di natura inorganica che impastato con acqua forma una miscela plastica, detta pasta, che indurisce nel tempo sviluppando resistenze meccaniche più o meno elevate.

Le malte sono usate in edilizia come legante per murature, sottofondi, massetti, intonaci...
Le proporzioni d'impasto sono legate al tipo di impiego della malta.

Il calcestruzzo armato è più propriamente un conglomerato cementizio armato; IL CEMENTO È UN LEGANTE IDRAULICO

Muratura

"Materiale" eterogeneo composto da pietra e malta, con comportamento anisotropo - si comporta diversamente se sollecitato parallelamente/ortogonalmente ai filari; caratteristiche importanti del materiale sono:

- Resistenza caratteristica a compressione f_k
- Resistenza caratteristica a taglio f_{tk}

Da queste si studia la resistenza di progetto in funzione di alcuni parametri; per assicurarsi la verifica dei requisiti normativi si progetta a vantaggio di

sicurezza, preferendo un sovradimensionamento a causa dello scarso controllo delle condizioni di cantiere; se le caratteristiche del materiale in opera in cantiere dovessero rivelarsi minori di quanto prevista dalla norma, non verificandola, l'elemento costruito va rinforzato con un consolidamento o demolito.

La resistenza caratteristica è una proprietà definita testando una famiglia di campioni: la minima resistenza al 5% del totale - ovvero la resistenza minima raggiunta da almeno il 95% dei campioni - è la resistenza caratteristica del materiale.

Legno

- Naturale: materiale omogeneo, anisotropo, classificato in dolce/duro; tra le sue proprietà fisiche figura l'igroscopicità (utile per trattamenti affinché non marcisca/assorba H_2O), la facilità al taglio, elevata resistenza termica/acustica, buona resistenza a compressione, al taglio e alla trazione. Sottoposto a flessione è soggetto al *flouage*, carico a fatica costante
- Lamellare: costituito da lamelle di lunghezza/larghezza limitata, non occorre un forte abbattimento di alberi secolari poiché è possibile utilizzare anche degli scarti; permettono il progetto di elementi tecnologici di forme varie, è omogeneo e isotropo e permette l'esplicitarsi di processi di prefabbricazione; la verifica in fase di montaggio avviene mediante una chiave dinamometrica nel bullonamento, con un rapido montaggio a secco.

Sulle grandi luci venivano utilizzate capriate lignee in copertura perché essendo gli sforzi paralleli alle fibre del legno la struttura sviluppa resistenze maggiori.

Nel caso di sezioni sottili su grandi coperture, che hanno una dimensione prevalente rispetto allo spessore e dunque una certa instabilità; per ovviare al problema si utilizzano dei controventi.

- Collegamenti:

Legno - Legno	Acciaio - Legno
con progetto	utilizzato soprattutto
preciso dell'aggancio	nel collegamento con
	strutture in CLS.

Acciaio

L'uso prevalente nelle strutture in calcestruzzo è per:

omogeneo-isotropo

- tondini / rete elettrosaldata, armature delle strutture gettate in opera
- armature degli elementi prefabbricati
- elementi di carpenteria

Le strutture in acciaio hanno spesso dei profili a doppia T, storicamente nata in ambito ferroviario:

- Trave IPE: l'ala è pari a circa $\frac{1}{2}$ anima **I**
- Trave HE: le due misure sono paragonabili **I**

Particolarmente utili sono i sagomari del profilo in acciaio, poiché presentano numerose caratteristiche. Un determinato elemento tecnico è classificato dal profilo (HE, IPE etc) segnato dall'altezza espressa in mm (IPE 80 = trave IPE con anima di 80 mm)

La differenza tra una HE 100 A (96x100, HE 100 B è 100x100 ma pesa di più) e una IPE 100 è negli spessori e, di conseguenza, nei momenti d'inerzia; logicamente cambia anche il peso (16 vs 6,7 kg/m), ne segue che per gli elementi inflessi (travi e elementi secondari) si preferiscono le IPE, con buona inerzia e peso contenuto; gli elementi compressi sono preferibilmente in profili HE per la sezione maggiore: a parità di carico subisce pressioni minori; analogamente avendo inerzie confrontabili riesce a sopportare sforzi orizzontali in più direzioni.

importante il calcolo attento dell'acciaio: troppi fori per le bullonature implicano una diminuzione della sezione resistente!

Calcestruzzo

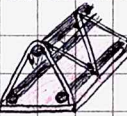
Omogeneo, isotropo; la sua granulometria dipende dal diametro massimo degli aggregati (in f del copriferro, la distanza di interferro e il raggio medio dalla cassaforma); le classi di resistenza si definiscono a partire da valori caratteristici delle resistenze cubica (R_{ck} , su campioni cubici) e cilindrica (f_{ck}) a compressione uniaassiale misurate su provini normalizzati, rispettivamente cubi di spigolo 150 mm e cilindri di diametro 150 mm e altezza 300 mm; sono legate da parametri.

Le classi di resistenza si esprimono con la formula $C \frac{X}{Y}$, con i valori di resistenza espressi in MPa. La resistenza minima per le strutture in CLS è la classe $C \frac{25}{30}$.

Alla stato fluido, si verifica l'omogeneità, fluidità e plasticità del materiale (capacità del materiale di essere trasportato in cantiere senza alterarne l'omogeneità; capacità di mantenere la forma conterita; unite costituiscono la lavorabilità del calcestruzzo); allo stato solido si verificano principalmente le resistenze meccaniche.

Nella posa in opera di solai, è possibile risparmiare sul fondo in travolato utilizzando travetti prefabbricati o semi-prefabbricati (con fondello in laterizio e un traliccio in acciaio; il primo elemento è per limitare il ponte termico e creare una superficie omogenea per l'intonaco, furono poi meno usati perché il copriferro non era sufficiente).

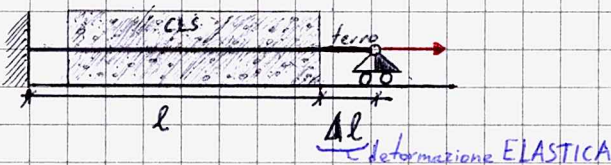
I solai con travetti prefabbricati (precompressi o no) presentano migliori caratteristiche di resistenza ma notevoli svantaggi su geometrie particolari; servono luci regolari; viene montato con la predisposizione dei ferri in modo tale da poter sopperire al puntello di sostegno del travolato.



Calcestruzzo prefabbricato

I vari elementi costruttivi (inclusi solai e tamponatura) vengono interamente montati, con elementi di impalcato anche su grande luce, esistono forme varie che modificano l'inerzia (vengono scelti da sagomario); i pilastri presentano mensole per accogliere le travi, tipicamente a T rovescia per accogliere solai; tutti gli elementi sono appoggiati (ma poi fissati in altri modi, ad esempio con neo pneu).

Precompressione: fenomeno dato dalla pre-trazione dei ferri di armatura nella realizzazione di elementi in precompressa prefabbricato; vengono poi allentati quando il CLS è indurito, comprimendo l'elemento nel verso opposto a quello dei carichi che agiranno in esercizio, garantendo una resistenza maggiore e una freccia di esercizio più ridotta.



Precompressione - schema

Coperture su grandi luci

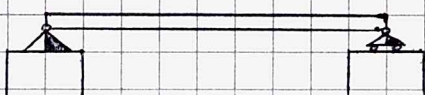
È particolarmente importante l'inerzia e il risparmio sulla massa (per evitare inflessioni eccessive), vengono spesso realizzate con geometrie più complesse e elementi di controvento.

L'acciaio permette a ~~copie~~ di avere coperture ampie simili alle tecnologie "classiche", eventualmente con travi tratorate per alleggerire le strutture, oppure attraverso travi reticolari spaziali, prive di elementi lineari; lavorano collettivamente come un unico elemento.

Con l'acciaio si possono ottenere geometrie complesse spaziali attraverso telai, solitamente sono di sezione sottile, dunque hanno problemi di instabilità a compressione.

A causa della dilatazione termica su grandi luci, le coperture hanno solitamente un appoggio/ineastro da un lato e un carrello dall'altro:

Ciò si realizza con delle piastre differenti (per il legno lamellare):

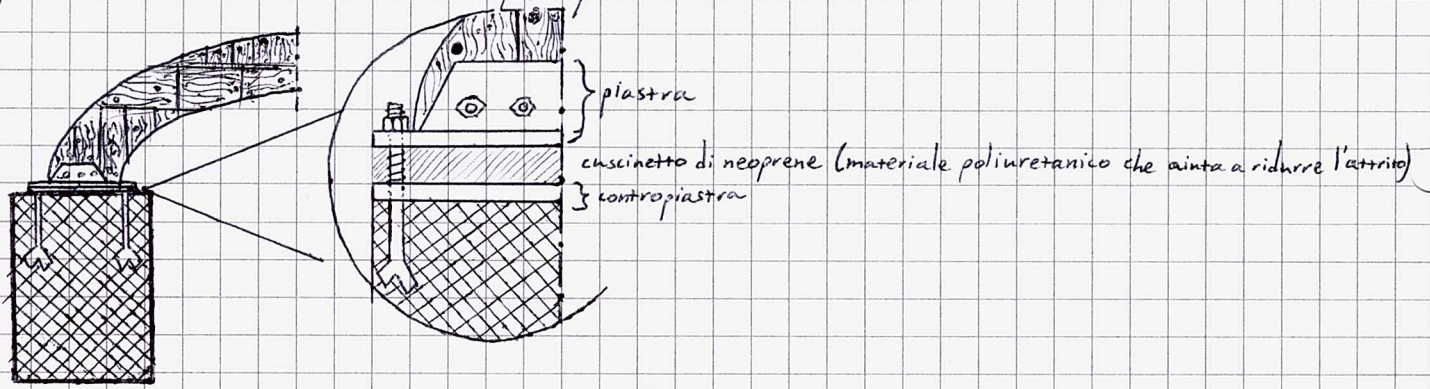


appoggio



Carrello (più slittare di pochi cm)

Per garantire l'incastro si utilizza del neoprene per attrito:



Fine

Architettura Tecnica I

proff. Marina Fumo

Claudia Lombardi

01.07.2021 - 30L