

COMUNE
San Severo



PROVINCIA
Foggia



REGIONE
Puglia



Ubicazione

Comune di San Severo, S. Antonino da Capo
Provincia di Foggia

Oggetto

**PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO DI TIPO AVANZATO
CON POTENZA NOMINALE PARI 45,56 MWp e 44,16 MW ac
DENOMINATO "SAN SEVERO 1"**

Autorizzazione Unica Art.12, D.Lgs 387/2003 - V.I.A Ministeriale artt.23 e 25 D.Lgs 152/2006

Elaborato

RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE

Progettazione



Via Nazario Sauro 126 - 85100 - Potenza

email: info@gvcingegneria.it
website: www.gvcingegneria.it
P.E.C: gvcsrl@gigopec.it
P. IVA 01737760767

Direttore Tecnico:
ing. MICHELE RESTAINO

GVC
INGEGNERIA

TEAM DI PROGETTO

ing. GIORGIO MARIA RESTAINO
ing. CARLO RESTAINO
ing. MICHELE RESTAINO
ing. ATTILIO ZOLFANELLI
arch. SERENA MASI
arch. EMANUELA CIUFFI
ing. FRANCESCO VOTTA
dott. GIOVANNI RICCIARDI
ing. DONATO MAURO

Geologia

Geol. ANTONIO DI BIASE
Montescaglioso, 75024
P.zza Padre Prosperino Galgani, 9
P.IVA 00706320777



Studi agronomici

dott. Agr. PAOLO CASTELLI
Palermo, 90144
Via Croce Rossa, 25
P.IVA 0546509826



Indagini in sito

Geological & Geophysical Investigation Service

Geol. Galileo Potenza
Potenza, 85100
Via dei Gerani, 59
P.IVA 01677970764



Studi archeologici

dott. ssa MARTA POLLIO
Caopri, 80073 INA1

DOTT.SSA MARTA POLLIO
- Archeologa Specializzata -
VIA MARINA PICCOLA, 87
80073 CAPRI (NA)
P.I. 09581841210 - C.F. P1118790H668696A

Committente

SOLAR DG S.r.l.
via Cavour, 23C
Bolzano, 39100
C.F. e P. iva 03216720213
solarogsr@legalmail.it

Progetto

PROGETTO DEFINITIVO

Codice elaborato

G19701A01PD

Scala elaborato

NESSUNA

Revisione	Redatto da:	Data	Verificato da:	Data	Note
00	CR	04/24	GMR	04/24	

RT-03

Questo disegno é di nostra proprietà riservata a termine di legge e ne é vietata la riproduzione anche parziale senza nostra autorizzazione scritta

RELAZIONE PRELIMINARE SULLE STRUTTURE

Impianto agrivoltaico
Regione Puglia, comune di San Severo

PROGETTO DEFINITIVO

Progetto per la realizzazione di un impianto di produzione di energia da fonte rinnovabile di tipo agrivoltaico avanzato di potenza nominale pari a 45,56 MWp e 44,16 MWac

CODICE PROGETTO: G19701A01



Sommario

Sommario	2
1. PREMESSA	3
1.1. Software utilizzati per l'analisi strutturale	3
2. IL CALCOLO STRUTTURALE	6
3. ANALISI DEI RISULTATI	14
4. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI (NTC 2018 - §10.2.1)	17

1. PREMESSA

Nella presente relazione si riportano i dettagli relativi ai calcoli preliminari delle strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici, delle cabine e di tutti i componenti strutturali di **un impianto agrivoltaico di potenza nominale pari a 45,56 MWp e 44,16 MWac**, da installarsi in territorio ricadente in Regione Puglia, nei comuni di San Severo (FG), e del relativo cavidotto interrato di connessione a 36 kV fino a una nuova SE della RTN 150/36 kV di TERNA nel comune di Apricena (FG).

Proponente dell'iniziativa è la società **Solar DG S.r.l.**, con sede in via Cavour, 23C, Bolzano.



Figura 1 - Inquadratura su ortofoto delle aree di impianto (elaborato G19701A01-A04)

1.1. Software utilizzati per l'analisi strutturale

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



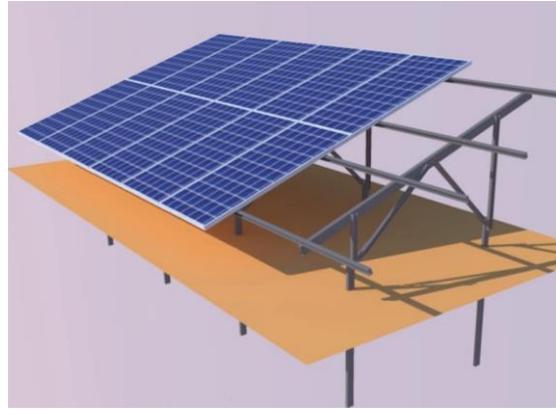
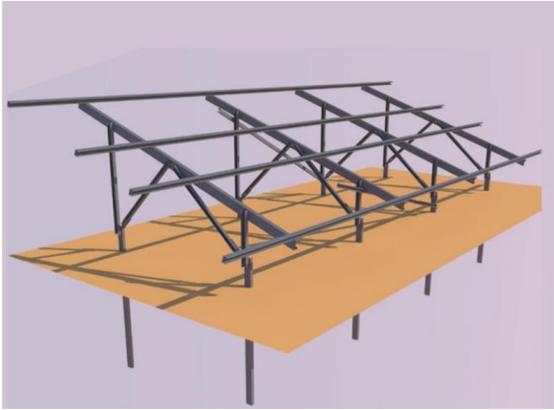
1.2. Strutture di sostegno, ancoraggio e di appoggio dei moduli fotovoltaici

Le strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici saranno della tipologia fissa, realizzate con elementi metallici e pali di sostegno ed elementi 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...).

La tipologia di struttura fissa è composta da pochi componenti di semplice montaggio e rapido montaggio, i moduli montati avranno una inclinazione rispetto all'orizzontale di 30° e saranno orientati verso SUD. 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 battere, 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.





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

2. IL CALCOLO STRUTTURALE

Di seguito si riportano alcune immagini relative alla modellazione strutturale con il metodo agli elementi finiti delle strutture di sostegno per i moduli fotovoltaici.

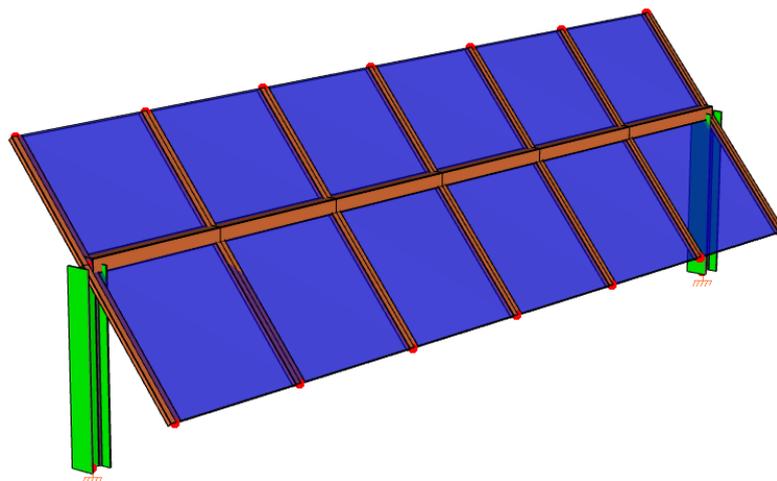


Figura 2 - Modello solido della struttura

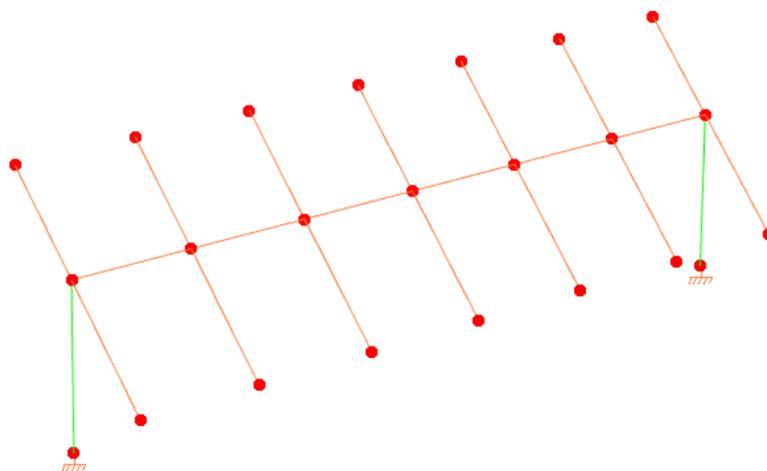


Figura 3 - Modello wireframe struttura

Di seguito si riportano alcune immagini relative alla 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 rigidezze 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 rigidezza 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

2.1. I materiali utilizzati

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 = 0.3
- Modulo di elasticità trasversale: G

- Coefficiente di espansione termica lineare: $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}^{-1}$ (per $T < 100^{\circ}\text{C}$)
- Densità: $\rho = 7850$ kg/m³

	S235	S275	S355	S450
TENSIONE DI ROTTURA	360 N/mm ²	<u>430 N/mm²</u>	510 N/mm ²	550 N/mm ²
TENSIONE DI SNERVAMENTO	235 N/mm ²	<u>275 N/mm²</u>	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

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



Figura 4 - 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

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).

Figura 5 - Definizione della classe di rugosità del terreno

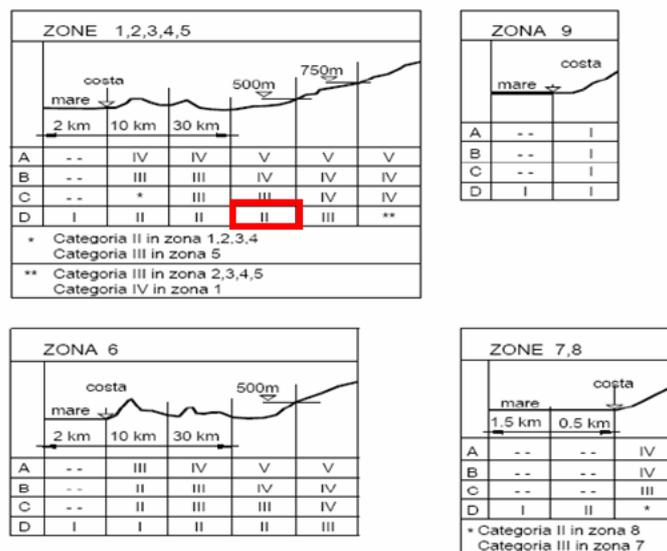


Figura 6 - Determinazione della categoria di esposizione

COEFFICIENTE TOPOGRAFICO

Il coefficiente topografico C_t 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 $C_t=1$. 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.

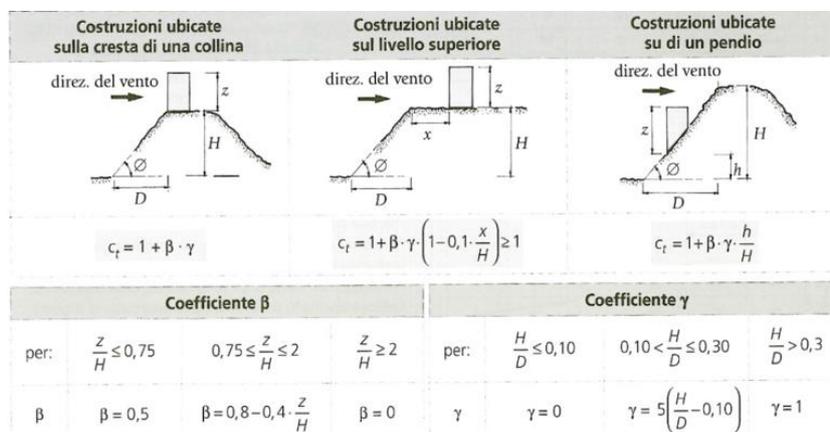


Figura 7 - Variabili per la definizione del coefficiente topografico

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.

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

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

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.

I VALORI DELL'AZIONE DEL VENTO

Normativa: D.M. 17/01/2018 (NTC 2018, Circolare 17/01/2019, n.7)

La pressione del vento è calcolata secondo l'espressione:

$$p = q_r \cdot c_s \cdot c_p \cdot c_d$$

Provincia: Foggia

Zona: 3

Altitudine: 300 m s.l.m

Tempo di ritorno T_r : 50 anni;

Velocità di riferimento $v_r(T_r)$: 27 m/s

Pressione cinetica di riferimento q_r : 46.49 Kg/m²

Altezza della costruzione z : 150 m (z_{min} : 4m)

Distanza dalla costa: Terra, oltre i 40 km dalla costa, sotto i 500 m

Classe di rugosità del terreno: D

Categoria di esposizione del sito: II

Coefficiente topografico c_t : 1

Coefficiente dinamico c_d : 1



Coefficiente di esposizione $c_s(z)$:

$c_s(z_{min} = 4m)$: 1.8

$c_s(z = 150m)$: 4.34

Tettoia a falda singola

Tettoia senza ostruzioni ($\phi = 0$)

Angolo di inclinazione della falda: 30°

Superficie della tettoia: 18 m²

Vento perpendicolare alla linea di colmo

$C_{p(positivo)}$: 1.2

$C_{p(negativo)}$: -1.8

Vento parallelo alla linea di colmo

$C_{p(positivo (\phi=0))}$: 0.2

$C_{p(negativo (\phi=0))}$: -0.5

Forza del vento con coefficiente di forma $c_s = -1.8$

$F(z_{min} = 4 m) = -2712.24 \text{ Kg}$

$F(z = 150 m) = -6533.48 \text{ Kg}$

Forza del vento con coefficiente di forma $c_s = -0.5$

$F(z_{min} = 4 m) = -753.4 \text{ Kg}$

$F(z = 150 m) = -1814.86 \text{ Kg}$

Forza del vento con coefficiente di forma $c_s = 0.2$

$F(z_{min} = 4 m) = 301.36 \text{ Kg}$

$F(z = 150 m) = 725.94 \text{ Kg}$

Forza del vento con coefficiente di forma $c_s = -1.8$

$F(z_{min} = 4 m) = -2712.24 \text{ Kg}$

$F(z = 150 m) = -6533.48 \text{ Kg}$

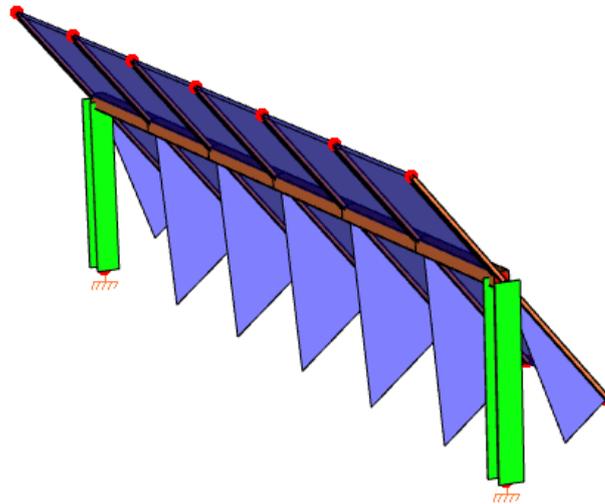


Figura 8 - Azione del vento sulle vele fotovoltaiche

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	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portab	Condizione 1	1.300
			Variabile: Vento	Condizione 2	1.500

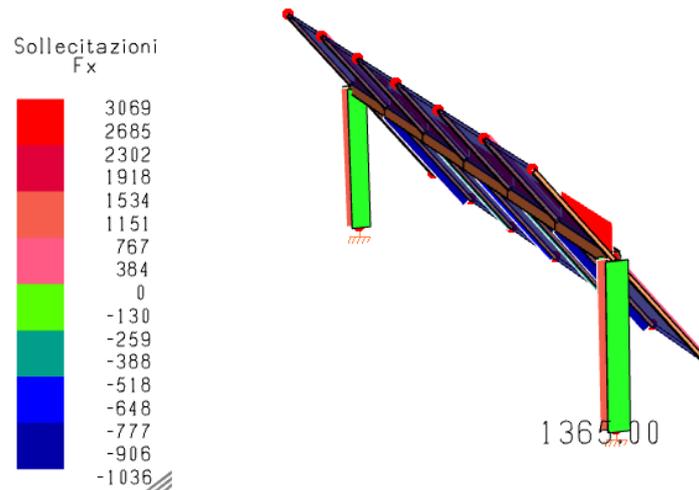
COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
2	Rara	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portab	Condizione 1	1.000
			Variabile: Vento	Condizione 2	1.000
3	Frequente	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portab	Condizione 1	1.000
			Variabile: Vento	Condizione 2	0.200
4	Quasi permanente	Tipologia: Quasi permanente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portab	Condizione 1	1.000
			Variabile: Vento	Condizione 2	0.000

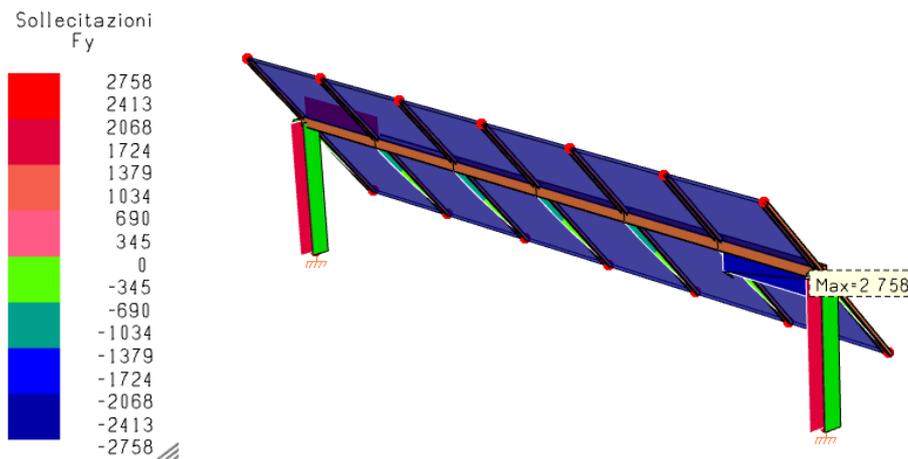
3. ANALISI DEI RISULTATI

Di seguito si riportano le sollecitazioni agenti sulla struttura in esame

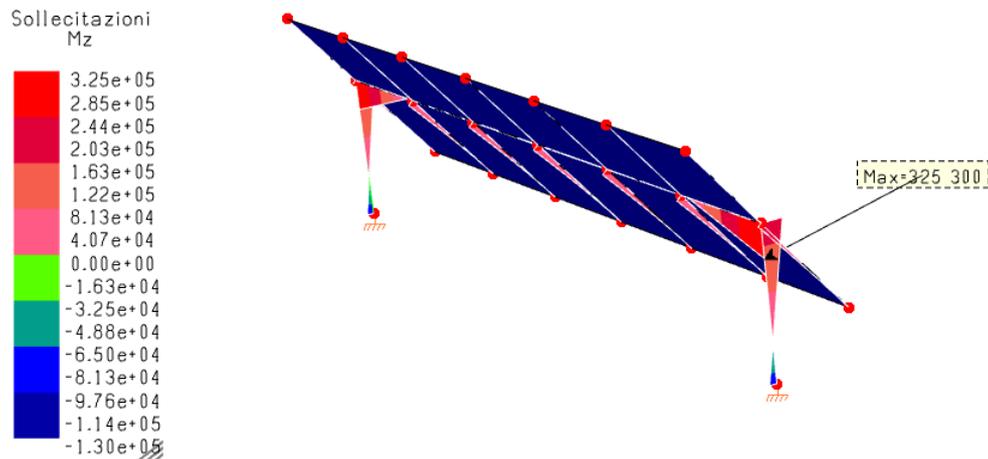
SFORZO NORMALE (FORZA DI UPLIFT) [kg]



SFORZO TAGLIO [kg]



MOMENTO M_z [kg*cm]



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:

$$M_{\max} = 22.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

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

il rapporto tra i due momenti fornisce l'indice di resistenza della sezione che nel caso in esame è pari a 3.40, 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:

$$M_{\max} = 32.25 \text{ kN*m}$$

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 1.36, valore considerato accettabile in fase di dimensionamento preliminare.

4. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI (NTC 2018 - §10.2.1)

10.2. ANALISI E VERIFICHE SVOLTE CON L'AUSILIO DI CODICI DI CALCOLO

Qualora l'analisi strutturale e le relative verifiche siano condotte con l'ausilio di codici di calcolo automatico, il progettista, dovrà controllare l'affidabilità dei codici utilizzati e verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti.

Il progettista dovrà quindi esaminare preliminarmente la documentazione a corredo del software per valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. In tal senso la documentazione, che sarà fornita dal produttore o dal distributore del software, dovrà contenere una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, per i quali dovranno essere forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.

Spetta al progettista il compito di sottoporre i risultati delle elaborazioni a controlli che ne comprovino l'attendibilità. Tale valutazione consisterà nel confronto con i risultati di semplici calcoli, anche di larga massima, eseguiti con riferimento a schemi o soluzioni noti e adottati, ad esempio, in fase di primo proporzionamento della struttura. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, valuterà la consistenza delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

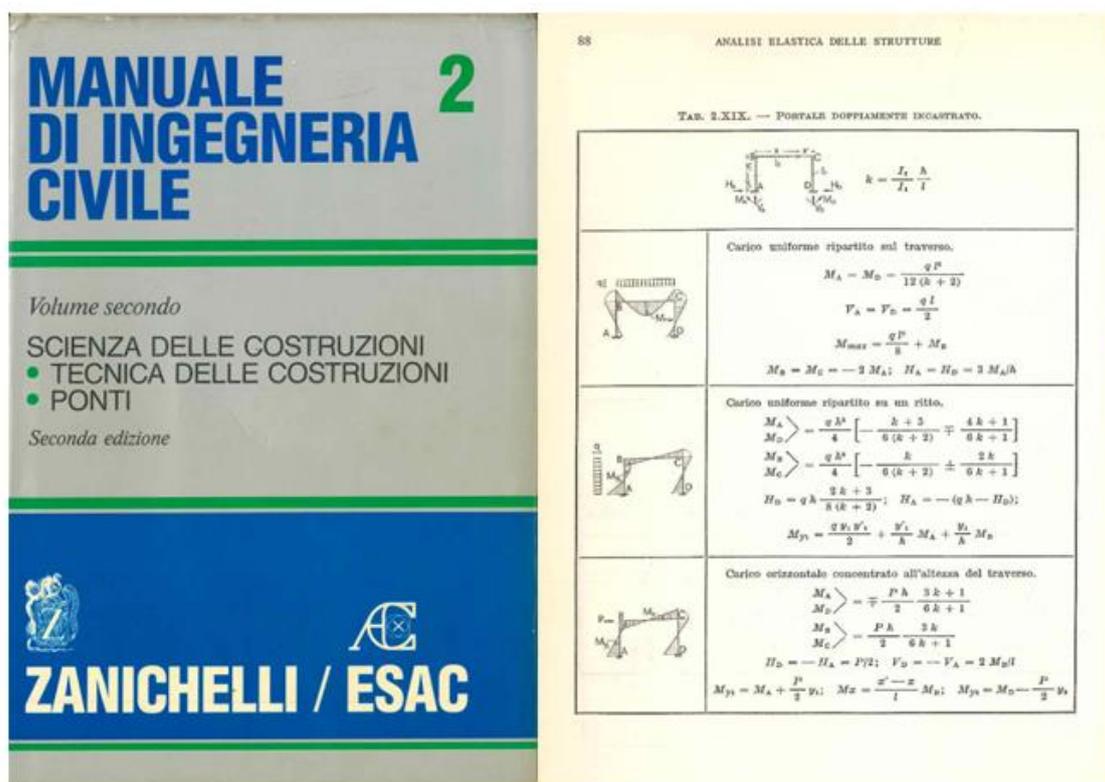
Nella relazione devono essere elencati e sinteticamente illustrati i controlli svolti, quali verifiche di equilibrio tra reazioni vincolari e carichi applicati, comparazioni tra i risultati delle analisi e quelli di valutazioni semplificate, etc.

4.1. TEST DI AFFIDABILITA' PER MASTERSAP

Secondo la normativa attuale, il progettista che utilizzi un codice di calcolo automatico nello svolgimento dell'analisi strutturale è tenuto a controllare l'affidabilità del codice utilizzato e a verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti, in modo da pervenire ad un giudizio motivato di accettabilità dei risultati (p.10.2 Ntc 18). Nel caso del programma MasterSap, il sottoscritto ha visionato la trattazione delle basi teoriche nel manuale d'uso e ha testato il software mediante alcuni casi prova basati su semplici schemi strutturali, per i quali è nota la soluzione in forma chiusa, riportata in manuali e in altra letteratura tecnica. Il sottoscritto ha verificato quindi il software modellando con MasterSap i casi di prova, riscontrando l'affidabilità numerica dei risultati forniti dal programma e pervenendo in modo autonomo all'espressione di un giudizio motivato di accettabilità dei risultati.

MODELLAZIONE DI UN PORTALE DOPPIAMENTE INCASTRATO

Gli schemi di portale doppiamente incastrato sono stati presi dalla letteratura tecnica di seguito indicata



Sono stati considerati i casi di carico uniformemente ripartito sul traverso e di carico concentrato all'altezza del traverso.

In genere, in queste schematizzazioni si assumono implicitamente alcune ipotesi semplificative, che consistono nel ritenere trascurabili i seguenti aspetti di modellazione:

- la deformabilità tangenziale degli elementi,
- la deformabilità assiale dei pilastri,
- la deformabilità torsionale degli elementi,
- i disassamenti nodali degli elementi,
- le dimensioni dei nodi di incrocio.

Nella modellazione con MasterSap, però, non si ha interesse ad introdurre ipotesi semplificative nella modellazione, in quanto significherebbe introdurre un margine di errore nella soluzione, non giustificabile sotto l'aspetto dell'impegno di calcolo (dal

momento che non si tratta più di analisi da condurre a mano), e non controllabile nella sua entità al variare della casistica strutturale. L'errore, infatti, potrebbe essere effettivamente trascurabile nei casi favorevoli, ma diventare importante e non più accettabile in casistiche sensibili. La soluzione che si ottiene con MasterSap, ingloba quindi effetti che invece risultano trascurati nella schematizzazione di letteratura. Tuttavia per ottenere una modellazione il più possibile simile a quella adottata nello schema di letteratura, è sufficiente adottare per gli elementi sezioni di dimensioni piccole rispetto alla luce. Questo accorgimento riduce, anche se non totalmente, gli effetti dovuti alla deformabilità tangenziale, alla deformabilità torsionale, ai disassamenti nodali e alle dimensioni dei nodi di incrocio. La deformabilità assiale può invece essere annullata (solo per carichi permanenti) assegnando il valore nullo alla corrispondente opzione posta nel foglio delle opzioni di analisi. Nella sottostante figura è illustrato il modello di calcolo implementato in MasterSap per le verifiche da normativa.

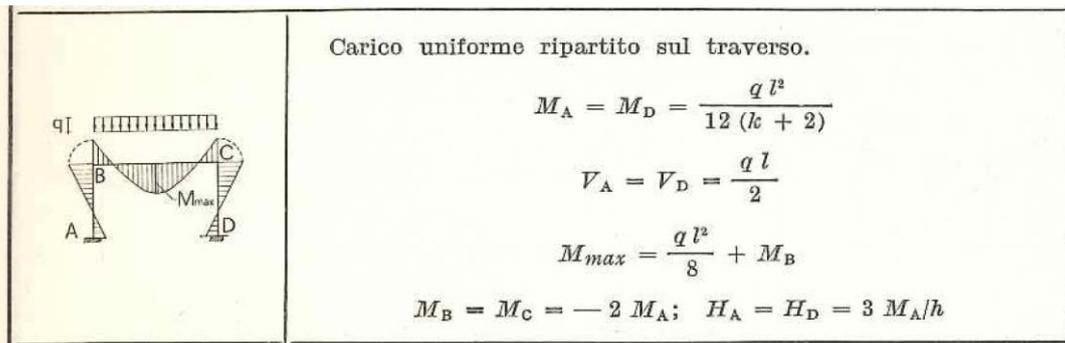


Le caratteristiche sono le seguenti:

luce del portale: 800 cm
altezza del portale: 400 cm
altezza dei plinti: 0.00 cm
peso proprio del cls: 0.00 kg/cmc

PORTALE CON CARICO UNIFORMEMENTE DISTRIBUITO

La soluzione dello schema strutturale nell'ipotesi semplificative precedentemente discusse, porta alle seguenti espressioni (tratte dal volume indicato nel paragrafo precedente)



Avendo ipotizzato una sezione uguale per i pilastri e per il traverso, ed essendo $K = \frac{I_2}{I_1} * \frac{h}{l}$, avremo un valore di $K=0.5$. Di seguito si riportano i valori utilizzati per il calcolo svolto manualmente con le espressioni da letteratura:

$L = 800 \text{ cm}$

$q = 0.01 \text{ Kg/cm}$

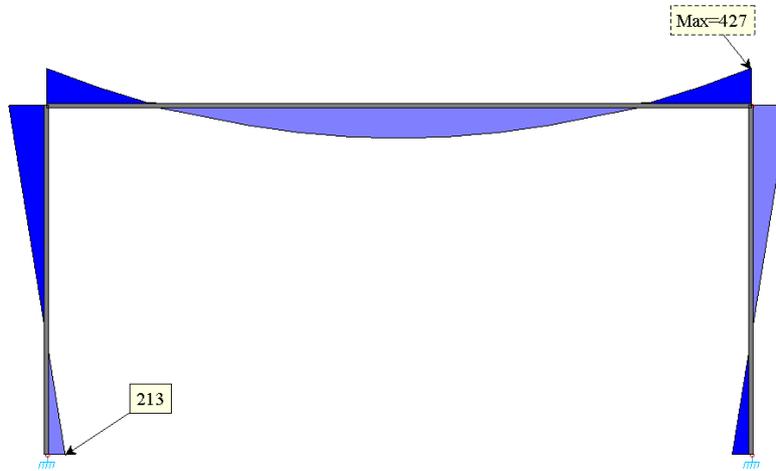
$k = 0.5$

$h = 400 \text{ cm}$

si ottengono quindi i seguenti valori per il momento $M_a = M_d$ e per il momento $M_b = M_c$ (espresso in kg^*cm)

Ma	213.3333
Md	213.3333
Mb	-426.667
Mc	-426.667

Di seguito si riportano i valori dei momenti sopraindicati ottenuti con il solutore LiFe di MasterSap:



Come si può osservare il diagramma delle sollecitazioni è perfettamente congruente con quanto illustrato nella letteratura tecnica e lo scarto tra i due risultati è nullo. Di seguito si riporta il tabulato di calcolo per la tipologia di struttura appena descritta.

TABULATO – PORTALE DOPPIAMENTE INCASTRATO CON CARICO DISTRIBUITO

INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA

Nome dell'archivio di lavoro	PORTALE DOPPIAMENTE INCASTRATO CON CARICO DISTRIBUITO
Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	kg
Unita' di misura delle lunghezze	cm

CARICHI PER ELEMENTI TRAVE, TRAVE DI FONDAZIONE E RETICOLARE

Carico distribuito con riferimento globale Z, agente sulla lunghezza reale

Descrizione	Co d.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist.iniz . nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.ine rz.	Aliq.ine rz. SLD
CARICO DISTRIBUITO	1	Condizione 1	Nessuna	-	0.000	-	0.000	1.0000	1.0000

LISTA MATERIALI UTILIZZATI

Codice	Descrizione	Mod. elast.	Coef. Poisson	Peso unit.	Dil. term.	Aliq. inerz.	Rigid. taglio	Rigid. fless.
1	Calcestruzzo SENZA PESO PROPRIO	+3.21e+05	0.120	0.00000	+1.00e-05	1.000	+1.00e+00	+1.00e+00

RIEPILOGO DELLE SEZIONI UTILIZZATE NEL MODELLO STRUTTURALE

SEZIONE RETTANGOLARE

Codice	Base	H
1	5.000	5.000

SPOSTAMENTI/ROTAZIONI NODI NON BLOCCATI

Nodo	Trasl.X	Trasl.Y	Trasl.Z	Rotaz.X	Rotaz.Y	Rotaz.Z
1	-1.60e-09	+0.00e+00	-4.00e-09	+0.00e+00	-2.13e-07	+0.00e+00
2	+7.97e-05	+0.00e+00	-1.99e-04	+0.00e+00	+2.55e-03	+0.00e+00
3	-7.97e-05	+0.00e+00	-1.99e-04	+0.00e+00	-2.55e-03	+0.00e+00
4	+1.60e-09	+0.00e+00	-4.00e-09	+0.00e+00	+2.13e-07	+0.00e+00

MASSIME DEFORMAZIONI NODALI

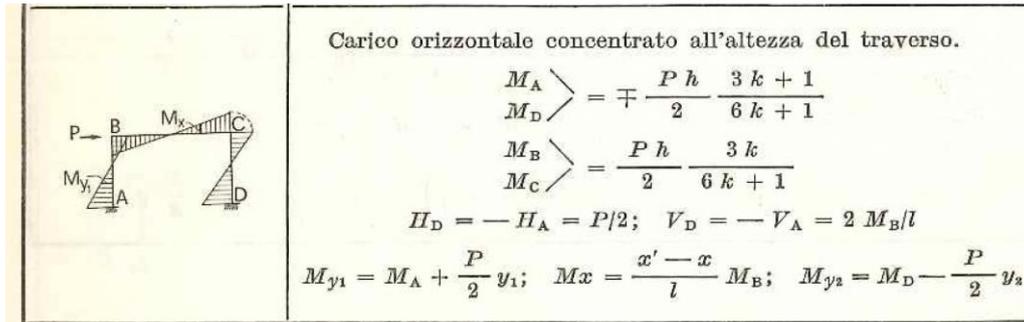
	Trasl.X	Trasl.Y	Trasl.Z	Rotaz.X	Rotaz.Y	Rotaz.Z	DLMax
Deform. nodali	+7.97e-05	+0.00e+00	-1.99e-04	+0.00e+00	+2.55e-03	+0.00e+00	+2.15e-04
Nodo	2	0	2	0	2	0	2

REAZIONI VINCOLARI STATICA

Nodo	c.c.	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	1	+1.600e+00	-0.000e+00	+4.000e+00	-0.000e+00	+2.132e+02	-0.000e+00
4	1	-1.600e+00	-0.000e+00	+4.000e+00	-0.000e+00	-2.132e+02	-0.000e+00

PORTALE CON CARICO CONCENTRATO

La soluzione dello schema strutturale nell'ipotesi semplificative precedentemente discusse, porta alle seguenti espressioni



Avendo ipotizzato una sezione uguale per i pilastri e per il traverso, ed essendo $K = I_2/I_1 * h/l$, avremo un valore di $K=0.5$. Di seguito si riportano i valori utilizzati per il calcolo svolto manualmente con le espressioni da letteratura:

$L = 800$ cm
 $P = 100$ Kg
 $k = 0.5$
 $h = 400$ cm

si ottengono quindi i seguenti valori per il momento $M_a=M_b$ e per il momento $M_c=M_d$ (espresso in $kg*cm$)

M_a	12500
M_b	-
M_c	7500
M_d	7500

Di seguito si riportano i valori dei momenti sopraindicati ottenuti con il solutore LiFe di MasterSap:

Come si può osservare il diagramma delle sollecitazioni è perfettamente congruente con quanto illustrato nella letteratura tecnica e lo scarto tra i due risultati è nullo.

Di seguito si riporta il tabulato di calcolo per la tipologia di struttura appena descritta.

INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA

Nome dell'archivio di lavoro	PORTALE DOPPIAMENTE INCASTRATO CON FORZA CONC
Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	kg
Unita' di misura delle lunghezze	cm

CONDIZIONI DI CARICO AI NODI

Num.cond.carico	Descrizione	Nodo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	FORZA CONCENTRATA	2	+1.00e+02					

LISTA MATERIALI UTILIZZATI

Codice	Descrizione	Mod. elast.	Coef. Poisson	Peso unit.	Dil. term.	Aliq. inerz.	Rigid. taglio	Rigid. fless.
1	Calcestruzzo SENZA PESO PROPRIO	+3.21e+05	0.120	0.00000	+1.00e-05	1.000	+1.00e+00	+1.00e+00

RIEPILOGO DELLE SEZIONI UTILIZZATE NEL MODELLO STRUTTURALE
SEZIONE RETTANGOLARE

Codice	Base	H
1	5.000	5.000

SPOSTAMENTI/ROTAZIONI NODI NON BLOCCATI
COMBINAZIONE DI CARICO: 1 - DESCRIZIONE: CARICHI

Nodo	Trasl.X	Trasl.Y	Trasl.Z	Rotaz.X	Rotaz.Y	Rotaz.Z
1	+5.00e-08	+0.00e+00	+1.88e-08	+0.00e+00	+1.25e-05	+0.00e+00
2	+2.79e+01	+0.00e+00	+9.35e-04	+0.00e+00	+5.98e-02	+0.00e+00
3	+2.79e+01	+0.00e+00	-9.35e-04	+0.00e+00	+5.98e-02	+0.00e+00
4	+5.00e-08	+0.00e+00	-1.88e-08	+0.00e+00	+1.25e-05	+0.00e+00

MASSIME DEFORMAZIONI NODALI

	Trasl.X	Trasl.Y	Trasl.Z	Rotaz.X	Rotaz.Y	Rotaz.Z	DLMax
Deform. nodali	+2.79e+01	+0.00e+00	+9.35e-04	+0.00e+00	+5.98e-02	+0.00e+00	+2.79e+01
Nodo	2	0	2	0	2	0	2

FORZE/MOMENTI
FORZE MOMENTI PER GRUPPI TRAVE
GRUPPO NUMERO: 1 - DESCRIZIONE: TRAVI

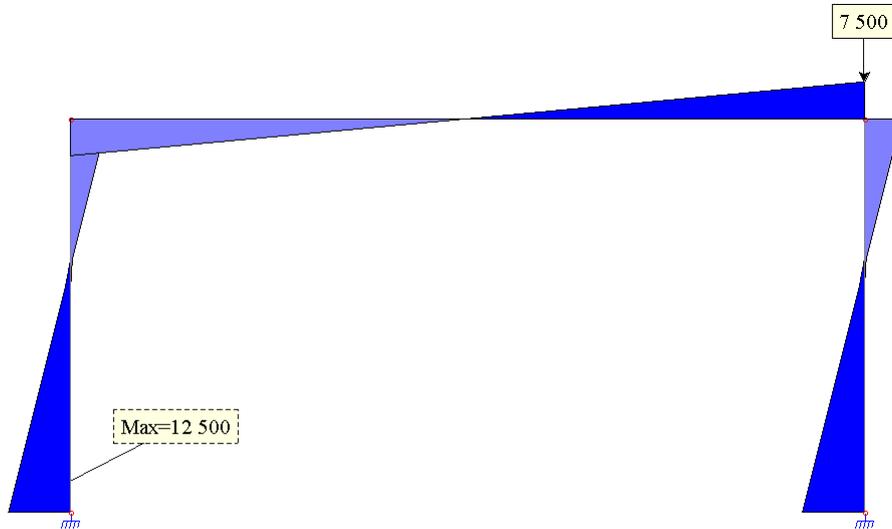
Elem./C.c	Fx/I	Fx/J	Fy/I	Fy/J	Fz/I	Fz/J	Mx/I	Mx/J	My/I	My/J	Mz/I	Mz/J
El: 1- C.c: 1	5.000e+0 1	5.000e+0 1	1.875e+0 1	1.875e+0 1	0.000e+0 0	0.000e+0 0	0.000e+0 0	0.000e+0 0	0.000e+0 0	0.000e+0 0	7.500e+0 3	7.500e+0 3

GRUPPO NUMERO: 2 - DESCRIZIONE: PILASTRI

Elem./C.c	Fx/I	Fx/J	Fy/I	Fy/J	Fz/I	Fz/J	Mx/I	Mx/J	My/I	My/J	Mz/I	Mz/J
El: 1- C.c: 1	1.875e+0 1	1.875e+0 1	5.000e+0 1	5.000e+0 1	0.000e+0 0	0.000e+0 0	0.000e+0 0	0.000e+0 0	0.000e+0 0	0.000e+0 0	1.250e+0 4	7.500e+0 3
El: 2- C.c: 1	1.875e+0 1	1.875e+0 1	5.000e+0 1	5.000e+0 1	0.000e+0 0	0.000e+0 0	0.000e+0 0	0.000e+0 0	0.000e+0 0	0.000e+0 0	1.250e+0 4	7.500e+0 3

REAZIONI VINCOLARI STATICA
FORZE MOMENTI PER GRUPPI VINCOLO
GRUPPO NUMERO: 1 - DESCRIZIONE: INCASTRI ALLA BASE

Nodo	c.c.	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	1	-5.000e+01	-0.000e+00	-1.875e+01	-0.000e+00	-1.250e+04	-0.000e+00
4	1	-5.000e+01	-0.000e+00	+1.875e+01	-0.000e+00	-1.250e+04	-0.000e+00



Alla luce di quanto esposto nel presente paragrafo si ritiene valido il calcolo eseguito con il solutore LiFe del software MasterSap.

