

**LE STRUTTURE
IN
CEMENTO ARMATO:**

**Predimensionamento e analisi dei
carichi del solaio**

(arch. Lorena Sguerri)

PREDIMENSIONAMENTO E ANALISI DEI CARICHI DEL SOLAIO

- Norme per il predimensionamento
- Analisi dei carichi permanenti
- Sovraccarichi variabili
- Combinazioni di carico
- Esempio numerico

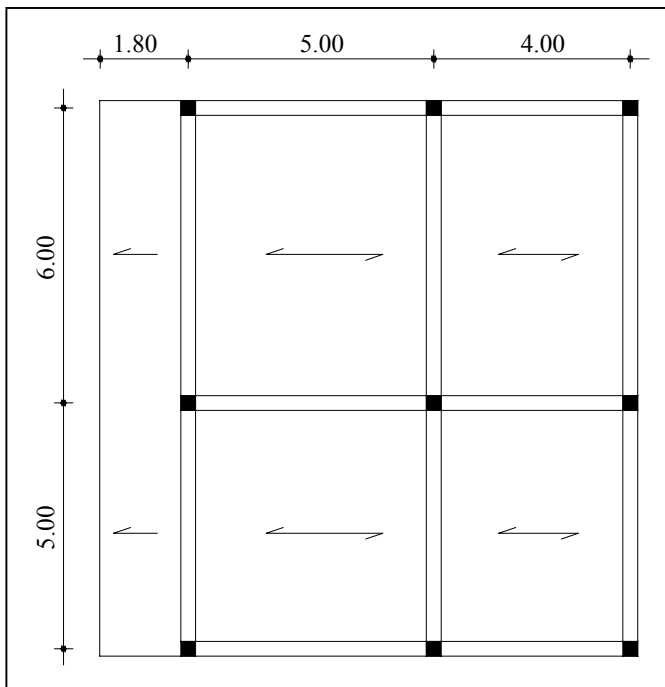
Predimensionamento dei solai

La Normativa Italiana e più precisamente il D.M. del 09/01/1996 – paragrafo 7, regola il progetto dei solai in cemento armato prevedendo, sostanzialmente tre categorie diverse:

- Solai a getto pieno
- Solai misti in c.a. e c.a.p. con elementi di alleggerimento
- Solai con elementi prefabbricati in c.a. e c.a.p.

Per quanto riguarda la nostra esercitazione, bisogna progettare un solaio appartenente alla seconda categoria e cioè un solaio misto in cemento armato con elementi di alleggerimento in laterizio.

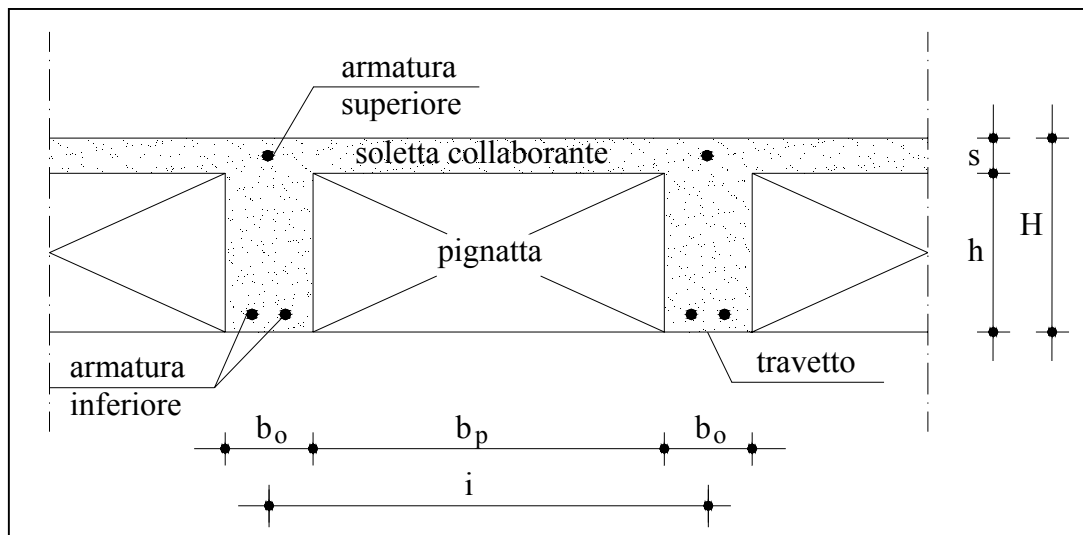
Predimensionamento di un solaio in c.a.



La normativa (D.M. 09/01/96, par.7) fornisce precise indicazioni sul suo predimensionamento

Dato uno schema strutturale come quello rappresentato in figura è necessario procedere con il predimensionamento del solaio in base alla luce più grande.

Sezione trasversale schematica di un generico solaio misto in latero-cemento.



Predimensionamento di un solaio in c.a.

D.M. 09/01/96, paragrafo 7

Altezza solaio	$H \geq 1/25 L$ $H \geq 12 \text{ cm}$	L è la luce della campata più lunga. Considerando che una pignatta non è alta meno di 12 cm, l'altezza minima del solaio è 16 cm.
Altezza soletta	$s \geq 4 \text{ cm}$	In genere non si usano solette con spessore maggiore di 5 cm., ma 4 cm è lo spessore più usuale.
Interasse travetto	$i \leq 15 s$	Un interasse usuale è $i = 50 \div 52 \text{ cm}$. a seconda di b_o , considerando una pignatta larga 40 cm.
Larghezza travetto	$b_o \geq 1/8 i$ $b_o \geq 8 \text{ cm}$	Dimensioni usuali sono $b_o = 10 \div 12 \text{ cm}$, possibilmente non più di 14 cm; la larghezza del travetto viene determinata anche in funzione delle sollecitazioni di taglio previste.
Dimensioni pignatta	$b_p \leq 52 \text{ cm}$	In genere l'altezza delle pignatte è sempre un numero pari: 12 ÷ 14 ÷ 16 cm ecc. Il minimo è 12 cm.

Predimensionamento di un solaio in c.a.: esempio

$$L_{\max} = 5.00 \text{ m} \Rightarrow H = 500 \text{ cm} / 25 = 20 \text{ cm}$$

$$s = 4 \text{ cm} \Rightarrow h = 16 \text{ cm}$$

Con $s = 4 \text{ cm}$, H deve essere sempre un numero pari arrotondato per eccesso.

Per quanto riguarda la larghezza del travetto possiamo assumere che

$$b_0 = 12 \text{ cm} \quad \text{se} \quad L_{\max} > 6.00 \text{ m}$$

$$b_0 = 10 \text{ cm} \quad \text{se} \quad L_{\max} < 6.00 \text{ m}$$

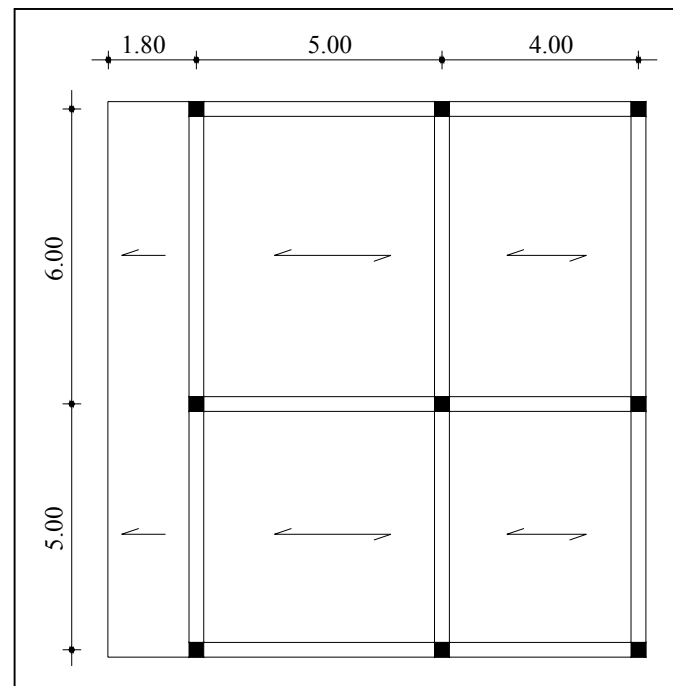
Se si pone $b_p = 40 \text{ cm}$, si ottiene:

$$i = 50 \div 52 \text{ cm} \leq 15s = 60 \text{ cm}$$

Nel caso specifico, si pone

$$b_0 = 10 \text{ cm} \quad i = 50 \text{ cm}$$

$$b_0 = 10 \text{ cm} > 50 \text{ cm} / 8 = 6.25 \text{ cm}$$



Predimensionamento di un solaio in c.a.: esempio

$$L_{\max} = 5.00 \text{ m} \Rightarrow H = 500 \text{ cm} / 25 = 20 \text{ cm}$$

$$s = 4 \text{ cm} \Rightarrow h = 16 \text{ cm}$$

Con $s = 4 \text{ cm}$, H deve essere sempre un numero pari arrotondato per eccesso.

Per quanto riguarda la larghezza del travetto possiamo assumere che

$$b_0 = 12 \text{ cm} \quad \text{se} \quad L_{\max} > 6.00 \text{ m}$$

$$b_0 = 10 \text{ cm} \quad \text{se} \quad L_{\max} < 6.00 \text{ m}$$

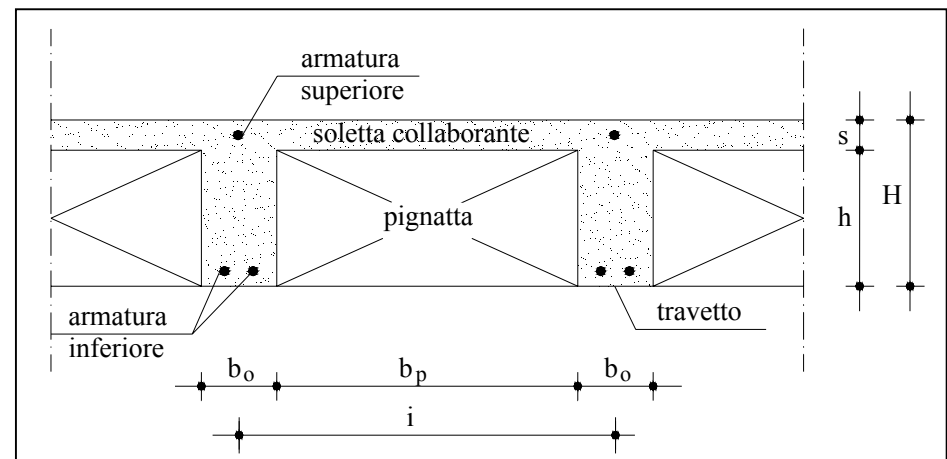
Se si pone $b_p = 40 \text{ cm}$, si ottiene:

$$i = 50 \div 52 \text{ cm} \leq 15s = 60 \text{ cm}$$

Nel caso specifico, si pone

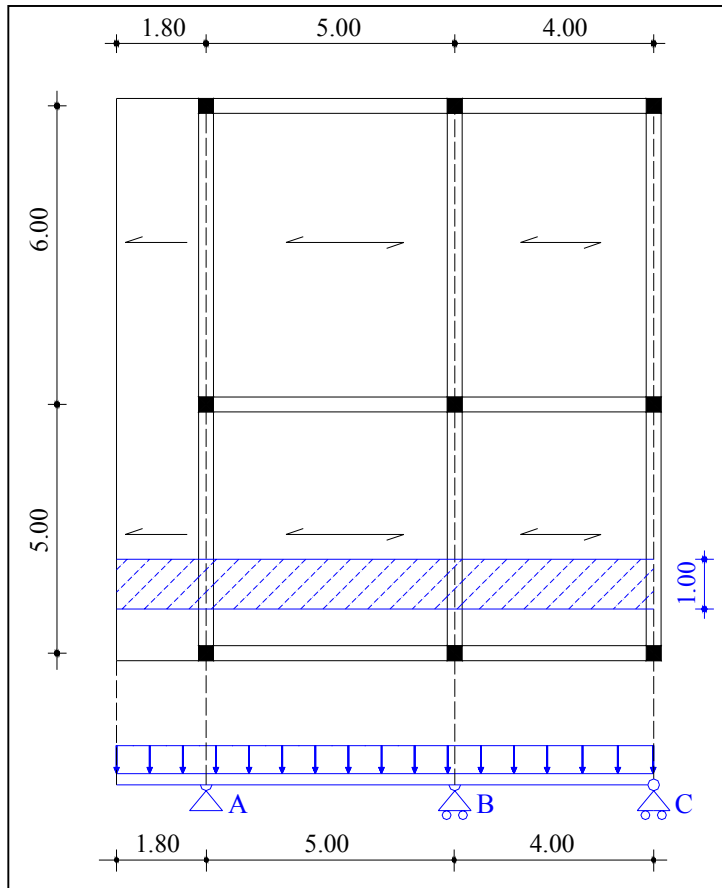
$$b_0 = 10 \text{ cm} \quad i = 50 \text{ cm}$$

$$b_0 = 10 \text{ cm} > 50 \text{ cm} / 8 = 6.25 \text{ cm}$$



Analisi dei carichi per un solaio in c.a.

Il modello “trave continua” del solaio consente di individuare lo stato di sollecitazione dei travetti sotto i carichi permanenti e variabili assegnati.



Per comodità, ai fini dell'analisi dei carichi, si può considerare che la trave continua corrisponda ad una fascia di solaio larga 1 m. Una volta predimensionato il solaio, bisogna calcolare l'entità dei:

- Carichi permanenti: peso del solaio, dei materiali di finitura, dei tramezzi e di eventuali altri elementi gravanti su di esso in maniera permanente (ex. parapetti)
- Carichi variabili: a seconda della destinazione d'uso dell'edificio e del solaio stesso (locali interni, copertura, balconi ecc.)

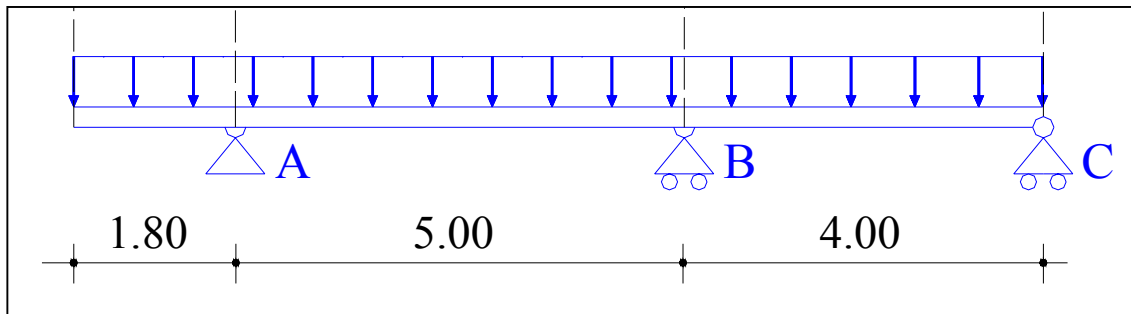
Analisi dei carichi per un solaio in c.a.: esempio

Bisogna, in genere fare una distinzione tra solai con diverse destinazioni d'uso che si differenziano per l'entità dei carichi accidentali, per materiali di finitura e anche per dimensioni.

Nell'ambito dell'esercitazione, possono essere individuate tre tipologie diverse:

- Solai interpiano interni all'edificio
- Solai interpiano di balconi o terrazze
- Solai di copertura

Nel caso riportato nell'esempio, devono essere calcolati i carichi relativi ad un solaio interpiano con balcone (sbalzo)

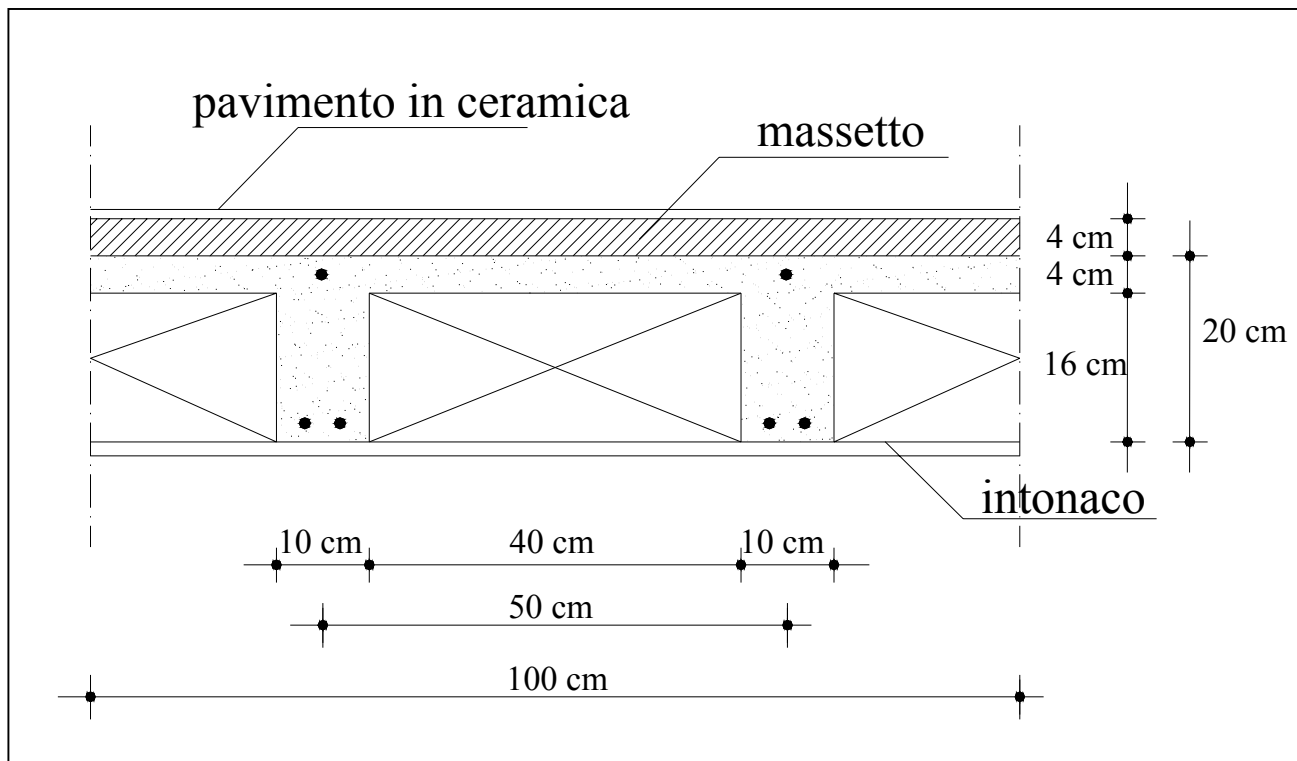


Analisi dei carichi per un solaio in c.a.

SOLAIO INTERPIANO – INTERNO ALL'EDIFICIO

Destinazione d'uso:

Civile Abitazione



Dimensioni

$H = 20 \text{ cm}$

$s = 4 \text{ cm}$

$i = 50 \text{ cm}$

$b_o = 10 \text{ cm}$

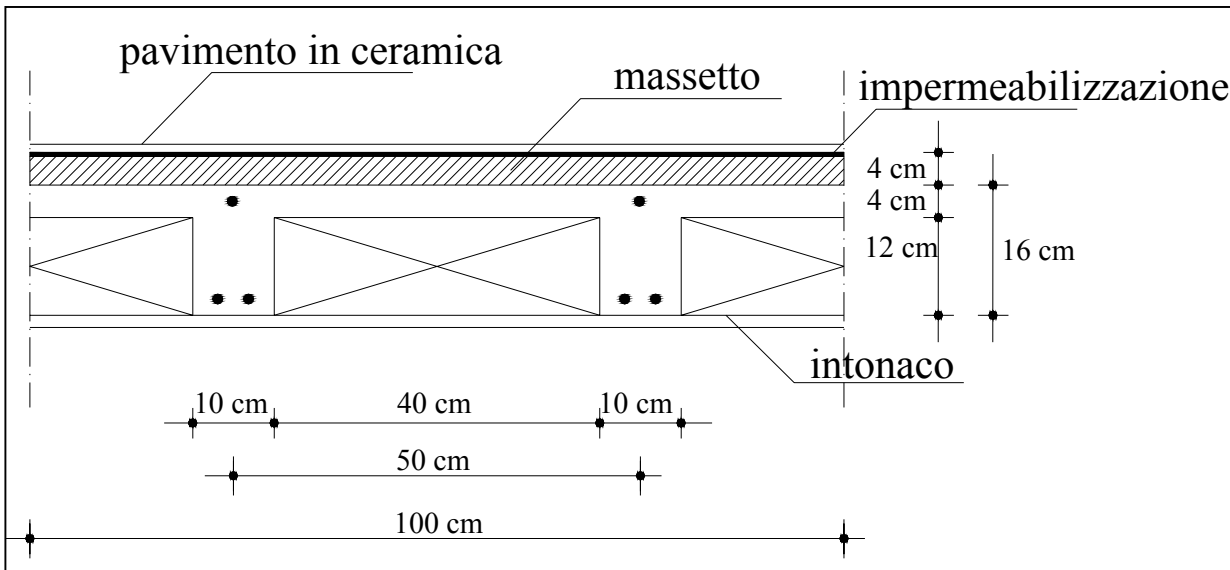
Analisi dei carichi per un solaio in c.a.

SOLAIO INTERPIANO – BALCONE

$$\Rightarrow H_b = H - 4 \text{ cm} = 16 \text{ cm}$$

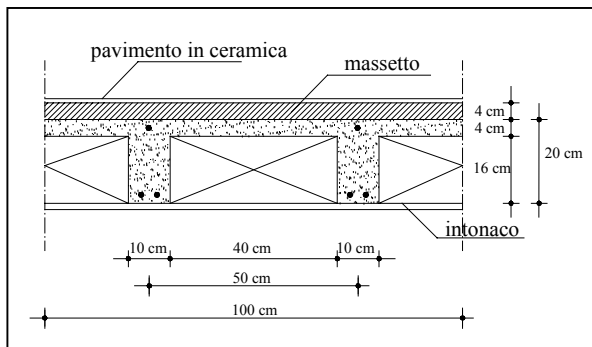
L'altezza del solaio, in genere, viene ridotta di circa 4 cm per evitare problemi di ingresso delle acque all'interno dell'edificio.

ATTENZIONE: l'altezza di un solaio non può essere inferiore a 16 cm. In caso, si rinuncia a ridurre H incrementando, semmai, l'altezza del massetto del solaio interno usando una malta di argilla espansa (12 kN/mc).



Particolare attenzione bisogna porla, inoltre, quando si ha una terrazza molto ampia poichè deve essere sempre rispettata la norma $H \geq L_{ter}/25$

Analisi dei carichi per un solaio in c.a.



Analisi dei carichi permanenti del solaio interpiano: valori caratteristici relativi ad una fascia di solaio larga 1 metro

Materiale	h (m)	L (m)	P (kN/mc)	P (kN/mq)	P (kN/m)
Travetti (cemento armato)	0.16	0.1 x 2	25		0.8
Soletta (cemento armato)	0.04	1	25		1
Pignatte (laterizio)	0.16	0.4 x 2	5.5		0.7
Massetto (malta bastarda)	0.04	1	19		0.76
Pavimento (ceramica)		1		0.4	0.4
Intonaco	(0.015)	1		0.3	0.3
Tramezzi		1		1	1
TOTALE					4.96

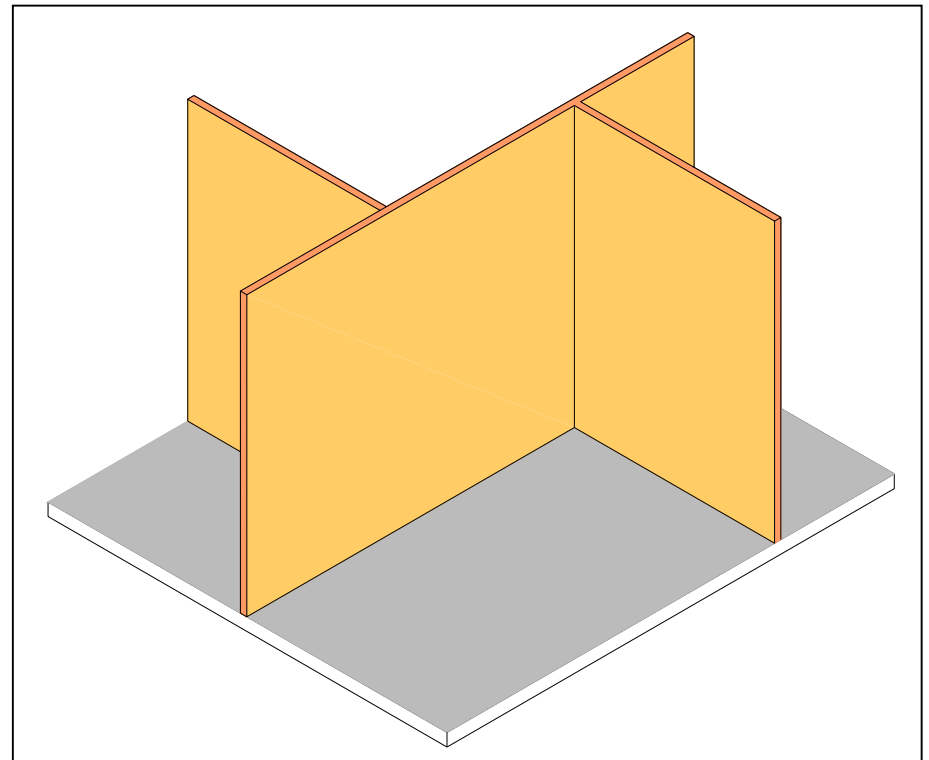
Analisi dei carichi per un solaio in c.a.:

Incidenza dei tramezzi

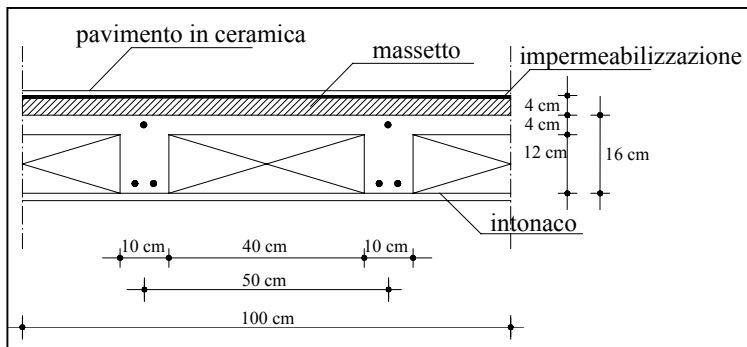
Sulla Circolare del 04/07/1996 n. 156 viene specificato che:

“Per gli orizzontamenti degli edifici per abitazioni e uffici, il carico costituito da tramezzi di peso minore di 1.5 kN/mq potrà essere ragguagliato ad un carico uniformemente distribuito sul solaio pari a 1,5 volte il peso complessivo della tramezzatura, semprechè vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata distribuzione del carico”

Il solaio in esame garantisce una ripartizione adeguata del carico, quindi è possibile adottare un carico medio pari a 0.8÷1.2 kN/mq



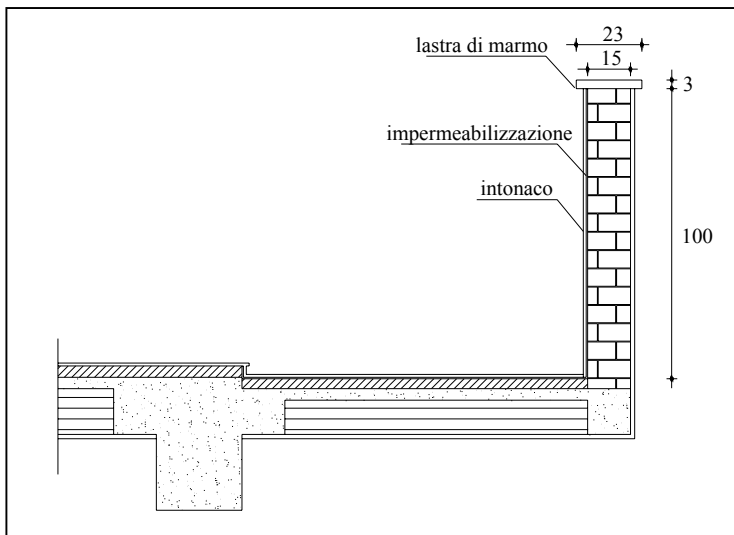
Analisi dei carichi per un solaio in c.a.:



Analisi dei carichi permanenti del solaio interpiano – balcone: valori caratteristici relativi ad una fascia di solaio larga 1 m.

Materiale	h (m)	L (m)	P (kN/mc)	P (kN/mq)	P (kN/m)
Travetti (cemento armato)	0.12	0.1 x 2	25		0.6
Soletta (cemento armato)	0.04	1	25		1
Pignatte (laterizio)	0.12	0.4 x 2	5.5		0.53
Massetto (malta bastarda)	0.04	1	19		0.76
Pavimento (ceramica)		1		0.4	0.4
Intonaco	(0.015)	1		0.3	0.3
Impermeabilizzazione		1		0.3	0.3
TOTALE					3.89

Analisi dei carichi per un solaio in c.a.:



Analisi dei carichi permanenti del solaio interpiano – parapetto del balcone a sbalzo: valore caratteristico relativo al parapetto del balcone che deve essere calcolato come un carico concentrato permanente da applicare all'estremità libera della mensola

Materiale	h (m)	L (m)	S (m)	P (kN/mc)	P (kN/mq)	P (kN)
Muratura piena	1	1	0.15	18		2.70
Lastra di marmo	(0.03)	1	0.23		0.8	0.18
Intonaco	1	1	(0.015)		0.3	0.3
Impermeabilizzazione	1	1			0.3	0.3
TOTALE		1			0.4	3.48

Analisi dei carichi per un solaio in c.a.:

SOLAIO DI COPERTURA:

L'analisi dei carichi di un solaio di copertura non differisce sostanzialmente da quella riportata nell'esempio, ma bisogna tenere presente che:

- Il solaio non presenta dislivelli strutturali, quindi l'altezza H è sempre quella di calcolo.
- E' da prevedere un manto d'impermeabilizzazione ovunque.
- E' necessario tenere conto del peso di parapetti o cornicioni solo alle estremità libere delle mensole (se presenti).
- Non vi sono tramezzi.

Analisi dei carichi per un solaio in c.a.: valori caratteristici dei sovraccarichi variabili

I valori caratteristici dei sovraccarichi variabili, a seconda delle diverse destinazioni d'uso, sono indicati sulla Circolare del 04/07/1996 n. 156, paragrafo 5.2.

In tabella sono riportati i valori utili ai fini dell'esercitazione

Destinazione d'uso	Q_k
Civile abitazione e relativi terrazzi a livello praticabili	2.00 kN/mq
Uffici aperti al pubblico e relativi terrazzi a livello praticabili	3.00 kN/mq
Balconi e ballatoi	4.00 kN/mq
Copertura praticabile (terrazza)	A seconda della destinazione d'uso
Copertura non praticabile	0.50 kN/mq

Analisi dei carichi per un solaio in c.a.: valori caratteristici dei sovraccarichi variabili

Nel caso di copertura o di terrazza, bisogna tenere conto anche del carico neve.

Esempio:

Lazio (Zona II), $a_s < 200$ m $\Rightarrow q_{sk} = 1.15$ kN/mq (carico neve al suolo)

Copertura piana $\Rightarrow \mu = 0.8 \Rightarrow q_s = \mu q_{sk} = 0.8 * 1.15 = 0.92$ kN/mq

La Circolare del 04/07/1996 n. 156, paragrafo 5.2. afferma chiaramente che il sovraccarico dovuto alla neve non deve essere cumulato, sulle medesime superfici con gli altri sovraccarichi variabili.

Di conseguenza, dato il sovraccarico variabile della copertura (praticabile o meno), e dato il sovraccarico dovuto alla neve, tra i due si scelga quello più gravoso.

$$Q_k = \max \{Q_{var} ; q_s\}$$

Analisi dei carichi per un solaio in c.a.:

Tornando all'esempio, in tabella sono riportati i valori caratteristici e di calcolo dei carichi permanenti e dei sovraccarichi variabili, agenti sul solaio interpiano:

Destinazione d'uso	P_k	$P_d = 1.4 \times P_k$	Q_k	$Q_d = 1.5 \times Q_k$
Solaio interno: civile abitazione	4.96 kN/m	7.00 kN/m	2.00 kN/m	3.00 kN/m
Balcone	3.89 kN/m	5.50 kN/m	4.00 kN/m	6.00 kN/m
Parapetto	3.48 kN	4.90 kN		

Combinazioni di carico

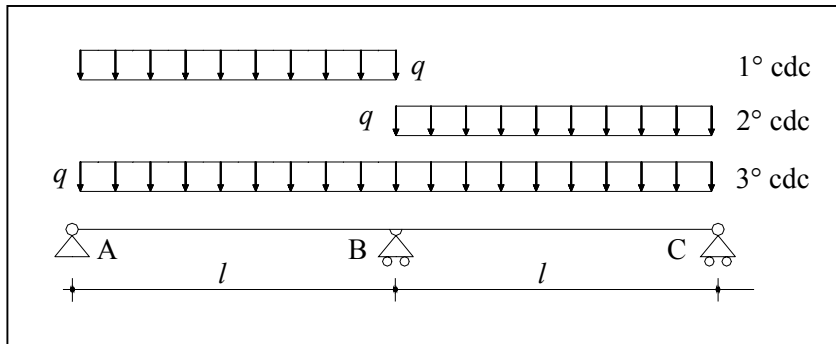
Una volta completata l'analisi dei carichi, bisogna caricare la trave continua che schematizza il solaio e, di regola, individuare le condizioni per le quali si ottengono le sollecitazioni di Taglio e Momento più gravose.

I carichi, infatti, come si è visto, si suddividono in PERMANENTI e VARIABILI.

I permanenti, come dice stesso il nome, sono presenti sempre su tutta la struttura, mentre i variabili possono essere presenti tutti insieme o soltanto in parte. Non è detto, infatti, che la condizione di carico per la quale è presente tutto il carico variabile sia quella che produce le sollecitazioni più elevate in tutte le sezioni.

La normativa stessa dice che allo S.L.U. i valori caratteristici dei carichi variabili devono essere moltiplicati per un coefficiente di sicurezza γ_q pari a 1.5 o 0 in modo da ottenere sempre la condizione più svantaggiosa

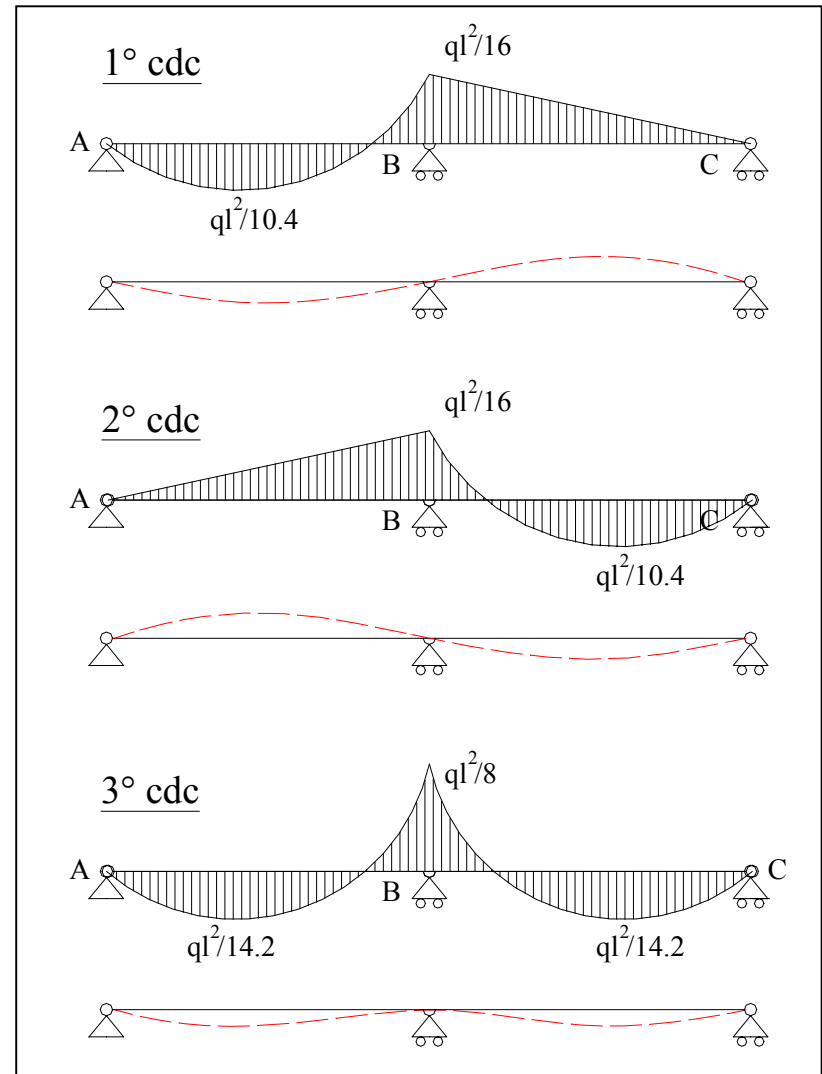
Combinazioni di carico



Trave continua su due campate uguali:

Alle condizioni 1 e 2 corrispondono i valori più alti dei momenti positivi in campata, mentre alla condizione 3 corrisponde il massimo momento negativo sull'appoggio.

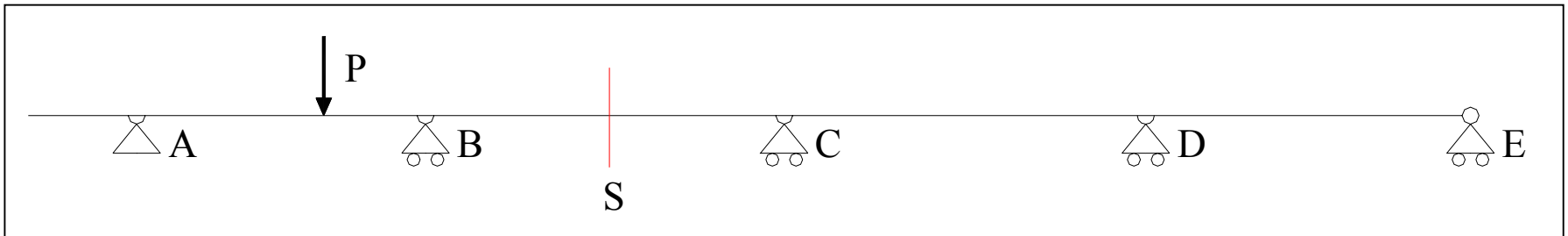
Quindi, per progettare correttamente questa trave, bisogna necessariamente prendere in considerazione tutte e tre le eventualità



Combinazioni di carico: linee di influenza

Allo stesso risultato si può arrivare in maniera più generale e, soprattutto, più formale attraverso la teoria delle LINEE D'INFLUENZA.

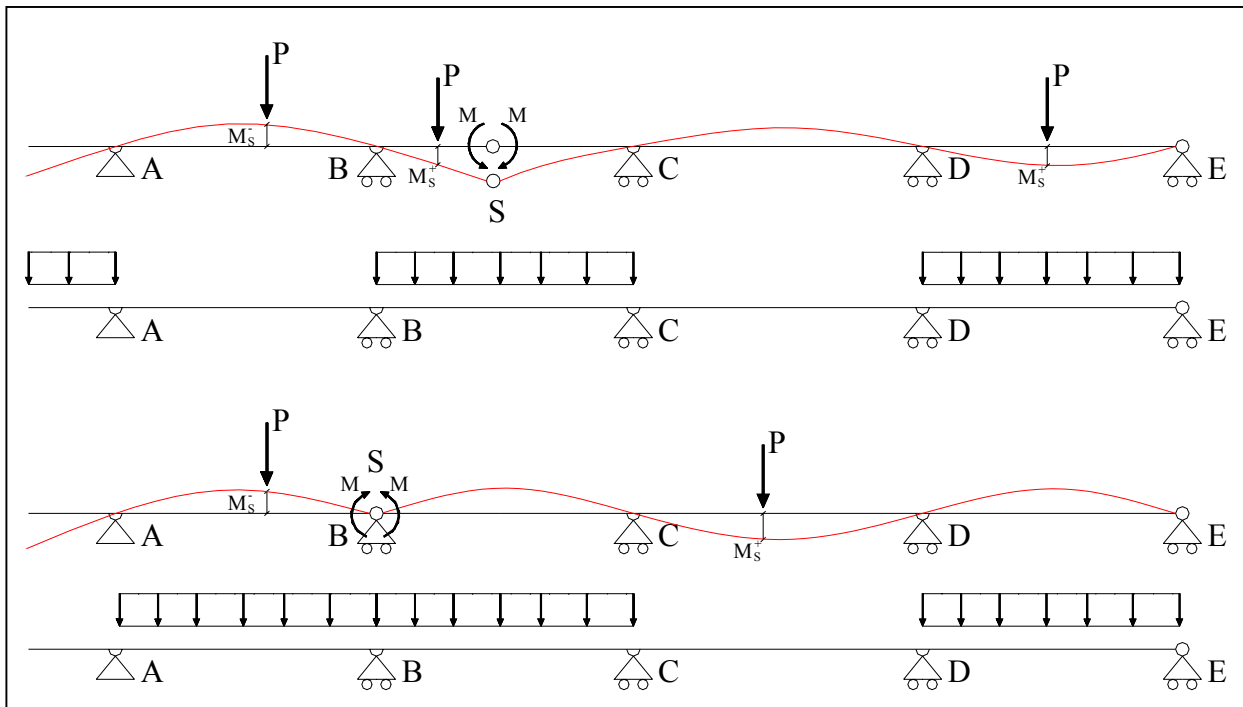
Si consideri una trave continua a più campate ed un carico P viaggiante (ex. una macchina su un ponte). Al variare della sua posizione, varia il valore della sollecitazione nella sezione S .



Si chiama LINEA D'INFLUENZA DELLA SOLLECITAZIONE IN S UN DIAGRAMMA TALE CHE LA SUA ORDINATA LETTA (in una data scala) SOTTO LE DIVERSE POSIZIONI DEL CARICO DIA IL VALORE DELLA SOLLECITAZIONE IN S PROVOCATO DAL CARICO UNITARIO MOBILE

Combinazioni di carico: linee di influenza

Si può dimostrare attraverso il Principio dei Lavori Virtuali e il Teorema di Betti che la linea d'influenza di una data sollecitazione X in una sezione S si ottiene eliminando in S il vincolo di continuità relativo ad X e applicando X come azione esterna per ristabilire il regime statico della trave: la linea d'influenza è data dalla corrispondente linea elastica ovvero dalla deformata della trave.



ella trave.

In figura: le linee d'influenza del momento flettente in campata e sull'appoggio e le conseguenti combinazioni per carichi distribuiti

Combinazioni di carico

Solaio a due campate con mensola (balcone): combinazioni di carico e diagrammi dei momenti flettenti.

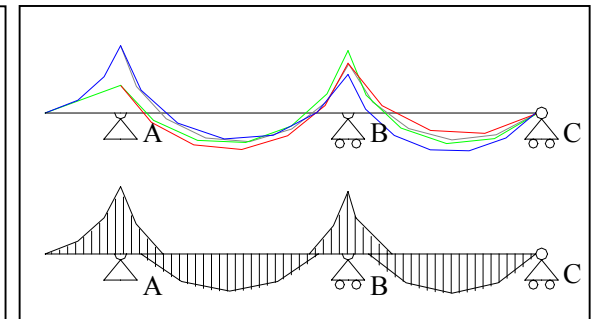
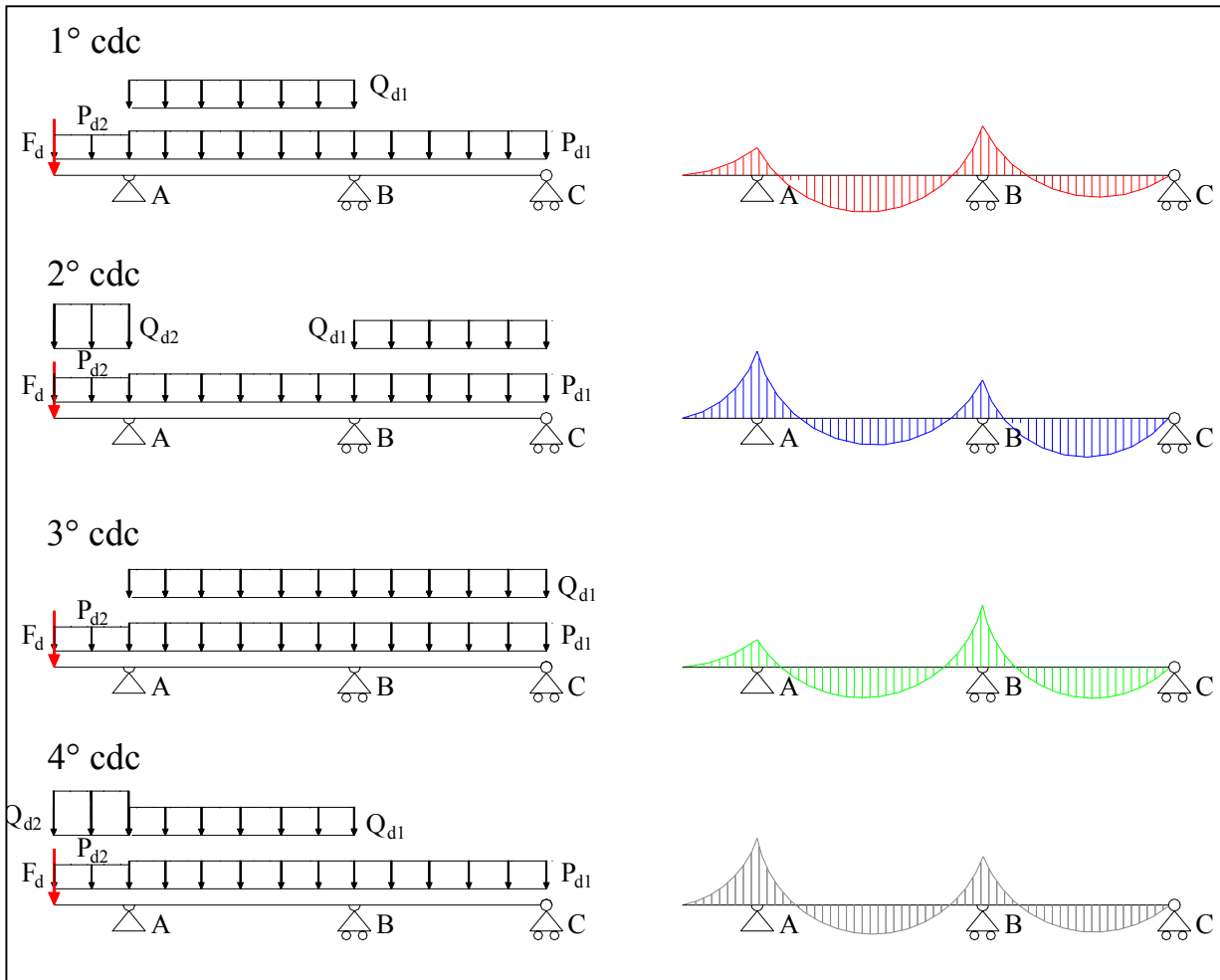


Diagramma di involuppo finale: sul quale viene eseguito il progetto delle armature a flessione

Un diagramma analogo può essere ottenuto per la sollecitazione di taglio