

Regione autonoma della Sardegna  
(Provincia di Nuoro)



Comune di Macomer

CONSORZIO PER LA ZONA INDUSTRIALE DI MACOMER

PROGETTO ESECUTIVO  
PER LA REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA  
DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILO

ATI: AREAIMPIANTI - MONSUD S.p.A.





Progettista incaricato:



PROGETTO ESECUTIVO



AREA 200 SILOS

	<b>REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILO</b>	REV. 2	
	Relazione di calcolo	PAG. II/21	

Sistema Qualità Certificato





UNI EN ISO 9001 (ISO 9001)

Certificato n° FS 587971



CODICE DESCRITTIVO: <b>ITV240FMRC729.1.02</b>		N° ALLEGATO: <b>C.20.2</b>			
0	01/01/2016	EMISSIONE	cambri	martino	martino
1	12/04/2016	REVISIONE	cambri	martino	martino
2	25/05/2015	REVISIONE	cambri	martino	martino
3					
4					
<i>revisione</i>	<i>data</i>	<i>descrizione</i>	<i>redatto</i>	<i>controllato</i>	<i>approvato</i>

	<b>REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSIOLO</b>	REV.2	
	Relazione di calcolo	PAG. 3/21	

## INDICE



<b>1. DESCRIZIONE INTERVENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>3. DESCRIZIONE MODELLO STRUTTURALE .....</b>	<b>6</b>
<b>4. VALIDAZIONE SOFTWARE UTILIZZATO .....</b>	<b>7</b>
4.1 ENEXSYS.....	7
4.2 ELEMENTI FINITI IMPLEMENTATI .....	8
4.3 SCHEMI DI CARICO .....	8
4.4 TIPO DI RISOLUZIONE.....	8
4.5 DATI RELATIVI AI NODI DELLA STRUTTURA .....	8
4.6 ELEMENTI TIPO TRAVE SU SUOLO ALLA WINKLER .....	8
4.7 ELEMENTI TIPO PILASTRO.....	9
4.8 ELEMENTI TIPO PLINTO SU SUOLO ALLA WINKLER .....	10
4.9 DATI RELATIVI ALLE AREE DI CARICO .....	11
<b>5. DESCRIZIONE STRUTTURA .....</b>	<b>12</b>
<b>6. ANALISI DEI CARICHI.....</b>	<b>14</b>
<b>7. COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>15</b>
<b>8. CLASSIFICAZIONE SISMICA.....</b>	<b>16</b>
<b>9. PRESENTAZIONE SINTETICA DEI RISULTATI .....</b>	<b>17</b>
<b>10. VERIFICHE CONDOTTE .....</b>	<b>20</b>
10.1 VERIFICHE TRAVI DI FONDAZIONE .....	20
10.2 VERIFICHE PLINTI DI FONDAZIONE .....	20
10.3 VERIFICHE ELEMENTI METALLICI .....	21

## INDICE DELLE FIGURE

FIGURA1:AREA VASTA - UBICAZIONE INTERVENTO SU FOTO SATELLITARE .....	4
FIGURA 2 MODELLO TRIDIMENSIONALE DELLA STRUTTURA DEL CONDENSATORE E DELLA SCALA DI ACCESSO.....	6
FIGURA 3 PIANTA DELLE FONDAZIONI DEL CONDENSATORE .....	12
FIGURA 4 VISTA 3D DELLA STRUTTURA METALLICA.....	13
FIGURA 5:SPETTRI DI CALCOLO AGLI SLV.....	16
FIGURA 6: INVILUPPO DELLE PRESSIONI SUL TERRENO .....	17
FIGURA 7: INVILUPPO DEI MOMENTI FLETTENTI SUGLI ELEMENTI DI FONDAZIONE.....	17
FIGURA 8: SPOSTAMENTI DEGLI ELEMENTI PER LA COMBINAZIONE SLU2 .....	18
FIGURA 8: INVILUPPO DEI MOMENTI FLETTENTI .....	19

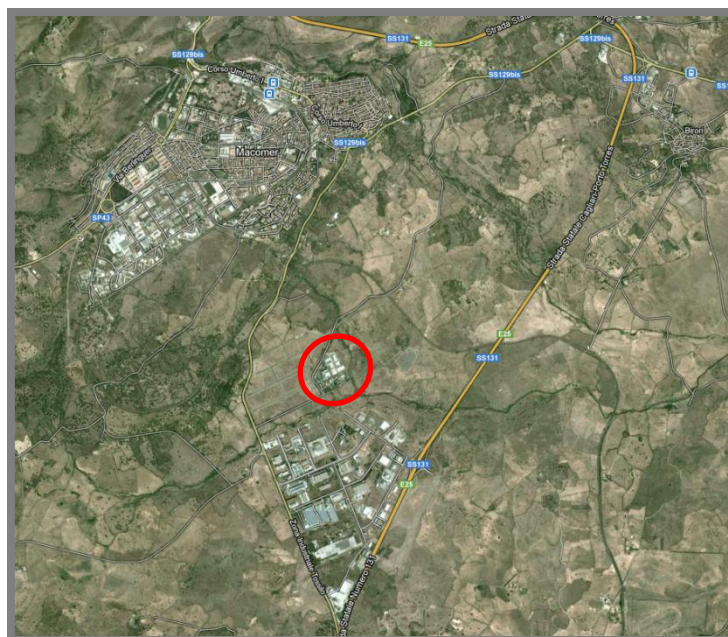
## INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1 - ANALISI DEL CARICO DA VENTO .....	14
TABELLA 2 - RIEPILOGO DEI CARICHI AGENTI SULLE AREE DI CARICO.....	15
TABELLA 3 - VALORI DEI COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE.....	15
TABELLA 4 - PARAMETRI DELL'AZIONE SISMICA .....	16

	<b>REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILO</b>	REV.2	
	Relazione di calcolo	PAG. 4/21	

## 1.DESCRIZIONE INTERVENTO

Il presente elaborato contiene la relazione di calcolo relativa alla progettazione della struttura di rivestimento del nuovo silos, da realizzare all'interno dell'area 400, appartenente alla nuova linea di termovalorizzazione presso il sistema esistente di trattamento rifiuti sito nel comune di Macomer (NU), in prossimità dell'arteria stradale SS 131.  
 Riferimenti cartografici: Carta Geologica d'Italia foglio 207; Carta d'Italia fg. 498 sezione III Macomer.





**Figura1:**Area vasta - Ubicazione intervento su foto satellitare

Il rivestimento dei silos consiste in una struttura metallica monopiano posta al di sopra di un insieme di plinti collegati tra loro da cordoli.

Il manufatto viene reso strutturalmente indipendente dai due edifici limitrofi, lasciando un giunto sismico opportunamente dimensionato e ottenendo la continuità con quest'ultimi mediante elementi secondari.



Stante quanto sopra esposto, tale intervento è da considerarsi, ai fini della classificazione prevista dalle NTC08 al §8.4, come NUOVA COSTRUZIONE.

	<b>REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILO</b>	REV.2	
	Relazione di calcolo	PAG. 5/21	

## 2.NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa di riferimento è la seguente:

- Legge n. 64 del 2/2/1974 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. del 24/1/1986 - Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche.
- Legge n. 1086 del 5/11/1971 - Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- D.M. del 14/2/1992 - Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. del 9/1/1996 - Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. del 16/1/1996 - Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Norme Tecniche C.N.R. n. 10011-85 del 18/4/1985 - Costruzioni di acciaio - Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.
- Norme Tecniche C.N.R. n. 10025-84 del 14/12/1984 - Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle strutture prefabbricate in conglomerato cementizio e per le strutture costruite con sistemi industrializzati di acciaio - Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.
- Circolare n. 65 del 10/4/1997 - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. del 16/1/1996.
- D.M. del 14/1/2008 - Norme tecniche per le costruzioni. Le verifiche degli elementi di fondazione sono eseguite utilizzando l'Approccio 2.
- Circolare n. 617 del 2/2/2009 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 14/1/2008.

	<b>REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILO</b>	REV.2	
	Relazione di calcolo	PAG. 6/21	

### 3.DESCRIZIONE MODELLO STRUTTURALE

La struttura descritta è stata progettata e verificata con l'utilizzo del software ENEXYS, con cui è stato realizzato un modello tridimensionale della struttura che è stato sottoposto ad un'analisi dinamica lineare.

Tale software, sviluppato dalla EnExSyss.r.l. di Casalecchio di Reno (BO), è costituito di moduli base: Analisi Strutturale, Verifica e disegno delle strutture in C.A., Verifica delle strutture in acciaio.

Il modulo Analisi strutturale comprende gli strumenti per definire il modello strutturale, eseguirne l'analisi statica e dinamica, controllarne i risultati. E' costituito da: Pre-Processore (modellatore per gestire la fase di input grafico interattivo), Codice di calcolo (solutore che esegue l'analisi statica e dinamica agli elementi finiti, determinando la risposta strutturale), Post-Processore (gestisce la fase di controllo sintetico dei risultati mediante procedure grafiche interattive di visualizzazione dello stato di deformazione, sollecitazione e tensione.

Il modulo Verifica e disegno delle strutture in C.A. esegue il progetto, la verifica, il disegno ed il computo degli elementi in C.A..

Il modulo Verifica delle strutture in acciaio esegue la verifica di aste metalliche di strutture precedentemente modellate e calcolate con il modulo di Analisi Strutturale.

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico: la documentazione fornita dal produttore e dal distributore del software infatti, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, nonché l'individuazione dei campi di impiego.

Trattandosi di una struttura di nuova costruzione, quest'ultima è stata verificata nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU e SLV) e degli stati limite di esercizio (SLE).

Essa è stata modellata con l'inserimento dell'intera struttura di rivestimento dei silos, mediante l'utilizzo di elementi monodimensionali, corrispondenti ai pilastri ed alle travi in acciaio, oltre che ai cordoli di fondazione in calcestruzzo armato e ai plinti di fondazione isolati.

Tutte le informazioni della modellazione si trovano nel fascicolo di calcolo allegato e parte integrante alla presente; nella figura 2 è riportato lo schema del modello tridimensionale della struttura.

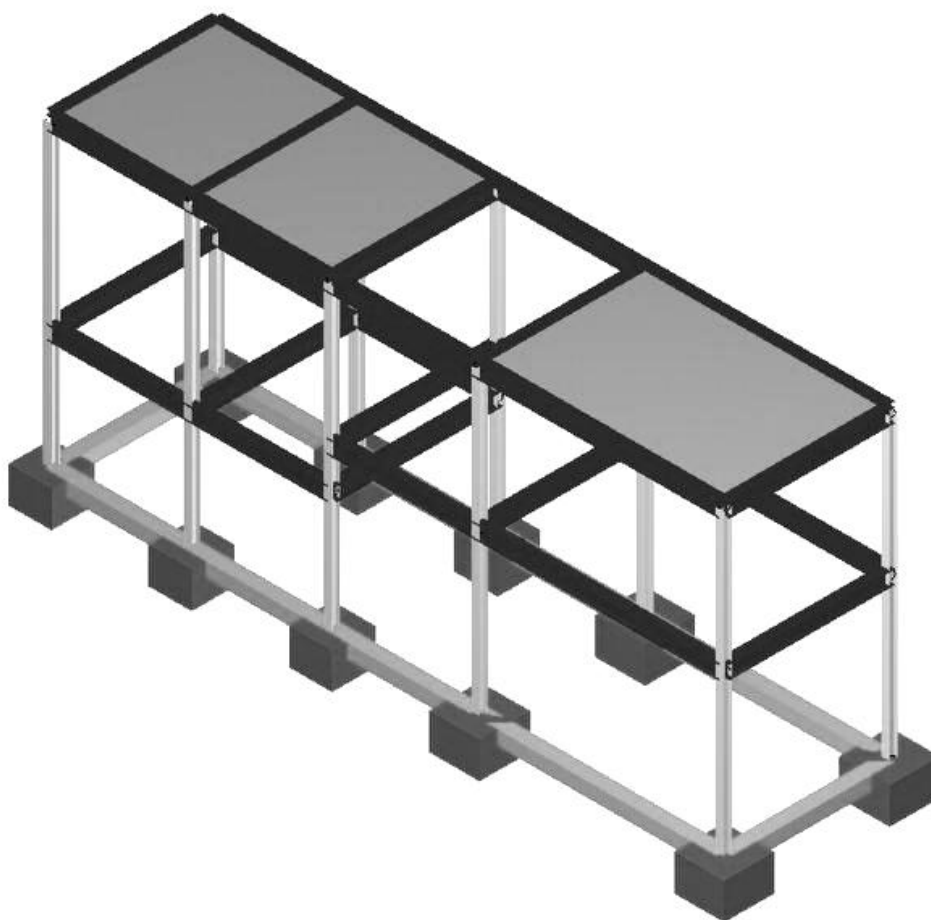




Figura 2 Modello tridimensionale della struttura del condensatore e della scala di accesso

	<b>REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILO</b>	REV.2	
	Relazione di calcolo	PAG. 7/21	

#### 4.VALIDAZIONE SOFTWARE UTILIZZATO

##### 4.1ENEXSYS

Produttore	EnExSys
Titolo	WinStrand
Versione	Rel. 2012
Nro Licenza	8704MRTNFR

##### Affidabilità dei codici utilizzati

L'affidabilità del codice utilizzato e la sua idoneità al caso in esame, è stata attentamente verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

La EnExSys, a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti, fornisce direttamente i test sui casi prova.

##### Validazione dei codici

L'opera in esame non è di importanza tale da necessitare un calcolo indipendente eseguito con altro software da altro calcolista.

##### Informazioni sull'elaborazione

Il software è dotato di propri filtri e controlli di autodiagnostica che intervengono sia durante la fase di definizione del modello sia durante la fase di calcolo vero e proprio.

In particolare il software è dotato dei seguenti filtri e controlli:

- Filtri per la congruenza geometrica del modello generato
- Controlli a priori sulla presenza di elementi non connessi, interferenze, mesh non congruenti o non adeguate.

Filtri sulla precisione numerica ottenuta, controlli su labilità o eventuali mal condizionamenti delle matrici, con verifica dell'indice di condizionamento.

Controlli sulla verifiche sezionali e sui limiti dimensionali per i vari elementi strutturali in funzione della normativa utilizzata.

Controlli e verifiche sugli esecutivi prodotti.

Rappresentazioni grafiche di post-processo che consentono di evidenziare eventuali anomalie sfuggite all'autodiagnostica automatica.

In aggiunta ai controlli presenti nel software si sono svolti appositi calcoli su schemi semplificati, che si riportano nel seguito, che hanno consentito di riscontrare la correttezza della modellazione effettuata per la struttura in esame.

##### Giudizio motivato di accettabilità

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

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

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

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



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

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

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

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

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

	<b>REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSIOLO</b>	REV.2	
	Relazione di calcolo	PAG. 8/21	

#### 4.2 ELEMENTI FINITI IMPLEMENTATI

- Truss
- Beam (Modellazione di Travi e Pilastrini)
- Travi su suolo elastico alla Winkler
- Plinti su suolo elastico alla Winkler
- Elementi ShearWall per la modellazione di pareti di taglio
- Elementi shell (lastra/piastra) equivalenti
- Elementi Isoparametrici a 8 Nodi Shell (lastra/piastra)

#### 4.3 SCHEMI DI CARICO

- Carichi nodali concentrati
- Carichi applicati direttamente agli elementi
- Carichi Superficiali

#### 4.4 TIPO DI RISOLUZIONE

- Analisi statica e/o dinamica in campo lineare con il metodo dell'equilibrio.
- Fattorizzazione LDLT.
- Analisi Statica:
  - modellazione generale 6 gradi di libertà per nodo.
  - ipotesi di solai infinitamente rigidi nel proprio piano (3 gradi di libertà per nodo + 3 per impalcato).
- Analisi dinamica. (Nel caso di analisi modale gli autovettori ed autovalori possono essere calcolati mediante *subspace iteration* oppure tramite il *metodo dei vettori di Ritz*):
  - Via statica equivalente.
  - Modale con il metodo dello spettro di risposta.

#### 4.5 DATI RELATIVI AI NODI DELLA STRUTTURA

##### Convenzioni adottate

La terna di riferimento generale è destrorsa.

I nodi vengono numerati, con riferimento a una sezione orizzontale, da sinistra a destra, dal basso verso l'alto e per quote crescenti.

L'impalcato di appartenenza di un nodo è definito, in generale, dalla prima delle tre cifre che ne definiscono il numero, possono tuttavia presentarsi casi in cui si hanno più di 100 nodi per solaio nel qual caso il solaio di appartenenza è specificato dall'ultimo valore stampato nella riga dei dati relativi al nodo.

La maschera dei vincoli è costituita dai valori 0 e 1. Il valore 1 indica che per il nodo in riferimento il grado di libertà correlativo è soppresso mentre il valore 0 indica che è libero.

Nel caso di edifici civili multipiano l'asse z generale coincide con l'asse verticale rivolto verso l'alto.

#### 4.6 ELEMENTI TIPO TRAVE SU SUOLO ALLA WINKLER

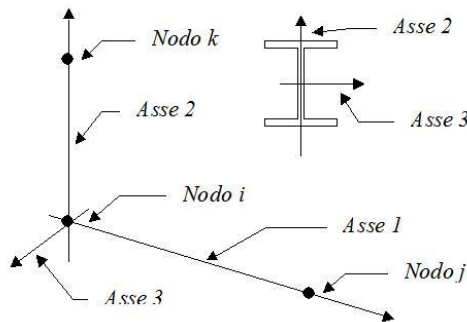
##### Convenzioni adottate



Ogni elemento tipo trave su suolo alla Winkler viene identificato da:

- Il nodo iniziale  $i$ ;
- il nodo finale  $j$ ;
- il nodo  $k$  che definisce l'orientamento nello spazio della terna riferimento locale dell'elemento.

La terna di riferimento locale della trave risulta essere così disposta:



La modellazione del terreno sul quale agiscono le travi è alla Winkler e pertanto particolare attenzione va riposta ai casi in cui le travi inducano sul terreno zone di trazione poiché, in tal caso, la modellazione stessa cade in difetto.

#### Caratteristiche dei Materiali

Tipo	Modulo Elastico [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\nu$	alfa [1/°C]	Peso Specifico [kg/m <sup>3</sup> ]	Commento
1	300000.0	0.120	0.000012	2500.0	Calcestruzzo
2	2100000.0	0.330	0.000012	7850.0	Acciaio

#### Caratteristiche dei terreni di fondazione

Tipo	Costante di Sottofondo [kg/cm <sup>3</sup> ]	Commento
2	10.0	Macomer

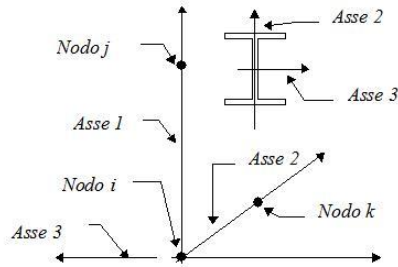
#### 4.7 ELEMENTI TIPO PILASTRO

##### Convenzioni adottate

Ogni elemento tipo pilastro viene identificato da:

- Il nodo iniziale  $i$ ;
- Il nodo finale  $j$ ;
- Il nodo  $k$  che definisce l'orientamento nello spazio della terna riferimento locale dell'elemento.

La terna di riferimento locale del pilastro risulta quindi essere così disposta:



Sistema di riferimento locale

Vengono riportati i valori di efficacia dei vincoli flessionali alle estremità dell'elemento (variabili fra lo **0%** e il **100%**), nei due piani **1-2** e **1-3** del pilastro in corrispondenza dei nodi, dando quindi la possibilità di considerare aste non perfettamente incastrate alle estremità (coefficienti **Vi12 - Vj12 - Vi13 - Vj13**).

In generale, se non diversamente disposto, l'asse 2 coincide, per i pilastri, con l'asse **y** globale e pertanto la disposizione della sezione coincide con quella che si avrebbe in una vista in pianta.

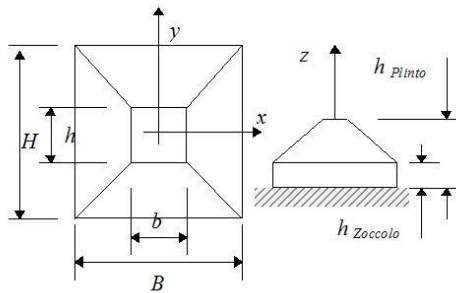
Caratteristiche dei Materiali

Tipo	Modulo Elastico [kg/cm <sup>2</sup> ]	v	alfa [1/°C]	Peso Specifico [kg/m <sup>3</sup> ]	Commento
1	300000.0	0.120	0.000012	2500.0	Calcestruzzo
2	2100000.0	0.330	0.000012	7850.0	Acciaio

**4.8 ELEMENTI TIPO PLINTO SU SUOLO ALLA WINKLER**

Convenzioni adottate

L'elemento, con riferimento al piano x-y, risulta essere così disposto:



Il plinto viene identificato con il numero del nodo a cui fa capo.

Caratteristiche dei Materiali:

Tipo	Modulo Elastico [kg/cm <sup>2</sup> ]	v	alfa [1/°C]	Peso Specifico [kg/m <sup>3</sup> ]	Commento
1	300000.0	0.120	0.000012	2500.0	Calcestruzzo
2	2100000.0	0.330	0.000012	7850.0	Acciaio

Caratteristiche dei Terreni di Fondazione:

Tipo	Costante di Sottofondo [kg/cm <sup>3</sup> ]	Commento
1	10	Macomer

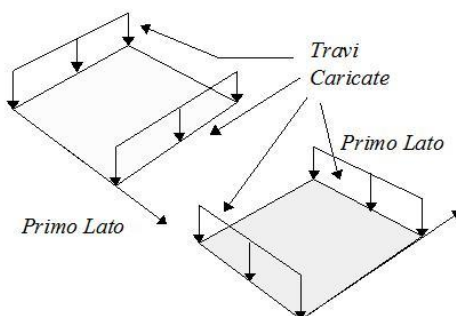
#### 4.9 DATI RELATIVI ALLE AREE DI CARICO

##### Convenzioni adottate

Nel seguito sono riportate le *aree di carico* definite nel progetto.

Un'*area di carico* è definita da una superficie contornata da travi di bordo ed i carichi superficiali su essa agenti vengono riportati dal programma sulle travi perimetrali in ragione dell'area di influenza relativa ad ogni trave e della direzione di orditura della superficie.

È importante rilevare che la direzione di orditura viene assunta dal programma con riferimento al primo lato della superficie di carico e non con riferimento all'asse x globale della struttura.



Esempio: *direzione* di orditura 0 gradi.

In particolare ricordiamo che le *aree di carico* fungono esclusivamente da supporto per il calcolo dei carichi di tipo superficiale in quanto i carichi definiti tramite tali *aree di carico* in effetti vengono trasferiti (sotto forma di carichi lineari o carichi nodali concentrati nei nodi) sulle travi perimetrali che contornano l'area di carico stessa.

A seguire vengono riportati per ogni tipologia definita i carichi agenti nelle varie condizioni di carico. La dizione:

Globale

indica che il carico è definito nel sistema di riferimento globale della struttura.

Globale Proiettato

indica che il carico è definito nel sistema di riferimento globale della struttura ma il valore viene computato in proiezione.

Locale

indica che il carico è definito nel sistema di riferimento locale della superficie di carico.

## 5.DESCRIZIONE STRUTTURA

La struttura oggetto della presente relazione consiste nel manufatto a supporto del silos delle ceneri e PSR realizzato in acciaio a telaio. Le fondazioni di tale manufatto consistono in un sistema di plinti isolati interconnessi da cordoli di collegamento perimetrali.

Le strutture di fondazione vengono realizzati in calcestruzzo di classe C25/30 con ferri di armatura di tipo B450C: valutando una categoria di esposizione di tipo XC2 (superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo. Strutture idrauliche, Fondazioni e strutture interrate), sulla base delle indicazioni della sezione 4 dell'EC2 è stato assunto un ricoprimento a bordo staffa pari a 30mm.

La fondazione della struttura, posta alla quota -1,20m rispetto al piano campagna, è ottenuta mediante 10 plinti tozzi, per un ingombro totale in pianta iscrivibile in un'area rettangolare aventi lati pari 20,00m x 5,20m: di questi, 6 hanno una ciabatta inferiore di forma quadrata con spessore pari a 100cm e lato pari a 140cm, mentre gli altri hanno una ciabatta con lo stesso spessore ma avente un'impronta quadrata di lato pari a 120cm.

I plinti sono collegati tra loro mediante dei cordoli di fondazione perimetrali allineati sull'estradosso e con sezione quadrata di lato pari a 40cm. Il sistema di fondazione viene poi sormontato da una pavimentazione industriale in conglomerato cementizio armato avente spesso massimo pari a 30cm.

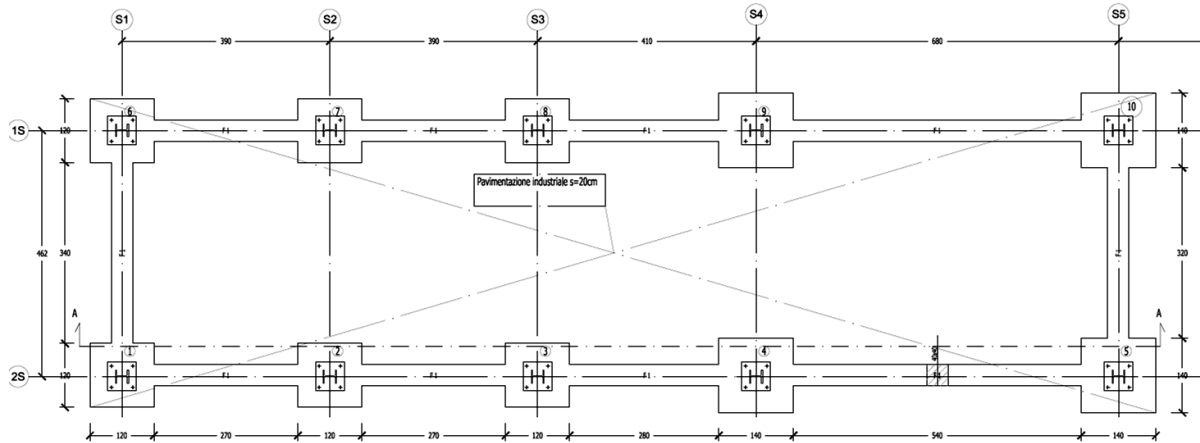
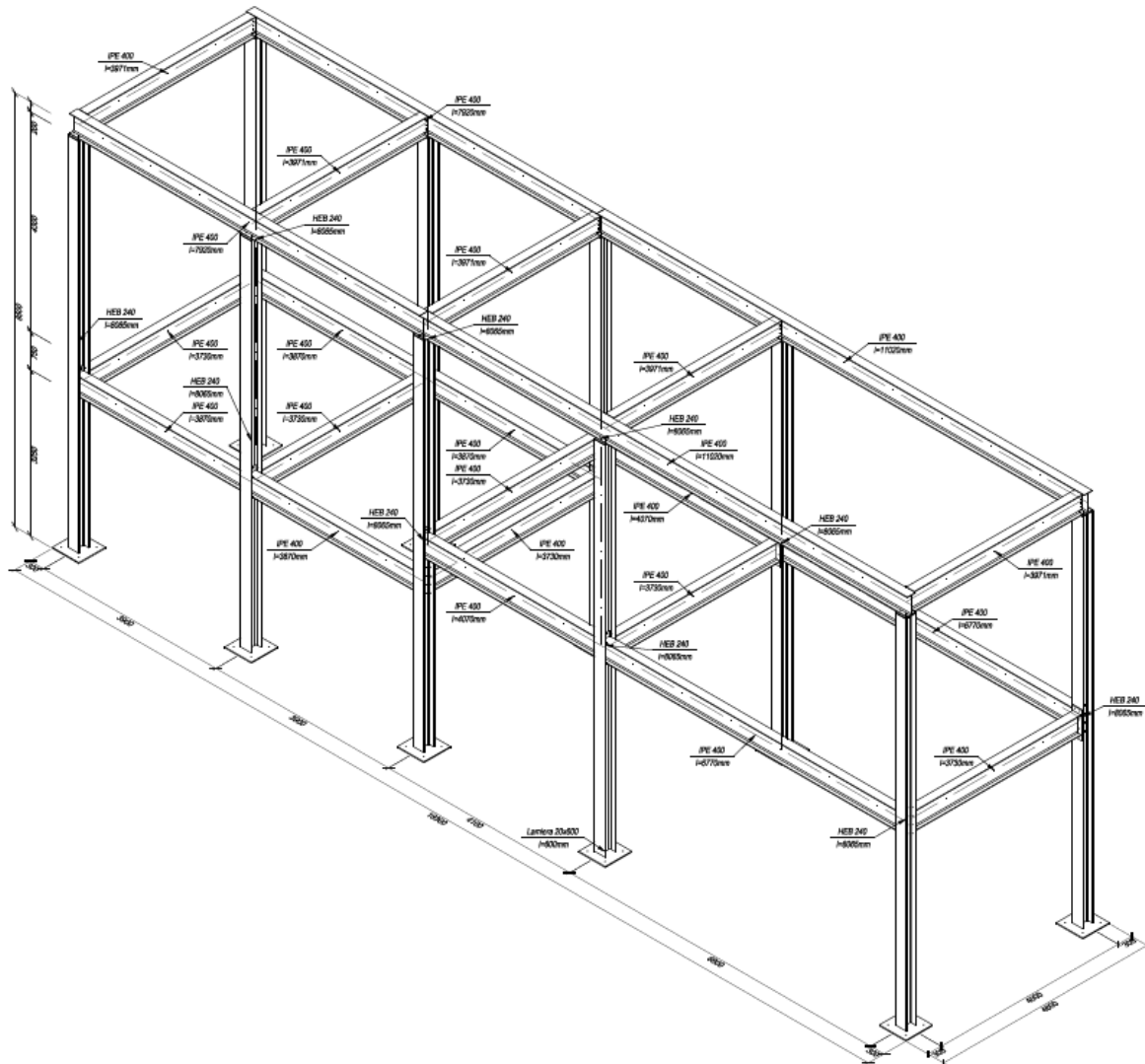


Figura 3 Pianta delle fondazioni del condensatore

La struttura di supporto del condensatore prevede 10 pilastri in acciaio ottenuti mediante profili di tipo HEA240 che si estendono fino alla quota di +8.30m sulla quale viene posizionata l'apparecchiatura: a tale altezza, nel modello vengono previste delle aree di carico orizzontali sulle quali agiscono dei carichi a rappresentazione della presenza dell'apparecchiatura, il cui peso è stato spalmato su tutta l'area di ingombro. Il peso del condensatore si scarica sulle travi principali disposte secondo il lato lungo ed ottenute con profili di tipo IPE HEA400. A quote intermedie viene inoltre prevista la presenza di travi principali di tipo HEA400.



## 6. ANALISI DEI CARICHI

### Carico permanente

G<sub>1</sub> Carico permanente strutturale (peso proprio degli elementi in c.a. e acciaio) computato dal software

G<sub>2</sub> Carico permanente non strutturale agente sulla struttura, definito come segue:

Peso proprio dell'apparecchiatura 1,500 Kg/m<sup>2</sup>

Peso proprio del pannello di baraccatura 30 Kg/m<sup>2</sup>

### Carico accidentale

La struttura di sostegno del silos prevede un solo orizzontamento, il quale verrà completamente occupato dall'opera elettromeccanica in oggetto. Per tale motivo, l'orizzontamento non è soggetto alla presenza di un sovraccarico accidentale che dunque non è stato inserito in fase di modellazione.

### Carico neve

La struttura di sostegno del silos prevede un solo orizzontamento, il quale verrà completamente occupato dall'opera elettromeccanica in oggetto. Per tale motivo, l'orizzontamento non è soggetto alla presenza di un sovraccarico da neve che dunque non è stato inserito in fase di modellazione.

### Carico vento

Data la presenza degli elementi esterni di tamponatura, si è inoltre tenuto debitamente conto dell'azione del vento (Qk2) sulla struttura secondo quanto indicato al §3.3 delle NTC08, applicando un carico uniformemente distribuito su aree di carico.

E' stato assunto quanto riportato nella tabella seguente.

**Tabella 1 - Analisi del carico da vento**

Zona		6
Altitudine sul livello del mare	a <sub>s</sub> =	563 m
Pressione cinetica di riferimento	Q <sub>b</sub> =	53,51 kg/m <sup>2</sup>
Classe di rugosità		B
Categoria di esposizione		IV
Altezza fuori terra edificio	Z=	8,5 m
Coefficiente di esposizione	C <sub>e</sub> =	2,38
Percentuale aperture edificio	P=	=0%
<b>Pressione del vento sopravento</b>	<b>Q<sub>s</sub>=</b>	<b>70 Kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Pressione del vento sottovento</b>	<b>Q<sub>s</sub>=</b>	<b>35 Kg/m<sup>2</sup></b>

### Carico termico

Data la tipologia di edificio e la destinazione d'uso della struttura oggetto della presente, essa è classificabile come struttura in acciaio protetta: per questo motivo, in base a quanto indicato al §3.5.5. delle NTC08, a rappresentazione del carico termico è stata applicata una variazione termica pari a +-15 °C a tutti gli elementi della struttura (Qk1).

### Azioni eccezionali

Per l'opera in progetto non è stato ritenuto opportuno tenere in conto esplicito azioni eccezionali quali urti, incendi ed esplosioni. La concezione strutturale, i dettagli costruttivi ed i materiali con i quali verrà realizzata la struttura portante del fabbricato sono comunque tali da evitare che la struttura stessa possa avere danneggiamenti sproporzionati rispetto ad eventuali cause legate a questo tipo di eventi.

## 7.COMBINAZIONI DI CARICO

I carichi definiti in precedenza sono stati applicati al modello di calcolo sviluppato in forma tridimensionale mediante la definizione di tre aree di carico: a quest'ultima sono stati assegnati i valori di carico riportati nella tabella seguente.

**Tabella 2 - Riepilogo dei carichi agenti sulle aree di carico**

AREA DI CARICO	Perm. strutt.	Perm. non strutt.	Vento
	G1	G2	Qk2
Area 1	/	1,500	/
Baraccatura sopravento	/	30	70
Baraccatura sottovento	/	30	35

Assegnate le condizioni di carico, sono state definite le combinazioni di carico da adottare nel calcolo della struttura così come segue:

**Tabella 3 - Valori dei coefficienti di combinazione**

	N°	Commento	Peso	G2	Qk1	Qk2	E0	E90
SLU	1	SLU 1	1,3	1,3	1,5	1,5	/	/
	2	SLU 2	1,3	1,3	1,5	1,5	/	/
SLV	1	Sisma 0+/90+	1	1	0	0	1+	0,3+
	2	Sisma 0-/90-	1	1	0	0	1-	0,3-
	3	Sisma 90+/0+	1	1	0	0	0,3+	1+
	4	Sisma 90-/0-	1	1	0	0	0,3-	1-
SLE rare	1	SLE Rare 1	1	1	1	0,6	/	/
	2	SLE Rare 2	1	1	0,6	/	1	/
SLE freq	1	SLE freq. 1	1	1	0,5	0	/	/
	2	SLE freq. 2	1	1	0	0,2	/	/
SLE q,perm.	1	SLE Q. perm.	1	1	0	0	/	/
SLD	1	Sisma 0+/90+	1	1	0	0	1+	0,3+
	2	Sisma 0-/90-	1	1	0	0	1-	0,3-
	3	Sisma 90+/0+	1	1	0	0	0,3+	1+
	4	Sisma 90-/0-	1	1	0	0	0,3-	1-

## 8.CLASSIFICAZIONE SISMICA

La struttura del silos, così come precedentemente definita, è stata sottoposta ad un'analisi dinamica lineare che ha tenuto conto sia dell'azione sismica propria del sito di costruzione, la quale è stata valutata in maniera automatica, sia delle eventuali eccentricità delle masse, in accordo con il §7.2.6 delle NTC08, assumendo:

**Tabella 4 - Parametri dell'azione sismica**

Sito di costruzione	Comune di Macomer (NU)
Latitudine	40,2681
Longitudine	8,78
Zona sismica	4
Categoria suolo	B (Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati)
Categoria topografica	T <sub>1</sub>
Coefficiente amplificazione topografica	St = 1
Vita nominale	50
Classe d'uso	II
Coefficiente d'uso	1
Classe di duttilità	Bassa
Tipologia edificio	Struttura a telaio con più piani e più campate
Regolarità in pianta	SI'
Regolarità in altezza	NO
Eccentricità accidentale	5% dimensioni edificio
Fattore di struttura sisma orizzontale	q = 3,2
Fattore di struttura sisma verticale	q = 1,5

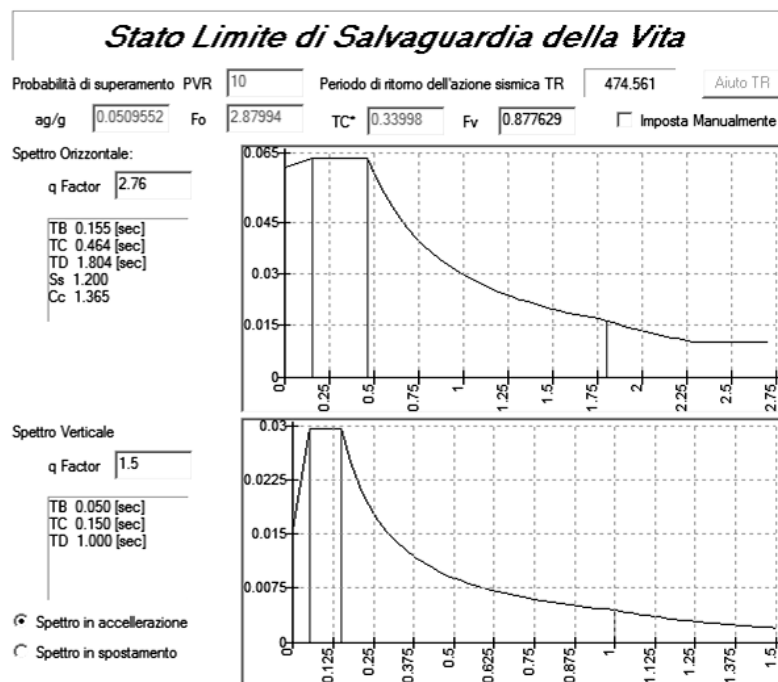


Figura 5: Spettri di calcolo agli SLV



### 9. PRESENTAZIONE SINTETICA DEI RISULTATI

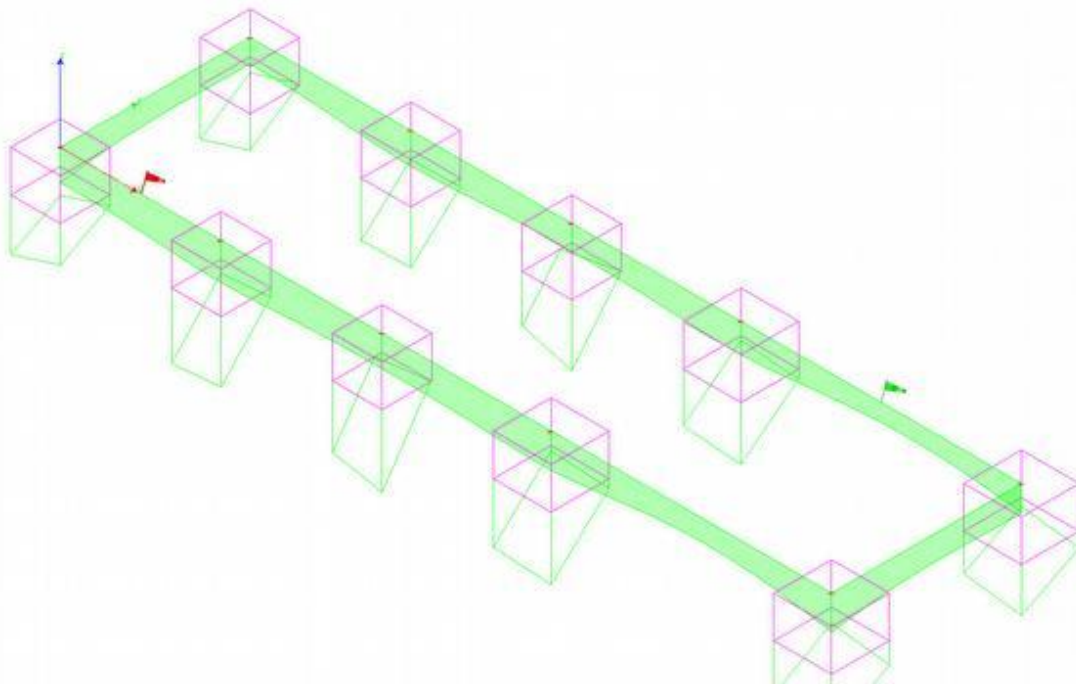


Figura 6: Involuppo delle pressioni sul terreno

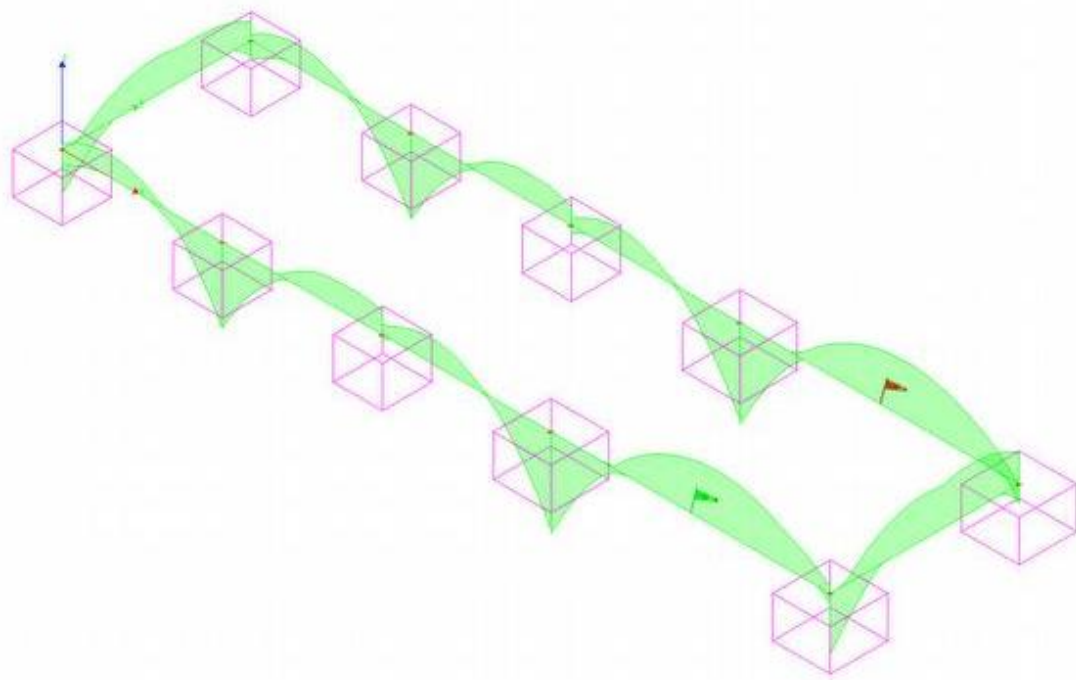


Figura 7: Involuppo dei momenti flettenti sugli elementi di fondazione

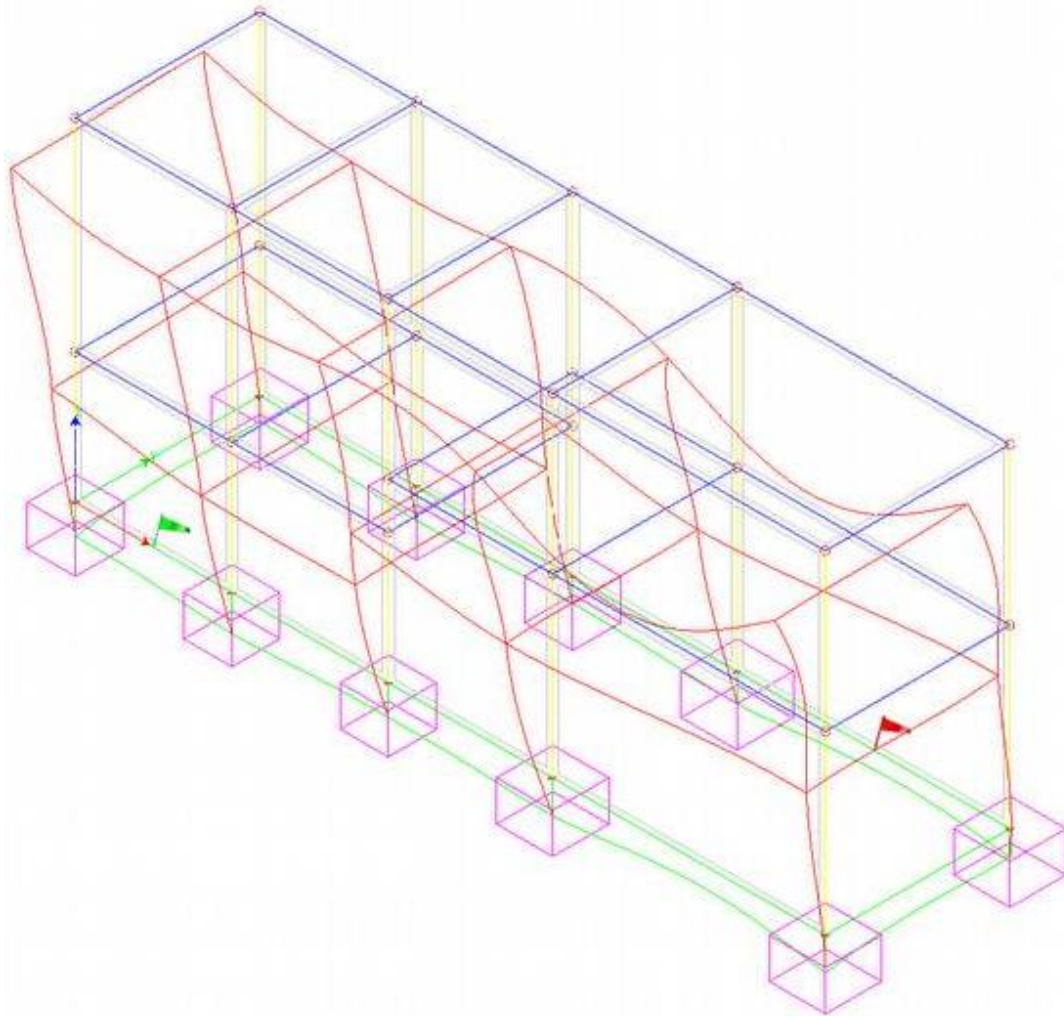


Figura 8: Spostamenti degli elementi per la combinazione SLU2

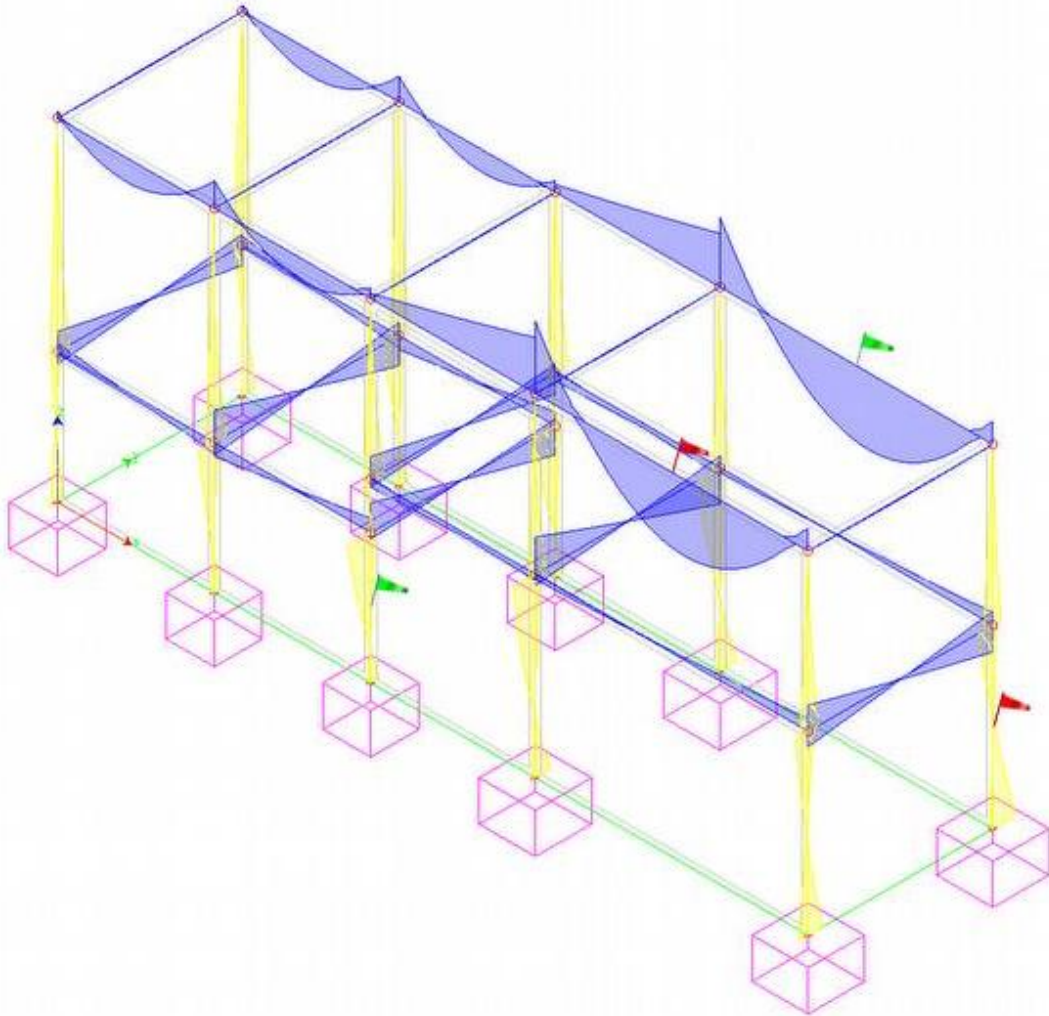




Figura 9: Involuppo dei momenti flettenti

	<b>REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILO</b>	REV.2	
	Relazione di calcolo	PAG. 20/21	

## 10. VERIFICHE CONDOTTE

Una volta assegnati i carichi, il programma ha provveduto alla verifica degli elementi strutturali (Pilastri e travi in c.a., pilastri e travi in acciaio, plinti e cordoli di fondazione), i cui dettagli sono presenti nel fascicolo dei calcoli in allegato.

Nei successivi paragrafi vengono indicate le modalità con cui il software procede sia al progetto che alla verifica di ciascun elemento strutturale.

I dettagli delle verifiche degli elementi strutturali e degli elementi di fondazione sono riportati nel tabulato di calcolo allegato alla presente relazione.

Nei disegni esecutivi in allegato vengono meglio illustrate la geometria, le dimensioni e le armature degli elementi strutturali e dei particolari costruttivi.

### 10.1 VERIFICHE TRAVI DI FONDAZIONE

Le travi vengono progettate-verificate a flessione retta e taglio nel piano longitudinale della trave sulla base dell'inviluppo delle sollecitazioni. Viene comunque sempre predisposta l'armatura minima mentre gli sforzi di taglio vengono integralmente assorbiti dalle staffe.

Le operazioni di progetto-verifica vengono condotte, per ogni asta, in tre diverse sezioni e precisamente in corrispondenza dei fili esterni dei pilastri e della sezione in campata nella quale viene riscontrato il massimo momento positivo (negativo).

I momenti si intendono positivi se tendono le fibre di intradosso (inferiori).

Per quanto concerne il progetto e la verifica delle travi a taglio esse vengono condotte nel modo seguente:

- Si controlla se la trave necessita o meno di armatura aggiuntiva a taglio:
  1. Se non occorre armatura aggiuntiva a taglio si procede a disporre la staffatura minima di regolamento e la progettazione ha termine.
  2. Se occorre armatura aggiuntiva a taglio la staffatura viene progettata andando a suddividere la trave, a seconda del caso, in uno, tre o cinque conci:
    - due tronchi in prossimità degli appoggi di lunghezza pari all'altezza della sezione;
    - due altri (eventuali) tronchi dall'ascissa precedente a quella in cui il taglio può essere assorbito con la sola staffatura minima da regolamento
    - un restante (eventuale) concio di chiusura centrale.
- In ogni caso l'armatura a taglio si intende simmetrica rispetto alla mezzera della trave e viene progettata considerando, rispetto alla mezzera, la zona della trave più sollecitata.

Per quanto concerne le verifiche a taglio esse vengono condotte suddividendo la trave in cinque conci:

due tronchi in prossimità degli appoggi di lunghezza pari all'altezza della sezione; due altri (eventuali) tronchi dall'ascissa precedente a quella in cui il taglio può essere assorbito con la sola staffatura minima da regolamento; il restante (eventuale) concio di chiusura centrale.

L'armatura a taglio si intende simmetrica rispetto alla mezzera della trave e viene progettata considerando, rispetto alla mezzera, la zona della trave più sollecitata.

### 10.2 VERIFICHE PLINTI DI FONDAZIONE

Il progetto e la verifica dei plinti in C.A. viene effettuato considerando come azioni agenti:

- Lo sforzo normale agente sul plinto.
- I momenti agenti sul plinto e dedotti dal calcolo.
- I momenti di trasporto  $T \cdot h$  (dove  $T$  è il taglio ed  $h$  l'altezza del plinto)

Con tali sollecitazioni vengono calcolate le pressioni sul terreno (considerato come non reagente a trazione) e da queste calcolate le azioni di progetto per il dimensionamento delle armature.

La verifica viene sempre condotta nella sezione del colletto a filo pilastro, indicando con  $\alpha$  l'angolo compreso tra la base del plinto e la congiungente lo spigolo di detta base con l'attacco del pilastro.

A favore di sicurezza si è in ogni caso considerata (ai fini delle verifiche) la pressione massima sul terreno come agente sull'intera sezione del plinto.

### 10.3 VERIFICHE ELEMENTI METALLICI

L'Eurocodice 3 (EC3) prevede le verifiche agli stati limite di esercizio (deformazioni, spostamenti, vibrazioni) e quelle agli stati limite ultimi (resistenza della sezione, resistenza della membratura, resistenza dei collegamenti, stabilità del telaio, equilibrio statico).

Il tipo di analisi previsto per lo studio di uno schema strutturale dipende dalla sua classificazione in termini di spostamenti laterali e dai particolari costruttivi adottati. L'EC3 ammette l'impiego dell'analisi lineare elastica senza ulteriori indagini esclusivamente nel caso di telai controventati (punto 5.2.5.3) e telai a nodi fissi (punto 5.2.5.2) cioè per quelle strutture per le quali si può assumere che gli spostamenti orizzontali sono ininfluenti o sono contenuti da un sistema adeguato di controventatura. In caso contrario la stabilità globale del telaio può essere messa in evidenza dall'analisi elastica del secondo ordine (ad esempio, metodo P-Delta). Secondo questo procedimento gli incrementi di azioni interne indotti dagli spostamenti laterali vengono valutati esplicitamente e pertanto, essendo noto l'effettivo campo di spostamenti e sollecitazioni presente nella struttura, le verifiche vengono condotte:

- Considerando il campo di sollecitazioni dedotto dall'analisi;
- Valutando la lunghezza di libera inflessione delle membrature come se la struttura fosse a nodi fissi.

Le verifiche di resistenza e stabilità, invece, dipendono dalla classe di appartenenza delle sezioni utilizzate per le membrature stesse.

Sezione	Classe	Descrizione
Plastica	1	In tutte le fibre si raggiunge la tensione <b>f<sub>yd</sub></b> prima che gli effetti di instabilità locale possano presentarsi. La sezione è capace di superare il momento di piena plasticizzazione e di assicurare una duttilità pari a quella teorica.
Compatta	2	Come per la sezione Plastica ma con una duttilità inferiore a quella teorica ( $\epsilon_u < 10 \epsilon_e$ ).
Semicompatta	3	Solo nella fibra più esterna si raggiunge la tensione <b>f<sub>yd</sub></b> prima che gli effetti di instabilità locale possano presentarsi. La duttilità è ancora più contenuta.
Snella	4	In nessuna fibra si raggiunge la tensione <b>f<sub>yd</sub></b> per il sovraggiungere di fenomeni di instabilità locale che portano in crisi la sezione in anticipo. La duttilità è assai limitata.

Per le sezioni in classe 4 si parla di caratteristiche inerziali della Sezione Lorda e quelle della Sezione Efficace, in cui si prendono in considerazione solo le porzioni di sezione non soggette ai fenomeni di instabilità locale.

#### Verifiche di Resistenza

Nel capitolo 5.4.1 l'EC3 richiama l'attenzione del progettista sul fatto che, pur non considerando i fenomeni di instabilità dell'asta, la resistenza delle sezioni trasversali delle membrature può essere limitata dai seguenti fattori:

- Resistenza plastica della Sezione Lorda;
- Resistenza della sezione netta in corrispondenza dei fori o dei dispositivi di giunzione;
- Effetti di diffusione del carico per taglio (shear lag) influenzato dai rapporti geometrici delle flange nei confronti dell'anima;
- Resistenza alla instabilità locale dei singoli elementi della sezione trasversale;
- Resistenza alla instabilità locale per taglio.

#### Verifiche di Stabilità

Le grandi deformazioni, che possono coinvolgere le zone compresse delle membrature, si possono genericamente suddividere in tre fenomeni tipici:

- Instabilità da sforzo normale, che interessa le aste compresse o presso-inflesse;
- Instabilità flessione-torsionale (o svergolamento), che interessa le ali compresse degli elementi inflessi;
- Instabilità per taglio (o imbozzamento), che coinvolge le anime degli elementi inflessi.

A questi fondamentali campi di verifica sono dedicati i capitoli dal 5.5 al 5.9 dell'EC3.