

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 400 EDIFICIO CICLO TERMICO

Sistema Qualità Certificato



UNI EN ISO 9001 (ISO 9001)
Certificato n° FS 587971



CODICE DESCRITTIVO: **ITV240FMRC724.01**

N° ALLEGATO: **C.15**

| | | | | | |
|------------------|-------------|--------------------|----------------|--------------------|------------------|
| 0 | 01/01/2016 | EMISSIONE | marano | martino | martino |
| 1 | 12/04/2016 | REVISIONE | cambri | martino | martino |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| revisione | data | descrizione | redatto | controllato | approvato |

INDICE

| | |
|------------------------------------------------------|-----------|
| 1. DESCRIZIONE INTERVENTO | 4 |
| 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO..... | 5 |
| 3. DESCRIZIONE MODELLO STRUTTURALE | 6 |
| 4. VALIDAZIONE SOFTWARE UTILIZZATO..... | 7 |
| 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 |
| 5. DESCRIZIONE STRUTTURA | 12 |
| 6. ANALISI DEI CARICHI..... | 13 |
| 7. COMBINAZIONI DI CARICO | 15 |
| 8. CLASSIFICAZIONE SISMICA..... | 17 |
| 9. PRESENTAZIONE SINTETICA DEI RISULTATI..... | 18 |
| 10. VERIFICHE CONDOTTE | 20 |
| 10.1 VERIFICHE TRAVI DI FONDAZIONE | 20 |
| 10.2 VERIFICHE TRAVI IN C.A. | 20 |
| 10.3 VERIFICHE PILASTRI IN C.A. | 21 |
| 10.4 VERIFICHE ELEMENTI METALLICI | 21 |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA1:AREA VASTA - UBICAZIONE INTERVENTO SU FOTO SATELLITARE | 4 |
| FIGURA 2 MODELLO TRIDIMENSIONALE DELLA STRUTTURA..... | 6 |
| FIGURA3:SCHEMATIZZAZIONE DEL CARICO SULLE VIE DI CORSA..... | 14 |
| FIGURA 4:SPETTRI DI CALCOLO AGLI SLV | 17 |
| FIGURA 5: INVILUPPO PRESSIONI IN FONDAZIONE | 18 |
| FIGURA 6: INVILUPPO MOMENTO FLETTENTE ELEMENTI IN ELEVAZIONE | 18 |
| FIGURA 7: INVILUPPO MOMENTO FLETTENTE TRAVI DI COPERTURA | 19 |
| FIGURA 8: DEFORMATA MASSIMA TRASVERSALE..... | 19 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| TABELLA 1 - ANALISI DEL CARICO DA NEVE | 13 |
| TABELLA 2 - ANALISI DEL CARICO DA VENTO | 13 |
| TABELLA 3 - VALORI DEI CARICHI CONCENTRATI DELLE VIE DI CORSA | 14 |
| TABELLA 4 - RIEPILOGO DEI CARICHI AGENTI SULLE AREE DI CARICO..... | 15 |
| TABELLA 5 - VALORI DEI COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE | 15 |
| TABELLA 6 - PARAMETRI DELL'AZIONE SISMICA..... | 17 |

1. DESCRIZIONE INTERVENTO

Il presente elaborato contiene la relazione di calcolo relativa alla progettazione del nuovo edificio fossa scorie, da realizzare all'interno dell'area 400 (ambito recupero termico), 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.

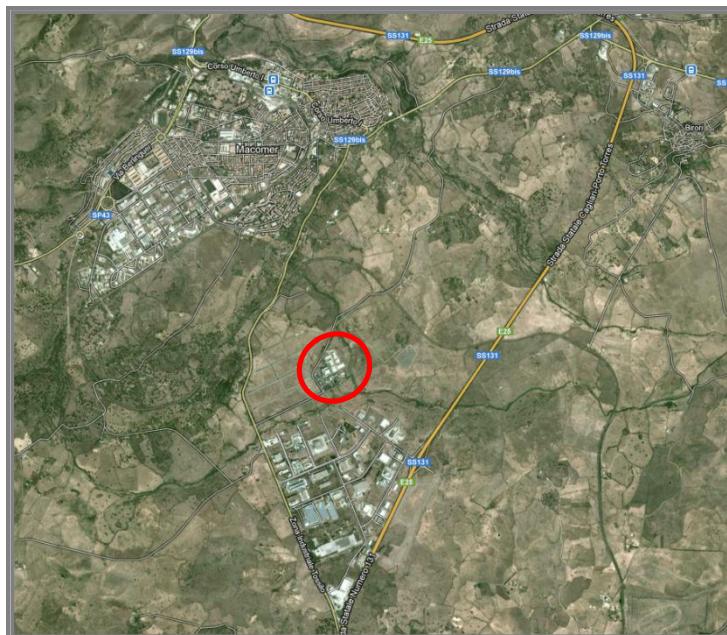


Figura1:Area vasta - Ubicazione intervento su foto satellitare

Tale nuovo manufatto risulta posto in adiacenza al locale quadri esistente.

La struttura è realizzata mediante il ricorso ad elementi in conglomerato cementizio armato, con un ingombro massimo in pianta pari a 18,0 m x 9,30m ed un'altezza totale fuori terra di 12,75 m.

All'interno del manufatto è prevista la presenza di un carroponte carriponi posto alla quota relativa di 9,10 m.

La copertura viene ottenuta mediante l'utilizzo di un solaio tipo spirroll.

Le vie di corsa vengono realizzate mediante profili in acciaio collegati alle mensole di appoggio in c.a. inferiori, così come gli elementi secondari necessari per la baraccatura esterna realizzata con pannelli in lamiera coibentata.

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

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILo | REV. 1 |  |
| | Relazione di calcolo | PAG. 5/22 | |

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.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILO | REV. 1 |  <small>Italy - 0039 063628301 - www.monsud.it</small> |
| | Relazione di calcolo | PAG. 6/22 | |

3. DESCRIZIONE MODELLO STRUTTURALE

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

Tale software, sviluppato dalla EnExSys s.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 mediante l'utilizzo di elementi monodimensionali, corrispondenti alle aste in acciaio ed ai cordoli di fondazione in C.A..

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.

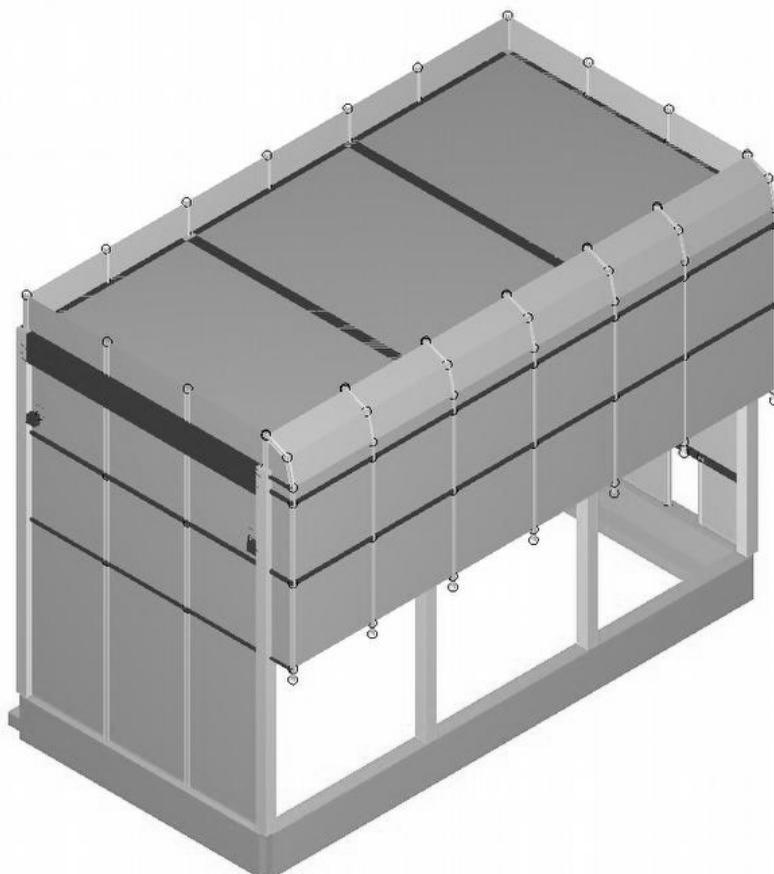


Figura 2 Modello tridimensionale della struttura

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILO | REV. 1 |  |
| | Relazione di calcolo | PAG. 7/22 | |

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 libilità 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 taglienti di base delle azioni sismiche sono confrontabili con gli omologhi valori ottenuti da modelli SDOF semplificati.

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

Le sollecitazioni fornite dal solutore per tali travi, per le combinazioni di carico indicate nel tabulato di verifica del 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 è potuto riscontrare la congruenza di tali risultati con i valori riportati dal software.

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

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

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSIL | REV. 1 |  <small>Italy - 0039 063428301 - www.monsud.it</small> |
| | Relazione di calcolo | PAG. 8/22 | |

4.2 ELEMENTI FINITI IMPLEMENTATI

- Truss
- Beam (Modellazione di Travi e Pilastri)
- Travi su suolo elastico alla Winkler
- Plinti su suolo elastico alla Winkler
- Elementi Shear Wall 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 LDL^T.
- 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.

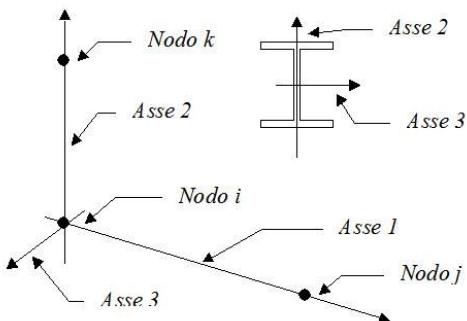
4.6 ELEMENTI TIPO TRAVE SU SUOLO ALLA WINKLER

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 Elasticoo [kg/cm ²] | v | alfa [1/°C] | Peso Specifico [kg/m ³] | 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 ³] | Commento |
|------|-------------------------------------------------|----------|
| 2 | 10.0 | Macomer |

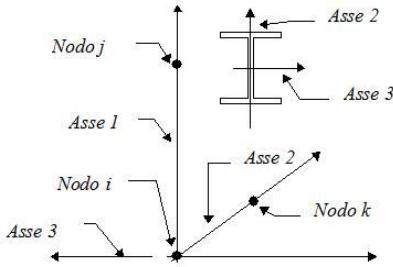
4.7 ELEMENTI TIPO PILASTRO

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.

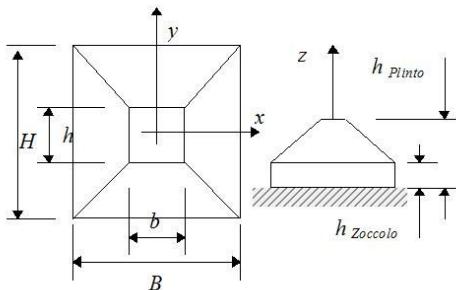
Caratteristiche dei Materiali

| Tipo | Modulo Elastico [kg/cm ²] | v | alfa [1/°C] | Peso Specifico [kg/m ³] | 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 ²] | v | alfa [1/°C] | Peso Specifico [kg/m ³] | 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 ³] | Commento |
|------|-------------------------------------------------|----------|
| 1 | 10 | Macomer |

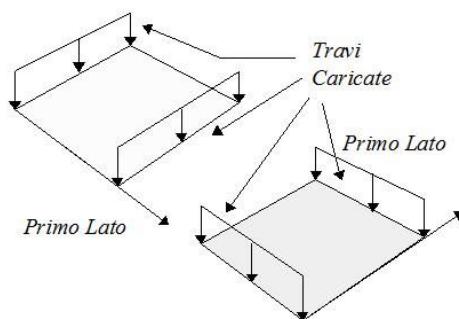
4.9 DATI RELATIVI ALLE AREE DI CARICO

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.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILO | REV. 1 |  |
| | Relazione di calcolo | PAG. 12/22 | |

5. DESCRIZIONE STRUTTURA

La struttura oggetto della presente relazione consiste in un manufatto in c.a.; essa è costituita da telai principali con elementi portati in conglomerato cementizio armato, mentre gli elementi secondari, che devono sostenere la baraccatura verticale esterna, sono realizzati mediante profili in acciaio. Sono previste inoltre vie di corsa in acciaio che permettano l'installazione di un carroponte.

Gli elementi di elevazione e le strutture di fondazioni vengono realizzati in calcestruzzo di classe C25/30 con ferri di armatura di tipo B450C: valutando una categoria di esposizione di tipo XC2 per le fondazioni (superficie di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo. Strutture idrauliche, Fondazioni e strutture interrate) e di tipo XC1 per le strutture in elevazione (Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa, o immerse in acqua), 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 -1,40m rispetto al piano campagna, è ottenuta mediante 4 travi rovesce, di cui 3 hanno sezione da L ed 1 sezione a T rovescia, per un ingombro totale in pianta iscrivibile in un'area rettangolare aventi lati pari 18,40 m x 9,85 m.

All'interno dell'area delimitata dalle travi di fondazione, è previsto un basamento in c.a.

Dalle travi di fondazione si staccano 8 pilastri in calcestruzzo armato, con sezione quadrata di lato pari a 40 cm.

Su tre lati si trovano disposti 8 pilastri di baraccatura (disposti come da tavole indicate) ottenuti mediante il ricorso a profili IPE160 in acciaio di classe S275, sui quali poggiano i pannelli in lamiera coibentata.

La copertura, alla quota di 11,65 m, è ottenuta mediante un solaio alveolare di 30 cm di altezza, sormontato da una soletta armata di 10 cm di spessore, che si appoggia sulle travi perimetrali portanti in c.a. aventi sezione ad L ed a T rovescia; vengono inoltre previste delle travi secondarie dirette secondo l'orditura dell'orizzontamento, con sezione rettangolare pari a 60 cm x 40 cm.

In copertura è presente un parapetto in c.a. di spessore 20 cm ed altezza di 1,10 m.

Alla quota +9,10 m rispetto al piano campagna vengono previste due vie di corsa che permettano l'installazione di un carroponte: esse vengono realizzate mediante il ricorso a un profilo HEA300 in acciaio di classe S275 che si appoggiano su delle mensole in cemento armato collegate ai pilastri (così come indicato nelle tavole in allegato).

Il prospetto adiacente al locale quadri esistente presenta elementi di baraccatura in aggetto su tale edificio, costituita da profili verticali IPE140 e correnti in profili tubolari a sezione quadrata 120 mm x 120 mm x 5 mm.

Essendo classificabile come "Nuova Costruzione", la struttura è stata progettata, come indicato dalle NTC08, con riferimento sia agli SLU sia agli SLE: per quanto riguarda gli stati limite ultimi, è stata condotta un'analisi che tenesse conto anche delle combinazioni sismiche (Stati Limite di salvaguardia della Vita e stati Limite di Danno).

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILO | REV. 1 |  Italy - 0039 063428301 - www.monsud.it |
| | Relazione di calcolo | PAG. 13/22 | |

6.ANALISI DEI CARICHI

Carico permanente

- G₁ Carico permanente strutturale (peso proprio degli elementi in c.a.) computato dal software
- G₂ Carico permanente non strutturale agente sulla struttura, definito come segue:
 Peso proprio del solaio alveolare sormontato dalla soletta 500 Kg/m²
 Peso proprio del pannello in lamiera coibentata 13,3 Kg/m²
- G₂ Carico permanente non strutturale agente sulla struttura, definito come segue:
 Peso proprio della finitura degli orizzontamenti 100 Kg/m²
- G₂ Carico permanente non strutturale agente sulla struttura, definito come segue:
 Peso proprio del pannello in policarbonato 4 Kg/m²
- G₂ Carico permanente non strutturale agente sulla struttura, definito come segue:
 Peso proprio degli elementi meccanici in copertura 2000 Kg/m²

Carico accidentale

L' entità del carico distribuito variabile legato alla destinazione d' uso dell' opera è stata valutata secondo quanto indicato al §3.1.4 delle NTC08:
 Q_{K1} Categoria H₁ (Copertura e sottotetti accessibili per la sola manutenzione), definito come segue: Q_{K2}= 50 Kg/m²

Carico neve

L'entità del carico distribuito accidentale in copertura indotto dalla neve è stata valutata secondo quanto indicato al §3.4 delle NTC08: nello specifico, è stato assunto quanto riportato nella tabella seguente.

Tabella 1 - Analisi del carico da neve

| | | |
|---------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Zona | | III |
| Altitudine sul livello del mare | a _s = | 413 m |
| Carico neve al suolo | q _{sk} = | 89 Kg/m ² |
| Coefficiente di esposizione | C _e = | 0,9 |
| Inclinazione falda | α= | 0 |
| Carico da neve | Q_s= | 70 Kg/m² |

Carico vento

Data la presenza degli elementi esterni di tamponatura, si è inoltre tenuto debitamente conto dell'azione del vento 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 2 - Analisi del carico da vento

| | | |
|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Zona | | 6 |
| Altitudine sul livello del mare | a _s = | 413 m |
| Pressione cinetica di riferimento | Q _b = | 490,72N/m ² |
| Classe di rugosità | | B |
| Categoria di esposizione | | II |
| Altezza fuori terra edificio | Z= | 12,75, m |
| Coefficiente di esposizione | C _e = | 2,241 |
| Percentuale aperture edificio | P= | ≥33% |
| Pressione del vento sopravento | Q_s= | 109 Kg/m² |

Pressione del vento sottovento

 Q_s=

 66 Kg/m²

Carico da carroponte

La presenza di due carroponti fa sì che si debbano valutare le situazioni di sollecitazione delle vie di corsa più sfavorevoli: viene quindi valutato il caso in cui il carroponte sia posizionato a metà delle luci maggiori delle vie di corsa, con la benna disposta in corrispondenza di una via di corsa, in maniera che il carico accidentale gravi completamente su di essa.

Con queste ipotesi, in corrispondenza della mezzeria della luce maggiore, sulle due vie di corsa opposte devono essere posizionati due carichi concentrati che rappresentino in un caso la metà del peso proprio della trave da carroponte più l'intero sovraccarico accidentale ammissibile, nell'altro solo la metà del peso proprio della trave da carroponte.

Tale schematizzazione viene rappresentata nella figura seguente.

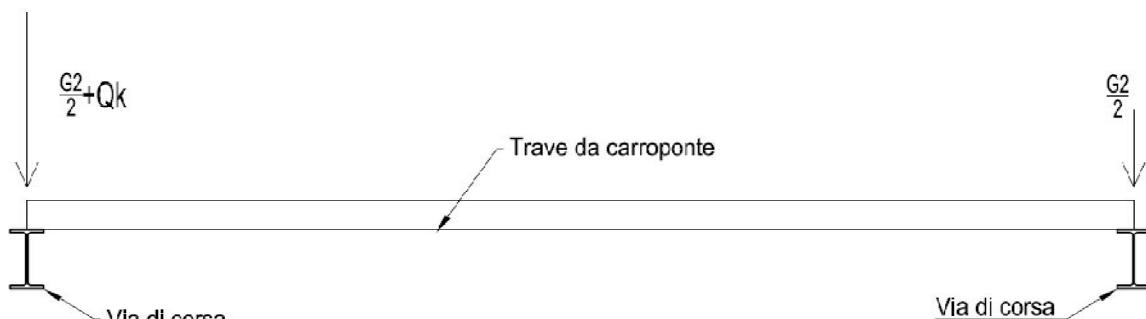


Figura3:Schematizzazione del carico sulle vie di corsa

In base al peso ed alla portata dei due carroponti, vengono previsti differenti valori di carico per le vie di corsa: si riporta nella tabella seguente i valori massimi e minimi considerati all'interno del modello di calcolo.

Tabella 3 - Valori dei carichi concentrati delle vie di corsa

| | Luce libera | Carico massimo | | Carico minimo |
|------------|-------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Carroponte | 7,98 m | G ₂ /2=1.250 daN | Q _k = 5.600 daN | G ₂ /2= 1.250 daN |

Carico termico

Data la tipologia di edificio e la destinazione d'uso della struttura oggetto della presente, essa è classificabile come struttura in C.A. 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 +10 °C a tutti gli elementi della struttura (Q_{k5}).

Azioni eccezionali

Per l'opera in progetto non è stato ritenuto opportuno tenere in conto esplicito azioni eccezionali quali urti, incendi ed esplosioni. Nei tabulati di calcolo vengono tuttavia riportate le verifiche condotte nei confronti della classe richiesta che, nel caso in esame, risulta la REI30.

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILo Relazione di calcolo | REV. 1 |  <small>Italy - 0039 063428301 - www.monsud.it</small> |
| | | PAG. 15/22 | |

7.COMBINAZIONI DI CARICO

I carichi definiti in precedenza sono stati applicati al modello di calcolo sviluppato in forma tridimensionale mediante la definizione di 7 distinte aree di carico, corrispondenti all' orizzontamento e alle superfici di baraccatura verticali:
 A tali aree di carico sono stati assegnati i valori di carico riportati nella tabella seguente.

Tabella 4 - Riepilogo dei carichi agenti sulle aree di carico

| AREA DI CARICO | Perm. strutt. | Perm. non strutt. | Accidentale | Vento y | Neve | Vento x |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|------|-----------------------|
| | G1 | G2 | Qk1 | Qk2 | Qk3 | Qk4 |
| Copertura | 500 kg/m ² | 2100 kg/m ² | 50 kg/m ² | / | 70 | / |
| Baraccatura lamiera sopravento | / | 13,3 kg/m ² | / | 109 kg/m ² | / | / |
| Baraccatura lamiera sottovento | / | 13,3 kg/m ² | / | 77 kg/m ² | / | / |
| Baraccatura polic. sopravento | / | 4 kg/m ² | / | 109 kg/m ² | / | / |
| Baraccatura polic. sottovento | / | 4 kg/m ² | / | / | / | 77 kg/m ² |
| Baraccatura lamiera sopravento | / | 13,3 kg/m ² | / | / | / | 109 kg/m ² |
| Baraccatura lamiera sottovento | / | 13,3 kg/m ² | / | / | / | 77 kg/m ² |
| Baraccatura polic. sopravento | / | 4 kg/m ² | / | / | / | 109 kg/m ² |
| Baraccatura polic. sottovento | / | 4 kg/m ² | / | / | / | 77 kg/m ² |

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

Tabella 5 - Valori dei coefficienti di combinazione

| | N° | Commento | Peso | G1 | G2 | Qk1 | Qk2 | Qk3 | Qk4 | Qk5 | E0 | E90 |
|-----------|----|--------------|------|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|------|------|
| SLU | 1 | Accidentale | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 0,9 | 0,75 | 0,9 | 0,9 | / | / |
| | 2 | Vento y | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,05 | 1,5 | 0,75 | 0,9 | 0,9 | / | / |
| | 3 | Neve | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,05 | 0,9 | 1,5 | 0,9 | 0,9 | / | / |
| | 4 | Vento x | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,05 | 0,9 | 0,75 | 1,5 | 0,9 | / | / |
| | 5 | Temperatura | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,05 | 0,9 | 0,75 | 0,9 | 1,5 | / | / |
| SLV | 1 | Sisma 0+/90+ | 1 | 1 | 1 | 0,6 | / | / | / | / | 1+ | 0,3+ |
| | 2 | Sisma 0-/90- | 1 | 1 | 1 | 0,6 | / | / | / | / | 1- | 0,3- |
| | 3 | Sisma 90+/0+ | 1 | 1 | 1 | 0,6 | / | / | / | / | 0,3+ | 1+ |
| | 4 | Sisma 90-/0- | 1 | 1 | 1 | 0,6 | / | / | / | / | 0,3- | 1- |
| SLE rare | 1 | Accidentale | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | / | / |
| | 2 | Vento y | 1 | 1 | 1 | 0,7 | 1 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | / | / |
| | 3 | Neve | 1 | 1 | 1 | 0,7 | 0,6 | 1 | 0,6 | 0,6 | / | / |
| | 4 | Vento x | 1 | 1 | 1 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 1 | 0,6 | / | / |
| | 5 | Temperatura | 1 | 1 | 1 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 1 | / | / |
| SLE freq. | 1 | Accidentale | 1 | 1 | 1 | 0,7 | / | / | / | / | / | / |
| | 2 | Vento y | 1 | 1 | 1 | 0,6 | 0,2 | / | / | / | / | / |
| | 3 | Neve | 1 | 1 | 1 | 0,6 | / | 0,2 | / | / | / | / |
| | 4 | Vento x | 1 | 1 | 1 | 0,6 | / | / | 0,2 | / | / | / |
| | 5 | Temperatura | 1 | 1 | 1 | 0,6 | / | / | / | 0,5 | / | / |

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILo | REV. 1 |  |
| | Relazione di calcolo | PAG. 16/22 | |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|--------------|---|---|---|-----|---|---|---|------|------|
| SLE q.perm. | 1 | Q. perm. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | / | / | / | / |
| SLD | 1 | Sisma 0+/90+ | 1 | 1 | 1 | 0,6 | / | / | / | 1+ | 0,3+ |
| | 2 | Sisma 0-/90- | 1 | 1 | 1 | 0,6 | / | / | / | 1- | 0,3- |
| | 3 | Sisma 90+/0+ | 1 | 1 | 1 | 0,6 | / | / | / | 0,3+ | 1+ |
| | 4 | Sisma 90-/0- | 1 | 1 | 1 | 0,6 | / | / | / | 0,3- | 1- |

8.CLASSIFICAZIONE SISMICA

La struttura così 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 6 - 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 ₁ |
| 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 |
| Regolarità in pianta | SI' |
| Regolarità in altezza | SI |
| Eccentricità accidentale | 5% dimensioni edificio |
| Fattore di struttura sisma orizzontale | q = 3,3 |
| Fattore di struttura sisma verticale | q = 1,5 |

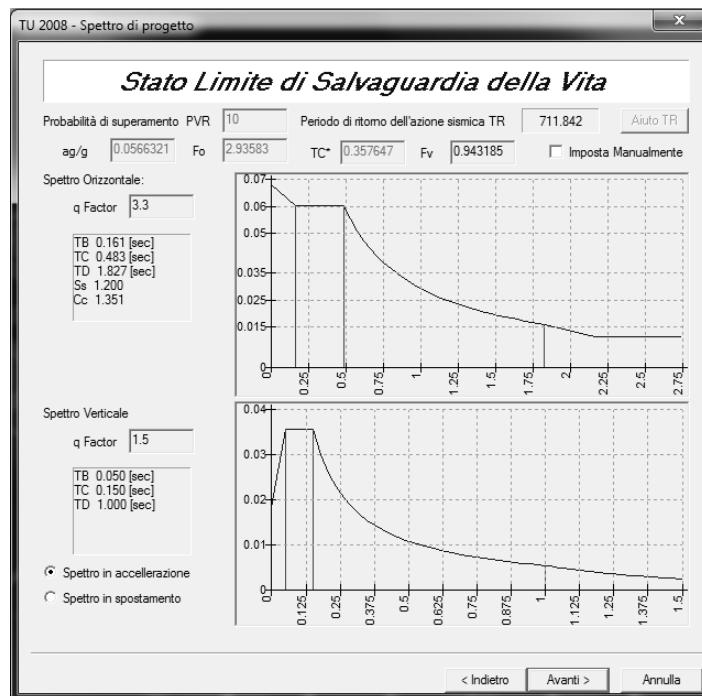


Figura 4: Spettri di calcolo agli SLV

9. PRESENTAZIONE SINTETICA DEI RISULTATI

Una sintesi del comportamento della struttura è consegnata nelle rappresentazioni grafiche in cui sono rappresentate le principali grandezze (deformate, sollecitazioni, etc..) per le parti più sollecitate della struttura in esame.

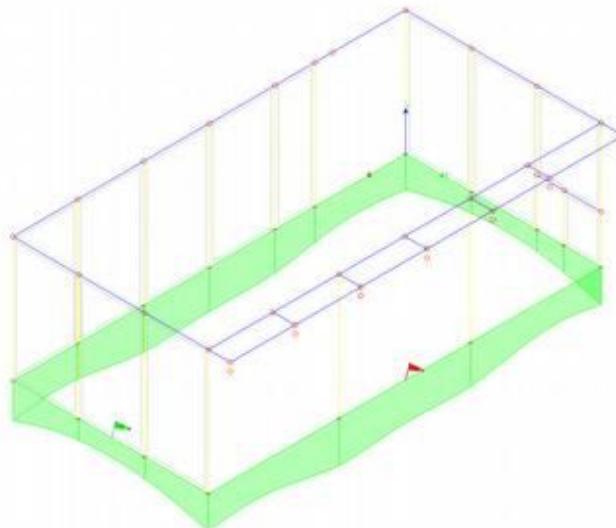


Figura 5: Inviluppo pressioni in fondazione

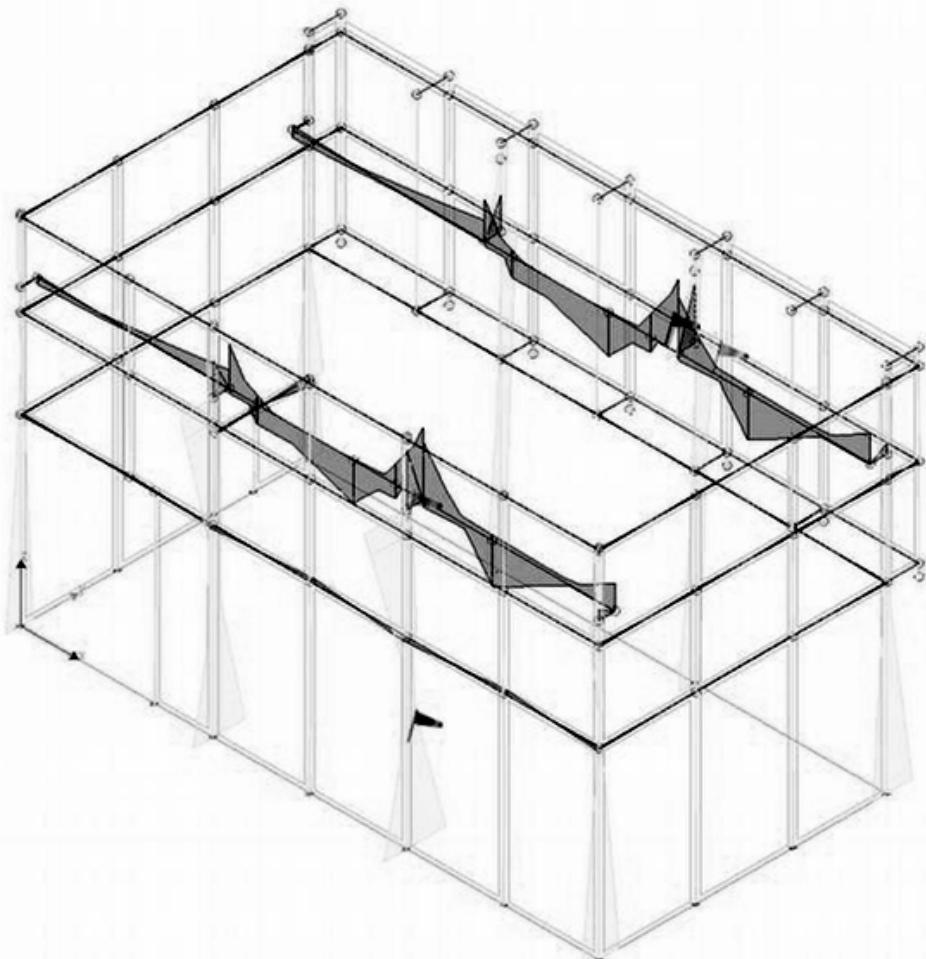


Figura 6: Inviluppo momento flettente elementi in elevazione

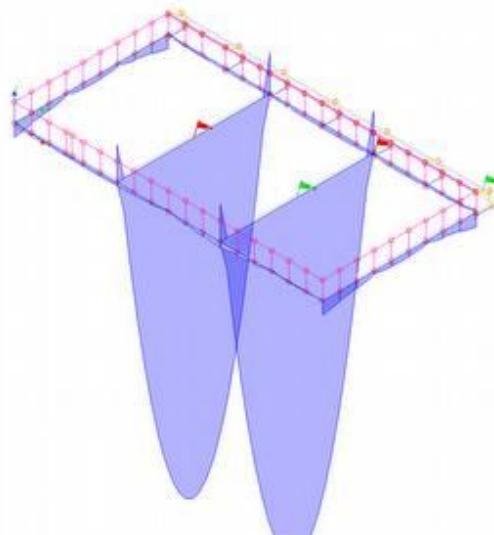


Figura 7: Inviluppo momento flettente travi di copertura

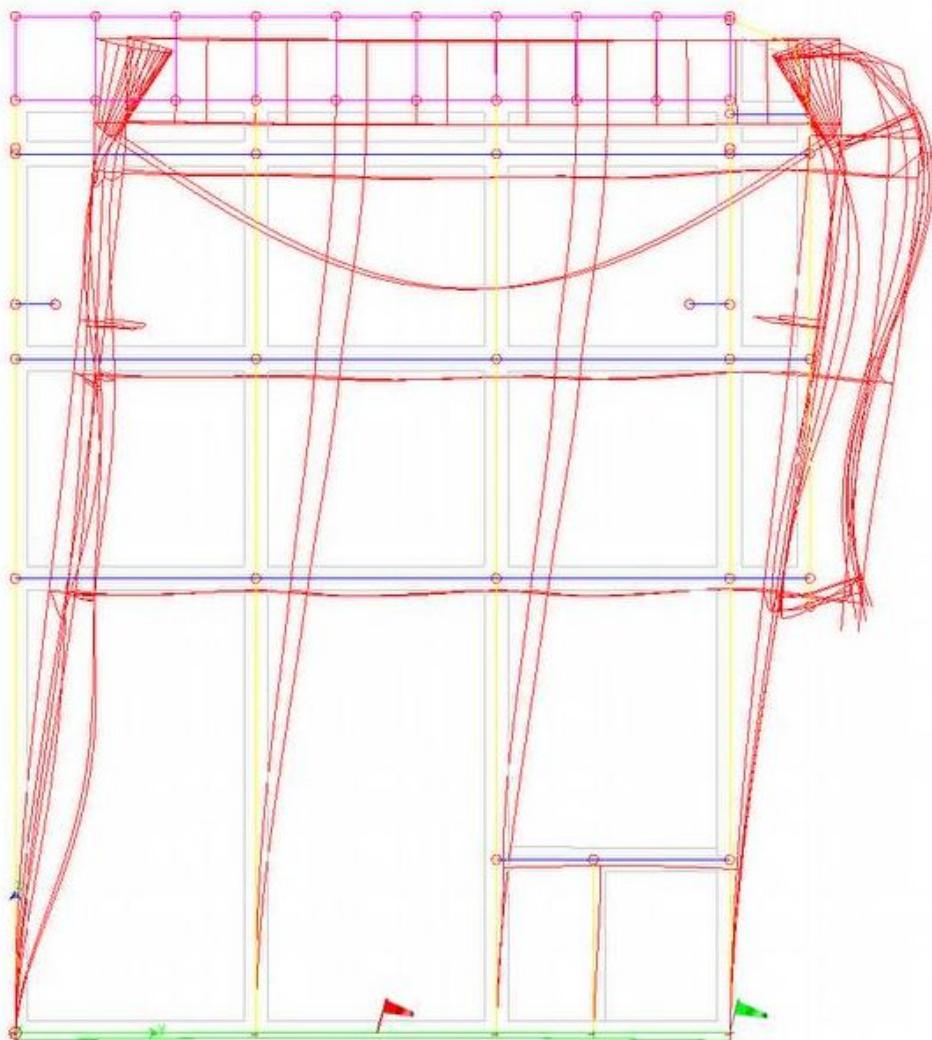


Figura 8: deformata massima trasversale

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILO | REV. 1 |  Italy - 0039 063428301 - www.monsud.it |
| | Relazione di calcolo | PAG. 20/22 | |

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 postivi 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 staffatuta 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 mezzeria della trave e viene progettata considerando, rispetto alla mezzeria, 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 mezzeria della trave e viene progettata considerando, rispetto alla mezzeria, la zona della trave più sollecitata.

10.2 VERIFICHE TRAVI IN C.A.

Le travi vengono progettate-verificate a flessione retta e taglio nel piano longitudinale della trave sulla base dell'inviluppo delle sollecitazioni, in conformità al *Decreto Legge del 26 Marzo 1980* e successivi aggiornamenti.

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 postivi 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:

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA LINEA DI TERMOVALORIZZAZIONE DA 30 MWt PRESSO IL SISTEMA DI TRATTAMENTO RIFIUTI DI MACOMER/TOSSILO | REV. 1 |  Italy - 0299 0613428301 - www.monsud.it |
| | Relazione di calcolo | PAG. 21/22 | |

- Se non occorre armatura aggiuntiva a taglio si procede a disporre la staffatura minima di regolamento e la progettazione ha termine.
- 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 mezzeria della trave e viene progettata considerando, rispetto alla mezzeria, 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 mezzeria della trave e viene progettata considerando, rispetto alla mezzeria, la zona della trave più sollecitata.

10.3 VERIFICHE PILASTRI IN C.A.

I pilastri vengono verificati (a discrezione dell'operatore) secondo le seguenti modalità:

- Presso-tenso flessione deviata.
- Presso-tenso flessione retta. In tale caso viene svolta prima la verifica a presso-tenso flessione considerando come azioni agenti lo sforzo normale ed il momento M_x agente sulla sezione poi, disgiuntamente, considerando come azioni agenti lo sforzo normale e l'altro momento M_y . A discrezione dell'operatore tali momenti (a favore della sicurezza) possono essere incrementati di un fattore di amplificazione anch'esso a discrezione dell'utente.

Per ogni pilastro le verifiche vengono svolte sia nella sezione di sommità che in quella di base in tutte le combinazioni di carico.

Nelle stampe vengono quindi riportate per le due sezioni di verifica succitate:

La combinazione di carico, le sollecitazioni (sforzo normale e momenti) che inducono le massime tensioni nel calcestruzzo, nel ferro teso e nel ferro compresso.

Il programma, per ogni sezione, una volta posizionati i ferri d'angolo sulla sezione, introduce lungo i bordi eventuali ferri di completamento così da rispettare l'interasse massimo fra i ferri imposto dall'operatore.

La verifica procede considerando (quanto a diametri) fissi i ferri di bordo, eventualmente introdotti, ed incrementando negli angoli il numero di ferri presenti ovvero il diametro degli stessi.

Tutti gli angoli della sezione vengono armati nella stesso modo sia quanto a diametro dei ferri presenti che quanto a numero di ferri.

Si noti che in ottemperanza a quanto prescritto nel punto 3.1.3 del D.M. 14 febbraio 1992, il programma, qualora la tensione media dell'intera sezione superi la tensione ammissibile per compressione semplice, considera tale situazione non verificata benché possa risultare soddisfatta la verifica a pressoflessione utilizzando la sigma massima del calcestruzzo impiegato.

10.4 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 interna 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 fyd 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 fyd prima che gli effetti di instabilità locale possano presentarsi. La duttilità è ancora più contenuta. |
| Snella | 4 | In nessuna fibra si raggiunge la tensione fyd per il sovraccarico 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 flesso-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.

I dettagli delle verifiche degli elementi strutturali e dei collegamenti sono riportati nel fascicolo 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.