

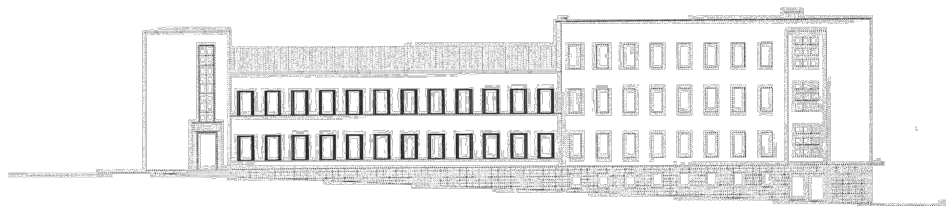


COMUNE DI MILITELLO IN VAL DI CATANIA

PROVINCIA DI CATANIA - REGIONE SICILIA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA E
RIQUALIFICAZIONE DEGLI EDIFICI ADIBITI AD USO SCOLASTICO
FONDO EUROPEO DI SVILUPPO REGIONALE (FESR-PON 2014-2020)
ISTITUTO COMPRENSIVO STATALE "PIETRO CARRERA"
VIALE REGINA MARGHERITA N.15

PROGETTO ESECUTIVO



RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

ALLEGATO - GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI
E VALIDAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO

R. U. P.
Legale Rappresentante
Il Tecnico
Geom. PAOLO TRAMONTANA

02 MAG. 2018



PROGETTISTA
tecnico incaricato
Arch. Ing. Vito Russo

Visti ed approvazioni

ASSESSORATO REGIONALE REGIONE SICILIA
DIREZIONE REGIONALE REGIONE SICILIA
UFFICIO REGIONALE REGIONE SICILIA
Pos. N. 1-2-0-5-1-5
Visto e approvato
informato e approvato
10 GEN 2018

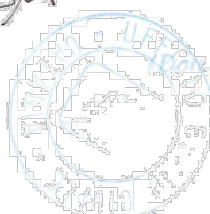
ELABORATO VERIFICATO

art.26 D.Lgs. 50/2016

LICCIARDELLOPROGETTI S.r.l.

[Signature]

10/11/2020



[Signature]

INDICE

Giudizio motivato di accettabilità.....	3
1. descrizione del modello	3
2. valutazione dei carichi sismici.....	4
3. determinazione della forza sismica di piano.....	4
4. confronto con i risultati del codice di calcolo.....	6

Giudizio motivato di accettabilità

Il software utilizzato ha permesso di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura utilizzando la libreria disponibile di elementi finiti.

Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello hanno consentito di controllare sia la coerenza geometrica che la adeguatezza delle azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

Inoltre la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali: sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti e reazioni vincolari, hanno permesso un immediato controllo di tali valori con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati della struttura stessa.

Si è inoltre riscontrato che le reazioni vincolari sono in equilibrio con i carichi applicati, e che i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche sono confrontabili con gli omologhi valori ottenuti da modelli SDOF semplificati.

Sono state inoltre individuate un numero di travi ritenute significative e, per tali elementi, è stata effettuata una apposita verifica a flessione e taglio.

Le sollecitazioni fornite dal solutore per tali travi, per le combinazioni di carico indicate nel tabulato di verifica del CDSWin, sono state validate effettuando gli equilibri alla rotazione e traslazione delle dette travi, secondo quanto meglio descritto nel calcolo semplificato, allegato alla presente relazione.

Si sono infine eseguite le verifiche di tali travi con metodologie semplificate e, confrontandole con le analoghe verifiche prodotte in automatico dal programma, si è potuto riscontrare la congruenza di tali risultati con i valori riportati dal software.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato tutte esito positivo.

Da quanto sopra esposto si può quindi affermare che il calcolo è andato a buon fine e che il modello di calcolo utilizzato è risultato essere rappresentativo della realtà fisica, anche in funzione delle modalità e sequenze costruttive.

Fermo restando quanto detto si procede comunque allo svolgimento di un calcolo di massima al fine di confrontare i risultati così ottenuti con le elaborazioni del codice di calcolo.

Le grandezze prese come termine di raffronto sono le azioni sismiche orizzontali in corrispondenza della piastra di copertura delle vasche in c.a.

Il calcolo di massima sarà svolto considerando un'analisi statica equivalente adottando le combinazioni dei carichi e le metodologie di valutazione delle azioni sismiche contenute del D.M. 14/01/2008.

Il procedimento seguito può essere così schematizzato:

1. descrizione del modello;
2. valutazione dei carichi sismici;
3. determinazione delle forze sismiche di piano;
4. confronto con i risultati del codice di calcolo;

Si svolge di seguito il calcolo di massima.

1. descrizione del modello

Il modello adottato per la determinazione della tagliente di piano all'unico impalcato è quello di una struttura dotata di elementi portanti verticali (in questo caso rappresentati dai setti in c.a.) che sostengono un piano considerato infinitamente rigido al quale viene applicata l'intera massa strutturale.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica le grandezze significative sono la superficie dell'impalcato, l'altezza dello stesso rispetto allo spiccatto delle fondazioni e le masse strutturali.

Queste ultime vengono valutate con riferimento all'analisi dei carichi riportata nella relazione generale.

La superficie dell'impalcato e la quota dello stesso sono riassunte nella seguente tabella:

	superficie (m ²)	quota (m)
impalcato I	91,62	3,25

Tabella 1

2. valutazione dei carichi sismici

I carichi sismici vengono determinati sulla scorta delle analisi dei carichi riportate nella relazione di calcolo usando le combinazioni prescritte dal punto 2.5.3 delle NTC 2008 il quale per la combinazione sismica fornisce la 2.5.5:

$$G_1 + G_2 + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} \quad (2.5.5)$$

sostituendo i valori ricavati nell'analisi dei carichi si ottiene per la copertura piana:

$$500 + 200 + 0,6 \cdot 400 = \mathbf{940 \text{ kg/m}^2}$$

L'incidenza dei setti verticali viene considerata applicando al piano sismico il peso di metà altezza di tali elementi. Il calcolo è riassunto nella seguente tabella:

lunghezza complessiva dei setti (m)	altezza (m)	spessore (m)	peso unitario cls (kg/m ³)	peso complessivo setti (kg) (a)	incidenza setti (kg) (pari ad a/2)
4,5	3,9	0,2	2500	8775	4387,5
20,36	3,575	0,2	2500	36393,5	18196,75
4,5	3,25	0,2	2500	7312,5	3656,25
20,36	3,575	0,2	2500	36393,5	18196,75
somma il carico sismico					44437,25

3. determinazione della forza sismica di piano

Adottando un'analisi statica equivalente e facendo riferimento a consolidate trattazioni in materia, oltre che alle indicazioni del punto 7.3.3.2 delle NTC2008, si procede considerando le grandezze sismiche relative allo SLU (SLV). Le azioni sismiche possono essere valutate seguendo il procedimento così articolato:

- valutazione semplificata del periodo proprio della struttura (T_1);
- determinazione dell'ordinata dello spettro di risposta elastico relativo a tale periodo ($S_e(T_1)$);
- determinazione del fattore di comportamento (q);
- determinazione dell'ordinata dello spettro di progetto ($S_d(T_1)$);
- calcolo del taglio alla base (F_h);
- calcolo delle forze sismiche di piano (F_i).

Il periodo proprio può essere stimato applicando la formula 7.3.5 del richiamato paragrafo 7.3.3.2 delle NTC 2008:

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4} = 0,05 \cdot 3,25^{3/4} = 0,121 \text{ s}$$

dove: $C_1 = 0,05$ per strutture diverse da intelaiate in acciaio e in c.a.;

H è l'altezza in metri della costruzione dallo spiccatto delle fondazioni

Lo spettro elastico allo SLU è definito nel paragrafo 3.2.3.2.1 delle NTC 2008 tramite le relazioni 3.2.4 in funzione del periodo. Per il sito sul quale si trova il manufatto in oggetto si ricavano i seguenti valori di riferimento dei periodi (cfr. pag. 17 della sezione dati di input dei tabulati di calcolo delle vasche) per lo spettro relativo allo SLV:

$$T_B = 0,18 \text{ s}; \quad T_C = 0,55 \text{ s}; \quad T_D = 2,59 \text{ s}$$

il periodo della struttura è inferiore a T_B . In via semplificativa per la determinazione dell'ordinata dello spettro elastico si adotta la relazione valida per periodi compresi tra T_B e T_C :

$$S_e(T_1) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad \text{valida per } 0 < T < T_B \quad (3.2.4)$$

le grandezze che entrano nella 3.2.4 sono riportate nella citata pag. 17 dei tabulati di calcolo e vengono qui richiamate:

$$a_g = 0,25 \text{ g} \quad (\text{essendo "g" l'accelerazione di gravità})$$

$$S = 1,17$$

$$\eta = 1 \quad (\text{lo smorzamento considerato è del 5\%})$$

$$F_0 = 2,27$$

sostituendo nella 3.2.4 si ottiene:

$$S_e(T_1) = 0,542 \text{ g}$$

Il fattore di struttura, introdotto al paragrafo 7.3.1 delle NTC 2008, è determinato tenendo conto del fatto che si sta progettando in classe di duttilità B e che si tratta di una struttura assunta regolare in altezza ma non in pianta. Esso è dato dalla:

$$q = q_0 \cdot K_R \quad (7.3.1)$$

$$\text{per strutture regolari in altezza: } K_R = 1,0$$

per progettazione in classe di duttilità B si ha:

$$q_0 = 3,0 \cdot \alpha u / \alpha 1 \quad (\text{cfr. tabella 7.4.I})$$

per strutture non regolari in pianta il punto 7.3.1 prescrive di considerare per il rapporto $\alpha u / \alpha 1$ la media fra 1 e i valori forniti per le varie tipologie costruttive. Essendo per le strutture a pareti:

$$\alpha u / \alpha 1 = 1,0 \quad (\text{cfr. punto 7.4.3.2 delle NTC 2018})$$

si avrà un valore medio pari a 1,0 da cui:

$$q_0 = 3,0$$

dovendo prevenire il collasso per la rottura delle pareti tale valore va ulteriormente ridotto mediante il fattore k_w che nel presente caso assume il valore:

$$k_w = 0,67$$

per cui:

$q = 2,0$ (fattore di struttura)

valore uguale a quello riportato a pag. 17 della sezione dati di input dei tabulati di calcolo.

L'ordinata dello spettro di progetto è data dalla:

$$S_d(T_1) = S_e(T_1)/q = 0,271 \text{ g}$$

Il taglio alla base è determinato mediante la seguente formula riportata nel paragrafo 7.3.3.2 delle NTC 2008:

$$F_h = \lambda \cdot \frac{S_d(T_1)}{g} \cdot W \quad (a) \quad \text{dove:}$$

λ	= 0,85 per costruzioni con almeno tre orizzontamenti e con periodo $T_1 < 2T_c$, pari a 1 negli altri casi
W	è il peso complessivo della costruzione

La tabella 2 sotto riportata aggiorna la soprastante tabella 1 con tutti i pesi sismici:

	superficie coperta (m ²)	quota (m)	peso unit. piastra (kg/m ²)	peso piastra (kg) (1)	incidenza setti (kg) (2)	peso del piano W (kg) (1)+(2)
impalcato I	91,62	3,25	940	86.123	44.437	130.560

Tabella 2

sostituendo nella (a) si determina il taglio alla base:

$$F_h = 1 \cdot 0,271 \cdot 130.560 = 35.382 \text{ kg}$$

Che in presenza di un unico impalcato è pari alla tagliante di piano:

$$F_1 = F_h = 35.382 \text{ kg}$$

4. confronto con i risultati del codice di calcolo

Il confronto fra le forze sismiche di piano appena ottenute con un approccio semplificato viene fatto considerando le analoghe grandezze ottenute dal software con riferimento, fra i modi di vibrare considerati, ai modi che eccitano almeno l'85% della massa complessiva. Le elaborazioni hanno considerato due direzioni di ingresso del sisma tra loro ortogonali, per cui si farà riferimento a tali direzioni.

In particolare le elaborazioni hanno ottenuto in entrambe le direzioni tre modi significativi dei quali uno nettamente predominante come illustrato nel seguente stralcio dei tabulati di calcolo della struttura:

FATTORI E FORZE DI PIANO MODALI S.L.V.									
SISMA DIREZIONE: 0°									
Massa eccitata (t): 152.41 Massa totale (t): 152.41 Rapporto: 1									
Modo N.ro	Fattore Modale	Fmod/Fmax (%)	Massa Mod Eff. (t)	Mmod/Mtot %	Piano N.ro	FX (t)	FY (t)	Mt (t*m)	Mom.Ecc. 5% (t*m)
1	12,338	100,00	152,22	99,87	1	46,08	0,00	71,66	46,95
2	0,445	3,60	0,20	0,00	1	0,06	0,00	-10,18	
3	0,001	0,01	0,00	0,00	1	0,00	0,00	0,00	

FATTORI E FORZE DI PIANO MODALI S.L.V.									
SISMA DIREZIONE: 90°									
Massa eccitata (t): 152.41				Massa totale (t): 152.41			Rapporto:1		
Modo N.ro	Fattore Modale	Fmod/Fmax (%)	Massa Mod Eff. (t)	Mmod/Mtot %	Piano N.ro	FX (t)	FY (t)	Mt (t*m)	Mom.Ecc. 5% (t*m)
1	0,001	0,01	0,00	0,00	1	0,00	0,00	0,00	10,38
2	0,013	0,11	0,00	0,00	1	0,00	0,00	0,30	
3	12,346	100,00	152,42	100,00	1	0,00	45,01	-0,26	

In virtù della netta predominanza in entrambe le direzioni d'ingresso del sisma di un modo sui restanti due si considera la tagliante di piano ad esso corrispondente, omettendo combinazioni che non si discosterebbero in maniera significativa da tale valore.

Le taglianti di piano per le due direzioni considerate sono riassunte nella seguente tabella:

tagliante di piano	direz. sisma 0°	direz. sisma 90°
F ₁ (t)	46,08	45,01

nella tabella che segue si conduce il confronto fra le grandezze sismiche ottenute con l'approccio semplificato e con l'impiego del codice di calcolo

	approccio semplificato	software sisma dir. 0°	software sisma dir. 90°
taglianti di piano (t)	F ₁ = 35,38	F ₁ = 46,08	F ₁ = 45,01

dal confronto si deduce che le azioni sismiche ottenute col metodo semplificato sono dello stesso ordine di grandezza di quelle determinate dal software. Gli scostamenti per entrambe le direzioni di ingresso del sisma sono nel senso che il codice di calcolo determina azioni sismiche superiori, frutto di un'analisi più accurata e quindi sicuramente a vantaggio di sicurezza.

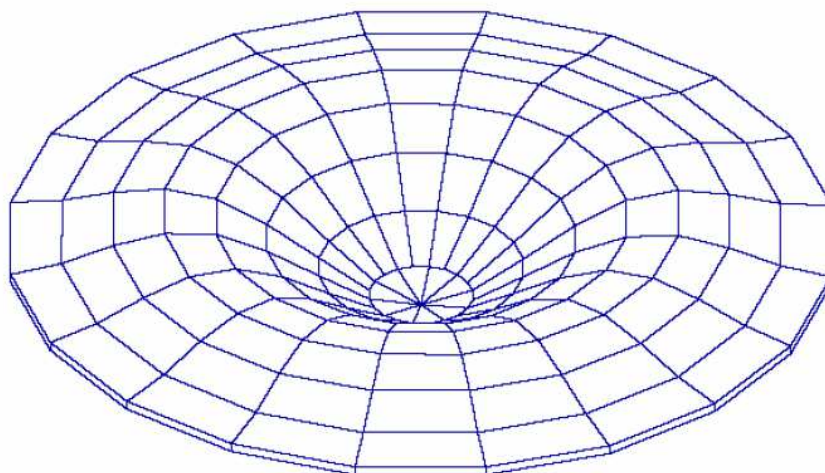
Quanto ottenuto è pertanto pienamente soddisfacente ai fini di una verifica dell'affidabilità del codice di calcolo impiegato.

In conclusione, per quanto sopra esposto e per quanto prescritto dal punto 10.2 del D.M. 17/01/2008, si ritengono accettabili le schematizzazioni ed i valori di output forniti dal codice di calcolo utilizzato.

CDSWin – CDMa Win

Release 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016

Validazione del codice di calcolo



Introduzione

Il presente lavoro contiene un insieme di test il cui obiettivo è quello di verificare l'affidabilità e l'applicabilità del solutore agli elementi finiti utilizzato dal programma ***CDSWin***.

Il metodo degli elementi finiti rappresenta un argomento teorico molto vasto, sicuramente complesso, e gli esempi riportati, pur non avendo la pretesa di chiarire tale procedimento, rappresentano la più comune e basilare applicazione di questo metodo.

Al fine di raggiungere l'obiettivo di verifica posto, gli esempi riportati nelle pagine seguenti abbracciano differenti analisi di calcolo, parecchi elementi, diverse mesh e/o condizioni al contorno e provenendo da autorevoli testi ingegneristici, fanno riferimento a problemi la cui soluzione teorica, essendo nota, può essere confrontata con quella fornita dal programma al termine dell'elaborazione.

Si osservi, inoltre, che i problemi analizzati nella maggior parte dei test sono stati estratti da testi anglosassoni che, ovviamente, utilizzano unità di misura diverse da quelle metriche. Pertanto, per poter convertire le varie grandezze dal sistema anglosassone a quello metrico, si è reso necessario il ricorso a fattori di conversione, che approssimando tra loro i valori delle varie grandezze, ne consentono il passaggio da un sistema all'altro.

Quindi, per ciascuno dei test eseguiti è possibile affermare che il lieve scostamento esistente tra il risultato finale fornito dall'elaborazione e quello teorico è imputabile proprio alle conversioni effettuate.

Per ogni test svolto viene citata la specifica fonte del riferimento e vengono forniti tutti i dati necessari per riprodurre i risultati ottenuti.

Test di verifica n°1**Trave piana isostaticamente vincolata**

Fonte di riferimento: A&C- Rif.[1]: Analisi e calcolo n° 5, Apr.-Giu. 2001

Tipo di analisi: Analisi Statica Lineare

Schema di calcolo: Una trave a sezione rettangolare è isostaticamente vincolata ed è soggetta all'azione di un carico assiale concentrato P in corrispondenza del nodo n° 2.

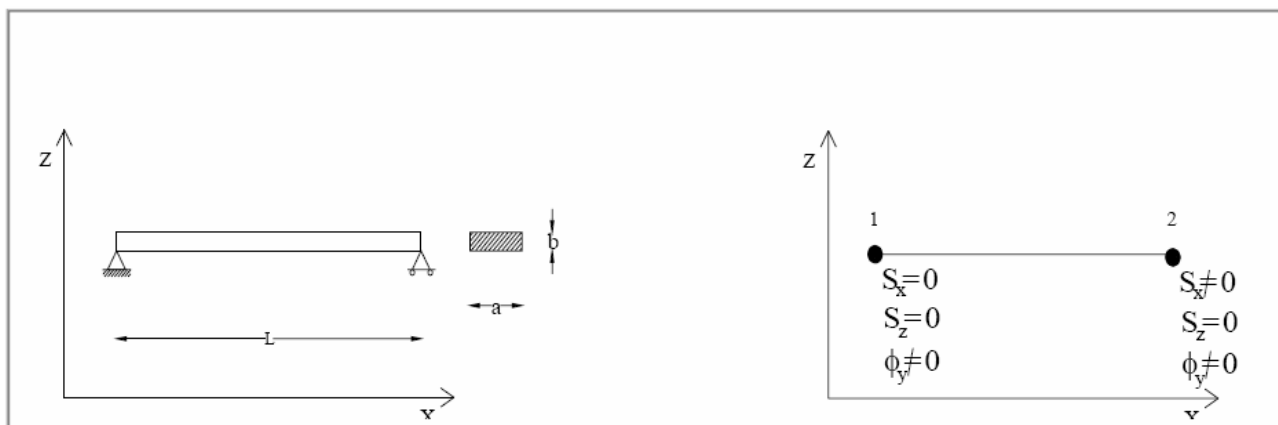


Fig. 1: Schema del problema

Fig. 2: Rappresentazione agli elementi finiti

Modello di calcolo: Ai fini dell'analisi è sufficiente modellare il sistema come unico elemento monodimensionale. I nodi vengono inseriti in corrispondenza degli estremi vincolati.

Caratteristiche meccanico-geometriche:

Proprietà meccaniche	Proprietà geometriche
$E=2000000 \text{ Kg/cm}^2$	Larghezza, $a=20 \text{ mm}$
	Altezza, $b=5 \text{ mm}$

Obiettivo: Trascurando il peso delle aste l'analisi si propone di illustrare:

- La linearità della relazione carico-deformazione;
- L'effetto del carico applicato eliminando gradi di libertà al sistema;
- L'analisi delle deformazioni libere;

e quindi di verificare il comportamento dell'elemento asta sotto l'azione del carico P confrontando la soluzione teorica con quella fornita dall'analisi di **CDSWin**.

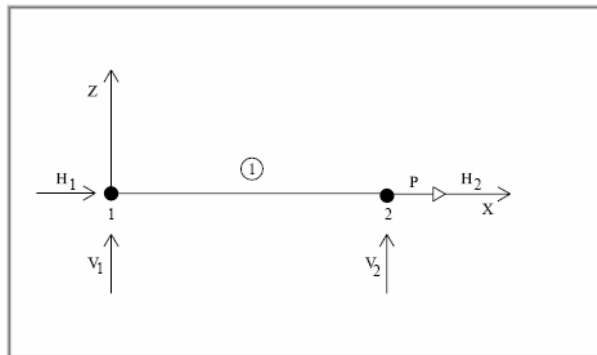


Fig. 3: Rappresentazione dello schema di calcolo

Caso 1:

Con le condizioni al contorno descritte in fig. 1 eseguire il calcolo applicando il carico $P = 0.1 \text{ t}$ in corrispondenza del nodo n°2 in direzione x.

La soluzione teorica, per il sistema descritto, prevede un unico spostamento assiale non nullo sul nodo n° 2 ed un valore della forza di reazione $H1$ pari al valore del carico P applicato.

Tutte le altre reazioni vincolari devono risultare nulle.

$$H1 = P$$

$$V1 = 0 \quad V2 = 0$$

Spostamenti u_x (mm)

Nodi	Soluzione teorica	CDSWin	Ratio ^(*)
1	0	0	1.000
2	0.005	0.005	1.000

Spostamenti v_z (mm)

Nodi	Soluzione teorica	CDSWin	Ratio
	v_z	v_z	v_z
1	0	0	1.000
2	0	0	1.000

Reazioni vincolari **H (tonn.)**

Nodi	Soluzione teorica	CDSWin	Ratio
1	-0.10	-0.10	1.000
2	0	0	1.000

 V (tonn.)

Nodi	Soluzione teorica	CDSWin	Ratio
1	0	0	1.000
2	0	0	1.000

Caso 2:

Eeguire il calcolo applicando il carico $P = 0.2$ t in corrispondenza del nodo n°2 in direzione x.

La soluzione prevede per uno carico doppio uno spostamento assiale doppio in corrispondenza del punto di applicazione del carico (nodo n° 2).

Questo garantisce la linearità del comportamento del sistema analizzato.

Spostamenti u_x (mm)

Nodi	Soluzione teorica	CDSWin	Ratio
1	0	0	1.000
2	0.01	0.01	1.000

Spostamenti v_z (mm)

Nodi	Soluzione teorica	CDSWin	Ratio
1	0	0	1.000
2	0	0	1.000

Reazioni vincolari **H (tonn.)**

Nodi	Soluzione teorica	CDSWin	Ratio
	H	H	H
1	-0.20	-0.20	1.000
2	0	0	1.000

V (tonn.)

<i>Nodi</i>	<i>Soluzione teorica</i>	<i>CDSWin</i>	<i>Ratio</i>
<i>1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1.000</i>
<i>2</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1.000</i>

Caso 3:

Eseguire il calcolo come descritto nel caso 1, ma bloccando anche la traslazione orizzontale del nodo n°2.
La soluzione teorica, in questo caso, prevede per lo spostamento assiale del nodo n° 2 un valore nullo.

Spostamenti u_x (mm)

<i>Nodi</i>	<i>Soluzione teorica</i>	<i>CDSWin</i>	<i>Ratio</i>
<i>1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1.000</i>
<i>2</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1.000</i>

Spostamenti v_z (mm)

<i>Nodi</i>	<i>Soluzione teorica</i>	<i>CDSWin</i>	<i>Ratio</i>
<i>1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1.000</i>
<i>2</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1.000</i>

Caso 4:

Eseguire il calcolo come descritto nel caso 1, ma applicando nel nodo n°2 il carico P in direzione z. Se è soppresso il grado di libertà in z, nel nodo, anche in questo caso non deve verificarsi alcuna traslazione in z.

Spostamenti u_x (mm)

<i>Nodi</i>	<i>Soluzione teorica</i>	<i>CDSWin</i>	<i>Ratio</i>
<i>1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1.000</i>
<i>2</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1.000</i>

Spostamenti v_z (mm)

Nodi	Soluzione teorica	CDSWin	Ratio
1	0	0	1.000
2	0	0	1.000

Caso 5:

Utilizzando le condizioni al contorno del caso 1 imporre in corrispondenza del nodo n° 2 uno spostamento assiale di entità pari a quella generata dall'applicazione del carico $P=0.1\text{ t}$:

$$\eta = 0.005\text{ mm}$$

In questo caso il risultato dell'analisi deve produrre nel nodo n°2 l'insorgere di una forza pari a $P=0.1\text{ t}$. Ciò evidenzia, per il nodo, la presenza di una relazione di equivalenza tra forze e spostamenti.

Spostamenti u_x (mm)

Nodi	Soluzione teorica	CDSWin	Ratio
1	0	0	1.000
2	0.005	0.005	1.000

Spostamenti v_z (mm)

Nodi	Soluzione teorica	CDSWin	Ratio
1	0	0	1.000
2	0	0	1.000

Reazioni vincolari

H (tonn.)

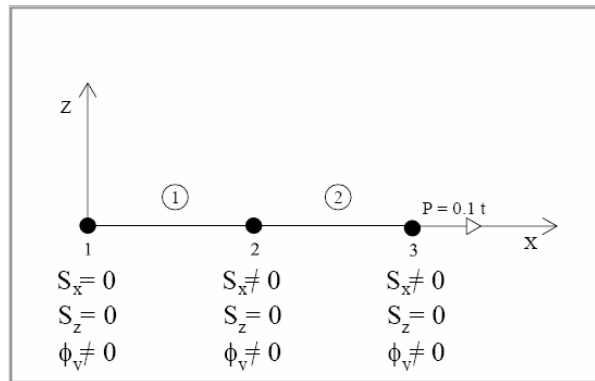
Nodi	Soluzione teorica	CDSWin	Ratio
1	-0.10	-0.10	1.000
2	-0.10	-0.10	1.000

V (tonn.)

Nodi	Soluzione teorica	CDSWin	Ratio
1	0	0	1.000
2	0	0	1.000

Caso 6:

Suddividere, mediante l'inserimento di un nodo nel punto mediano, l'asta del sistema descritto in due elementi e con le condizioni al contorno definite nel caso 1 analizzarne il comportamento.



L'analisi eseguita con **CDSWin** produce gli stessi effetti già esaminati nel caso 1.

(*): per *Ratio* si intende il rapporto tra il valore di output fornito dal programma, al termine dell'elaborazione, ed il valore fornito dalla soluzione teorica.

Test di verifica n° 5**Stato tensionale di una trave inflessa**

Fonte di riferimento: Timoshenko, Rif. [4]: Strength of Material, Part I, Elementary Theory and Problems, pg. 98, Pb. 4

Tipo di analisi: Analisi Statica Lineare

Schema di calcolo: Una trave a doppio T, con sezione trasversale di area A , è isostaticamente vincolata mediante due vincoli semplici, come mostrato in fig. 1. Il sistema così descritto viene sottoposto, in corrispondenza delle estremità a sbalzo, all'azione di due carichi uniformemente distribuiti di intensità w .

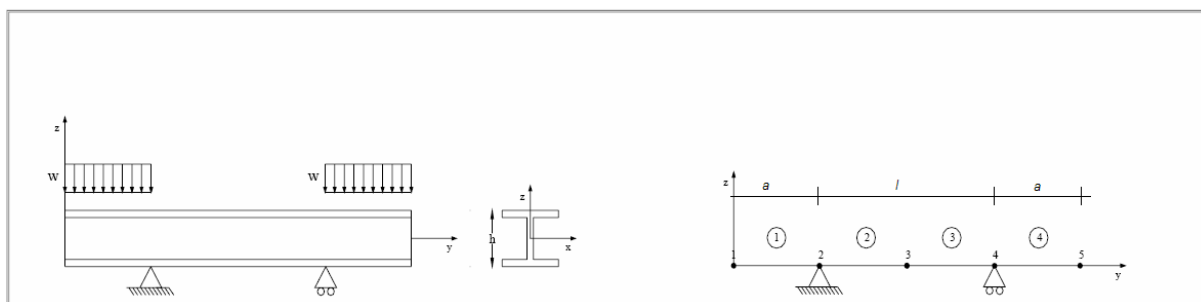


Fig. 1: Schema del problema

Fig. 2: Rappresentazione agli elementi finiti

Obiettivo: Trascurando il peso dell'asta, perché irrilevante rispetto alle forze in gioco, determinare sia il valore della tensione σ_{MAX} , sia il valore dell'abbassamento δ in corrispondenza della mezzeria (nodo 3).

Modello di calcolo: Per la modellazione della struttura assegnata è sufficiente inserire 5 nodi e suddividere, quindi, l'asta in 4 elementi.

Caratteristiche meccanico-geometriche

Proprietà meccaniche	Proprietà geometriche	Carico
	$l = 240 \text{ in} = 609.6 \text{ cm}$	
	$a = 120 \text{ in} = 304.8 \text{ cm}$	
$E = 30 \times 10^6 \text{ psi} = 2109209 \text{ Kg/cm}^2$	$h = 30 \text{ in} = 76.2 \text{ cm}$	$w = 10000 \text{ lb/ft} = 14.88 \text{ t/m}$
	$A = 50.65 \text{ in}^2 = 326.77 \text{ cm}^2$	
	$I_z = 7892 \text{ in}^4 = 328489.8 \text{ cm}^4$	
	$W_z = I_z / (h/2) = 8621.7 \text{ cm}^3$	

Soluzione teorica: Nel nostro caso, la soluzione teorica fornisce:

$$\sigma = 11400 \text{ psi} = 802 \text{ kg/cm}^2$$

$$\delta = 0.182 \text{ in} = 4.623 \text{ mm}$$

Analisi dei risultati (*):

<i>Soluzione teorica</i>	<i>CDSWin</i>	<i>Ratio (**)</i>
$\sigma = 802 \text{ kg/cm}^2$	802 kg/cm^2	1.000
$\delta = 4.623 \text{ mm}$	4.634 mm	1.002

Si osserva, anche in questo caso un'ottima conformità tra il risultato di output del programma e quello teorico.

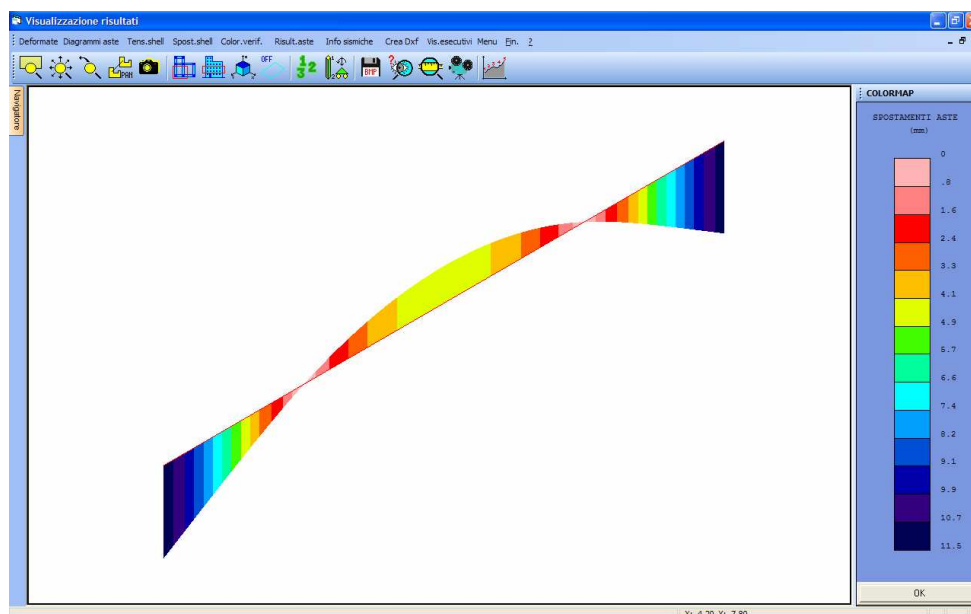


Fig. 3: Colormap deformazioni

(*): vedasi nota introduttiva relativa alla conversione delle unità di misura.

(**): per *Ratio* si intende il rapporto tra il valore di output fornito dal programma, al termine dell'elaborazione, ed il valore fornito dalla soluzione teorica.

Test di verifica n° 6**Stato tensionale di una trave inflessa**

Fonte di riferimento: Cremonese, Rif. [10]: Manuale Ingegneria Civile, ESAC, SEZ. I pag. 82 e succ.

Tipo di analisi: Analisi Statica Lineare

Schema di calcolo: La struttura mostrata in fig. 1 consiste in una trave di sezione circolare, incastrata in corrispondenza del primo estremo e vincolata mediante un carrello in corrispondenza del secondo. La trave descritta è soggetta all'azione di un carico q uniformemente distribuito per tutta la sua lunghezza.

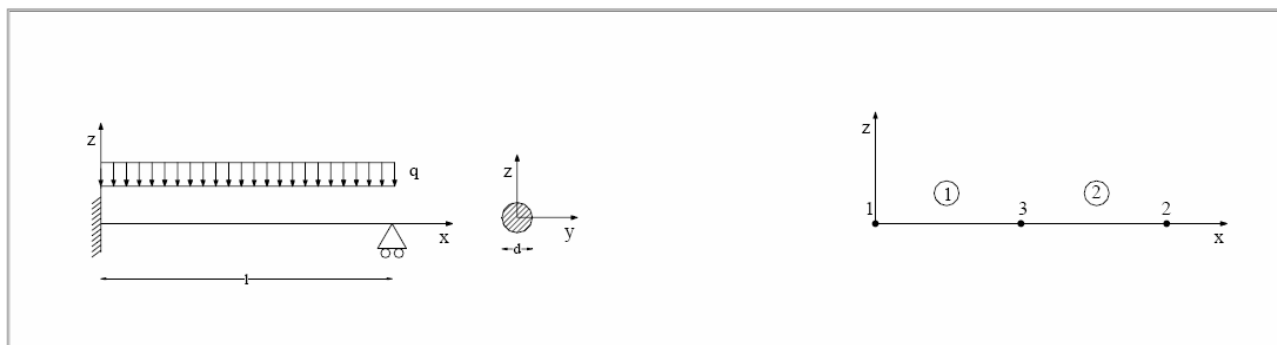


Fig. 1: Schema del problema

Fig. 2: Rappresentazione agli elementi finiti

Obiettivo: Trascurando il peso dell'asta, perché irrilevante rispetto alle forze in gioco, determinare il valore del momento flettente M_A in corrispondenza dell'incastro e la reazione del carrello V_B .

Modello di calcolo: Per la modellazione della struttura assegnata è sufficiente inserire 3 nodi e suddividere, quindi, l'asta in 2 elementi.

Caratteristiche meccanico-geometriche

Proprietà meccaniche	Proprietà geometriche	Carico
$E=30 \times 10^6 \text{ psi}=2109209 \text{ Kg/cm}^2$	$d=1.5 \text{ in}=3.81 \text{ cm}$	$q=100 \text{ pd/in}=1.784 \text{ t/m}$
	$l=20 \text{ in}=50.8 \text{ cm}$	

Soluzione teorica: Nel nostro caso, la soluzione teorica fornisce:

$$V_B = \frac{3}{8} q l = 750 \text{ pd} = 340.19 \text{ Kg};$$

$$M(z) = \frac{q l^2}{8} \left(3 \frac{z}{l} - 4 \frac{z^2}{l^2} \right); \quad \text{da cui si ottiene:} \quad M_A = 5000 \text{ in pd} = 0.058 \text{ tm}$$

Analisi dei risultati ^(*):

Soluzione teorica	CDSWin	Ratio ^(**)
$V_B = 340.19 \text{ Kg};$	340 kg	1.000
$M_A = 0.058 \text{ tm}$	0.058 tm	1.000

Si osserva, anche in questo caso un'ottima conformità tra il risultato di output del programma e quello teorico.

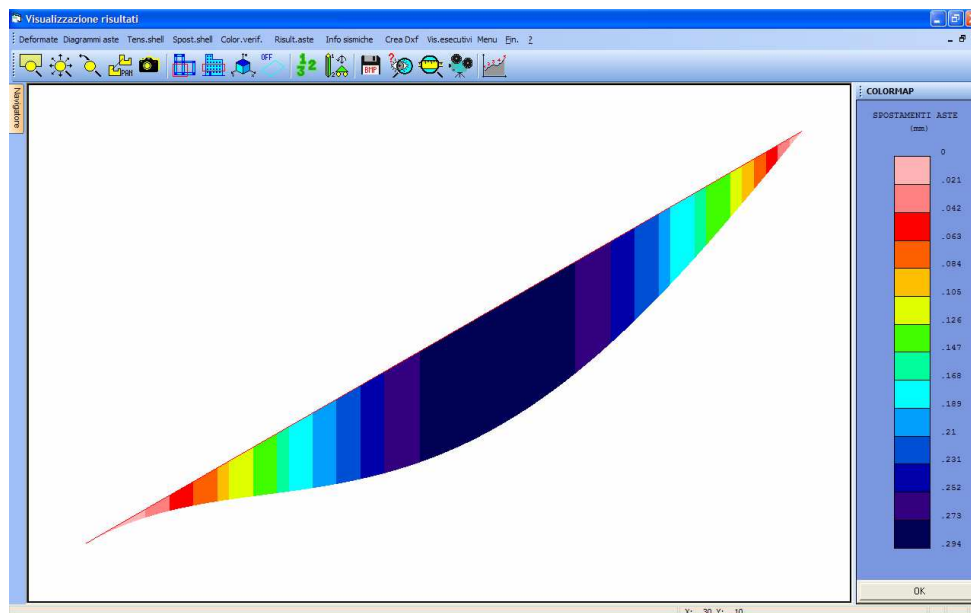


Fig. 3, Colormap deformazioni

(*): vedasi nota introduttiva relativa alla conversione delle unità di misura.

(**): per *Ratio* si intende il rapporto tra il valore di output fornito dal programma, al termine dell'elaborazione, ed il valore fornito dalla soluzione teorica.

Test di verifica n°8**Sistema piano di aste sospese (3)**

Fonte di riferimento: Timoshenko, Rif. [4]: Strength of Material, Part I, Elementary Theory and Problems, pg. 30, problem 9

Tipo di analisi: Analisi Statica Lineare

Schema di calcolo: Una barra infinitamente rigida è sospesa mediante il sistema di aste mostrato nella figura. La struttura così definita viene sottoposta ad un gradiente termico ΔT ed all'azione di un carico concentrato Q . Per $z = L_2$, le aste verticali vengono vincolate con un incastro.

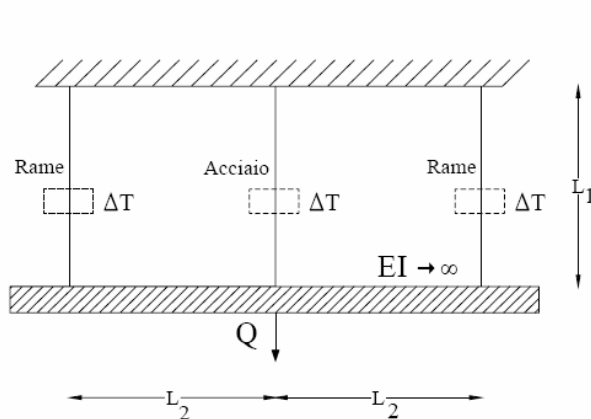


Fig. 1: Schema del problema

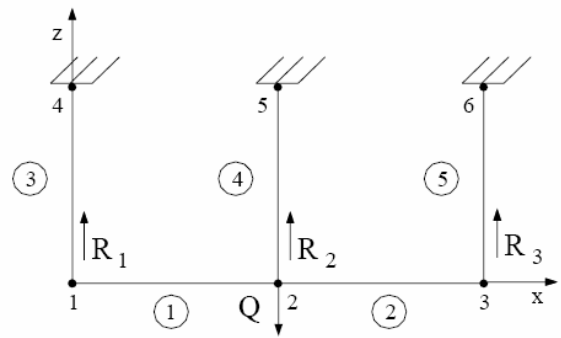


Fig. 2: Rappresentazione agli elementi finiti

Obiettivo: Trascurando il peso delle barre determinare gli sforzi in ciascuna delle aste verticali.

Modello di calcolo: Per la rappresentazione della struttura è sufficiente inserire, in corrispondenza sia degli estremi delle aste che del punto di applicazione delle forze Q , n° 6 nodi e quindi suddividere il sistema in un insieme di 5 aste.

Caratteristiche meccanico-geometriche:

Proprietà meccaniche	Proprietà geometriche	Carico
$E_{acciaio} = 30 \times 10^6 \text{ psi} = 2109209 \text{ Kg/cm}^2$	$L_1 = 20 \text{ in} = 50.8 \text{ cm}$	$Q = 4000 \text{ lb} = 1.81436 \text{ t}$
$\alpha_{acciaio} = 70 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1}$	$10 \text{ in} = 25.4 \text{ cm}$	$\Delta T = 10^\circ\text{F}$
$E_{rame} = 16 \times 10^6 \text{ psi} = 1124911 \text{ Kg/cm}^2$	$A = 0.10 \text{ in}^2 = 0.64516 \text{ cm}^2$	
$\alpha_{rame} = 92 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1}$		

Soluzione teorica: Partendo dalla classica relazione:

$$F = K \times S$$

e considerando che:

$$F = Q + 2 \times (\alpha_{rame} \times \Delta T) \times E_{rame} \times A + (\alpha_{acciaio} \times \Delta T) \times E_{acciaio} \times A$$

$$K = 2 \times (E_{rame} \times A)/L + (E_{acciaio} \times A)/L$$

è facile ottenere:

$$N_{rame} = 681,7 \text{ Kg}$$

$$N_{acciaio} = 450,9 \text{ Kg}$$

Analisi dei risultati ^(*):

<i>Soluzione teorica</i>	<i>CDSWin</i>	<i>Ratio ^(**)</i>
$N_{rame} = 681,7 \text{ Kg}$	682 kg/cm^2	$1,000$
$N_{acciaio} = 450,9 \text{ Kg}$	451 kg/cm^2	$1,000$

Osservazioni : Poiché in **CDSWin** per le aste generiche è possibile definire un solo coefficiente di dilatazione termica α , per inserire il carico termico proposto nell'esercizio si è reso necessario imporre variazioni termiche differenti per le due tipologie di aste in esame secondo la relazione:

$$F_{\text{termica-i}} = \Delta L \times E_i \text{ A/L} = L \times \alpha_i \times \Delta T \times E_i \text{ A/L} = (\alpha_i \Delta T) \times E_i \text{ A}$$

Da quanto esposto ne seguono i due seguenti carichi termici:

$$\Delta T_{\text{acciaio}} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{rame}} = 9,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Inoltre, il prodotto ΔT_i è stato opportunamente dimensionato in modo che il risultato finale fosse numericamente coerente con i dati assegnati. Questo perché il programma **CDSWin**, in caso di analisi termica, provvede a moltiplicare il carico termico inserito per il coefficiente di dilatazione termica α , presente nei parametri generali relativi all'analisi termica, e posto pari a 1×10^{-5} .

(*): vedasi nota introduttiva relativa alla conversione delle unità di misura.

(**): per *Ratio* si intende il rapporto tra il valore di output fornito dal programma, al termine dell'elaborazione, ed il valore fornito dalla soluzione teorica.

Test di verifica n° 9**Telaio piano**

Fonte di riferimento: Timoshenko, Rif. [4]: Strength of Material, Part I, Elementary Theory and Problems, pg. 188-191

Tipo di analisi: Analisi Statica Lineare

Schema di calcolo: Un telaio, staticamente indeterminato, è costituito da tre aste ed è soggetto all'azione di una forza concentrata P applicata nella mezzzeria del traverso. I due ritti vengono vincolati al suolo mediante incastri.

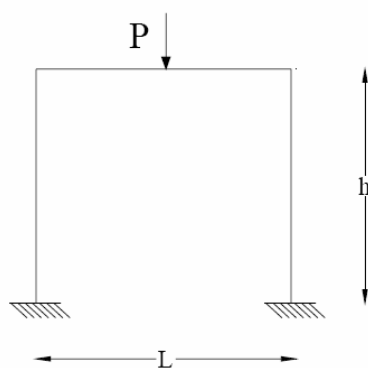


Fig. 1: Schema del problema

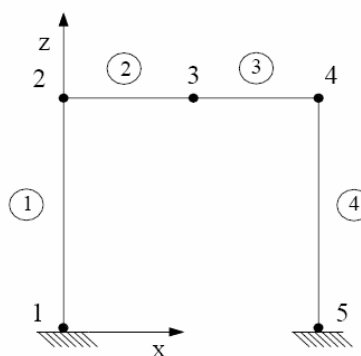


Fig. 2: Rappresentazione agli elementi finiti

Obiettivo: Trascurando il peso delle aste determinare la forza reattiva verticale in corrispondenza dei nodi 1 e 5.

Modello di calcolo: Per modellare correttamente la struttura è necessario inserire 5 nodi e 4 aste. Il nodo centrale n 3 viene inserito per consentire l'input della forza concentrata.

Per quanto riguarda la condizione di vincolo relativa ai nodi 1 e 5 vengono bloccati tutti i g.d.l.

Caratteristiche meccanico-geometriche:

Proprietà meccaniche	Proprietà geometriche	Carico
	$L = 120 \text{ in} = 3.04 \text{ m}$	
$E_{\text{acciaio}} = 30 \times 10^6 \text{ psi} = 2109209 \text{ Kg cm}^2$	$h = 100 \text{ in} = 2.54 \text{ m cm}$	$P = 1000 \text{ lb} = 0.45 \text{ t}$
	$A_{\text{traverso}} = 8 \text{ in}^2 = 51.61 \text{ cm}^2$	
	$A_{\text{ritto}} = 4 \text{ in}^2 = 25.80 \text{ cm}^2$	

Soluzione teorica: La soluzione teorica fornisce:

$$V = 500 \text{ pounds} = 0.225 \text{ t}$$

Analisi dei risultati ^(*):

<i>Soluzione teorica</i>	<i>CDSWin</i>	<i>Ratio</i> ^(**)
$V = 0.225 \text{ t}$	0.225 t	1.000

(*): vedasi nota introduttiva relativa alla conversione delle unità di misura.

(**): per *Ratio* si intende il rapporto tra il valore di output fornito dal programma, al termine dell'elaborazione, ed il valore fornito dalla soluzione teorica.

Test di verifica n°14**Lastra rettangolare piana**

Fonte di riferimento: A&C - Rif.[3] - Rif.[16]: Analisi e calcolo n° 8, Gen.-Mar. 2002

Tipo di analisi: Analisi Statica Lineare

Schema di calcolo: Lo schema in fig. mostra una lastra rettangolare piana semplicemente appoggiata sui 4 vertici soggetta a moto di corpo rigido.

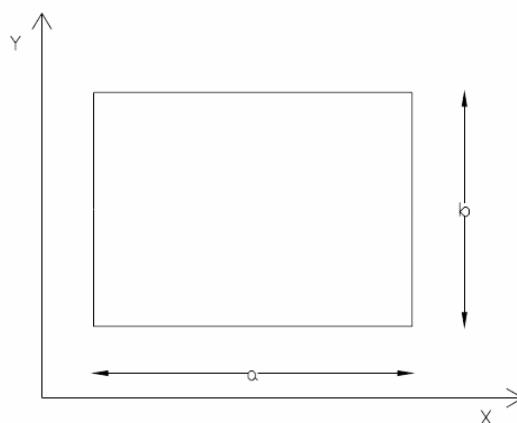
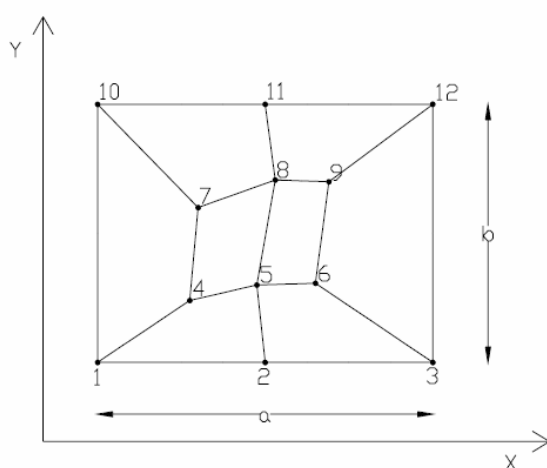


Fig. 1: Schema del problema

Obiettivo: Valutare il comportamento degli elementi bidimensionali sotto la condizione di moto rigido senza deformazioni.



Nodi	X (mm)	Y (mm)
1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	10.0	0.0
4	2.75	1.8
5	4.75	2.2
6	6.5	2.3
7	3.0	4.5
8	5.3	5.3
9	6.9	5.25
10	0.0	7.5
11	5.0	7.5
12	10.0	7.5

Fig. 2: Rappresentazione agli elementi finiti

Modello di calcolo: Ai fini del calcolo l'elemento è stato suddiviso in 8 sub-elementi in maniera da assicurare che la forma interna sia irregolare. In corrispondenza dei quattro vertici perimetrali sono stati considerati degli appoggi semplici, mentre per tutti i nodi presenti sul contorno non è stato considerato alcun tipo di vincolo.

Caratteristiche meccanico-geometriche:

<i>Proprietà meccaniche</i>	<i>Proprietà geometriche</i>
$E=2000000 \text{ Kg/cm}^2$	<i>Larghezza, a=100 cm</i>
$\nu=0.3$	<i>Altezza, b=75 cm</i>
	<i>Spessore, t=10 cm</i>

Vengono esaminati, separatamente i risultati relativi a tre diversi casi di studio:

- **Caso 1:** moto di corpo rigido in direzione X $\eta_x = 1 \text{ cm}$
- **Caso 2:** moto di corpo rigido in direzione Y $\eta_y = 1 \text{ cm}$
- **Caso 3:** moto di rotazione nel piano xy $\phi_{xy} = 45^\circ$

e per ciascuno di essi si valutano i valori max e min delle componenti delle tensioni

Caso n°1

$\eta_x = 1 \text{ cm}$

Risultati: La soluzione teorica prevede che:

- a) per i moti di corpo rigido tutti gli spostamenti dei nodi interni all'elemento bidimensionale definito risultino uguali a quelli applicati al contorno;
- b) L'elemento deve essere privo di tensioni e di deformazioni:

Utilizzando i dati assegnati, si sono ottenuti i seguenti risultati:

<i>Nodi</i>	<i>Soluzione teorica (mm)</i>	<i>CDSWin (mm)</i>	<i>Ratio (*)</i>
1	10.0	10.0	1.000
2	10.0	10.0	1.000
3	10.0	10.0	1.000
4	10.0	10.0	1.000
5	10.0	10.0	1.000
6	10.0	10.0	1.000
7	10.0	10.0	1.000
8	10.0	10.0	1.000
9	10.0	10.0	1.000
10	10.0	10.0	1.000
11	10.0	10.0	1.000
12	10.0	10.0	1.000

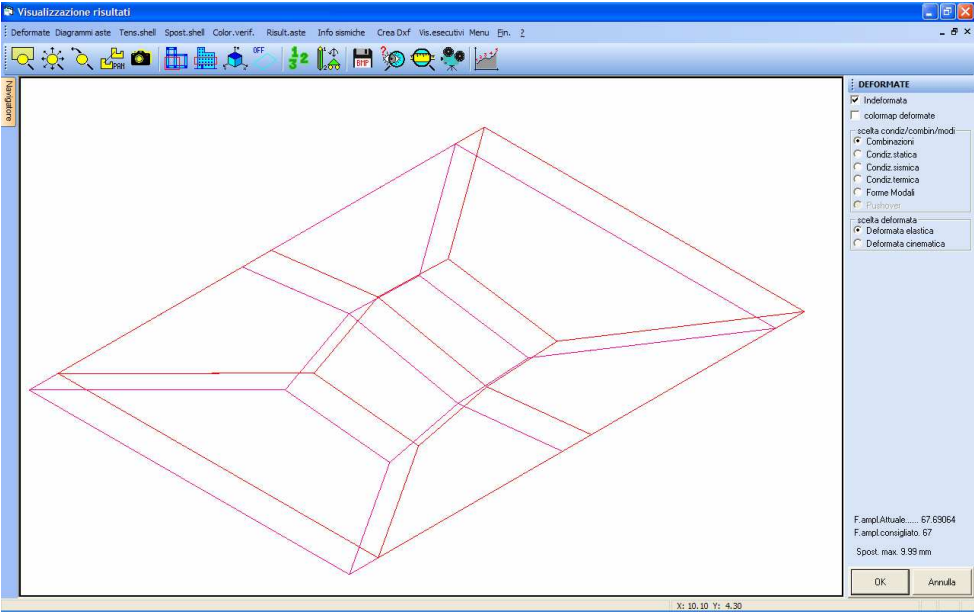


Fig. 3: Diagramma degli spostamenti

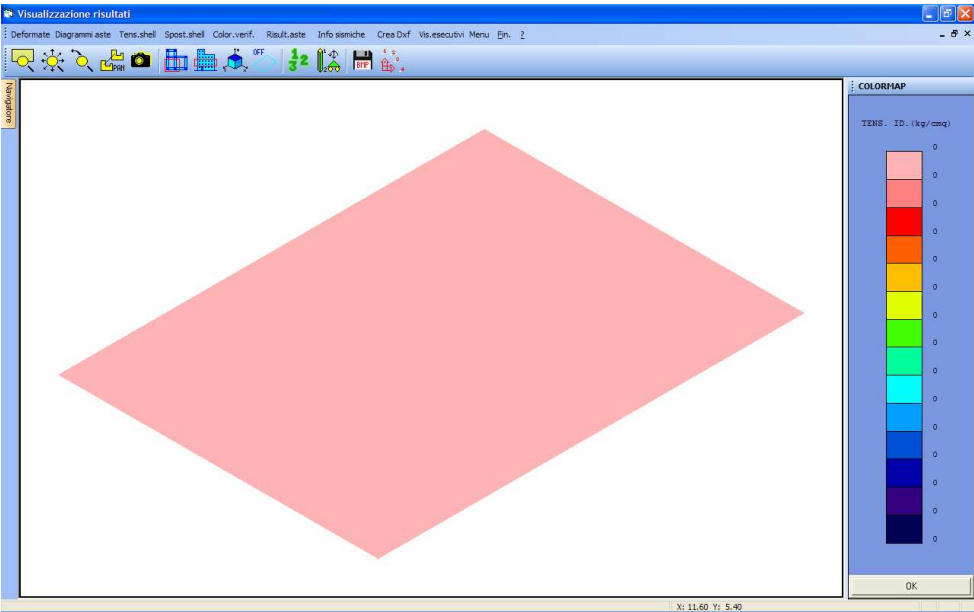


Fig. 4: Colormap tensioni

Caso n°2 $\eta_y = 1 \text{ cm}$ **Risultati:** Idem caso 1);

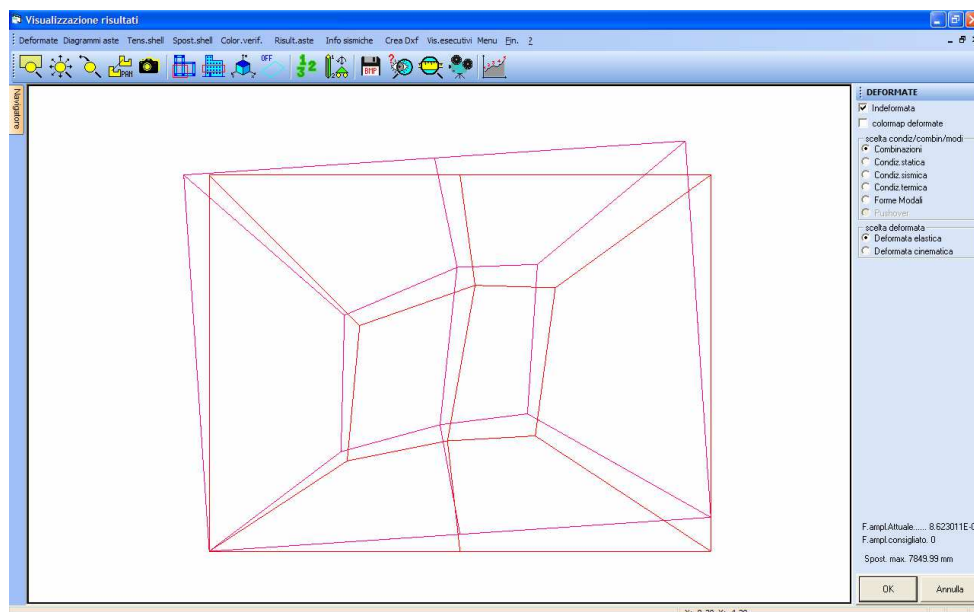
Utilizzando i dati assegnati, si sono ottenuti i seguenti risultati:

Nodi	Soluzione teorica (mm)	CDSWin (mm)	Ratio (*)
1	10.0	10.0	1.000
2	10.0	10.0	1.000
3	10.0	10.0	1.000
4	10.0	10.0	1.000
5	10.0	10.0	1.000
6	10.0	10.0	1.000
7	10.0	10.0	1.000
8	10.0	10.0	1.000
9	10.0	10.0	1.000
10	10.0	10.0	1.000
11	10.0	10.0	1.000
12	10.0	10.0	1.000

Caso n°3 $\phi_{xy} = 45^\circ$ **Risultati:** La soluzione teorica prevede che:

- a) per i moti di corpo rigido tutti gli spostamenti dei nodi interni all'elemento bidimensionale definito risultino coerenti con quelli applicati al contorno, e quindi la forma rettangolare dell'elemento deve essere mantenuta anche dopo aver applicato la rotazione;

Utilizzando i dati assegnati, si sono ottenuti i seguenti risultati:



(*): per *Ratio* si intende il rapporto tra il valore di output fornito dal programma, al termine dell'elaborazione, ed il valore fornito dalla soluzione teorica.

Test di verifica n° 16**La piastra rettangolare incastrata al contorno e soggetta ad un carico uniformemente ripartito**

Fonte di riferimento: Cremonese: “Manuale di ingegneria civile” Ed. 1982, pg. 113.

Tipo di analisi: Analisi Statica Lineare

Schema di calcolo: Una piastra rettangolare, di larghezza a e lunghezza b , ha uno spessore costante h ed è incastrata lungo i 4 lati. Il carico applicato consiste in una pressione q_0 uniformemente ripartita sull'intera superficie.

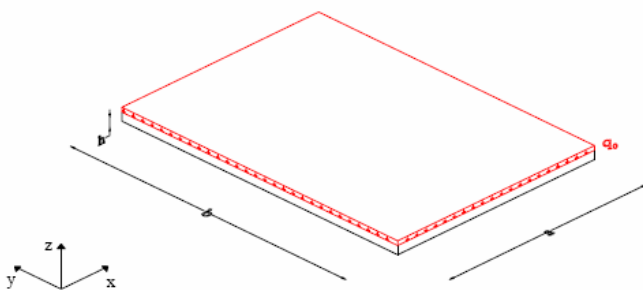


Fig. 1: Schema del problema

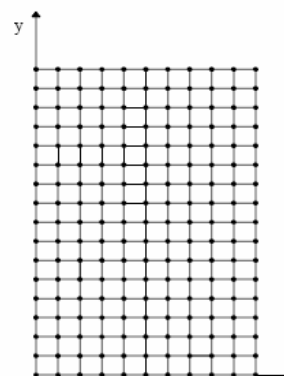


Fig. 2: Rappresentazione agli elementi finiti

Caratteristiche meccanico-geometriche:

<i>Proprietà meccaniche</i>	<i>Proprietà geometriche</i>	<i>Carico</i>
$E = 1000000 \text{ Kg/cm}^2$	$a = 100 \text{ cm}$	
$\nu = 0.2$	$b = 160 \text{ cm}$	$q_0 = 1 \text{ t/m}^2$
	$h = 1 \text{ cm}$	

Modello di calcolo: Il modello viene realizzato utilizzando una griglia formata da un totale di 100 elementi. In corrispondenza dei bordi perimetrali della piastra vengono inseriti dei vincoli esterni che, simulando l'incastro, bloccano tutti i gdl.

Obiettivo: Determinare l'abbassamento w_c e lo stato tensionale massimo in mezzeria della piastra.

Soluzione teorica: L'abbassamento cercato è fornito dalla seguente relazione:

$$w_c = C_f \frac{q_0 \times a^4}{D}$$

dove:

$$C_f (a/b) = 0.0023$$

$$D = \text{rigidezza flessionale della piastra} = \frac{E \times h^3}{12(1 - \nu^2)}$$

Con i dati a disposizione:

$$w_c = 2.65 \text{ mm}$$

Per quanto attiene allo stato tensionale, si calcolano i momenti in campata:

$$M_{x-c} = (C_1 + \nu \cdot C_2) \cdot q_0 \cdot a^2$$

$$M_{y-c} = (C_2 + \nu \cdot C_1) \cdot q_0 \cdot a^2$$

dove:

$$C_1 (a/b) = 0.0358$$

$$C_2 (a/b) = 0.0086$$

Con i dati a disposizione:

$$\sigma_{x-c} = 225 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{y-c} = 95 \text{ kg/cm}^2$$

Analisi dei risultati ^(*):

Soluzione teorica (mm)	CDSWin (mm)	Ratio ^(**)
2.650 mm	2.652 mm	1.001
$\sigma_x = 225 \text{ Kg/cm}^2$	227 Kg/cm ²	1.009
$\sigma_y = 95 \text{ Kg/cm}^2$	97 Kg/cm ²	1.021

(*): vedasi nota introduttiva relativa alla conversione delle unità di misura.

(**): per Ratio si intende il rapporto tra il valore di output fornito dal programma, al termine dell'elaborazione, ed il valore fornito dalla soluzione teorica.

Test di verifica n° 18**Frequenze naturali di vibrazione in una trave appoggiata- appoggiata**

Fonte di riferimento: Ray, W. Clough, Joseph Penzien, Rif. [11]: Dynamics of Structures, Mc Graw-Hill Book Company, cap. 18

Tipo di analisi: Analisi Dinamica Modale

Schema di calcolo: : Una trave a sezione rettangolare è isostaticamente vincolata mediante due appoggi semplici ed è soggetta esclusivamente all'azione del proprio peso.

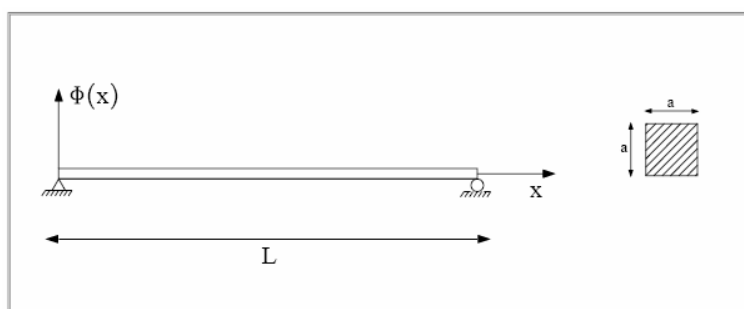


Fig. 1: Schema del problema

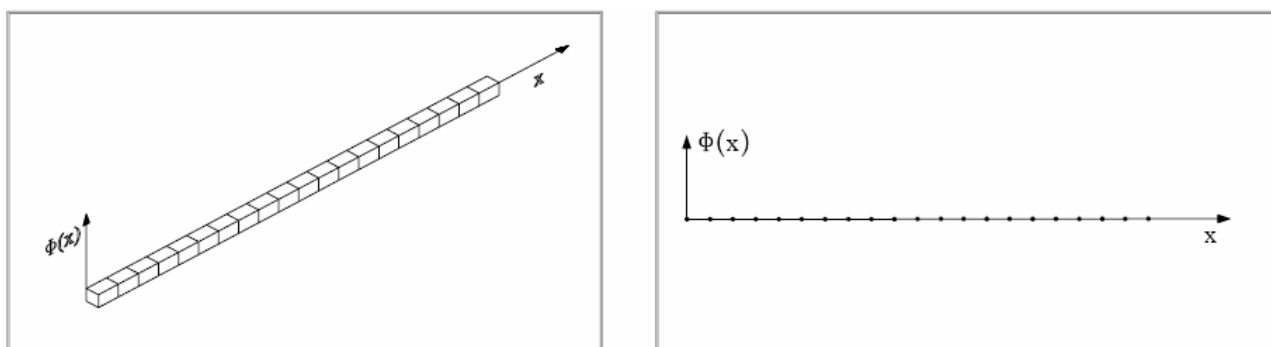


Fig. 2: Rappresentazione agli elementi finiti

Obiettivo: Per il sistema assegnato determinare i primi tre modi di vibrare.

Caratteristiche meccanico-geometriche:

Proprietà meccaniche	Proprietà geometriche	Carico
$E = 2100000 \text{ Kg/cm}^2$	$a = 30 \text{ cm}$	$P_p = 706.5 \text{ Kg/m}$
	$L = 10 \text{ m}$	

Modello di calcolo: Il sistema assegnato viene suddiviso in un insieme di 20 elementi. In corrispondenza del nodo iniziale e di quello finale vengono inseriti due vincoli esterni espliciti che bloccano tutti i gdl ad eccezione della rotazione attorno all'asse y. Per i restanti nodi vengono consentite, esclusivamente, la rotazione attorno all'asse y e le traslazioni nel piano.

Analisi dei risultati :

<i>Soluzione teorica</i>	<i>CDSWin</i>	<i>Ratio^(**)</i>
$\omega_1 = 43.79 \text{ rad/sec}$	43.79 rad/sec	1.000
$\omega_2 = 175.16 \text{ rad/sec}$	175.15 rad/sec	1.000
$\omega_3 = 394.11 \text{ rad/sec}$	394.06 rad/sec	1.000

(**): per *Ratio* si intende il rapporto tra il valore di output fornito dal programma, al termine dell'elaborazione, ed il valore fornito dalla soluzione teorica.

Test di verifica n° 19**Frequenze naturali di vibrazione in una trave a mensola**

Fonte di riferimento: Ray, W. Clough, Joseph Penzien, Rif. [11]: Dynamics of Structures, Mc Graw-Hill Book Company, cap. 1

Tipo di analisi: Analisi Dinamica Modale

Schema di calcolo: : Si consideri la trave prismatica dell'esercizio precedente sostituendo lo schema statico in modo tale che risulti incastrata ad un estremo e libera all'altro.

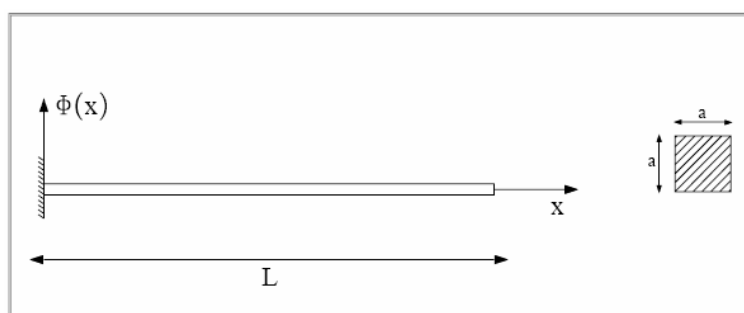


Fig. 1: Schema del problema

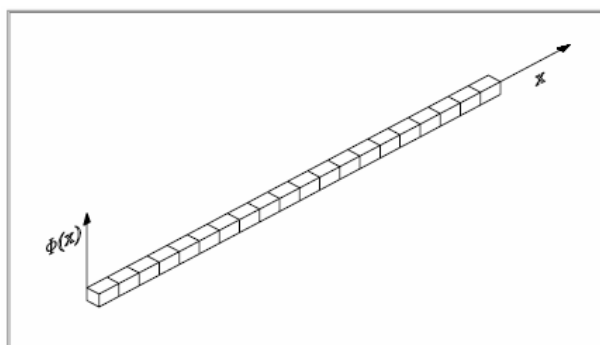


Fig. 2: Rappresentazione agli elementi finiti

Obiettivo: Per il sistema assegnato determinare i primi tre modi di vibrare.

Caratteristiche meccanico-geometriche:

Proprietà meccaniche	Proprietà geometriche	Carico
$E=2100000 \text{ Kg/cm}^2$	$a = 30 \text{ cm}$	$P_p = 706.5 \text{ Kg/m}$
	$L = 10 \text{ m}$	

Modello di calcolo: Il sistema assegnato viene suddiviso in un insieme di 20 elementi. In corrispondenza del nodo iniziale viene inserito un vincolo esterno tale da bloccare tutti i gdl. Per i restanti nodi vengono consentite, esclusivamente, la rotazione attorno all'asse y e le traslazioni nel piano

Analisi dei risultati :

<i>Soluzione teorica</i>	<i>CDSWin</i>	<i>Ratio</i> ^(**)
$\omega_1 = 15.60 \text{ rad/sec}$	15.58 rad/sec	0.999
$\omega_2 = 97.76 \text{ rad/sec}$	97.37 rad/sec	0.996
$\omega_3 = 273.76 \text{ rad/sec}$	271.94 rad/sec	0.993

(**): per *Ratio* si intende il rapporto tra il valore di output fornito dal programma, al termine dell'elaborazione, ed il valore fornito dalla soluzione teorica.

Test di verifica n° 22**Analisi in frequenza di una piastra rettangolare**

Fonte di riferimento: Blevins, Robert D., Rif. [13]: "Formulas for Natural Frequency and Mode Shape," Van Nostrand Reinhold Company, 1979, pg. 258.

Tipo di analisi: Analisi Dinamica Modale

Schema di calcolo: Una piastra rettangolare, di larghezza a e lunghezza b , ha uno spessore costante t ed è semplicemente appoggiata lungo i 4 lati.

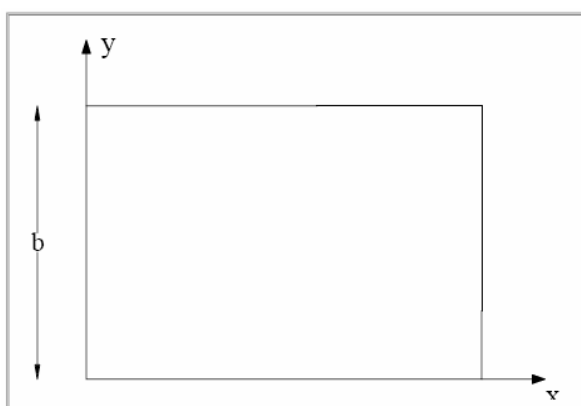


Fig. 1: Schema del problema

79	80	81	84	85	86	89	90	91	94	95	96
13	77	78	14	82	83	15	87	88	16	92	93
59	60	61	64	65	66	69	70	71	74	75	76
9	57	58	10	62	63	11	67	68	12	72	73
39	40	41	44	45	46	49	50	51	54	55	56
5	37	38	6	42	43	7	47	48	8	52	53
19	20	21	24	25	26	29	30	31	34	35	36
1	17	18	2	22	23	3	27	28	4	32	33

Fig. 2: Rappresentazione agli elementi finiti

Obiettivo: Analizzare il comportamento dinamico dell'elemento piastra.

Modello di calcolo: Per la schematizzazione del modello di calcolo fa riferimento ad una mesh formata da 96 elementi, ognuno composto da una mesh (3×3). In corrispondenza dei bordi perimetrali vengono inseriti dei vincoli che simulano gli appoggi.

Caratteristiche meccanico-geometriche:

Proprietà meccaniche	Proprietà geometriche
$E = 30 \times 10^6 \text{ psi} = 2109209 \text{ Kg/cm}^2$	$a = 45 \text{ in} = 114.3 \text{ cm}$
$\nu = 0.3$	$b = 30 \text{ in} = 76.2 \text{ cm}$
$\rho = 7800 \text{ Kg/m}^3$	$t = 0.2 \text{ in} = 0.508 \text{ cm}$

Utilizzando i dati assegnati, si trova:

$\omega_1 = 30.94 \text{ cycle/sec} = 194.30 \text{ rad/sec}$
$\omega_2 = 59.49 \text{ cycle/sec} = 373.59 \text{ rad/sec}$
$\omega_3 = 95.18 \text{ cycle/sec} = 597.73 \text{ rad/sec}$
$\omega_4 = 107.1 \text{ cycle/sec} = 672.58 \text{ rad/sec}$
$\omega_5 = 123.7 \text{ cycle/sec} = 776.83 \text{ rad/sec}$
$\omega_6 = 171.3 \text{ cycle/sec} = 1075.76 \text{ rad/sec}$

Analisi dei risultati ^(*):

Soluzione teorica	CDSWin	Ratio ^(**)
194.30 rad/sec	194.18 rad/sec	0.999
373.59 rad/sec	373.00 rad/sec	0.998
597.73 rad/sec	596.85 rad/sec	0.999
672.58 rad/sec	670.84 rad/sec	0.997
776.83 rad/sec	774.02 rad/sec	0.996
1075.76 rad/sec	1069.02 rad/sec	0.994

Raffittendo la mesh fino a definire una maglia composta da 3456 elementi, si ottengono i seguenti risultati:

Soluzione teorica	CDSWin	Ratio ^(**)
194.30 rad/sec	194.24 rad/sec	1.000
373.59 rad/sec	373.27 rad/sec	0.999
597.73 rad/sec	597.05 rad/sec	0.999
672.58 rad/sec	671.41 rad/sec	0.998
776.83 rad/sec	775.05 rad/sec	0.998
1075.76 rad/sec	1071.40 rad/sec	0.996

(*): vedasi nota introduttiva relativa alla conversione delle unità di misura.

(**): per *Ratio* si intende il rapporto tra il valore di output fornito dal programma, al termine dell'elaborazione, ed il valore fornito dalla soluzione teorica.

Test di verifica n° 23**Analisi in frequenza di una piastra sottile romboidale**

Fonte di riferimento: Rif. [14]: The STANDARD NAFEMS Benchmarks, TNSB, Rev. 3, 5 October, 1990

Tipo di analisi: Analisi Dinamica Modale

Schema di calcolo: Una piastra sottile romboidale, con i quattro lati uguali di lunghezza L , ha uno spessore costante h ed è incastrata lungo il contorno.

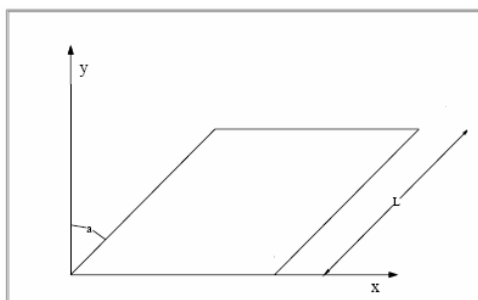


Fig. 1: Schema del problema

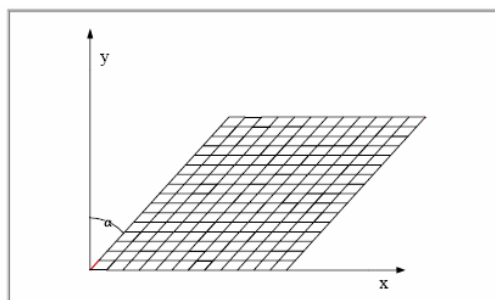


Fig. 2: Rappresentazione agli elementi finiti

Obiettivo: Analizzare il comportamento dinamico dell'elemento piastra .

Modello di calcolo: Per la schematizzazione del modello di calcolo fa riferimento ad una griglia formata da 192 elementi. In corrispondenza dei bordi perimetrali vengono inseriti dei vincoli incastro.

Caratteristiche meccanico-geometriche:

<i>Proprietà meccaniche</i>	<i>Proprietà geometriche</i>
$E = 2.0 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$	$L = 10 \text{ m}$
$\nu = 0.3$	$h = 0.05 \text{ m}$
$\rho = 8000 \text{ Kg/m}^3$	$\alpha = 45^\circ$

Soluzione teorica: Utilizzando i dati assegnati, si trova:

$\omega_1 = 7.938 \text{ cycle/sec} = 49.85 \text{ rad/sec}$
$\omega_2 = 12.835 \text{ cycle/sec} = 80.60 \text{ rad/sec}$
$\omega_3 = 17.941 \text{ cycle/sec} = 112.70 \text{ rad/sec}$
$\omega_4 = 19.133 \text{ cycle/sec} = 120.15 \text{ rad/sec}$
$\omega_5 = 24.009 \text{ cycle/sec} = 150.77 \text{ rad/sec}$
$\omega_6 = 27.922 \text{ cycle/sec} = 175.35 \text{ rad/sec}$

Analisi dei risultati ^(*):

<i>Soluzione teorica</i>	<i>CDSWin</i>	<i>Ratio ^(**)</i>
<i>49.85 rad/sec</i>	<i>48,72 rad/sec</i>	<i>0. 977</i>
<i>80.60 rad/sec</i>	<i>79,01 rad/sec</i>	<i>0. 980</i>
<i>112.70 rad/sec</i>	<i>111,12 rad/sec</i>	<i>0. 986</i>
<i>120.15 rad/sec</i>	<i>116,20 rad/sec</i>	<i>0. 967</i>
<i>150.77 rad/sec</i>	<i>148.67 rad/sec</i>	<i>0. 986</i>
<i>175.35 rad/sec</i>	<i>168,50 rad/sec</i>	<i>0. 961</i>

(*): vedasi nota introduttiva relativa alla conversione delle unità di misura.

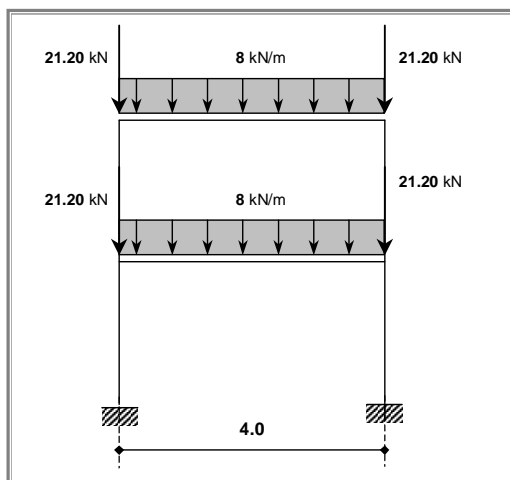
(**): per *Ratio* si intende il rapporto tra il valore di output fornito dal programma, al termine dell'elaborazione, ed il valore fornito dalla soluzione teorica.

Test di verifica n°25**Telaio piano**

Fonte di riferimento: Università di Roma “La Sapienza” – ECOLEADER PROJECT

Tipo di analisi: Analisi Statica non Lineare.

Schema di calcolo: Sia dato il telaio piano in fig., staticamente indeterminato,. A ciascuna delle travi viene applicato un carico uniformemente distribuito di intensità pari a 8 kN/m ed, in corrispondenza dei nodi, viene aggiunto un carico nodale verticale pari 21.20 kN.



Modello di calcolo: Per modellare correttamente la struttura è necessario schematizzarla come insieme di 6 elementi monodimensionali interconnessi attraverso 6 nodi. Per quanto riguarda, la condizione di vincolo dei nodi alla base si è proceduto all’inserimento di vincoli tipo incastro.

Obiettivo: Il modello, così implementato, viene sottoposto ad un analisi di tipo pushover. Tale analisi si propone di valutare la risposta anelastica del sistema prima descritto soggetta ad una distribuzione di forze monotonicamente crescenti, confrontando la soluzione fornita dalla fonte di riferimento con quella fornita dall’analisi di CDSwin.

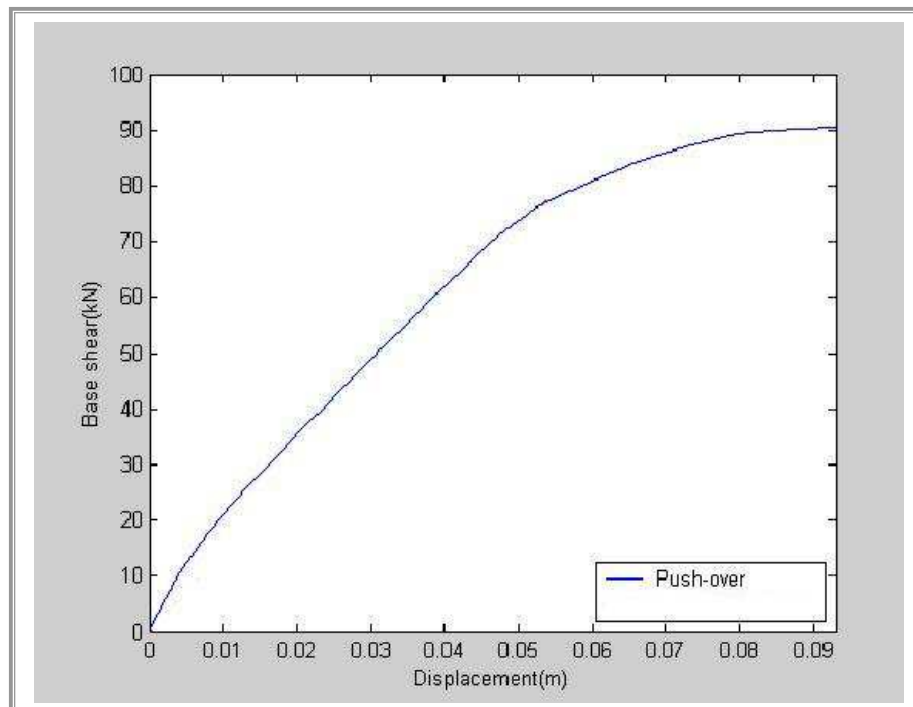
Caratteristiche meccanico-geometriche:

Proprietà meccaniche cls	Proprietà meccaniche acciaio	Proprietà geometriche
$f_{cm}=200 \text{ Kg/cm}^2$	$f_{yd}=5500$	Travi =26x40 cm
$E_c= 150000 \text{ Kg/cm}^2$	$E_s= 1974240 \text{ kg/cm}^2$	Pilastrini =26x26 cm
$\epsilon_{cu}=0.004$		

<i>Armatura Pilastri</i>		
	<i>I ordine</i>	<i>II ordine</i>
<i>Armatura // lato superiore</i>	3 ϕ 14	3 ϕ 12
<i>Armatura // lato inferiore</i>	3 ϕ 14	3 ϕ 12
<i>Armatura trasversale</i>	1 ϕ 6 / 20 cm	1 ϕ 6 / 20 cm

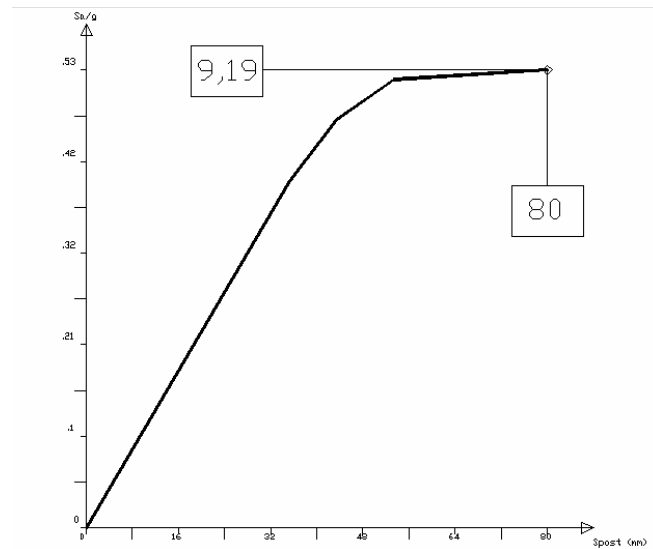
<i>Armatura Travi</i>	
<i>Armatura // lato superiore</i>	7 ϕ 14
<i>Armatura // lato inferiore</i>	4 ϕ 14
<i>Armatura trasversale</i>	1 ϕ 8 / 30 cm

Soluzione:



Curva di capacità FEAT

Analisi dei risultati: L'analisi effettuata conduce ai seguenti principali risultati :



Curva capacità CDSWin

Maximum base shear (KN)	90
Displacement (m)	0.09

	<i>Soluzione sperimentale</i>	<i>CDSWin</i>	<i>Ratio</i>
<i>Maximum base shear (KN)</i>	90	91,9	1,021
<i>Displacement (mm)</i>	0.09	0,080	0,888
<i>Tipo di meccanismo</i>	<i>Di piano</i>	<i>Di piano</i>	//

(*): per *Ratio* si intende il rapporto tra il valore di output fornito dal programma, al termine dell'elaborazione, ed il valore fornito dalla soluzione teorica.

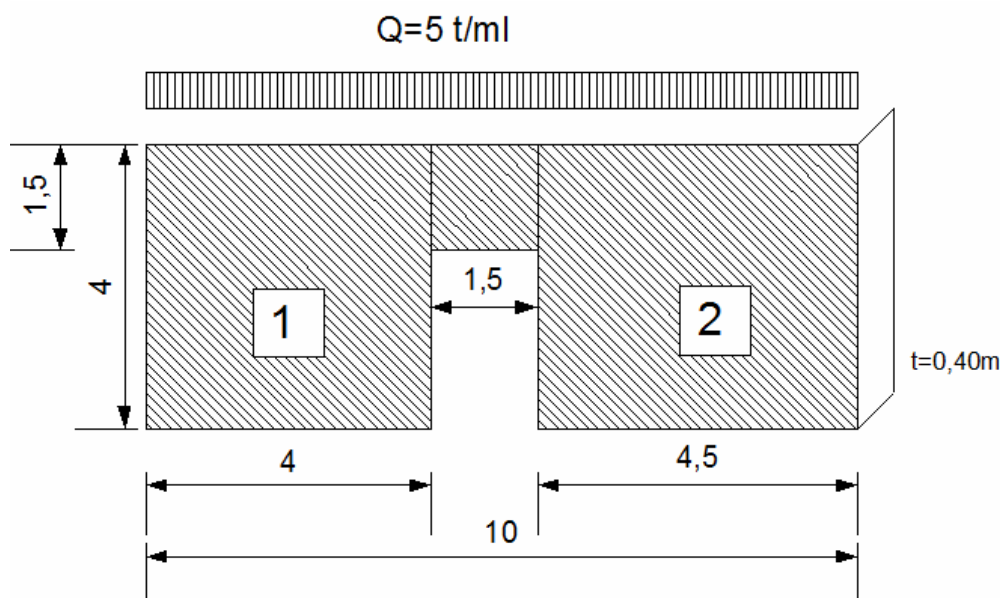
Test di verifica n°28**Analisi sismica lineare e non lineare (push over) di una facciata in muratura**

Tipo di analisi: Lineare e non lineare (Push Over) di una facciata in muratura ad una sola elevazione dello spessore di 0,40 ml con un carico verticale derivante dall'impalcato di 5 t/ml.

Obiettivo: Il test consiste nel confrontare i risultati ottenuti da una analisi sismica lineare ed una non lineare effettuata con il CDSWin – CDMa Win con i risultati ottenuti direttamente con calcoli manuali.

§ § §

Sia data la seguente facciata in muratura:

**CARATTERISTICHE DELLE MURATURE**

$f_k = 20 \text{ kg/cm}^2$ (resistenza a compressione)

$\tau_k = 0,91 \text{ kg/cm}^2$

$E = 20000 \text{ kg/cm}^2$

$G = 8000 \text{ kg/cm}^2$

$\gamma = 1,9 \text{ t/mc}$

$\delta_{bSLU} = 0,006$ (deformazione ultima collasso flessionale)

$\delta_{sSLU} = 0,004$ (deformazione ultima collasso a taglio)

Livello di conoscenza adeguata $FC = 1,20$

$\gamma_M = 2$ coefficiente parziale muratura combinazione sismica

RESISTENZE DI PROGETTO**Analisi lineare:**

$$f_d = 20 / (2 \times 1,2) = 8,33 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_d = 0,91 / (2 \times 1,2) = 0,38 \text{ kg/cm}^2$$

Analisi non lineare :

$$f = 20 / 1,2 = 16,67 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau = 0,91 / 1,2 = 0,76 \text{ kg/cm}^2$$

VALUTAZIONE DELLE MASSE COMPLESSIVE

Il programma, in automatico, fornisce le seguenti grandezze:

BARICENTRI MASSE E RIGIDENZE								
PIANO N.ro	QUOTA (m)	PESO (t)	XG (m)	YG (m)	XR (m)	YR (m)	DX (m)	DY (m)
1	4,00	64,63	5,00	0,00	5,04	0,00	0,04	0,00

Valutazione manuale

Nel valutare le masse complessive che partecipano al tagliante sismico, le pareti si considerano al 50% per cui:

$$W_g = 0,40 \times 1,90 \times (4 \times 4/2 + 4,5 \times 4/2 + 1,5 \times 1,5) = 14,63 \text{ t}$$

Mentre la massa portata dovuta al solaio è data da:

$$W_q = 5 \times 10 = 50 \text{ t}$$

Di conseguenza:

$$W_t = W_g + W_q = 64,63 \text{ t}$$

valore identico a quello ottenuto dal software.

ANALISI ELASTICA LINEARE SISMICA MODALE

Il programma fornisce i seguenti risultati:

VERIFICA SISMICA GLOBALE MASCHI MURARI - QUOTA N.ro: 1										
VERIFICA GLOBALE MASCHI MURARI										
Muro N.ro	Modo di collasso	Cmb	Coeff. sicur.	Nru (t)	Vru (t)	Mru (tm)	Nd (t)	Vd (t)	Md (tm)	TirPass (t)
1	FLESSIONE	15	1,80	-36,76	17,48	49,26	-36,76	6,85	27,41	0,00
2	FLESSIONE	11	1,77	-40,78	19,52	61,95	-40,78	8,76	35,04	0,00

Valutazione manuale

Per i meccanismi flessionali si considera la compressione media al piede del pannello mentre per le verifiche del meccanismo a taglio per fessurazione diagonale si considera la compressione media nella zona centrale del pannello.

Muro 1:

$$N_{p.p.} = 1,90 \times 4 \times 4 \times 0,4 = 12,16 \text{ t}$$

$$N_{p.p. \text{ architrave}} = \frac{1}{2} \times 1,90 \times 1,5 \times 1,5 \times 0,4 = 0,85 \text{ t}$$

$$N_q \text{ solaio} = (4 + 1,50/2) \times 5 = 23,75 \text{ t}$$

$$N_{\text{somma}} = 36,760 \text{ t}$$

$$\sigma_0 = 36760 / (40 \times 400) = 2,29 \text{ kg/cm}^2 \text{ (piede pannello)}$$

$$M_{ru} = 4002 \times 40 \times 2,29/2 \times (1 - 2,29/(0,85 \times 8,33)) = 4957953 \text{ kgcm} = 49,58 \text{ tm}$$

$$l/h = 1$$

$$\sigma_0 = 1,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{ru} = 400 \times 40 \times 1,5 \times 0,38/1,0 \times (1 + 1,6/(1,5 \times 0,38))^{1/2} = 17794 \text{ kg} = 17,8 \text{ t}$$

Muro 2:

$$N_{p.p.} = 1,90 \times 4,50 \times 4 \times 0,4 = 13,68 \text{ t}$$

$$N_{p.p. \text{ architrave}} = \frac{1}{2} \times 1,90 \times 1,5 \times 1,5 \times 0,4 = 0,85 \text{ t}$$

$$N_q \text{ solaio} = (4,50 + 1,50/2) \times 5 = 26,25 \text{ t}$$

$$N_{\text{somma}} = 40,780 \text{ t}$$

$$\sigma_0 = 40780/(40 \times 450) = 2,27 \text{ kg/cm}^2 \text{ (piede pannello)}$$

$$M_{ru} = 4502 \times 40 \times 2,27/2 \times (1 - 2,27/(0,85 \times 8,33)) = 6246075 \text{ kgcm} = 62,46 \text{ tm}$$

$$h/l = 0,825 \text{ si assume } b = 1$$

$$\sigma_0 = 1,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{ru} = 450 \times 40 \times 1,5 \times 0,38/1,0 \times (1 + 1,6/(1,5 \times 0,38))^{1/2} = 20018 \text{ kg} = 20,00 \text{ t}$$

CONFRONTO

MURO n.	Mru CDS	Mru TEST	scarto %	Vru CDS	Vru TEST	scarto %
1	49,26	49,58	-0,65	17,48	17,8	-1,8
2	61,95	62,46	-0,83	19,52	20	-2,5

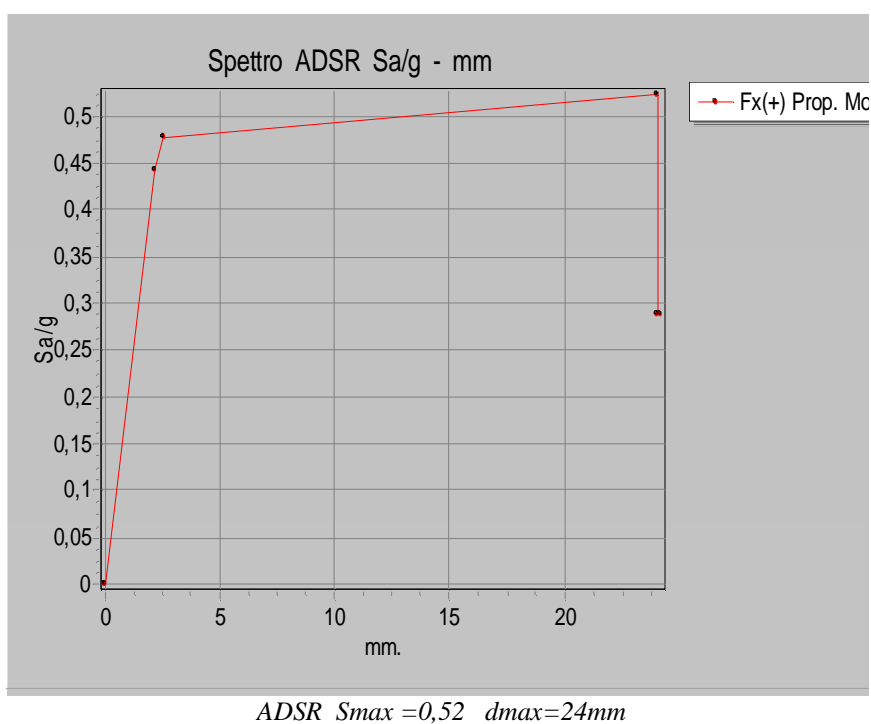
MURO n.	Nd CDS	Nd TEST	scarto %
1	36,76	36,76	0
2	40,78	40,78	0

Gli scarti sono inferiori al 1% per i momenti ed al 2,5% per i tagli e sempre A VANTAGGIO DI SICUREZZA.

ANALISI STATICA NON LINEARE (PUSH OVER)

Il programma, in automatico, fornisce le seguenti grandezze:

RISULTATI GENERALI PUSH-OVER						
PUSH-OVER N.ro		1	-	DISTRIB. FORZE SECONDO DEFORMATA MODALE		
Angolo Ingr. Sisma (Grd)		0		Numero collassi totali		2
Numero passo Resist.Max.		5		Numero passi significativi		7
Massa SDOF (t)		64,63		Taglio alla base max. (t)		33,78
Coeff. Partecipazione		1,00		Resistenza SDOF (t)		32,31
Rigidezza SDOF (t/m)		13020,72		Spostam. Snervam. SDOF mm		2
Periodo SDOF (sec)		0,14		Rapporto di incrudimento		0,000
Rapporto Alfau/alfa1		8140,731		Fattore struttura		3,710
Coeff Smorzam.Equival.		33,000		Duttilità		9,686

Valutazione manuale

Si valutino i valori resistenti utilizzati per l'analisi non lineare.

Muro 1:

$$\sigma_0 = 2,29 \text{ kg/cm}^2 \text{ (piede setto)}$$

$$M_{ru} = 4002 \times 40 \times 2,29/2 \times (1 - 2,29/(0,85 \times 16,67)) = 6154030 \text{ kgcm} = 61,54 \text{ tm}$$

$$l/h = 1$$

$$\sigma_0 = 1,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{ru} = 400 \times 40 \times 1,5 \times 0,76/1,0 \times (1 + 1,6/(1,5 \times 0,76))^{1/2} = 28278 \text{ kg} = 28,3 \text{ t}$$

Muro 2:

$\sigma_0 = 2,27 \text{ kg/cmq}$ (piede setto)

$$M_{ru} = 4502 \times 40 \times 2,27/2 \times (1 - 2,27/(0,85 \times 16,67)) = 7720671 \text{ kgcm} = 77,21 \text{ tm}$$

$h/l=0,825$ si assume $b=1$

$\sigma_0=1,6 \text{ kg/cmq}$

$$V_{ru} = 450 \times 40 \times 1,5 \times 0,38/1,0 \times (1 + 1,6/(1,5 \times 0,76))^{1/2} = 31812 \text{ kg} = 31,8 \text{ t}$$

Per stimare in maniera affidabile il limite superiore del tagliante alla base ultimo, si ipotizzi che le pareti raggiungano i valori ultimi di resistenza contemporaneamente per cui:

TAGLIANTE ULTIMO:

- Per meccanismo flettente: $V_{b1} = (M_{ru1} + M_{ru2})/H = (61,54 + 77,21)/4 = 34,69 \text{ t}$
- Per meccanismo tagliante: $V_{b2} = V_{ru1} + V_{ru2} = (28,30 + 31,8) = 60,10 \text{ t}$

Il meccanismo ultimo della facciata è di tipo flessionale per cui:

$$V_b = V_{b1} = 34,69 \text{ t}$$

$$S_a = V_b/W = 34,69/64,63 = 0,537 \text{ g}$$

$$d_{slu} = 0,006 \times 4000 = 24 \text{ mm (spostamento ultimo per meccanismo flessionale)}$$

CONFRONTO

GRANDEZZA	CDS	TEST	scarto %
Vb	33,78	34,69	-2,7
Sa	0,52	0,54	-3,8
d _{slu}	24 mm	24 mm	0

I risultati dell'analisi risultano pienamente validati dal confronto effettuato.

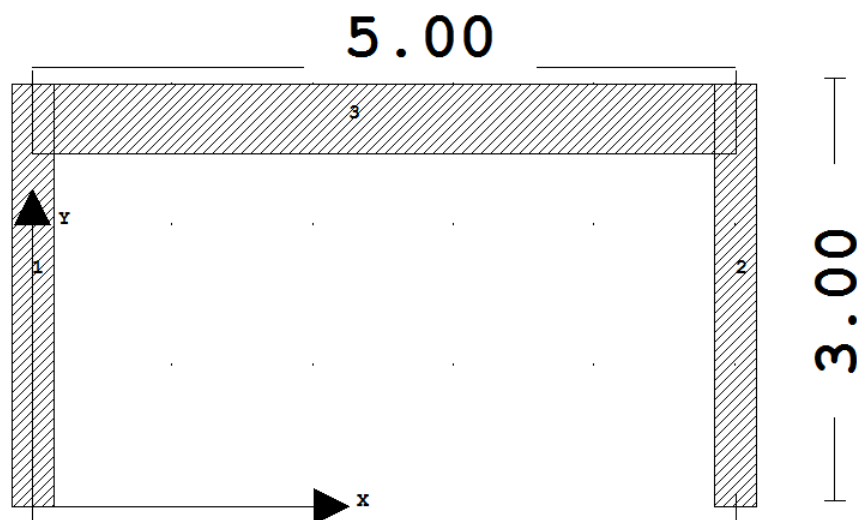
Test di verifica n°29**Test pratico di validazione numerica della progettazione dei rinforzi in FRP****Premessa**

Il calcolo dei rinforzi in FRP viene effettuata con riferimento al documento CNR DT 200 /2004 ed alle Linee Guida del C.S.LL.PP. per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di strutture di c.a., c.a.p e murarie mediante FRP.

Modello

I test vengono svolti su un semplice portale in calcestruzzo armato valutando l'incremento di resistenza a taglio in corrispondenza di un estremo del pannello di nodo trave-pilastro.

Un ulteriore test è stato svolto per valutare l'incremento di duttilità derivante dal confinamento della zona critica di un pilastro.

**Test 1: Incremento di taglio resistente in corrispondenza di un estremo della trave**

Sezioni rettangolari:

B=30 cm

H=50 cm

c=20mm

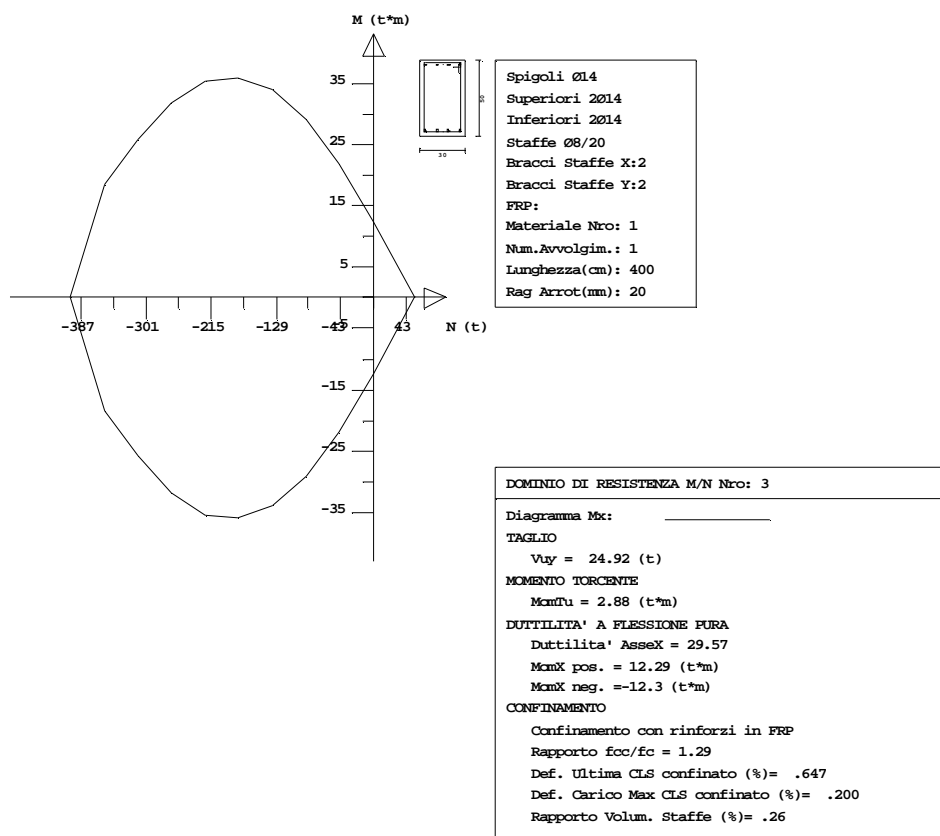
Calcestruzzo C20/25

Acciaio B450C

spessore solaio=20cm

FIBRE DI CARBONIO FRP

CARATTERISTICHE MECCANICHE	VALORI
TIPO:	Tessuto monodirezionale in fibre di carbonio
Grammatura	300 g/ m ²
Massa volumica (kg/m3):	1820
Spessore equivalente di tessuto secco (mm):	0.165
Area resistente per unità di larghezza (mm2/m):	165
Resistenza meccanica a trazione (N/mm2)	3000
Carico massimo per unità di larghezza (kN/m)	495
Modulo elastico a trazione (N/mm2):	300.000
Allungamento a rottura (%) ϵ_{fk}	1.3%
η (tabella 3.4) CNR-DT 200/04	0.85
γ_{fd} rottura per delaminazione (tabella 3.2)	1.2
γ_{fd} Rottura fibra (tabella 3.2)	1.1
γ_{RD} Verifiche a taglio (tabella 3.3)	1.2



Dominio di resistenza calcolato dal programma

Calcolo del taglio resistente “meccanismo a trazione” utilizzando un’inclinazione delle fessure diversa per il contributo delle fibre FRP e per il contributo delle staffe:

Contributo staffe inclinazione del puntone $\cot(\theta) = 2.5$:

$$V_{rdw} = 0.9 \cdot f_{ydw} \cdot A_{st} \cdot \frac{d}{p} \cdot \cot \vartheta = 0.9 \cdot 3913 \cdot 1.00 \cdot \frac{46.5}{20} \cdot 2.5 = 20570 \text{ kg}$$

Contributo FRP (Resistenza massima di calcolo fibra) $\cot(\theta) = 1$:

$$f_d = E_f \cdot \varepsilon_{fk} \cdot \eta / \gamma_{fd} = 300000 \cdot 0.013 \cdot 0.85 / 1.10 = 30136 \text{ kg / cmq}$$

Meccanismo di delaminazione (Linee guida 3.1):

$$l_e = \sqrt{\frac{E_f \cdot t_f}{2 \cdot f_{ctm}}} = \sqrt{\frac{300000 \cdot 0.165}{2 \cdot 1.03}} = 155 \text{ mm}$$

(Unità di misura N e mm)

$K_b=1$ in sicurezza

$$f_{fd} = \frac{0.24}{\gamma_{f,d} \cdot \sqrt{\gamma_c}} \sqrt{\frac{E_f \cdot k_b \sqrt{f_{ck} \cdot f_{ctm}}}{t_f}} = \frac{0.24}{1.2 \cdot \sqrt{1.5}} \sqrt{\frac{300000 \cdot 1 \cdot \sqrt{20 \cdot 1.03}}{t_f}} = 469.2 \text{ N / mmq} = 4692 \text{ kg / cmq}$$

$$h_{\min} = 46.5 - 20 = 26.5 \text{ cm (caso con FRP ad U trave emergente)}$$

$$\phi_r = 0.2 + 1.6 \cdot \frac{r_c}{b_w} = 0.2 + 1.6 \cdot \frac{2}{30} = 0.306 \text{ Linee guida (3.25)}$$

$$f_{fed} = f_{df} \cdot \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_e}{h_{\min}}\right) = 4692 \cdot \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{15.5}{26.5}\right) = 3777 \text{ kg / cmq} \text{ Linee guida (3.23)}$$

Per una fasciatura continua ed ortogonale all'asse la 3.21 si semplifica:

$$V_{Rdf} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} 0.9 \cdot d \cdot f_{fed} \cdot 2 \cdot t_f \cdot \frac{w_f}{p_f} = \frac{1}{1.2} 0.9 \cdot 46.5 \cdot 3777 \cdot 2 \cdot 0.0165 \cdot 1 = 4347 \text{ kg}$$

Nell'ipotesi di considerare l'inclinazione delle fessure per il contributo FRP fissata a 45° :

$$V_{rt} = (V_{Rdw} + V_{Rdf}) = (20570 + 4347) = 24917 \text{ kg} = 24.92 \text{ t}$$

Valore identico a quello fornito dal software (cfr. dominio di resistenza 3 valore V_{uy}).

Test 2: Incremento di resistenza del pannello di nodo trave pilastro

Sezione rettangolare trave:

B=30 cm

H=50 cm

Sezione rettangolare pilastro:

B=40 cm

H=30 cm

FIBRE DI CARBONIO FRP

CARATTERISTICHE MECCANICHE	VALORI
TIPO:	Tessuto QUADRIASSIALE in fibre di carbonio
Grammatura	300 g/ m ²
Massa volumica (kg/m3):	1820
Spessore equivalente di tessuto secco (mm):	0.165
Area resistente per unità di larghezza (mm2/m):	165
Resistenza meccanica a trazione (N/mm2)	3000
Carico massimo per unità di larghezza (kN/m)	495
Modulo elastico a trazione (N/mm2):	300.000
Allungamento a rottura (%) ϵ_{fk}	1.3%
η (tabella 3.4) CNR-DT 200/04	0.85
γ_{fd} rottura per delaminazione (tabella 3.2)	1.2
γ_{fd} Rottura fibra (tabella 3.2)	1.1
γ_{RD} Verifiche a taglio (tabella 3.3)	1.2

Al fine di tenere in conto il contributo delle fibre si utilizza il meccanismo resistente dei nodi non fessurati previsto dalle NTC2008 al punto 7.4.10.

Questo modello non fessurato prevede la presenza di elementi resistenti a trazione in parallelo alla resistenza del calcestruzzo in modo tale da limitare le tensioni diagonali al valore f_{ctd} .

Riscrivendo opportunamente la 7.4.10 si ottiene:

$$\frac{[V_{jbd} / (b_j \cdot h_{jc})]^2}{f_{ctd} + v \cdot f_{cd}} - \frac{A_{sh} \cdot f_{ywd}}{b_j \cdot h_{jw}} \leq f_{ctd}$$

Il secondo termine del primo membro rappresenta quindi la resistenza a trazione addizionale dovuta al presidio utilizzato dove A_{sh} è l'area complessiva delle staffe o del tessuto presente sul nodo di altezza h_{jw} :

Per cui nel caso di FRP quadri assiale:

$$A_{sh} = h_{jw} \times (t_f + 2 \times t_f \times \cos(45^\circ))$$

Il valore della resistenza f_{ywd} viene assunta pari alla resistenza della sistema FRP limitando la deformazione massima al 0.4%, come previsto al punto 3.7.3.2.4 **Nodi** delle linee guida C.S. LL.PP.

$$f_{ywd} = 0.004 \times 3000000 = 12000 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{sh} \cdot f_{ywd} = 50 \times (0.0165 + 2 \times 0.0165 \times 0.71) \times 12000 = 23950 \text{ kg}$$

Questo equivale ad una resistenza a trazione aggiuntiva pari a:

$$A_{sh} \cdot f_{ywd} / (h_{jw} \times b_j) = 23950 / (50 \times 30) = 15.97 \text{ kg/cm}^2$$

RISULTATI VERIFICHE NODI CLS - PUSH N.ro: 5 - Fx(+) Massa											
IDENTIFICATIVO			DIREZIONE 'X'								
Filo N.ro	Q.In. (m)	Nodo3d N.ro	Nsup (t)	Coll Nodo	TaglSup (t)	Traz-Af (t)	SgmComp kg/cm ²	SgmTraz kg/cm ²	RcLim kg/cm ²	RtLim kg/cm ²	
1	3,00	2	0,0	NO	0,0	0,0	0,0	0,0	66,7	11,0	
2	3,00	4	0,0	NO	0,0	23,5	-19,6	-3,7	66,7	11,0	

Effettuando i calcoli manuali e assumendo la trazione in assenza di rinforzo fornito dal software pari a 19,59 kg/cm²:

$$\frac{[v_{jbd} / (b_j \cdot h_{jc})]^2}{f_{ctd} + v \cdot f_{cd}} - \frac{A_{sh} \cdot f_{ywd}}{b_j \cdot h_{jw}} = 19,59 - 15,9 = 3.69 \text{ kg/cm}^2$$

valore identico a quello fornito dal software.

Test 3: Confinamento di resistenza del pannello di nodo trave pilastro

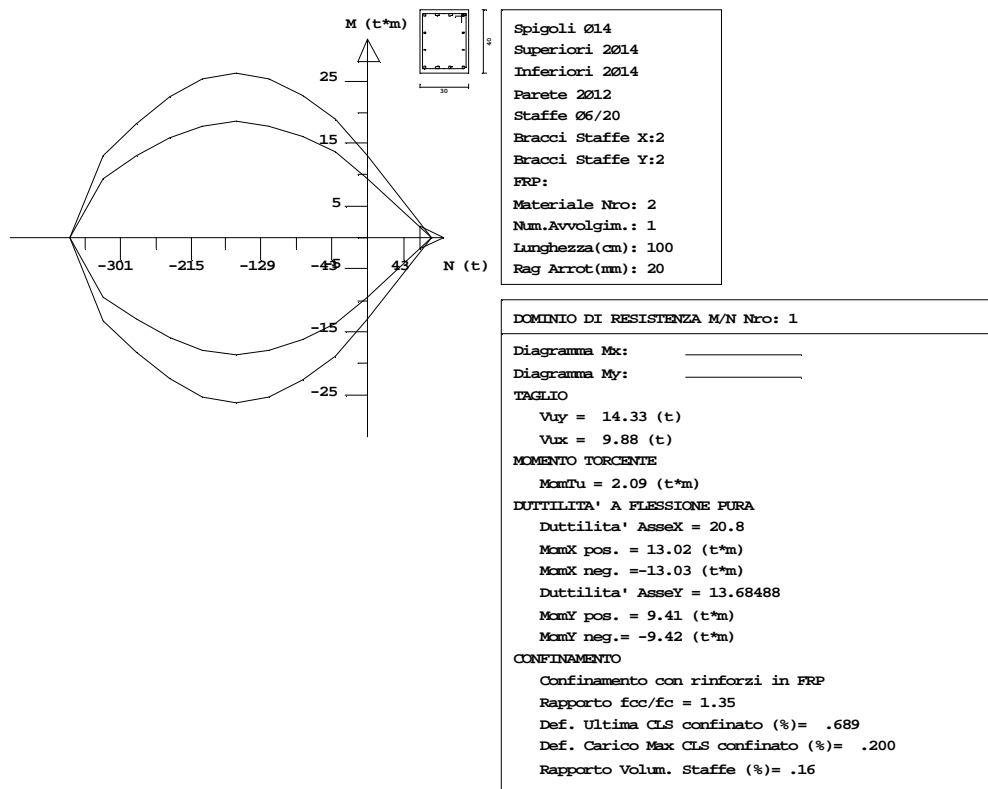
Sezione rettangolare pilastro:

B=40 cm

H=30 cm

FIBRE DI CARBONIO FRP

CARATTERISTICHE MECCANICHE	VALORI
TIPO:	Tessuto QUADRIASSIALE in fibre di carbonio
Grammatura	300 g/ m ²
Massa volumica (kg/m³):	1820
Spessore equivalente di tessuto secco (mm):	0.165
Area resistente per unità di larghezza (mm²/m):	165
Resistenza meccanica a trazione (N/mm²)	3000
Carico massimo per unità di larghezza (kN/m)	495
Modulo elastico a trazione (N/mm²):	300.000
Allungamento a rottura (%) ϵ_k	1.3%
η (tabella 3.4) CNR-DT 200/04	0.85
γ_{fd} rottura per delaminazione (tabella 3.2)	1.2
γ_{fd} Rottura fibra (tabella 3.2)	1.1
γ_{RD} Verifiche a taglio (tabella 3.3)	1.2



Per la valutazione del confinamento del composito si fa riferimento alle Linee Guida del C.S. LL.PP. capitolo 3.5: **CONFINAMENTO**.

$$\varepsilon_{fd,rid} = \min \left\{ \begin{array}{l} \eta_a \cdot \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_f} = 0.95 \frac{0.013}{1.1} = 0.0112 \\ 0.6 \cdot \varepsilon_{fk} = 0.0078 \end{array} \right\} = 0.0078 \quad \text{Deformazione ridotta (cfr. Linee Guida 3.44)}$$

$$\rho_f = \frac{2 \cdot t_f \cdot (b+h) \cdot b_f}{b \cdot h \cdot p_f} = \frac{2 \cdot 0.0165 \cdot (30+40)}{30 \cdot 40} = 0.001925; b_f = p_f - fasciatura continua \quad (\text{cfr. Linee Guida 3.41})$$

$$b' = b - 2 \cdot r_c = 30 - 2 \cdot 2 = 26 \text{ cm}$$

$$b' = h - 2 \cdot r_c = 40 - 2 \cdot 2 = 36$$

$$K_h = 1 - \frac{b'^2 + h'^2}{3A_g} = 1 - \frac{26^2 + 36^2}{3 \cdot 30 \cdot 40} = 0.452 \quad (\text{cfr. Linee Guida 3.42})$$

Pressione di confinamento (cfr. Linee Guida 3.34):

$$f_l = \frac{1}{2} \cdot \rho_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_{fd,rid} = \frac{1}{2} \cdot 0.001925 \cdot 3000000 \cdot 0.0078 = 22.52 \text{ kg / cmq}$$

Cfr. Linee Guida 3.33 3.35:

$$f_{leff} = f_l \cdot k_h \cdot k_v \cdot k_\alpha = 22.52 \cdot 0.452 \cdot 1 \cdot 1 = 10.185 \text{ kg / cmq}$$

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon_{cu} + 0.015 \cdot \sqrt{\frac{f_{1eff}}{f_c}} = 0.0035 + 0.015 \cdot \sqrt{\frac{10.185}{200}} = 0.0068 \quad (\text{cfr. Linee Guida 3.43})$$

Valore identico a quello fornito dal software (cfr. dominio di resistenza 1 valore **Def. Ultima cls confinato**).

Nell'applicazione della formula si è utilizzato il valore della resistenza del calcestruzzo senza ridurla del coefficiente parziale, trattandosi di utilizzo della deformazione in un'analisi non lineare.