

## Prova di carico su un solaio

La prova di carico consiste essenzialmente nella misura della freccia di una parte della struttura quando sottoposta a carichi noti.

In generale, le strutture in c.a. sono molto rigide, e quindi spostamenti misurabili richiedono carichi veramente elevati. Per questo motivo la prova di carico viene usualmente eseguita sui solai che, essendo le strutture più deformabili, possono essere interessati da spostamenti misurabili con carichi relativamente limitati. Questo non esclude che, in circostanze di particolare importanza, sia opportuno eseguire prove di carico sulle travi.

I modi di applicazione del carico (sempre noto con ragionevole precisione) più comuni sono:

- 1) mediante sacchi di cemento (dimensioni 50x63 cm e peso di 50kg/cad) o di altro materiale (calce, intonaci premiscelati)
- 2) mediante vasche d'acqua
- 3) mediante martini idraulici contrastati sulle strutture sovrastanti. In quest'ultimo caso è necessario verificare preventivamente che le strutture usate come contrasto non vengano danneggiate dalle spinte esercitate dai martini.
- 4) altri metodi (camion carichi, rulli compressori – per i ponti- bramme metalliche, etc.).

Gli strumenti di misura sono usualmente dei flessimetri centesimali (comparatori centesimali montati su adeguati supporti e con agganci idonei alle prove di carico, precisione  $\pm 1/100$  mm). Quando la struttura sia di dimensioni elevate (specialmente nel caso di ponti) la misurazione delle frecce avviene mediante triangolazioni topografiche (precisione  $\pm 1$  mm). La precisione dello strumento di misura è funzione degli spostamenti attesi: la freccia di un solaio attesa è dell'ordine di 50/100 mm, mentre quella di un ponte può essere anche di diversi centimetri.

Nel seguito viene discussa la prova di carico più comune, su un solaio parzialmente prefabbricato.

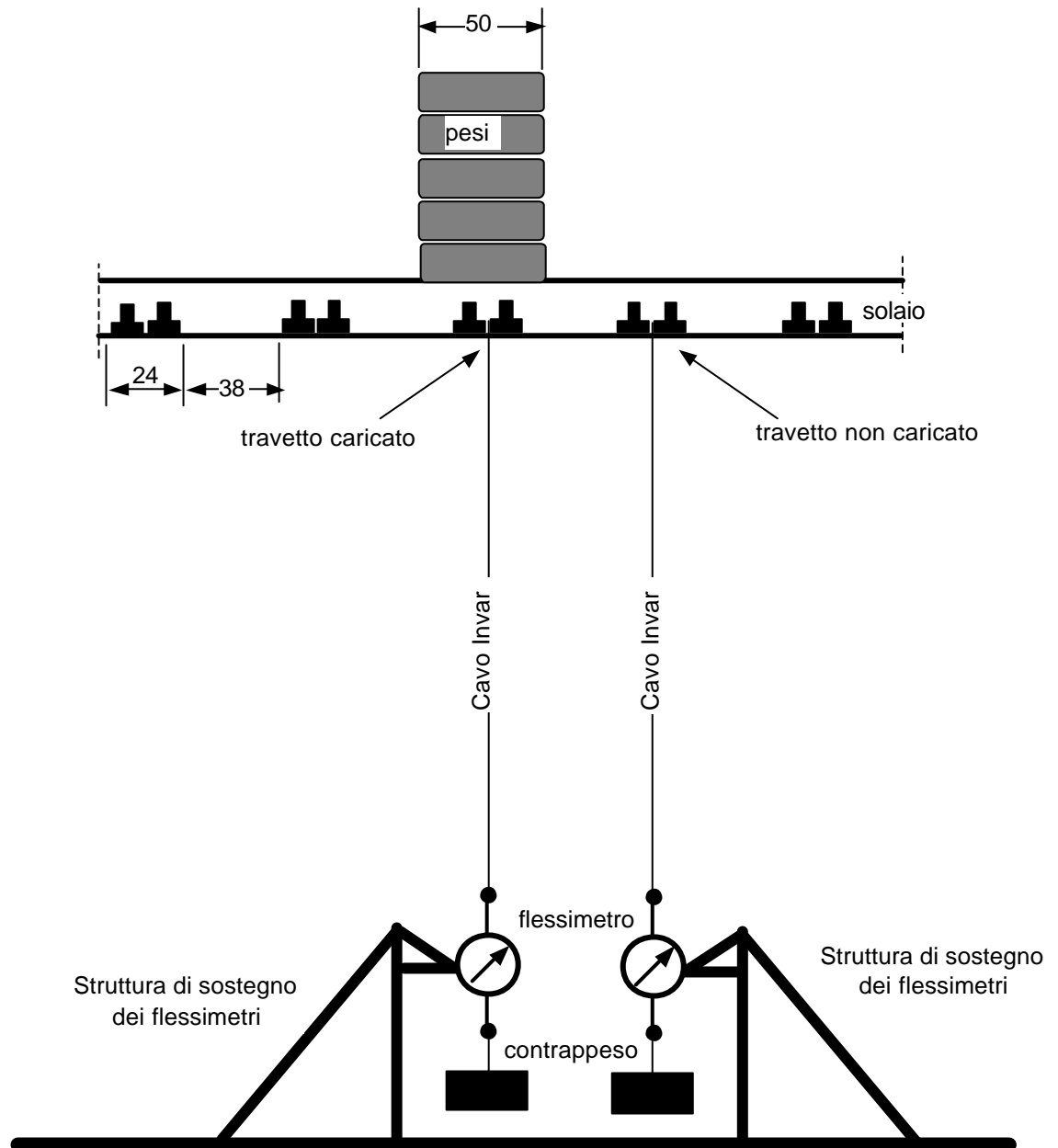
La prova di carico usualmente misura contemporaneamente la freccia della struttura e l'efficacia dei sistemi di ripartizione (travetti rompitratta ed armatura di ripartizione nella caldana del solaio). Lo schema è quello riportato in figura 1.

Il flessimetro viene collocato vicino a terra su un cavalletto, in generale di legno, indipendente da eventuali altri ponteggi di servizio alla prova. Poiché gli strumenti misureranno gli spostamenti con precisione di 1/100 mm, è necessario che il cavalletto su cui vengono fissati gli strumenti sia solido e non venga scontrato durante la prova.

Il flessimetro viene collegato alla struttura mediante un cavetto di acciaio *Invar* contrappesato per poter vincere gli attriti interni dei flessimetri. Il cavetto è ancorato al solaio mediante

attorcigliamento attorno a ganci fissati nel travetto del solaio con semplici tasselli ad espansione. E' necessario curare che il foro in cui viene collocato il gancio ad espansione non interferisca e/o danneggi i ferri d'armatura ovvero i trefoli di precompressione dei travetti.

Per quanto la strumentazione sia piuttosto precisa, il sistema sperimentale di prova è, in realtà, semplice e non richiede (a parte i flessimetri ed il cavetto *Invar*) strumentazione specifica.



**Figura 1:** disposizione dei pesi e dei flessimetri. Il solaio rappresentato è di tipo PR38/50 bitrave.

Se non vi fosse ripartizione del carico tra i diversi travetti del solaio, il travetto non caricato direttamente non dovrebbe inflettersi; se invece la ripartizione è efficiente esso sosterrà una parte

del carico che viene a gravare sul travetto adiacente. Quanto maggiore è l'efficienza della ripartizione e tanto meno differenziati saranno gli spostamenti dei due travetti. Al limite, per una ripartizione perfetta, i travetti adiacenti s'inflettono in eguale misura con una ripartizione trasversale alla "Courbon-Albenga". La finalità del secondo flessimetro è proprio quella di misurare sperimentalmente l'efficacia dei dispositivi di ripartizione trasversale.

La prova di carico viene eseguita sulla struttura in c.a. prima che vengano realizzate le opere di finitura. Questo viene fatto per poter operare nella massima libertà e per non indurre danni alle opere di finitura.

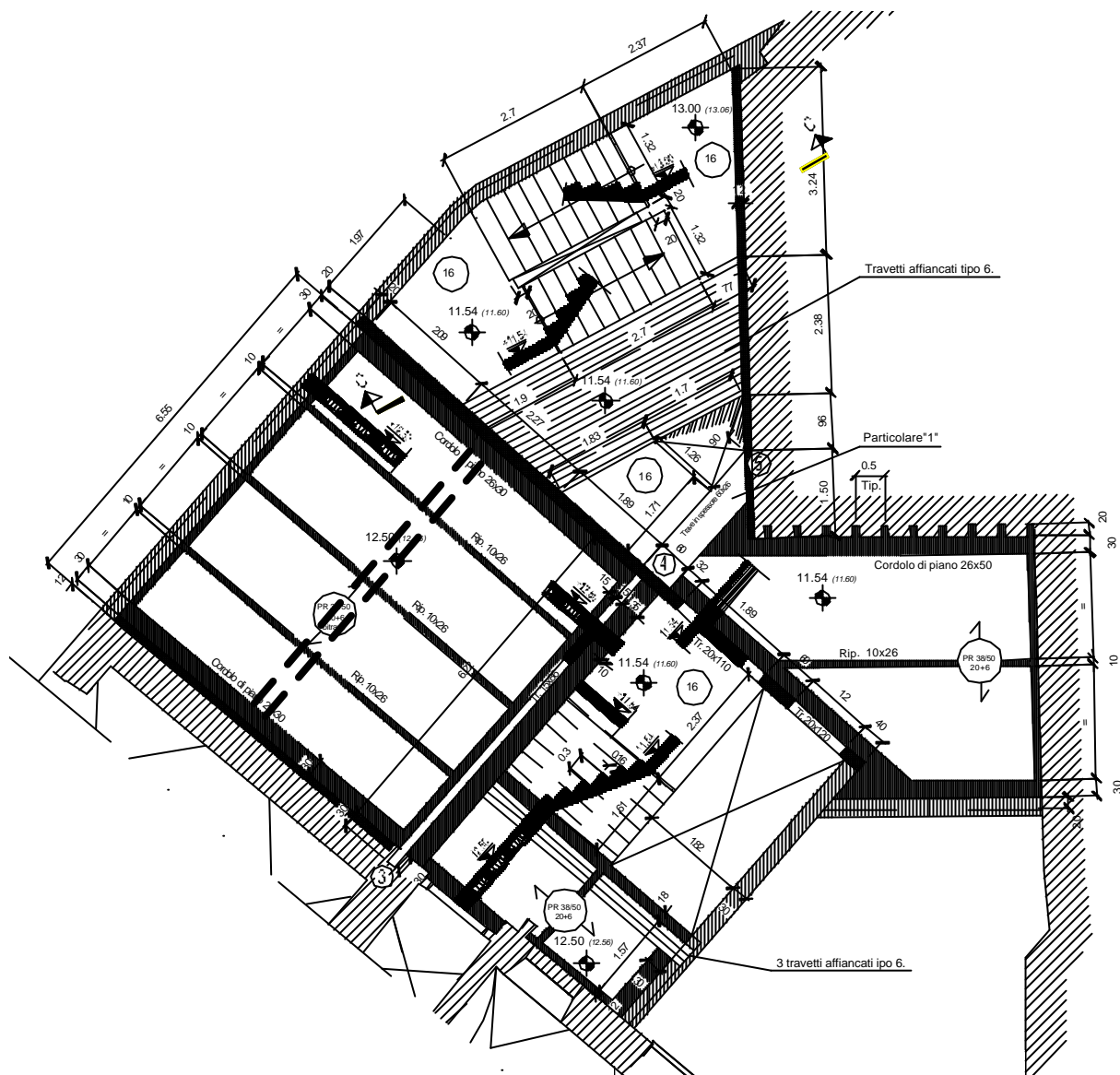
L'entità del carico di collaudo è almeno pari al sovraccarico permanente (pavimentazione, tramezzi –incidenza media di 50 kg/mq-, sottofondi) e al sovraccarico accidentale. In generale, su un solaio viene caricata interamente la striscia di solaio a cavallo di un solo travetto, figura 1, e vengono rilevati gli spostamenti del travetto caricato e di quello adiacente. Poiché il carico interessa diversi travetti per effetto della ripartizione trasversale, in genere si impone un carico nominale a mq maggiore di quello massimo previsto per il solaio.

Nel seguito vengono riportati i dati di una prova di carico eseguita su un solaio a campata singola, parzialmente prefabbricato con travetto precompressi di tipo CelerSap PR 38/50 bitrave con travetti precompressi a 6 trefoli 20+6. La figura 2 rappresenta un estratto del disegno esecutivo del solaio oggetto della prova di carico in cui le linee spesse tratteggiate definiscono la zona caricata. Si osserva che, visti i forti carichi previsti, è stata disposta un notevole sistema di ripartizione trasversale, costituito da ben 3 travetti rompitratta.

Il solaio oggetto della prova, con luce netta di m 6.2, è destinato ad ospitare un'aula universitaria; pertanto il sovraccarico utile è particolarmente elevato, 350 kg/mq, con un margine di sicurezza che, in fase di progetto, è stato mantenuto anche più ampio (sovraccarico massimo ammissibile 575 kg/mq). In appendice è riportato un estratto della Relazione di Calcolo della struttura.

Adeguate misurazioni hanno consentito di disporre il carico esattamente al di sopra di un solo travetto (coppia di travetti precompressi).

In figura 3 è rappresentata una vista dal basso del solaio; si osservano i due ganci ancorati ai travetti ed i cavi di acciaio Invar appesi; la figura 4 mostra i flessimetri con i contrappesi (due morsetti da ponteggio) che assolvono la funzione di mantenere in trazione i cavi Invar.



**Figura 2:** disegno esecutivo del solaio oggetto della prova di carico.

Nelle figure 5 e 6 sono ripresi i sacchi di cemento e di intonaco premiscelato al massimo carico. In tabella 1 sono indicati i diversi passi di carico con le relative misurazioni. Il flessimetro 1 è quello posto direttamente al di sotto del carico. Nella figura 7 sono indicati in forma di diagramma gli spostamenti dei due flessimetri.

I due flessimetri hanno indicato un'ottima ripartizione del carico, in quanto sono stati interessati da spostamenti uguali (nell'ambito della precisione strumentale). Inoltre, si osserva come la risposta del solaio sia in parte istantanea ed in parte differita. A massimo carico, la freccia si è assestata dopo 1 ora, così come allo scarico la deformazione lenta si è esaurita dopo un periodo di tempo dello stesso ordine di grandezza. Inoltre, si osservi come la freccia iniziale non viene recuperata interamente. Queste circostanze sono tipiche delle strutture in c.a. ed in parte sono

dovute alla strumentazione di basso livello che viene impiegata per queste prove. In parte, però, sono dovute alla risposta meccanica delle strutture in c.a., che manifestano una risposta dissipativa per carichi ciclici anche su livelli di carico modesti.

**Tabella 1.** Misurazioni sperimentali

Ora	Carico	Flessimetro 1 [mm]		Flessimetro 2 [mm]	
		lettura	spostamento	lettura	spostamento
9.55	Inizio del carico – letture iniziali	4.97	0	0.97	0
10.10	310 kg/mq (2 file di sacchi di cemento)	4.89	0.08	0.89	0.08
10.30	625 kg/mq (4 file di sacchi di cemento)	4.75	0.22	0.76	0.21
11.10	1000 kg/mq (4 file di sacchi di cemento + 3 file di sacchi d'intonaco)	4.65	0.32	0.66	0.31
12.00	1125 kg/mq (4 file di sacchi di cemento + 4.5 file di sacchi d'intonaco)	4.62	0.35	0.63	0.34
12.35	1125 kg/mq	4.56	0.41	0.56	0.41
13.00	1125 kg/mq – inizio dello scarico	4.54	0.43	0.54	0.43
13.45	0	4.88	0.09	0.86	0.11
14.30	0	4.91	0.06	0.89	0.08
15.00	0	4.94	0.03	0.93	0.04



**Figura 3:** Disposizione dei ganci di riferimento



**Figura 4:** Flessimetri centesimali, cavetti d'acciaio e contrappesi



Figura 5: disposizione del carico



Figura 6: disposizione del carico

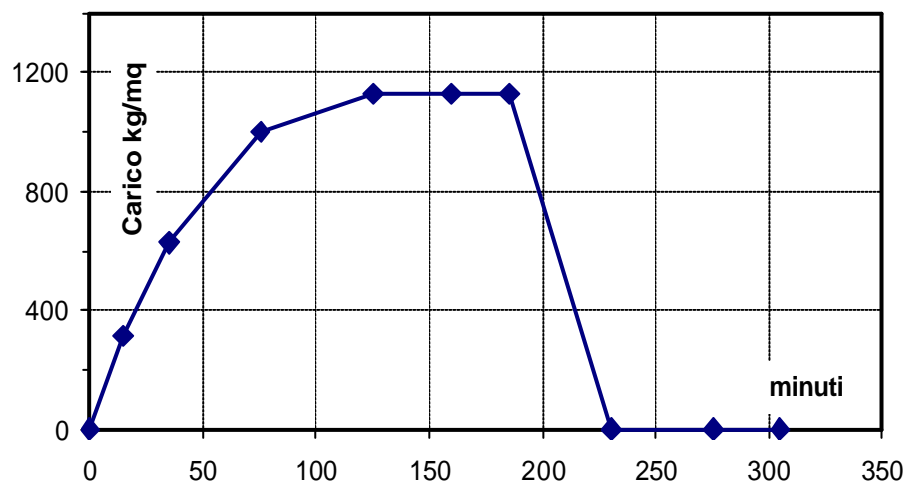


Figura 7: Carico in funzione del tempo

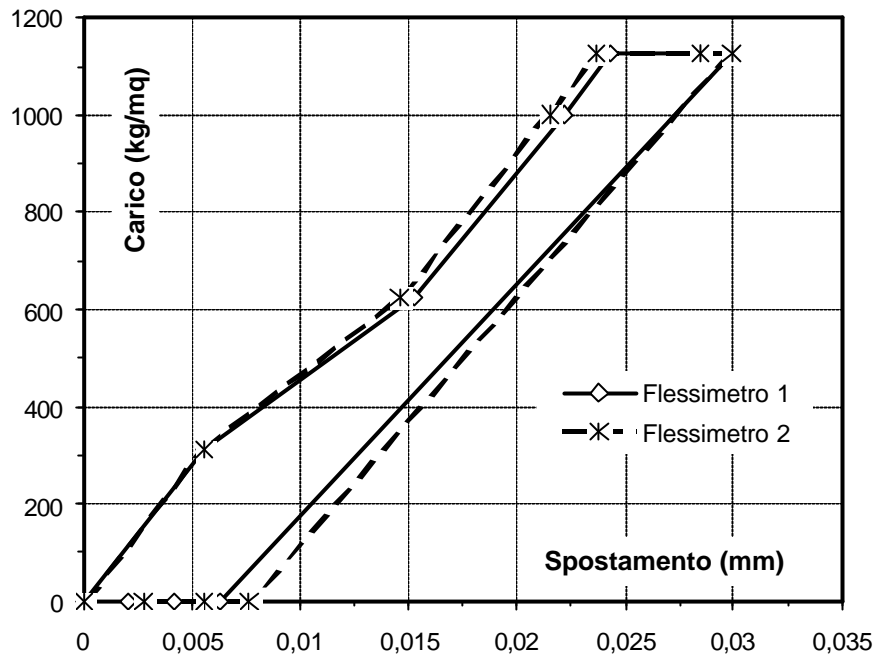


Figura 8: Risposta carico spostamento

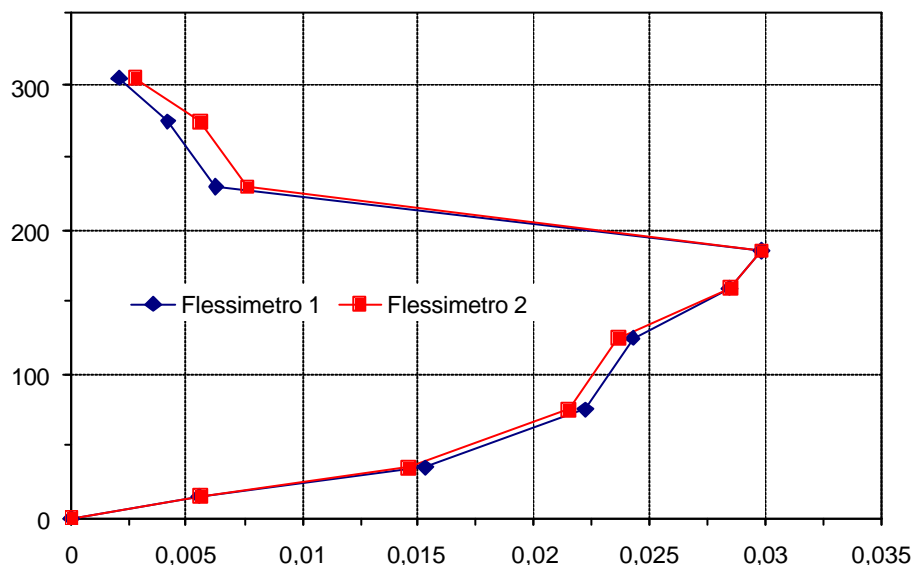


Figura 9: Risposta tempo-spostamento

Il collaudo di una struttura consiste nel confronto tra la risposta sperimentale sotto un dato carico e la risposta calcolata. Se la risposta sperimentale rivela un comportamento meccanico migliore di quello previsto teoricamente, il collaudo si ritiene soddisfatto.

Tuttavia, per le strutture in c.a. è difficile calcolare la freccia teorica di una trave, sia per l'incertezza degli schemi statici, sia per la difficoltà di tenere conto dell'effetto della fessurazione delle zone tese delle sezioni sulla deformabilità della struttura. Una prassi consolidata, ma non l'unica, si precisa, determina le frecce considerando l'intera sezione reagente con unico modulo

elastico. Questa procedura è certamente ammissibile per strutture precomprese o anche solo parzialmente precomprese.

Nel caso specifico il CLS era previsto di classe 300, che determina un modulo elastico di  $18.000 \times (300)^{1/2} = 312.000 \text{ kg/cm}^2$ . Inoltre, la collaborazione misurata sperimentalmente consente di ritenere che almeno 5 travetti (intesi come coppie di travetti) abbiano contribuito ad equilibrare il carico applicato.

$$\text{Pertanto: } 5 \text{ travetti bitrave} \Rightarrow J_{\text{tot}} = 5 \times 84.490 \text{ cm}^4 = 422.450 \text{ cm}^4$$

$$f_{\text{max}} = 5/384 \text{ pl}^4 / EJ = 5/384 \times 3.6 \times 620^4 / 312.000 / 422.450 = 0.052 \text{ cm} = 0.52 \text{ mm}$$

Lo spostamento massimo in asse è stato approssimativamente la metà di quanto calcolato. Questa circostanza si verifica sovente in quanto l'elevata iperstaticità delle strutture in cemento armato le rende molto più rigide (e resistenti) di quanto non appare dagli schemi statici di calcolo. In particolare, la risposta sperimentale misurata dei due travetti adiacenti e la presenza di forti elementi di ripartizione caratterizzano questa struttura e spiegano i risultati sperimentali rilevati.

## Appendice 1

Estratto dalla Relazione di Calcolo del solaio oggetto della prova

### Solaio tipo dei locali aula (striscia unitaria)

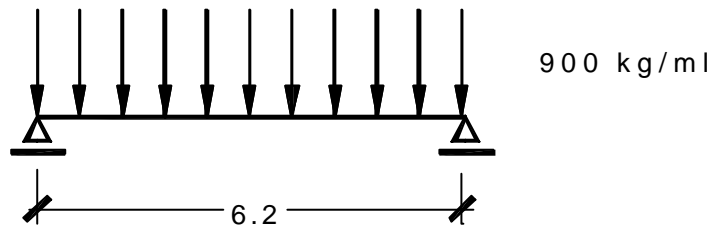


Figura 10. Schema statico del solaio dei locali aula

**Luce massima:** m 6.20

**Schema statico:** trave semplicemente appoggiata

$$p = g + q = (350+200) + 350 = 900 \text{ kg/m}^2$$

$$M_{\text{max}} = \frac{1}{8} pl^2 = \frac{1}{8} * 900 * 6.20^2 = 4.235 \text{ kgm}$$

$$T_{\text{max}} = \frac{1}{2} pl = \frac{1}{2} * 900 * 6.20 = 2.790 \text{ kg}$$

**Solaio:** tipo *RDB Celersap PR bitrave 38/62* 20+6 travetti precompressi tipo 6 a 6 trefoli

Ripartizione: rete elettrosaldata  $f' 6 \text{ } 15 \times 15$  + 2 rompitratta ad  $1/3$  e  $2/3$  della luce

$$M_{\text{max}}^{\text{esercizio}} = 5.304 \text{ kgm} \quad \Rightarrow \quad \text{coefficiente residuo di amplificazione dei carichi: } 1.25$$

$$T_{\text{max}}^{\text{esercizio}} = 4.439 \text{ kg} \quad \Rightarrow \quad \text{coefficiente residuo di amplificazione dei carichi: } 1.61$$

Coefficiente residuo di amplificazione dei carichi accidentali rispetto alle tensioni ammissibili: 1.64  
Sovraccarichi utili massimi: 575 Kg/mq