

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"



Facoltà di Architettura

Dipartimento di Costruzioni e Metodi Matematici in Architettura

Anno Accademico 2004-2005

Corso di
**SPERIMENTAZIONE, COLLAUDO
E CONTROLLO DELLE COSTRUZIONI**

Le prove di carico degli impalcati civili

APPUNTI DELLE LEZIONI

di

PROF. ING. RAFFAELE LANDOLFO

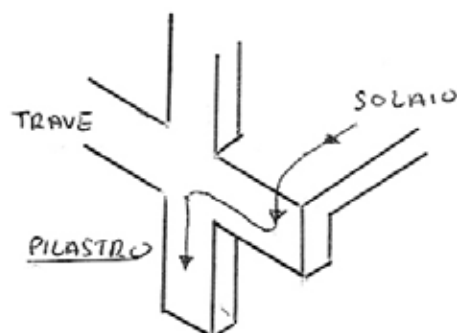
con la collaborazione dell'ing. Francesco Portioli

LE PROVE DI CARICO DEGLI IMPALCATI CIVILI (3)

RICHIAMO DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI

• IMPALCATO: E' L'INSIEME DELLE "TRAVI + SOLAIO"

• FUNZIONI E CARATTERISTICHE
DEI SOLAI



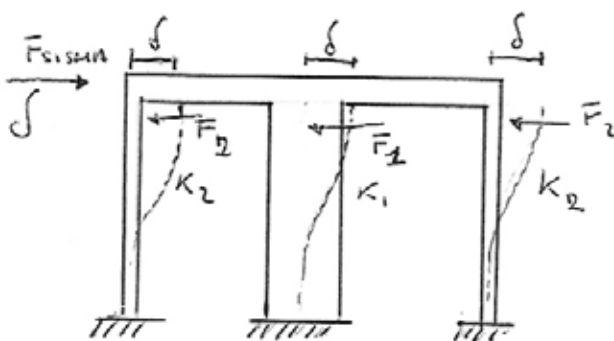
1) RESISTENZA E RIGIDITÀ
NEI CONFRONTI DELLE AZIONI
VERTICALI: HANNO IL COMPITO
DI TRASFERIRE I CARICHI ALLE TRAVI

2) RESISTENZA E RIGIDITÀ
NEI CONFRONTI DELLE AZIONI ORIZZONTALI: HANNO IL COMPITO
DI GARANTIRE UN COLLEGAMENTO RIGIDO NEL PIANO ORIZZONTALE
TRA I DIVERSI ELEMENTI VERTICALI $\Rightarrow$ CIÒ IMPLICA UNA
MIGLIORE RIPARTIZIONE DELLE AZIONI SISMICHE SUGLI
ELEMENTI VERTICALI (PILASTRI).

Es: Se $K_1 > K_2 \Rightarrow F_1 = K_1 \delta > F_2 = K_2 \delta$
con K_i rigidità traslante.

Dunque la forza sismica,
se $\delta = \text{cost}$, è ASSORBITA DAGLI
ELEMENTI PIÙ RIGIDI E RESISTENTI,

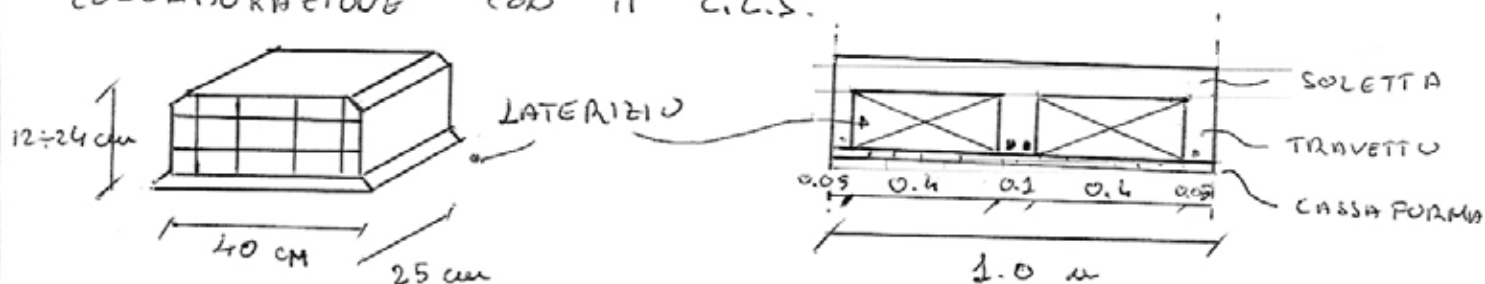
INDIPENDENTEMENTE DALLA DISTRIBUZIONE DELLE MASSE
(E DUNQUE DELLA STESSA FORZA SISMICA) SULL'IMPALCATO



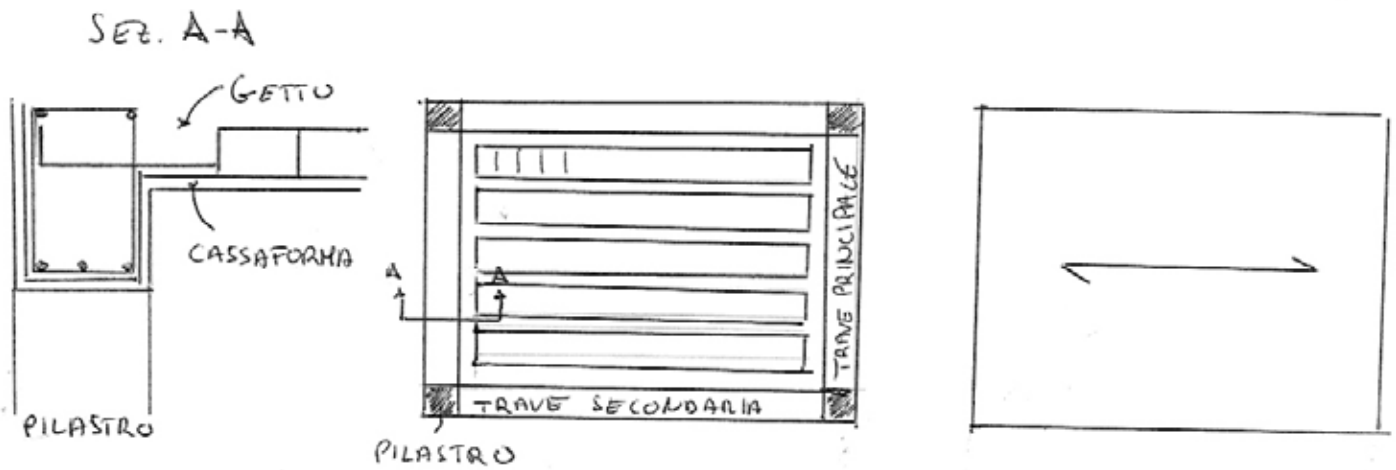
UN ESEMPIO DI SOLAIO:

IL SOLAIO IN LATERO-CEMENTO A TRAVETTI
GETTI IN OPERA

- Si realizza mediante una cassaforma continua (in legno), adeguatamente puntezzata, sulla quale vengono posizionati, per file parallele opportunamente distanziate, dei blocchi in laterizio.
- Il laterizio può avere semplice funzione di alleggerimento, ovvero una funzione statica di collaborazione con il C.L.S.

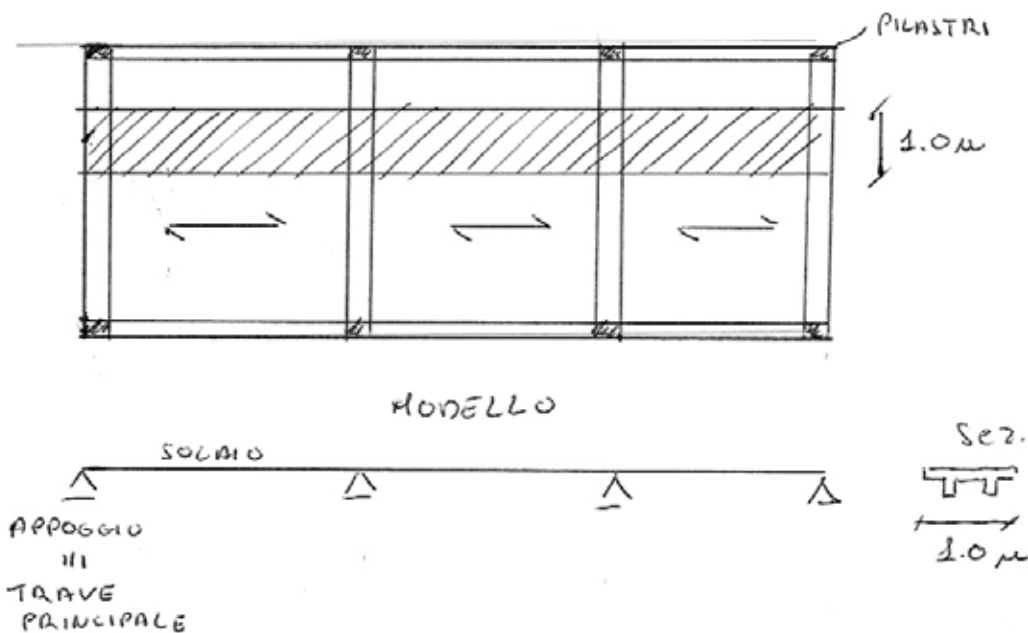


- Negli interspazi tra due filari contigui si generano così i "vuoti" (le nervature) tra loro paralleli, nei quali viene posizionata l'armatura principale del solaio.
- Il getto di C.L.S. ricopre i laterizi, generando così i travetti e la soletta.
- Il getto avviene contestualmente a quello delle travi dell'impalcato.



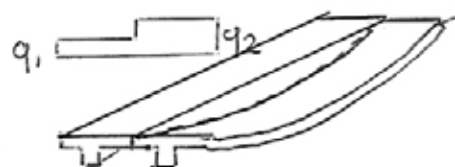
IL MODELLO STRUTTURALE DEL SOLAIO

- Il solaio è una piastra ortotropa. Generalmente, infatti, la rigidità della struttura in direzione dei travetti è molto maggiore della rigidità in direzione ortogonale.
- Per azioni ortogonali al piano del solaio (carichi verticali) nella pratica progettuale si fa riferimento alla modellazione semplificata di una "fascia elementare" mediante una trave continua su più appoggi.

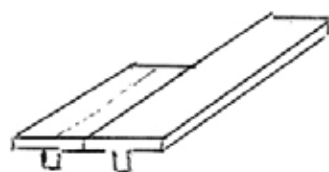


• Il modello trascura la collaborazione in direzione trasversale tra i singoli travetti, che in realtà è garantita dalla soletta e da "travetti rompitratta" (in direzione trasv.), nei seguenti casi:

1) Situazioni di carico non uniforme

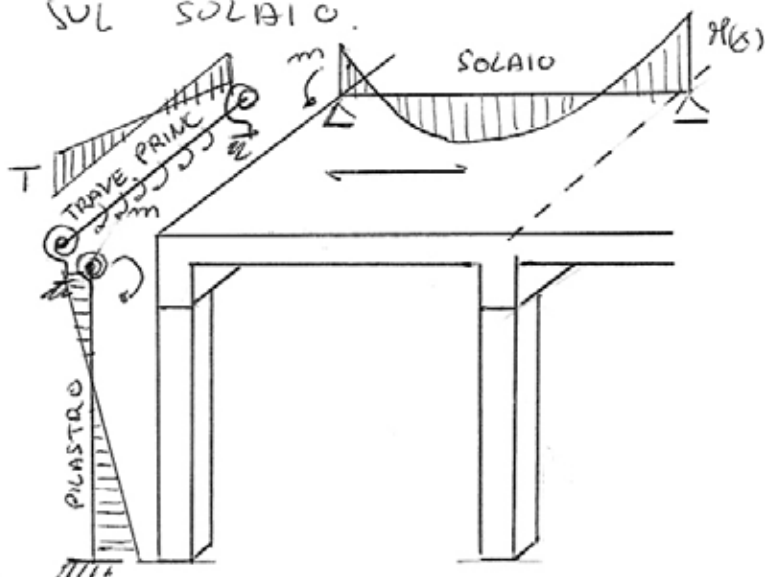


2) Variazioni della luce nell'orditura



• La collaborazione in direzione trasversale garantita dalla soletta e dal travetto rompitratta genera sollecitazioni di tipo "secondario" non necessarie cioè all'equilibrio della struttura

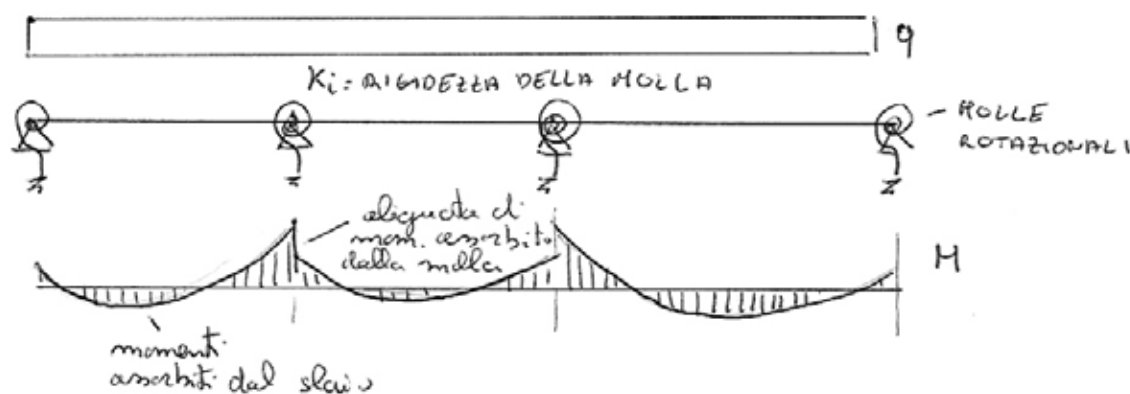
• Anche nell'ambito della semplificazione del modello del solaio (con quello della trave continua), un ulteriore problema è costituito dall'individuazione degli effettivi vincoli a cui è soggetta la striscia elementare. Tali vincoli, infatti, dovrebbero poter simulare l'effettiva reazione della trave principale sul solaio.



In realtà, il solaio non è libero di ruotare in corrispondenza degli appoggi (le travi). Essendo le travi princ. si oppongono a tali rotazioni con la propria rigidità torsionale. Anche i pilastri collaborano

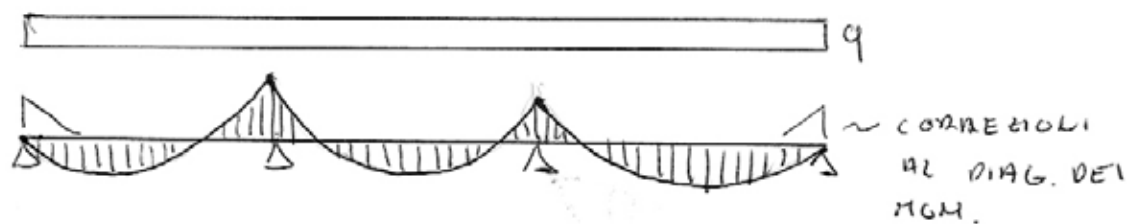
CON LE TRAVI, OPPONENDOSI A TALI ROTAZIONI.

PER TENER COLTO DELLE INTERAZIONI SOLAIO - TRAVI - PILASTRI,
OCCORREREBBE RICORRERE AL MODELLO DI TRAVE CONTINUA
RIPORTATO DI SEGUITO



K_i : COSTANTE ELASTICA
DELLA MOLLA ROTAZIONALE $\equiv$ ALLA RIGIDEZZA DEL
SISTEMA TRAVE + PILASTRO

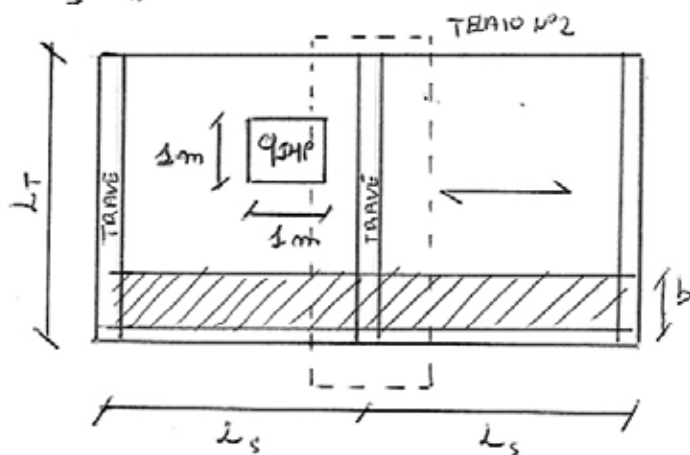
Tuttavia, nella pratica PROGETTUALE, si ricorre, A VANTAGGIO
DI SICUREZZA, AL MODELLO SEMPLICE DI TRAVE CONT., ipotizzando
così che in corrispondenza DEGLI APPOGGI tutto il MOM. FLETTENTE
SIA ASSORBITO A FLESSIONE DAL SOLAIO



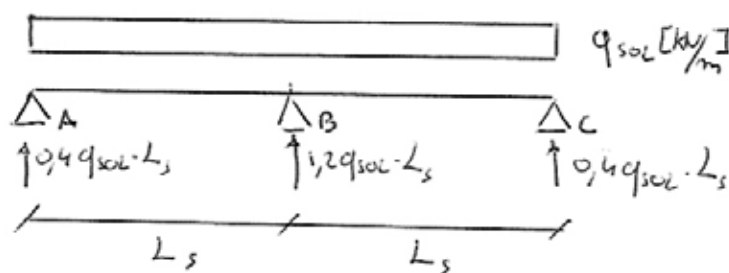
IL CARICO q_{sol} DA APPLICARE AL MODELLO DI TRAVE CONT. DEL SOLAIO PER IL CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI DEVE ESSERE RICAVATO ATTRAVERSO IL CARICO $q_{imp} [kN/m^2]$ MEDIANTE LA RELAZIONE

$$q_{sol} = q_{imp} \times b [kN/m]. \text{ Se } b=1.0 \text{ (COME DI SOLITO SI IMPONE)}$$

I DUE VALORI COINCIDONO NUMERICAMENTE.



MODELLO SOLAI

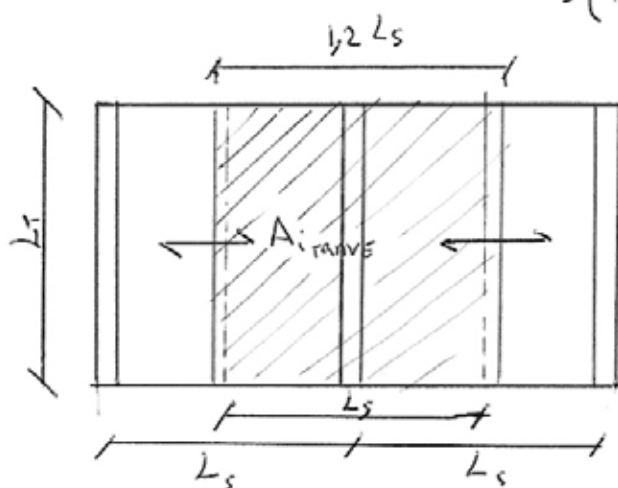


$$q_T = \frac{1.2q_{sol} \cdot L_s}{b}$$

MODELLO
TELAIO (TRAVE
PILASTRI)

CON RIFERIMENTO AL TELAI
N°2, LA REAZIONE DELL'APPOGGIO
B RAPPRESENTA IL CARICO q_T
AGISCE SU UN TRATTO DI LUNGHERZA
"b" DI TRAVE. IL CARICO/ML DI TRAVE
SARÀ PERTANTO: $q_T = \frac{1.2q_{sol} \cdot L_s}{b} [kN/m]$.

b (in genere b=1.0)

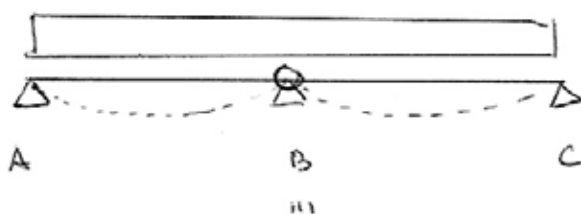


IL CARICO q_T PUÒ ESSERE
CALCOLATO ANCHE CONSIDERANDO
L'AREA DI INFLUENZA RITTEGGIATA
IN FIGURA ($A_i TRAVE$)

$$q_T = \frac{q_{imp} \times \cancel{L_T} \times 1.2L_s}{\cancel{L_T} \times b} = \frac{1.2q_{sol}L_s}{b}$$

Nel caso dell'appoggio B, il coeff. $\varphi_B = 1,2$ è detto il COEFFICIENTE DI CONTINUITÀ.

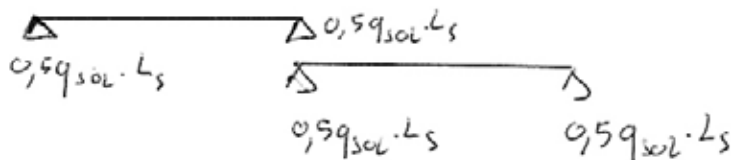
Se il solaio fosse discontinuo in B (Es. solaio in legno) $\varphi_B = 1,0$



Dunque φ_i FORNISCE

UNA MISURA DELL'AMPLIFICAZIONE DELLA REAZIONE

IN UN GENERICO APPOGGIO



PER EFFETTO DELLA CONTINUITÀ DELLA TRAVE RISPETTO AL VALORE $q_{solaio} \cdot L_s$ -

COME DIMOSTRATO PRECEDENTEMENTE, L'AREA DI INFLUENZA

PUÒ ESSERE INCAVATA AMPLIFICANDO (O RIDUCENDO SE $\varphi < 1$)

LA DIMENSIONE $L_s = 0,5 L_s + 0,5 L_s$ ATTRAVERSO IL FATTORE

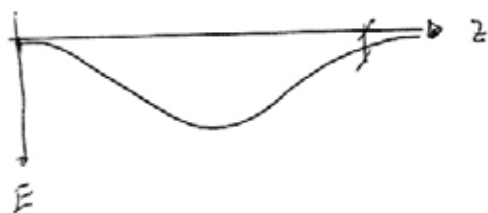
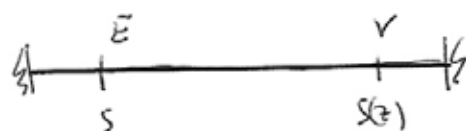
φ_i -

L'USO DELLE LINEE DI INFLUENZA NELLE PROVE DI CARICO

LA NORMATIVA VIGENTE PRESCRIVE CHE IN FASE DI COLLAUDO LE COMBINAZIONI DI CARICO DA REALIZZARE DEVONO PRODURRE LE MASSIME SOLLECITAZIONI OTTENUTE DURANTE LA PROGETTAZIONE.

PER RICHIAMARE TALI CONDIZIONI DI CARICO E' NECESSARIO RICORRERE ALLE LINEE DI INFLUENZA

SI DEFINISCE LINEA DI INFLUENZA DI E (MOM., ABBASSAM.) nella sez. S provocata da $V^{(VIAGGIANTE)}$ in $S(z)$, il diagramma la cui ordinata all'ascissa z (GENERALMENTE UNA FORZA VERT.) rappresenta il valore di E in S quando $V=1$ è applicata in $S(z)$



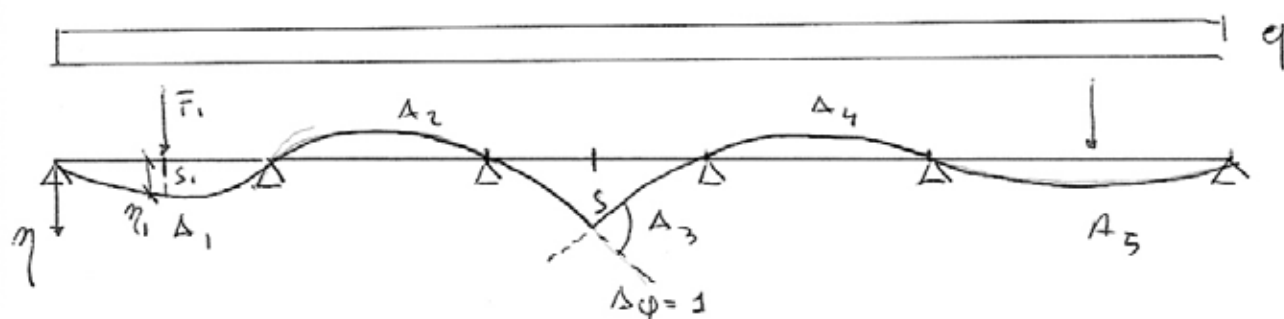
LA CONOSCENZA DELLA LINEA DI INFLUENZA E' CONSENTE LA DEFINIZIONE DELLA CONDIZIONE DI CARICO UNIFORME CHE PRODUCE IL MASSIMO VALORE DELL'ENTE IN CONSIDERAZIONE

(3)

Esempio n° 1

Si consideri la trave in FIGURA E SI VOGLIA
DEFINIRE LA LINEA DI INFLUENZA del MOMENTO in S
per FORZA VERTICALE VIAGGIANTE.

Si DIMOSTRA (PRINCIPIO DI BETTI) che il diagramma
degli spostamenti VERTICALI prodotto da una distorsione
ROTAZIONALE UNITARIA coincide con LA LINEA DI
INFLUENZA CERCATA



Per un CARICO q UNIFORMEMENTE DISTRIBUITO SULLA TRAVE

$$M_s = \int_0^L q dx \cdot \eta = q (A_1 + A_3 + A_5 - A_2 - A_4)$$

$$\Rightarrow M_{s, \max} = q (A_1 + A_3 + A_5)$$

Nota:

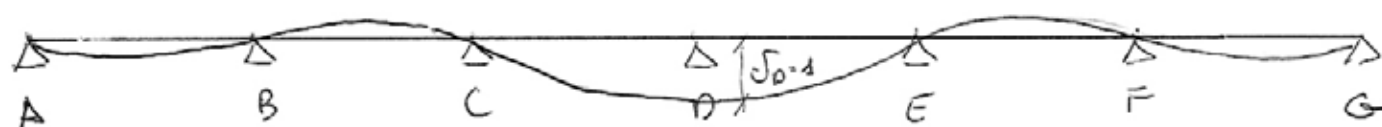
PIÙ SEMPLICEMENTE, NEL CASO DI UNA FORZA F_1 in S_1 ,
vale la RELAZIONE

$$M_s = F_1 \eta_1$$

CON QUESTA PROCEDURA È POSSIBILE AFFERMARE CHE: (10)

- PER OTTENERE IL MAX. MOM. IN UNA CAMPATA OCCORRE CARICARE LA CAMPATA STESSA E QUELLE ALTERNATE A PARTIRE DALLA CAMPATA CONSIDERATA.
- PER OTTENERE IL MAX MOM. NEGATIVO SUGLI APPOGGI OCCORRE CARICARE LE DUE CAMPATE ADIACENTI ALL'APPOGGIO E LE ALTRE PRESE ALTERNATIVAMENTE.

ESEMPIO N°2



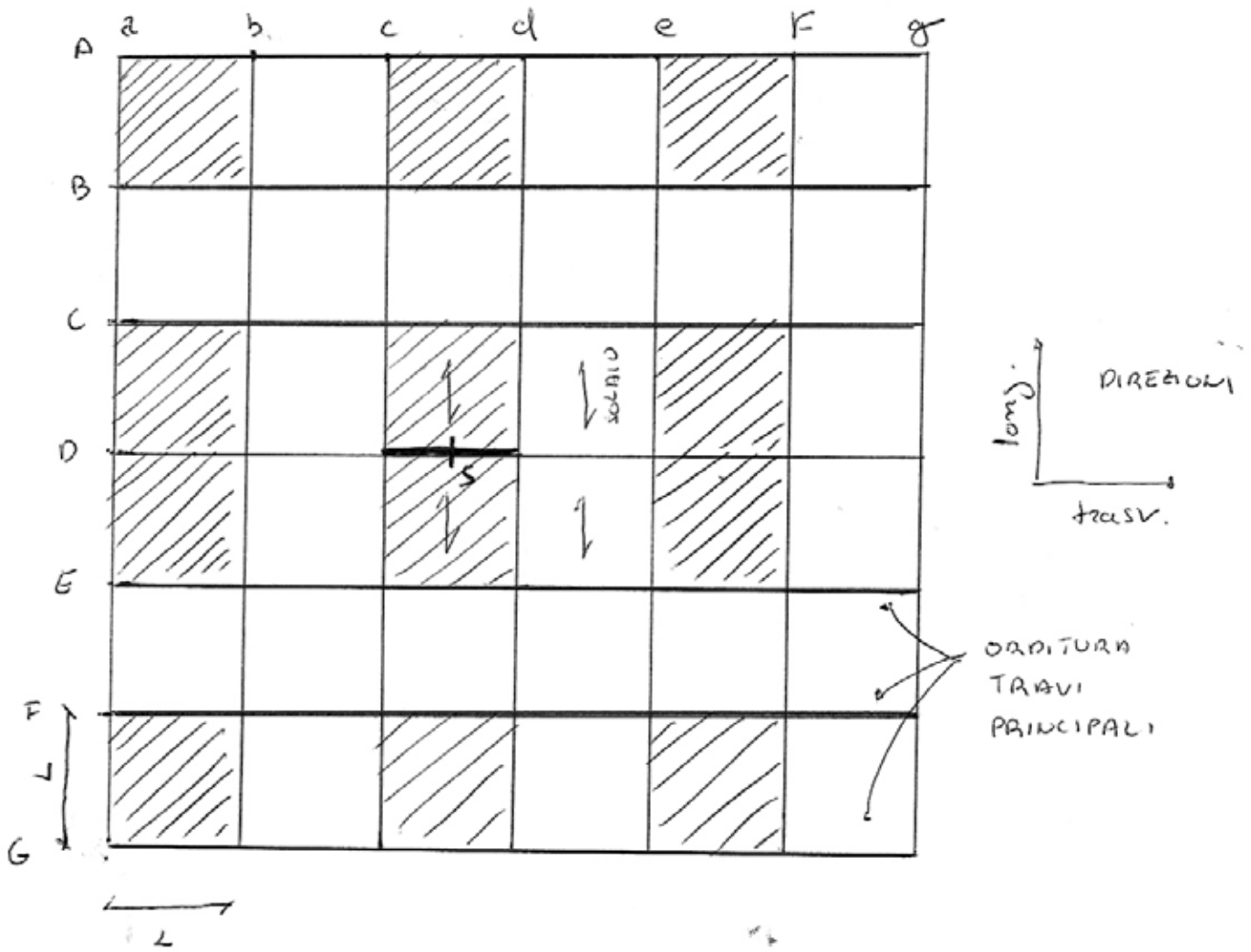
LA LINEA DI INFLUENZA DELLA REAZIONE IN D e F VERTICALE VIAGGIANTE CORRISPONDE AL DIAGRAMMA DEGLI ABBASSAMENTI OTTENUTO IMPONENDO $\delta_D = 1$

LA MASSIMA REAZIONE IN D SI OTTIENE PERTANTO CARICANDO LE CAMPATE AB, CD, DE e FG, con un carico q È UNIFORME.

CONDIZIONI DI CARICO

• TRAVI

Si supponga di voler determinare la condizione di carico che produce le massime sollecitazioni nella trave in figura (trave $D_c - D_d$),



SUPPONENDO CHE I TRAVETTI DEL SOLAIO SIANO TUTTI PARALLELI E PERPENDICOLARI ALL'ASSE DELLA TRAVE IN ESAME

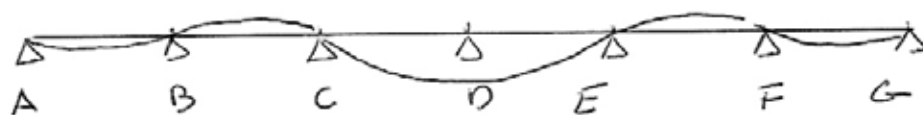
IL CARICO q dovrà ESSERE DISPOSTO A SCACCHIERA COME IN FIG.

(12)

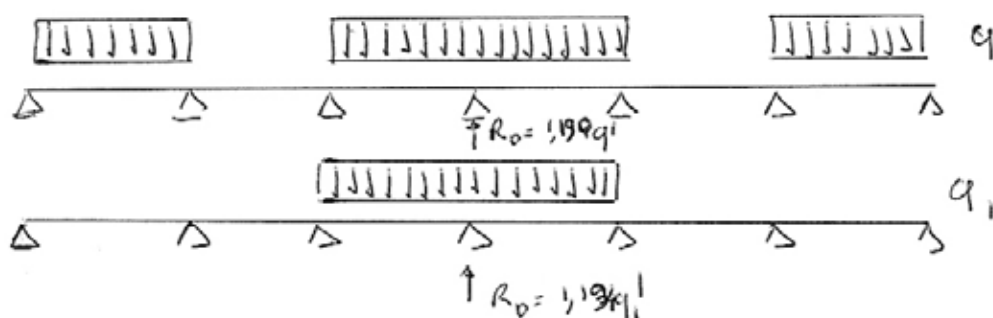
CIÒ RISULTA DALLE LINEE DI INFLUENZA RIPORTATE DI SEGUITO

CARICO q_T sulla TRAVE $D_c - D_d$

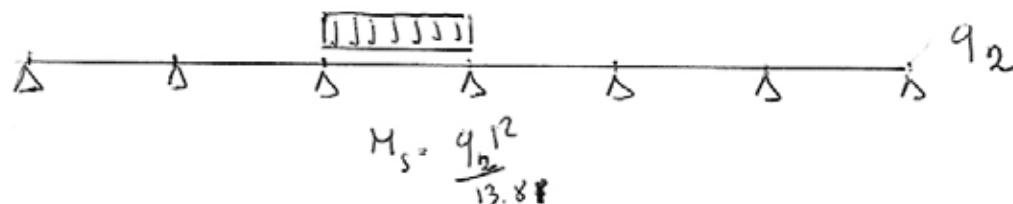
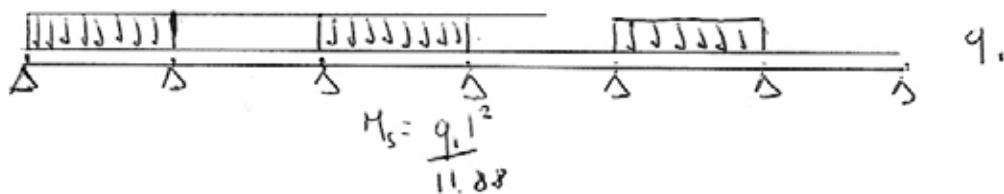
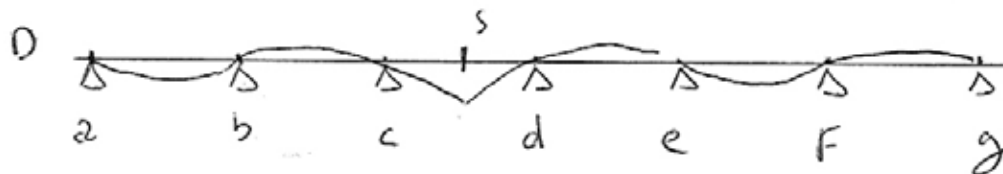
LINEA DI INFLUENZA REAZ. $im(p)$



Reaz.
long.



LINEA DI INFLUENZA MOM in S

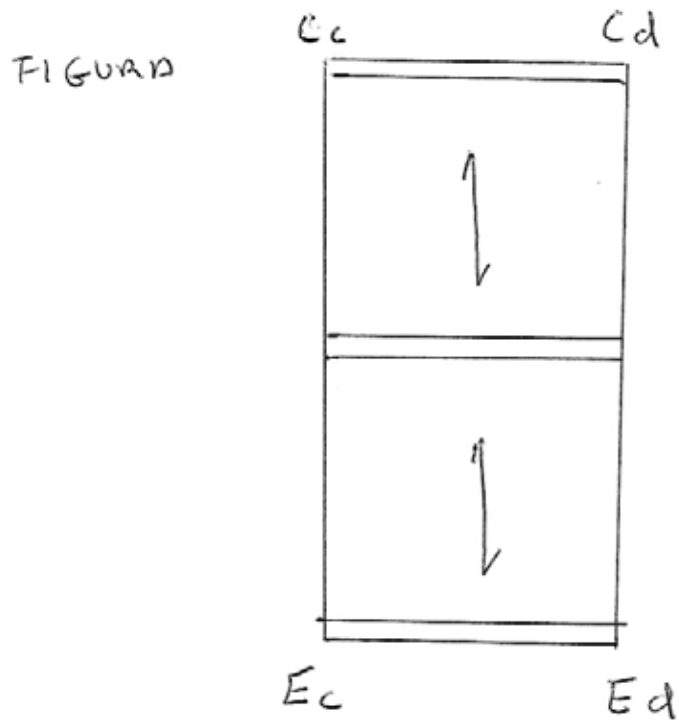


Dalle SEGUENTI UGUAGLIANZE RISULTA INOLTRE

$$1.134 q_1 = 1.150 q_1 \Rightarrow q_1 = 1.045 q$$

$$\frac{q_1^2}{11.88} = \frac{q_2^2}{13.88} \Rightarrow q_2 = 1.162 q_1 = 1.22 q$$

SECONDO QUANTO ILLUSTRATO, RISULTA UNA
 RIDUZIONE DELLA ZAVORNA TOTALE DELL'80%
 DI QUELLA MASSIMA, OTTENUTA CARICANDO CON
 $q_2 = 1,22 q$ LE SLE CAMPATE DI SOLAIO INDICATE IN



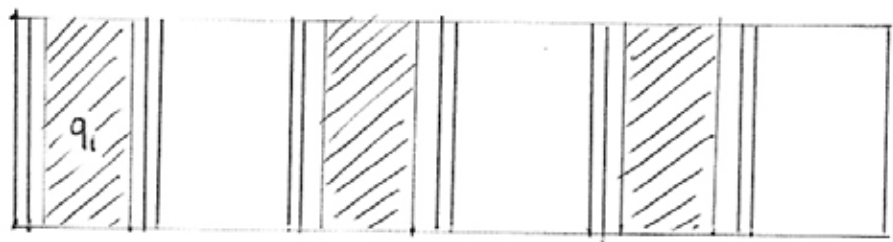
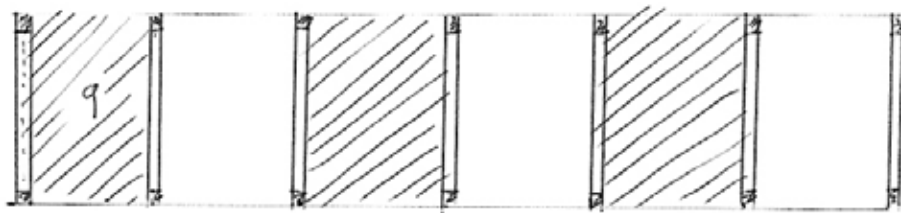
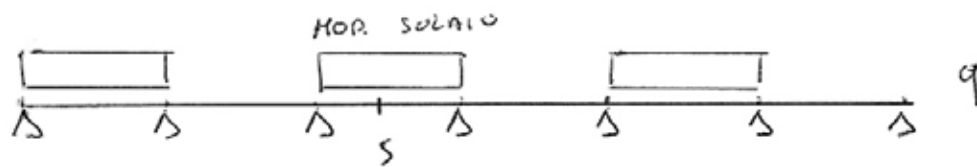
LA ZAVORNA TOTALE
 PASSERÀ INFATTI DA
 $12 q l^2$ A $2,44 q l^2$.

• Solai

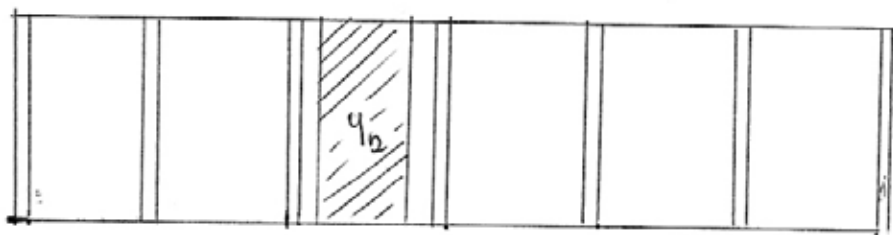
Anche nel caso delle prove di CARICO SU SOLAI, IL
 CARICO DEVE ESSERE DI SPOSTO A CAMPATE ALTERNE
 IN MODO DA INDURRE LE MASSIME SOLLECITAZIONI
 PREVISTE IN FASE DI PROGETTO.

Es.

(14)



I)



II)

Per ogni CAMPATA IL CARICO DEVE ESSERE APPLICATO SU TUTTA LA ZONA COMPRESA TRA I QUATTRO PILASTRI. Ove si voglia ridurre la LAVORAZIONE NECESSARIA E' POSSIBILE PROCEDERE SECONDO QUANTO INDICATO IN FIG. in I) e II)

(LE RIDUZIONI DI LAVORO TOTALE POSSONO ARRIVARE AL 40÷60% RISPETTO AL CASO IN CUI TUTTE LE CAMPATE SONO CARICATE CON IL CARICO q)

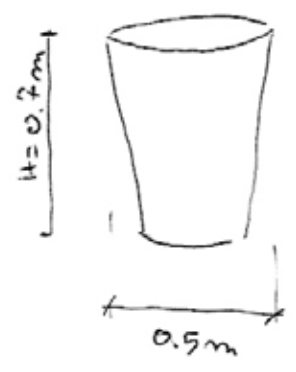
MODALITA' DI APPLICAZIONE DEL CARICO

I materiali con cui si realizza il carico

- possono essere:
- SABBIA
 - ACQUA

Per il primo è però difficile determinare il peso specifico, che risulta comunque variabile per gli agenti atmosferici. Comporta inoltre il trasporto di varie tonnellate di materiale dal piano terra al solaio in prova.

Tali inconvenienti si eliminano adoperando contenitori leggeri in plastica da riempire di acqua.



Capacità: 100 l

Con tali contenitori, pieni pesano 100 kg ciascuno, è possibile ottenere facilmente 400 kg/mq ed anche 1200 kg/mq mediante sovrapposizioni.

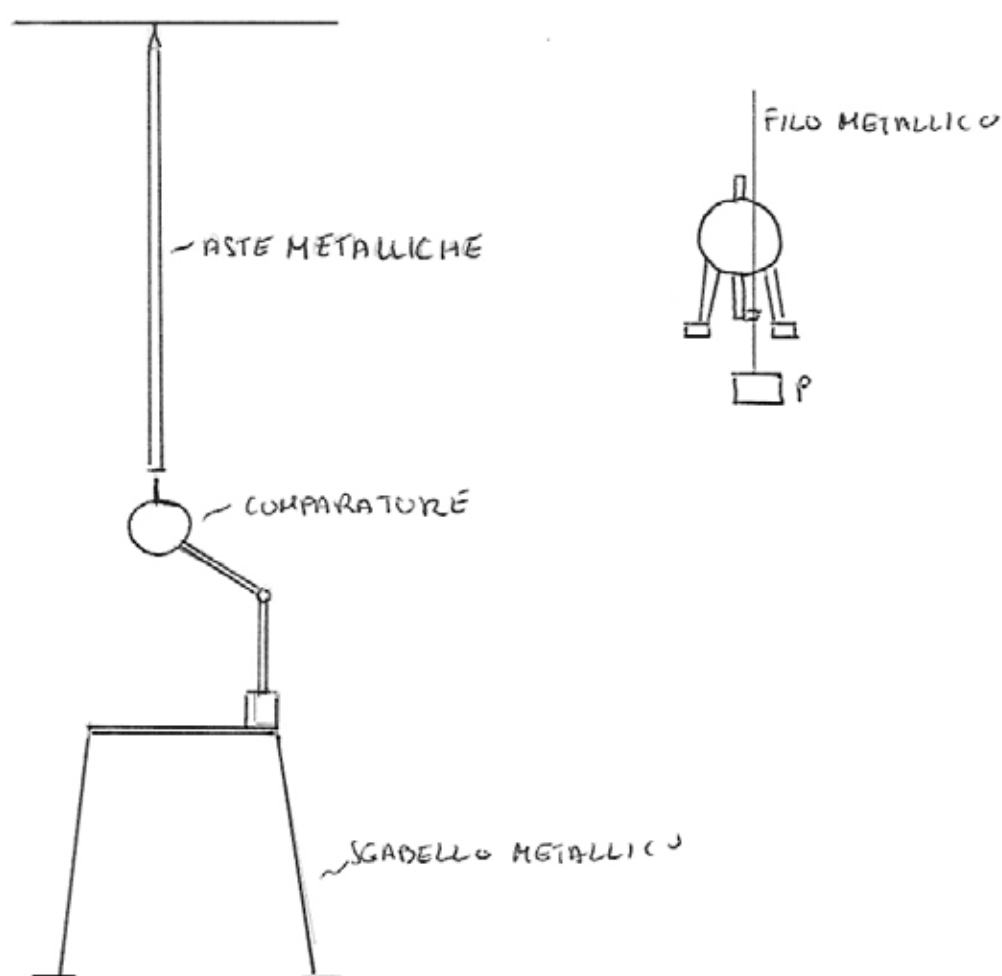
È possibile inoltre applicare il carico mediante materassi in gomma da riempire sempre con acqua

GLI STRUMENTI DI MISURA

96

LA DETERMINAZIONE DEGLI SPOSTAMENTI

VERTICALI, CHE NEGLI EDIFICI PER CIVILI ABITAZIONI POSSONO ESSERE INFERIORI AL MILLIMETRO, SI EFFETTUA MEDIANTE COMPARATORI.



Per MISURARE LE DEFORMAZIONI DEL C.C.S. E DELL'ACCIAIO SI UTILIZZANO IL DEFORMOMETRO ED IL TENSOTAST RISPETTIVAMENTE.

LA NORMATIVA (DM 09/01/1996) PRESCRIVE CHE LE PROVE NON POSSONO ESSERE ESEGUITE PRIMA CHE IL CONGLOMERATO ABIA RAGGIUNTO LA RESISTENZA PREVISTA ENOL PRIMA DI 28gg. DALL'ULTIMAZIONE DEI GETTI.

I CARICHI DEVONO ~~TALI~~ ESSERE TALI DA INDURRE LE MASSIME SOLLECITAZIONI DI PROGETTO E LA PROVA DEVE ESSERE PROTRATTA NEL TEMPO; LA DURATA, STABILITA DAL COLLAUDATORE, DEVE ESSERE FISSATA TENENDO CONTO DEL TIPO DI STRUTTURA E DELLA NATURA DEI CARICHI.

VALORI DEI SOVRACCARICHI VARIABILI PER EDIFICI

- LOCALI PER ABITAZIONI 2.0 kN/m^2
- AMBIENTI SUSCETTIBILI DI AFFOLLAMENTO (RISTOR., CAFFE', BANCHE, OSPED. ...) 3.0 kN/m^2
- AMBIENTI SUSCETTIBILI DI GRANDE AFFOL. (CINEMA, TEATRI...) 4.0 kN/m^2
- BALCONI E SCALE COMUNI 4.0 kN/m^2

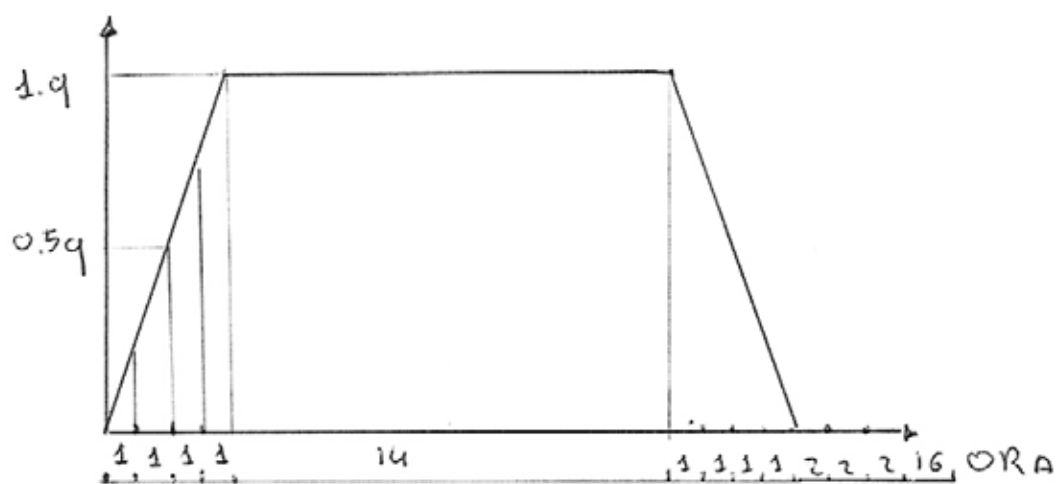
La prova di carico dovrà essere valutata sulla base dei seguenti elementi:

- le deformazioni si accrescono proporzionalmente ai carichi
- nel corso della prova non si producono lesioni o cedimenti che compromettano la sicurezza dell'opera
- la deformazione residua dopo la prima applicazione del carico massimo non supera una quota parte di quella totale. Nel caso in cui tale limite venga superato, prove di carico successive devono accertare che la struttura tende ad un comp. elastico
- la deformazione elastica risulta non maggiore di quella calcolata.



Negli edifici per civili abitazioni i carichi sono costituiti prevalentemente da carichi permanenti che raggiungono il 65% del totale. I carichi utili raggiungono il valore massimo molto raramente e per brevissimi intervalli di tempo.

È sufficiente perciò che il carico non solleciti gli elementi per lungo tempo e può adottarsi la via di carico riportata di seguito.



COME È POSSIBILE NOTARE DALLA FIGURA, NELLA FASE DI CARICO SI REALIZZANO IN GENERE 4 ALIQUOTE INTERMEDIE, IN MODO DA VERIFICARE CON CERTENZA SE LE DEFORMAZIONI SI ACCRESCONO PROPORZIONALMENTE AI CARICHI.

NEL CASO DEI SOLAI DI COPERTURA È NECESSARIO DEPURARE LE MISURE DALLE DEFORMAZIONI DOVUTE ALLE ESCURSIONI TERMICHE, EFFETTUANDO DEI RILIEVI A STRUTTURA SCARICA NEI GIORNI PRECEDENTI QUELLO DI INIZIO DELLA PROVA

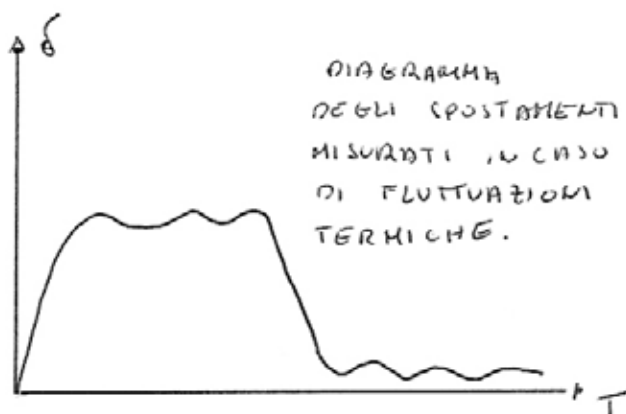
CONCIO



MATTINA = 0



SERA



CON RIFERIMENTO AI VALORI MASSIMI DEGLI
SPOST., UN'ELABORAZIONE DEI DATI SPERIMENTALI
SU 200 PROVE DI CARICO HA FORNITO I SEGUENTI
VALORI MEDI

OPERE IN C.A.

- solai senza pav.	$1/9000$
- sbalzo	$1/3000$
- trave	$1/13000$
- trave a spess.	$1/9000$

OPERE METALLICHE

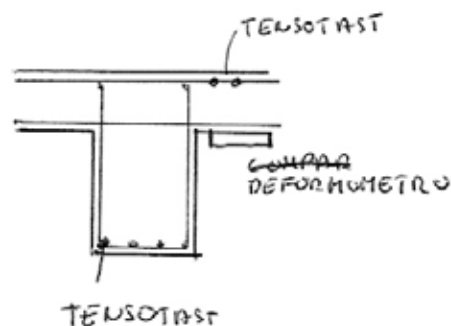
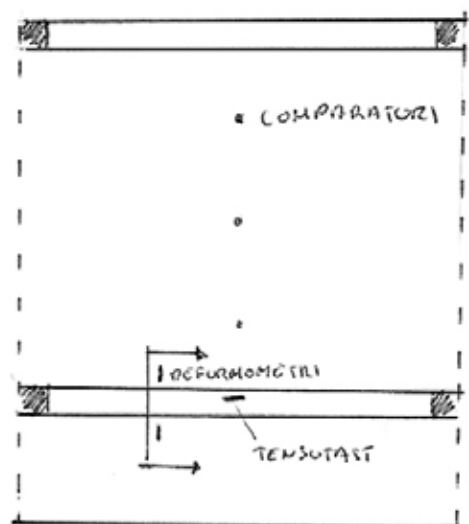
- solaio	$1/1100$
- trave	$1/430$

ESECUZIONE DELLE PROVE DI CARICO: ALCUNI ESEMPI

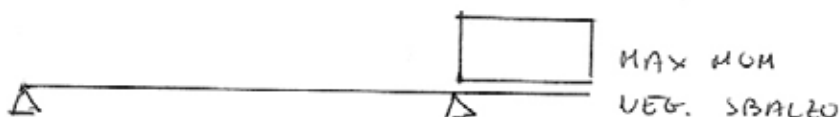
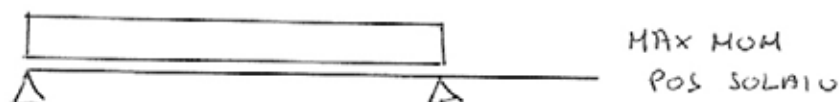
UN CORRETTO ESAME SPERIMENTALE COMPORTA L'ESECUZIONE
DI ALMENO UNA PROVA SU OGNI ELEMENTO STRUTTURALE
CHE SI RIPETE MOLTE VOLTE.

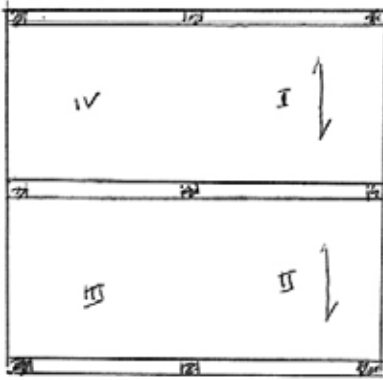
LA SCELTA DEVE INOLTRE RICADERE SULLE STRUTTURE
CHE RISULTANO PIÙ SOLLECITATE NELLA RELAZIONE DI CALCOLO,
CHE PIÙ FREQUENTEMENTE SONO SOTTOPOSTE AD ELEVATI CARICHI
ESTERNI O CHE POSSIEDONO UN NUMERO MINORE DI VINCOLI IPERSTATICI.

Nei CASO DI CIVILI ABITAZIONI E' SEMPRE OPPORTUNO ⁽²¹⁾
 SOTTO PORRE LA VERIFICA SPERIMENTALE ALMENO UN BALCONE
 ED UNA ZONA DI SOLAIO.



COND. DI CARICO





TRAVE

CONDIZIONI DI CARICO

MAX MOM POS

TRAVE

 $I + II$

oppure

 $III + IV$

MAX MOM NEG.

TRAVE

 $I + II + III + IV$

MAX MOM POS.

SOLAIO

I

oppure

II

MAX MOM NEG.

SOLAIO

 $I + II$