

Metodi per la concezione strutturale**AZIONI SULLE COSTRUZIONI** (definite per legge)

Due principali difficoltà

- La nostra architettura è collocata in ambiente specifico (sito di progetto), quindi tutte le azioni che derivano dall'ambiente circostante dipenderanno dal sito di progetto, oltre dalla funzione assoluta dell'architettura (determinata dagli occupanti, oggetti, fabbrica, biblioteca) varietà di azioni.
- Noi progettiamo architetture che hanno un orizzonte di vita, destinata ad essere usata per molti anni. Come facciamo a sapere quali saranno le azioni che agiranno sulla nostra architettura in futuro? Eppure dovrà resistere anche a quelle azioni. Problema di governare molteplicità delle azioni e incertezza di queste.

Prima categorizzazione delle azioni

Differenza tra azioni verticali e orizzontali

Classificazione delle azioni in base al modo di esplicarsi

Possiamo definire le azioni in virtù di come esse possono essere espresse/modellate

- **Azioni dirette:** possono essere espresse attraverso forze e carichi direttamente applicati o sull'elemento strutturale o su un elemento non strutturale che lo trasmette a quello strutturale.
(Punto, linea o superficie di applicazione)
- **Azioni indirette:** quelle che non possono essere raccontate attraverso il concetto di forza ma di spostamento o deformazione imposta (confronto trave gerber e continua o portale a tre cerniere, cedimento vincolare anelastico) ...
Es. Variazioni di temperatura
Deformazioni imposte da:

- ritiro (comportamento nel tempo del calcestruzzo)
- fluage (comportamento nel tempo del calcestruzzo)
- variazioni di temperatura;
- cedimenti vincolari

nelle strutture **isostatiche**: solo spostamenti ma nessuna sollecitazione;

nelle strutture **iperstatiche**: reazioni vincolari, sollecitazioni e spostamenti.

- **Azione ambientale (degrado):** non ambientali in quanto derivanti dall'ambiente ma che non possono essere quantificate né attraverso concetto di forza, né spostamento o deformazione.

Hanno effetti significativi riguardo la durabilità.

Es. Azione geliva (induce progressiva perdita di prestazione meccanica da parte dell'architettura in assenza di manutenzione)

Vi è altro modo di guardare/catalogare le azioni che non dipendono da come possiamo descriverle ma dall'effetto che hanno. La giudico in base all'effetto che ha sull'architettura.

Classificazione delle azioni secondo la risposta strutturale

Questo criterio implica che non sia possibile classificare un'azione a prescindere dalle caratteristiche della struttura a cui si applicano.

- **Azioni dinamiche:** inducono accelerazioni significative della struttura
 - le forze di inerzia, direttamente proporzionali all'accelerazione ed applicate nel baricentro delle masse
$$F_i = m \times a$$

concorrono significativamente all'equilibrio della struttura
 - richiedono modelli di calcolo ad hoc (analisi statica equivalente, analisi dinamica)
 - **Azioni statiche:** non inducono accelerazioni significative della struttura
 - le forze di inerzia possono essere trascurate;
 - è possibile applicare le equazioni di equilibrio della statica.
 - **Azioni pseudo statiche:** azioni dinamiche rappresentabili mediante un'azione statica equivalente
- Invece di considerare queste forze come massa per accelerazione, le tratto come forze statiche per tenere conto anche degli effetti dinamici.

L'azione pseudostatica: azione dinamica espressa attraverso azione statica maggiorata

Altra categorizzazione (problema dell'incertezza)

Classifico azione in base alla permanenza con modulo costante nella vita dell'architettura

Vita nominale

Per un edificio residenziale pari nominalmente a 50 anni.

Il normatore si attrezza a valutare le azioni in quel lasso di tempo.

Definiamo come azioni permanenti (G) tutte quelle azioni che mostreranno durante vita nominale le variazioni trascurabili della loro intensità/modulo

Azioni variabili (Q) che potranno mostrare una variazione della loro intensità significativa durante un intervallo ΔT significativamente minore della vita utile.

Azioni eccezionali (A) che avranno variazioni del modulo che saranno date su tempi scala piccolissimi quasi nulli rispetto a ΔT . Analoga all'azione eccezionale, le azioni sismiche (E)

Classificazione delle azioni secondo la variazione di intensità nel tempo

Una struttura ordinaria ha una vita nominale di progetto V_N di circa 50 anni. Questo criterio classifica le azioni in base alla variazione della loro intensità nel tempo di esplicazione Δt durante il periodo V_N .

- **Permanenti (G)** ($\Delta t \approx V_N$)
- **Variabili (Q)** ($\Delta t < V_N$)
- **Eccezionali (A)** ($\Delta t \approx 0$)
- **Sismiche (E)** ($\Delta t \approx 0$)

- **Permanenti:** trascurabili variazioni di intensità durante il periodo V_N

- peso proprio delle strutture
- peso sovrastrutture
- pressioni del terreno
- pressioni di fluidi (se costanti nel tempo)
- ritiro calcestruzzo → soggetti a transitorio iniziale
- cedimenti vincolari → soggetti a transitorio iniziale
- altri (precompressione, subsidenza del suolo, distorsioni saldature, deformazioni impresse,...)

- **Variabili:** intensità istantanee sensibilmente diverse

di lunga durata:

- peso proprio elementi integrativi non strutturali;
- suppellettili, merce, automobili parcheggiate;
- carichi relativi alla costruzione e/o montaggio;

di breve durata:

- carichi mobili;
- azioni del vento;

di breve o lunga durata (secondo i casi):

- neve e ghiaccio;
- variazioni di temperatura;
- indotte da variazioni di livello dei fluidi.

- **Eccezionali e Sismiche:** si verificano solo eccezionalmente durante V_N , in intervallo piccolissimo
- urti e impatti, esplosioni, incendi, frane, trombe d'aria, azioni derivanti da terremoti.

Significativi anche velocità e accelerazioni, non solo i moduli delle forze

Non si può giudicare un'azione in sé, ma dipende dalla risposta e quindi dalla struttura.

... Massa strutturale soggetta a grandi accelerazioni, essa stessa sarà ...

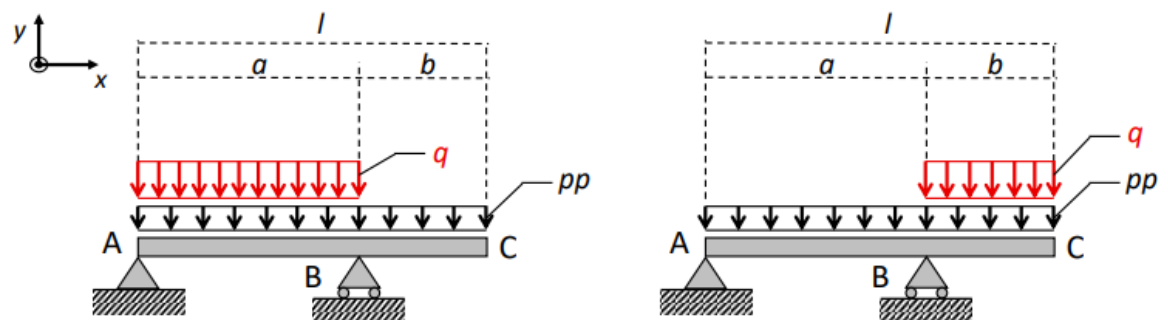
Accelerazione indotta dal moto della struttura e impatto della forza.

Ultima classificazione

Variabilità azioni spazio, legata alla variabilità nel tempo, le azioni libere sono anche variabili

Classificazione delle azioni secondo la loro variazione nello spazio

- **Azioni Fisse:** distribuzione spaziale determinata esempio: peso proprio pp
- **Azioni Libere:** distribuzione spaziale variabile esempio: carichi variabili q → più condizioni di carico. Esempio:

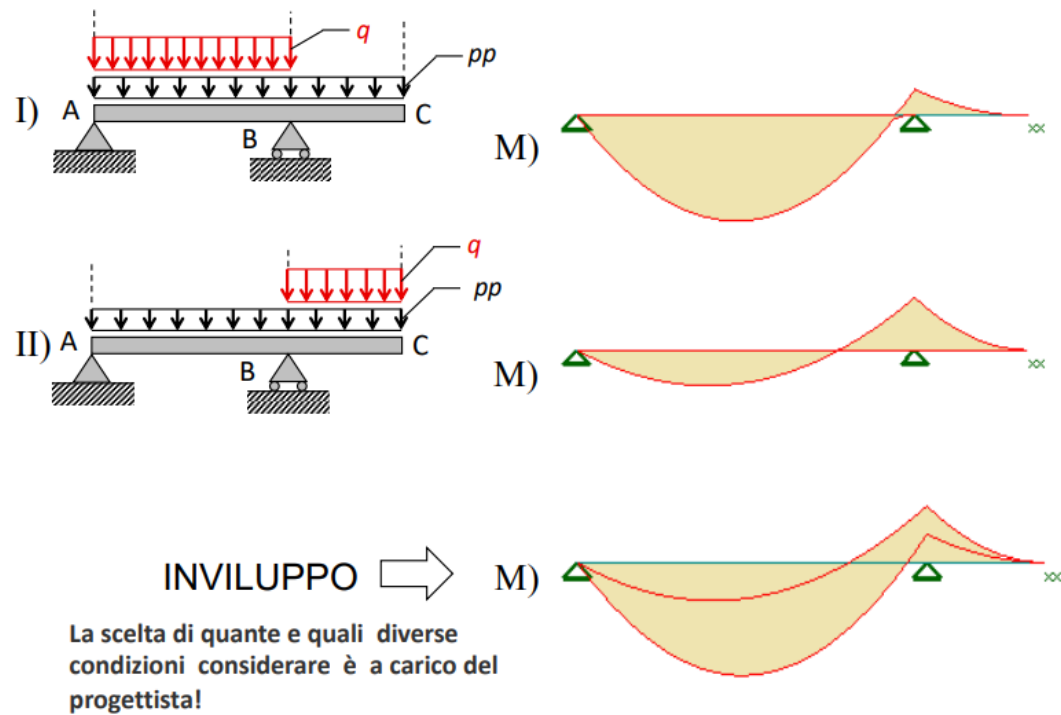


Io progettista quanta incertezza ho nel valutare le azioni su un architettura?

La valutazione delle diverse disposizione dei carichi liberi è lasciata come responsabilità del progettista

Quadro metodologico

Figuriamoci di voler valutare modulo di una azione variabile q che esprimiamo in kiloNewton (kN)



Diesis: numero di volte che quell'azione nel passato si è espressa con dato

Il normatore si rivolge al passato e colleziona grande numero di misure sul campo osservate per quell'azione. Ogni volta che la misura assume quel volume andiamo a disporre mattoncino in corrispondenza del valore. Fino a collezionare milioni di osservazioni che formeranno un **istogramma**.

Noto conteggio per istogrammi, il matematico statistico formula espressione analitica: funzione di densità di probabilità: distribuzione gaussiana.

Noto questo, il normatore va da un professore di tecnica di costruzioni.

Quale è il valore che dovrà assumere per valore q il progettista ... (valore massimo densità di probabilità): **moda**

Valore di progetto sufficientemente grande del carico q in modo da **ridurre progressivamente la possibilità che il carico sia maggiorato ulteriormente**. → Ma il valore massimo in statistica non esiste.

Si fa riferimento a valore sufficiente, ente alto (k) caratteristico, che in statistica è il valore che ha una assegnata probabilità di essere ulteriormente superato e che graficamente è data dall'area sottesa della codina della distribuzione (5% di probabilità di essere superato).

Il normatore compila tabelle dei pesi dei materiali in deposito, periodicamente aggiornate, perché frutto di statistica fatta su eventi passati (aumenteranno conoscenze sugli eventi, e potremmo aggiornare le statistiche).

Questa normativa fornisce al progettista i valori e di progetto, per le azioni di semplici, quelle permanenti e fisse derivanti dal peso proprio della costruzione medesima.

Il normatore fornisce dei valori che sono forze peso per unità di volume, e starà a noi tradurre il peso per unità di volume, in peso per unità strutturale.

Il normatore ci fornisce pesi non di materiali ma di elementi costruttivi tra quelli principalmente usati nelle costruzioni.

Materiali inislabili: granulari

Tabella dei pesi dei materiali in deposito

Materiali	Peso dell'unità di volume [kN/m ³]
A) Laterizi stivati	
Mattoni pieni comuni	17
Mattoni semipieni	13
Mattoni forati	8
Mattoni refrattari	20
B) Legnami	
Abete, acero, castagno, ciliegio, duginale, larice, mogano, olmo, pino, pioppo, pino rigido, salici	6
Carpini, faggio, frassino, noce, querce, robinia, teak	8
Bosso, ebano	12
C) Metalli	
Acciaio	78.5
Alluminio	27
Bronzo	88
Chisa	72.5
Leghe di alluminio	28
Magnesio	18
Nichelio	88
Ottone	86
Piombo	114
Rame	80
Stagno	73
Zinco	72

Materiali	Peso dell'unità di volume [kN/m ³]
D) Prodotti agricoli	
Erba fresca sciolta	4
Farina in sacchi	5
Fieno pressato	3
Frumento	7.6
E) Rocce	
Ardesia	27
Arenaria	23
Basalto	29
Calcare compatto	26
Calcare tenero	22
Diorite	29
Dolomia	26
Gneiss	27
Granito	27
Marmo saccaroide	27
Pomice	8
Porfido	26
Sienite	28
Travertino	24
Tufo vulcanico	17
Argilla compatta	21

Materiali	Peso dell'unità di volume [kN/m ³]
F) Sostanze varie	
Bitume	13
Calce in sacchi	10
Carbone di legna	3.2
Carbone fossile in pezzi	9
Carta	10
Cemento in sacchi	15
Fibre tessili	13.5
Ghiaccio	9
Lana di vetro	1
Legname in ciocchi	4
Petrolio	8
Sughero	3
Torba asciutta	2.5
Torba umida	6
Vetro	25
Acqua dolce	10
Acqua di mare	10.3

Pesi di alcuni elementi costruttivi

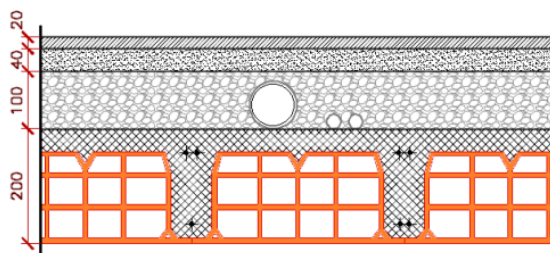
Materiali	Peso dell'unità di volume o di superficie	
A) Malte		
Malta bastarda (di calce o cemento)	19	kN/m ³
Malta di gesso	12	kN/m ³
Intonaco (spessore cm 1,5)	0.3	kN/m ²
B) Manti di copertura		
Manto impermeabilizzante di asfalto o simile	0.3	kN/m ²
Manto impermeabilizzante prefabbricato con strati bituminosi di feltro, di vetro o simili	0.1	kN/m ²
Tegole maritate (embrici e coppi)	0.6	kN/m ²
Sottotegole di tavelloni (spessore 3-4 cm)	0.35	kN/m ²
Lamiere di acciaio ondulate o nervate	0.12	kN/m ²
Lamiere di alluminio ondulate o nervate	0.05	kN/m ²
Lastre traslucide di resina artificiale,	0.1	kN/m ²

Materiali	Peso dell'unità di volume o di superficie	
C) Muratura		
Muratura di mattoni pieni	18	kN/m ³
Muratura di mattoni semipieni	16	kN/m ³
Muratura di mattoni forati	11	kN/m ³
Muratura di pietrame e malta	22	kN/m ³
Muratura di pietrame listato	21	kN/m ³
Muratura di blocchi forati di calcestruzzo	12	kN/m ³
D) Pavimenti (escluso sottofondo)		
Gomma, linoleum o simili	0.1	kN/m ²
Legno	0.25	kN/m ²
Laterizio o ceramica o grès o graniglia (spessore 2 cm)	0.4	kN/m ²
Marmo (spessore 3 cm)	0.8	kN/m ²
E) Vetri		
Normale (3 mm)	0.075	kN/m ²
Forte (4 mm)	0.1	kN/m ²
Spesso (5 mm)	0.125	kN/m ²
Spesso (6 mm)	0.15	kN/m ²
Retinato (8 mm)	0.2	kN/m ²
Calcestruzzo	24	kN/m ³
Calcestruzzo armato	25	kN/m ³

Tabelle dei pesi dei materiali insilabili

Materiali	Peso dell'unità di volume [kN/m ³]	Angolo di attrito interno
A) Materiali da costruzione		
Sabbia	17	30°
Ghiaia e pietrisco	15	30°
Sabbia e ghiaia bagnata	20	30°
Sabbia e ghiaia asciutta	19	35°
Calce in polvere	10	25°
Cemento in polvere	14	25°
Cenere di coke	7	25°
Ceneri volanti	10	45°
Gesso	13	45°
Pomice	7	35°
Scorie d'alto forno diametro medio (30-70 mm)	15	40°
Scorie d'alto forno, minute	11	25°
Scorie leggere d'alto forno	7	35°

B) Combustibili solidi		
Carbon fossile allo stato naturale mediamente umido	10	45°
Coke	5	45°
Lignite	7	35°
Mattonelle di lignite alla rinfusa	8	30°
C) Prodotti agricoli		
Barbabietola	5.5	40°
Crusca e farina	5	45°
Frumenti, legumi, patate, semi di lino, zucchero	7.5	35°
Riso	8	35°
Semola di grano	5.5	30°



SOLAIO "PESANTE"

Peso proprio struttura

Solaio in laterocemento 16+4 cm 2.80 kN/mq

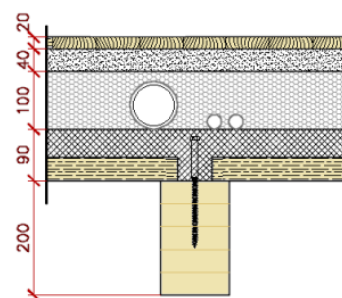
Carichi permanenti portati

Sottofondo tradizionale in ghiaia, spessore 10 cm 1.50 kN/mq
 Massetto in sabbia e cemento spessore 4cm 0.84 kN/mq
 Pavimento tradizionale in grès porcellanato 0.40 kN/mq

Tramezzi

Muri divisorii in laterizio forato 2.00 kN/mq

TOTALE PESO PROPRIO + CARICO PERMANENTE 7.54 kN/mq



SOLAIO "LEGGERO"

Peso proprio struttura

Travi di legno 14x20 passo 80 cm 0.21 kN/mq
 Tavolato spessore 4cm 0.24 kN/mq
 Cappa in C.A. alleggerito spessore 5 cm 0.70 kN/mq

Carichi permanenti portati

Sottofondo in CLS cellulare, spessore 10 cm 0.40 kN/mq
 Massetto in sabbia e cemento spessore 4cm 0.84 kN/mq
 Pavimento in legno 0.12 kN/mq

Tramezzi

Muri divisorii in legno o gessofibra 0.80 kN/mq

TOTALE PESO PROPRIO + CARICO PERMANENTE 3.31 kN/mq

Analisi dei carichi per un solaio: due esempi

Solaio pesante in laterocemento e un solaio leggero in legno

Stratigrafia del solaio (sezione trasversale che mette in evidenza elementi costruttivi)

Carichi variabili e liberi

Di natura antropica: che non discendono dal sito di progetto ma dalla funzione che svolge l'architettura, da cosa sto progettando (residenza, edificio culto, discoteca, edificio industriale, parcheggio) l'uso dell'architettura implicherà carichi variabili differenti.

Motivo per cui il normatore divide i carichi facendo riferimento a diverse categorie e sottocategorie

TABELLE CARICHI UTILI

al D.M. 17/01/2018 (G.U. n. 42 del 20 febbraio 2018)

Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni

q_k = Verticali distribuiti (Verifiche globali sulla struttura)

Prima colonna di valori: carico variabile q_k (valore caratteristico con 5% di probabilità di essere maggiorato) q carico verticale uniformemente distribuito su tutta la superficie del solaio che estimeremmo con kilonewton a metro quadro per valutare prestazioni meccaniche dell'architettura a fronte di carichi verticali. (Considerare solo caso q_k)

Q_k = Verticali concentrati (Verifiche locali sugli elementi strutturali)

Condizione di carico che il normatore impone al progettista di considerare per calcolare che il singolo elemento abbia la possibilità di essere caricato da carico specifico.

H_k = Orizzontali lineari

H_k H: orizzontale che usiamo per valutare prestazione ,meccanica di azione orizzontale applicata localmente in ragione della funzione dell'edificio.

Tab. 3.1.II - Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale			
	Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali	2,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi, ballatoi	4,00	4,00	2,00
B	Uffici			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	4,00	4,00	2,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento			
	Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	3,00	3,00	1,00
	Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atri di stazioni ferroviarie	5,00	5,00	3,00
	Cat. C4. Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici.	5,00	5,00	3,00
	Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita, con le seguenti limitazioni		
		≥ 4,00	≥ 4,00	≥ 2,00
D	Ambienti ad uso commerciale			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini	5,00	5,00	2,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita		
E	Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale			
	Cat. E1 Aree per accumulo di merci e relative aree d'accesso, quali biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	7,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale	da valutarsi caso per caso		
F-G	Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)			
	Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci.	da valutarsi caso per caso e comunque non minori di 5,00 2 x 50,00 1,00**		
H-I-K	Coperture			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati.

** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso.

Azione pseudostatica: azione statica ingrandita di un coefficiente dinamico
 Azioni dirette dovute all'ambiente di progetto, fenomeni ambientali
 Il sisma invece è azione dinamica.

Quale azione orizzontale complessiva useremo il vento

Tanto la neve quanto il vento sono dei carichi che hanno ragioni fisiche molto complicate, perché la variabilità del carico su un tetto dipende da tantissimi variabili: fisica della neve, sito di progetto (latitudine, la quota su livello del mare, esposizione, topografia) e dalla forma dell'edificio

CARICO DELLA NEVE (ORDINI GRANDEZZA PER LA CITTÀ DI TORINO)

Carico da neve: tipico caso che condiziona progetto per quanto riguarda la variabilità in tempo

Densità volumiche della neve

Tipo di neve	Densità della neve [kN/m ³]
Neve fresca, appena caduta	1
Dopo parecchie ore o giorni dalla caduta	2
Dopo parecchie settimane o mesi dalla caduta	2,5 - 3,5
Umida	4

In base alla normativa Italiana (D.M. 17/01/2018):

$$q_s = q_{sk}(\text{altitudine, zona}) \cdot \mu_i(\text{forma edificio}) \cdot \boxed{C_E \cdot C_t}$$

$$q_{sk} \text{ valore di riferimento del carico della neve al suolo:} \quad \begin{matrix} = & = \\ 1 & 1 \end{matrix}$$

• Zona I (Alpina)

• Altitudine $a_s = 300$ m s.l.m.

$$\Rightarrow q_{sk} = 1.62 \text{ KN/m}^2$$

μ : si assume che il carico della neve agisca in direzione verticale e distribuito sulla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Carico variabile q della neve

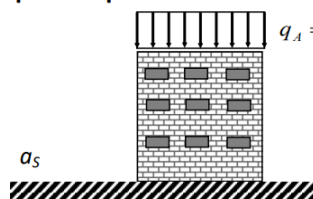
Il prodotto di quattro termini: valore caratteristico (dipende da zona climatica e altitudine, a Torino 300m sul livello del mare) otteniamo q_{sk} : 1.62 KN/m² che si accumula a terra a Torino

Modulo moltiplicato per coefficiente μ (mu) che considera forma della copertura per coefficiente di esposizione e di topografia (Schizzo)

Carico distribuito uniformemente sul terreno piatto

La normativa considera la neve come carico distribuito sulla proiezione orizzontale del tetto

Copertura piana:

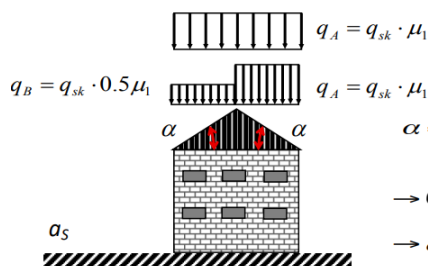


$$\mu_1 = 0.8$$

$$\rightarrow q_A = 0.8 \cdot 1.62 = 1.3 \text{ KN/m}^2 = 130 \text{ daN/m}^2$$

Carico della neve .2

Copertura a due falde (di pari inclinazione ed estensione): va considerata la più gravosa tra diverse condizioni di carico alternative che tengono conto dell'effetto combinato neve-vento durante la precipitazione nevosa



$$\alpha = 30^\circ$$

$$\mu_1 = f(\alpha) = 0.8$$

$$\rightarrow q_A = 0.8 \cdot 1.62 = 1.3 \text{ KN/m}^2 = 130 \text{ daN/m}^2$$

$$\rightarrow q_B = 0.4 \cdot 1.62 = 0.65 \text{ KN/m}^2 = 65 \text{ daN/m}^2$$

μ : aumenta o diminuisce a seconda della forma del tetto

Se la copertura è piana μ è pari a 0,8 (soletta non perfettamente isolata e possibile vento che non permette stesso carico neve sul tetto)

Secondo caso tetto con copertura 30° : carico variabile e libero (causa vento e posizione falda)

Una falda 0,8, sull'altra la metà: 0,4 (bisogna considerare entrambi i casi, perché non necessariamente il carico maggiore sia quello più gravoso) (la risultante cade sull'asse di simmetria, mentre nel secondo caso, con carico asimmetrico, potrebbe essere più gravoso).

AZIONE DEL VENTO

Un carico orizzontale importante è dovuto all'azione sismica (azione dinamica)

Il carico da vento può essere adottato quale carico esplorativo orizzontale, che consente di progettare l'organismo strutturale a fronte di carichi orizzontali (importante dal punto di vista strutturale e architettonico)

Strutture di controvento hanno impatto sulla figuratività dell'edificio

Il vento sarà caratterizzato sempre da una velocità orizzontale dell'aria (le strutture verticali riportano il carico orizzontale a terra, sono dei canali statici verticali) se incrociamo le diverse direzioni del vento e la verticalità degli elementi verticali, otteniamo uno spazio tridimensionale.

L'azione orizzontale combinata alla progettazione delle strutture di controvento verticale la usiamo per concepire l'organismo strutturale nello spazio e di riflesso anche l'organismo architettonico.

Parentesi lezione precedente sulle caratteristiche della neve

Neve: mezzo granulare fatto di cristalli solidi e fatto di tanta aria

Ma la fase solida (cristalli) in funzione della temperatura possono cambiare stato (liquido)

Azione del vento

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte ad azioni statiche equivalenti.

Il vento è l'aria laddove sia in movimento

Volume infinitesimo (particella) di aria, dotato di massa (densità volumica: ρ_0 , unità di misura)

Particella in movimento di velocità v . Se la particella di densità ρ_0 , si muove con velocità v , potremmo dire che porta con sé una energia cinetica (pari a $1/2$ della massa o densità per la velocità al quadrato)

Finché il vento è libero di spirare senza alcun ostacolo, la particella concentrerà la sua energia

La particella perde la sua energia cinetica (velocità pari a 0) se incontra un ostacolo, l'energia si è trasformata in una pressione (forza distribuita su una superficie, su cui ha impattato; carico distribuito orientato perpendicolarmente alla superficie di riferimento. Pressione positiva: entrante nella superficie, interpretabile anche dal fatto che nel bilancio di energia, ho perso energia cinetica e ho guadagnato pressione).

Positiva perché compensa la perdita di energia cinetica con la pressione (minore è l'energia cinetica, maggiore sarà la pressione).

Se ci immaginiamo l'insieme di particelle, alcune, a fronte di un ostacolo si fermeranno, altre subiranno una deviazione di direzione, e cercheranno di superare l'ostacolo girandoci intorno.


Le particelle però dovranno percorrere una traiettoria più lunga, rispetto a quella rettilinea che avrebbero percorso se non ci fosse stato l'ostacolo, quindi accelerano, e la loro energia cinetica aumenta e la pressione diminuisce (non più pari a 0 circa, ma diventerà negativa)

Se la particella viaggia ad una velocità maggiore, questo induce una pressione negativa che chiamiamo depressione: uguale alla pressione in termini di modulo ma negativa

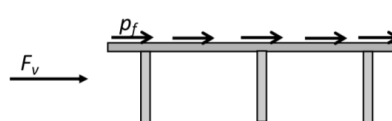
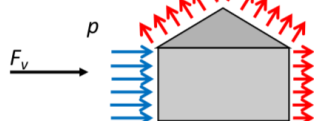
Campo di pressione P indotto sulle frontiere dell'architetture a fronte di velocità rappresentata da vettore nero. I vettori blu raccontano di una pressione positiva, quelli rossi di una pressione negativa, quindi di una depressione.

Cosa succede ad una particella che sfrega, si muove parallelamente alla superficie dell'ostacolo. Questa non è in grado di scorrere liberamente senza attrito, ma sarà soggetta ad una azione tangente (attrito) subisce una resistenza all'avanzamento.

In architettura l'azione tangente può diventare importante

<p>PRESSIONE DEL VENTO p</p> $p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = \left[\frac{N}{m^2} \right]$ <p>Dove:</p> <p>VENTO q_r pressione cinetica di riferimento</p> <p>SITO c_e coefficiente di esposizione</p> <p>COSTRUZIONE c_d coefficiente dinamico (risposta dinamica della struttura)</p> <p><i>coefficienti aerodinamici</i> $\begin{cases} c_p \\ c_f \end{cases}$ coefficiente di pressione (tipologia, geometria e orientamento)</p> <p>c_f coefficiente di attrito (scabrezza della superficie)</p>	 <p>AZIONE TANGENTE DEL VENTO p_f (per costruzioni di grande estensione)</p> $p_f = q_r \cdot c_e \cdot c_f = \left[\frac{N}{m^2} \right]$
--	--

esempi



Esempio slide
Ordini di grandezza per la città di Torino

$h = 15$ [m]

$d = 8$ [m]

$b = 20$ [m] (*profondità in pianta*)

Edificio in c.a. a Torino (**Zona 1**), zona pianeggiante urbana

→ $v_r = 25$ [m/s] **velocità di riferimento del vento**

→ $q_r = 391$ N/m² **pressione cinetica di riferimento**

→ **Classe A di rugosità del terreno**

→ **Categoria V di esposizione del sito**

→ $c_t = 1$

→ $z_0 = 0.7$ [m]

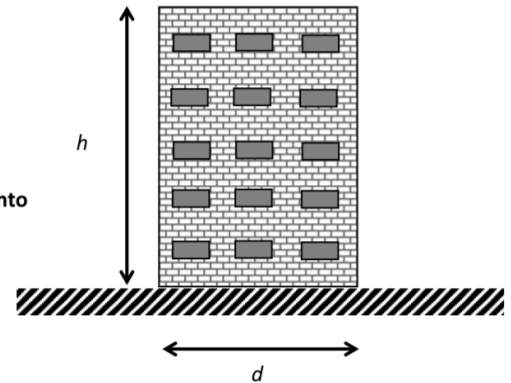
→ $k_r = 0.23$

→ $z_{min} = 12$ [m]

→ $c_e = 1.632$ (per $z = H = 15$ m)

→ $c_f = 0.02$ (superficie scabra)

→ $c_d = 1$ (per edifici di forma regolare con $H \leq 80$ m)



$$p = q_r \cdot c_d \cdot c_e \cdot c_p =$$

$$= 391 \cdot 1 \cdot 1.632 \cdot c_p = 637 \cdot c_p \text{ [N / m}^2 \text{]}$$

$$p_f = q_r \cdot c_e \cdot c_f =$$

$$= 391 \cdot 1.632 \cdot 0.02 = 13 \text{ [N / m}^2 \text{]}$$

Copertura piana che è portata da una serie di elementi strutturali puntiformi permeabili all'aria (tre ritzi come pilastri estremamente snelli)

Il vento esercita una leggera pressione modesta, P_f : azione del vento dovuta alla resistenza al moto parallelo rispetto alla superficie.

Come la normativa traduce questi due contributi di carico che l'azione del vento può indurre all'architettura
Pressione del vento P e azione tangente T

La normativa esprime questi carichi attraverso espressioni aritmetiche

Alcuni termini in comune

q_r : racconta della velocità del vento come se l'architettura non esistesse (pressione cinetica della particella d'aria che incontra un ostacolo)

c_e : sito di progetto complessivamente e altezza dell'edificio (effetti del sito di progetto, es: più salgo in quota e più la velocità del vento aumenta)

c_d : il vento è di per sé un'azione dinamica. Raffica di vento: variazione del vento in un lasso di tempo
La struttura dell'architettura potrebbe essere così deformabile che sotto l'azione del vento si deformi, induca un'azione dinamica

Consideriamo il vento un'azione pseudostatica (azioni statiche maggiorate) la cui d sta per: trasforma azione intrinsecamente dinamica in pseudostatica

c_p e c_f : Forma dell'architettura (il carico da vento dipende dalla forma dell'architettura)

Ordini di grandezza per un sito di progetto a Torino, pianeggiante e con ostacoli come alberi, edifici di un'altezza media dell'ordine degli 8 metri

Edificio prisma con profondità di manica d e altezza h

1,220 kg a metro cubo : densità

Nota storica: Primo misuratore di velocità del vento a Torino dopo il temporale che indusse il crollo della guglia della Mole Antonelliana

La velocità di riferimento di progetto: 25m/s quindi 90km/h (progettiamo nella prospettiva di un vento che potrà avere luogo nei prossimi 50 anni)

Pressione di riferimento pari circa a 400N a metro quadro

Coefficiente di esposizione: 1,6 circa che moltiplica la pressione cinetica di riferimento

Coefficiente dinamico 1: costruiamo edifici così poco alti e lunghi che non oscillano

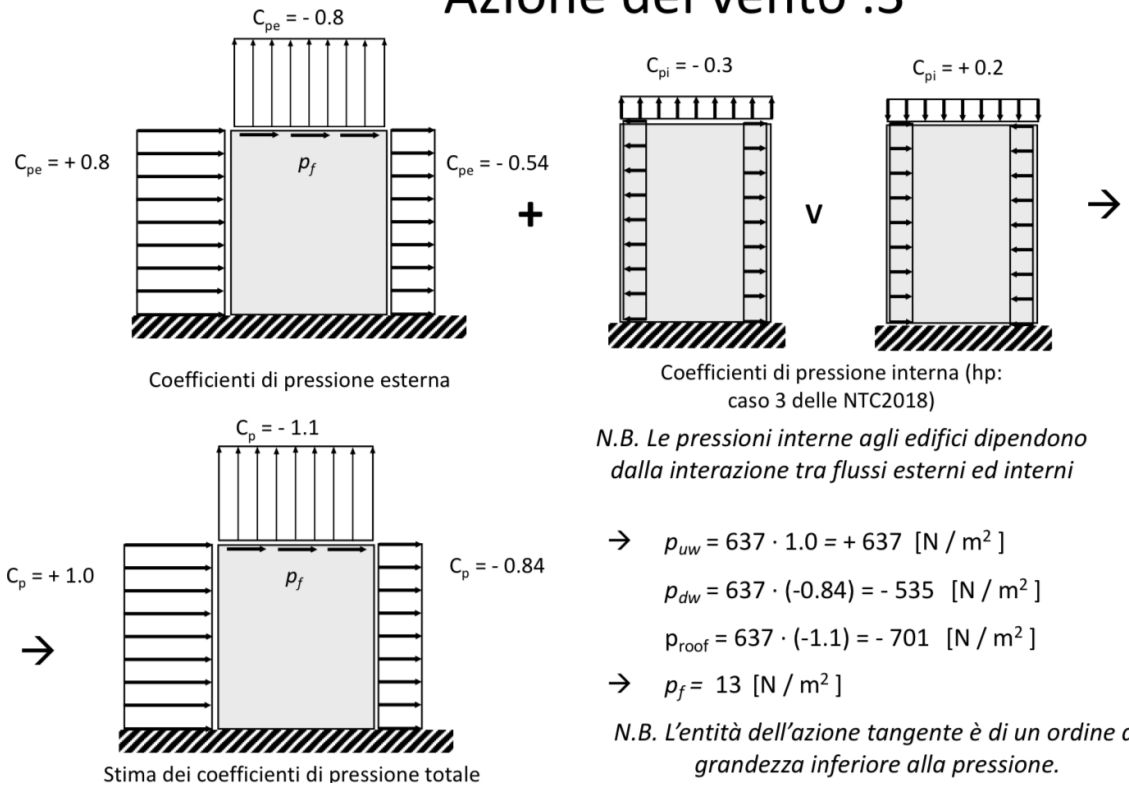
Pressione del vento 637 N a metro quadro (manca ancora c_p , il coefficiente che racconta la forma dell'edificio)

Azione tangente 13 N a metro quadro

Il coefficiente di pressione ci fornisce una misura statistica del numero di particelle della perdita di energia cinetica delle particelle che sono nell'intorno della parete dell'edificio.

c_p : dell'energia cinetica, quanta viene ceduta in termini di pressione sull'edificio?

AZIONE DEL VENTO .3



C'è un c_p differente per ogni parete d'ambito (verticale o superficie che divide ambiente interno ed esterno) della mia architettura.

Consideriamo le particelle che "sbattono" contro la superficie esterna dell'edificio (coefficiente di pressione esterna)

Parete d'ambito verticale sopravvento (segue il vento) e altra parete sottovento

- Consideriamo parete sopravvento: Cosa vuol dire $c_p: +0,8$ In media, quando le particelle del vento investono quella faccia, stanno perdendo l'80% della loro energia cinetica che diventa pressione
- Consideriamo parete superiore: Cosa vuol dire $c_p: -0,8$, le particelle stanno "rubando" pressione alla parete, in notevole depressione. Le particelle stanno guadagnando tanta energia cinetica.
- Consideriamo parete sottovento: Anche la parete sottovento è in depressione, perché le particelle viaggiano con velocità maggiore di quella incidente

Moto del vento all'interno dell'architettura:

Il vento sta fuori solo se i proprietari mantengono finestre chiuse e se sono perfettamente stagne

La normativa dice: a questo coefficiente di pressione esterno devi aggiungere un coefficiente interno

Due alternative:

Superficie interna tutta in depressione (sinistra) oppure che tutte le superfici interne siano in pressione (destra)

Consideriamo quello che sommato al coefficiente di pressione esterna rende massimo il modulo della pressione netta (totale interna ed esterna)

La pressione esterna è più o meno nota, quella interna è un pasticcio. Prendo caso migliore e peggiore interna, e li sommo alla pressione nota (esterna) e per ogni parete considero quella che ottimizza la pressione arrivando ad una stima dei coefficienti di pressione totale.

Commenti:

- Qual è ordine di grandezza della pressione del vento su una parete verticale di un edificio progettato a Torino? 60kg a metro quadro
- Per questa architettura, con pareti opache, è più importante la pressione (p_f è influente nel progetto di architettura)
- Se valuto la forza risultante della pressione agente su tetto piano, ho una forza verticale rivolta su tetto piano. Forza verticale perché ho progettato un tetto orizzontale

Dobbiamo preoccuparci dei 70 N/m² ? Dipende

L'azione del vento è variabile, che sicuramente si dovrà combinare con azione permanente (peso proprio strutture + carichi permanenti)

Per stimare il carico trasmesso ai controventi, dobbiamo seguire l'azione del vento da dove è applicata fino all'ostacolo.

Il percorso delle forze segue una gerarchia strutturale



Esempio

5 piani fuori terra dotati di 4 interpiani di altezze diverse

Il normatore ci fornisce il carico q indicato con prismi viola (pressione che agisce sulla superficie della parete verticale d'ambito) (travi di bordo superiore e inferiore di ogni solaio)

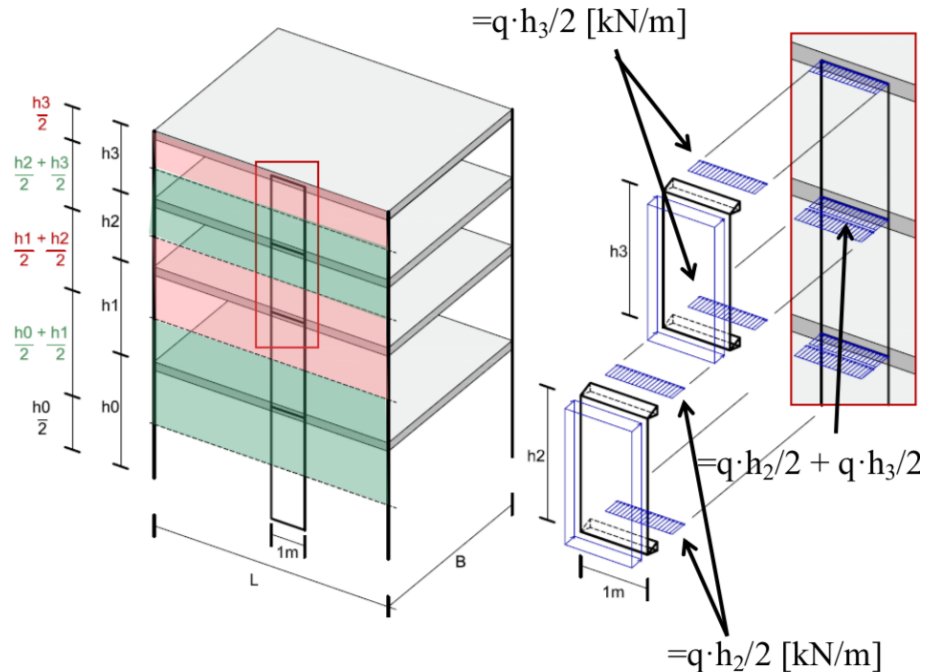
Carico interpiani a cui è soggetta la travedi bordo del solaio (un wind), 3: altezza di interpiano

Stessa valutazione anche per la parete sottovento (down wind)

Carico risultante globale

Il 4,5 fa riferimento ai quattro piani e mezzo (il solaio superiore sarà soggetto ad una forza $F/2$ a differenza degli altri, invece soggetti a forza F)

- 1) Calcolo carico q [kN/m²]
- 2) Calcolo dell'altezza di competenza h_c [m] per ogni solaio, pari alla somma dei due semi-interpiani superiore ed inferiore;
- 3) Calcolo del carico per unità di lunghezza sulla trave di bordo per ogni solaio $q_n = q \cdot h_c$ [kN/m]
- 4) Calcolo del carico complessivo sul solaio $Q_n = q_n \cdot L$ [kN]
- 5) Calcolo del taglio alla base $Q = \sum Q_n$ [kN]



$$h = 15 \text{ [m]}$$

$$d = 8 \text{ [m]}$$

$b = 20 \text{ [m]}$ (profondità in pianta)

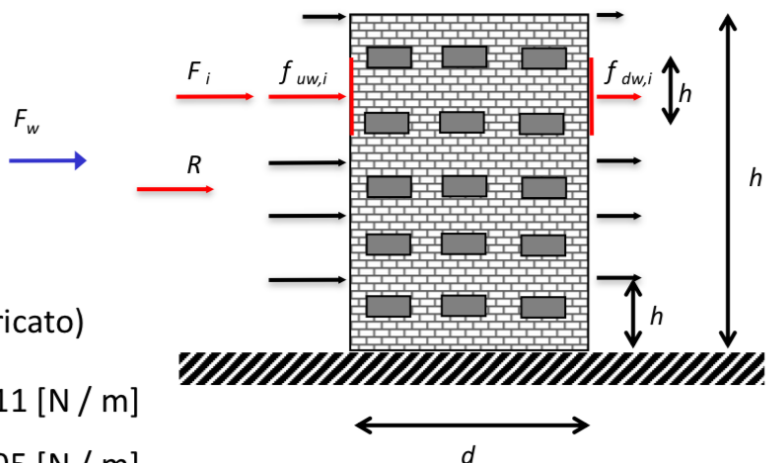
Altezza di interpiano $h = 3$ [m]

Carichi di interpiano a metro

(in direzione della profondità del fabbricato)

$$\rightarrow f_{uw,i} = 637 \text{ [N / m}^2\text{]} \cdot 3 \text{ [m]} = 1911 \text{ [N / m]}$$

$$\rightarrow f_{dw,i} = 535 \text{ [N / m}^2\text{]} \cdot 3 \text{ [m]} = 1605 \text{ [N / m]}$$



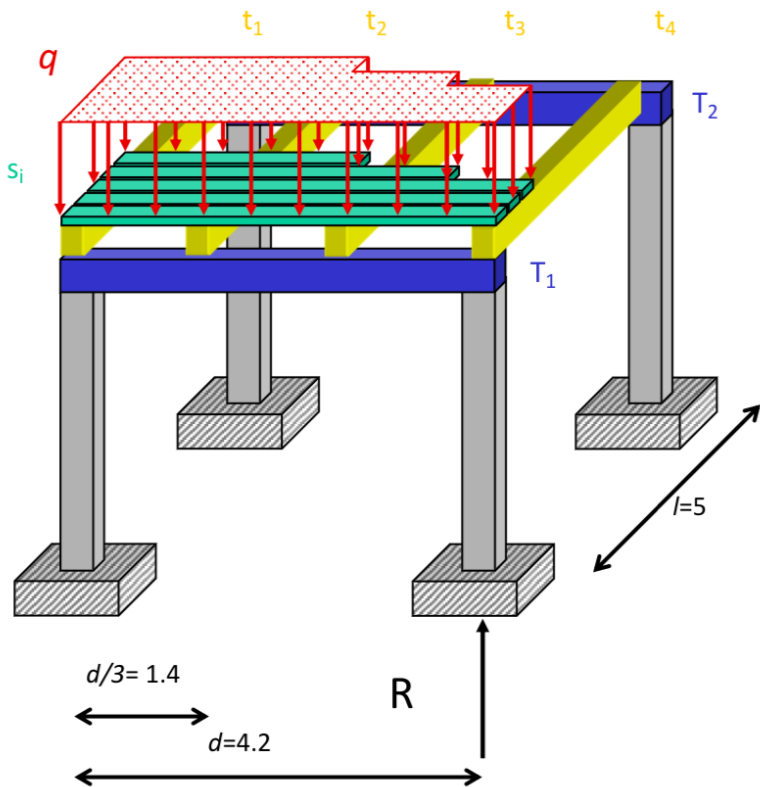
Carico risultante di interpiano

$$\rightarrow F_i = (1911 + 1605) \text{ [N / m]} \cdot 20 \text{ [m]} = 70320 \text{ [N]} \approx 7.0 \text{ tonnellate}$$

Carico risultante globale

$$\rightarrow R \sim 7.0 \text{ [t]} \cdot 4.5 = 31.5 \text{ tonnellate}$$

Analisi dei carichi: un'applicazione
Orizzontamento in legno ente ad uso residenziale)



Edificio monopiano a manica semplice e a singola campata, composto da 4 plinti, e 4 pilastri che spiccano dai plinti sui quali sono appoggiate travi primarie (blu) altre secondarie (in giallo) sui quali è poggiato un solaio, tavolato ligneo (verde) e su questo orizzontamento ci figuriamo che agisca un carico variabile q (oltre ai carichi permanenti).

In questa descrizione dell'organismo strutturale abbiamo già fatto ricorso alla gerarchia degli elementi strutturali, salendo fino agli elementi secondari

Larghezza di manica l , lunghezza campata d , interasse capate $d/3$

T: travi primarie

t: travi secondarie

s: solaio

Linea tratteggiata che delinea ingombro massimo dell'orizzontamento

4 pilastri, sui vertici

Travi principali, 4 travi secondarie, linee asse di ogni tavola

La gerarchia strutturale procede dal tavolato fino al solaio

Fra questi elementi strutturali, quello direttamente interessato dal carico variabile è il tavolato

Immaginando di voler procedere ad un'analisi quantitativa

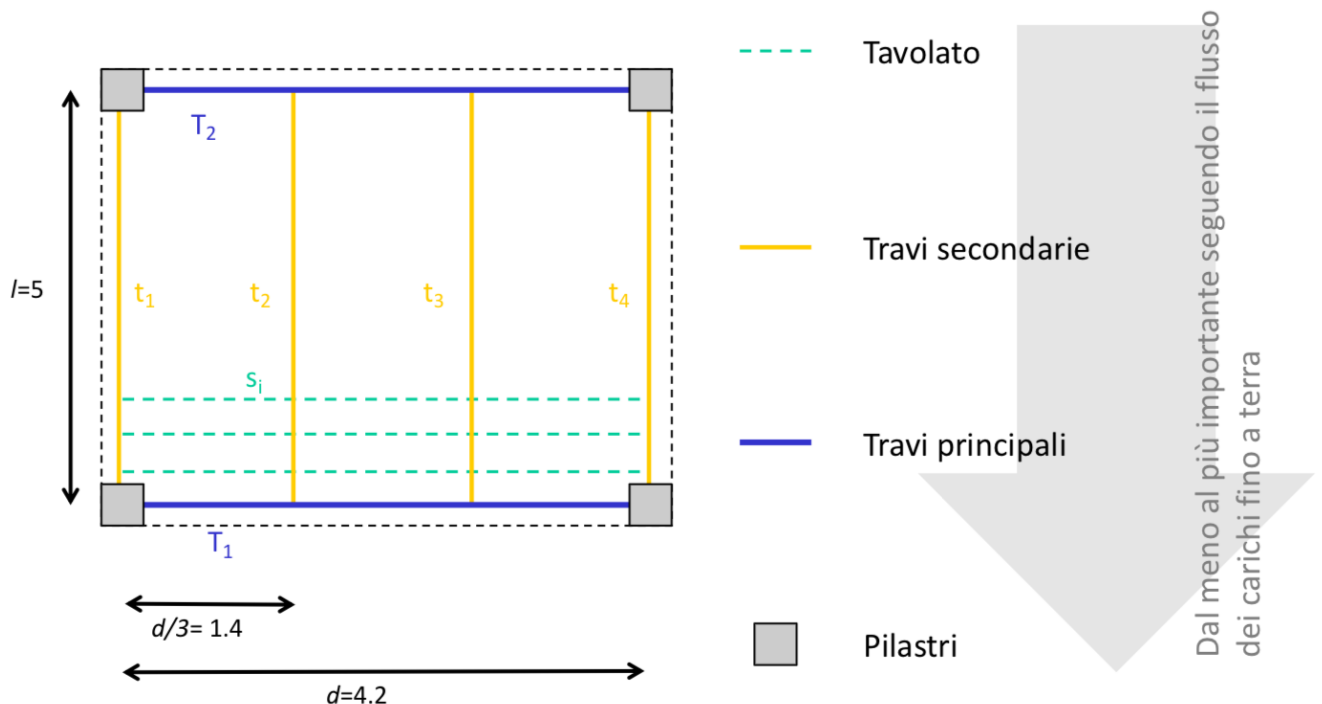
dell'equilibrio di ogni elemento strutturale, da quale partiamo?

Qual è il primo dei 3 per i quali saremmo in grado di formulare uno schema statico di riferimento? Il tavolato

La gerarchia strutturale

La gerarchia degli elementi strutturali combinata con l'equilibrio, ci consente di capire come i carichi direttamente applicati si riapplicano sugli elementi strutturali non direttamente applicati.

Nel calcolo del peso proprio del tavolato, considero solo l'altezza 3cm perchè lo immaginiamo come una superficie piana (non considero la larghezza di 20cm) e quindi al metro quadrato.



Come valutiamo i pesi propri degli elementi strutturali? Ne conosciamo la lunghezza, ma dobbiamo conoscere dimensioni delle sezioni trasversali e i materiali (legno).

Come valutiamo i carichi permanenti? La normativa ci fornisce del peso specifico del legno (6kN/m^3) Dobbiamo moltiplicarlo per la dimensione dell'elemento strutturale che non consideriamo più (attenzione alle equivalenze)

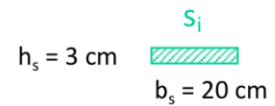
Analisi dei carichi

Pesi propri elementi strutturali:

s Tavolato

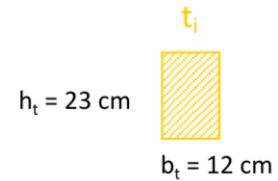
$$pp_s = 6 \text{ kN/m}^3 * 0.03 \text{ m} = 180 \text{ N/m}^2$$

Peso specifico del legno



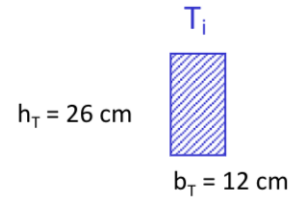
t Travi secondarie

$$pp_t = 6 \text{ kN/m}^3 * 0.23 \text{ m} * 0.12 \text{ m} = 165 \text{ N/m}$$



T Travi principali

$$pp_T = 6 \text{ kN/m}^3 * 0.26 \text{ m} * 0.12 \text{ m} = 187 \text{ N/m}$$

Carichi variabili:

$$q = 2 \text{ kN/m}^2$$

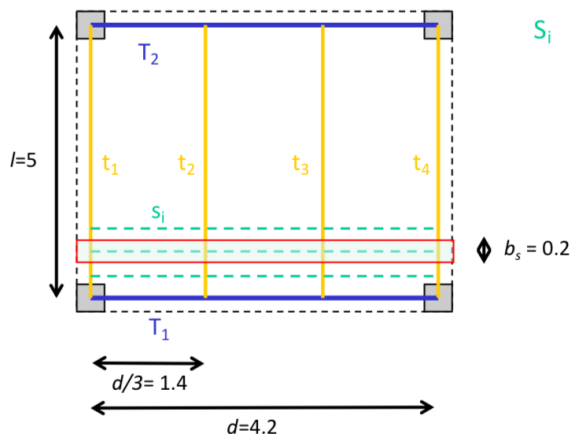
Dobbiamo ricondurre gli elementi ad uno schema statico piano (che sappiamo calcolare)

Considero il piano verticale che passa per la linea d'asse della tavola. Quando il piano verticale taglia la tavola vediamo una linea (tavolato ridotto ad una dimensione) l'altra dimensione e quella del carico verticale. Idealmente ho concentrato tutta la tavola in una linea. Devo fare la stessa cosa per il carico, distribuito su tutta la tavola, quindi lo devo "raccolgere" sulla linea media d'asse.

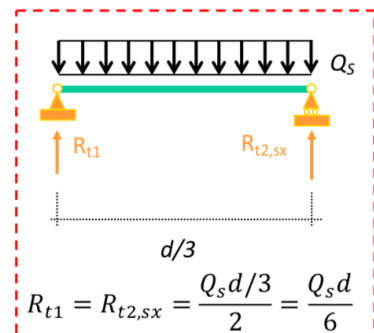
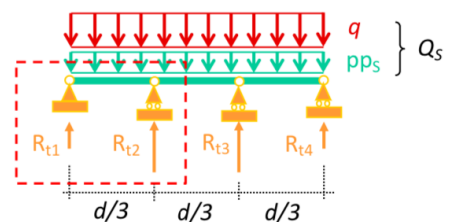
Considero i carichi spalmati sulla superficie del tavolato (il suo peso proprio + q) e li moltiplico per la larghezza della tavola (bs: 20cm)

Il carico ottenuto può essere applicato sul nuovo schema statico piano (che sappiamo analizzare)

Qs: carico che riporto nel mio schema statico (ho ridotto la tavolata, disponendola sul piano medio verticale)

Schema statico tavolato

S_i Successione di 3 travi in semplice appoggio sulle travi secondarie sottostanti



$$Q_s = (pp_s + q) \cdot b_s = \left(\frac{[N]}{[m]^2} + \frac{[N]}{[m]^2} \right) \cdot [m] = 436 \frac{[N]}{[m]}$$

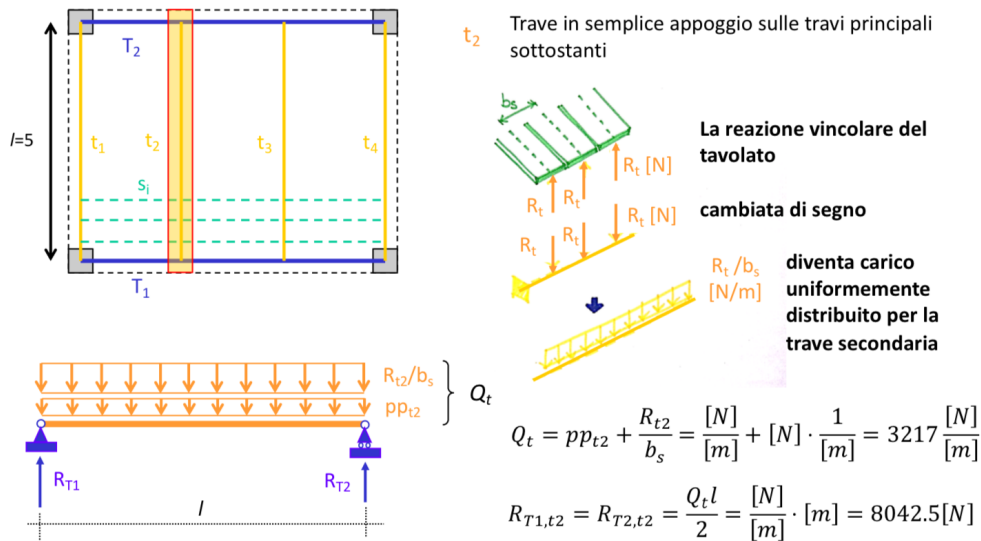
$$R_{t1} = R_{t4} = \frac{Q_s d}{6} = \frac{[N]}{[m]} \cdot [m] = 305.2 [N]$$

$$R_{t2} = R_{t3} = 2R_{t1} = 610.4 [N]$$

$$R_{t1} = R_{t2,ss} = \frac{Q_s d/3}{2} = \frac{Q_s d}{6}$$

Consideriamo trave secondaria della campata t2

Schema statico trave secondaria t₂



Esercizio per l'allievo: calcolare le reazioni delle travi di bordo t₁ e t₄ (risultato $R_{T1,t1} = R_{T1,t4} = 4227.5 [N]$)

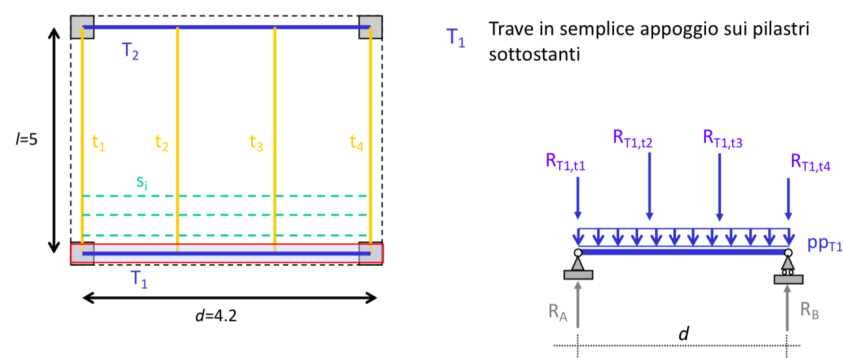
Trasformo le reazioni vincolari concentrate come carico uniformemente distribuito (le reazioni vincolari del tavolato le cambio di segno e diventerà il carico uniformemente distribuito per la trave secondaria R_t/b_s : perché prima avevamo ridotto il tavolato ad una linea, con lo schema statico semplificato. Se riportiamo il carico alle travi secondarie, non possiamo considerare il carico come un punto distribuito su una linea, ma lo "spalmo" sulla superficie)

Qt: carico che grava sulla trave secondaria

Calcolare le reazioni vincolari delle travi di bordo t₁ e t₄ (travi di bordo, metà modulo rispetto a quelle centrali t₂ e t₃)

Schema statico trave principale

Schema statico trave principale T₁



Le reazioni vincolari delle travi secondarie cambiate di segno diventano carichi concentrati per la trave principale.

Lo schema di carico della trave principale risulta in questo caso simmetrico e pertanto $R_A = R_B = R$

$$R = \frac{R_{T1,t1} + R_{T1,t2} + R_{T1,t2} + R_{T1,t3} + pp_{T1} \cdot d}{2} =$$

$$= [N] + [N] + [N] + [N] + \frac{[N]}{[m]} \cdot [m] =$$

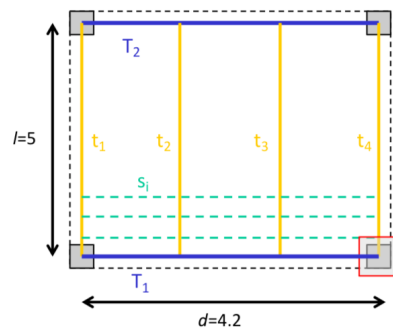
$$= 12662.7 [N]$$

Vincolata dai pilastri (cerniera e carrello)

Ottingo carico che agirà in testa a pilastro (forza R): abbiamo imposto 3 volte l'equilibrio

4 (pilastri) moltiplicato per R: carico totale

Schema statico pilastro



Mensola incastrata al piede



La reazione vincolare della trave principali cambiata di segno diventa carico concentrato sul pilastro

Verifica:

la somma delle quattro reazioni dei ritti deve equilibrare il carico totale dato da quello variabile sulla superficie di calpestio e dai pesi propri degli elementi strutturali (tavolato, travi secondarie, travi principali)

$$\begin{aligned}
 & (q + pp_s) \cdot A_{tot} + 4 \cdot pp_t \cdot l + 2 \cdot pp_T \cdot d = \\
 & = (2000 + 180) \cdot 21 + 4 \cdot 165 \cdot 5 + 2 \cdot 187 \cdot 4.2 = \\
 & = 50650.8[N] = \\
 & = 4 \cdot R = 50650.8[N]
 \end{aligned}$$