

# Lezione

TECNICA DELLE COSTRUZIONI

*Prof. Pier Paolo Rossi*

*Università degli Studi di Catania*

AZIONI

# Azioni sulle costruzioni

## Classificazione

Un modello completo di una azione  
descrive diverse proprietà di una azione:

- intensità
- posizione
- direzione
- durata
- interazione tra le azioni e la risposta della struttura

# Azioni sulle costruzioni

## Classificazione

Lo scopo della classificazione è di identificare le caratteristiche simili o dissimili delle varie azioni e consentire l'uso di appropriati modelli teorici nella progettazione strutturale.

Le normative, generalmente, classificano le azioni in base a:

- 1. modo di esplicarsi**
- 2. risposta strutturale**
- 3. variazione della loro intensità nel tempo**

# Azioni sulle costruzioni

1

Classificazione delle azioni in base al modo di esplicarsi

## a) *dirette*

forze concentrate, carichi distribuiti, fissi o mobili;

## b) *indirette*

spostamenti impressi, variazioni di temperatura e di umidità, ritiro, precompressione, cedimenti di vincolo, ecc.

## c) *degrado*

- endogeno: alterazione naturale del materiale di cui è composta l'opera strutturale;
- esogeno: alterazione delle caratteristiche dei materiali costituenti l'opera strutturale, a seguito di agenti esterni.

# Azioni sulle costruzioni

Classificazione delle azioni secondo la risposta strutturale

2

## a) *statiche*

azioni applicate alla struttura che non provocano accelerazioni significative della stessa o di alcune sue parti;

## b) *pseudo statiche*

azioni dinamiche rappresentabili mediante un'azione statica equivalente;

## c) *dinamiche*

azioni che causano significative accelerazioni della struttura o dei suoi componenti.

# Azioni sulle costruzioni

## Classificazione secondo la variazione nel tempo

### a) *permanenti* ( G ):

azioni che agiscono durante la vita nominale della costruzione la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:

- peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) ( G1 );
- peso proprio di tutti gli elementi non strutturali ( G2 );
- spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;
- pretensione e precompressione ( P );
- ritiro e viscosità;
- spostamenti differenziali;

# Azioni sulle costruzioni

Classificazione secondo la variazione nel tempo

b) ***variabili*** (Q):

azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:

- di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
- di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;

# Azioni sulle costruzioni

Classificazione secondo la variazione nel tempo

## c) *eccezionali* (A):

azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura;

- incendi;
- esplosioni;
- urti ed impatti;

## d) *sismiche* (E):

azioni derivanti dai terremoti.

# Caratterizzazione delle azioni

## Valore caratteristico

Il più importante valore rappresentativo di un'azione è il valore caratteristico  $F_k$

In funzione dei dati disponibili e dell'esperienza, il valore caratteristico deve essere specificato nella normativa come :

- una media
- un valore superiore o inferiore
- un valore nominale  
(che non si riferisce ad alcuna distribuzione statistica).

**Nota:** la qualifica di “valore nominale” designa un valore che non è dato nella norma o in un regolamento, o anche nelle specifiche di progetto per una costruzione in particolare, perché non è stato possibile determinare un valore caratteristico da dati statistici. Ciò capita spesso per le azioni associate alle situazioni di progetto eccezionali.

# Caratterizzazione delle azioni permanenti

## Valore caratteristico

Se la variabilità di un'azione permanente è piccola, può essere usato un singolo valore caratteristico, preso come valore medio.

La variabilità può normalmente essere assunta come piccola se il coefficiente di variazione nel corso della vita di progetto non è maggiore di 0.05-0.10.

Se la variabilità di un'azione permanente non è piccola, devono essere usati due valori: un valore superiore ed un valore inferiore.

In questo caso devono essere usati i valori  $G_{k,inf}$  e  $G_{k,sup}$  corrispondenti ai frattili 0.05 e 0.95. Se si adotta una funzione densità di probabilità di tipo Gaussiano questi valori possono essere ricavati dalle relazioni

$$G_{k,inf} = \mu_G - 1.645 \sigma_G$$

$$G_{k,sup} = \mu_G + 1.645 \sigma_G$$

# Caratterizzazione dei pesi propri

## Valore caratteristico

Si ritiene che la variabilità del peso proprio di edifici comuni rientri nell'intervallo di valori 0.05-0.10.

In tali situazioni per il peso proprio può essere usato un singolo valore assunto come il valore medio, calcolato sulla base delle misure nominali e del valore medio del peso specifico.

# Caratterizzazione delle azioni variabili

## Valore caratteristico

Quando è possibile un trattamento statistico, il valore caratteristico corrisponde ad un valore con una certa probabilità di essere maggiorato o minorato durante un periodo di tempo di riferimento.

Pertanto,

il valore caratteristico di un'azione variabile dipende da:

- probabilità assegnata che tale valore sia minorato o maggiorato
- periodo di tempo di riferimento

# Caratterizzazione delle azioni variabili

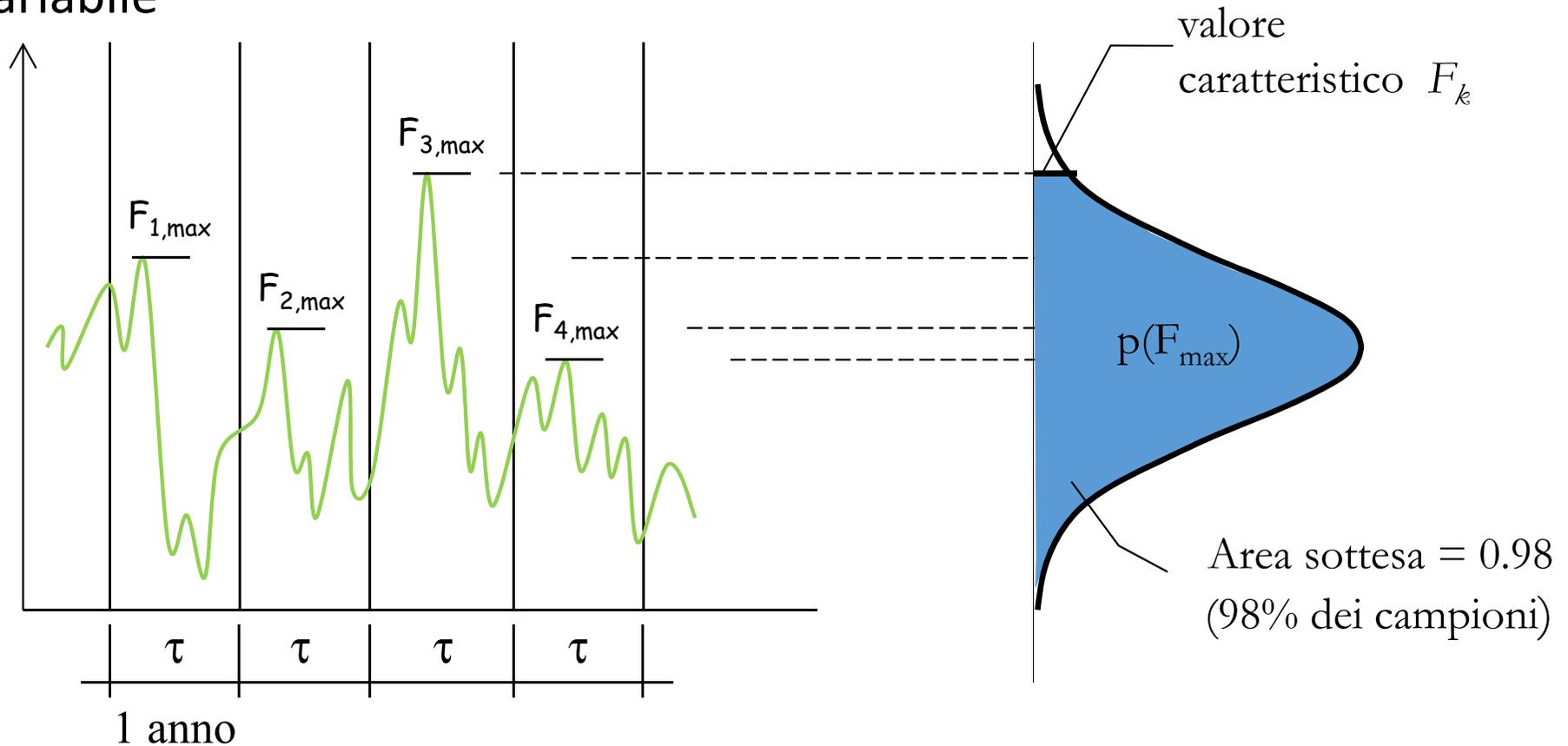
## Valore caratteristico

In generale, il valore caratteristico  $Q_k$  delle azioni climatiche e dei carichi imposti sui solai degli edifici per le situazioni di progetto persistenti è basato su una probabilità richiesta, che il valore non sia ecceduto, pari al 98% e su un periodo di riferimento di 1 anno.

# Caratterizzazione delle azioni variabili

## Valore caratteristico

Valore corrispondente ad un frattile pari al 98 % della popolazione dei massimi, in relazione al periodo di riferimento dell'azione variabile



# Caratterizzazione delle azioni variabili

## Valore caratteristico

La probabilità  $p$  che il valore caratteristico non sia ecceduto ed il periodo di riferimento  $\tau$  sono legati dalla relazione

$$T = \frac{\tau}{\ln(1-p)}$$

dove  $T$  è il periodo di ritorno del valore corrispondente alla probabilità  $p$ .

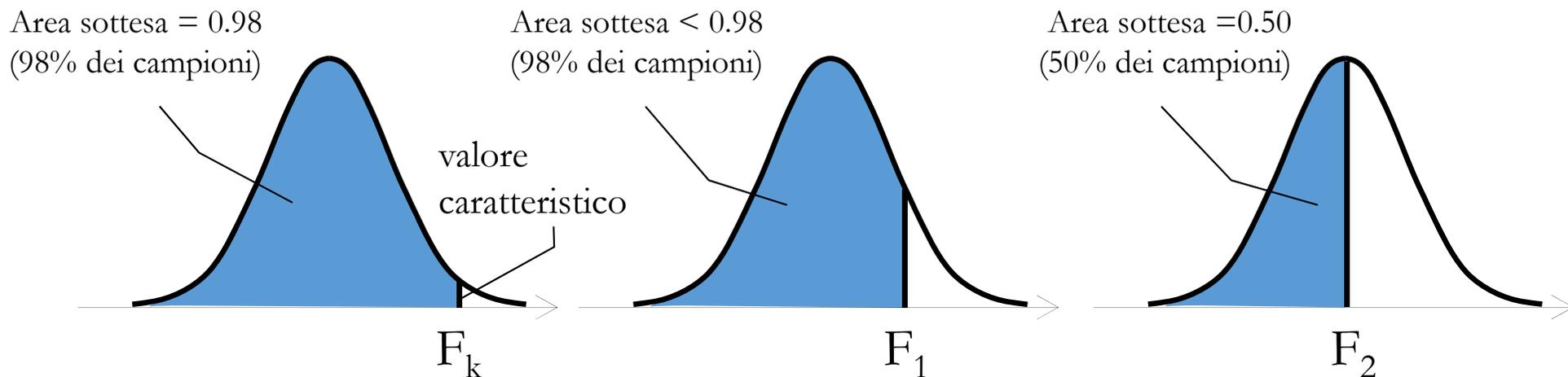
Per una probabilità  $p=0.02$  ed un periodo di riferimento di un anno, il periodo di ritorno del valore caratteristico è  $T=1/0.02 \cong 50$  anni.

# Caratterizzazione delle azioni

## Altri valori rappresentativi delle azioni

**Valori delle azioni variabili diversi dal valore caratteristico sono definiti al fine di :**

- Valutare l'intensità dei carichi variabili in situazioni di progetto che hanno differenti probabilità di verificarsi nel corso della vita utile della costruzione



# Caratterizzazione delle azioni

Altri valori rappresentativi delle azioni

***Valori delle azioni variabili diversi dal valore caratteristico sono definiti al fine di :***

- Valutare l'intensità dei carichi variabili in situazioni di progetto che vedono la concomitanza di più azioni variabili

Per comprendere tale ultima assunzione, consideriamo dei dadi .....

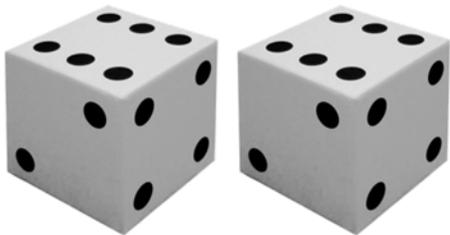
# Caratterizzazione delle azioni

## Altri valori rappresentativi delle azioni



*Se si considera un dado*

*la probabilità che esca uno dei numeri del dado, ad es. 4, è pari a .....  $1/6$  perché 6 sono le facce del dado*



*Se si considerano due dadi*

*la probabilità che esca una coppia di numeri, ad es. 4 (primo dado) e 6 (secondo dado), è pari a .....  $1/6 * 1/6 = 1/36$*

*Se si considerano  $n$  dadi*

*la probabilità che esca una  $n$ -pla di numeri è pari a .....  $1/6^n$*

Nota: ciò vale se gli eventi sono indipendenti  
(come nel caso dell'esito del lancio dei dadi...se non si bara)

# Caratterizzazione delle azioni

## Altri valori rappresentativi delle azioni



*Se si considerano due carichi variabili indipendenti su una terrazza (ad es. carico var. verticale e neve) e se ognuno di questi è rappresentato dal valore caratteristico,*

*la probabilità che entrambi i valori caratteristici siano ecceduti è pari al prodotto della probabilità che i singoli valori siano ecceduti*

$$P[Q_1 > Q_{1k}, Q_2 > Q_{2k}] = P[Q_1 > Q_{1k}] P[Q_2 > Q_{2k}]$$

Nota: tale probabilità è molto più piccola della probabilità di superamento della singola azione variabile

# Caratterizzazione delle azioni

## Altri valori rappresentativi delle azioni



*Per evitare che la probabilità di superamento di entrambi i valori assegnati dei carichi variabili scenda a valori estremamente piccoli*

*... è necessario aumentare la probabilità di superamento di almeno uno dei carichi, ovvero considerare per almeno uno dei due carichi un valore dell'intensità inferiore a quello caratteristico*

# Caratterizzazione delle azioni

## Altri valori rappresentativi delle azioni

### *Valori di azioni variabili corrispondenti a probabilità di superamento via via maggiori:*

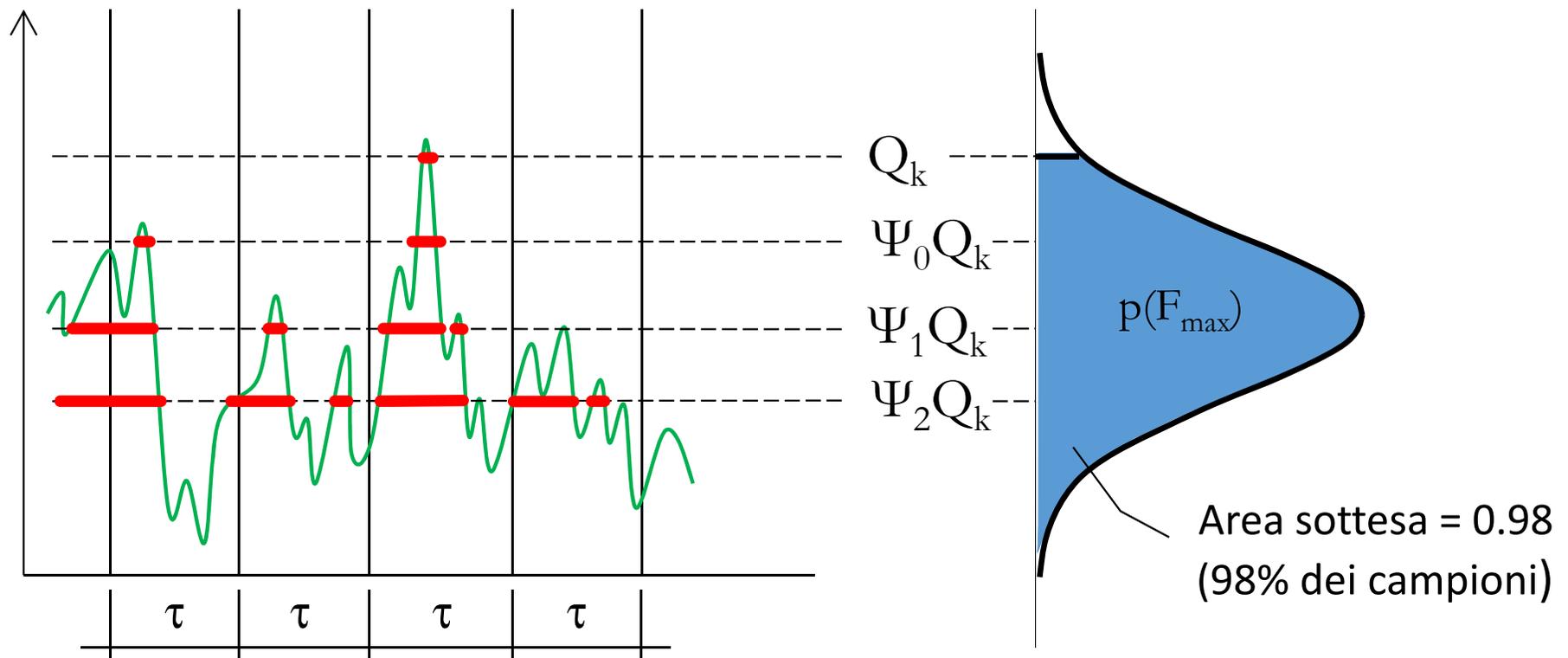
- Valore raro ( o di combinazione)  $\longrightarrow \Psi_0 Q_{kj}$   
valore di durata breve ma ancora significativa nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni variabili
- Valore frequente  $\longrightarrow \Psi_1 Q_{kj}$
- Valore quasi permanente  $\longrightarrow \Psi_2 Q_{kj}$

*e quindi .....*  $\Psi_0 \geq \Psi_1 \geq \Psi_2$

# Caratterizzazione delle azioni variabili

## Altri valori rappresentativi delle azioni

Nel passaggio dal valore caratteristico al valore quasi permanente aumenta la durata del periodo di riferimento in cui tale valore della forza è superato



# Coefficienti di combinazione

## Categoria/Azione variabile

Categoria A	Ambienti ad uso residenziale	0.7	0.5	0.3
Categoria B	Uffici	0.7	0.5	0.3
Categoria C	Ambienti suscettibili di affollamento	0.7	0.7	0.6
Categoria D	Ambienti ad uso commerciale	0.7	0.7	0.6
Categoria E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti uso industr.	1.0	0.9	0.8
Categoria F	Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0.7	0.7	0.6
Categoria G	Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0.7	0.5	0.3
Categoria H	Coperture	0.0	0.0	0.0
Vento		0.6	0.2	0.0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)		0.5	0.2	0.0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)		0.7	0.5	0.2
Variazioni termiche		0.6	0.5	0.0

Esempi di azioni permanenti e  
variabili da carichi verticali

# Azioni sulle costruzioni

## Pesi dell'unità di volume dei principali materiali strutturali

MATERIALI	kN/m <sup>3</sup>
<b><u>Calcestruzzi cementizi e malte</u></b>	
Calcestruzzo ordinario	24,0
Calcestruzzo armato (e/o precompresso)	25,0
Calcestruzzi “leggeri”: da determinarsi caso per caso	14,0 ÷ 20,0
Calcestruzzi “pesanti”: da determinarsi caso per caso	28,0 ÷ 50,0
Malta di calce	18,0
Malta di cemento	21,0
Calce in polvere	10,0
Cemento in polvere	14,0
Sabbia	17,0
<b><u>Metalli e leghe</u></b>	
Acciaio	78,5
Ghisa	72,5
Alluminio	27,0

MATERIALI	kN/m <sup>3</sup>
<b><u>Materiale lapideo</u></b>	
Tufo vulcanico	17,0
Calcere compatto	26,0
Calcere tenero	22,0
Gesso	13,0
Granito	27,0
Laterizio (pieno)	18,0
<b><u>Legnami</u></b>	
Conifere e pioppo	4,0 ÷ 6,0
Latifoglie (escluso pioppo)	6,0 ÷ 8,0
<b><u>Sostanze varie</u></b>	
Carta	10,0
Vetro	25,0
Per materiali non compresi nella tabella si potrà far riferimento a specifiche indagini sperimentali o a normative di comprovata validità assumendo i valori nominali come valori caratteristici.	

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi permanenti non strutturali

Per gli orizzontamenti degli edifici per abitazioni e uffici, il peso proprio di elementi divisori interni potrà essere ragguagliato ad un carico permanente portato uniformemente distribuito  $g_{2k}$ , purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico. Il carico uniformemente distribuito  $g_{2k}$  ora definito dipende dal peso proprio per unità di lunghezza  $G_{2k}$  delle partizioni nel modo seguente:

- per elementi divisori con	$G_{2k} \leq 1,00$ kN/m	$g_{2k} = 0,40$ kN/m <sup>2</sup>
- per elementi divisori con	$1,00 < G_{2k} \leq 2,00$ kN/m	$g_{2k} = 0,80$ kN/m <sup>2</sup>
- per elementi divisori con	$2,00 < G_{2k} \leq 3,00$ kN/m	$g_{2k} = 1,20$ kN/m <sup>2</sup>
- per elementi divisori con	$3,00 < G_{2k} \leq 4,00$ kN/m	$g_{2k} = 1,60$ kN/m <sup>2</sup>
- per elementi divisori con	$4,00 < G_{2k} \leq 5,00$ kN/m	$g_{2k} = 2,00$ kN/m <sup>2</sup>

Elementi divisori interni con peso proprio maggiore devono essere considerati in fase di progettazione tenendo conto del loro effettivo posizionamento sul solaio.

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi permanenti non strutturali

### Esempio elementi divisori interni

Mattoni Forati

$$0.08\text{m} \times 3.0\text{m} \times 6.0 \text{ kN/m}^3$$

Intonaco

$$0.02\text{m} \times 3.0\text{m} \times 18.0 \text{ kN/m}^3$$

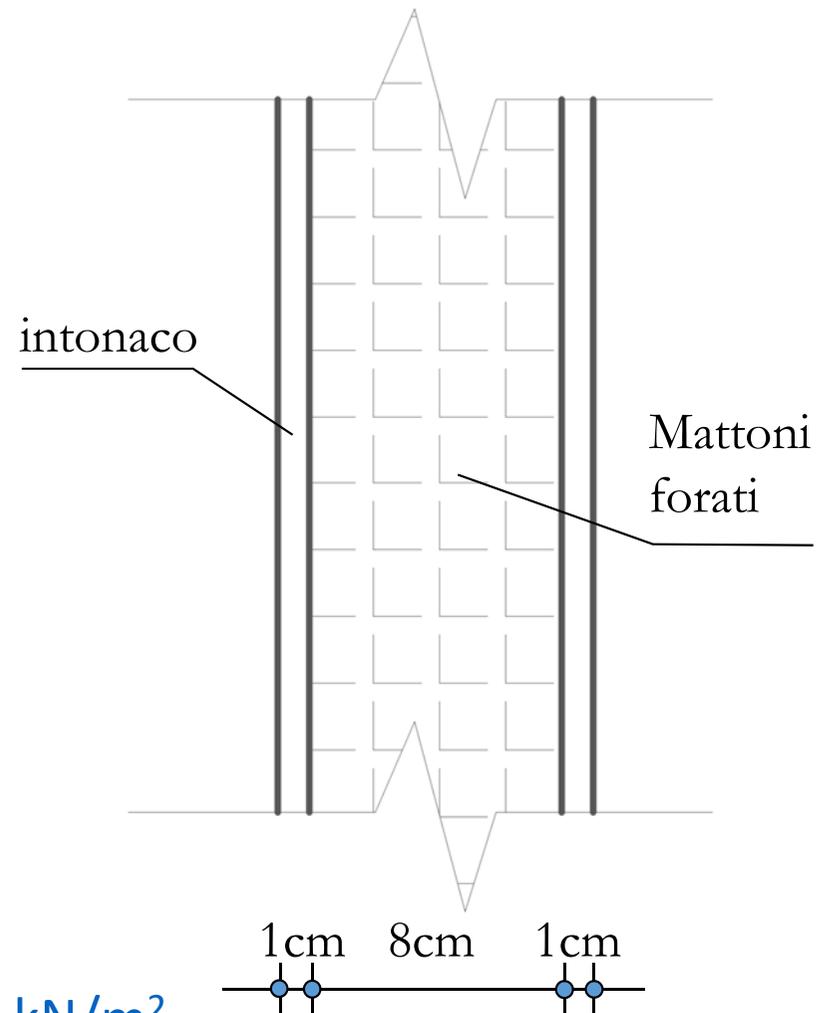
Totale

$$G_{2k} = 2.52 \text{ kN/m}$$

per elementi divisori con

$$2.00 < G_{2k} \leq 3.00 \text{ kN/m}$$

$$g_{2k} = 1.20 \text{ kN/m}^2$$



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi permanenti non strutturali

### Esempio elementi divisori interni

Mattoni Forati

$$0.08\text{m} \times 3.0\text{m} \times 6.0 \text{ kN/m}^3$$

Intonaco

$$0.04\text{m} \times 3.0\text{m} \times 18.0 \text{ kN/m}^3$$

---

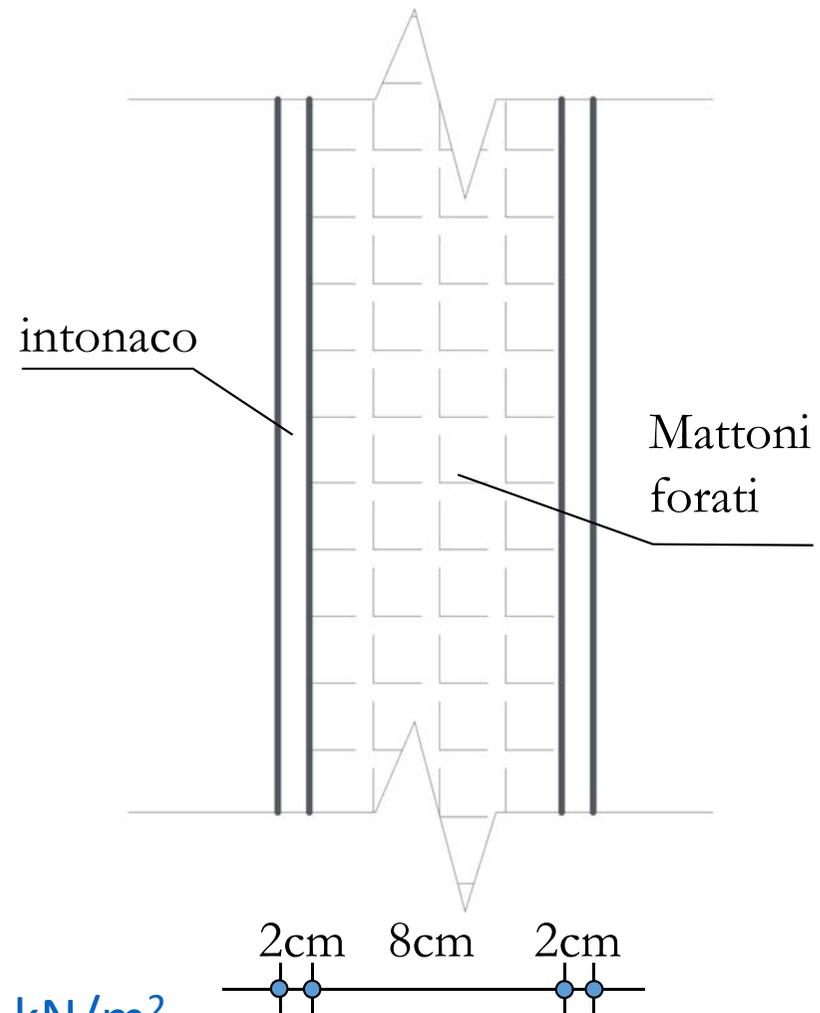
Totale

$$G_{2k} = 3.6 \text{ kN/m}$$

per elementi divisori con

$$3.00 < G_{2k} \leq 4.00 \text{ kN/m}$$

$$g_{2k} = 1.60 \text{ kN/m}^2$$



# Azioni sulle costruzioni

Carichi permanenti non strutturali

## Esempio tompagno

Mattoni Forati Esterni

0.12m x 3.0m x 6.0 kN/m<sup>3</sup>

Mattoni Forati Interni

0.08m x 3.0m x 6.0 kN/m<sup>3</sup>

Intonaco (esterno + interno)

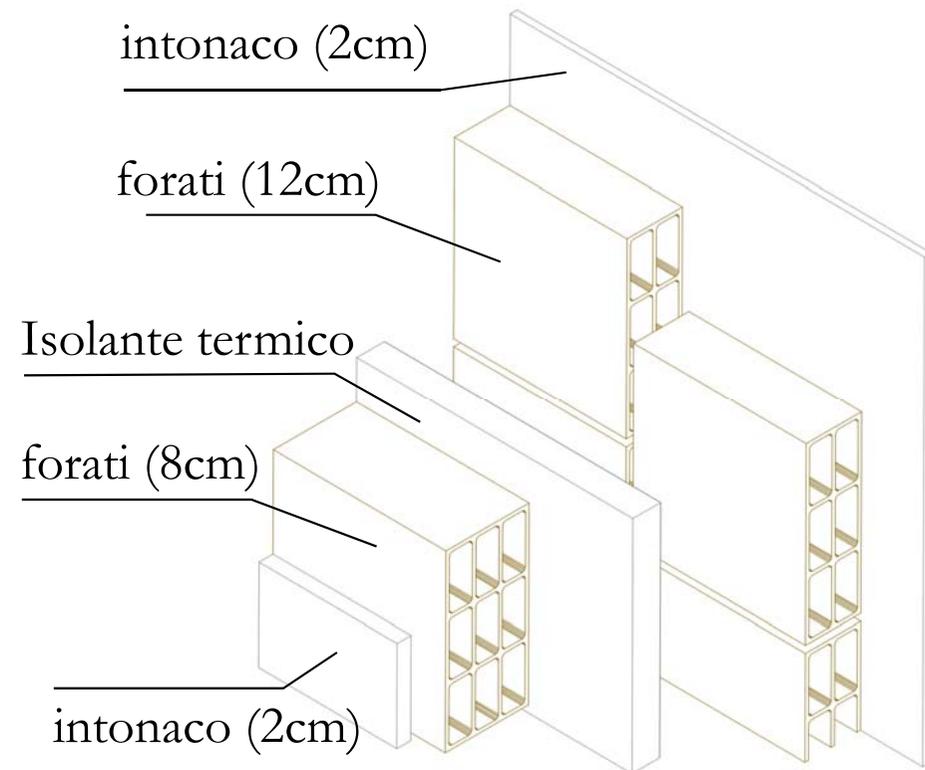
0.04m x 3.0m x 18.0 kN/m<sup>3</sup>

Isolante termico, barriera al vapore

---

Totale

$G_{2k} = 5.76 \text{ kN/m}$



Considerare il carico  
nella sua effettiva posizione

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi variabili

Carichi orizzontali lineari

Carichi verticali concentrati

Carichi verticali uniformemente ripartiti

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
A	<b>Ambienti ad uso residenziale.</b> Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2.00	2.00	1.00
B	<b>Uffici</b> 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
C	<b>Ambienti suscettibili di affollamento</b> Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole	3.00	2.00	1.00
	Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi	4.00	4.00	2.00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport etc.	5.00	5.00	3.00

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi variabili

Carichi orizzontali lineari  
Carichi verticali concentrati  
Carichi verticali uniformemente ripartiti

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
D	<b>Ambienti ad uso commerciale.</b> Cat. D1 Negozi	4.00	4.00	2.00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini librerie...	5.00	5.00	2.00
E	<b>Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.</b> Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6.00	6.00	1.00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	---	---	---
F-G	<b>Rimesse e parcheggi.</b> Cat. F Rimesse e parcheggi automezzi di peso a pieno	2.50	2*10.00	1.00**
	Cat. G Rimesse e parcheggi per automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: 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

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi variabili

Carichi orizzontali lineari  
Carichi verticali concentrati  
Carichi verticali uniformemente ripartiti

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
H	<b>Coperture e sottotetti</b>			
	Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione	0.50	1.20	1.00
	Cat. H2 Coperture praticabili	Secondo categoria di appartenenza		
	Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	----	----	----

# Combinazioni di azioni

# Combinazione delle azioni

---

1

## Combinazione fondamentale

generalmente impiegata per gli stati limite ultimi

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\Psi_{02}Q_{k2} + \gamma_{Q3}\Psi_{03}Q_{k3} + \dots$$

2

## Combinazione caratteristica rara

generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio irreversibili

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \Psi_{02}Q_{k2} + \Psi_{03}Q_{k3} + \dots$$

3

## Combinazione frequente

generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio reversibili

$$G_1 + G_2 + P + \Psi_{11}Q_{k1} + \Psi_{22}Q_{k2} + \Psi_{23}Q_{k3} + \dots$$

4

## Combinazione quasi permanente

impiegata per gli effetti a lungo termine

$$G_1 + G_2 + P + \Psi_{21}Q_{k1} + \Psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

# Combinazione delle azioni

---

5

## Combinazione sismica

impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

# Combinazione delle azioni

---

6

## **Combinazione eccezionale**

impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi  
alle azioni eccezionali di progetto  $A_d$

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

# Caratterizzazione delle azioni variabili

## Altri valori rappresentativi delle azioni

Il valore di combinazione  $\Psi_0 Q_k$  è associato alla combinazione delle azioni per gli stati limite ultimi e agli stati limite di servizio irreversibili,

al fine di poter tenere in conto la probabilità ridotta che alcune azioni indipendenti presentino contemporaneamente il loro valore caratteristico

Il valore frequente  $\Psi_1 Q_k$  è principalmente associato alla combinazione frequente negli stati limite di esercizio.

Il valore frequente di un'azione variabile è determinato in modo tale che il tempo totale all'interno di un periodo di tempo predeterminato, durante il quale è  $Q > \Psi_1 Q_k$ , sia solo una specificata (piccola) parte di quel periodo o in modo che la frequenza dell'evento  $Q > \Psi_1 Q_k$  sia limitata ad un certo valore.

# Caratterizzazione delle azioni variabili

## Altri valori rappresentativi delle azioni

Il valore quasi permanente  $\Psi_2 Q_k$  è associato principalmente a combinazioni delle azioni di lungo periodo. Esso è, tuttavia, utilizzato anche nelle combinazioni eccezionali e simiche.

Il valore quasi permanente è definito così che il tempo totale durante il quale è ecceduto all'interno di uno specifico periodo di tempo, ovvero durante il quale è  $Q > \Psi_2 Q_k$ , sia una parte considerevole (0.5) del periodo prescelto. Per qualche tipo di azione il coefficiente  $\Psi_2$  può anche essere molto piccolo.

# Coefficienti parziali delle azioni

			EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0.90	1.00	1.00
	sfavorevoli		1.10	1.30	1.00
Carichi permanenti non strutturali*	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0.80	0.80	0.80
	sfavorevoli		1.50	1.50	1.30
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_Q$	0.00	0.00	0.00
	sfavorevoli		1.50	1.50	1.30
* Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti					

Stato limite di equilibrio come corpo rigido

EQU

Stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione

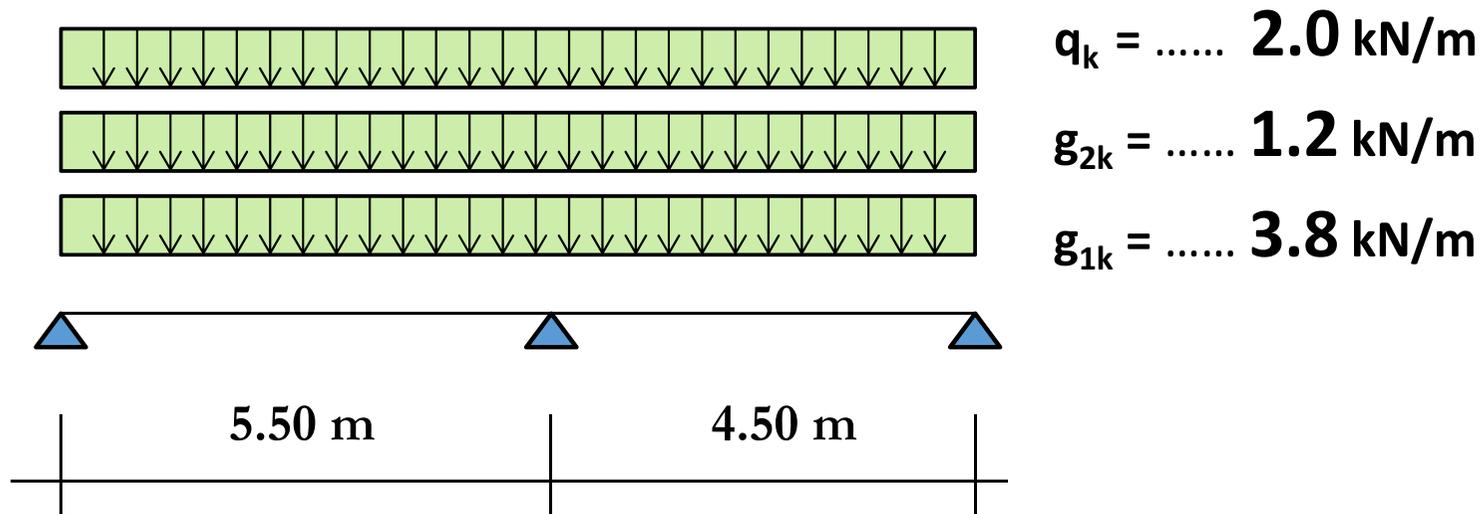
STR

Lo stato limite di resistenza del terreno

GEO

# Esempio n. 1

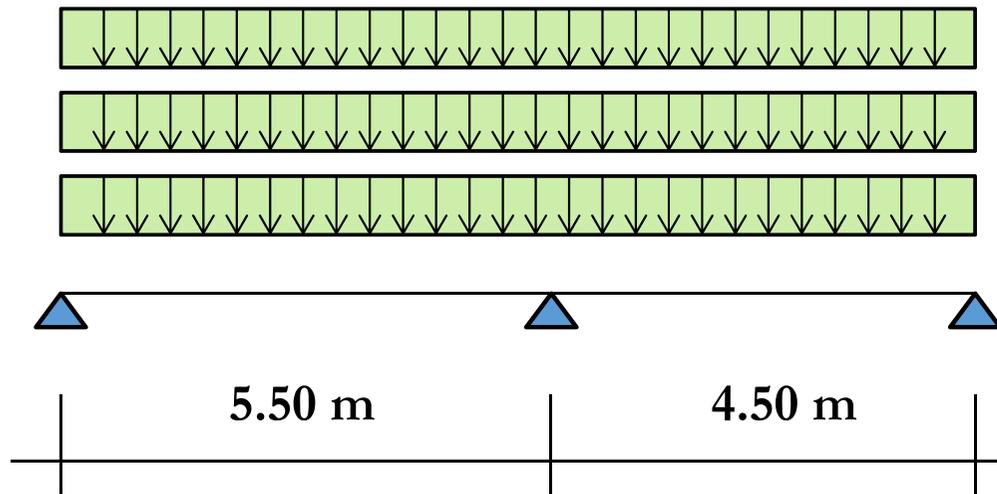
## Valori caratteristici dei carichi



Peso proprio	2.5 kN/m	
Massetto, pavimento e intonaco	1.3 kN/m	(supponiamo compiutamente definiti)
Incidenza tramezzi	1.2 kN/m	(non compiutamente definiti)
Carichi variabili	2.0 kN/m	

# Esempio n. 1

## Valori di calcolo dei carichi



### Obiettivo 1:

calcolo del momento massimo negativo sull'appoggio centrale per una verifica allo stato limite ultimo

- Combinazione dei carichi da considerare

$$\left( \text{Combinazione fondamentale} \right. \\ \left. \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{j>1} \gamma_{Qj} \psi_{02} Q_{kj} \right)$$

- La presenza di tutti i carichi considerati (sia permanenti che variabili) è sfavorevole alla verifica strutturale, ovvero ognuno di essi incrementa il valore del momento flettente negativo sull'appoggio centrale

# Esempio n. 1

## Combinazione dei valori di calcolo dei carichi

I valori di calcolo dei carichi per le verifiche allo stato limite ultimo sono :

$$\left( \text{Combinazione fondamentale} \right) \left( \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{j>1} \gamma_{Qj} \Psi_{02} Q_{kj} \right)$$

$$g_{1d} = \gamma_{G1} \cdot g_{1k} = 1.3 \cdot 3.8 = \mathbf{4.94} \text{ kN/m}$$

$$g_{2dmax} = \gamma_{G2} \cdot g_{2k} = 1.5 \cdot 1.2 = \mathbf{1.80} \text{ kN/m}$$

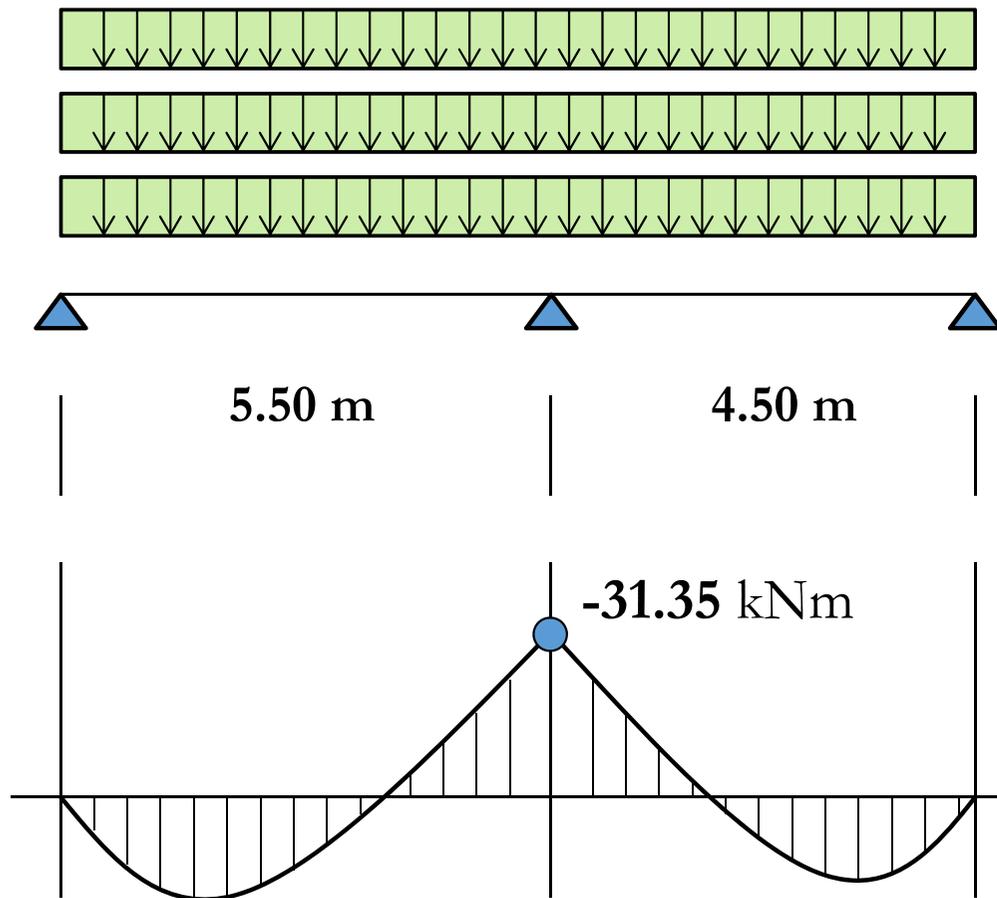
$$g_{2dmin} = \gamma_{G2} \cdot g_{2k} = 0.8 \cdot 1.2 = \mathbf{0.96} \text{ kN/m}$$

$$q_{2d} = \gamma_Q \cdot q_k = 1.5 \cdot 2.0 = \mathbf{3.00} \text{ kN/m}$$

			EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0.90	1.00	1.00
	sfavorevoli		1.10	1.30	1.00
Carichi permanenti non strutturali	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0.80	0.80	0.80
	sfavorevoli		1.50	1.50	1.30
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_Q$	0.00	0.00	0.00
	sfavorevoli		1.50	1.50	1.30

# Esempio n. 1

## Calcolo della massima sollecitazione



$$\left. \begin{aligned} q_d &= \dots 3.00 \text{ kN/m} \\ g_{2d\max} &= \dots 1.80 \text{ kN/m} \\ g_{1d} &= \dots 4.94 \text{ kN/m} \end{aligned} \right\} = 9.74$$

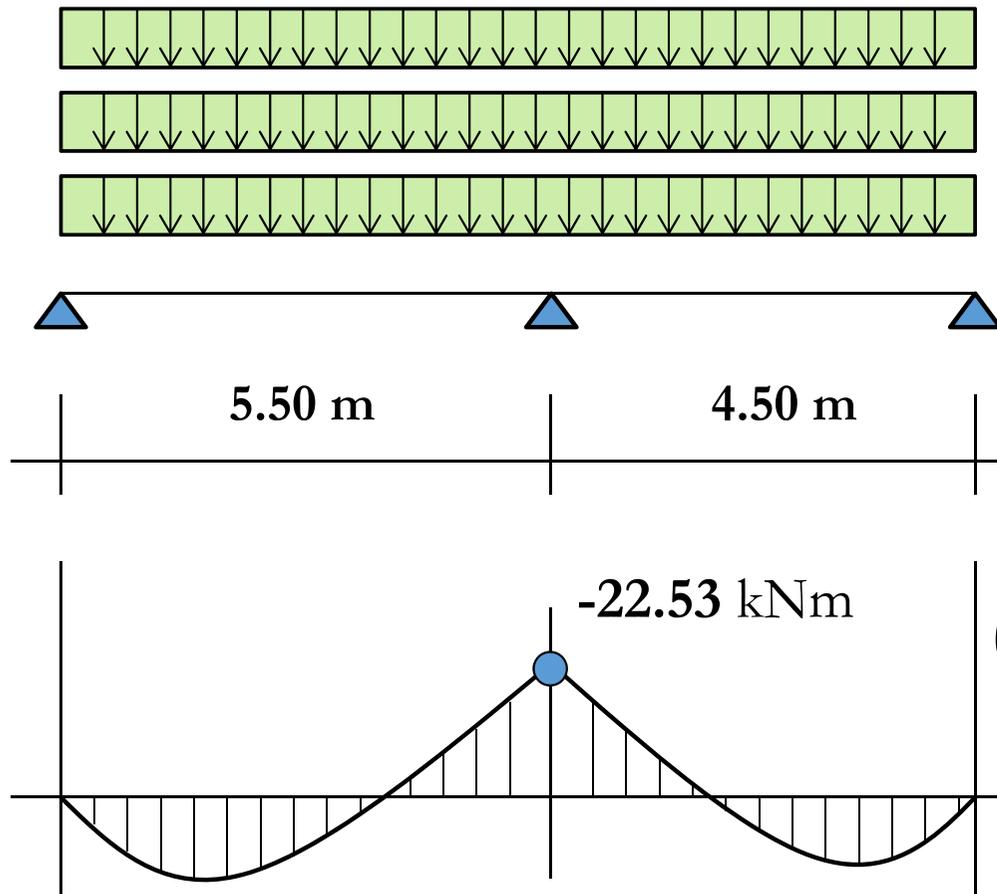
Calcolo del momento massimo  
sull'appoggio centrale

$$Q_{d,\text{tot}} = g_{1d} + g_{2d} + q_d = 9.74 \text{ kN/m}$$

$$M_{\max} = -31.35 \text{ kNm}$$

# Esempio n. 1

## Calcolo della massima sollecitazione



### Obiettivo 2 :

calcolo del momento massimo  
negativo sull'appoggio centrale  
per una verifica  
allo stato limite d'esercizio  
(comb. rara)

### Combinazione rara

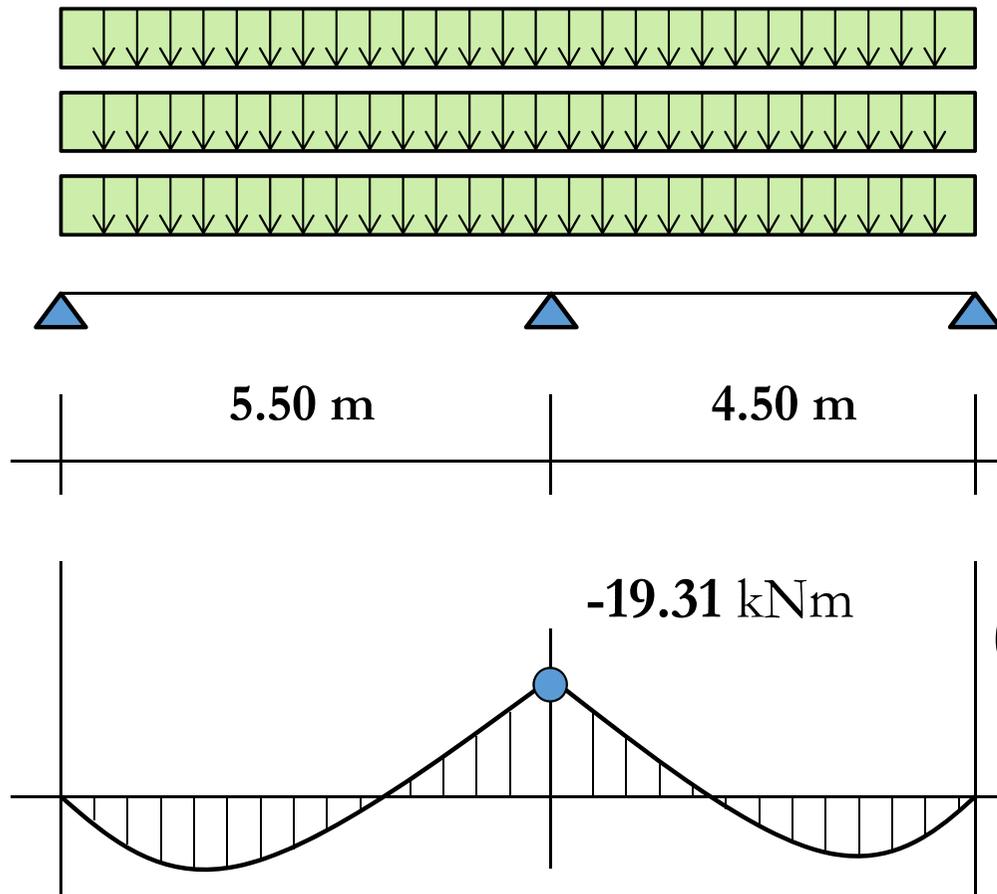
$$\left( G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} Q_{k2} + \psi_{03} Q_{k3} + \dots \right)$$

$$Q_{k,tot} = g_{1k} + g_{2k} + q_k = 7.00 \text{ kN/m}$$

$$M_{max} = -22.53 \text{ kNm}$$

# Esempio n. 1

## Calcolo della massima sollecitazione



### Obiettivo 3 :

calcolo del momento massimo  
negativo sull'appoggio centrale  
per una verifica  
allo stato limite d'esercizio  
(comb. frequente)

### Combinazione frequente

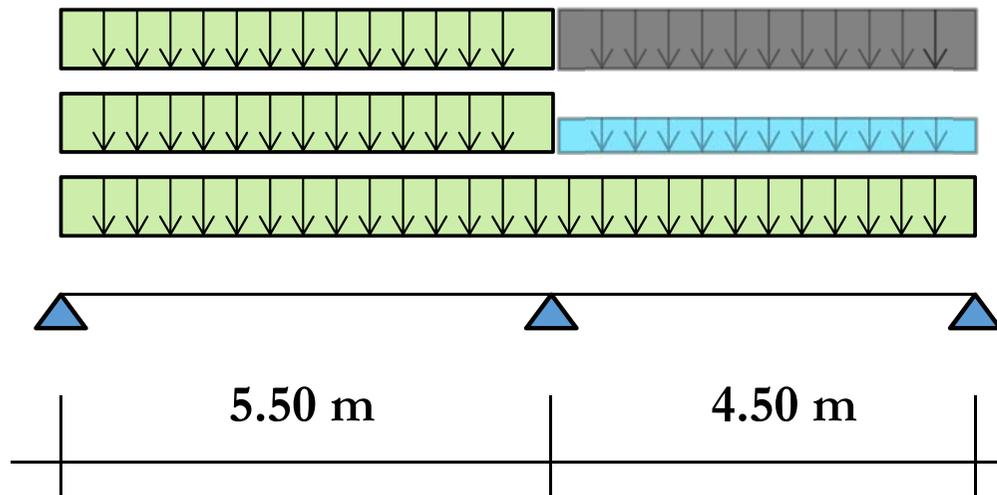
$$\left( G_1 + G_2 + \psi_{11} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \psi_{23} Q_{k3} + \dots \right)$$

$$Q_{k,tot} = g_{1k} + g_{2k} + \Psi_1 q_k = 6.0 \text{ kN/m}$$

$$M_{max} = -19.31 \text{ kNm}$$

# Esempio n. 2

## Valori di calcolo dei carichi



### Obiettivo 1:

calcolo del momento massimo positivo nella campata sinistra per una verifica allo stato limite ultimo

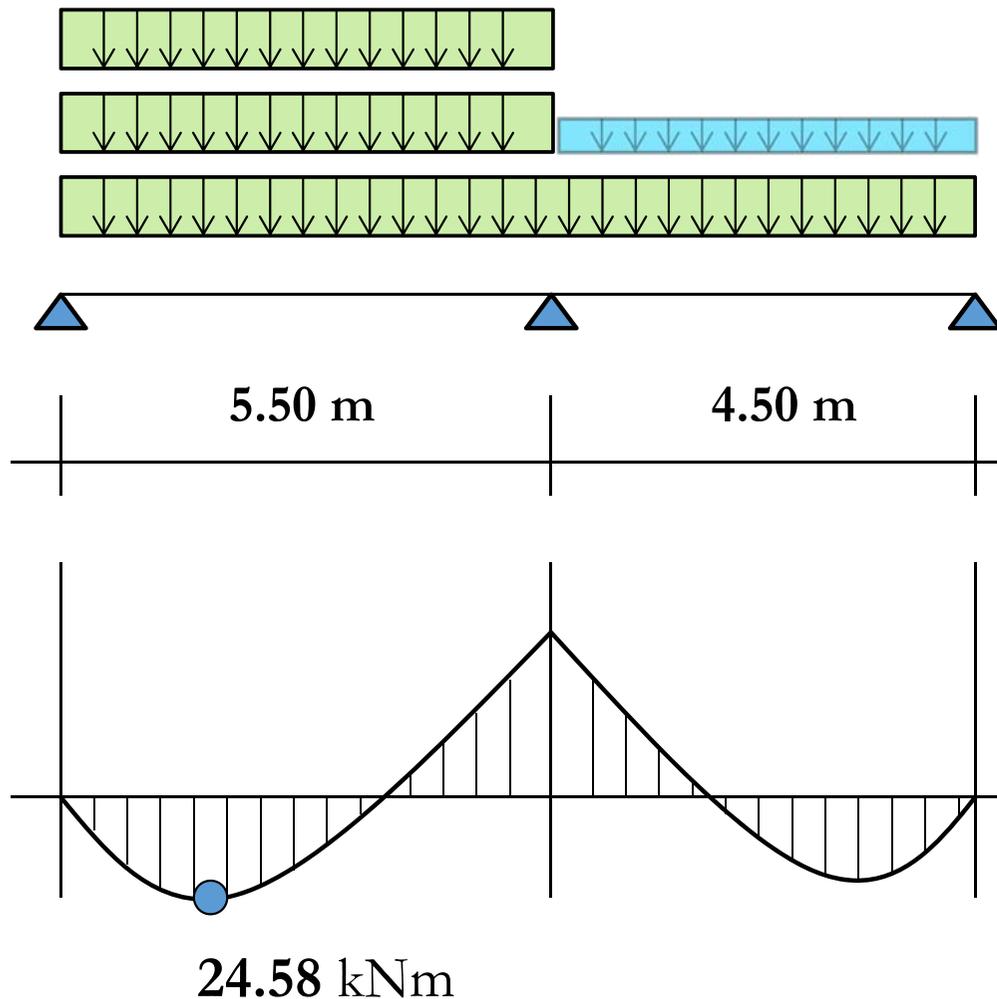
- Combinazione dei carichi da considerare

$$\left( \text{Combinazione fondamentale} \right. \\ \left. \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{j>1} \gamma_{Qj} \Psi_{02} Q_{kj} \right)$$

- La presenza di non tutti i carichi considerati è sfavorevole alla verifica strutturale considerata. Infatti, la presenza dei carichi sulla campata di destra decrementa il momento flettente positivo sulla campata di sinistra.

# Esempio n. 2

## Valori di calcolo dei carichi



$$q_d = 3.00 \text{ kN/m}$$

$$g_{2d\max} = 1.80 \text{ kN/m} \quad g_{2d\min} = 0.96 \text{ kN/m}$$

$$g_{1d} = 4.94 \text{ kN/m}$$

Calcolo del momento massimo  
positivo nella campata sinistra

$$Q_{d,\max} = g_{1d} + g_{2d\max} + q_d = 9.74 \text{ kN/m}$$

$$Q_{d,\min} = g_{1d} + g_{2d\min} = 5.90 \text{ kN/m}$$

$$M_{\max} = 24.58 \text{ kNm}$$

FINE