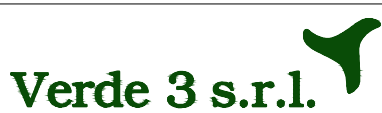


1	PROGETTO REV 01	MR	08/21	
REV.	DESCRIZIONE E REVISIONE	Sigla	Data	Firma
EMESSO				

PROGETTAZIONE	GVC s.r.l. Via della Pineta 1 - 85100 - Potenza email: info@gvcingegneria.it - website: www.gvcingegneria.it P.E.C.: gvcst@gigapec.it Direttore Tecnico: dott. ing. MICHELE RESTAINO Collaboratori GVC s.r.l. per il progetto: dott. ing. GIORGIO MARIA RESTAINO dott. ing. CARLO RESTAINO dott. ing. ATTILIO ZOLFANELLI	 GVC SERVIZI DI INGEGNERIA

Committente	VERDE 3 S.R.L.	 Verde 3 s.r.l.		
Comune	COMUNI DI LARINO - URURI - SAN MARTINO IN PENSILIS (CB)	COD. RIF	G/129/02/A/01/PD	
Opera	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTATICO DI POTENZA NOMINALE PARI A 11.980,65 kWp DENOMINATO LARINO 6 - UBICATO IN LOCALITA' PIANE DI LARINO NEL COMUNE DI LARINO E IN LOCALITA' FORCONI NEL COMUNE DI URURI E SAN MARTINO IN PENSILIS	ELABORATO	FILE	
Oggetto	PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE	Categoria	N.°	
		PD	Scala	-----
		RT-07		
		Questo disegno è di nostra proprietà riservata a termine di legge e ne è vietata la riproduzione anche parziale senza nostra autorizzazione scritta		

Sommario

1.	PREMESSA.....	2
2.	DESCRIZIONE DEL PROGETTO	2
3.	DESCRIZIONE DELLE TIPOLOGIE STRUTTURALI IPOTIZZATE	3
3.1	Strutture di sostegno dei moduli FTV	3
3.1.a	La modellazione della struttura	6
3.1.b	I materiali utilizzati	7
3.1.c	Carichi di progetto – Azione del vento §3.3 NTC 2018.....	9
3.2	Cabine di campo Fotovoltaico	17
3.3	Cabine di distribuzione MT e Control Room.....	22
3.4	Cabine di deposito	24
3.5	Edificio Utente in SSE	24
3.6	Recinzione sottostazione AT/MT.....	24

1. PREMESSA

Lo scopo del presente documento è quello di descrivere le opere strutturali necessarie per la realizzazione dell'impianto di generazione elettrica con utilizzo della fonte rinnovabile solare attraverso conversione fotovoltaica. In particolare si individueranno e descriveranno, in via preliminare, le varie tipologie strutturali ipotizzate per il sostegno dei moduli fotovoltaici, per le cabine elettriche, per il recinto della sottostazione AT/MT e per le fondazioni delle apparecchiature AT.

2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto **agrivoltaico** di potenza nominale pari a **11.980,65 kWp** da installarsi sui terreni nei comuni di Larino (CB), in Località Piane di Larino, Ururi (CB) e San Martino in Pensilis (CB), in località Forconi, e relativa sottostazione AT/MT nel Comune di Larino (CB) in Località Piane di Larino. La denominazione dell'impianto sarà "**LARINO 6**".

L'energia elettrica prodotta sarà immessa nella rete di trasmissione nazionale RTN con allaccio in Alta Tensione tramite collegamento in antenna a 150 kV con la sezione a 150 kV della stazione elettrica di trasformazione (SE) a 380/150 kV di Larino.

Il Soggetto Responsabile, così come definito, ex art. 2, comma 1, lettera g, del DM 28 luglio 2005 e s.m.i., è la società "**VERDE 3 S.r.l**" che dispone delle disponibilità all'utilizzo dell'aree su cui sorgerà l'impianto in oggetto. I moduli fotovoltaici, per la precisione 17.490 moduli fotovoltaici, della potenza di 685w cadauno, saranno installati su strutture metalliche di tipo tracker ancorate al terreno mediante paletti infissi nel terreno.

Tutta la componentistica elettromeccanica, gli organi di manovra e protezione elettrica, nonché i trasformatori, saranno alloggiati all'interno di cabine elettriche di campo (POWER-STATION), distribuite nei campi fotovoltaici, e cabina di distribuzione MT, presenti all'interno dei campi fotovoltaici, e la cabina di consegna, presente all'interno della sottostazione AT/MT.

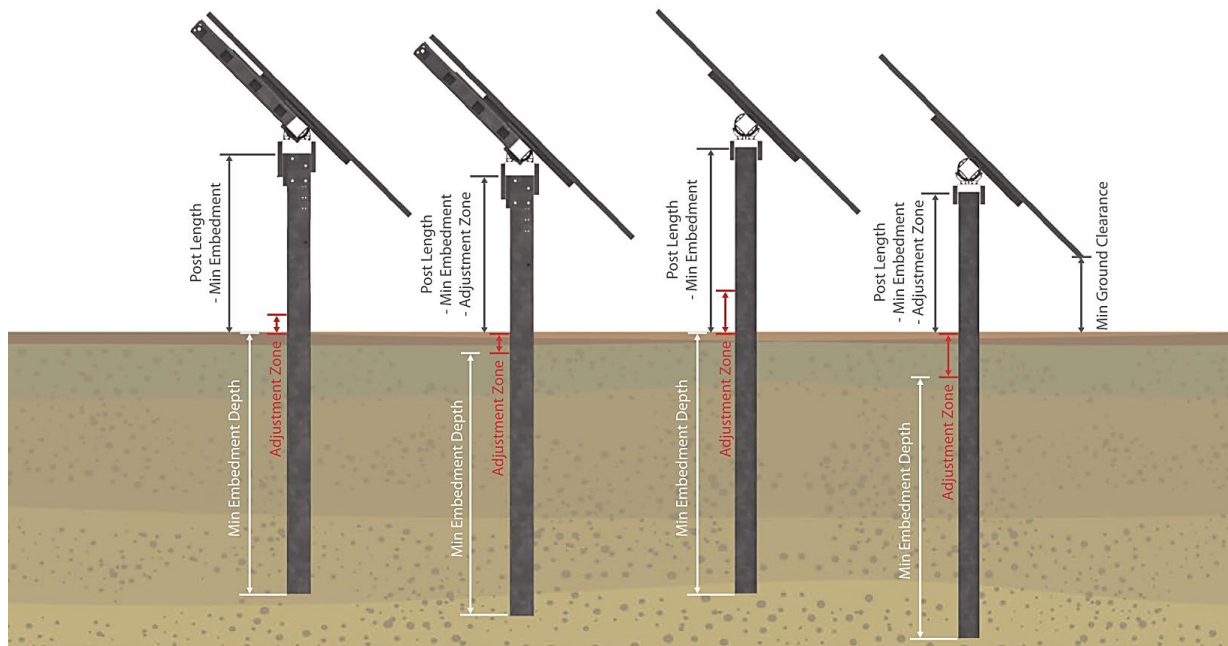
3. DESCRIZIONE DELLE TIPOLOGIE STRUTTURALI IPOTIZZATE

La modellazione degli elementi strutturali è stata eseguita con il software MasterSap dotato del solutore agli elementi finiti LiFE concesso in licenza alla GVC srl (del quale si allega validazione del solutore) per le strutture in elevazione e con il software API++ concesso in licenza alla GVC srl per le strutture di fondazione (del quale si allega validazione del solutore).



3.1 Strutture di sostegno dei moduli FTV

Le strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici (tracker) sono composte telai metallici, pali di sostegno e trave di collegamento superiore, trattati superficialmente con zincatura a caldo, per una maggiore durata nel tempo. Gli elementi di sostegno garantiscono l'ancoraggio al terreno senza l'ausilio di opere di fondazione in calcestruzzo.



Le strutture saranno dimensionate per resistere ai carichi trasmessi dai pannelli e alle sollecitazioni esterne alle quali vengono sottoposte in condizione ordinaria e straordinaria (vento, neve...). L'innovativo sistema di backtracking (monitoraggio a ritroso) controlla e assicura che una serie di pannelli non ombreggi gli altri adiacenti quando l'angolo di elevazione del sole è basso nel cielo, all'inizio o alla fine della giornata, l'auto-ombreggiamento automatico tra le file dei tracker potrebbe, infatti, potenzialmente ridurre l'output del sistema (produzione globale annuale).

Ogni fila è dotata di un attuatore lineare e un clinometro elettronico: l'attuatore lineare viene mosso da un motore 12 Vdc con un assorbimento di corrente di 10 A; questa unità è alimentata a corrente continua ed è dotata di tecnologia brushless ad alta efficienza, quindi a basso riscaldamento e senza condensatore elettrolitico. L'automazione è garantita da una scheda elettronica protetta da una scatola resistente ai raggi UV, grado IP65. I tracker lavorano tramite un algoritmo che fornisce una fase di backtracking mattutino da 0° a + 52° e analogamente una fase di backtracking serale da -52° a 0°, il sistema calcola l'angolo ottimale evitando l'ombreggiatura dei pannelli. Durante la fase centrale di "Tracking Diretto" da +52 ° a -52 °, il sistema insegue l'angolo ottimale per il tracker con un errore massimo uguale al valore impostato. È possibile modificare e impostare i parametri di controllo per adattare il sistema alle caratteristiche del sito locale e per ottimizzare la produzione di energia solare.

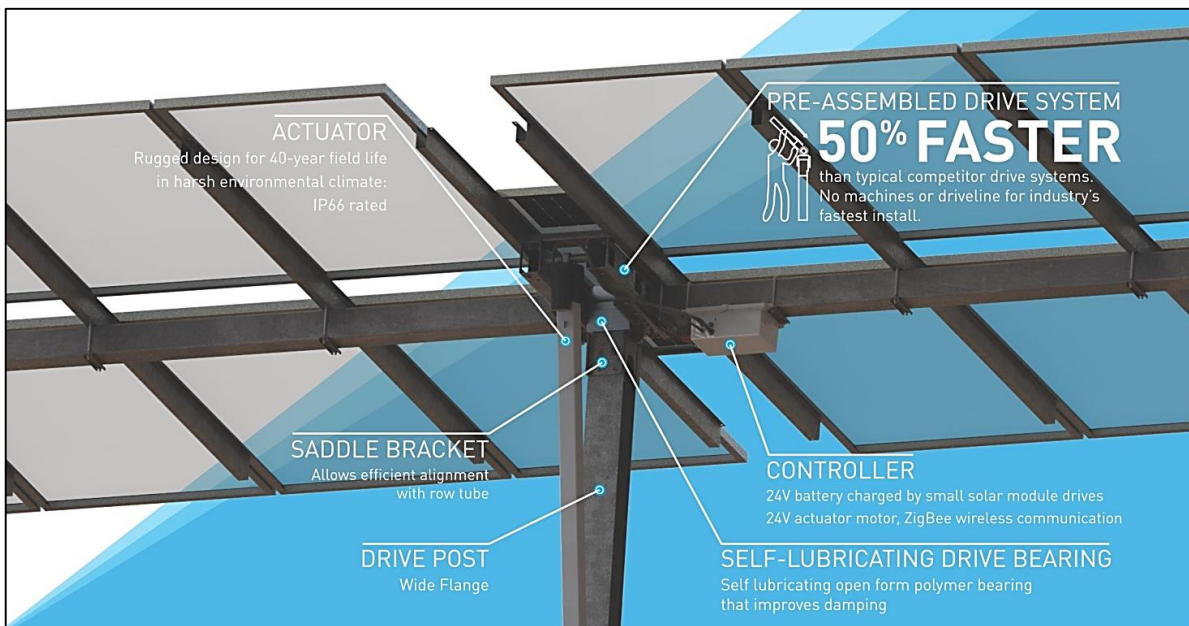
La soluzione di supporto per la posizione dell'attuatore è realizzata con boccola in bronzo a basso attrito, fissata mediante l'utilizzo di opportuni dadi su un supporto in acciaio, i perni di rotazione sono invece realizzati in acciaio inossidabile (nitrurato); l'accoppiamento dei materiali permette una buona resistenza alla corrosione elettrochimica.

La soluzione costruttiva della struttura del tracker consente l'installazione su un suolo con pendenza al 7-15%, l'asse di rotazione è molto vicino all'asse del baricentro della struttura; ciò consente di ridurre la coppia sulla struttura e il carico sull'attuatore. Il dimensionamento torsionale della struttura è realizzato al fine di evitare fenomeni di instabilità dovuti all'aumento del coefficiente "fattore di forma".

La parte in elevazione delle strutture è composta da pochi elementi da montare rapidamente in loco mediante fissaggi meccanici. I componenti metallici sono:

- elemento verticale completamente saldato
- profili di supporto moduli;
- controventature;
- inserti di ancoraggio.

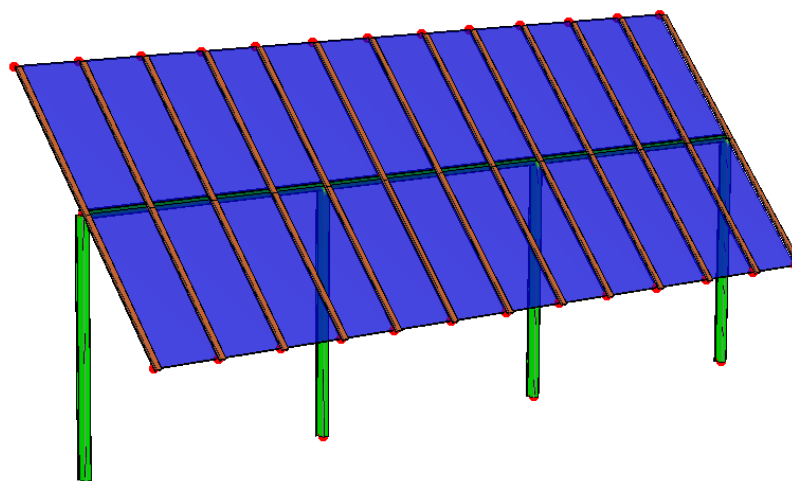
Il fissaggio dei pannelli fotovoltaici viene eseguito con bulloneria in acciaio inossidabile evitando quindi fenomeni di corrosione. Le fondazioni sono a secco, pertanto viene utilizzata l'infissione a battente, ove non possibile, preforatura con successiva martellatura. I pali sono realizzati in acciaio S 355 JR più adatto per essere martellato senza deformazioni, la profondità di infissione sarà determinata in funzione delle sollecitazioni e delle caratteristiche meccaniche del terreno.



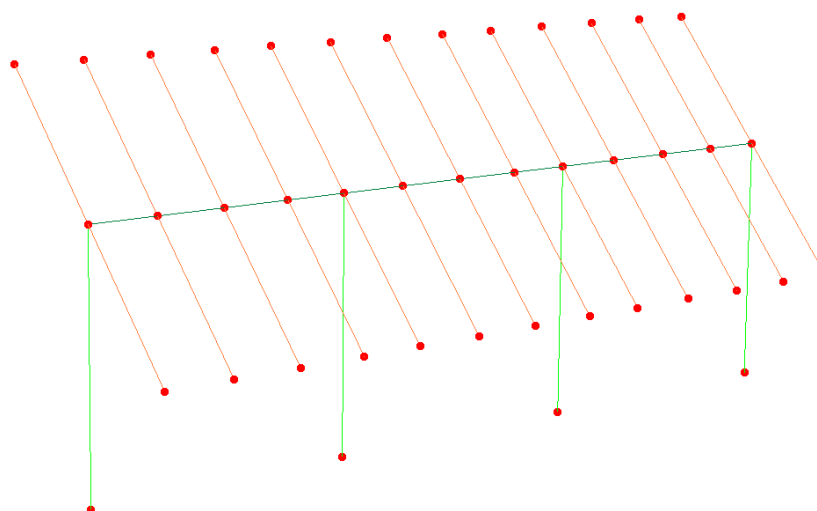
Esempi di campi fotovoltaici in terreni simili a quelli di progetto

La durabilità dei materiali metallici è garantita dal trattamento superficiale di zincatura a caldo come da normativa EN ISO 1461:2009.

3.1.a La modellazione della struttura



Modello solido della struttura



Modello wireframe struttura

La struttura e il suo comportamento sotto le azioni statiche e dinamiche, sono state adeguatamente valutate, interpretate e trasferite nel modello che si caratterizza per la sua impostazione

completamente tridimensionale. A tal fine ai nodi strutturali possono convergere diverse tipologie di elementi, che corrispondono nel codice numerico di calcolo in altrettante tipologie di elementi finiti. Travi e pilastri, ovvero componenti in cui una dimensione prevale sulle altre due, vengono modellati con elementi “beam”, il cui comportamento può essere opportunamente perfezionato attraverso alcune opzioni quali quelle in grado di definire le modalità di connessione all’estremità. Eventuali elementi soggetti a solo sforzo normale possono essere trattati come elementi “truss” oppure con elementi “beam” opportunamente svincolati. Le pareti, le piastre, le platee ovvero in generale i componenti strutturali bidimensionali, con due dimensioni prevalenti sulla terza (lo spessore), sono stati modellati con elementi “shell” a comportamento flessionale e membranale, vincoli con il mondo esterno vengono rappresentati, nei casi più semplici (apparecchi d’appoggio, cerniere, carrelli), con elementi in grado di definire le modalità di vincolo e le rigidzze nello spazio. I parametri dei materiali utilizzati per la modellazione riguardano il modulo di Young, il coefficiente di Poisson, ma sono disponibili anche opzioni per ridurre la rigidzza flessionale e tagliante dei materiali per considerare l’effetto di fenomeni fessurativi nei materiali. E’ stata impiegata un’analisi statica in campo lineare conforme alle NTC 2018. Agli effetti del dimensionamento è stato quindi impiegato il metodo degli stati limite. Si ritiene che il modello utilizzato sia rappresentativo del comportamento reale della struttura; La procedura di calcolo adoperata, basata sul software MasterSap per il calcolo dello stato tensio/deformativo della struttura, su MasterVer EC3 per le verifiche degli elementi in acciaio si articola nel modo seguente:

- Costruzione del modello di calcolo adoperando una modellazione con elementi frame (travi e pilastri) e truss per tirante/puntone (ambiente MasterSap);
- Messa a punto della combinazione di carico sismica allo SLV che ha portato in conto carichi propri e permanenti combinati con l’azione sismica secondo lo spettro di progetto specificato ai punti precedenti (ambiente MasterSap);
- Calcolo delle sollecitazioni massime agenti sulla struttura (involuppo delle combinazioni di carico statiche e sismiche) in condizioni ultime e di esercizio (ambiente MasterSap);
- Verifica degli elementi in acciaio con il modulo MasterVer EC3

3.1.b I materiali utilizzati

ACCIAIO PER PIASTRE E CARPENTERIA METALLICA DEL TIPO S355

Riferimenti:

- D.M. 17.01.2018, par. 4.2.1.1, par 11.3.4
- UNI EN 10025-2:2005: Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali.

Proprietà dei materiali per la fase di analisi strutturale

- Modulo Elastico: $E = 2.100.000 \text{ kg/cm}^2$ (210.000 N/mm^2)
- Coefficiente di Poisson: $\nu = 0.3$
- Modulo di elasticità trasversale: $G = E / [2*(1+\nu)]$ (N/mm^2)
- Coefficiente di espansione termica lineare: $\alpha = 12*10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}^{-1}$ (per $T < 100^{\circ}\text{C}$)
- Densità: $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

	S235	S275	S355	S450
TENSIONE DI ROTTURA	360 N/mm ²	430 N/mm ²	510 N/mm ²	550 N/mm ²
TENSIONE DI SNERVAMENTO	235 N/mm ²	275 N/mm ²	355 N/mm ²	440 N/mm ²

ACCIAIO PER BULLONI, DADI E BARROTTI:
Acciaio ad alta resistenza classe 8.8

	Normali			Ad alta resistenza	
Vite	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
Dado	4	5	6	8	10
f_{yb} (N/mm ²)	240	300	480	649	900
f_{tb} (N/mm ²)	400	500	600	800	1000

3.1.c Carichi di progetto – Azione del vento §3.3 NTC 2018

CLASSE DI RUGOSITÀ DEL TERRENO



Zona di riferimento per il calcolo

Tab. 3.3.I -Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
1	Valle d’Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l’eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l’Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l’Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l’eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

- CLASSE DI RUGOSITÀ DEL TERRENO

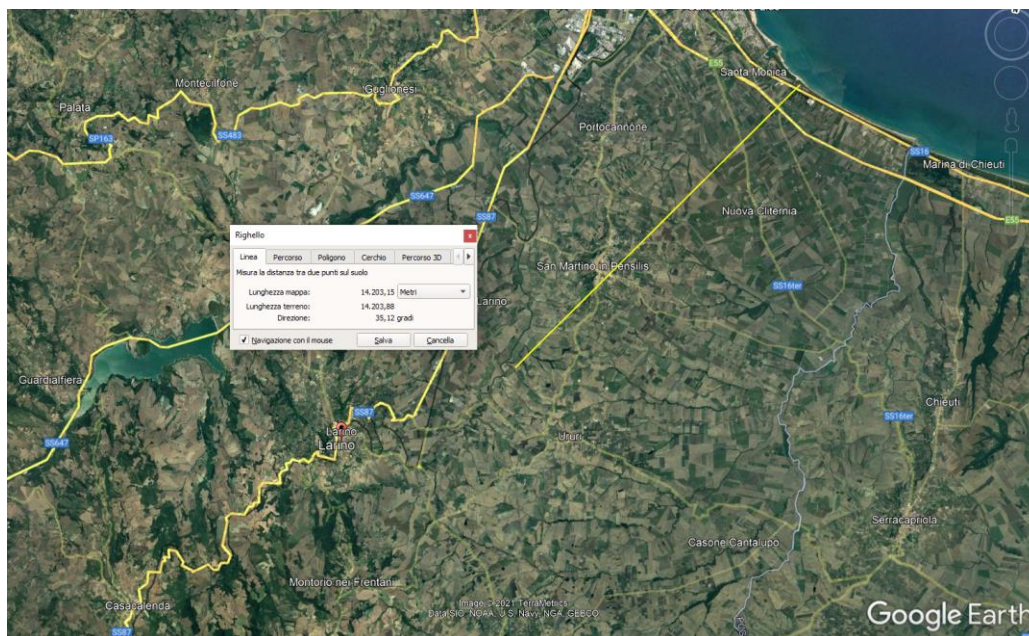
Tab. 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate,)

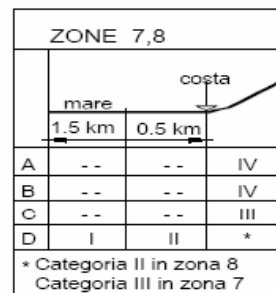
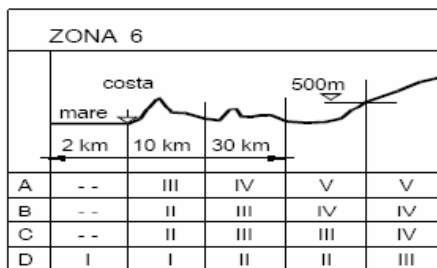
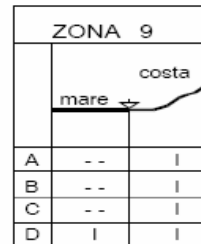
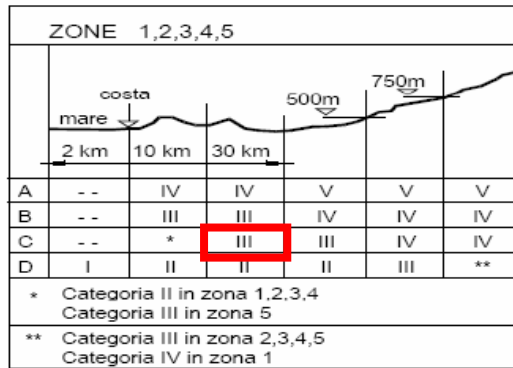
L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorga nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).

Definizione della classe di rugosità del terreno

Nota la distanza dalla costa, che è pari a circa 15 km si può determinare la categoria di esposizione



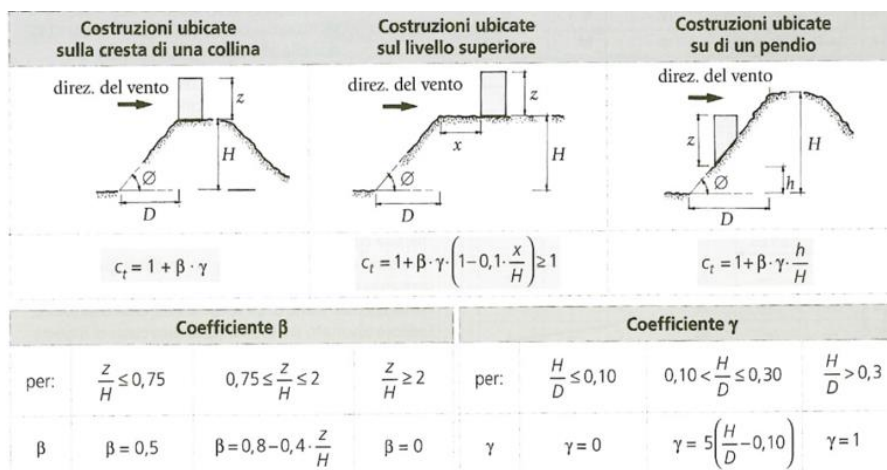
Distanza del sito di progetto dalla costa



Determinazione della categoria di esposizione

COEFFICIENTE TOPOGRAFICO

Il coefficiente topografico Ct è posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane. Nel caso in esame è stato posto Ct=1. Si precisa comunque che nel caso di costruzioni ubicate in prossimità di pendii isolati o sommità di colline, il coefficiente di topografia può essere valutato dal progettista con analisi più approfondite. Di seguito si riportano alcuni casi particolari che necessitano di analisi approfondite.



Variabili per la definizione del coefficiente topografico

COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. Per altezze non maggiori di $z=200\text{m}$ valgono le seguenti espressioni.

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_{e0}(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

k_r	z_0 [m]	z_{\min} [m]
0.20	0.10	5.00

Coefficiente di esposizione minimo	$c_{e,\min}$	1.71	$z < 5.00$
Coefficiente di esposizione alla gronda	$c_{e,\text{gronda}}$	1.71	$z = 0.00$
Coefficiente di esposizione al colmo	$c_{e,\text{colmo}}$	1.88	$z = 6.60$

COEFFICIENTE DINAMICO

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti gli 80m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità. Nel caso in esame data la natura delle opere strutturali il coefficiente è stato posto pari a 1

COEFFICIENTE DI FORMA

È il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

VELOCITÀ DI RIFERIMENTO DEL VENTO E DELLA PRESSIONE CINETICA

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_a [1/s]
3	27	500	0.02

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

v_b (velocità di riferimento) 25.09 [m/s]

$$p \text{ (pressione del vento [N/mq])} = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

$$q_b \text{ (pressione cinetica di riferimento [N/mq])}$$

$$c_e \text{ (coefficiente di esposizione)}$$

$$c_p \text{ (coefficiente di forma)}$$

$$c_d \text{ (coefficiente dinamico)}$$

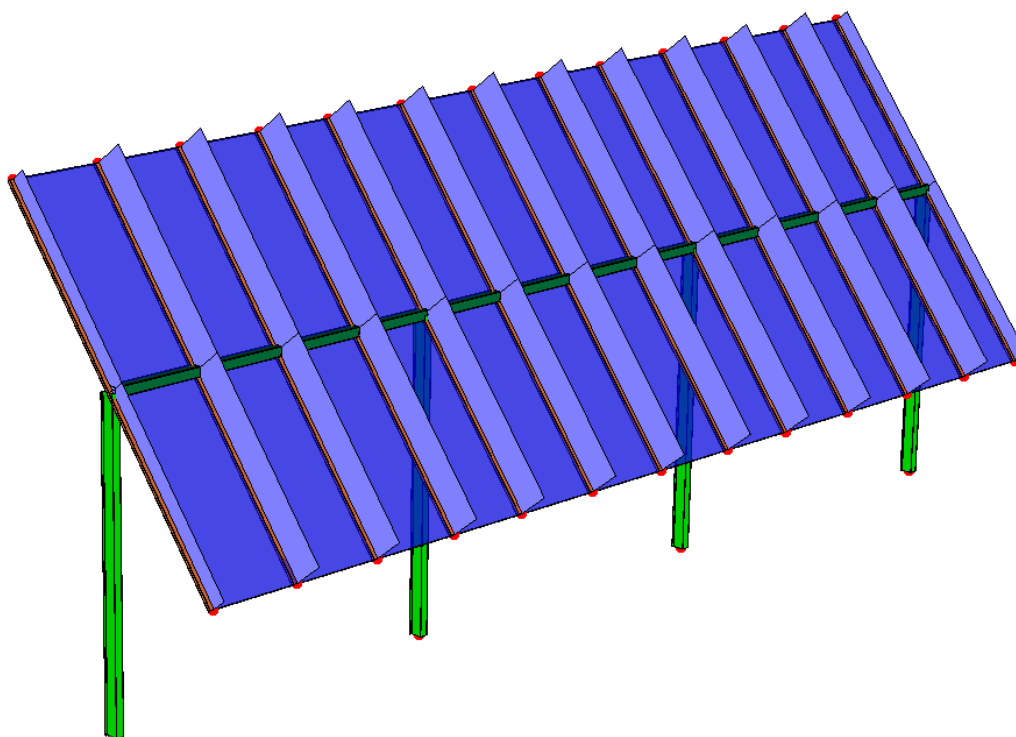
$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3)$$

Pressione cinetica di riferimento q_b 393.34 [N/m²]

I VALORI DELL'AZIONE DEL VENTO

PRESSIONE DEL VENTO			
- Velocità base di riferimento quota 0		27	[m/s]
- a_0		500	[m]
- k_s		0.37	[1/s]
- c_a		1.00	
- Velocità base di riferimento v_b		27	[m/s]
- Periodo di ritorno		50	[anni]
- Coefficiente di ritorno		1.00	
- Velocità di riferimento V_r		27.02	
- Pressione cinetica di riferimento q_r		0.456	kN/mq
- Altezza dal suolo z		5	[m]
- K_r		0.20	
- z_0		0.1	[m]
- z_{min}		5.00	[m]
- coefficiente di esposizione c_e		1.71	
- coefficiente topografico c_t		1.00	
- coefficiente dinamico c_d		1.00	
- Pressione del vento p , a meno del c_p		0.778	[kN/mq]
- coefficienti di pressione c_p			
	c_p	p	
- tettoia ad 1 spiovente			
- inclinazione falda		0	[°]
- falda sopravvento	1.20	0.93	[kN/mq]

- tettoia 2 spioventi con displuvio			
- inclinazione falda		30	[°]
- PRESSIONE SU falda sopravvento	1.20	0.933	[kN/mq]
- PRESSIONE SU falda sottovento	-0.60	-0.467	[kN/mq]
- Azione tangente del vento			
- tipo di superficie		liscia	
- coefficiente di attrito cf		0.01	
- Pressione tangente		0.013	[kN/mq]



Azione del vento sulle vele fotovoltaiche

NORMATIVA: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018 ITALIA

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
1	Carichi totali	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio Variabile: Vento	Condizione peso proprio Condizione 1	1.300 1.500

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO

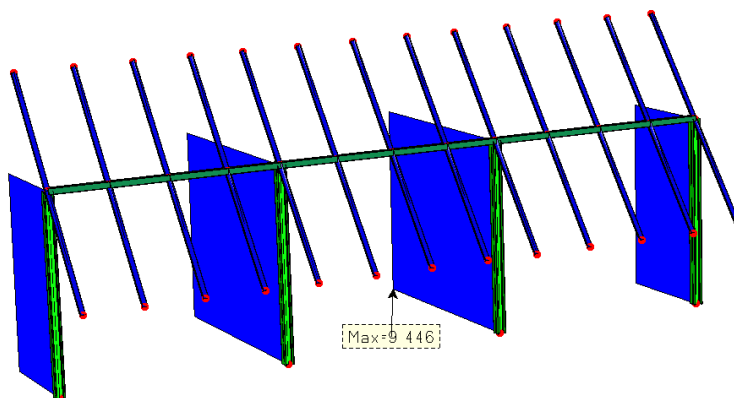
Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
2	Rara	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio Variabile: Vento	Condizione peso proprio Condizione 1	1.000 1.000
3	Frequente	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio Variabile: Vento	Condizione peso proprio Condizione 1	1.000 0.200

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore						
4	Quasi permanente	Tipologia: Quasi permanente	<table border="1"> <tr> <td>Permanente: Peso Proprio</td> <td>Condizione peso proprio</td> <td>1.000</td> </tr> <tr> <td>Variabile: Vento</td> <td>Condizione 1</td> <td>0.000</td> </tr> </table>	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000	Variabile: Vento	Condizione 1	0.000		
Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000									
Variabile: Vento	Condizione 1	0.000									

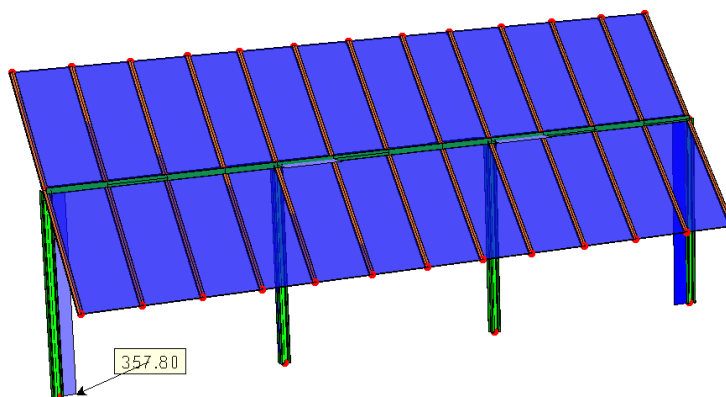
3.1.d Analisi dei risultati

Di seguito si riportano le sollecitazioni agenti sulla struttura in esame

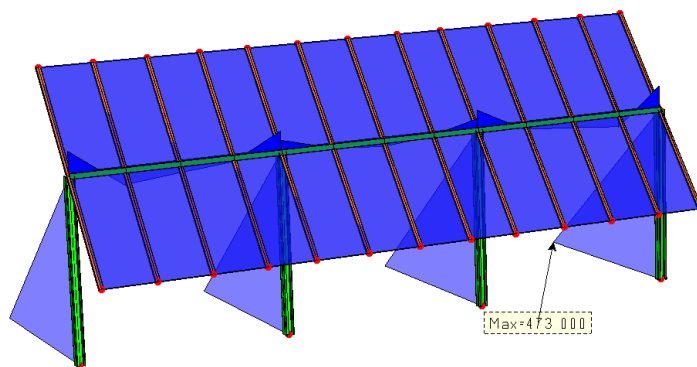
SFORZO NORMALE (FORZA DI UPLIFT) [kg]



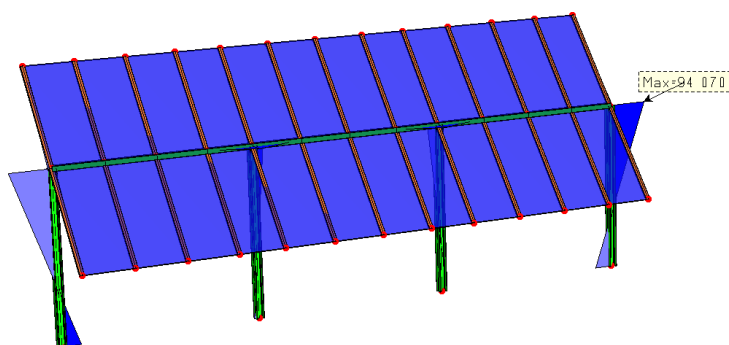
SFORZO TAGLIO [kg]



MOMENTO My [kg*cm]



MOMENTO Mx [kg*cm]

**3.1.e Verifica dei risultati ottenuti dalla modellazione**

La verifica ha riguardato la pressoflessione degli elementi verticali, la flessione della trave orizzontale e lo sfilamento degli elementi verticali.

PRESSOFLESSIONE DEGLI ELEMENTI VERTICALI

Gli elementi verticali sono sottoposti ad un momento flettente pari a:

$$M_{\max} = 47.30 \text{ kN*m}$$

Mentre il valore del momento di snervamento della sezione con un tipo di acciaio (già precedentemente menzionato) S355 è pari a:

$$M_{\text{snerv}} = 77.28 \text{ kN*m}$$

il rapporto tra i due momenti fornisce l'indice di resistenza della sezione che nel caso in esame è pari a 1.63, valore considerato accettabile in fase di dimensionamento preliminare.

FLESSIONE DEGLI ELEMENTI ORIZZONTALI

Per quel che concerne la verifica della flessione degli elementi orizzontali, la procedura risulta essere la medesima degli elementi verticali. Si ottiene quindi un valore del momento massimo agente pari a:

$$M_{\max} = 9.40 \text{ kN*m}$$

Mentre il valore del momento di snervamento della sezione è pari a:

$$M_{\text{snerv}} = 44.32 \text{ kN*m}$$

il rapporto tra i due momenti fornisce l'indice di resistenza della sezione che nel caso in esame è pari a 4.71, valore considerato accettabile in fase di dimensionamento preliminare.

SFILAMENTO DEGLI ELEMENTI VERTICALI

L'azione massima agente (uplift) sugli elementi verticali della struttura è pari a:

$$N_{\max} = 9.44 \text{ kN}$$

Per questi elementi vale la formula della portanza laterale di un palo battuto che restituisce, alla tensione calcolata, un valore di altezza di infissione delle strutture tra 2,10m e 2,50m, valore ritenuto anch'esso accettabile. **Tuttavia in merito a tale questione si ritiene che geotecnicamente lo strato di terreno da 0 a 2m non sia modellabile con assoluta certezza**, e che la formula sopraindicata ha valore per pali di fondazione che generalmente hanno una profondità maggiore di 10m, la proponente, quindi, di concerto con la direzione lavori effettuerà degli opportuni extraction test atti a determinare la reale forza di adesione terreno-palo a seconda delle diverse condizioni geologiche dell'area di impianto. La campagna di extraction test in particolari punti dell'area di impianto determinerà con certezza la lunghezza di infissione degli elementi verticali. **Di seguito si riportano alcuni esempi di prove realizzate su cantieri di parchi fotovoltaici diretti dalla scrivente GVC srl secondo un metodo condiviso dal Prof. Ing. Carlo Viggiani direttamente consultato a tal proposito.**

3.2 Cabine di campo Fotovoltaico

L'intero impianto fotovoltaico sarà suddiviso in 3 campi ognuno dei quali farà capo ad una cabina di campo BT/MT (POWER_STATION) all'interno delle quali troveranno alloggio:

- Inverter;
- Quadri di parallelo inverter;
- Quadri di linea in BT;
- Quadri in MT di protezione trafo e arrivo/partenza linea MT;
- Trasformatore BT/MT 600V/30kV di taglia variabile da 2.500KVA a 5500 KVA;
- Trasformatore BT/BT 600V/400V per servizi ausiliari;
- Quadri servizi ausiliari.

Le POWER-STATION sono costituite da elementi prefabbricati tipo container in shelter metallici, ideati per installazioni in esterno, appositamente progettati ed assemblati per una massima durabilità e affidabilità nel tempo. Le pareti e il tetto del container sono isolati al fine di garantire una perfetta impermeabilità all'acqua e un corretto isolamento termico.

Le fondazioni saranno realizzate mediante platea in c.a. in opera.

Le POWER-STATION previste in progetto sono di due grandezze:

- POWER-STATION CAMPO 1: di dimensioni pari a 12,20 m x 2,46 m ed altezza pari a 2,91m;
- POWER-STATION CAMPI 2-3: dimensioni pari a 6,06 m x 2,46 m ed altezza pari a 2,91m.



POWER-STATION A DOPPIO INVERTER (CAMPO 1)

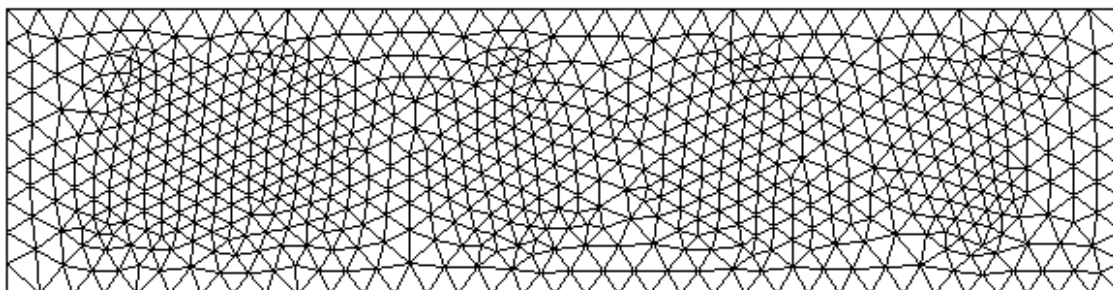


POWER-STATION A SINGOLO INVERTER (CAMPI 2-3)
3.2.a La modellazione della struttura

Le fondazioni delle power station saranno di tipo superficiale a Platea in c.a. dello spessore di 50cm. il piano di posa sarà a – 1.10m.

E' stata impiegata un'analisi dinaminca in campo lineare conforme alle NTC 2018. Agli effetti del dimensionamento è stato quindi impiegato il metodo degli stati limite. Si ritiene che il modello utilizzato sia rappresentativo del comportamento reale della struttura; La procedura di calcolo adoperata, basata sul software **API++** per il calcolo dello stato tensio/deformativo della struttura, si articola nel modo seguente:

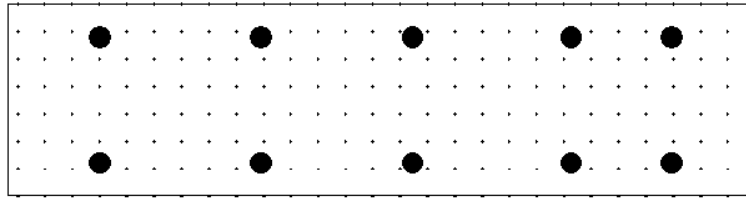
- inserimento dei nodi della fondazione in ambiente API ++
- inserimento dei carichi, dello spessore e della costante di winkler
- analisi dei risultati



Modello wireframe della fondazione

3.2.b I carichi di progetto

I carichi (24 tonnellate peso totale) della struttura disposta al di sopra della fondazione da realizzare sono stati inseriti all'interno del modello attraverso la definizione di forze concentrate come di seguito indicato



Carichi concentrati

Modifica carichi

N°	Oggetto	p [m]	Fz [kg]	Mx [kgm]	My [kgm]	Fx [kg]	Fy [kg]
1	Piastra	0.60 ; 1.53	2000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Piastra	0.60 ; 3.37	2000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Piastra	0.60 ; 6.27	2000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Piastra	0.60 ; 9.05	2000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Piastra	0.60 ; 12.00	2000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Piastra	2.90 ; 12.00	2000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Piastra	2.90 ; 9.05	2000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Piastra	2.90 ; 6.27	2000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Piastra	2.90 ; 3.37	2000.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Piastra	2.90 ; 1.53	2000.00	0.00	0.00	0.00	0.00

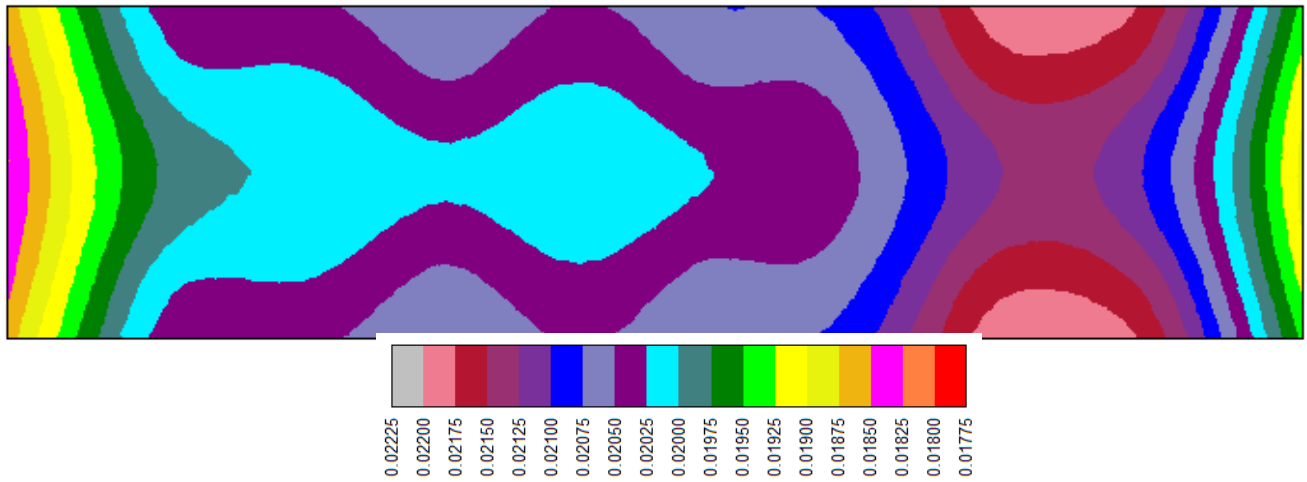
Convenzioni carichi

Aggiungi Modifica Elimina Help Dettagli >> << Condizione 1 >>

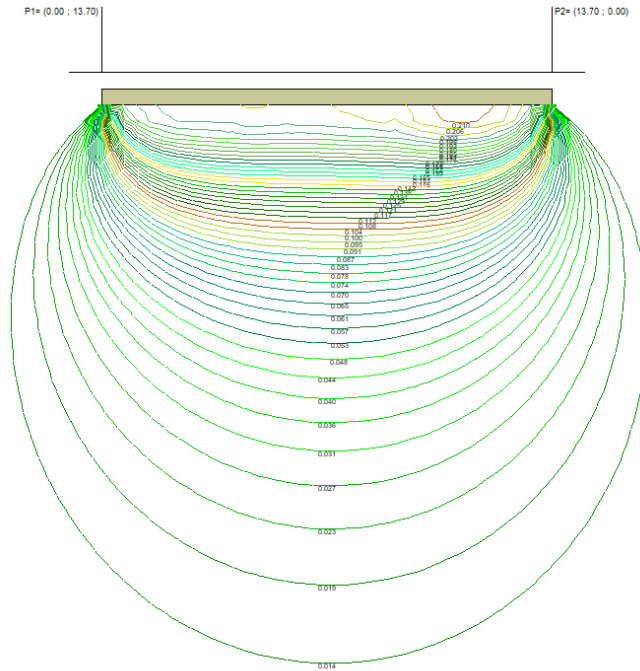
3.2.a Analisi dei risultati

Di seguito si illustrano i risultati ottenuti per la fondazione in esame.

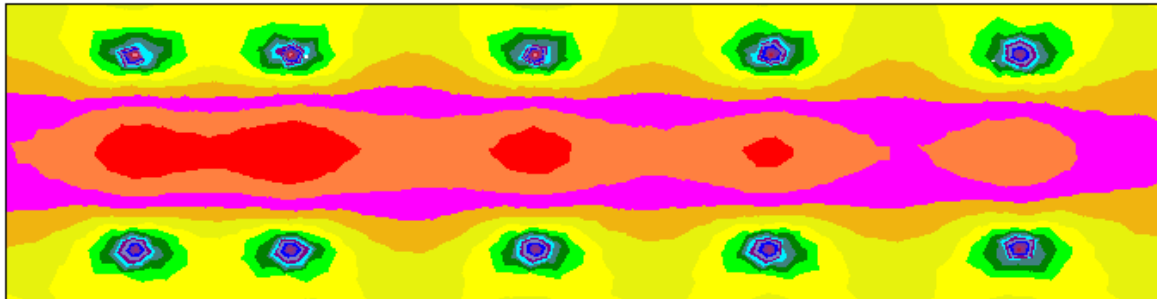
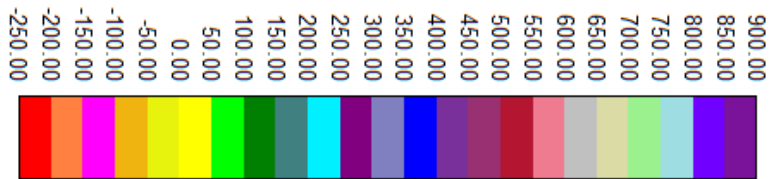
- Abbassamento "w" [cm]



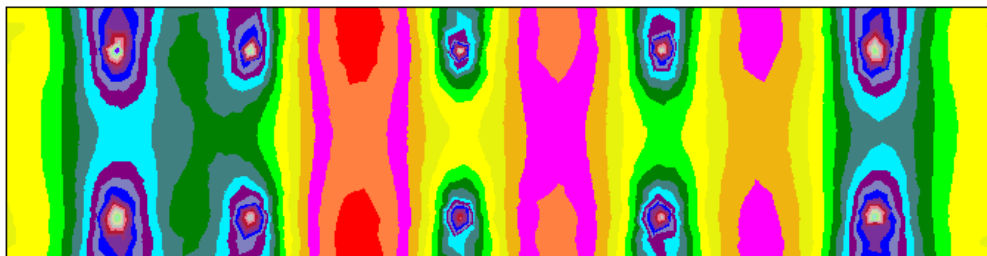
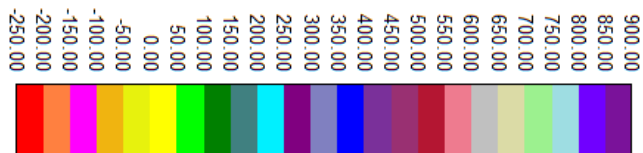
- Bulbo delle pressioni



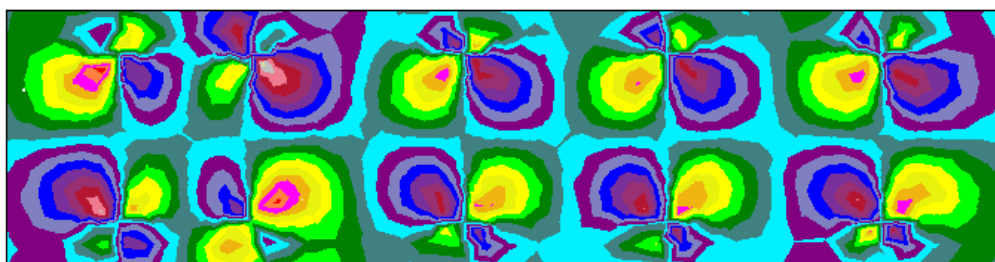
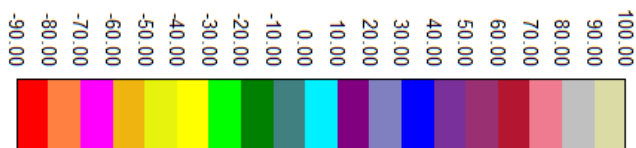
- Momento Mx [kg*m]



- Momento My [kg*m]



- Momento Mxy [kg*m]

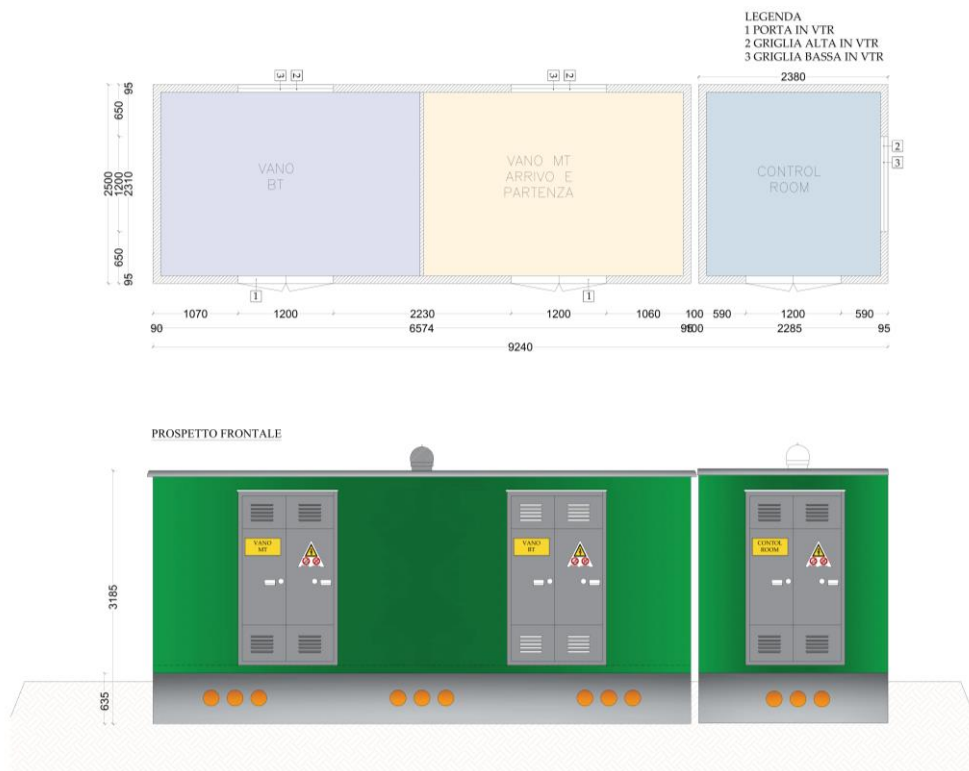


La sezione della platea risulta verificata poichè il quantitativo di armatura richiesto è di gran lunga inferiore a quanto necessario.

3.3 Cabine di distribuzione MT e Control Room

Oltre alle POWER-STATION saranno realizzate 2 cabine di distribuzione MT, una per zona di impianto, all'interno della quale arriveranno le linee MT provenienti dalle POWER-STATION e dalla quale partirà la linea di connessione con la sottostazione. Sarà inoltre prevista una "control Room" necessaria per il controllo dei servizi di campo. La cabina di distribuzione MT e la Control Room avranno una lunghezza massima di 9.24m e una larghezza di 2.5m, saranno realizzate in c.a.v. prefabbricato e si compongono di 2 elementi monolitici ovvero la vasca, che svolge la doppia funzione di fondazione e di alloggio dei cavi, e la cabina vera e propria di alloggio delle apparecchiature elettromeccaniche. L'altezza delle

suddette cabine è pari a 2.57m per la control room e 2.55m per quella di ricezione/partenza.



Gli elementi della cabina, prefabbricati in stabilimento, saranno trasportati in cantiere ed eventualmente montati contemporaneamente alla fase di scarico.

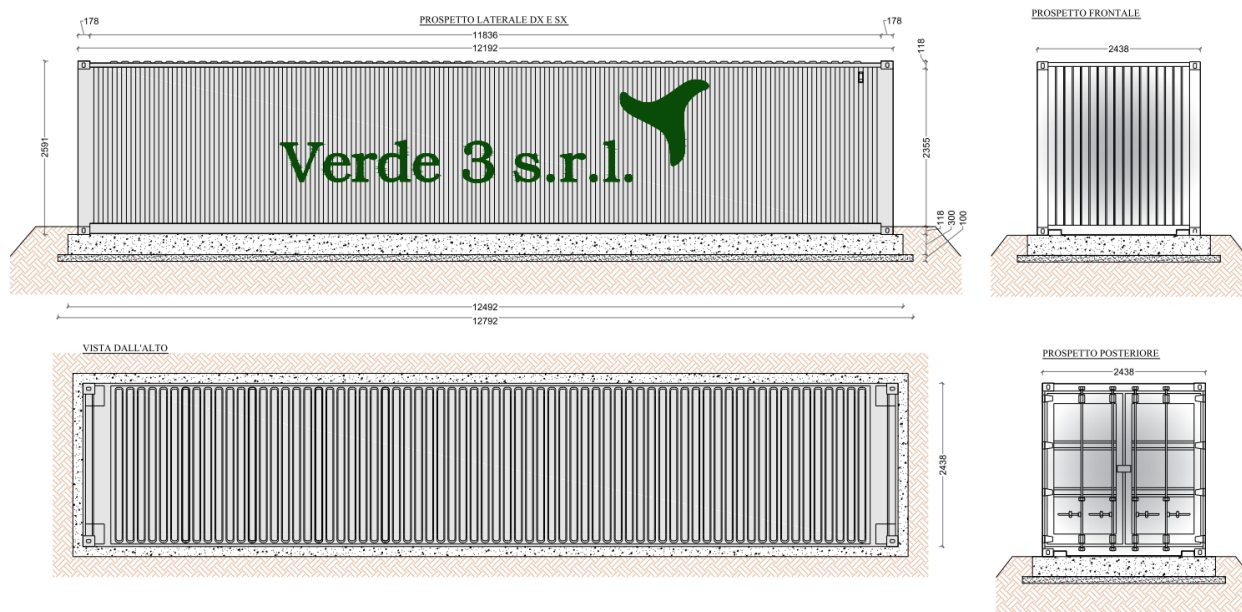
Prima della posa della cabina sarà predisposto il piano di posa con un fondo di pulizia e livellamento in magrone di cls oppure con una massicciata di misto di cava.

Le cabine saranno dotate di porte in VTR, aperture grigliate sempre VTR nonché una maglia di terra in corda di rame nudo.



3.4 Cabine di deposito

Per una migliore organizzazione logistica, sarà inoltre prevista l'installazione di un container deposito della lunghezza di 12.192m (misura standard 40 piedi) e larghezza 2.438m, come di seguito illustrato, realizzato con shelter metallico su fondazione a platea, da realizzare in opera in c.a.



3.5 Edificio Utente in SSE

All'interno della sottostazione condivisa con altri produttori sarà realizzato, ognuno per quanto di competenza, un edificio utente suddiviso in 6 cabine utente, uno per produttore. Ogni cabina utente sarà suddivisa in 3 locali: locale MT, locale QUADRI, locale gruppo elettrogeno. L'accesso alla SSE è garantito attraverso la realizzazione di una strada brecciata che collega il suo ingresso con la viabilità esistente.

3.6 Recinzione sottostazione AT/MT

La sottostazione elettrica è costituita fondamentalmente da:

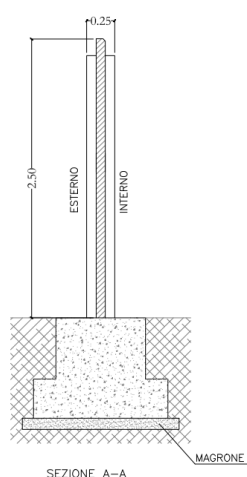
- Edificio Utente;
- Opere elettromeccaniche per il collegamento elettrico alla stazione AT di Terna;

- Cavidotti interrati;
- Impianti tecnologici.

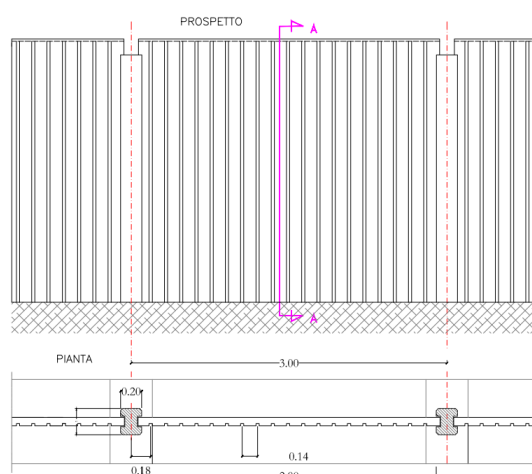
Le fondazioni delle varie apparecchiature saranno realizzate in conglomerato cementizio armato.

La recinzione perimetrale dell'intera sottostazione sarà realizzata in c.a. e gli ingressi saranno dotati sia di un cancello carrabile.

**RECINZIONE TIPO
SOTTOSTAZIONE**
scala 1:50



**CANCELLO TIPO
SOTTOSTAZIONE**
scala 1:50



Le aree interessate dalle apparecchiature elettriche saranno sistemate con finitura a ghiaietto, mentre le strade e piazzali di servizio destinati alla circolazione interna, saranno pavimentate con binder e tappetino di usura in conglomerato bituminoso e delimitate da cordoli in calcestruzzo prefabbricato.



Manuale di validazione

solutore LiFE

Sommario

Piastra rombica	3
Cilindro sottile	7
Piastra caricata su porzione centrale	9
Piastra appoggiata su tre lati	11
Toroide	12
Piastra rettangolare incastrata	14
Piastra rettangolare incastrata e appoggiata	16
Contenitore conico	18
Piastra soggetta a gradiente termico	20
Settore circolare semplicemente appoggiato	21
Piastra circolare incastrata	23
Piastra incastrata	24
Trave rastremata caricata lateralmente	25
Cilindro schiacciato	27
Trave soggetta a momento flettente	28
Piastra rastremata	29
Piastra anulare	30
Volta a botte	31
Membrana di cook	32
Trave incastrata	35
Tubo infinitamente spesso	37
Asta a sezione variabile	40
Trave appoggiata : valutazione frequenze	42
Fascio di travi: valutazione delle frequenze	44
Vibrazione di un cuneo	46
Sistema di aste reticolari	47
Piastra forata isotropa: concentrazione dello stress	48
Guscio emisferico forato	50
Trave incastrata: valutazione frequenze	52

Introduzione

- Gli esempi di validazione riportati in questo documento sono esempi classici comunemente utilizzati a questo fine, tratti dalla letteratura scientifica o da Enti impegnati in questo settore. Di ogni esempio è riportato il riferimento bibliografico; sono esposti in forma di scheda per renderne più semplice e chiara la descrizione del modello e dei risultati; i confronti sono stati eseguiti rispetto al risultato teorico, quello prodotto dal precedente solutore (di matrice Sap) impiegato da MasterSap fino alla versione 11; inoltre per alcuni casi è stato eseguito un confronto con un solutore ad elementi finiti di grande diffusione (Sap 2000 v. 8.24) ed in uno caso con Supersap Algor.
- Segnaliamo che numerosi test sono stati ricavati da testi anglosassoni, che pertanto utilizzano unità di misura diverse dal sistema internazionale. In alcuni casi le soluzioni ottenute dall'elaborazione finale sono perciò lievemente affetti anche dall'approssimazione derivante dai fattori di conversione utilizzati.
- Tutti gli esempi sono disponibili nella cartella Manuali del CD. L'utente può quindi riprodurli liberamente.

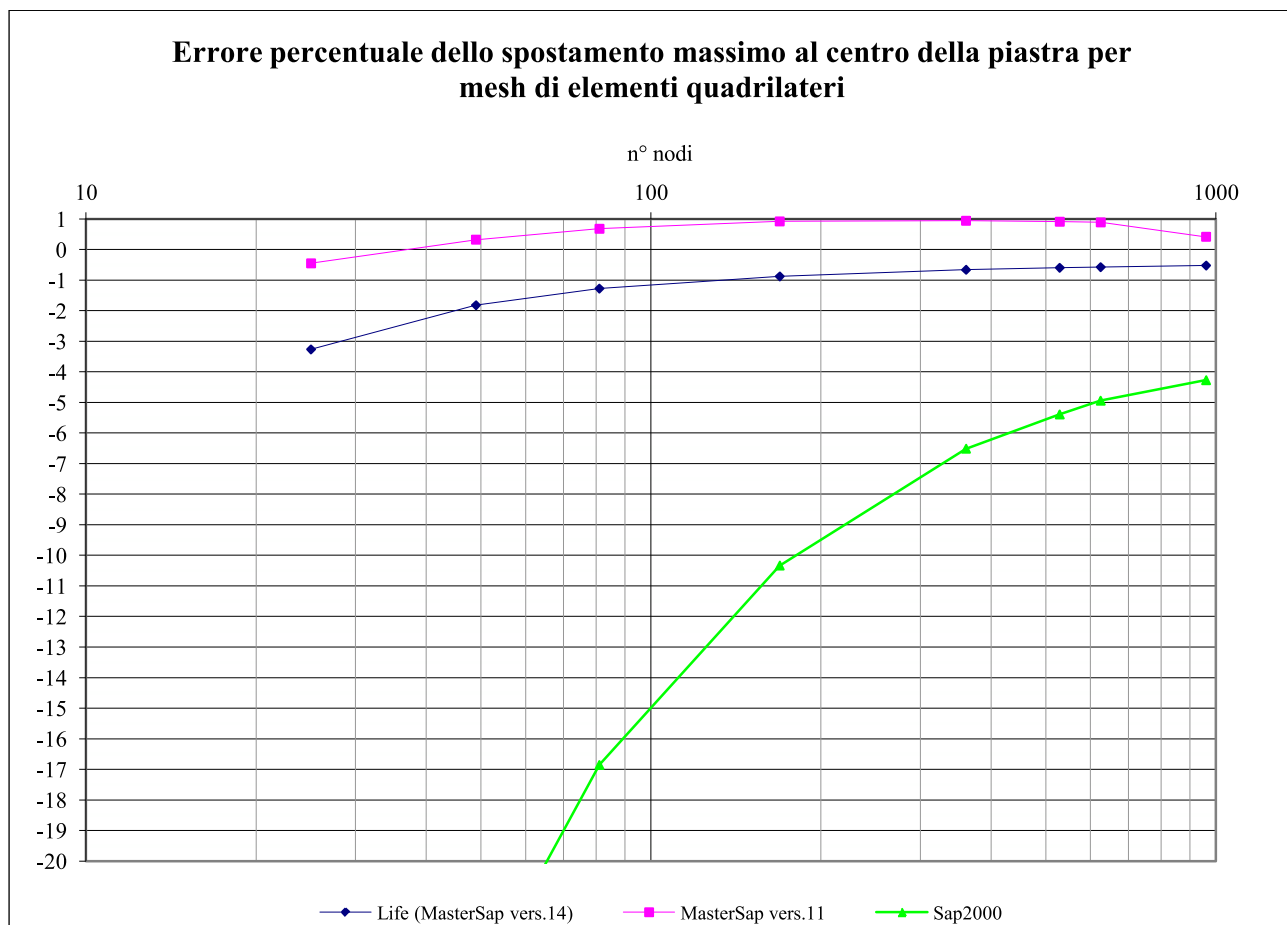
1	PIASTRA ROMBICA	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra

Descrizione	Piastra di forma rombica semplicemente appoggiata lungo i lati e caricata uniformemente ortogonalmente al proprio piano	
Geometria	Lunghezza lato $l = 1$ spessore $t = 1$ angolo acuto $\theta = 30^\circ$ mesh da 6x6 fino a 32x32 elementi di forma quadrilatera e triangolare	
Vincoli	semplicemente appoggiato lungo i lati	
Carichi	Pressione uniformemente distribuita perpendicolarmente alla superficie della piastra	$p = -1$ (in direzione $-z$)
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 1$ $\nu = 0.3$
Risultati teorici¹	Spostamento verticale massimo al centro della piastra Momenti al centro della piastra lungo gli assi principali della stessa	$\Delta Z = 0.00445$ $\begin{cases} M_{\max} = 0.01906 \\ M_{\min} = 0.01080 \end{cases}$

¹ L.S.D. Morley "Bending of a simply supported rhombic plate under uniform normal loading" Quarterly Journal Of Mechanics and Applied Mathematics, Vol. XV, 1962.

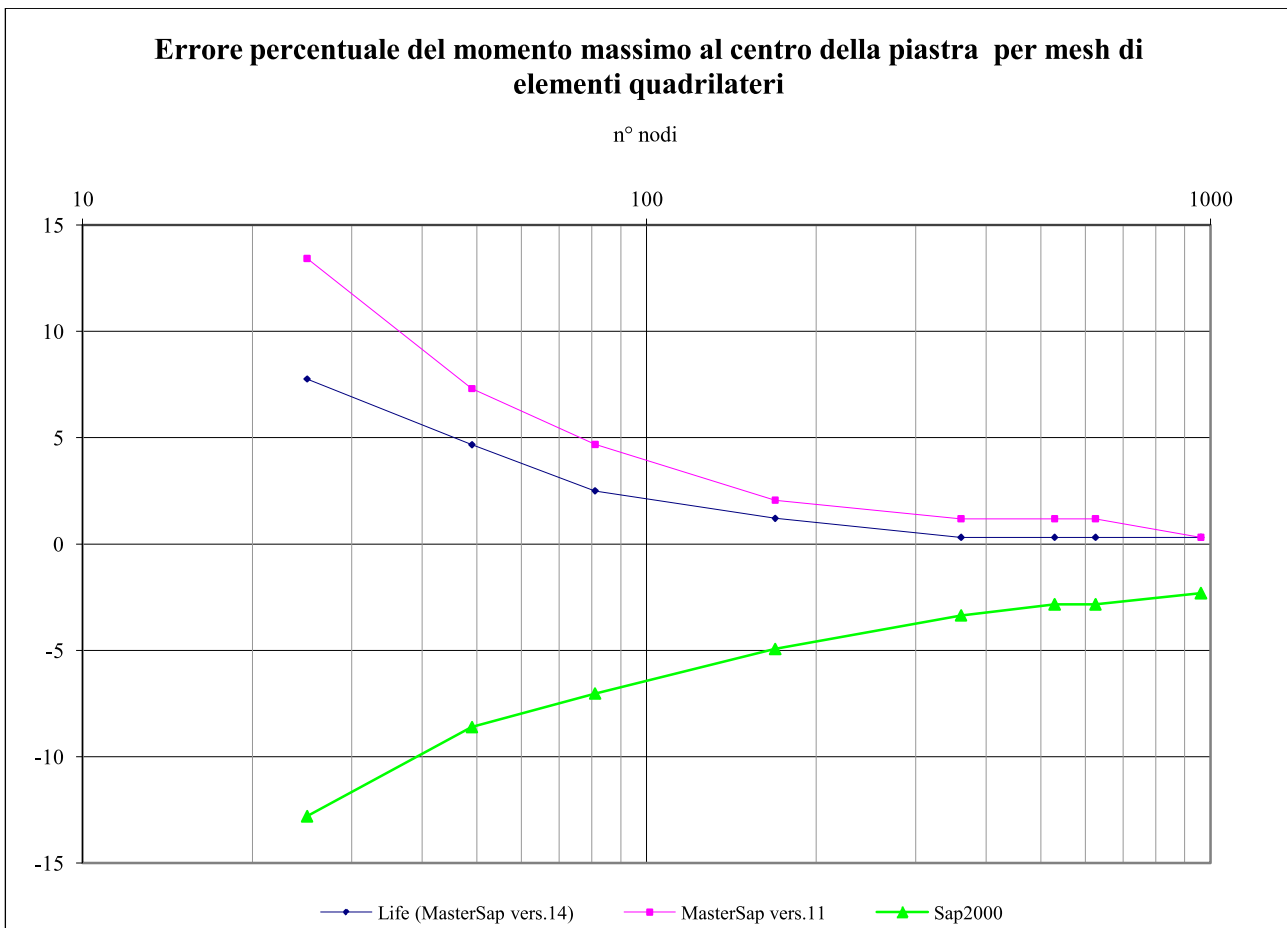
J. Robinson, "An evaluation of skew sensitivity of thirty three plate bendings elements in nineteen FEM systems" Nuclear engineering and design, n° 90, pagg. 67-85, 1985.

Valutazione spostamento elementi quadrilateri						
mesh	LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %	Sap2000	Errore %
6x6	$\Delta Z = 0.00459$	-3.15	$\Delta Z = 0.00447$	-0.45	$\Delta Z = 0.00624$	-40.22
8x8	$\Delta Z = 0.00453$	-1.79	$\Delta Z = 0.00444$	0.32	$\Delta Z = 0.00553$	-24.27
10x10	$\Delta Z = 0.00451$	-1.35	$\Delta Z = 0.00442$	0.68	$\Delta Z = 0.00520$	-16.85
14x14	$\Delta Z = 0.00449$	-0.90	$\Delta Z = 0.00441$	0.92	$\Delta Z = 0.00491$	-10.34
20x20	$\Delta Z = 0.00448$	-0.66	$\Delta Z = 0.00441$	0.94	$\Delta Z = 0.00474$	-6.52
24x24	$\Delta Z = 0.00448$	-0.66	$\Delta Z = 0.00441$	0.90	$\Delta Z = 0.00469$	-5.39
26x26	$\Delta Z = 0.00448$	-0.66	$\Delta Z = 0.00441$	0.89	$\Delta Z = 0.00467$	-4.94
32x32	$\Delta Z = 0.00447$	-0.45	$\Delta Z = 0.00443$	0.41	$\Delta Z = 0.00464$	-4.27

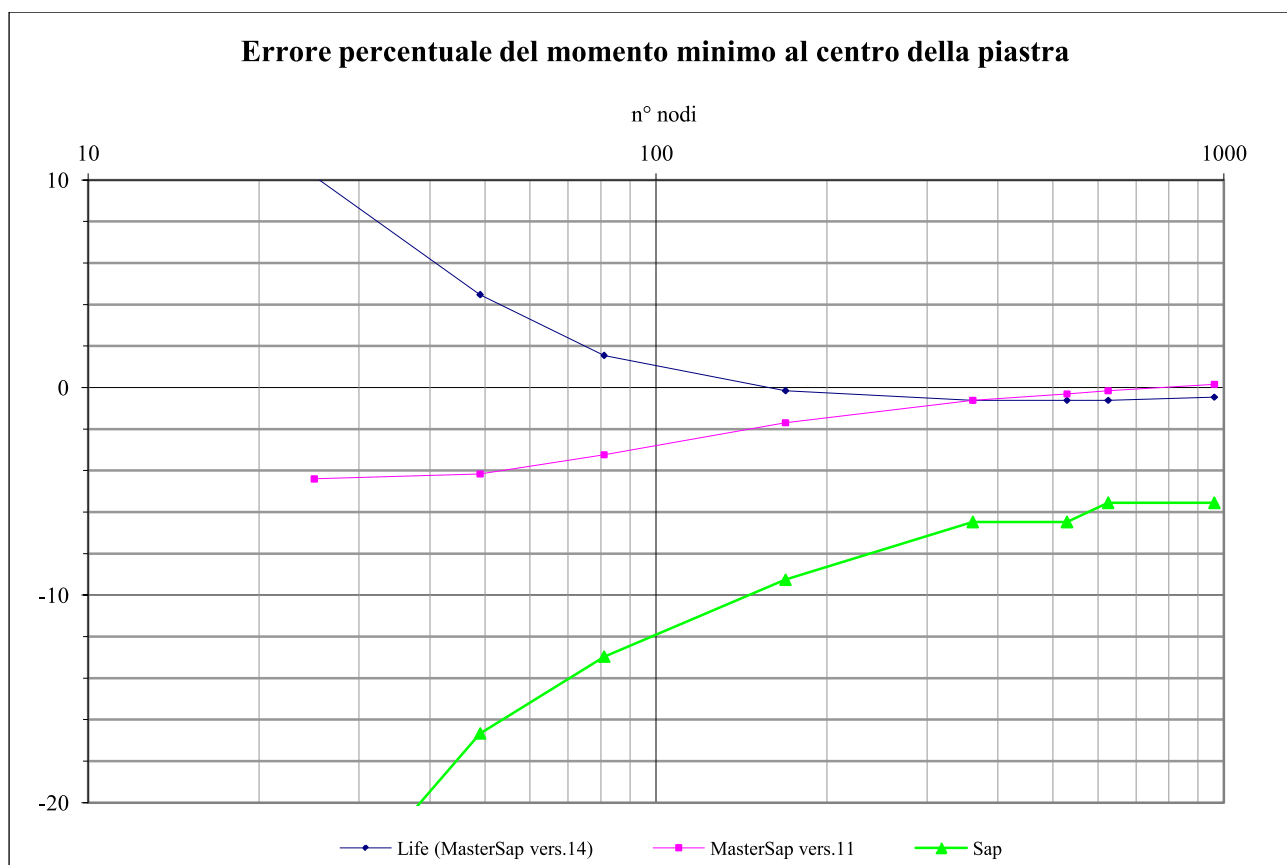


Valutazione M_{max} al centro della piastra

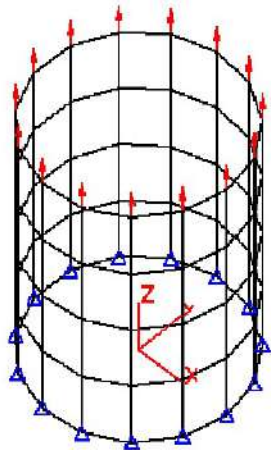
mesh	LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %	Sap2000	Errore %
6x6	$M_{\max} = 0.01758$	7.76	$M_{\max} = 0.01650$	13.43	$M_{\max} = 0.02150$	-12.80
8x8	$M_{\max} = 0.01817$	4.67	$M_{\max} = 0.01766$	7.31	$M_{\max} = 0.02080$	-9.13
10x10	$M_{\max} = 0.01858$	2.52	$M_{\max} = 0.01817$	4.69	$M_{\max} = 0.02040$	-7.03
14x14	$M_{\max} = 0.01883$	1.21	$M_{\max} = 0.01870$	2.06	$M_{\max} = 0.02000$	-4.93
20x20	$M_{\max} = 0.01900$	0.31	$M_{\max} = 0.01883$	1.19	$M_{\max} = 0.01970$	-3.36
24x24	$M_{\max} = 0.01900$	0.31	$M_{\max} = 0.01883$	1.19	$M_{\max} = 0.01960$	-2.83
26x26	$M_{\max} = 0.01900$	0.31	$M_{\max} = 0.01883$	1.19	$M_{\max} = 0.01960$	-2.83
32x32	$M_{\max} = 0.01900$	0.31	$M_{\max} = 0.01900$	0.31	$M_{\max} = 0.01950$	-2.31



Valutazione M_{min} al centro della piastra						
mesh	LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %	Sap2000	Errore %
6x6	$M_{min}=0.00970$	10.18	$M_{min}= 0.01123$	-4.01	$M_{min}= 0.01360$	-25.93
8x8	$M_{min}=0.01032$	4.47	$M_{min}= 0.01125$	-4.17	$M_{min}= 0.01260$	-16.67
10x10	$M_{min}=0.01063$	1.54	$M_{min}= 0.01115$	-3.24	$M_{min}= 0.01220$	-12.96
14x14	$M_{min}=0.01082$	-0.15	$M_{min}= 0.01098$	-1.69	$M_{min}= 0.01180$	-9.26
20x20	$M_{min}=0.01087$	-0.62	$M_{min}= 0.01087$	-0.62	$M_{min}= 0.01150$	-6.48
24x24	$M_{min}=0.01087$	-0.62	$M_{min}= 0.01083$	-0.31	$M_{min}= 0.01150$	-6.48
26x26	$M_{min}=0.01087$	-0.62	$M_{min}= 0.01082$	-0.15	$M_{min}= 0.01140$	-5.56
32x32	$M_{min}=0.01085$	-0.46	$M_{min}= 0.01078$	0.15	$M_{min}= 0.01140$	-5.56



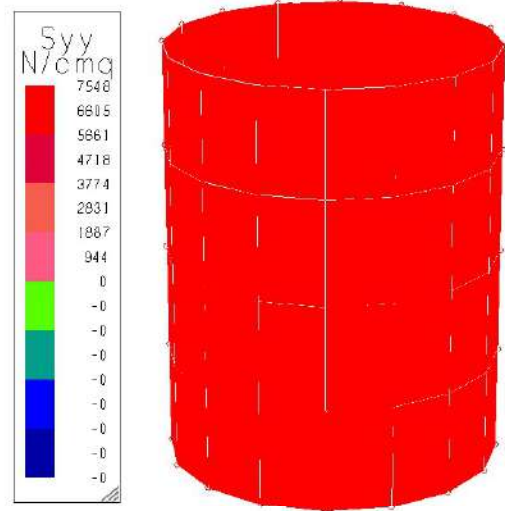
2	CILINDRO SOTTILE	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra assialsimmetrici

Descrizione	Cilindro sottile semplicemente appoggiato alla base e soggetto ad un'azione uniformemente distribuita di trazione in sommità, modellata con forze concentrate ai nodi.		
Geometria	altezza $h = 0.5 \text{ m}$ spessore $t = 4 \text{ mm}$ raggio medio $r = 0.20 \text{ m}$ mesh 64 elementi		
Vincoli	Appoggi lungo la base		
Carichi	Carico uniformemente distribuito (modellato con 16 carichi concentrati ai nodi)	$p = 3 \times 10^5 \text{ N/m}$ $P = 23561.95 \text{ N}$	$\left[305.8 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}} \right]$ $[2402 \text{ Kg}]$
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 2.0601 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ $\nu = 0.3$	
Risultati teorici²	Sforzo assiale massimo Spostamento massimo	$\sigma_1 = \frac{p}{t} = 7.5 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ $\Delta Z = \frac{pZ}{Et} = 0.01820 \text{ cm}$	$\left[764.5 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right]$

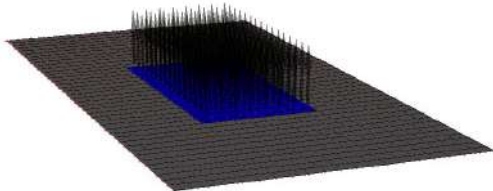
² W.C. Young, R.G. Budynas "Roark's formulas for stress and strain" (settima edizione), New York: McGraw-Hill, 2002, pag. 592 tabella 13.1 caso 1a

Valutazione spostamento elementi				
Tipo	LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
Elementi guscio	$\Delta Z = 0.01820 \text{ cm}$	0.00	$\Delta Z = 0.01832 \text{ cm}$	-0.66
Elementi assialsimmetrici	$\Delta Z = 0.01795 \text{ cm}$	1.37	$\Delta Z = 0.01756 \text{ cm}$	3.52

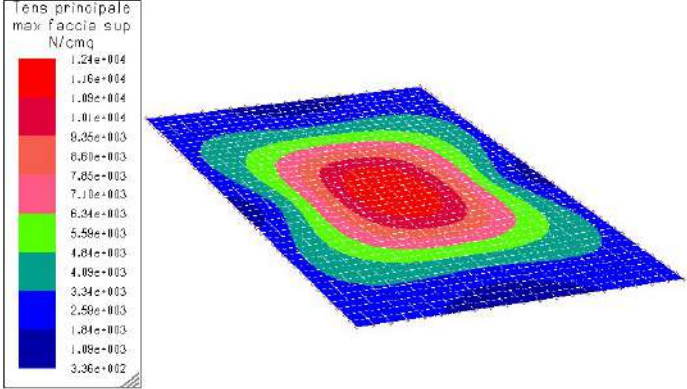
Valutazione sforzo				
Tipo	LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
Elementi guscio	$\sigma_1 = 7.548 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	-0.64	$\sigma_1 = 7.548 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	0.64
Elementi assialsimmetrici	$\sigma_1 = 7.5012 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	-0.02	$\sigma_1 = 7.394 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	1.42



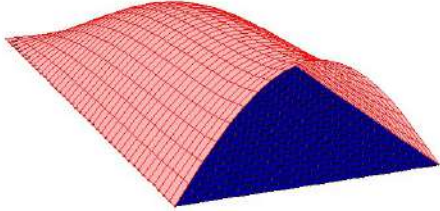
3	PIASTRA CARICATA SU PORZIONE CENTRALE	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra

Descrizione	Piastra rettangolare soggetta a pressione uniforme solo su di una zona centrale sempre di forma rettangolare e semplicemente appoggiata lungo i lati.		
Geometria	lunghezza A = 0.50 m larghezza B = 0.25 m lunghezza zona centrale a = 0.20 m larghezza zona centrale b = 0.10 m spessore t = 0.01 m mesh 40x20		
Vincoli	Appoggi lungo tutti i lati di bordo		
Carichi	Carico uniformemente distribuito nella zona centrale	$p = 7 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$\left[7.14 \text{ Kg/cm}^2 \right]$
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 2.0601 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ $\nu = 0.3$	
Risultati teorici³	Sforzo assiale massimo	$\sigma_{\max} = \frac{\beta W}{t^2} = 1.232 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2 \left[1255.86 \text{ Kg/cm}^2 \right]$ $W = a \cdot b \cdot p = 14000 \text{ N}$ $\beta = 0.88 \quad (\text{per } A=2B \quad a/B=0.8 \quad b/B=0.4)$	

³W.C. Young, R.G. Budynas "Roark's formulas for stress and strain" (settima edizione), New York: McGraw-Hill, 2002, pag. 503 tabella 11.4 caso 1c

<p>Valutazione sforzo</p>			
LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
$\sigma_1 = 1.235 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	0.26	$\sigma_1 = 1.225 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	0.55

4	PIASTRA APPOGGIATA SU TRE LATI	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra

Descrizione	Piastra rettangolare soggetta ad un carico uniforme ortogonalmente al proprio piano ed appoggiata lungo entrambi i lati maggiori e solo uno di quelli minori.		
Geometria	lunghezza A = 0.30 m larghezza B = 0.15 m spessore t = 0.75 cm mesh 40x20		
Vincoli	Appoggi lungo i lati maggiori ed uno minore		
Carichi	Carico uniformemente distribuito su tutta la piastra	$p = 3.5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ $[3.57 \text{ Kg/cm}^2]$	
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 2.0601 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ $\nu = 0.3$	
Risultati teorici⁴	Sforzo assiale massimo (al centro della piastra sul lato libero) Deflessione massima	$\sigma_{\max} = \frac{\beta p B^2}{t^2} = 1.106 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ $[1127.42 \text{ Kg/cm}^2]$ $\Delta Z_{\max} = \frac{\alpha p B^4}{E t^3} = 3.364 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ $[3.3639 \times 10^{-2} \text{ cm}]$ con $\alpha = 0.165$ $\beta = 0.79$	

Valutazione sforzo e spostamento					
LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %	Sap2000	Errore %
$\sigma_1 = 1.0956 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	0.94	$\sigma_1 = 1.067 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	3.52	$\sigma_1 = 1.1364 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	-2.75
$\Delta Z_{\max} = 3.353 \times 10^{-2} \text{ cm}$	0.32	$\Delta Z_{\max} = 3.3198 \times 10^{-2} \text{ cm}$	1.31	$\Delta Z_{\max} = 3.381 \times 10^{-2} \text{ cm}$	-0.50

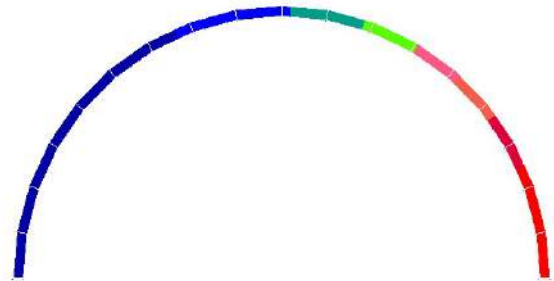
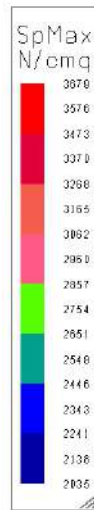
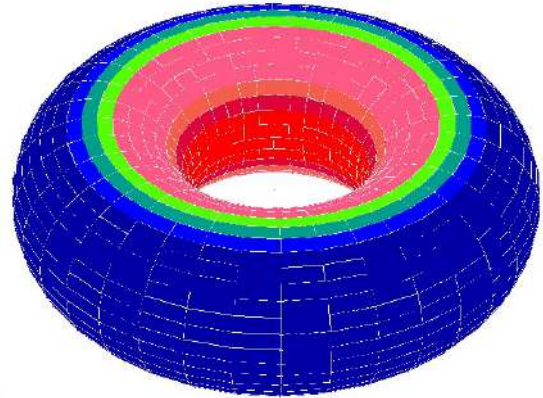
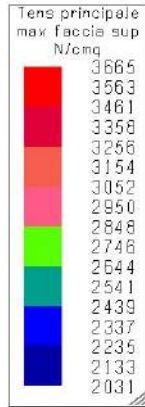
⁴W.C. Young, R.G. Budynas "Roark's formulas for stress and strain" (settima edizione), New York: McGraw-Hill, 2002, pag. 505 tabella 11.4 caso 2a

5	TOROIDE	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra assialsimmetrici

Descrizione	Toroide soggetto ad una pressione interna uniforme		
Geometria	raggio toroide $A = 0.30 \text{ m}$ raggio interno $B = 0.15 \text{ m}$ spessore $t = 0.6 \text{ cm}$ mesh 50x25		
Vincoli	uZ bloccato 4 nodi nel piano X-Y disposti simmetricamente (rendere stabile il sistema)		
Carichi	Pressione uniformemente distribuito su tutta la superficie del toroide	$p = 1 \times 10^6 \text{ N/m}^2$	$[10.19 \text{ Kg/cm}^2]$
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 2.0601 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ $\nu = 0.3$	
Risultati teorici⁵	Sforzo assiale massimo nel punto O	$\sigma_{\max} = \frac{pB}{2t} \cdot \frac{(2A - B)}{(A - B)} = 3.75 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$	$[382.3 \text{ Kg/cm}^2]$

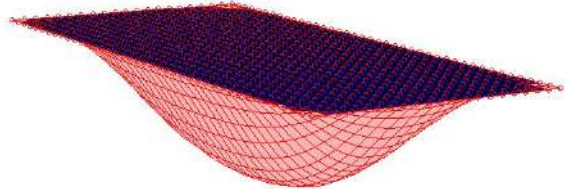
⁵W.C. Young, R.G. Budynas "Roark's formulas for stress and strain" (settima edizione), New York: McGraw-Hill, 2002, pag. 600 tabella 13.1 caso 5a

Valutazione sforzo

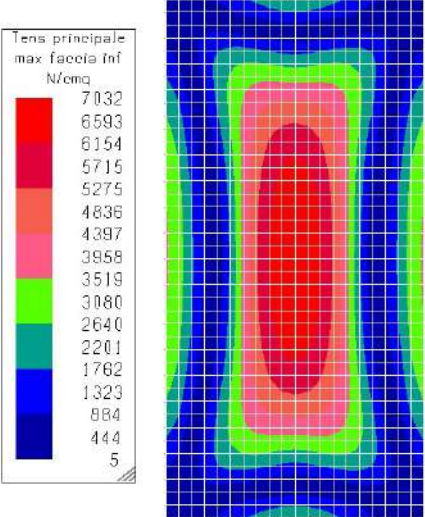


Tipo	LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
Elementi guscio	$\sigma_{\max} = 3.665 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	2.26	$\sigma_{\max} = 3.647 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	2.75
Elementi assialsimmetrici	$\sigma_{\max} = 3.6502 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	2.66	$\sigma_{\max} = 3.653 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	2.58

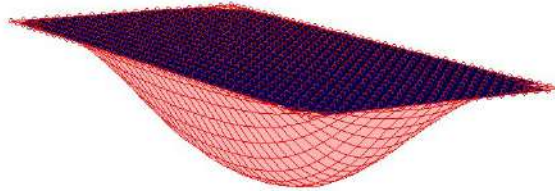
6	PIASTRA RETTANGOLARE INCASTRATA	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra

Descrizione	Piastra di forma rettangolare incastrata lungo tutti i lati e soggetta ad un carico uniformemente distribuito ortogonalmente al proprio piano		
Geometria	lunghezza A = 0.48 m larghezza B = 0.24 m spessore t = 0.01 m mesh 40x20		
Vincoli	Incastri lungo i lati		
Carichi	Carico uniformemente distribuito su tutta la piastra	$p = 5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$\left[5.1 \text{ Kg/cm}^2 \right]$
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 2.0601 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ $\nu = 0.3$	
Risultati teorici⁶	Sforzo al centro della piastra	$\sigma = \frac{\beta p B^2}{t^2} = 7.1194 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$	$\left[725.72 \text{ Kg/cm}^2 \right]$
	Deflessione massima	$\Delta Z_{\max} = \frac{\alpha p B^4}{Et^3} = 2.23052 \cdot 10^{-4} \text{ m}$	$\left[2.23052 \times 10^{-2} \text{ cm} \right]$
		con $\alpha = 0.0277 \quad \beta = 0.2472$	

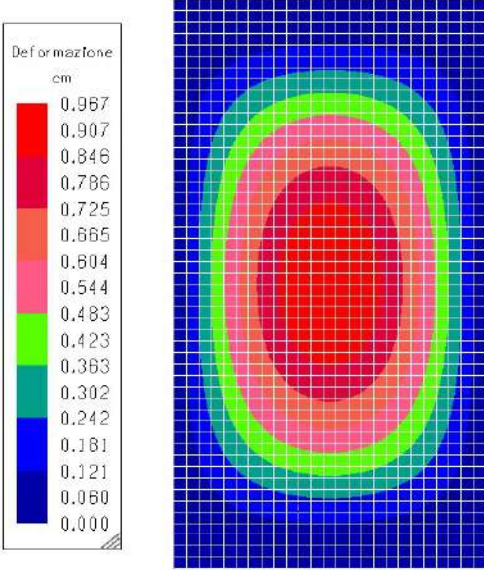
⁶W.C. Young, R.G. Budynas "Roark's formulas for stress and strain" (settima edizione), New York: McGraw-Hill, 2002, pag. 508 tabella 11.4 caso 8a

<p>Valutazione sforzo e spostamento massimi al centro della piastra</p>			
LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
$\sigma = 7.032 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	1.23	$\sigma = 7.038 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	1.14
$\Delta Z = 2.2251 \times 10^{-2} \text{ cm}$	0.24	$\Delta Z = 2.22136 \times 10^{-2} \text{ cm}$	0.41

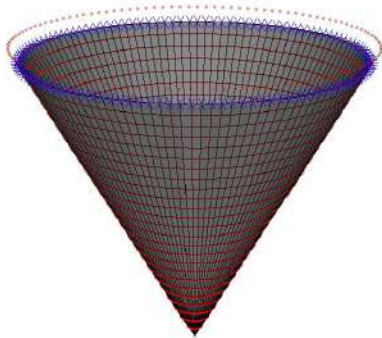
7	PIASTRA RETTANGOLARE INCASTRATA E APPOGGIATA	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra

Descrizione	Piastra di forma rettangolare incastrata lungo i lati minori e semplicemente appoggiata lungo quelli maggiori, soggetta ad un carico uniformemente distribuito ortogonalmente al proprio piano		
Geometria	lunghezza A = 0.45 m larghezza B = 0.25 m spessore t = 0.25 cm mesh 50x25		
Vincoli	Incastri lungo i lati minori e semplici appoggi lungo quelli maggiori		
Carichi	Carico uniformemente distribuito su tutta la piastra	$p = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$[1.02 \text{ Kg/cm}^2]$
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 2.0601 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ $\nu = 0.3$	
Risultati teorici⁷	Deflessione massima	$\Delta Z_{\max} = \frac{\alpha p B^4}{E t^3} = 9.7083 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ con $\alpha = 0.08$	[0.97083cm]

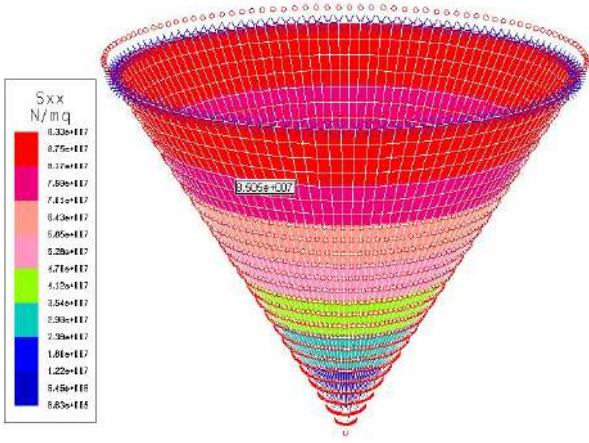
⁷W.C. Young, R.G. Budynas "Roark's formulas for stress and strain" (settima edizione), New York: McGraw-Hill, 2002, pag. 506 tabella 11.4 caso 5a

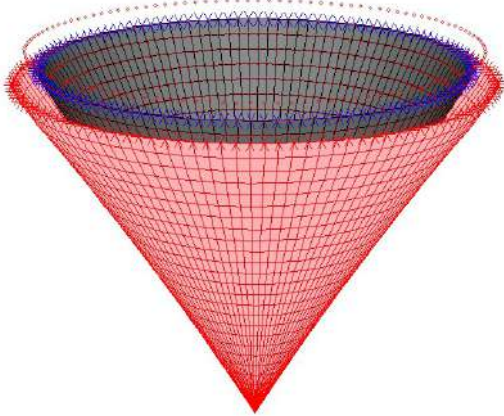
<p>Valutazione spostamento</p>			
	<p>LiFE</p>	<p>Errore %</p>	<p>MasterSap solutore precedente</p>
<p>$\Delta Z_{\max} = 0.96694 \text{ cm}$</p>	<p>0.40</p>	<p>$\Delta Z_{\max} = 0.965888 \text{ cm}$</p>	<p>0.51</p>

8	CONTENITORE CONICO	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra

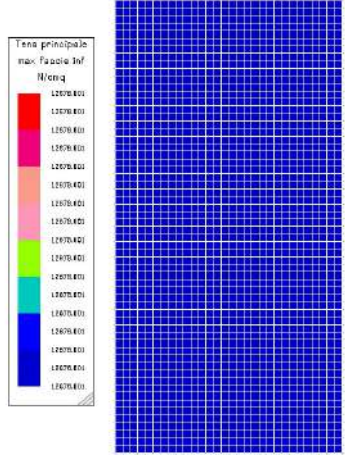
Descrizione	Contenitore conico soggetto ad una pressione interna e vincolato lo spostamento in direzione parallela alla generatrice del cono		
Geometria	raggio	R = 0.5 m	
	altezza	H = 1.0 m	
	angolo cono	$\theta = 30^\circ$	
	spessore	t = 0.6 cm	
	mesh	40x20	
Vincoli	Viene bloccato lo spostamento di tutti i nodi in sommità in direzione parallela alla generatrice della superficie conica		
Carichi	Pressione interna uniforme	$p = 1 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	$\left[10.19 \text{ Kg/cm}^2 \right]$
Proprietà materiale	Modulo elastico	$E = 2.0601 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$	
	Coefficiente di Poisson	$\nu = 0.3$	
Risultati teorici⁸	Sforzo massimo in direzione tangenziale alla circonferenza di raggio r = 0.25m	$\sigma_{R \max} = \frac{pr}{t \cos \theta} = 4,811 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$	
	Sforzo massimo in direzione parallela alla generatrice del cono in r = 0.25m	$\sigma_{T \max} = \frac{pr}{2t \cos \theta} = 2,4055 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$	
	Spostamento radiale in r = 0.26m	$\Delta r = \frac{pr^2}{Et \cos \theta} \left(1 - \frac{\nu}{2} \right) = 5,3678 \cdot 10^{-3} \text{ m}$	
	Variazione di altezza in r = 0.26m	$\Delta Z = \frac{pR^2}{4Et \cos \theta} (1 - 2\nu - 3\text{tg}^2\theta) = 1,64069 \cdot 10^{-3} \text{ m}$	

⁸ W.C. Young, R.G. Budynas "Roark's formulas for stress and strain" (settima edizione), New York: McGraw-Hill, 2002, pag. 594 tabella 13.1 caso 2a

<p>Valutazione sforzo</p>	 <p>sforzo radiale (in direzione locale x)</p>		
LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
$\sigma_{Rmax} = 4.810 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ $\sigma_{Tmax} = 2.405 \times 10^9 \text{ N/m}^2$	<p>0.02</p> <p>0.02</p>	$\sigma_{Rmax} = 4.809 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ $\sigma_{Tmax} = 2.404 \times 10^9 \text{ N/m}^2$	<p>0.04</p> <p>0.06</p>

<p>Valutazione spostamento massimo</p>			
LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
$\Delta r = 5.361 \times 10^{-3} \text{ cm}$ $\Delta Z = 1.6515 \times 10^{-3} \text{ cm}$	<p>0.12</p> <p>-0.66</p>	$\Delta r = 5.361 \times 10^{-3} \text{ cm}$ $\Delta Z = 1.6539 \times 10^{-3} \text{ cm}$	<p>0.12</p> <p>-0.80</p>

9	PIASTRA SOGGETTA A GRADIENTE TERMICO	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra

Descrizione	Piastra di forma rettangolare incastrata lungo i lati e soggetta a gradiente termico	
Geometria	lunghezza A = 0.60 m larghezza B = 0.30 m spessore t = 0.01 m mesh 60x30	
Vincoli	Incastro lungo tutti i lati	
Carichi	Gradiente termico	$\Delta T = 100^\circ\text{C}$
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson Coefficiente di espansione termica	$E = 6.867 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ $\nu = 0.35$ $\alpha = 2.4 \times 10^{-5}$
Risultati teorici⁹	Sforzo massimo	$\sigma_{\max} = \frac{1}{2} \Delta T \alpha \frac{E}{1 - \nu} = 1.26775 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2 \left[1292.31 \text{ Kg/cm}^2 \right]$

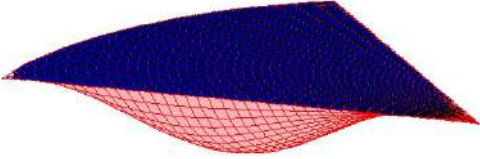
Valutazione sforzo					
LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %	Sap2000	Errore %
$\sigma_{\max} = 1.2678 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	0.004	$\sigma_{\max} = 1.2684 \times 10^8$	-0.05	$\sigma_1 = 1.26775 \times 10^8$	0.00

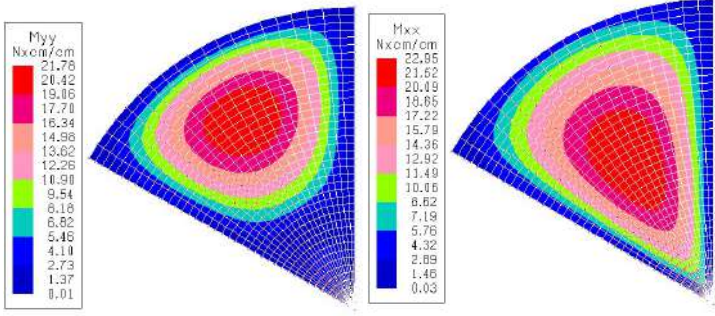
⁹ S.P. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger "Theory of plates and guscio/piastra" (seconda edizione), New York: McGraw-Hill, 1959

10	SETTORE CIRCOLARE SEMPLICEMENTE APPOGGIATO	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra

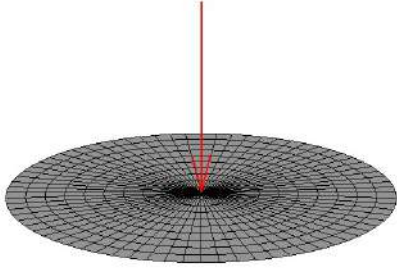
Descrizione	Settore circolare di spessore uniforme semplicemente appoggiato lungo i bordi e soggetto ad un carico uniformemente distribuito		
Geometria	raggio	R = 0.30 m	
	angolo settore	$\theta = 60^\circ$	
	spessore	t = 0.3 cm	
	mesh	40x20	
Vincoli	Appoggi lungo il bordo		
Carichi	Carico uniformemente distribuito su tutta la piastra	$p = 1 \times 10^4 \text{ N/m}^2$	$[0.102 \text{ Kg/cm}^2]$
Proprietà materiale	Modulo elastico	$E = 2.0601 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$	
	Coefficiente di Poisson	$\nu = 0.3$	
Risultati teorici¹⁰	Sforzo radiale massimo	$\sigma_{R \max} = \frac{\beta p R^2}{t^2} = 1.47 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ $[149.85 \text{ Kg/cm}^2]$	
	Sforzo tangenziale	$\sigma_{T \max} = \frac{\beta_1 p R^2}{t^2} = 1.55 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ $[158 \text{ Kg/cm}^2]$	
	Deflessione massima	$\Delta Z_{\max} = \frac{\alpha p R^4}{E t^3} = 1.529 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ $[0.1529 \text{ cm}]$	
		con $\alpha = 0.105$ $\beta = 0.147$ $\beta_1 = 0.155$	

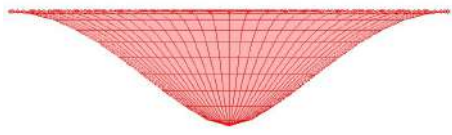
¹⁰ W.C. Young, R.G. Budynas "Roark's formulas for stress and strain" (settima edizione), New York: McGraw-Hill, 2002, pag. 496 tabella 11.2 caso 27

Valutazione spostamento						
	LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %	Sap2000	Errore %
	$\Delta Z = 0.015823\text{cm}$	-3.48	$\Delta Z = 0.0157761\text{cm}$	-3.18	$\Delta Z = 0.01584\text{cm}$	-3.60

Valutazione sforzo	 <p style="text-align: center;">le sollecitazioni sono espresse in coordinate locali dell'elemento le quali corrispondono a:</p> <ul style="list-style-type: none"> - coordinata locale x = direzione tangente alla circonferenza - coordinata locale y = direzione radiale 					
	LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %	Sap2000	Errore %
	$\sigma_{R\max} = 1.462 \times 10^7$ $\sigma_{T\max} = 1.53 \times 10^7$	0.55 1.29	$\sigma_{R\max} = 1.456 \times 10^7$ $\sigma_{T\max} = 1.529 \times 10^7$	0.95 1.35	$\sigma_{R\max} = 14697500$ $\sigma_{T\max} = 15422500$	0.02 0.5


11	PIASTRA CIRCOLARE INCASTRATA	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra

Descrizione	Piastra di forma circolare perfettamente incastrata e soggetta ad un carico concentrato al centro.		
Geometria	Raggio spessore mesh	R = 0.5 m t = 0.01 m 720 elementi (10 x spicchio)	
Vincoli	Incastro lungo la circonferenza esterna		
Carichi	Carico concentrato al centro della piastra	P = 1x10 ⁵ N	[10194Kg]
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	E = 2.0601x10 ¹¹ N/m ² ν = 0.3	
Risultati teorici¹¹	Spostamento verticale	$\Delta Z_{\max} = \frac{PR^2}{16\pi D} = 2.6364 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ $D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$	[2.63636cm]

Valutazione spostamento			
LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
$\Delta Z_{\max} = 2.6209\text{cm}$	0.58	$\Delta Z_{\max} = 2.62627 \text{ cm}$	0.38

¹¹ W.C. Young, R.G. Budynas "Roark's formulas for stress and strain" (settima edizione), New York: McGraw-Hill, 2002, pag. 492 tabella 17

12	PIASTRA INCASTRATA	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra

Descrizione	Piastra di forma quadrata perfettamente incastrata lungo tutti i lati e soggetta ad un carico uniformemente distribuito perpendicolarmente al proprio piano.		
Geometria	lato	L = 0.30 m	
	spessore	t = 0.3 cm	
	mesh	10x10	
Vincoli	Incastro lungo tutti i lati		
Carichi	Carico uniformemente distribuito su tutta la piastra	$p = 1 \times 10^4 \text{ N/m}^2$	$[0.102 \text{ Kg/cm}^2]$
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 2.0601 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ $\nu = 0.3$	
Risultati teorici¹²	Deflessione massima	$\Delta Z_{\max} = 0.00126 \frac{pL^4}{D} = 2.004 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ <p style="text-align: center;">[0.02cm]</p> $D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$	

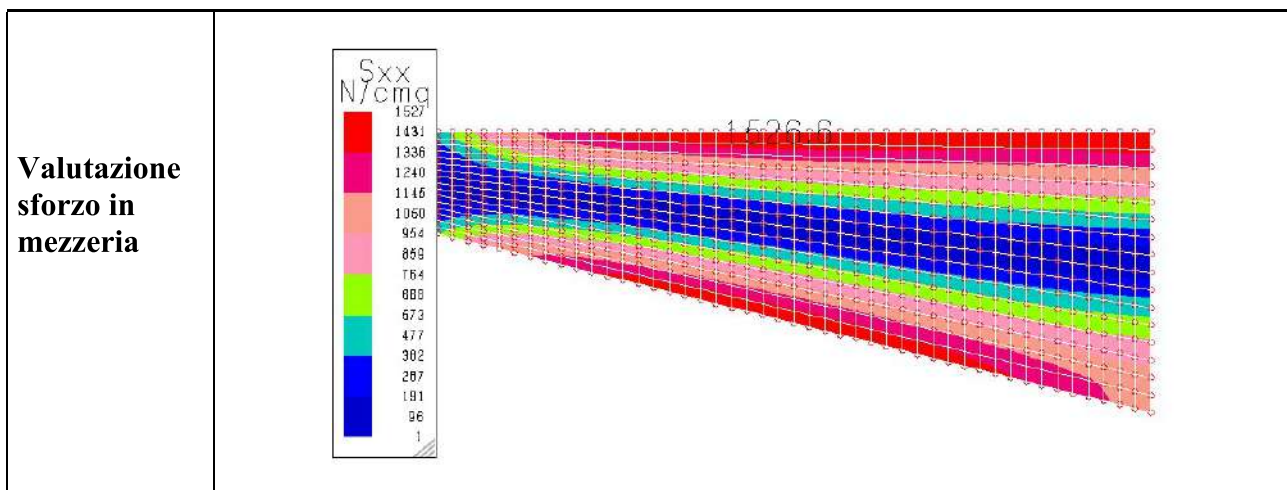
Valutazione spostamento			
	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
$\Delta Z_{\max} = 0.01978 \text{ cm}$	1.29	$\Delta Z_{\max} = 0.01978 \text{ cm}$	1.29

¹² S.P. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger "Theory of plates and guscio/piastra" (seconda edizione), New York: McGraw-Hill, 1959

13	TRAVE RASTREMATA CARICATA LATERALMENTE	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra e stato piano di tensione

Descrizione	Trave di sezione uniformemente variabile lungo l'asse, incastrata ad un'estremità e soggetta a carico concentrato dall'altro		
Geometria	altezza lato incastro $3d = 0.45 \text{ m}$ altezza lato libero $d = 0.15 \text{ m}$ lunghezza $l = 1.20 \text{ m}$ spessore $t = 5 \text{ cm}$ Mesh $6 \times 2 - 12 \times 4 - 24 \times 8$		
Vincoli	Incastro ad un'estremità		
Carichi	Carico concentrato verticale	$F = 2 \times 10^4 \text{ N}$	[2038.7Kg]
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 2.0601 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ $\nu = 0$	
Risultati teorici ¹³	Lembo superiore della sezione in mezzeria	$M_{\max} = Fl = 12000 \text{ Nm}$ [1.225 \times 10^5 \text{ Kgcm}] $W = \frac{th^2}{6} = 750 \text{ cm}^3$ $\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = 1.600 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	

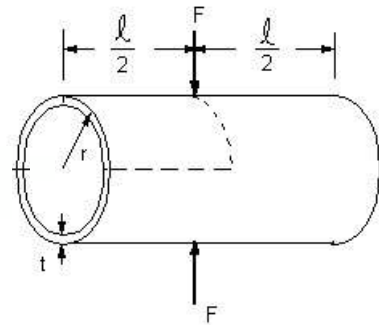
¹³ S. H. Crandall and N. C. Dahl. An Introduction to the Mechanics of Solids. McGraw-Hill Book Co., Inc.. New York, NY. 1959.



Tipo	mesh	LiFE $\frac{N}{m^2}$	Errore %	MasterSap solutore precedente $\frac{N}{m^2}$	Errore %	Sap2000 $\frac{N}{m^2}$	Errore %
Elementi guscio con valutazione al centro dell'elemento	6x2	$\sigma_x = 7.930 \times 10^6$	50.44	$\sigma_x = 5.606 \times 10^6$	64.96	$\sigma_x = 7.565$	52.72
	12x4	$\sigma_x = 1.209 \times 10^7$	24.44	$\sigma_x = 1.095 \times 10^7$	31.56	$\sigma_x = 1.207$	24.56
	24x8	$\sigma_x = 1.420 \times 10^7$	11.25	$\sigma_x = 1.384 \times 10^7$	13.5	$\sigma_x = 1.420$	11.25
	48x1	$\sigma_x = 1.527 \times 10^7$	4.56	$\sigma_x = 1.517 \times 10^7$	5.19	$\sigma_x = 1.526$	4.62
	72x2	$\sigma_x = 1.562 \times 10^7$	2.37	$\sigma_x = 1.557 \times 10^7$	2.69	$\sigma_x = 1.561$	2.44
Elementi stato piano di tensione	6x2	$\sigma_x = 7.954 \times 10^6$	50.28	$\sigma_x = 7.959 \times 10^6$	50.26	$\sigma_x = 7.565$	52.72
	12x4	$\sigma_x = 1.209 \times 10^7$	24.44	$\sigma_x = 1.211 \times 10^7$	24.31	$\sigma_x = 1.207$	24.56
	24x8	$\sigma_x = 1.420 \times 10^7$	11.25	$\sigma_x = 1.421 \times 10^7$	11.19	$\sigma_x = 1.420$	11.25
	48x1	$\sigma_x = 1.527 \times 10^7$	4.56	$\sigma_x = 1.527 \times 10^7$	4.56	$\sigma_x = 1.526$	4.62

14	CILINDRO SCHIACCIATO	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra

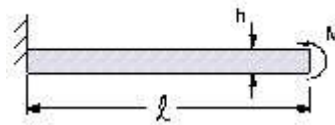
Descrizione	Cilindro sottile soggetto a due forze concentrate agenti perpendicolarmente alla superficie ed applicate a metà lunghezza		
Geometria	lunghezza	$l = 10.35\text{in}$	$[0.2629\text{m}]$
	Raggio	$r = 4.953\text{in}$	$[0.1258\text{m}]$
	spessore	$t = 0.094\text{in}$	$[0.0024\text{m}]$
	mesh	36x20	
Vincoli	<p>In corrispondenza della sezione cilindrica di applicazione delle forze (ad $l/2$) i quattro nodi di vertice sono stati vincolati nel seguente modo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - i 2 nodi che intersecano la circonferenza lungo la direzione globale Y, bloccati uZ ed uX - i 2 nodi che intersecano la circonferenza lungo la direzione globale X, bloccati uZ ed uY 		
Carichi	Due forze concentrate sui punti medi del cilindro in direzione opposta	$F = 100\text{lb}$	$[444.9\text{N}]$
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 1.05 \times 10^7 \text{ psi}$ $\nu = 0.3125$	$[7.24 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2]$
Risultati teorici¹⁴	Spostamento nel punto di applicazione del carico	$\Delta Z_{\max} = 0.289306 \text{ cm}$	

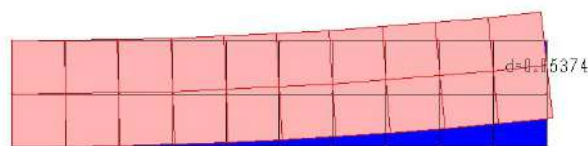


Valutazione spostamento						
LiFE	Errore %	MasterSap precedente	solutore	Errore %	Sap 2000	Errore %
$\Delta Z_{\max} = 0.28639 \text{ cm}$	1.00	$\Delta Z_{\max} = 0.28333 \text{ cm}$		2.07	$\Delta Z_{\max} = 0.2801 \text{ cm}$	3.18

¹⁴ D.R. Hose e Rutherford. "Benchmarks for Finite Element Pre-processors". NAFEMS Ref: R0001. 2 Dicembre 1993

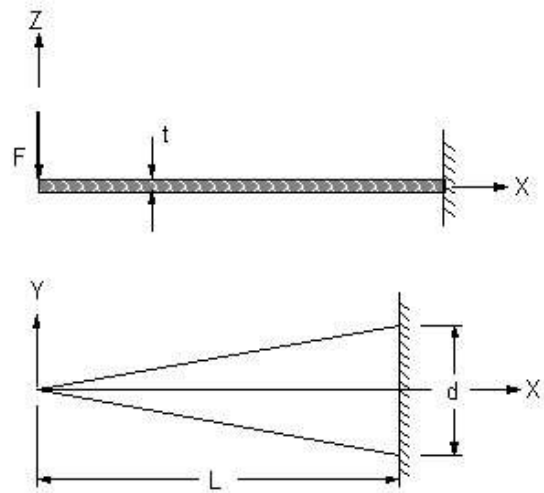
15	TRAVE SOGGETTA A MOMENTO FLETTENTE	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra e stato piano di tensione

Descrizione	Trave incastrata soggetta a momento flettente concentrato all'estremità libera		
Geometria	altezza $h = 0.40$ m lunghezza $l = 2.0$ m spessore $t = 0.20$ m mesh 10x2		
Vincoli	Incastro ad una estremità		
Carichi	Coppia concentrata all'estremità libera modellata attraverso due carichi concentrati ai nodi di estremità della trave $M = Ph = 20000 \times 0.40 = 8000$ Nm		
Proprietà materiale	Modulo elastico $E = 2.78604 \times 10^{10}$ N/m ² Coefficiente di Poisson $\nu = 0$		
Risultati teorici	Spostamento nel punto di applicazione del carico $\Delta Z = \frac{Ml}{2EJ} = 0.05384$ cm		

Valutazione spostamento				
Tipo	LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
Elementi guscio	$\Delta Z = 0.05374$ cm	0.18	$\Delta Z = 0.0442551$ cm	17.8
Elementi stato piano di tensione	$\Delta Z = -0.053775$ cm	0.18	$\Delta Z = 0.053774$ cm	0.18

16	PIASTRA RASTREMATA	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra

Descrizione	Piastra di larghezza variabile incastrata ad un estremo e soggetta ad un carico perpendicolare al proprio piano dall'altro		
Geometria	larghezza massima	$d = 3\text{in}$	[0.0762 m]
	lunghezza	$L = 20\text{in}$	[0.508 m]
	spessore	$t = 0.5\text{in}$	[0.0127 m]
	mesh	13 elementi triangolari	
Vincoli	Incastro ad una estremità		
Carichi	forza concentrata all'estremità libera	$F = 10\text{lb}$	[44.48 N]
Proprietà materiale	Modulo elastico	$E = 3 \times 10^7 \text{ psi}$	$[2.0685 \text{ N/m}^2]$
	Coefficiente di Poisson	$\nu = 0$	
Risultati teorici¹⁵	Spostamento nel punto di applicazione del carico	$\Delta Z = -0.042667\text{in}$	[-0.10837cm]



Valutazione spostamento						
LiFE	Errore %	MasterSap precedente	solutore	Errore %	Sap 2000	Errore %
$\Delta Z = -0.10837 \text{ cm}$	0.009	$\Delta Z = -0.108853 \text{ cm}$		0.45	$\Delta Z = -0.04267 \text{ in}$	0.007%

¹⁵ C. O. Harris. *Introduction to Stress Analysis*. The Macmillan Co.. New York, NY. 1959, pag. 114, problema 61

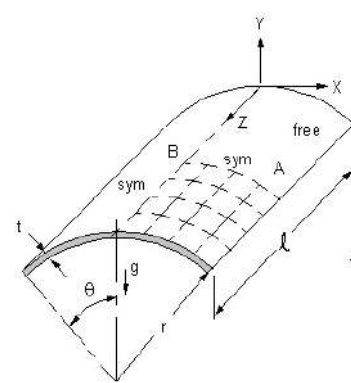
17	PIASTRA ANULARE	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra

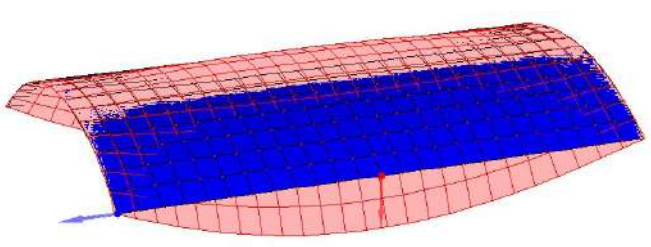
Descrizione	Piastra circolare di spessore costante con foro circolare incastrata lungo la circonferenza interna e soggetta ad un momento flettente M_a applicato uniformemente lungo la circonferenza esterna		
Geometria	raggio interno $r = 10\text{in}$ [0.254m] raggio esterno $l = 30\text{in}$ [0.762m] spessore $t = 0.25\text{in}$ [0.00635m] mesh 216 elementi (6 ogni spicchio di $\theta=10^\circ$)		
Vincoli	Incastro in corrispondenza del foro interno		
Carichi	Momento, flettente rispetto alla direzione tangente alla circonferenza esterna, distribuito lungo la stessa e modellato con coppie concentrate ai nodi	$M_a = 10 \text{ in lb/in}$ [pari ad una coppia concentrata di 5.92 Nm] (poiché la direzione tangenziale è variabile da nodo a nodo, sono state calcolate per ognuno di questi le componenti di M_a , rispetto alle direzioni del sistema di riferimento globale)	
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 2.0601 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ $\left[2.1 \cdot 10^6 \text{ Kg/cm}^2 \right]$ $\nu = 0.3$	
Risultati teorici¹⁶	Spostamento (estremità della piastra) massimo Rotazione (estremità della piastra) massima	massimo $u = -0.049064 \text{ in}$ massima $\theta = 0.0045089 \text{ rad}$	$[-0.1246 \text{ cm}]$

Valutazione spostamento e rotazione			
LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
$u = -0.1259 \text{ cm}$	-1.04	$u = -0.125504 \text{ cm}$	0.72
$\theta = 0.0045474 \text{ rad}$	-0.85	$\theta = 0.0045374 \text{ rad}$	0.63

¹⁶ S. Timoshenko. *Strength of Material, Part II, Elementary Theory and Problems*. 3rd Edition. D. Van Nostrand Co., Inc.. New York, NY. 1956., pag 111

18	VOLTA A BOTTE	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra

Descrizione	Volta a botte soggetta solo al proprio peso		
Geometria	raggio $r = 25$ m lunghezza $l = 50$ m spessore $t = 0.25$ m angolo volta $\theta = 40^\circ$ mesh 800 (16x25) elementi di circa 2m x 2.20m		
Vincoli	Appoggio lato curvo		
Carichi	Peso proprio del materiale	$\rho = 3.6037 \times 10^{-4} \text{ N/m}^3$	$[3.674 \cdot 10^{-5} \text{ Kg/cm}^3]$
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 4.32 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	$\nu = 0$
Risultati teorici¹⁷	Spostamento verticale massimo Spostamento in piano massimo	$\Delta Z_{\max} = -0.3019$ m	$\Delta Y_{\max} = 0.1593$ m

Valutazione spostamento			
LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
$\Delta Z_{\max} = -0.2967$ m	1.72	$\Delta Z_{\max} = -0.2943$ m	2.5
$\Delta Y_{\max} = 0.1562$ m	1.95	$\Delta Y_{\max} = 0.1550$ m	2.70

¹⁷ R. D. Cook. *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*. 2nd Edition. John Wiley and Sons, Inc.. New York, NY. 1981, pag 284-287

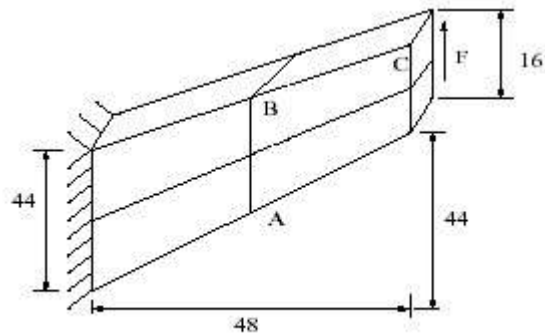
19**MEMBRANA DI COOK****Analisi****Calcolo****Elementi**

Statica

lineare

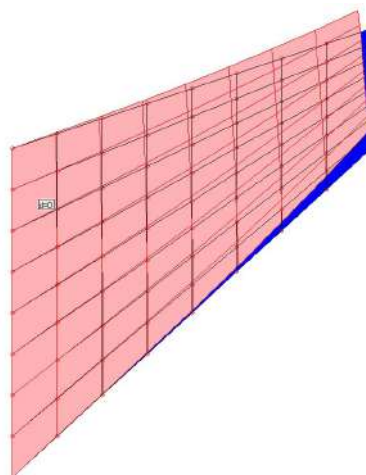
Guscio/piastra

Descrizione	Membrana modellata con elementi irregolari incastrata ad un estremo e soggetta ad un carico uniformemente distribuito verso l'alto all'altro.	
Geometria	lunghezza	$L = 48$
	altezza maggiore (lato incastro)	$H = 44$
	altezza minore (estremo libero)	$h = 16$
	spessore	$t = 1$
	mesh	1, 4, 16 e 64 elementi
Vincoli	Incastrato all'estremità maggiore	
Carichi	Verticale uniformemente distribuito sull'estremità libera e modellato con carichi concentrati ai nodi	$P = 1$ (risultante)
Proprietà materiale	Modulo elastico	$E = 1$
	Coefficiente di Poisson	$\nu = 1/3$
Risultati teorici ¹⁸	Spostamento verticale all'estremità libera della membrana	$\Delta Z = 23.91$



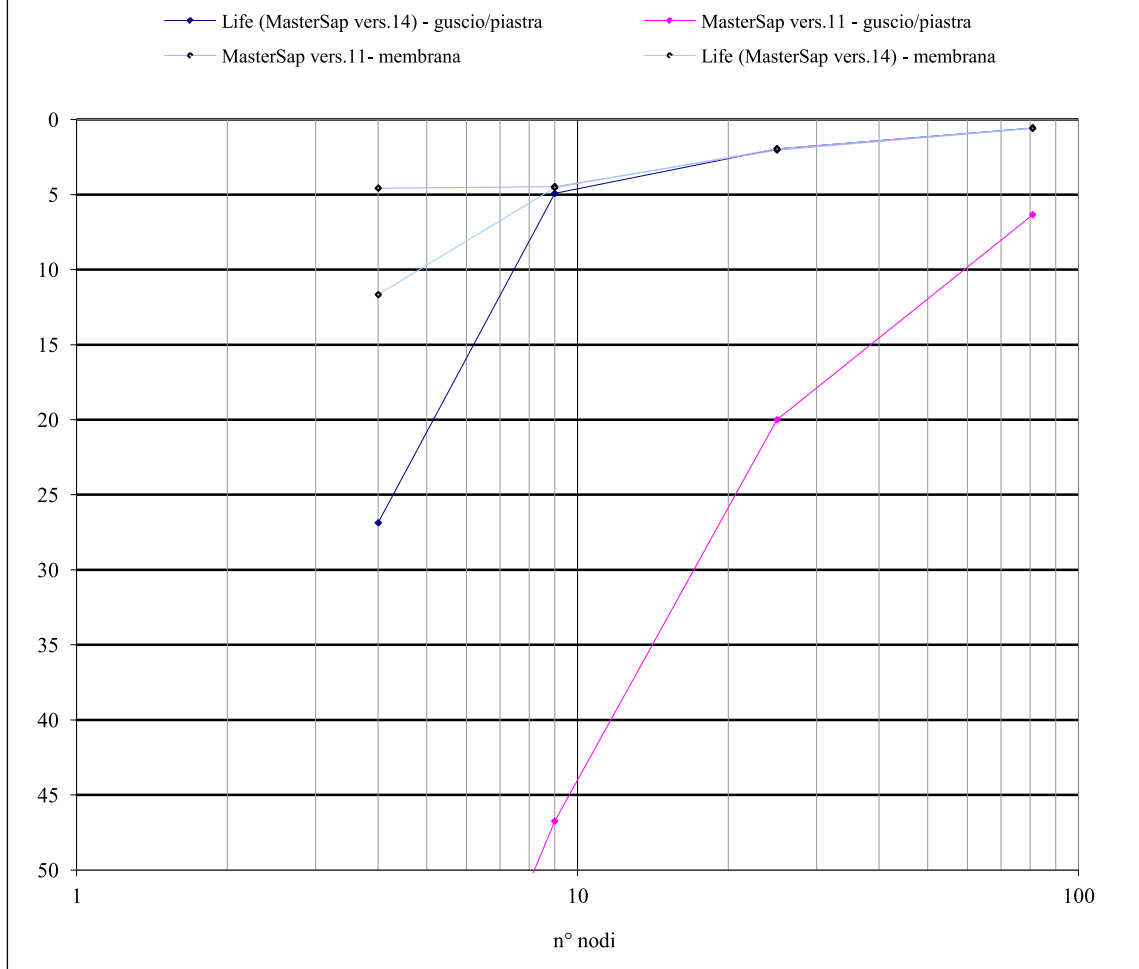
¹⁸ R. D. Cook, 'Improved two-dimensionale finite element', J: Structt. Div. ASCE, 100, pag. 1851-1865 (1974)

Valutazione spostamento

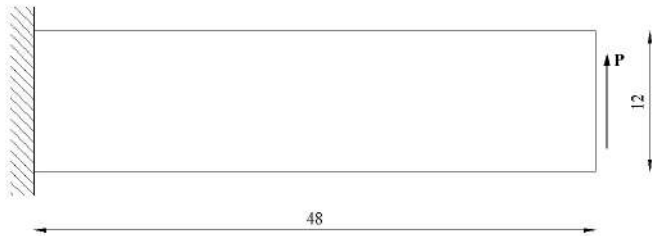


Tipo	Mesh	LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
Elementi guscio	1	$\Delta Z = 17.4855$	26.87	$\Delta Z = 6.0023$	74.90
	4	$\Delta Z = 22.732$	4.93	$\Delta Z = 12.7310$	46.75
	16	$\Delta Z = 23.443$	1.95	$\Delta Z = 19.129$	20.00
	64	$\Delta Z = 23.775$	0.56	$\Delta Z = 22.395$	6.34
Elementi stato piano di tensione	1	$\Delta Z = 21.12$	11.67	$\Delta Z = 22.817$	4.57
	4	$\Delta Z = 22.827$	4.53	$\Delta Z = 22.841$	4.47
	16	$\Delta Z = 23.445$	1.95	$\Delta Z = 23.425$	2.03
	64	$\Delta Z = 23.776$	0.56	$\Delta Z = 23.768$	0.59

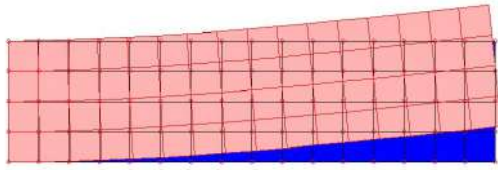
Errore percentuale relativo allo spostamento in estremità

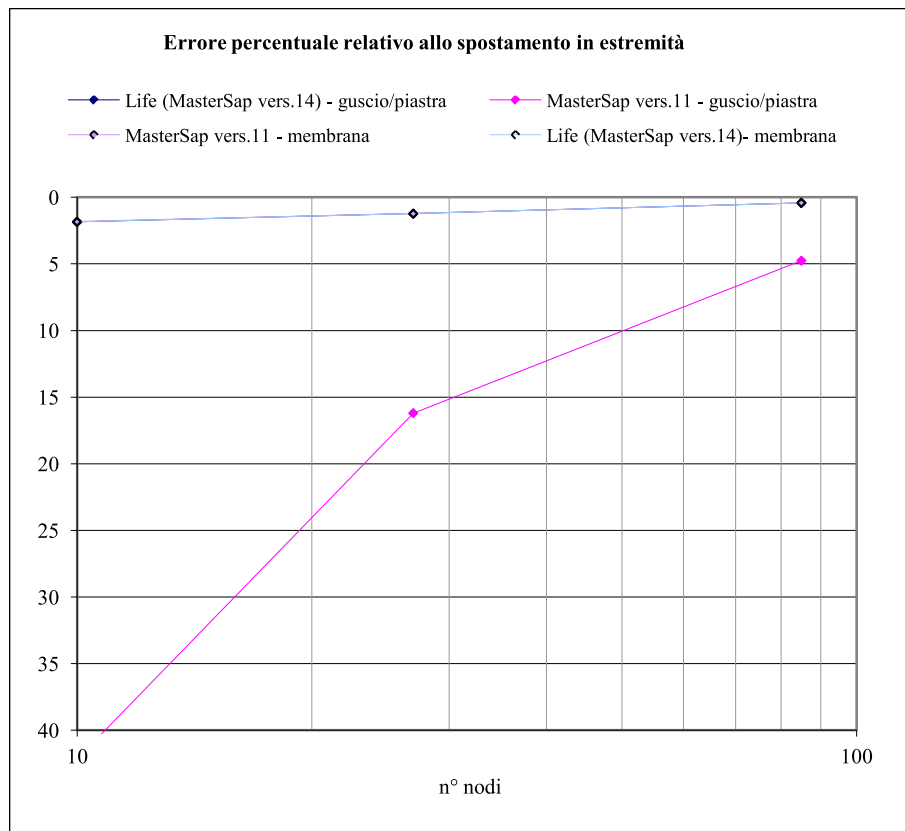


20	TRAVE INCASTRATA	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra

Descrizione	Trave spessa incastrata ad una estremità e soggetta ad un carico da verticale dall'altra e modellata con elementi guscio/piastra e stato piano di tensione	
Geometria	lunghezza $l = 48$ altezza $h = 12$ spessore $t = 1$ mesh 4, 16 e 64 elementi	
Vincoli	Incastrato all'estremità maggiore	
Carichi	Verticale applicato sull'estremità libera e modellato con carichi concentrati ai nodi	$P = 40$ (risultante)
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 30000$ $\nu = 0.25$
Risultati teorici ¹⁹	Spostamento verticale massimo	$\Delta Z = \frac{Pl^3}{3EJ} + \frac{(4 + 5\nu)Pl}{2Eh} = 0.3558$

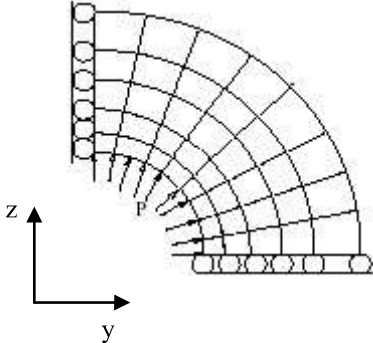
¹⁹ T. J. Hughes, 'The finite element method: linear static and dynamic analysis', Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1987, pag. 1219-220 e 254-255

Valutazione spostamento					
Tipo	Mesh	LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
Elementi guscio	4	$\Delta Z = 0.3492$	1.85	$\Delta Z = 0.2058$	42.15
	16	$\Delta Z = 0.3514$	1.23	$\Delta Z = 0.2982$	16.20
	64	$\Delta Z = 0.3543$	0.42	$\Delta Z = 0.3389$	4.75
Elementi stato piano di tensione	4	$\Delta Z = 0.3493$	1.83	$\Delta Z = 0.3493$	1.82
	16	$\Delta Z = 0.3514$	1.23	$\Delta Z = 0.3514$	1.23
	64	$\Delta Z = 0.3543$	0.42	$\Delta Z = 0.3543$	0.42

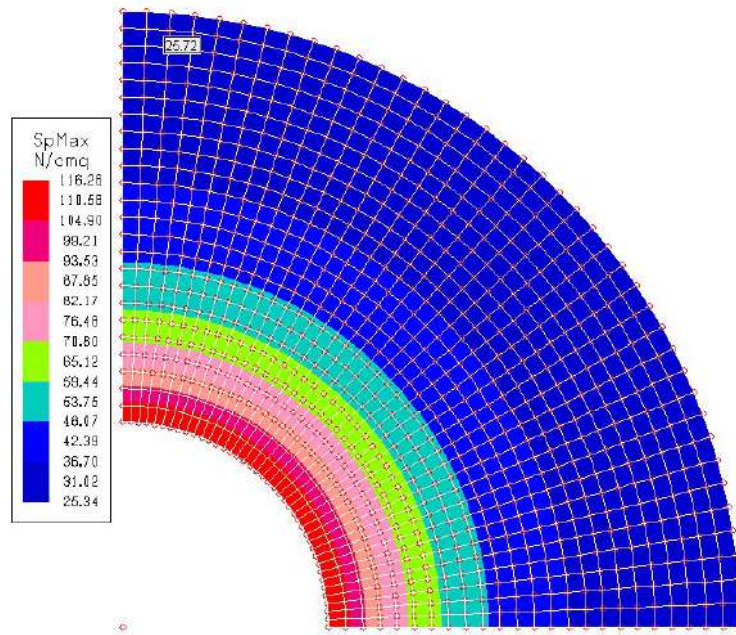


Osservazione: le due curve relative ai risultati di LiFE e quella relativa ai risultati di sap ottenuta con elementi in stato piano di tensione si sovrappongono per cui non sono distinguibili nel grafico

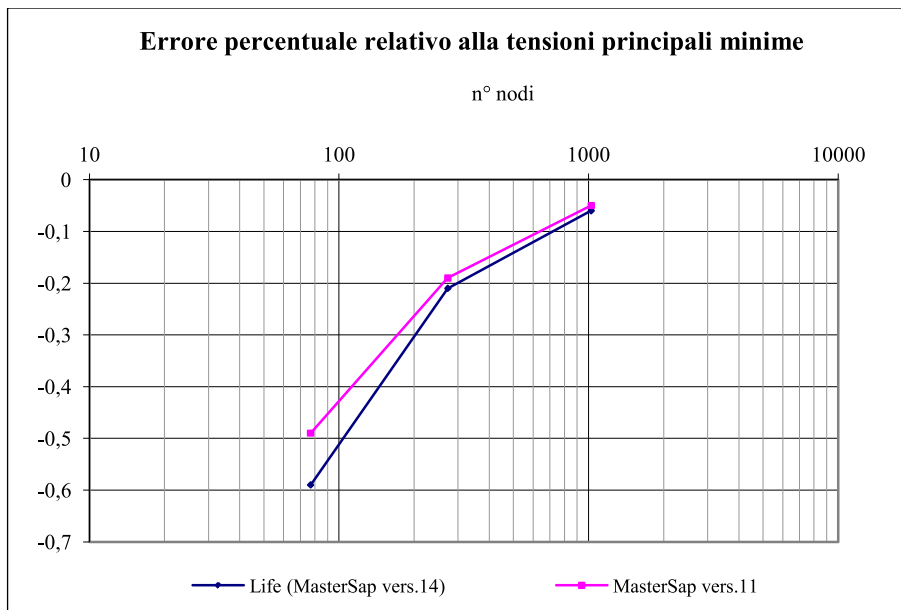
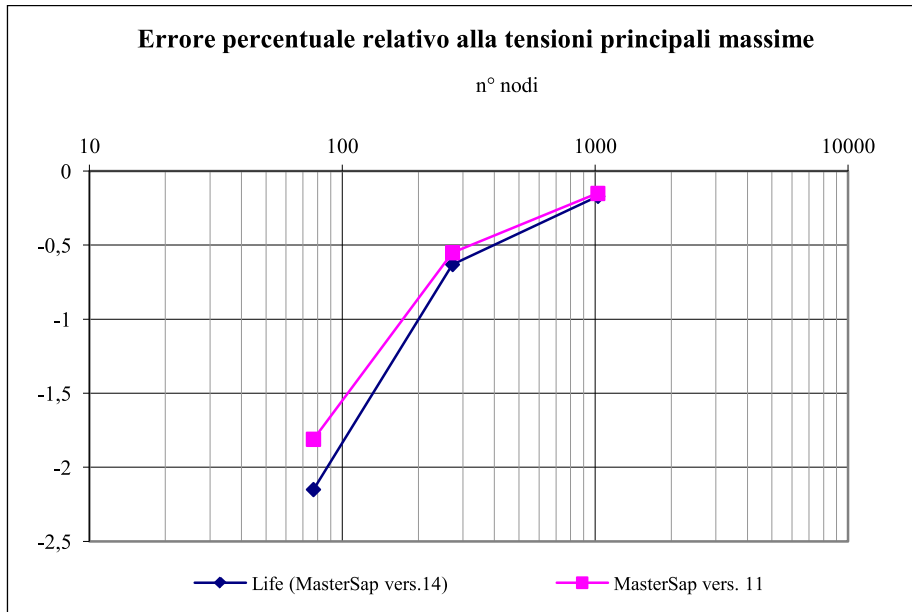
21	TUBO INFINITAMENTE SPESSO	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Stato piano di deformazione

Descrizione	Tubo infinitamente spesso soggetto ad a pressione interna. Anche in questo caso il problema si presenta simmetrico per cui è stato possibile modellare solo un quarto dello schema		
Geometria	Raggio interno $r = 0.03$ m Raggio esterno $R = 0.09$ m mesh 60, 240 e 960 elementi (1/4 del modello)		
Vincoli	Poiché il modello giace sul piano Y-Z, sono stati vincolati gli spostamenti UY ai nodi lungo il lato parallelo all'asse Z e UZ quelli lungo il lato parallelo all'asse Y		
Carichi	Pressione interna uniforme	$p = 10^7 \text{ N/m}^2$	$[101.94 \text{ Kg/cm}^2]$
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ $\nu = 1/3$	
Risultati teorici	Tensione principale massima Tensione principale minima $x = 3.5$ cm (mesh 45 elementi) $x = 3.25$ cm (mesh 240 elementi) $x = 3.125$ cm (mesh 960 elementi)	$\begin{cases} \sigma_{\max} = \frac{pr^2}{(R^2 - r^2)} \left(1 + \frac{R^2}{x^2} \right) \\ \sigma_{\min} = \frac{pr^2}{(R^2 - r^2)} \left(1 - \frac{R^2}{x^2} \right) \end{cases}$ $\begin{cases} \sigma_{\max} = -701531 \text{ N/m}^2 \\ \sigma_{\min} = 951530 \text{ N/m}^2 \end{cases}$ $\begin{cases} \sigma_{\max} = -833580 \text{ N/m}^2 \\ \sigma_{\min} = 1083580 \text{ N/m}^2 \end{cases}$ $\begin{cases} \sigma_{\max} = -911800 \text{ N/m}^2 \\ \sigma_{\min} = 1161800 \text{ N/m}^2 \end{cases}$	

Valutazione sforzo



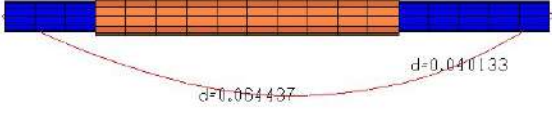
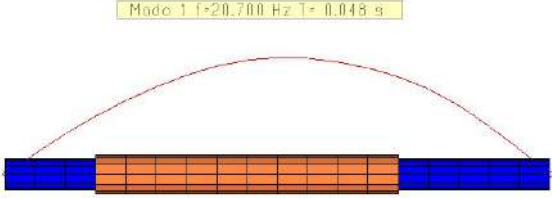
mesh	LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
60	$\sigma_{\max} = -716600 \text{ N/m}^2$	-2.15	$\sigma_{\max} = -714200 \text{ N/m}^2$	-1.81
	$\sigma_{\min} = 957230 \text{ N/m}^2$	-0.59	$\sigma_{\min} = 956200 \text{ N/m}^2$	-0.49
240	$\sigma_{\max} = -838810 \text{ N/m}^2$	-0.63	$\sigma_{\max} = -838150 \text{ N/m}^2$	-0.55
	$\sigma_{\min} = 1085900 \text{ N/m}^2$	-0.21	$\sigma_{\min} = 1085600 \text{ N/m}^2$	-0.19
960	$\sigma_{\max} = -913360 \text{ N/m}^2$	-0.17	$\sigma_{\max} = -913190 \text{ N/m}^2$	-0.15
	$\sigma_{\min} = 1162600 \text{ N/m}^2$	-0.06	$\sigma_{\min} = 1162400 \text{ N/m}^2$	-0.05



22	ASTA A SEZIONE VARIABILE	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica/ dinamica	lineare	trave

Descrizione	Asta a sezione di forma circolare di due diversi diametri semplicemente appoggiata e soggetta, oltre al peso proprio, a due masse concentrate verticali: vengono richieste la determinazione della prima frequenza fondamentale e gli spostamenti nei punti di applicazione delle masse	
Geometria	lunghezza $L = 45.72 \text{ cm}$ diametro sezione maggiore $D_1 = 3.175 \text{ cm}$ diametro sezione minore $D_2 = 2.54 \text{ cm}$	
Vincoli	Semplicemente appoggiata	
Carichi	a metà della zona a sezione maggiore a 7 pollici (17.78cm) di distanza dalla precedente	$P = 136.08 \text{ Kg}$ ($MZ=136.08 / 981=0.13672 \text{ Kgm}$) $P = 226.8 \text{ Kg}$ ($MZ=226.8 / 981=0.23193 \text{ Kgm}$)
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson Densità di massa	$E = 2.1 \cdot 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ $\nu = 0.3$ $\rho = 0.00785 \text{ Kg/cm}^3$
Risultati teorici²⁰	Spostamento verticale in corrispondenza dei carichi Frequenza naturale	$u_z = 0.065024 \text{ cm}$ $u_z = 0.040386 \text{ cm}$ $f = 20.7 \text{ Hz}$

²⁰ W. T. Thomson, Mechanical Vibration, II edizione, Prentice-Hall, New Jersey, 1953, pag. 202

LiFE		Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %	Algor	Errore %
Valutazione spostamento 						
u _z = 0.06444 cm u _z = 0.040133 cm		0.90 0.63	u _z = 0.06444 cm u _z = 0.040133 cm	0.90 0.63	u _z = 0.06528cm u _z = 0.040386 cm	-0.40 -0.63
LiFE		Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %	Algor	Errore %
Valutazione frequenza 						
f = 20.7 Hz		0.00	f = 20.5 Hz	1.00	f = 20.7 Hz	0.00

23

TRAVE APPOGGIATA : VALUTAZIONE FREQUENZE

Analisi

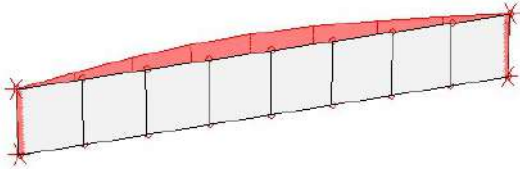
Calcolo

Elementi

dinamica

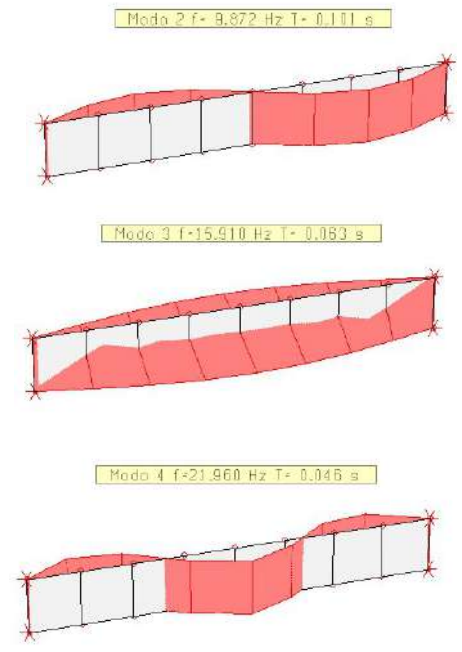
lineare

Guscio/piastra

Descrizione	Trave in acciaio semplicemente appoggiata e soggetta solo al proprio peso.	
Geometria	lunghezza $L = 2.438 \text{ m}$ altezza sezione $h = 0.3048 \text{ m}$ base sezione $b = 0.00635 \text{ m}$	
Vincoli	La trave deve risultare semplicemente appoggiata pertanto tutti i nodi di estremità sono stati vincolati alla traslazione UY, le estremità superiori anche alla traslazione verticale (UZ) ed uno a quella orizzontale UX	
Carichi	Soggetto solo al peso proprio	$\rho = 76977.4 \text{ N/m}^3$
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 2.0684 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$ $\nu = 0.30$
Risultati teorici²¹	Prime 4 frequenze naturali	$f_n = \frac{i^2 \pi^2}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$ $f_1 = 2.4494 \text{ Hz}$ $f_2 = 9.910 \text{ Hz}$ $f_3 = \text{nd}$ $f_4 = 22.34 \text{ Hz}$

21 S. Timoshenko, W. Weaver, D.H. Young, "vibration Problems in Engineering", New York, Wiley, 1974

Valutazione frequenza



LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
$f_1 = 2.482 \text{ Hz}$	-1.33	$f_1 = 2.484 \text{ Hz}$	-1.41
$f_2 = 9.872 \text{ Hz}$	0.38	$f_2 = 9.979 \text{ Hz}$	-0.70
$f_3 = 15.910 \text{ Hz}$	-	$f_3 = 15.890 \text{ Hz}$	-
$f_4 = 21.960 \text{ Hz}$	1.72	$f_4 = 22.590 \text{ Hz}$	-1.12

24

FASCIO DI TRAVI: VALUTAZIONE DELLE FREQUENZE

Analisi

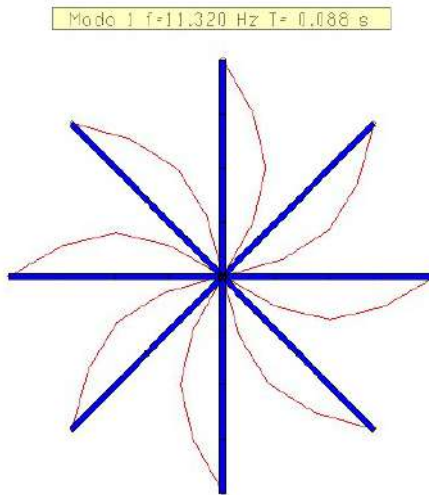
Calcolo

Elementi

Dinamica

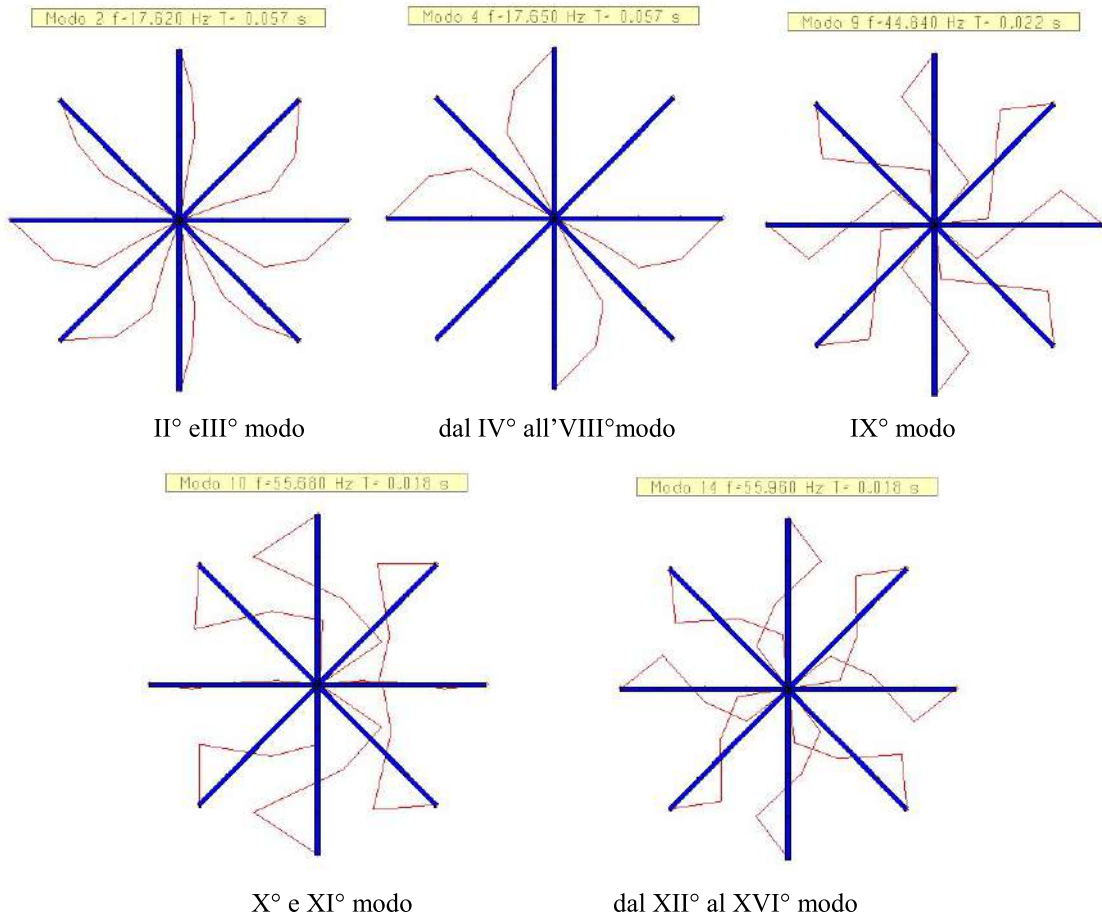
lineare

Trave

Descrizione	Sistema di travi collegate nei punti centrali soggette solo al proprio peso e vincolate agli estremi da cerniere	
Geometria	lunghezza travi L = 5.00 m sezione 0.125x0.125 m	 <p>immagine relativa alla forma del 1° modo</p>
Vincoli	Incernierate agli estremi	
Carichi	Soggetto solo al peso proprio	$\rho = 78480 \text{ N/m}^3$
Proprietà materiale	Modulo elastico	$E = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
Risultati teorici²²	Prime 20 frequenze naturali	$f_1 = 11.336 \text{ Hz}$ $f_{2-8} = 17.715 \text{ Hz}$ $f_9 = 45.477 \text{ Hz}$ $f_{10-20} = 57.369 \text{ Hz}$

²² W.C. Young, R.G. Budynas "Roark's formulas for stress and strain" (settima edizione), New York: McGraw-Hill, 2002, pag. 768 tabella 16.1 caso 16a

Valutazione frequenza



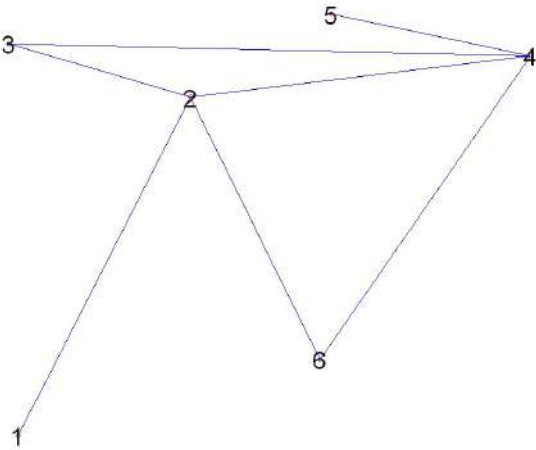
LiFE	Errore %
$f_1 = 11.320$ Hz	0.14%
$f_{2-8} = 17.650$ Hz	0.34%
$f_9 = 44.840$ Hz	1.40%
$f_{10-20} = 55.960$ Hz	2.46%

25	VIBRAZIONE DI UN CUNEO	Analisi	Calcolo	Elementi
		dinamica	lineare	Guscio/piastra

Descrizione	Valutazione della frequenza fondamentale di una piastra cuneiforme di spessore costante, incastrata all'estremo e soggetta solo al proprio peso		
Geometria	lunghezza trave $l = 16\text{in}$ (0.4064m) larghezza $b = 2\text{in}$ (0.0508m) spessore $t = 1\text{in}$ (0.0254m)		
Vincoli	Incastro all'estremo		
Carichi	Soggetto solo al peso proprio	$\rho = 7.28 \cdot 10^{-3} \text{ lb s}^2/\text{in}^4$ $\left[\frac{77008.5 \text{ N/m}^3}{9.81 \text{ m/s}^2} \right]$	
Proprietà materiale	Modulo elastico	$E = 3 \times 10^7 \text{ psi}$ $[2.0601 \times 10^{11} \text{ N/m}^2]$	
Risultati teorici ²³	Prima frequenza naturale	$f_1 = 259.16 \text{ Hz}$	

Valutazione frequenza		
LiFE	Errore %	
$f_1 = 241.60 \text{ Hz}$	6.74%	

²³ S. Timoshenko, D. H. Young. 'Vibration Problems in Engineering'. Terza Edizione. D. Van Nostrand Co., Inc.. New York, NY. 1955 pag. 392, articolo 62

Descrizione	Sistema di sette aste reticolari soggette a due carichi indipendenti: un carico concentrato verticale ed una variazione di temperatura		
Geometria	lunghezza trave $L = 16\text{in}$ (0.4064m)		
	larghezza $B = 2\text{in}$ (0.0508m)		
spessore $t = 1\text{in}$ (0.0254m)			
Vincoli	Incastro agli estremi (nodi 1, 3, 5, 6)		
Carichi	Due combinazioni di carico: - Carico concentrato al nodo 4 - variazione di temperatura	$P = 1000\text{ lb}$ $\Delta T = 50^\circ\text{F}$	$[4448\text{ N}]$ $[90^\circ\text{C}]$
Proprietà materiale	Modulo elastico	$E = 3 \times 10^7\text{ psi}$	$[2.0685 \cdot 10^{11}\text{ N/m}^2]$
Risultati teorici²⁴	<u>Combinazione di carico 1:</u>		
	Forza agente sull'asta tra i nodi 3 e 4	$F_5 = 56\text{ lb}$	$[249.008\text{ N}]$
	Forza agente sull'asta tra i nodi 4 e 6	$F_4 = -1250\text{ lb}$	$[-5560\text{ N}]$
	<u>Combinazione di carico 2:</u>		
Forza agente sull'asta tra i nodi 3 e 4	$F_5 = -1295\text{ lb}$	$[5760.16\text{ N}]$	

Valutazione sforzo

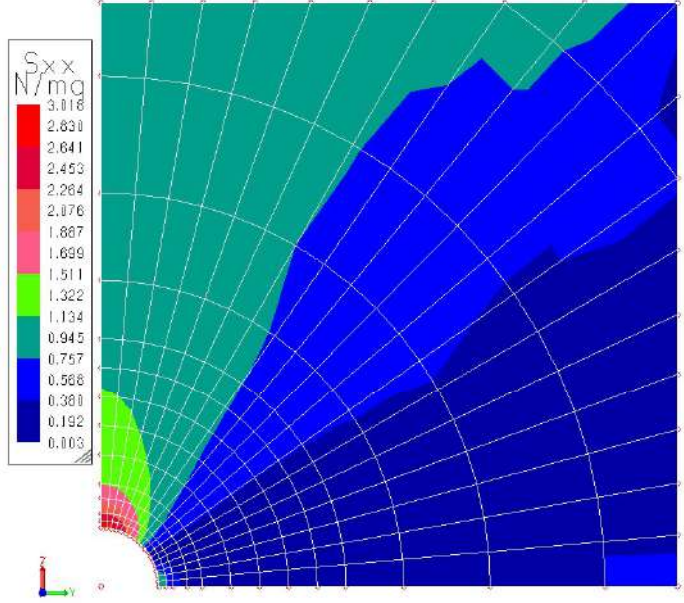
mesh	LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
Combinazione di carico 1	$F_5 = 248.737\text{ N}$ $F_4 = 5560\text{ N}$	0.11% 0	$F_5 = 248.737\text{ N}$ $F_4 = 5560\text{ N}$	0.11% 0
Combinazione di carico 2	$F_5 = 5749.07\text{ N}$	0.19%	$F_5 = 5749.07\text{ N}$	0.19%

²⁴ S. Timoshenko, D. H. Young. 'Theory of structures' Seconda Edizione. McGraw-Hill, New York 1965 pag. 330

27	PIASTRA FORATA ISOTROPA: CONCENTRAZIONE DELLO STRESS	Analisi	Calcolo	Elementi
		Statica	lineare	Guscio/piastra – stato piano di tensione

Descrizione	Piastra quadrata di lato unitario con un foro circolare, di diametro pari ad un decimo del lato; viene valutato il valore massimo dello sforzo attorno al foro quando sottoposta ad uno sforzo di trazione uniforme	
Geometria	Lato piastra $L = 1$ Raggio foro $R = 0.1$ spessore $t = 0.1$	
Vincoli	Considerata la simmetria del problema viene modellato solo $\frac{1}{4}$ della piastra applicando adeguati vincoli (poiché l'analisi viene svolta sul piano Y-Z, viene vincolata la traslazione in Y sul lato verticale e la traslazione in Z su quello orizzontale)	
Carichi	Pressione uniforme di compressione sul lato tra i nodi 2 e 3 di valore unitario	$p_Y = 1$
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 1$ $\nu = 0.3$
Risultati teorici²⁵	Valore massimo dello sforzo attorno al foro	$\sigma_z = 3.093$

²⁵ O.C. Zienkiewicz, 'The Finite Element Method in Engineering Science' Seconda Edizione. McGraw-Hill, New York 1965

<p>Valutazione sforzo</p>				
<p>tipo</p>	<p>LiFE</p>	<p>Errore %</p>	<p>MasterSap solutore precedente</p>	<p>Errore %</p>
<p>Elementi stato piano di tensione</p>	<p>$\sigma = 3.052$</p>	<p>1.33</p>	<p>$\sigma = 3.012$</p>	<p>2.62</p>
<p>Elementi guscio/piastra</p>	<p>$\sigma = 3.018$</p>	<p>2.43</p>	<p>$\sigma = 3.018$</p>	<p>2.43</p>

28

GUSCIO EMISFERICO FORATO

Analisi

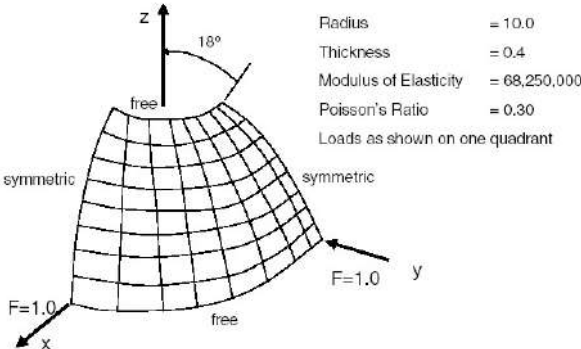
Calcolo

Elementi

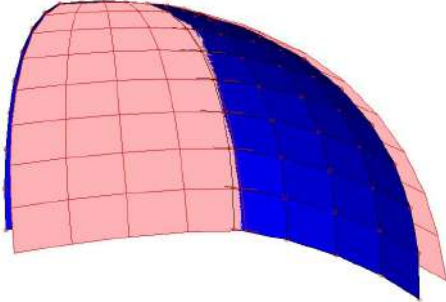
Statica

lineare

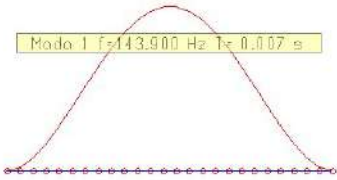
Guscio/piastra

Descrizione	Guscio emisferico forato in sommità e soggetto a carichi concentrati alla base: per ulteriori informazioni si faccia riferimento alla figura riportata di seguito. Grazie alla simmetria del problema, è stato possibile ridurre il modello ad un quarto della struttura, applicando ovviamente adeguati vincoli ai nodi posti in corrispondenza dei lati sezionati	
Geometria	raggio $r = 0.10 \text{ m}$ spessore $t = 0.04 \text{ m}$ angolo foro $\sigma = 18^\circ$ mesh 64 elementi (8x8)	 <p>Radius = 10.0 Thickness = 0.4 Modulus of Elasticity = 68,250,000 Poisson's Ratio = 0.30 Loads as shown on one quadrant</p>
Vincoli	Per dare stabilità all'intero sistema, si è posto un unico vincolo in direzione verticale, al nodo posto in corrispondenza del punto medio del bordo alla base del guscio	
Carichi	Concentrati su 4 nodi posti alla base del guscio $F = 1 \text{ N}$	
Proprietà materiale	Modulo elastico $E = 6.825 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ Coefficiente di Poisson $\nu = 0.3$	
Risultati teorici²⁶	Spostamento in piano massimo nella direzione di applicazione del carico $u_Y = 0.094 \text{ cm}$	

²⁶ R.H. MacNeal e R.C. Harder, "A proposed standard set of problems to test finite element accuracy", Finite elements in analysis and design, n°1 (1985), pag. 3-20, North-Holland

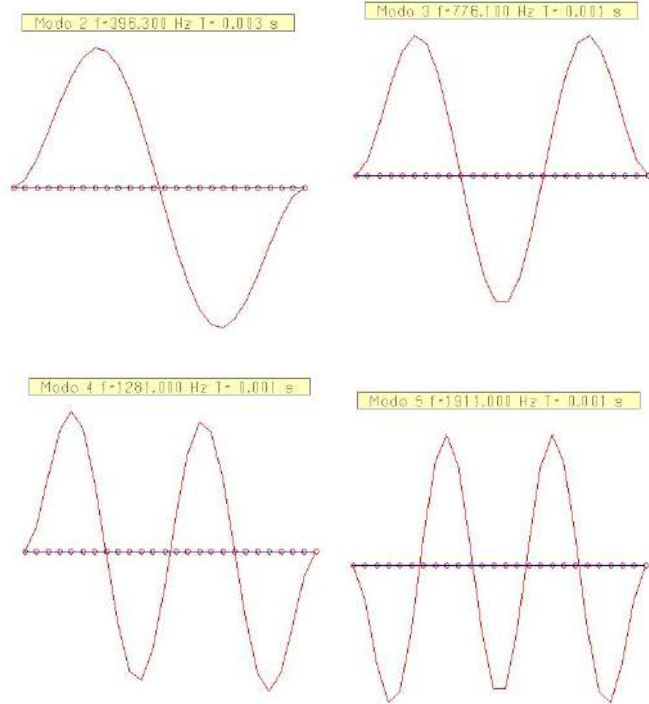
<p>Valutazione spostamento</p>			
LiFE	Errore %	MasterSap solutore precedente	Errore %
uY = 0.093067 m	0.99	uY = 0.0924583 m	1.64

29	TRAVE INCASTRATA: VALUTAZIONE FREQUENZE	Analisi	Calcolo	Elementi
		dinamica	lineare	trave

Descrizione	Trave di sezione uniforme incastrata agli estremi e soggetta solo al proprio peso. Vengono valutate le prime cinque frequenze naturali																
Geometria	lunghezza L = 1.00 m																
	sezione quadrata di lato b = 0.01 m																
Vincoli	Incastrato agli estremi																
Carichi	Soggetto a carico uniforme	$\rho = 10000 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \Rightarrow w = 10000 \cdot 0.01^2 = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}}$															
Proprietà materiale	Modulo elastico Coefficiente di Poisson	$E = 2.0 \cdot 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ $\nu = 0.3$															
Risultati teorici²⁷	Prime 5 frequenze naturali	$f_n = \frac{K_n}{2\pi} \sqrt{\frac{EIg}{wL}}$ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">K_n</td> <td style="text-align: center;">22.4</td> <td style="text-align: center;">61.7</td> <td style="text-align: center;">121</td> <td style="text-align: center;">200</td> <td style="text-align: center;">299</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">f_n</td> <td style="text-align: center;">144.2</td> <td style="text-align: center;">397.1</td> <td style="text-align: center;">778.7</td> <td style="text-align: center;">1287.1</td> <td style="text-align: center;">1924.2</td> </tr> </table>				K_n	22.4	61.7	121	200	299	f_n	144.2	397.1	778.7	1287.1	1924.2
K_n	22.4	61.7	121	200	299												
f_n	144.2	397.1	778.7	1287.1	1924.2												

²⁷ W.C. Young, R.G. Budynas "Roark's formulas for stress and strain" (settima edizione), New York: McGraw-Hill, 2002, pag. 765 tabella 16.1 caso 2b

Valutazione frequenza



LiFE	Errore %	MasterSap	Errore %
$f_1 = 143.9$	0.17	$f_1 = 143.9$	0.17
$f_2 = 396.3$	0.19	$f_2 = 396.3$	0.19
$f_3 = 776.1$	0.33	$f_3 = 776.1$	0.33
$f_4 = 1280$	0.55	$f_4 = 1280$	0.55
$f_5 = 1911$	0.68	$f_5 = 1911$	0.68

LICENZA D'USO SOFTWARE

Ragione Sociale: **GVC S.R.L.**

Indirizzo: **VIA DELLA PINETA, 1**

CAP: **85100**

Città: **POTENZA**

Prov.: **PZ**

Telefono: **0971.1654301**

Fax:

Email: **michele.restaino@gvcsrl.eu**

Partita IVA: **01737760767**

Codice Fiscale:

DATI RELATIVI ALL'INSTALLAZIONE DEI PROGRAMMI (se diversi da quelli di fatturazione)

Nominativo

Indirizzo (Via, n°, CAP, città, prov. e tel.):

DESCRIZIONE PROGRAMMI

TITOLO PROGRAMMA	AUTORE / DISTRIBUT.	VERS.	N° LICENZA D'USO	DECORRENZA LICENZA D'USO	SCADENZA ASSIST./ MANUT.
MASTERSAP TOP	AMV	33,00	34854	04/02/2008	30/04/2021
ANALISI NON LINEARE TOP	AMV	33,00	34854	23/11/2011	30/04/2021
SOLUTORE PUSHOVER TOP	AMV	33,00	34854	26/07/2011	30/04/2021
MASTERARM TOP	AMV	33,00	34854	04/02/2008	30/04/2021
MASTERESIST TOP	AMV	33,00	34854	26/07/2011	30/04/2021
MASTERMURI TOP	AMV	33,00	34854	04/02/2008	30/04/2021
MASTERLEGNO TOP	AMV	33,00	34854	31/10/2013	30/04/2021
MASTERSTEEL TOP	AMV	33,00	34854	31/10/2013	30/04/2021
MASTERNODO TOP	AMV	33,00	34854	23/11/2011	30/04/2021
CAD C.A. TRAVI/PILASTRI E VIEW	AMV	33,00	34855	04/02/2008	30/04/2021
IMPAGINATORE DXF TOP	AMV	33,00	34855	23/11/2011	30/04/2021
SUITE CAD ACCIAIO TOP	AMV	33,00	36453	23/11/2011	30/04/2021
VERIFICHE RINFORZI	AMV	33,00	36475	19/12/2011	30/04/2021
VERIFICHE C.A. T.A./SL./S.L.U	AMV	33,00	36454	23/11/2011	30/04/2021
SOLAI TOP	AMV	33,00	36455	23/11/2011	30/04/2021

**Attestato dell'affidabilità del codice di calcolo e delle procedure implementate nei prodotti software AMV
In base al paragrafo 10.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018 e successivi aggiornamenti).**

In base a quanto richiesto al par. 10.2 del D.M. 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) il produttore e distributore AMV s.r.l. espone la seguente relazione riguardante il solutore numerico e, più in generale, la procedura di analisi e dimensionamento MasterSap. Si fa presente che sul proprio sito (www.amv.it) è disponibile sia il manuale teorico del solutore sia il documento comprendente i numerosi esempi di validazione. Essendo tali documenti (formati da centinaia di pagine) di pubblico dominio, si ritiene sufficiente proporre una sintesi, sia pure adeguatamente esauriente, dell'argomento.

Il motore di calcolo adottato da MasterSap, denominato LiFE-Pack, è un programma ad elementi finiti che permette l'analisi statica e dinamica in ambito lineare e non lineare, con estensioni per il calcolo degli effetti del secondo ordine.

Il solutore lineare usato in analisi statica ed in analisi modale è basato su un classico algoritmo di fattorizzazione multifrontale per matrici sparse che utilizza la tecnica di condensazione supernodale ai fini di velocizzare le operazioni. Prima della fattorizzazione viene eseguito un riordino simmetrico delle righe e delle colonne del sistema lineare al fine di calcolare un percorso di eliminazione ottimale che massimizza la sparsità del fattore. Il solutore modale è basato sulla formulazione inversa dell'algoritmo di Lanczos noto come *Thick Restarted Lanczos* ed è particolarmente adatto alla soluzione di problemi di grande e grandissima dimensione ovvero con molti gradi di libertà. L'algoritmo di Lanczos oltre ad essere supportato da una rigorosa teoria matematica, è estremamente efficiente e competitivo e non ha limiti superiori nella dimensione dei problemi, se non quelli delle risorse hardware della macchina utilizzata per il calcolo.

Per la soluzione modale di piccoli progetti, caratterizzati da un numero di gradi di libertà inferiore a 500, l'algoritmo di Lanczos non è ottimale e pertanto viene utilizzato il classico solutore modale per matrici dense simmetriche contenuto nella ben nota libreria LAPACK.

L'analisi con i contributi del secondo ordine viene realizzata aggiornando la matrice di rigidezza elastica del sistema con i contributi della matrice di rigidezza geometrica.

Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato.

Grande attenzione è stata riservata agli esempi di validazione del solutore. Gli esempi sono stati tratti dalla letteratura tecnica consolidata e i confronti sono stati realizzati con i risultati teorici e, in molti casi, con quelli prodotti, sugli esempi stessi, da prodotti internazionali di comparabile e riconosciuta validità. Il manuale di validazione è disponibile sul sito www.amv.it.

E' importante segnalare, forse ancora con maggior rilievo, che l'affidabilità del programma trova riscontro anche nei risultati delle prove di collaudo eseguite su sistemi progettati con MasterSap. I verbali di collaudo (per alcuni progetti di particolare importanza i risultati sono disponibili anche nella letteratura tecnica) documentano che i risultati delle prove, sia in campo statico che dinamico, sono corrispondenti con quelli dedotti dalle analisi numeriche, anche per merito della possibilità di dar luogo, con MasterSap, a raffinate modellazioni delle strutture. In MasterSap sono presenti moltissime procedure di controllo e filtri di autodia-gnostica. In fase di input, su ogni dato, viene eseguito un controllo di compatibilità. Un'ulteriore procedura di controllo può essere lanciata dall'utente in modo da individuare tutti gli errori gravi o gli eventuali difetti della modellazione. Analoghi controlli vengono eseguiti da MasterSap in fase di calcolo prima della preparazione dei dati per il solutore. I dati trasferiti al solutore sono facilmente consultabili attraverso la lettura del file di input in formato XML, leggibili in modo immediato dall'utente. Apposite procedure di controllo sono predisposte per i programmi di dimensionamento per l'acciaio, legno, alluminio, muratura etc. Tali controlli riguardano l'esito della verifica: vengono segnalati, per via numerica e grafica (vedi esempio a fianco), i casi in contrasto con le comuni tecniche costruttive e gli errori di dimensionamento (che bloccano lo sviluppo delle fasi successive della progettazione, ad esempio il disegno esecutivo). Nei casi previsti dalla norma, ad esempio qualora contemplato dalle disposizioni sismiche in applicazione, vengono eseguiti i controlli sulla geometria strutturale, che vengono segnalati con la stessa modalità dei difetti di progettazione.

Ulteriori funzioni, a disposizione dell'utente, agevolano il controllo dei dati e dei risultati. E' possibile eseguire una funzione di ricerca su tutte le proprietà (geometriche, fisiche, di carico etc) del modello individuando gli elementi interessati.

Si possono rappresentare e interrogare graficamente, in ogni sezione desiderata, tutti i risultati dell'analisi e del dimensionamento strutturale. Nel caso sismico viene evidenziata la posizione del centro di massa e di rigidezza del sistema.

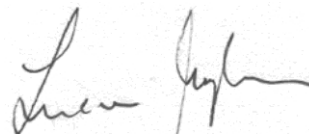
Per gli edifici è possibile, per ogni piano, a partire dalle fondazioni, conoscere la risultante delle azioni verticali orizzontali. Analoghi risultati sono disponibili per i vincoli esterni.

Le altre procedure di calcolo, oltre a MasterSap, seguono la medesima impostazione teorica e lo stesso procedimento di validazione.

Nei relativi manuali viene fornita una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, dei metodi e criteri usati per il dimensionamento strutturale e delle sezioni; vengono forniti esempi significativi che possono essere facilmente replicati, segnalando che si tratta spesso di procedure di calcolo e di verifica, che per loro natura, non denotano particolari complessità teoriche e concettuali.

Il rilascio di ogni nuova versione dei programmi è sottoposta a rigorosi check automatici che mettono a confronto i risultati della release in esame con quelli già validati e realizzati da versioni precedenti. Inoltre, sessioni specifiche di lavoro sono condotte da personale esperto per controllare il corretto funzionamento delle varie procedure software, con particolare riferimento a quelle che sono state oggetto di interventi manutentivi o di aggiornamento.

AMV s.r.l.
Amministratore Unico
Ing. Luciano Migliorini



LICENZA D'USO SOFTWARE

Ragione Sociale: **GVC S.R.L.**

Indirizzo: **VIA DELLA PINETA, 1**

CAP: **85100**

Città: **POTENZA**

Prov.: **PZ**

Telefono: **0971.1654301**

Fax:

Email: **mr@gvcingegneria.it**

Partita IVA: **01737760767**

Codice Fiscale:

DATI RELATIVI ALL'INSTALLAZIONE DEI PROGRAMMI (se diversi da quelli di fatturazione)

Nominativo

Indirizzo (Via, n°, CAP, città, prov. e tel.):

DESCRIZIONE PROGRAMMI

TITOLO PROGRAMMA	AUTORE / DISTRIBUT.	VERS.	N° LICENZA D'USO	DECORRENZA LICENZA D'USO	SCADENZA ASSIST./ MANUT.
MASTERSAP TOP	AMV	33,21	34854	04/02/2008	30/04/2022
ANALISI NON LINEARE TOP	AMV	33,21	34854	23/11/2011	30/04/2022
SOLUTORE PUSHOVER TOP	AMV	33,21	34854	26/07/2011	30/04/2022
MASTERARM TOP	AMV	33,21	34854	04/02/2008	30/04/2022
MASTERESIST TOP	AMV	33,21	34854	26/07/2011	30/04/2022
MASTERMURI TOP	AMV	33,21	34854	04/02/2008	30/04/2022
MASTERLEGNO TOP	AMV	33,21	34854	31/10/2013	30/04/2022
MASTERSTEEL TOP	AMV	33,21	34854	31/10/2013	30/04/2022
MASTERNODO TOP	AMV	33,21	34854	23/11/2011	30/04/2022
CAD C.A. TRAVI/PILASTRI E VIEW	AMV	33,21	34855	04/02/2008	30/04/2022
IMPAGINATORE DXF TOP	AMV	33,21	34855	23/11/2011	30/04/2022
SUITE CAD ACCIAIO TOP	AMV	33,21	36453	23/11/2011	30/04/2022
VERIFICHE RINFORZI	AMV	33,21	36475	19/12/2011	30/04/2022
VERIFICHE C.A. T.A./SL./S.L.U	AMV	33,21	36454	23/11/2011	30/04/2022
SOLAI TOP	AMV	33,21	36455	23/11/2011	30/04/2022

**Attestato dell'affidabilità del codice di calcolo e delle procedure implementate nei prodotti software AMV
In base al paragrafo 10.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018 e successivi aggiornamenti).**

In base a quanto richiesto al par. 10.2 del D.M. 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni) il produttore e distributore AMV s.r.l. espone la seguente relazione riguardante il solutore numerico e, più in generale, la procedura di analisi e dimensionamento MasterSap. Si fa presente che sul proprio sito (www.amv.it) è disponibile sia il manuale teorico del solutore sia il documento comprendente i numerosi esempi di validazione. Essendo tali documenti (formati da centinaia di pagine) di pubblico dominio, si ritiene sufficiente proporre una sintesi, sia pure adeguatamente esauriente, dell'argomento.

Il motore di calcolo adottato da MasterSap, denominato LiFE-Pack, è un programma ad elementi finiti che permette l'analisi statica e dinamica in ambito lineare e non lineare, con estensioni per il calcolo degli effetti del secondo ordine.

Il solutore lineare usato in analisi statica ed in analisi modale è basato su un classico algoritmo di fattorizzazione multifrontale per matrici sparse che utilizza la tecnica di condensazione supernodale ai fini di velocizzare le operazioni. Prima della fattorizzazione viene eseguito un riordino simmetrico delle righe e delle colonne del sistema lineare al fine di calcolare un percorso di eliminazione ottimale che massimizza la sparsità del fattore. Il solutore modale è basato sulla formulazione inversa dell'algoritmo di Lanczos noto come *Thick Restarted Lanczos* ed è particolarmente adatto alla soluzione di problemi di grande e grandissima dimensione ovvero con molti gradi di libertà. L'algoritmo di Lanczos oltre ad essere supportato da una rigorosa teoria matematica, è estremamente efficiente e competitivo e non ha limiti superiori nella dimensione dei problemi, se non quelli delle risorse hardware della macchina utilizzata per il calcolo.

Per la soluzione modale di piccoli progetti, caratterizzati da un numero di gradi di libertà inferiore a 500, l'algoritmo di Lanczos non è ottimale e pertanto viene utilizzato il classico solutore modale per matrici dense simmetriche contenuto nella ben nota libreria LAPACK.

L'analisi con i contributi del secondo ordine viene realizzata aggiornando la matrice di rigidezza elastica del sistema con i contributi della matrice di rigidezza geometrica.

Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato.

Grande attenzione è stata riservata agli esempi di validazione del solutore. Gli esempi sono stati tratti dalla letteratura tecnica consolidata e i confronti sono stati realizzati con i risultati teorici e, in molti casi, con quelli prodotti, sugli esempi stessi, da prodotti internazionali di comparabile e riconosciuta validità. Il manuale di validazione è disponibile sul sito www.amv.it.

E' importante segnalare, forse ancora con maggior rilievo, che l'affidabilità del programma trova riscontro anche nei risultati delle prove di collaudo eseguite su sistemi progettati con MasterSap. I verbali di collaudo (per alcuni progetti di particolare importanza i risultati sono disponibili anche nella letteratura tecnica) documentano che i risultati delle prove, sia in campo statico che dinamico, sono corrispondenti con quelli dedotti dalle analisi numeriche, anche per merito della possibilità di dar luogo, con MasterSap, a raffinate modellazioni delle strutture. In MasterSap sono presenti moltissime procedure di controllo e filtri di autodia-gnostica. In fase di input, su ogni dato, viene eseguito un controllo di compatibilità. Un ulteriore procedura di controllo può essere lanciata dall'utente in modo da individuare tutti gli errori gravi o gli eventuali difetti della modellazione. Analoghi controlli vengono eseguiti da MasterSap in fase di calcolo prima della preparazione dei dati per il solutore. I dati trasferiti al solutore sono facilmente consultabili attraverso la lettura del file di input in formato XML, leggibili in modo immediato dall'utente. Apposite procedure di controllo sono predisposte per i programmi di dimensionamento per l'acciaio, legno, alluminio, muratura etc. Tali controlli riguardano l'esito della verifica: vengono segnalati, per via numerica e grafica (vedi esempio a fianco), i casi in contrasto con le comuni tecniche costruttive e gli errori di dimensionamento (che bloccano lo sviluppo delle fasi successive della progettazione, ad esempio il disegno esecutivo). Nei casi previsti dalla norma, ad esempio qualora contemplato dalle disposizioni sismiche in applicazione, vengono eseguiti i controlli sulla geometria strutturale, che vengono segnalati con la stessa modalità dei difetti di progettazione.

Ulteriori funzioni, a disposizione dell'utente, agevolano il controllo dei dati e dei risultati. E' possibile eseguire una funzione di ricerca su tutte le proprietà (geometriche, fisiche, di carico etc) del modello individuando gli elementi interessati.

Si possono rappresentare e interrogare graficamente, in ogni sezione desiderata, tutti i risultati dell'analisi e del dimensionamento strutturale. Nel caso sismico viene evidenziata la posizione del centro di massa e di rigidezza del sistema.

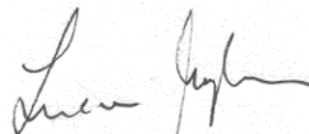
Per gli edifici è possibile, per ogni piano, a partire dalle fondazioni, conoscere la risultante delle azioni verticali orizzontali. Analoghi risultati sono disponibili per i vincoli esterni.

Le altre procedure di calcolo, oltre a MasterSap, seguono la medesima impostazione teorica e lo stesso procedimento di validazione.

Nei relativi manuali viene fornita una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, dei metodi e criteri usati per il dimensionamento strutturale e delle sezioni; vengono forniti esempi significativi che possono essere facilmente replicati, segnalando che si tratta spesso di procedure di calcolo e di verifica, che per loro natura, non denotano particolari complessità teoriche e concettuali.

Il rilascio di ogni nuova versione dei programmi è sottoposta a rigorosi check automatici che mettono a confronto i risultati della release in esame con quelli già validati e realizzati da versioni precedenti. Inoltre, sessioni specifiche di lavoro sono condotte da personale esperto per controllare il corretto funzionamento delle varie procedure software, con particolare riferimento a quelle che sono state oggetto di interventi manutentivi o di aggiornamento.

AMV s.r.l.
Amministratore Unico
Ing. Luciano Migliorini



Aztec Informatica®

API⁺⁺

Platee, Plinti, Graticci

ESEMPI DI VALIDAZIONE

Copyright © 2016 Aztec Informatica s.r.l.

Tutti i diritti riservati.

Qualsiasi documento tecnico che venga reso disponibile da Aztec Informatica è stato realizzato da Aztec Informatica che ne possiede il Copyright ed è proprietà di Aztec Informatica. La documentazione potrebbe contenere imprecisioni tecniche o di altro tipo, oppure errori tipografici. Aztec Informatica si riserva il diritto di apportare modifiche senza preavviso.

Introduzione

Il presente documento raccoglie un insieme di test effettuati per verificare l'affidabilità e l'applicabilità del software prodotto dalla Aztec Informatica.

I test effettuati hanno evidenziato la corrispondenza tra i risultati ottenuti utilizzando il software Aztec e la soluzione teorica riportata nei testi di riferimento.

Ogni esempio svolto riporta la fonte di riferimento e i dati necessari per riproporre il calcolo eseguito.

Esempi di validazione

Di seguito vengono riportati degli esempi numerici svolti manualmente ed i risultati verranno confrontati con i valori ottenuti dal programma, ipotizzando gli stessi schemi di calcolo.

- Esempio n° 1: Piastra rettangolare poggiate sui lati di lunghezza b ed incastrate sui lati di lunghezza a , caricata con carico uniforme q .
- Esempio n° 2: Piastra rettangolare incastrata su tutti i lati, caricata con carico uniforme q .
- Esempio n° 3: Piastra rettangolare poggiate sui quattro lati. Carico parziale uniforme q applicato su un'impronta $u \times v$.
- Esempio n° 4: Piastra rettangolare poggiate sui tre lati ed incastrata sul lato di lunghezza a , caricata con carico uniforme q .
- Esempio n° 5: Piastra rettangolare poggiate sui due lati di lunghezza b ed incastrata sul un solo lato di lunghezza a , caricata con carico uniforme q .
- Esempio n° 6: Piastra rettangolare appoggiata su tre lati e libera sul un solo lato di lunghezza a , caricata con carico uniforme q .
- Esempio n° 7: Piastra circolare incastrata al bordo di raggio a . Carico concentrato P a distanza b dal centro piastra.
- Esempio n° 8: Piastra triangolare equilatera di altezza a appoggiata ai bordi, caricata con carico uniforme q .
- Esempio n° 9: Piastra a forma di parallelogramma obliquo, poggiate sui quattro lati, caricata con carico uniforme q .
- Esempio n° 10: Piastra a forma di parallelogramma obliquo, appoggiata su due lati (lati $y=0$ e $y=a$ liberi), caricata con carico uniforme q .
- Esempio n° 11: Piastra a forma di generica semplicemente appoggiata, caricata con carico uniforme q .
- Esempio n° 12: Determinare il cedimento del baricentro di un serbatoio circolare nell'ipotesi di terreno omogeneo e isotropo indefinitamente esteso verso il basso.
- Esempio n° 13: Determinare il cedimento del baricentro di un serbatoio circolare nell'ipotesi di terreno omogeneo e isotropo indefinitamente esteso verso il basso.
- Esempio n° 14: Determinare il cedimento medio di consolidazione subito dalla torre di Pisa, prescindendo dalla sua inclinazione.
- Esempio n° 15: Determinare la linea di pressione nulla e gli spostamenti in corrispondenza degli spigoli del plinto.

Esempio n° 1

Riferimento: **Theory of Plates and shells.**

S.P. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger

Second Edition

McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION, Engineering Mechanics Series

Pagina 185.

Piastra rettangolare poggata sui lati di lunghezza b ed incastrata sui lati di lunghezza a. Carico uniforme q.

Tabella 29. Coefficienti α , β_1 , β_2 e γ per il calcolo di spostamenti e momenti con $\nu = 0.3$

$b < a$					$b > a$				
a/b	α	β_1	β_2	γ	b/a	α	β_1	β_2	γ
inf	0,00260	0,01250	0,04170	-0,08330	1	0,00192	0,02440	0,03820	-0,06970
2	0,00260	0,01420	0,04200	-0,08420	1,1	0,00251	0,03070	0,03710	-0,07870
1,5	0,00247	0,01790	0,04060	-0,08220	1,2	0,00319	0,03760	0,04000	-0,08680
1,4	0,00240	0,01920	0,03990	-0,08100	1,3	0,00388	0,04460	0,04260	-0,09380
1,3	0,00244	0,02030	0,03880	-0,07940	1,4	0,00460	0,05140	0,04480	-0,09980
1,2	0,00223	0,02150	0,03750	-0,07710	1,5	0,00531	0,05850	0,04600	-0,10490
1,1	0,00209	0,02300	0,03550	-0,07390	1,6	0,00603	0,06500	0,04690	-0,10900
					1,7	0,00668	0,07120	0,04750	-0,11220
					1,8	0,00732	0,07680	0,04770	-0,11520
					1,9	0,00790	0,08210	0,04760	-0,11740
					2	0,00844	0,08690	0,04740	-0,11910
					3	0,01168	0,11440	0,04190	-0,12460
					inf	0,01302	0,12500	0,03750	-0,12500

a, b: lati della piastra;

s: spessore della piastra;

q: carico uniformemente distribuito;

E: modulo elastico della piastra;

ν : coefficiente di Poisson;

$$D = \frac{E s^3}{12(1-\nu^2)};$$

se $a < b$

$$w_{\max} = \alpha \frac{q b^4}{D}; \left(x = \frac{a}{2}; y = 0\right)$$

$$M_x = \beta_1 q b^2; \left(x = \frac{a}{2}; y = 0\right)$$

$$M_y = \beta_2 q b^2; \left(x = \frac{a}{2}; y = 0\right)$$

$$M_y = \gamma q b^2; \left(x = \frac{a}{2}; y = \frac{b}{2}\right)$$

$$D = \frac{E s^3}{12(1-\nu^2)}$$

se $b \geq a$

$$w_{\max} = \alpha \frac{q a^4}{D}; \left(x = \frac{a}{2}; y = 0\right)$$

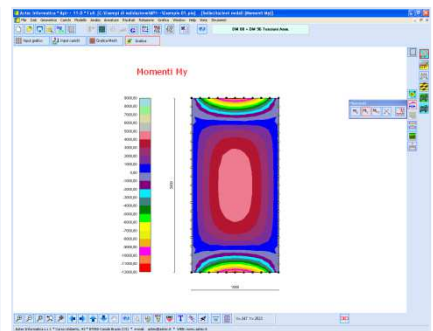
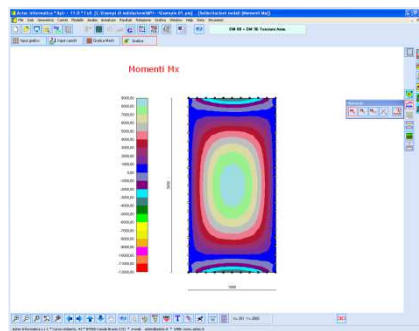
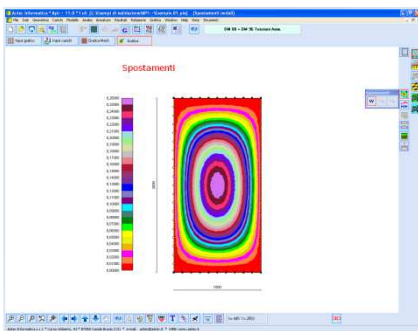
$$M_x = \beta_1 q a^2; \left(x = \frac{a}{2}; y = 0\right)$$

$$M_y = \beta_2 q a^2; \left(x = \frac{a}{2}; y = 0\right)$$

$$M_y = \gamma q a^2; \left(x = \frac{a}{2}; y = \frac{b}{2}\right)$$

	<p>DATI</p> <p>a [cm] = 1000 b [cm] = 2000 s [cm] = 50 q [kg/cm²] = 0.1 E [kg/cm²] = 285000 ν = 0.3</p>	<p>RISULTATI</p> <p>b/a = 2 D [kg cm] = 3262362637 α = 0,00844 w_{max} [cm] = 0,2587 β₁ = 0,08690 M_x [kgxcm/cm] = 8690 β₂ = 0,04740 M_y [kgxcm/cm] = 4740 γ = -0,11910 M_y [kgxcm/cm] = -11910</p>
--	---	---

	Elem/nodi	w _{max}	M _x	M _y
Autore	-	0.2587	8690	4740
API - Quadrangolare Classica 10x20	325/364	0.2567	8667	4709
API - Quadrangolare Classica 20x40	1275/1352	0.2583	8681	4729
API - Quadrangolare Classica 40x60	2888/3003	0.2589	8692	4737
API - Triangolare non strutturata 10x20	476/269	0.2583	8735	4761
API - Triangolare non strutturata 20x40	1862/992	0.2587	8689	4737
API - Triangolare non strutturata 40x60	7430/3836	0.2588	8688	4738
API - Triangolare strutturata 10x20	400/231	0.2584	8738	4773
API - Triangolare strutturata 20x40	1600/861	0.2587	8700	4745
API - Triangolare strutturata 40x60	6400/3321	0.2588	8690	4739



Esempio n° 2

Riferimento: **Theory of Plates and shells.**

S.P. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger

Second Edition

McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION, Engineering Mechanics Series

Pagina 197.

Piastra rettangolare incastrata su tutti i lati. Carico uniforme q.

Tabella 35. Coefficienti $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ e α_5 per il calcolo di spostamenti e momenti con $\nu = 0.3$

$\nu=0,3; b>a;$					
a/b	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5
1	0,00126	-0,05130	-0,05130	0,02310	0,02310
1,1	0,00150	-0,05810	-0,05380	0,02640	0,02310
1,2	0,00172	-0,06390	-0,05540	0,02990	0,02280
1,3	0,00191	-0,06870	-0,05630	0,03270	0,02220
1,4	0,00207	-0,07260	-0,05680	0,03490	0,02120
1,5	0,00220	-0,07570	-0,05700	0,03680	0,02030
1,6	0,00230	-0,07800	-0,05710	0,03810	0,01930
1,7	0,00238	-0,07990	-0,05710	0,03920	0,01820
1,8	0,00245	-0,08120	-0,05710	0,04010	0,01740
1,9	0,00249	-0,08220	-0,05710	0,04070	0,01650
2	0,00254	-0,08290	-0,05710	0,04120	0,01580
inf	0,00260	-0,08330	-0,05710	0,04170	0,01250

a, b: lati della piastra;

s: spessore della piastra;

q: carico uniformemente distribuito;

E: modulo elastico della piastra;

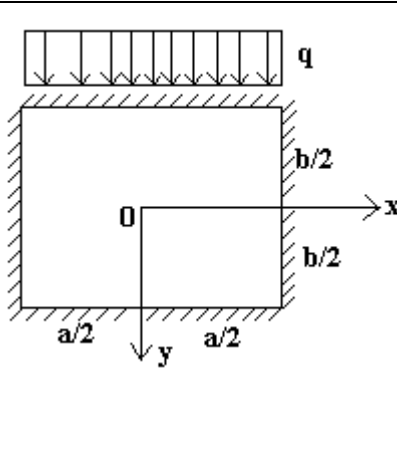
ν : coefficiente di Poisson;

$$D = \frac{E s^3}{12(1-\nu^2)}$$

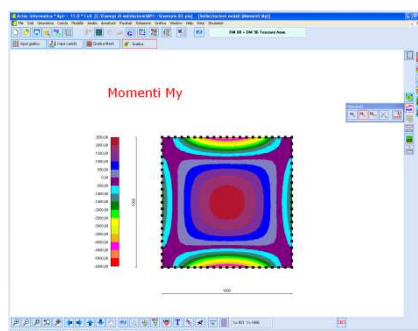
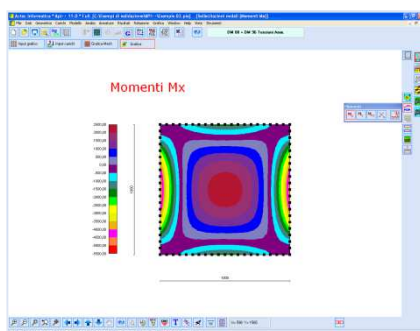
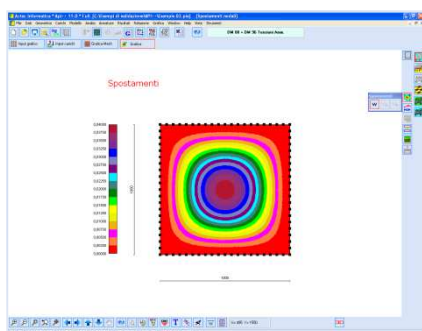
$$w_{\max} = \alpha_1 \frac{q a^4}{D}; (x=0; y=0)$$

$$M_x \left(x = \frac{a}{2}; y = 0 \right) = \alpha_2 q a^2; M_y \left(x = 0; y = \frac{b}{2} \right) = \alpha_3 q a^2;$$

$$M_x(x=0; y=0) = \alpha_4 q a^2; M_y(x=0; y=0) = \alpha_5 q a^2;$$

	DATI		RISULTATI													
	a = 1000 [cm]	b = 1000 [cm]	s = 50 [cm]	q = 0,1 [kg/cmq]	E = 285000 [kg/cmq]	$\nu = 0,3$	D = 3262362637 [kg cm]	$\alpha_1 = 0,00126$	$w_{\max} = 0,0386$ [cm]	$\alpha_2 = -0,05130$	$M_x = -5130$ [kgxcm/cm]	$\alpha_3 = -0,05130$	$M_y = -5130$ [kgxcm/cm]	$\alpha_4 = 0,02310$	$M_x = 2310$ [kgxcm/cm]	$\alpha_5 = 0,02310$

	Elem/nodi	w_{max}	Mx (0,0)	My (0,0)	Mx (a/2,0)	My (0,b/2)
Autore	-	0.0386	2310	2310	-5130	-5130
API - Quadrangolare Classica 10x10	100/121	0.0398	2382	2382	-5092	-5092
API - Quadrangolare Classica 20x20	400/441	0.0391	2313	2313	-5123	-5123
API - Quadrangolare Classica 40x40	1600/1681	0.0389	2296	2296	-5131	-5131
API - Quadrangolare Classica 60x60	3600/3721	0.0388	2293	2293	-5132	-5132
API - Triangolare non strutturata 10x10	308/175	0.0396	2317	2319	-5047	-5113
API - Triangolare non strutturata 20x20	1252/667	0.0390	2302	2302	-5089	-5107
API - Triangolare non strutturata 40x40	4992/2577	0.0388	2293	2293	-5115	-5111
API - Triangolare non strutturata 60x60	11104/5673	0.0388	2292	2292	-5120	-5120
API - Triangolare strutturata 10x10	200/121	0.0395	2381	2381	-5003	-5003
API - Triangolare strutturata 20x20	800/441	0.0390	2313	2313	-5075	-5075
API - Triangolare strutturata 40x40	3200/1681	0.0388	2296	2296	-5107	5107
API - Triangolare strutturata 60x60	7200/3721	0.0388	2293	2293	-5116	-5116



Esempio n° 3

Riferimento: **Theory of Plates and shells.**

S.P. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger

Second Edition

McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION, Engineering Mechanics Series

Pagina 135.

Piastra rettangolare poggata sui quattro lati. Carico parziale uniforme q applicato su un impronta $u \times v$.

Tabella 21. Coefficienti β e β_1 per il calcolo di $(M_x)_{max}$ e $(M_y)_{max}$ con $b = 1.4a$ e $\nu = 0.3$

u/a =	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
v/a	Coeff. $b - (M_x)_{max} = \beta P$						Coeff. $b - (M_y)_{max} = \beta_1 P$					
0.0	inf	0,276	0,208	0,163	0,134	0,11	inf	0,299	0,23	0,183	0,151	0,125
0.2	0,332	0,239	0,186	0,152	0,125	0,103	0,246	0,208	0,175	0,147	0,124	0,102
0.4	0,261	0,207	0,168	0,138	0,115	0,095	0,177	0,157	0,138	0,119	0,101	0,083
0.6	0,219	0,181	0,151	0,126	0,105	0,086	0,138	0,125	0,111	0,097	0,083	0,069
0.8	0,187	0,158	0,134	0,112	0,094	0,078	0,112	0,102	0,091	0,08	0,069	0,058
1.0	0,162	0,189	0,118	0,1	0,084	0,07	0,093	0,085	0,077	0,068	0,058	0,049
1.2	0,141	0,122	0,104	0,089	0,075	0,062	0,079	0,072	0,065	0,058	0,05	0,042
1.4	0,123	0,106	0,091	0,077	0,065	0,054	0,068	0,062	0,056	0,05	0,043	0,036

a, b: lati della piastra;

s: spessore della piastra;

u, v: impronta del carico q ;

q : carico uniformemente distribuito;

E: modulo elastico della piastra;

ν : coefficiente di Poisson;

$$D = \frac{E s^3}{12(1-\nu^2)}$$

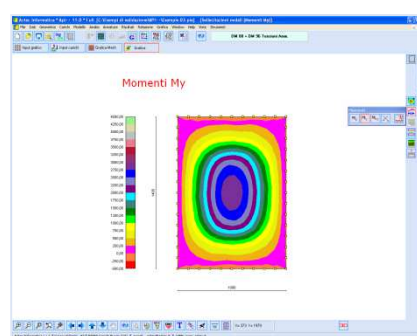
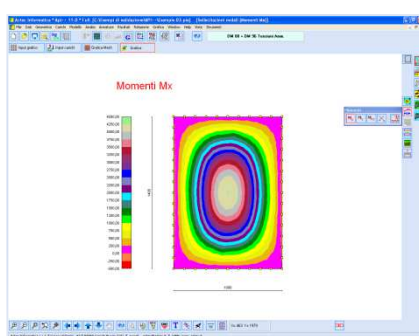
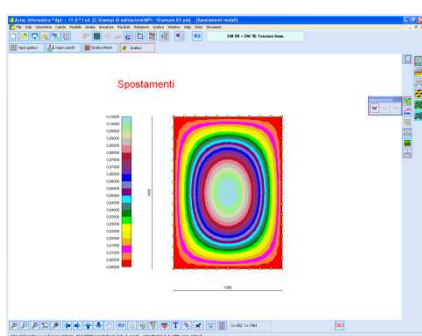
$$P = q u v;$$

$$M_x = \beta P;$$

$$M_y = \beta_1 P;$$

	DATI	RISULTATI
	a = 1000 [cm]	b/a = 1,4
	b = 1400 [cm]	D = 3262362637 [kg cm]
	s = 50 [cm]	P = 32000 [kg]
	q = 0,1 [kg/cm ²]	u/a = 0,4
	E = 285000 [kg/cm ²]	v/a = 0,8
	$\nu = 0,3$	$\beta = 0,13400$
	u = 400 [cm]	$(M_x)_{max} = 4288$ [kg×cm/cm]
	v = 800 [cm]	$\beta_1 = 0,09100$
		$(M_y)_{max} = 2912$ [kg×cm/cm]

	Elem/nodi	(Mx) _{max}	(My) _{max}
Autore	-	4288	2912
API - Quadrangolare Classica 10x14	160/187	4295	2927
API - Quadrangolare Classica 20x28	768/825	4277	2924
API - Quadrangolare Classica 40x56	2944/3055	4274	2922
API - Triangolare non strutturata 10x14	504/277	4262	2932
API - Triangolare non strutturata 20x28	1962/1030	4269	2922
API - Triangolare non strutturata 40x56	7698/3946	4272	2922
API - Triangolare strutturata 10x14	280/165	4290	2953
API - Triangolare strutturata 20x28	1120/609	4277	2930
API - Triangolare strutturata 40x56	4480/2337	4273	2924



Esempio n° 4

Riferimento: **Theory of Plates and shells.**

S.P. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger

Second Edition

McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION, Engineering Mechanics Series

Pagina 192.

Piastra rettangolare poggiata sui tre lati ed incastrata sul lato di lunghezza a. Carico uniforme q.

Tabella 32. Abbassamenti e momenti flettenti con $\nu = 0.3$

b/a	α	γ	β_1	β_2
inf	0,01300	-0,12500	0,12500	0,03700
2,0	0,00930	-0,12200	0,09400	0,04700
1,5	0,00640	-0,11200	0,06900	0,04800
1,4	0,00580	-0,10900	0,06300	0,04700
1,3	0,00500	-0,10400	0,05600	0,04500
1,2	0,00430	-0,09800	0,04900	0,04400
1,1	0,00350	-0,09200	0,04100	0,04200
1,0	0,00280	-0,08400	0,03400	0,03900
0,9091	0,00320	-0,09200	0,03300	0,04300
0,8333	0,00350	-0,09800	0,03200	0,04700
0,7692	0,00380	-0,10300	0,03100	0,05000
0,7143	0,00400	-0,10800	0,03000	0,05200
0,6667	0,00420	-0,11100	0,02800	0,05400
0,5	0,0049	-0,122	0,023	0,06
0,0	0,0052	-0,125	0,019	0,062

a, b: lati della piastra;

s: spessore della piastra;

q: carico uniformemente distribuito;

E: modulo elastico della piastra;

ν : coefficiente di Poisson;

$$D = \frac{E s^3}{12(1-\nu^2)};$$

se $b \geq a$

$$w\left(x = \frac{a}{2}; y = 0\right) = \alpha \frac{q a^4}{D};$$

$$M_x\left(x = \frac{a}{2}; y = 0\right) = \beta_1 q a^2; M_y\left(x = \frac{a}{2}; y = 0\right) = \beta_2 q a^2;$$

$$M_y\left(x = \frac{a}{2}; y = \frac{b}{2}\right) = \gamma q a^2;$$

se $b < a$

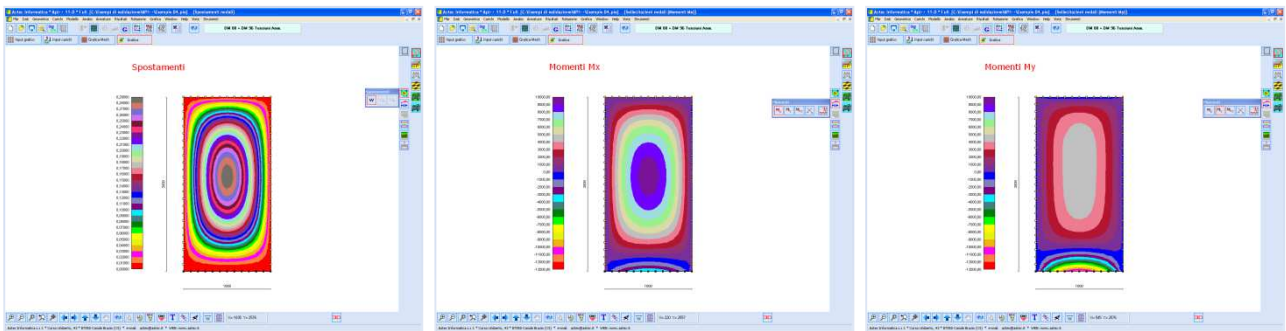
$$w\left(x = \frac{a}{2}; y = 0\right) = \alpha \frac{q b^4}{D};$$

$$M_x\left(x = \frac{a}{2}; y = 0\right) = \beta_1 q b^2; M_y\left(x = \frac{a}{2}; y = 0\right) = \beta_2 q b^2;$$

$$M_y\left(x = \frac{a}{2}; y = \frac{b}{2}\right) = \gamma q b^2;$$

	<p style="text-align: center;">DATI</p> <p>a = 1000 [cm] b = 2000 [cm] s = 50 [cm] q = 0,1 [kg/cmq] E = 285000 [kg/cmq] ν = 0,3</p>	<p style="text-align: center;">RISULTATI</p> <p>b/a = 2 D = 3262362637 [kg cm] α = 0,00930 w = 0,2851 [cm] β₁ = 0,09400 M_x = 9400 [kgxcm/cm] β₂ = 0,04700 M_y = 4700 [kgxcm/cm] γ = -0,12200 M_y = -12200 [kgxcm/cm]</p>
--	---	---

	Elem/nodi	w (a/2,0)	M _x (a/2,0)	M _y (a/2,0)	M _y (a/2,b/2)
Autore	-	0.2851	9400	4700	-12200
API - Quadrangolare Classica 12x22	392/435	0.2839	9441	4688	-12069
API - Quadrangolare Classica 24x44	1568/1653	0.2841	9420	4687	-12130
API - Quadrangolare Classica 48x88	6272/6441	0.2841	9415	4687	-12146
API - Triangolare non strutturata 12x22	812/443	0.2837	9412	4694	-12016
API - Triangolare non strutturata 24x44	3298/1722	0.2841	9418	4687	-12075
API - Triangolare non strutturata 48x88	13258/6774	0.2841	9415	4689	-12122
API - Triangolare strutturata 12x22	512/293	0.2830	9390	4691	-11823
API - Triangolare strutturata 24x44	2168/1157	0.2839	9408	4689	-12004
API - Triangolare strutturata 48x88	8936/4613	0.2841	9412	4687	-12077



Esempio n° 5

Riferimento: **Theory of Plates and shells.**

S.P. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger

Second Edition

McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION, Engineering Mechanics Series

Pagina 208.

Piastra rettangolare poggata sui due lati di lunghezza b ed incastrata sul un solo lato di lunghezza a . Carico uniforme q .

Tabella 32. Abbassamenti e momenti flettenti con $\nu = 0.3$

b/a	α	β_1	β_2
0,0000	0,12500	0,00000	-0,50000
0,3333	0,09400	0,00780	-0,42800
0,5000	0,05820	0,02930	-0,31900
0,6667	0,03350	0,05580	-0,22700
1,0000	0,01130	0,09720	-0,11900
1,5000	0,01410	0,12300	-0,12400
2,0000	0,01500	0,13100	-0,12500
3,0000	0,01520	0,13300	-0,12500
inf	0,01520	0,13300	-0,12500

a, b : lati della piastra;
 s : spessore della piastra;
 q : carico uniformemente distribuito;
 E : modulo elastico della piastra;
 ν : coefficiente di Poisson;

$$D = \frac{E s^3}{12(1-\nu^2)};$$

se $b \geq a$

$$w_{\max} = \alpha \frac{q a^4}{D};$$

$$M_x \left(x = \frac{a}{2}; y = b \right) = \beta_1 q a^2; M_y \left(x = \frac{a}{2}; y = 0 \right) = \beta_2 q a^2;$$

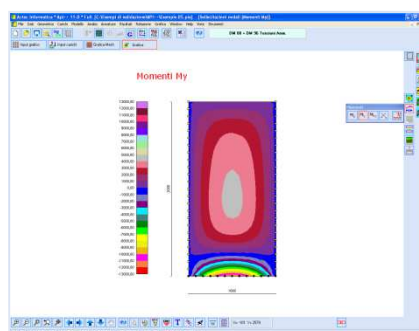
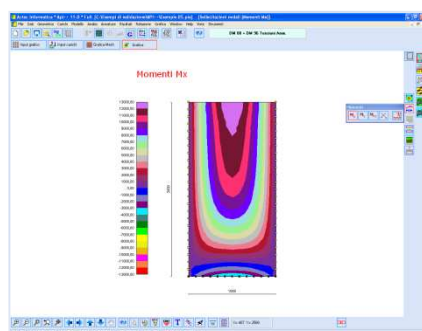
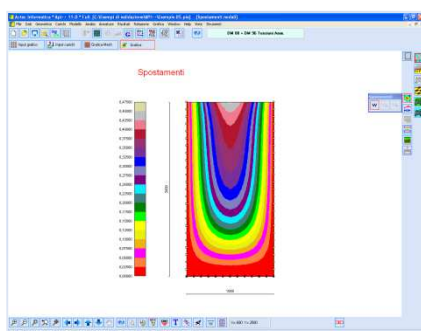
se $b < a$

$$w_{\max} = \alpha \frac{q b^4}{D};$$

$$M_x \left(x = \frac{a}{2}; y = b \right) = \beta_1 q b^2; M_y \left(x = \frac{a}{2}; y = 0 \right) = \beta_2 q b^2;$$

	<p style="text-align: center;">DATI</p> <p>a = 1000 [cm] b = 2000 [cm] s = 50 [cm] q = 0,1 [kg/cmq] E = 285000 [kg/cmq] ν = 0,3</p>	<p style="text-align: center;">RISULTATI</p> <p>b/a = 2 D = 3262362637 [kg cm] α = 0,01500 w_{max} = 0,4598 [cm] β₁ = 0,13100 M_x = 13100 [kgxcm/cm] β₂ = -0,12500 M_y = -12500 [kgxcm/cm]</p>
--	---	--

	Elem/nodi	wmax	Mx (a/2,b)	My (a/2,0)
Autore	-	0.4598	13100	-12500
API - Quadrangolare Classica 12x22	392/435	0.4564	13056	-12377
API - Quadrangolare Classica 24x44	1568/1653	0.4578	13054	-12444
API - Quadrangolare Classica 48x88	6216/6384	0.4581	13053	-12461
API - Triangolare non strutturata 12x22	674/374	0.4560	12888	-12314
API - Triangolare non strutturata 24x44	2696/1421	0.4577	12968	-12398
API - Triangolare non strutturata 48x88	10718/5504	0.4581	13006	-12418
API - Triangolare strutturata 12x22	510/292	0.4547	12882	-12129
API - Triangolare strutturata 24x44	2166/1156	0.4573	12965	-12316
API - Triangolare strutturata 48x88	8934/4612	0.4580	13007	-12391



Esempio n° 6

Riferimento: **Theory of Plates and shells.**

S.P. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger

Second Edition

McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION, Engineering Mechanics Series

Pagina 211.

Piastra rettangolare appoggiata su tre lati e libera sul un solo lato di lunghezza a. Carico uniforme q.

Tabella 32. Abbassamenti e momenti flettenti con $\nu = 0.3$

b/a	α	β_1	β_2	β_3
0,5000	0,00710	0,06000	0,03900	0,0220
0,6667	0,00968	0,08300	0,05500	0,0300
0,7143	0,01023	0,08800	0,05900	0,0320
0,7692	0,01092	0,09400	0,06400	0,0340
0,8333	0,01158	0,10000	0,06900	0,0360
0,9091	0,01232	0,10700	0,07400	0,0370
1,0000	0,01286	0,11200	0,08000	0,0390
1,1000	0,01341	0,11700	0,08500	0,0400
1,2000	0,01384	0,12100	0,09000	0,4100
1,3000	0,01417	0,12400	0,0940	0,0420
1,4000	0,01442	0,12600	0,0980	0,0420
1,5000	0,01462	0,12800	0,1010	0,0420
2,0000	0,01507	0,13200	0,1130	0,0410
3,0000	0,01520	0,13300	0,1220	0,0390
inf	0,01522	0,13300	0,1250	0,0370

a, b: lati della piastra;

s: spessore della piastra;

q: carico uniformemente distribuito;

E: modulo elastico della piastra;

ν : coefficiente di Poisson;

$$D = \frac{E s^3}{12(1-\nu^2)};$$

$$w_{\max} = \alpha \frac{q a^4}{D};$$

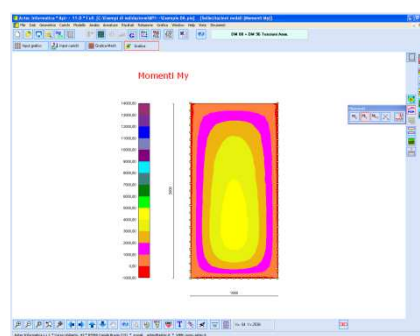
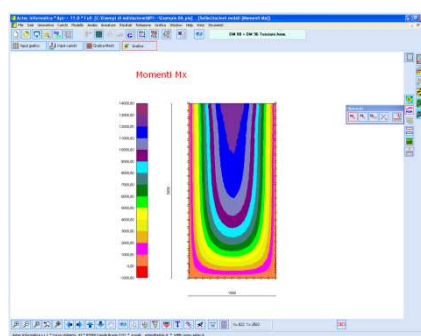
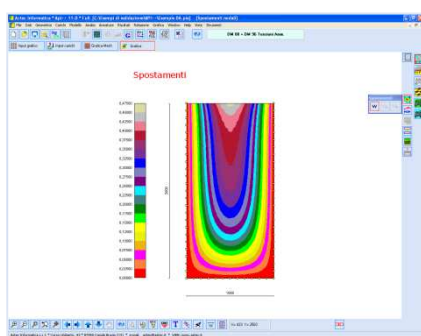
$$M_{x \max} = \beta_1 q a^2; \left(x = \frac{a}{2}; y = b \right)$$

$$M_x = \beta_2 q a^2; \left(x = \frac{a}{2}; y = \frac{b}{2} \right)$$

$$M_y = \beta_3 q a^2; \left(x = \frac{a}{2}; y = \frac{b}{2} \right)$$

	<p style="text-align: center;">DATI</p> <p>a = 1000 [cm] b = 2000 [cm] s = 50 [cm] q = 0,1 [kg/cmq] E = 285000 [kg/cmq] ν = 0,3</p>	<p style="text-align: center;">RISULTATI</p> <p>b/a = 2 D = 3262362637 [kg cm] α = 0,01507 w_{max} = 0,4619 [cm] β₁ = 0,13200 M_x = 13200 [kgxcm/cm] β₂ = 0,11300 M_x = 11300 [kgxcm/cm] β₃ = 0.04100 M_y = 4100 [kgxcm/cm]</p>
--	---	--

	Elem/nodi	w _{max}	M _x (a/2,b)	M _x (a/2,b/2)	M _y (a/2,b/2)
Autore	-	0.4619	13200	11300	4100
API - Quadrangolare Classica 12x22	392/435	0.4599	13161	11257	4142
API - Quadrangolare Classica 24x44	1568/1653	0.4614	13161	11250	4141
API - Quadrangolare Classica 48x88	6272/6441	0.4618	13161	11249	4141
API - Triangolare non strutturata 12x22	812/443	0.4597	13005	11247	4149
API - Triangolare non strutturata 24x44	3298/1722	0.4614	13082	11257	4140
API - Triangolare non strutturata 48x88	13258/6774	0.4618	13118	11252	4145
API - Triangolare strutturata 12x22	512/293	0.4583	12990	11217	4164
API - Triangolare strutturata 24x44	2168/1157	0.4610	13073	11240	4150
API - Triangolare strutturata 48x88	8936/4613	0.4618	13115	11246	4144



Esempio n° 7

Riferimento: **Theory of Plates and shells.**

S.P. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger

Second Edition

McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION, Engineering Mechanics Series

Pagina 290.

Piastra circolare incastrata al bordo di raggio a. Carico concentrato P a distanza b dal centro piastra.

a: raggio della piastra;

s: spessore della piastra;

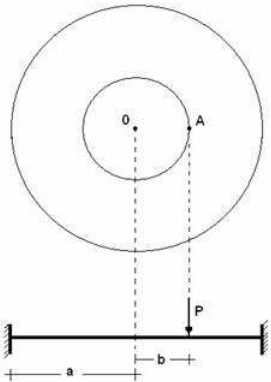
q: carico uniformemente distribuito;

E: modulo elastico della piastra;

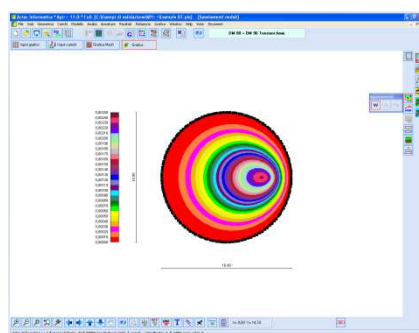
v: coefficiente di Poisson;

$$D = \frac{E s^3}{12 (1 - \nu^2)};$$

$$w_{(r=b)} = \frac{P}{16 \pi D} \frac{(a^2 - b^2)^2}{a^2};$$

	DATI	RISULTATI
	<p>a = 500 [cm] b = 333.33 [cm] s = 30 [cm] P = 1000 [kg/cm] E = 285000 [kg/cmq] v = 0,3</p>	<p>D = 704670330 [kg cm] α = 0,01507 w (r = b) = 2,178 [cm]</p>

	Elem/nodi	w (r=b)
Autore	-	0.002178
API - Triangolare non strutturata 10x10	792/429	0.002201
API - Triangolare non strutturata 20x20	1004/535	0.002197
API - Triangolare non strutturata 40x40	6142/3168	0.002179



Esempio n° 8

Riferimento: **Theory of Plates and shells.**

S.P. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger

Second Edition

McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION, Engineering Mechanics Series

Pagina 313.

Piastra triangolare equilatera di altezza a appoggiata ai bordi. Carico uniforme q .

a : altezza triangolo equilatero;

s : spessore della piastra;

q : carico uniformemente distribuito;

E : modulo elastico della piastra;

ν : coefficiente di Poisson;

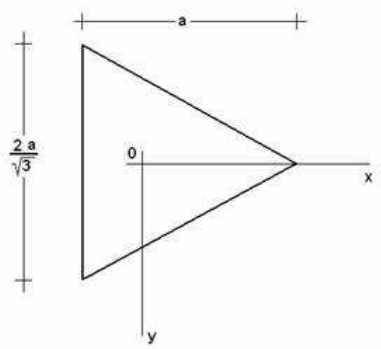
$$D = \frac{E s^3}{12(1-\nu^2)};$$

$$w(0,0) = \frac{1}{972} \frac{q a^4}{D};$$

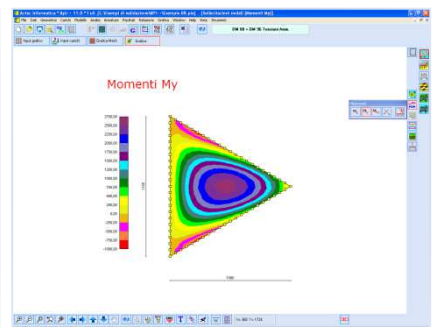
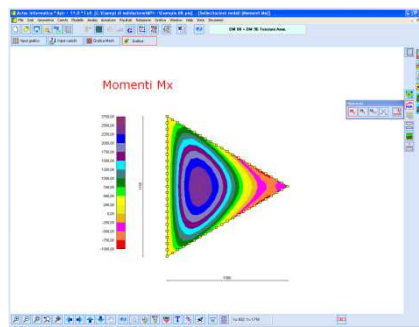
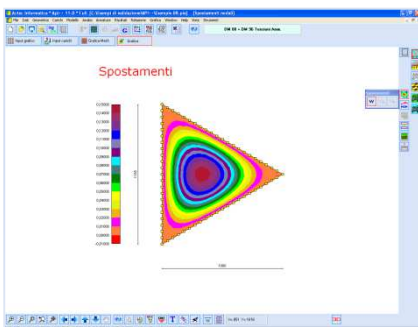
$$M_x = M_y(0,0) = (1+\nu) \frac{q a^2}{54};$$

$$M_x \max(x = -0.0620 a; y = 0) = 0.0248 q a^2;$$

$$M_y \max(x = -0.129 a; y = 0) = 0.0259 q a^2;$$

	DATI		RISULTATI	
	$a = 1000$	[cm]	$D = 704670330$	[kg cm]
	$s = 30$	[cm]	Lato = 1154.70	[cm]
	$q = 0.1$	[kg/cmq]	$\alpha = 0,01507$	
	$E = 285000$	[kg/cmq]	$w(0,0) = 0,1460$	[cm]
	$\nu = 0,3$		$M_x(0,0) = 2407.41$	[kgxcm/cm]
			$M_y(0,0) = 2407.41$	[kgxcm/cm]
			$M_{x\max} = 2480$	[kgxcm/cm]
			$M_{y\max} = 2590$	[kgxcm/cm]

	Elem/nodi	w(0,0)	Mx(0,0)	My(0,0)	Mx max	My max
Autore	-	0.1460	2407	2407	2480	2590
API - Triangolare strutturata 10x22	480/275	0.1455	2405	2438	2513	2594
API - Triangolare strutturata 20x44	1790/963	0.1460	2417	2398	2502	2594
API - Triangolare strutturata 40x88	6916/3592	0.1461	2407	2414	2503	2594



Esempio n° 9

Riferimento: **Theory of Plates and shells.**

S.P. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger

Second Edition

McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION, Engineering Mechanics Series

Pagina 318.

Piastra a forma di parallelogramma obliquo, poggata sui quattro lati. Carico uniforme q.

Tabella 77. Abbassamenti e momenti flettenti con $\nu = 0.2$

ϕ	m	n	α	β
0	2	2	0,01013	0,0999
30	2,02	1,75	0,01046	0,0968
45	2	1,414	0,00938	0,0898
60	2	1	0,00796	0,0772
75	2	0,518	0,00094	0,0335

a: altezza triangolo equilatero;

s: spessore della piastra;

q: carico uniformemente distribuito;

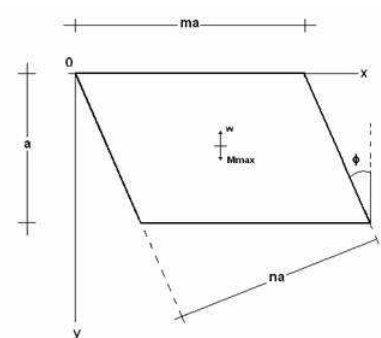
E: modulo elastico della piastra;

ν : coefficiente di Poisson;

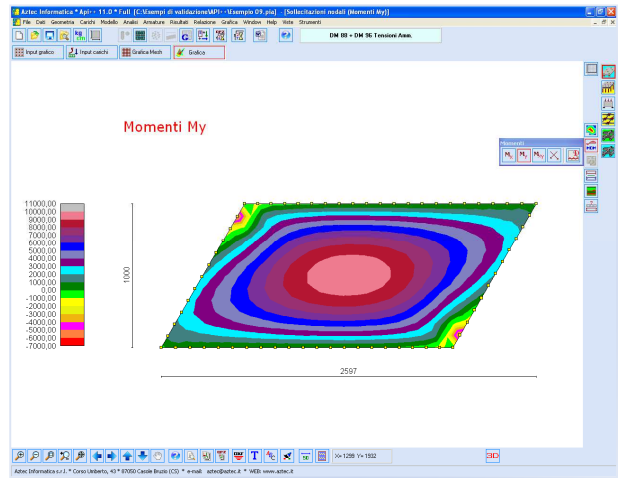
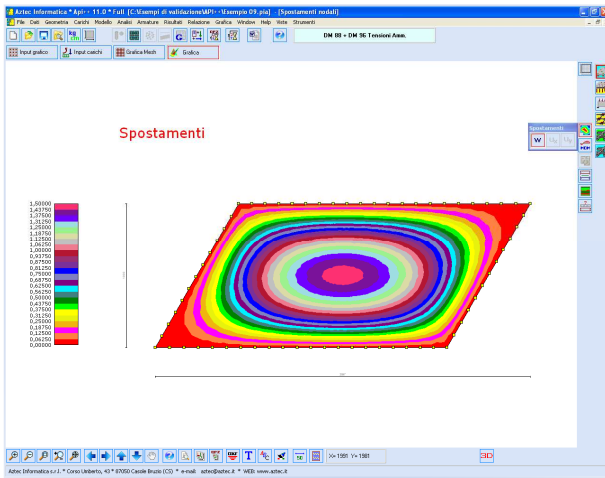
$$D = \frac{E s^3}{12(1-\nu^2)}$$

$$w(\text{centro piastra}) = \alpha \frac{q a^4}{D}$$

$$M_{\max} = \beta q a^2$$

	DATI	RISULTATI
	<p>a = 1000 [cm] s = 30 [cm] M = 2.02 q = 0,1 [kg/cmq] $\phi = 30$ [°] E = 285000 [kg/cmq] $\nu = 0,2$</p>	<p>D = 667968750 [kg cm] m x a = 2020.00 [cm] W_{centro} = 1,5659 [cm] My_{max} = 9680 [kgxcm/cm]</p>

	Elem/nodi	w (centro)	My max
Autore	-	1.5659	9680
API - Quadrangolare Classica 25x10	306/337	1.4688	9764
API - Quadrangolare Classica 50x20	1338/1401	1.4706	9737
API - Quadrangolare Classica 100x40	5172/5297	1.4704	9729
API - Triangolare non strutturata 25x10	614/341	1.4683	9736
API - Triangolare non strutturata 50x20	2426/1279	1.4701	9728
API - Triangolare non strutturata 100x40	9400/4829	1.4703	9727
API - Triangolare strutturata 25x10	400/233	1.4657	9760
API - Triangolare strutturata 50x20	1602/865	1.4695	9735
API - Triangolare strutturata 100x40	6450/3353	1.4697	9726



Esempio n° 10

Riferimento: **Theory of Plates and shells.**

S.P. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger

Second Edition

McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION, Engineering Mechanics Series

Pagina 318.

Piastra a forma di parallelogramma obliquo, appoggiata su due lati (lati $y=0$ e $y=a$ liberi). Carico uniforme q .

Tabella 77. Abbassamenti e momenti flettenti con $\nu = 0.2$

ϕ	m	n	α_0	α_1	β_0	β_1
0	2	2	0,214	0,224	0,495	0,508
30	1,92	1,67	0,1183	0,1302	0,386	0,367
45	2	1,414	0,0708	0,0869	0,291	0,296
60	2	1	0,186	0,0396	0,166	0,152

a : altezza triangolo equilatero;

s : spessore della piastra;

q : carico uniformemente distribuito;

E : modulo elastico della piastra;

ν : coefficiente di Poisson;

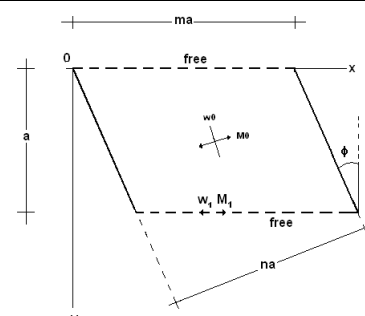
$$D = \frac{E s^3}{12(1-\nu^2)}$$

$$w_0 \text{ (centro piastra)} = \alpha_0 \frac{q a^4}{D}$$

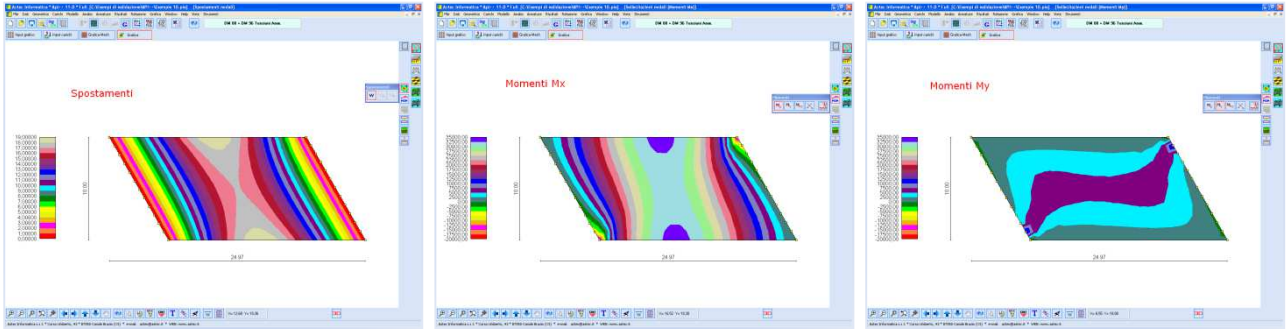
$$(M_0)_{\max} = \beta_0 q a^2$$

$$w_1 \text{ max (su lato libero)} = \alpha_1 \frac{q a^4}{D}$$

$$(M_1)_{\max} = \beta_1 q a^2$$

	DATI	RISULTATI
	$a = 1000$ [cm] $s = 30$ [cm] $m = 1.92$ $q = 0,1$ [kg/cmq] $\phi = 30$ [°] $E = 285000$ [kg/cmq] $\nu = 0,2$	$D = 667968750$ [kg cm] $m \times a = 1920.00$ [cm] $W_0 = 17,71$ [cm] $(M_0)_{\max} = 38600$ [kgxcm/cm] $W_1 = 19,49$ [cm] $(M_1)_{\max} = 36700$ [kgxcm/cm]

	Elem/nodi	W_0	$(M_0)_{\max}$	W_1	$(M_1)_{\max}$
Autore	-	17.71	38600	19.49	36700
API - Quadrangolare Classica 25x10	372/405	17.03	36673	18.76	33682
API - Quadrangolare Classica 50x20	1338/1401	17.05	36680	18.78	33679
API - Quadrangolare Classica 100x40	5224/5347	17.06	36683	18.80	33678
API - Triangolare non strutturata 25x10	616/341	17.03	36754	18.74	33284
API - Triangolare non strutturata 50x20	2350/1239	17.05	36694	18.77	33540
API - Triangolare non strutturata 100x40	9046/4648	17.06	36683	18.78	33590
API - Triangolare strutturata 25x10	392/228	16.99	36798	18.69	33237
API - Triangolare strutturata 50x20	1550/837	17.04	36708	18.75	33463
API - Triangolare strutturata 100x40	6174/3211	17.05	36689	18.77	33595



Esempio n° 11

Riferimento: **A new stabilized one-point integrated shear-elastic plate element. W. Wagner, F. Gruttmann. Universität Karlsruhe (TH) Institut für Baustatik. W. Wagner, F. Gruttmann**

Piastra a forma di generica semplicemente appoggiata, caricata con carico uniforme q . Determinare lo spostamento massimo e minimo subito dalla piastra.

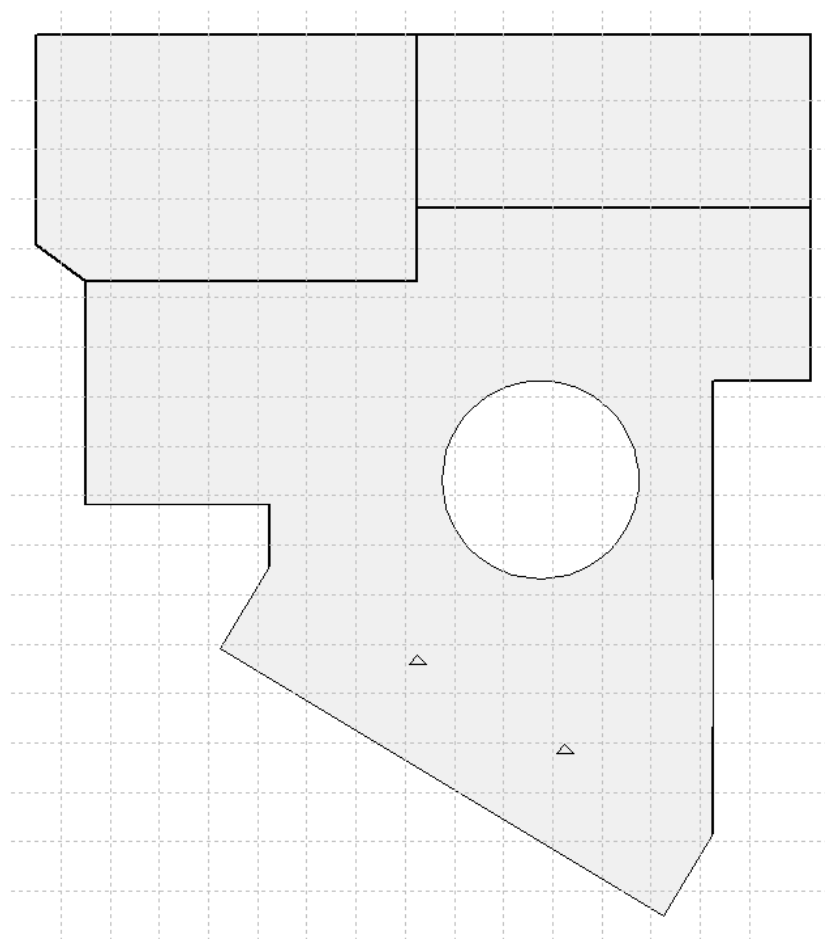
DATI

Carico uniformemente distribuito $q = 10.00 \text{ kN/m}^2$

Spessore della piastra $s = 25.0 \text{ cm}$

Modulo elastico materiale della piastra $E = 30000000 \text{ kN/m}^2$

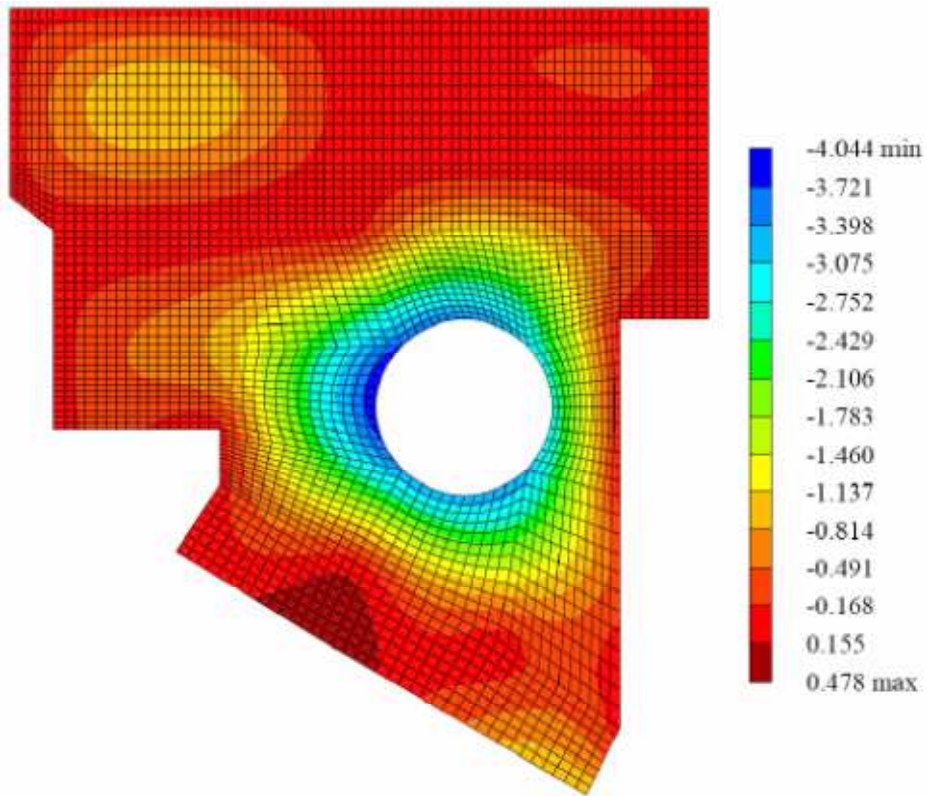
Coefficiente di Poisson $\nu = 0.2$



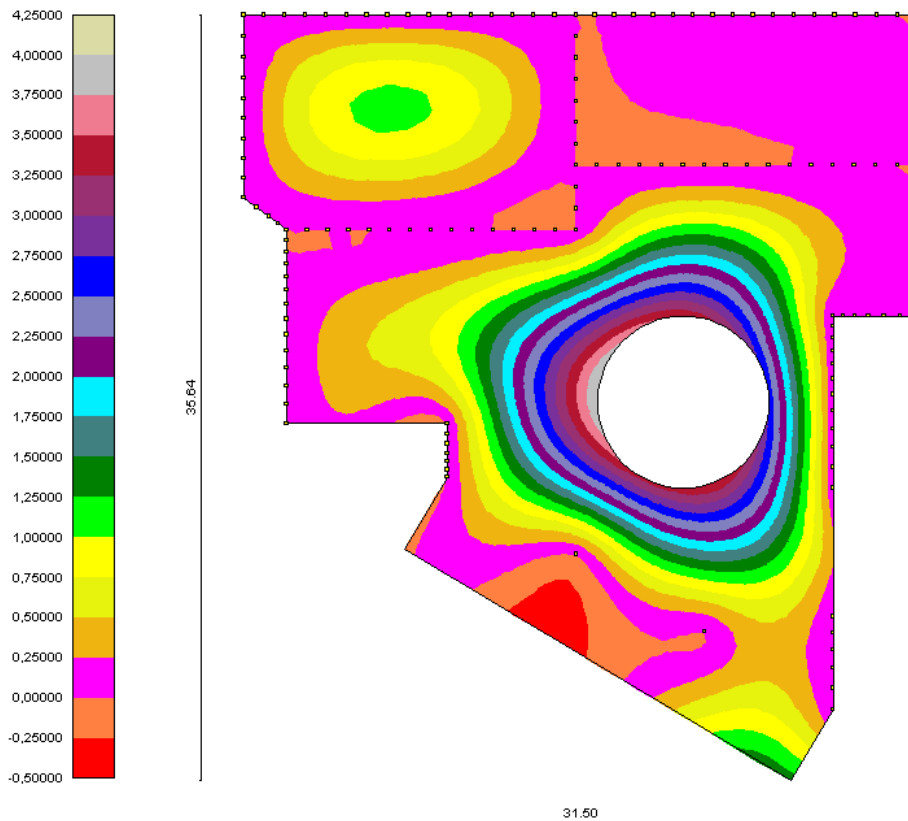
RISULTATI

	Soluzione ottenuta dall'autore	Soluzione ottenuta dal programma API ⁺⁺
Spostamento minimo [cm]	-0.478	-0.404
Spostamento massimo [cm]	4.044	4.011

Andamento degli spostamenti verticali. Soluzione ottenuta dall'autore.



Andamento degli spostamenti verticali. Soluzione ottenuta dal programma API⁺⁺.



Esempio n° 12

Riferimento: **Meccanica dei terreni.**

T.W. Lambe, R.V. Whitman

Traduzione di Calogero Valore – Università di Palermo

Dario Flacovio Editore

Esempio 14.13 - Pagina 235.

Determinare il cedimento del baricentro di un serbatoio circolare nell'ipotesi di terreno omogeneo e isotropo indefinitamente esteso verso il basso.

DATI

Diametro serbatoio $D = 46.72$ m;

Altezza serbatoio $H = 39.48$ m;

Carico totale (serbatoio pieno di acqua) $Q = 263.3$ kN/m³;

Modulo elastico del terreno $E = 95.8$ MN/m²;

Coeff. di Poisson del terreno $\nu = 0.45$;

Peso di volume del terreno $\gamma = 20.27$ kN/m³;

Coeff. di spinta a riposo $K_0 = 0.4$.

RISULTATI

	Profondità calcolo cedimenti [m]	n° suddivisioni strato deformabile	w [cm]
Soluzione in forma chiusa			10.20
Soluzione con profondità del bulbo a 3R	3R (70.1 m)	1 (70.1 m)	7.40
Soluzione con profondità del bulbo a 4R	4R (93.4 m)	1 (93.4 m)	7.10
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (2 m)	7.0627
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (1 m)	8.4824
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (0.5 m)	11.4287
API – Profondità dello strato deformabile	3R (70.10 m)	1 (70.10 m)	8.1448
API – Profondità dello strato deformabile	3R (70.10 m)	2 (35.05 m)	9.5410
API – Profondità dello strato deformabile	3R (70.10 m)	4 (17.53 m)	8.8149
API – Profondità dello strato deformabile	4R (93.40 m)	1 (93.40 m)	7.2894
API – Profondità dello strato deformabile	4R (93.40 m)	2 (46.70 m)	10.0292
API – Profondità dello strato deformabile	4R (93.40 m)	4 (23.35 m)	9.8827

Esempio n° 13

Riferimento: **Meccanica dei terreni.**

T.W. Lambe, R.V. Whitman

Traduzione di Calogero Valore – Università di Palermo

Dario Flacovio Editore

Esempio 14.16 - Pagina 243.

Determinare il cedimento del baricentro di un serbatoio circolare nell'ipotesi di terreno omogeneo e isotropo indefinitamente esteso verso il basso.

DATI

Altezza serbatoio $H = 14.60$ m;

Coeff. di Poisson del terreno $\nu = 0.45$;

Peso di volume del terreno $\gamma = 20.30$ kN/m³;

Determinare il cedimento del baricentro del serbatoio quando esso viene riempito d'acqua, nei seguenti casi:

a. Diametro serbatoio $D = 30.50$ m; $E = 191.5$ MN/m² = costante.

b. Diametro serbatoio $D = 61.00$ m; $E = 191.5$ MN/m² = costante.

RISULTATI

Esempio n° 13a

	Profondità calcolo cedimenti [m]	n° suddivisioni strato deformabile	w [cm]
Soluzione in forma chiusa			1.80
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (2.00 m)	1.3425
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (1.00 m)	1.4820
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (0.50 m)	1.8190
API – Profondità dello strato deformabile	3R (45.75 m)	1 (45.75 m)	1.4450
API – Profondità dello strato deformabile	3R (45.75 m)	2 (22.88 m)	1.6925
API – Profondità dello strato deformabile	3R (45.75 m)	4 (11.44 m)	1.5638
API – Profondità dello strato deformabile	4R (61.00 m)	1 (61.00 m)	1.2930
API – Profondità dello strato deformabile	4R (61.00 m)	2 (30.50 m)	1.7792
API – Profondità dello strato deformabile	4R (61.00 m)	4 (15.25 m)	1.7549

Esempio n° 13b

	Profondità calcolo cedimenti [m]	n° suddivisioni strato deformabile	w [cm]
Soluzione in forma chiusa			3.60
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (2.00 m)	2.0718
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (1.00 m)	2.4367
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (0.50 m)	3.1980
API – Profondità dello strato deformabile	3R (91.50 m)	1 (95.50 m)	2.8589
API – Profondità dello strato deformabile	3R (91.50 m)	2 (47.75 m)	3.4284
API – Profondità dello strato deformabile	3R (91.50 m)	4 (23.88 m)	3.1896
API – Profondità dello strato deformabile	4R (122.00 m)	1 (122.00 m)	2.9862
API – Profondità dello strato deformabile	4R (122.00 m)	2 (61.00 m)	3.6357
API – Profondità dello strato deformabile	4R (122.00 m)	4 (30.50 m)	3.5514

Esempio n° 13c

	Profondità calcolo cedimenti [m]	n° suddivisioni strato deformabile	w [cm]
Soluzione in forma chiusa			1.80
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (10.00 m)	4.1803
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (5.00 m)	3.4249
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (1.00 m)	3.7583
API – Profondità dello strato deformabile	3R (45.75 m)	1 (10.00 m)	4.2005
API – Profondità dello strato deformabile	3R (45.75 m)	2 (5.00 m)	3.4452
API – Profondità dello strato deformabile	3R (45.75 m)	10 (1.00 m)	3.7788
API – Profondità dello strato deformabile	4R (61.00 m)	1 (10.00 m)	4.2466
API – Profondità dello strato deformabile	4R (61.00 m)	2 (5.00 m)	3.4922
API – Profondità dello strato deformabile	4R (61.00 m)	10 (1.00 m)	3.8259

Esempio n° 13d

	Profondità calcolo cedimenti [m]	n° suddivisioni strato deformabile	w [cm]
Soluzione in forma chiusa			1.80
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (10.00 m)	4.7115
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (5.00 m)	3.8845
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (1.00 m)	8.1076
API – Profondità dello strato deformabile	3R (91.50 m)	1 (10.00 m)	4.9132
API – Profondità dello strato deformabile	3R (91.50 m)	2 (5.00 m)	4.0876
API – Profondità dello strato deformabile	3R (91.50 m)	10 (1.00 m)	8.3115
API – Profondità dello strato deformabile	4R (122.00 m)	1 (10.00 m)	4.9687
API – Profondità dello strato deformabile	4R (122.00 m)	2 (5.00 m)	4.1431
API – Profondità dello strato deformabile	4R (122.00 m)	10 (1.00 m)	8.3672

Esempio n° 13e

	Profondità calcolo cedimenti [m]	n° suddivisioni strato deformabile	w [cm]
Soluzione in forma chiusa			1.80
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (10.00 m)	2.3582
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (5.00 m)	2.0374
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (1.00 m)	2.2133
API – Profondità dello strato deformabile	3R (45.75 m)	1 (10.00 m)	2.3832
API – Profondità dello strato deformabile	3R (45.75 m)	2 (5.00 m)	2.0624
API – Profondità dello strato deformabile	3R (45.75 m)	10 (1.00 m)	2.2387
API – Profondità dello strato deformabile	4R (61.00 m)	1 (10.00 m)	2.4605
API – Profondità dello strato deformabile	4R (61.00 m)	2 (5.00 m)	2.1410
API – Profondità dello strato deformabile	4R (61.00 m)	10 (1.00 m)	2.3174

Esempio n° 13f

	Profondità calcolo cedimenti [m]	n° suddivisioni strato deformabile	w [cm]
Soluzione in forma chiusa			2.60
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (10.00 m)	2.9122
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (5.00 m)	2.5761
API – Profondità dello strato deformabile	automatico	-- (1.00 m)	4.5860
API – Profondità dello strato deformabile	3R (91.50 m)	1 (10.00 m)	3.2972
API – Profondità dello strato deformabile	3R (91.50 m)	2 (5.00 m)	2.9641
API – Profondità dello strato deformabile	3R (91.50 m)	10 (1.00 m)	4.9759
API – Profondità dello strato deformabile	4R (122.00 m)	1 (10.00 m)	3.4160
API – Profondità dello strato deformabile	4R (122.00 m)	2 (5.00 m)	3.0832
API – Profondità dello strato deformabile	4R (122.00 m)	10 (1.00 m)	5.0951

Esempio n° 14

Riferimento: **Geotecnica.**

R. Lancellotta

Terza edizione

Zanichelli editore

Esempio 9.3 - Pagina 443.

Determinare il cedimento medio di consolidazione subito dalla torre di Pisa, prescindendo dalla sua inclinazione.

DATI

Fondazione di raggio $R = 9.78$ m

Profondità del piano di posa $D = 3.00$ m dal piano campagna

Profondità della falda $D_F = 1.20$ m dal piano campagna

Il calcolo delle tensioni è stato eseguito secondo il metodo di Boussinesq.

Il peso della Torre ipotizzata di $Q = 141.75$ MN si ipotizza sia ripartito sulla sezione circolare di raggio $R = 9.78$ m.

Il carico netto al piano di fondazione è di $q = 418$ kPa.

Seguendo il procedimento edometrico, si immagina di suddividere i due macrostrati al disotto della fondazione, in un numero conveniente di strati.

Strato	Potenza [m]	γ [kN/m ³]	OCR	e_0	Cc	Cr	M [MPa]
A1-1	2.40	18.90	4.0	0.8	0.35	0.035	--
A1-2	3.00	18.90	2.5	1.0	0.35	0.035	--
A2	2.00	18.20	2.0	--	--	--	16
B1-1	1.60	17.40	2.5	1.6	0.95	0.160	--
B1-2	1.90	17.40	2.0	1.6	0.95	0.160	--
B2	2.00	17.40	1.3	1.4	0.80	0.130	--
B3-1	2.00	16.70	1.2	1.5	0.80	0.180	--
B3-2	2.90	16.70	1.2	1.5	0.70	0.130	--
B4	1.20	19.80	2.0	0.6	0.25	0.065	--
B5	3.00	20.10	2.5	0.7	0.30	0.060	--
B6	2.40	19.10	1.0	--	--	--	60
B7-1	2.00	18.70	1.0	1.2	0.7	0.010	--
B7-2	2.60	18.70	1.0	1.2	0.70	0.010	--
B8	1.40	19.20	1.0	0.9	0.35	0.080	--
B9-1	2.00	19.20	1.0	0.9	0.35	0.080	--
B9-2	2.00	19.20	1.0	0.7	0.35	0.080	--
B10	2.60	19.20	1.0	0.8	0.35	0.080	--

RISULTATI

	Soluzione da letteratura	Soluzione del programma MAX
Cedimento [cm]	165.00	165.23

Esempio n° 15

Riferimento: **Fondazioni progetto e analisi.**

J.E. Bowles

Terza edizione

McGraw-Hill Libri Italia srl

Esempio 8.9 - Pagina 392.

Determinare la linea di pressione nulla e gli spostamenti in corrispondenza degli spigoli del plinto.

DATI

Plinto quadrato B = L = 1.80 m

Carico verticale totale P = 270 kN

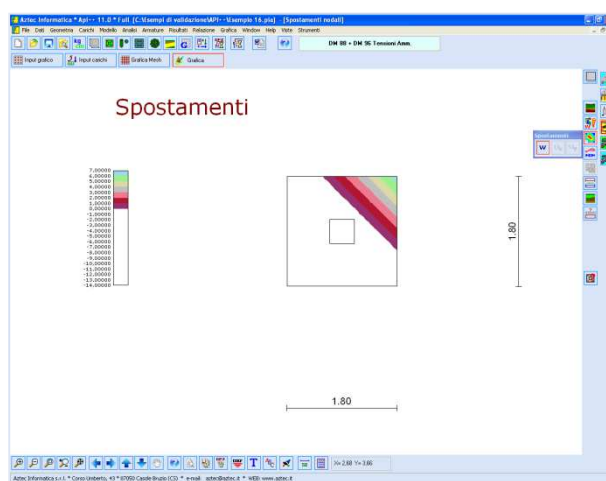
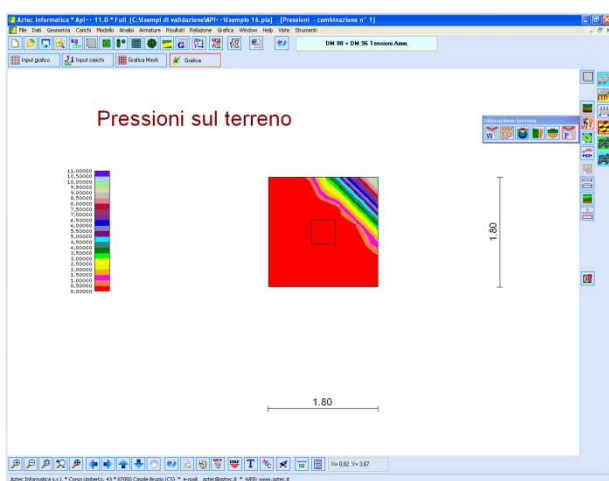
Momenti con asse vettore X e Y $M_X = M_Y = 165$ kNm

Costante di Winkler verticale $k_s = 15710$ kN/m³ = 1.602 kg/cm³

RISULTATI

	Letteratura	Programma API ⁺⁺
Eccentricità del carico in direzione X [cm]	0.611	0.611
Eccentricità del carico in direzione Y [cm]	0.611	0.611
Pressione massima sul terreno [kPa]	1125	1038

Spostamenti sui punti di bordo del plinto	Letteratura	Programma API ⁺⁺
Punto superiore destro [mm]	50.6	66.0
Punto superiore sinistro [mm]	-15.2	-31.9
Punto inferiore sinistro [mm]	-83.5	-130.6
Punto inferiore destro [mm]	-15.2	-32.4



Aztec Informatica s.r.l.

Software per l'Ingegneria Geotecnica e Strutturale

Corso Umberto, 43 - 87050 Casole Bruzio (CS)

Tel. 0984-432617, 438325 - e Fax 0984-432617

e-mail: aztec@aztec.it

web: www.aztec.it