

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: AREA IMPIANTI - MONSUD S.p.A.





Progettista incaricato:



PROGETTO ESECUTIVO



AREA 300 LINEA FUMI

	<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/37	



Sistema Qualità Certificato



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





CODICE DESCRITTIVO: <b>ITV240FMRC721.01</b>			N° ALLEGATO: <b>C.12</b>		
0	01/01/2016	EMISSIONE	silenzi	martino	martino
1	12/04/2016	REVISIONE	campri	martino	martino
2	25/05/2016	REVISIONE	campri	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. 3/37	

## INDICE

<b>1. DESCRIZIONE INTERVENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>3. DESCRIZIONE MODELLO STRUTTURALE .....</b>	<b>7</b>
3.1 ELETTOFILTRO.....	7
3.2 ALL-IN-ONE .....	8
3.3 CAMINO.....	8
3.4 VENTILATORE .....	9
<b>4. VALIDAZIONE SOFTWARE UTILIZZATO.....</b>	<b>10</b>
4.1 ENEXSYS.....	10
4.2 ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS .....	11
4.3 ELEMENTI FINITI IMPLEMENTATI .....	11
4.4 SCHEMI DI CARICO .....	11
4.5 TIPO DI RISOLUZIONE.....	11
4.6 DATI RELATIVI AI NODI DELLA STRUTTURA .....	12
4.7 ELEMENTI TIPO TRAVE SU SUOLO ALLA WINKLER .....	12
4.8 ELEMENTI TIPO PILASTRO .....	12
4.9 ELEMENTI TIPO PLINTO SU SUOLO ALLA WINKLER .....	13
4.10 DATI RELATIVI ALLE AREE DI CARICO .....	14
<b>5. DESCRIZIONE STRUTTURA .....</b>	<b>15</b>
5.1 ELETTOFILTRO.....	15
5.2 ALL-IN-ONE .....	15
5.3 CAMINO.....	16
5.4 VENTILATORE .....	16
<b>6. ANALISI DEI CARICHI.....</b>	<b>17</b>
6.1 ELETTOFILTRO.....	17
6.2 ALL-IN-ONE .....	17
6.3 CAMINO.....	18
6.4 VENTILATORE .....	19
<b>7. COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>20</b>
7.1 ELETTOFILTRO.....	20
7.2 ALL-IN-ONE .....	21
7.3 CAMINO.....	22
7.3.1 <i>Canna interna</i> .....	22
7.3.2 <i>Canna esterna</i> .....	23
7.4 VENTILATORE .....	24
<b>8. CLASSIFICAZIONE SISMICA.....</b>	<b>25</b>
<b>9. PRESENTAZIONE SINTETICA DEI RISULTATI .....</b>	<b>26</b>
<b>10. VERIFICHE CONDOTTE .....</b>	<b>29</b>
10.1 VERIFICHE TRAVI DI FONDAZIONE .....	29
10.2 VERIFICHE PLINTI DI FONDAZIONE .....	29
10.3 VERIFICHE ELEMENTI METALLICI .....	30
10.4 VERIFICHE CANNA ESTERNA DEL CAMINO .....	31
10.4.1 <i>Verifiche canna esterna del camino</i> .....	31
10.4.2 <i>Predimensionamento fondazione del camino</i> .....	34
10.4.3 <i>Verifica collegamento base canna esterna del camino</i> .....	35



	<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. 4/37	

## INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1: AREA VASTA - UBICAZIONE INTERVENTO SU FOTO SATELLITARE .....	5
FIGURA 2 MODELLO TRIDIMENSIONALE DELLA STRUTTURA DELL'ELETTROFILTRO .....	7
FIGURA 3 MODELLO TRIDIMENSIONALE DELLA STRUTTURA DELL'ALL-IN-ONE .....	8
FIGURA 4 MODELLO TRIDIMENSIONALE DELLA STRUTTURA DELLA CANNA ESTERNA CAMINO (SINISTRA) E DELLA CANNA INTERNA (DESTRA).....	8
FIGURA 5 MODELLO TRIDIMENSIONALE DELLE FONDAZIONI DEL VENTILATORE .....	9
FIGURA 6: FONDAZIONI ELETTROFILTRO .....	15
FIGURA 7: FONDAZIONI ALL-IN-ONE .....	15
FIGURA 8: INVILUPPO DELLE PRESSIONI SUL TERRENO PER L'ALL-IN-ONE .....	26
FIGURA 9: INVILUPPO DEI MOMENTI FLETTENTI SUI CORDOLI DI COLLEGAMENTO DELL'ALL-IN-ONE.....	26
FIGURA 10: DEFORMAZIONI DELLE FONDAZIONI DELL'ALL-IN-ONE .....	27
FIGURA 11: INVILUPPO DELLE PRESSIONI SUL TERRENO PER L'ELETTROFILTRO .....	27
FIGURA 12: INVILUPPO DEI MOMENTI FLETTENTI SUI CORDOLI DI COLLEGAMENTO PER L'ELETTROFILTRO .....	28
FIGURA 13: DEFORMATA DELLE FONDAZIONI PER L'ELETTROFILTRO .....	28
FIGURA 14: MASSIME TENSIONI AGENTI SULLA CANNA ESTERNA DEL CAMINO AGLI SLU STATICI.....	32
FIGURA 15: MODELLO UTILIZZATO PER L'ANALISI DI BUCKLING DELLA CANNA ESTERNA DEL CAMINO .....	33
FIGURA 16: COEFFICIENTI CRITICI DELLA CANNA ESTERNA .....	33
FIGURA 17: VERIFICA DEL COLLEGAMENTO DI BASE DELLA CANNA ESTERNA.....	35

## INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1 - ANALISI DEL CARICO DA VENTO .....	18
TABELLA 2 - RIEPILOGO DEI CARICHI AGENTI SULLE AREE DI CARICO DELL'ELETTROFILTRO .....	20
TABELLA 3 - VALORI DEI COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE DELL'ELETTROFILTRO .....	20
TABELLA 4 - RIEPILOGO DEI CARICHI AGENTI SULLE AREE DI CARICO DELL'ALL-IN-ONE.....	21
TABELLA 5 - VALORI DEI COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE DELL'ALL-IN-ONE .....	21
TABELLA 6 - RIEPILOGO DEI CARICHI AGENTI SULLE AREE DI CARICO DELLA CANNA ESTERNA DEL CAMINO .....	22
TABELLA 7 - VALORI DEI COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE PER LA CANNA ESTERNA DEL CAMINO.....	22
TABELLA 8 - VALORI DEI COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE PER LA CANNA INTERNA DEL CAMINO .....	23
TABELLA 9 - RIEPILOGO DEI CARICHI AGENTI SULLA FONDAZIONE DEL VENTILATORE.....	24
TABELLA 10 - VALORI DEI COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE PER IL VENTILATORE .....	24
TABELLA 11 - PARAMETRI DELL'AZIONE SISMICA.....	25
TABELLA 12 - PREDIMENSIONAMENTO DELLA SEZIONE D'INCASTRO DELLA CANNA ESTERNA DEL CAMINO .....	32
TABELLA 13 - COEFFICIENTI PARZIALI PER LE AZIONI O PER L'EFFETTO DELLE AZIONI (TABELLA 2.6.1 NTC08) .....	34
TABELLA 14 - PREDIMENSIONAMENTO DELLA DEL DADO DI FONDAZIONE DELLA CANNA ESTERNA DEL CAMINO.....	34
TABELLA 15 - VERIFICA A PUNZONAMENTO DELLA PIASTRA DI BASE .....	36
TABELLA 16 - VERIFICA DELL'ANCORAGGIO DEI TIRAFONDI DI BASE.....	36

	<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. 5/37	

## 1.DESCRIZIONE INTERVENTO

Il presente elaborato contiene la relazione di calcolo relativa alla progettazione della nuova linea fumi, da realizzare all'interno dell'area 300 , 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.

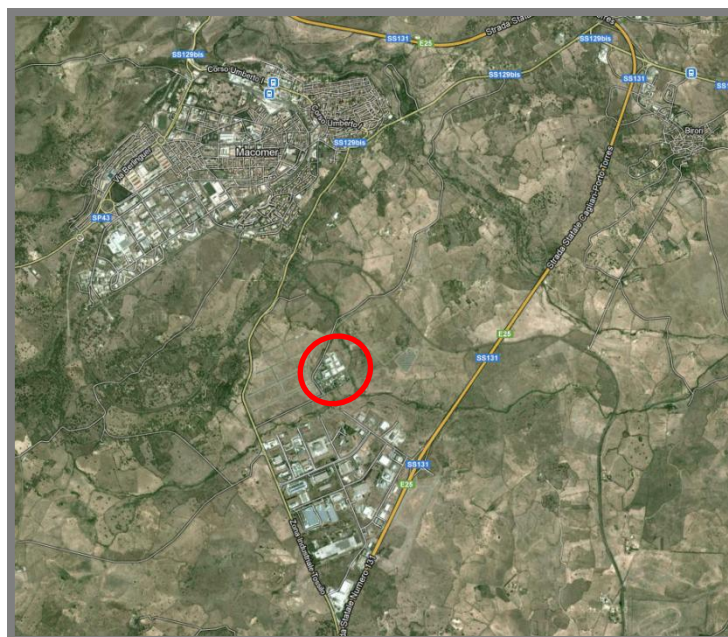


Figura1:Area vasta - Ubicazione intervento su foto satellitare

La nuova linea fumi risulta composta da un elettrofiltro, l'all-in-one, il camino e il ventilatore.

L'elettrofiltro consiste in un'apparecchiatura a sé stante, direttamente e compiutamente fornita dal produttore, che viene posta al di sopra di un insieme di plinti collegati tra loro da cordoli: tale sistema di fondazione deve essere oggetto di specifica progettazione strutturale.



La struttura del camino prevede una doppia canna concentrica autoportante in lamierino d'acciaio, sulla più esterna delle quali verranno connesse le passerelle interne ed esterne che ne permettono l'ispezionabilità necessaria per le operazioni di manutenzione: le due canne vengono fondate su un dado di calcestruzzo avente forma quadrata in pianta di lato pari a 7,3m, e spessore pari a 1,80m.

L'all-in-one consiste in un'apparecchiatura a sé stante, direttamente e compiutamente fornita dal produttore, che viene posta al di sopra di un insieme di plinti collegati tra loro da cordoli: tale sistema di fondazione deve essere oggetto di specifica progettazione strutturale.

Il ventilatore consiste in un'apparecchiatura a sé stante, direttamente e compiutamente fornita dal produttore, che viene posta al di sopra di un plinto di fondazione che deve essere oggetto di specifica progettazione strutturale.

Ciascun manufatto viene reso strutturalmente indipendente dagli altri e dai edifici limitrofi, in maniera da evitare trasmissioni di sollecitazioni sia in elevazione che in fondazione.



Stante quanto sopra esposto, tali interventi sono da considerarsi, ai fini della classificazione prevista dalle NTC08 al §8.4, come NUOVE COSTRUZIONI.

	<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. 6/37	

## 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. 7/37	

### 3.DESCRIZIONE MODELLO STRUTTURALE

La strutture oggetto della presente relazione sono state progettate e verificate con l'utilizzo del software ENEXYS e del software ROBOT: con essi, per ciascun manufatto, è stato realizzato un modello tridimensionale della struttura che è stato sottoposto ad un'analisi dinamica lineare.

Il primo 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 deidue 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 strutture di nuova costruzione, esse sono state verificate nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU e SLV) e degli stati limite di esercizio (SLE).

Essesono state modellate mediante l'utilizzo di elementi bidimensionali, corrispondenti monodimensionali, corrispondenti ai pilastri ed alle travi in calcestruzzo armato e in acciaio, oltre che ai cordoli di fondazione in calcestruzzo armato.

Tutte le informazioni della modellazione si trovano nel fascicolo di calcolo allegato e parte integrante alla presente; nei paragrafi successivi si riportano le informazioni principali dei modelli adottati.

#### 3.1ELETTROFILTRO

La struttura di supporto in elevazione dell'elettrofiltro è realizzata in acciaio tramite una struttura a telaio e controventi ad X:essendo tale struttura fornita direttamente con l'opera elettromeccanica, essa non è stata oggetto di progettazione strutturale. Le fondazioni, viste le caratteristiche del terreno, saranno su plinti collegati da cordoli di collegamento e sono state verificate applicando i carichi in fondazione forniti dal fornitore dell'elettrofiltro.

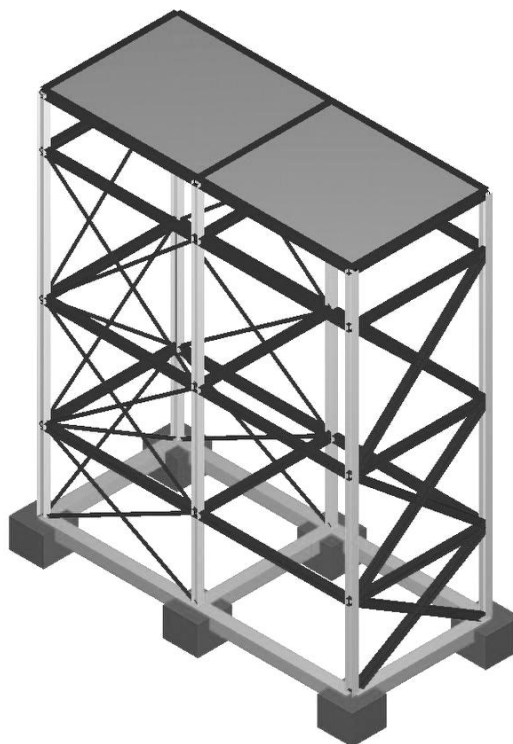


Figura 2 Modello tridimensionale della struttura dell'elettrofiltro

### 3.2 ALL-IN-ONE

La struttura dell'all-in-one è realizzata in acciaio con struttura a telaio, essendo tale struttura fornita direttamente con l'opera elettromeccanica, essa non è stata oggetto di progettazione strutturale. Le fondazioni, viste le caratteristiche del terreno, saranno su plinti collegati da cordoli di collegamento e sono state verificate applicando i carichi in fondazione forniti dal fornitore dell'elettrofiltro.

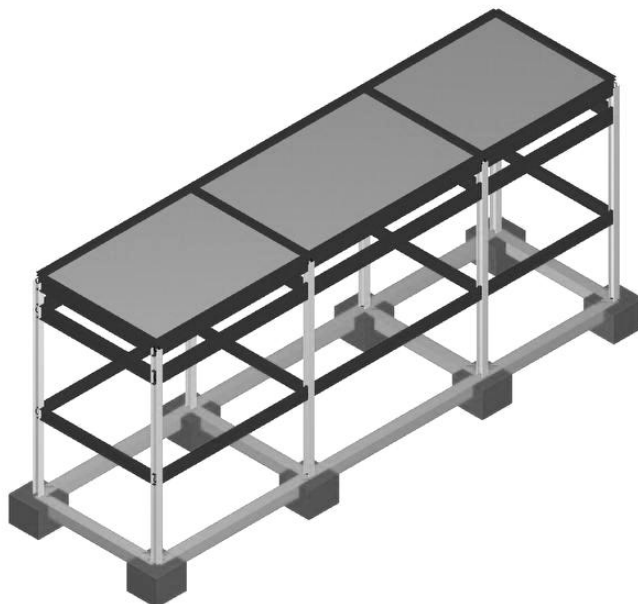


Figura 3 Modello tridimensionale della struttura dell'all-in-one

### 3.3 CAMINO

Il camino dell'impianto ha una struttura in acciaio autoportante a doppia canna, in cui la canna interna ha diametro pari a 1400 mm mentre quella esterna ha un diametro di 4000 mm: dato che non vengono previsti collegamenti strutturali tra questi due elementi, le due canne sono state calcolate e verificate separatamente, mediante la definizione di due modelli tridimensionali separati. Le canne in acciaio sono state modellate come gusci, i quali sono stati successivamente sottoposti ad una suddivisione in mesh: tale elemento è stato poi collegato alla fondazione, ottenuta con una platea in c.a., posta al di sopra di un terreno alla Winkler. Nell'analisi della canna esterna, sono state inoltre modellate le passerelle per la manutenzione, con le relative travi di appoggio.

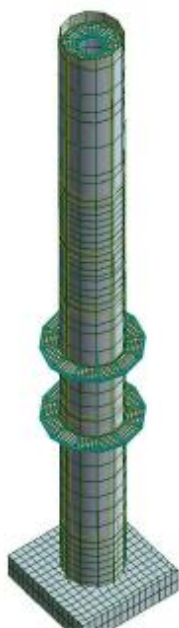


Figura 4 Modello tridimensionale della struttura della canna esterna camino (sinistra) e della canna interna (destra)



### 3.4 VENTILATORE

Il ventilatore a servizio della linea fumi viene posizionato su di un dado di fondazione in conglomerato cementizio armato, avente dimensioni in pianta pari a 6,00x3,00m e spessore di 0,50m: tale elemento è stato modellato come un pannello tridimensionale soggetto a carichi puntuali dovuti al peso proprio del ventilatore, i quali sono stati forniti dal produttore.

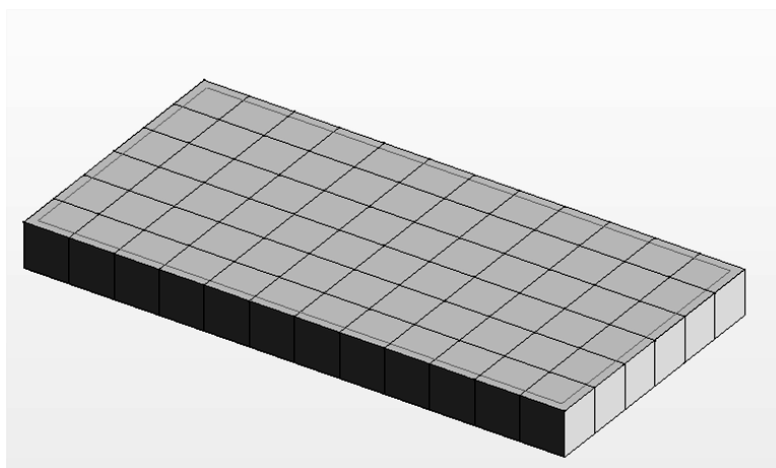




Figura 5 Modello tridimensionale delle fondazioni del ventilatore

	<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. 10/37	

## 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. 11/37	

#### 4.2 ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS

Produttore	Autodesk
Titolo	Robot Structural Analysis Professional
Versione	Rel. 2014
Nro Licenza	394-16856554

Autodesk, Inc., 111 McInnis Parkway, San Rafael, CA 94903 USA

##### 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.

#### 4.3 ELEMENTI FINITI IMPLEMENTATI

- Truss
- Beam (Modellazione di Travi e Pilastrini)
- 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)

#### 4.4 SCHEMI DI CARICO

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

#### 4.5 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.

#### 4.6 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.

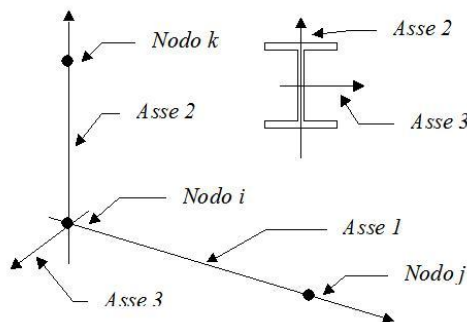
#### 4.7 ELEMENTI TIPO TRAVE SU SUOLO ALLA WINKLER

##### 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

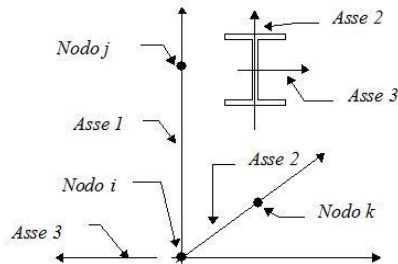
#### 4.8 ELEMENTI TIPO PILASTRO

##### 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  **$V_{i12} - V_{j12} - V_{i13} - V_{j13}$** ).

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.

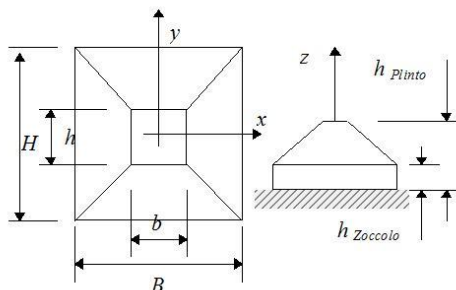
Caratteristiche dei Materiali

Tipo	Modulo Elastico [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\nu$	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

#### 4.9 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> ]	$\nu$	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>2</sup> ]	Commento
1	10	Macomer

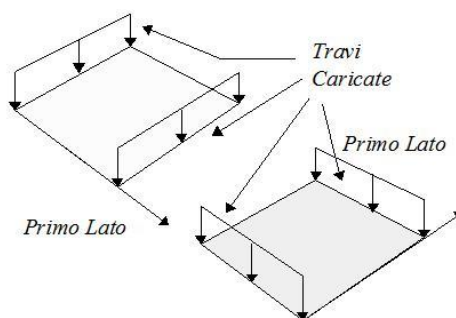
#### 4.10 DATI RELATIVI ALLE AREE DI CARICO

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

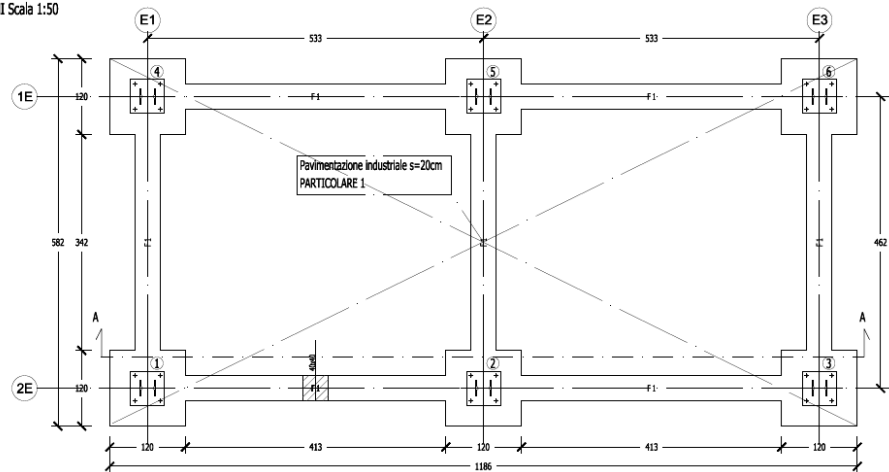
Le strutture oggetto della presente relazione sono il manufatto a sostegno e a schermatura della canna del camino e quelli a servizio dell'elettrofiltro, dell'all-in-one e del ventilatore della linea fumi: per quest'ultimi, si è proceduto alla modellazione tridimensionale dell'intera struttura ma le verifiche sono state condotte solo per gli elementi di fondazione, in quanto la struttura in elevazione viene fornita e certificata direttamente dal fornitore delle apparecchiature.

Le strutture di fondazione vengono realizzate 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.

### 5.1ELETTROFILTRO

Le fondazioni dell'elettrofiltro sono realizzate mediante 6 plinti in calcestruzzo di forma quadrata e lato pari a 1,20m, con spessore pari a 1m: tali elementi vengono collegati tra di loro lungo il perimetro mediante un cordolo di fondazione avente sezione quadrata di lato pari a 40cm. Questi elementi vengono modellati al di sopra del terreno con una schematizzazione alla Winkler.

PIANTA FONDAZIONI Scala 1:50



SEZIONE A-A Scala 1:50

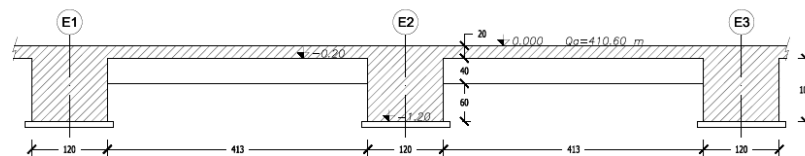


Figura 6: Fondazioni elettrofiltro

### 5.2ALL-IN-ONE

Le fondazioni dell'elettrofiltro sono realizzate mediante 8 plinti in calcestruzzo di forma quadrata e lato pari a 1,20m, con spessore pari a 1m: tali elementi vengono collegati tra di loro lungo il perimetro mediante un cordolo di fondazione avente sezione quadrata di lato pari a 40cm, i quali vengono allineati sull'estradosso dei plinti.

Tutti questi elementi vengono modellati al di sopra del terreno con una schematizzazione alla Winkler.

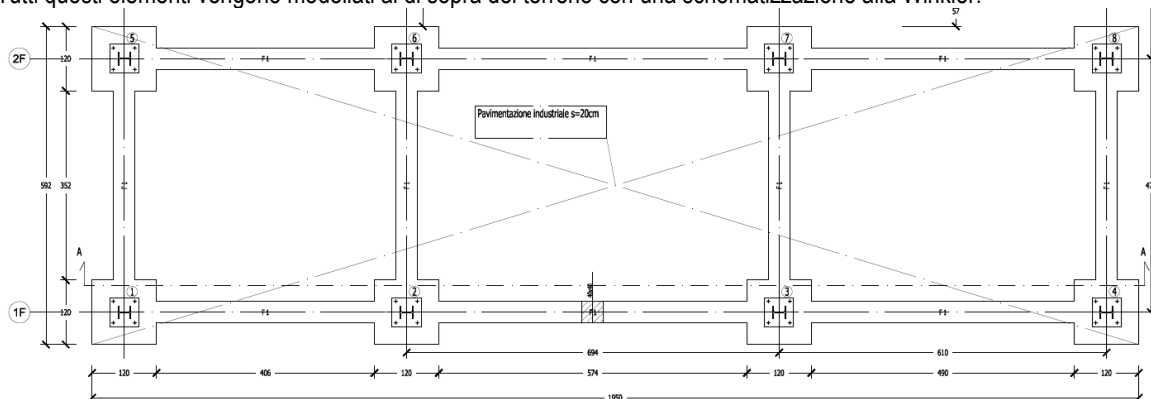




Figura 7: Fondazioni All-in-one

	<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. 16/37	

### 5.3 CAMINO

Il camino dell'impianto ha una struttura in acciaio autoportante a doppia canna, in cui la canna interna ha diametro pari a 1400 mm mentre quella esterna ha un diametro di 4000 mm: dato che la canna interna risulta un'opera indipendente, si è proceduto alla realizzazione di due modelli tridimensionali separati per il calcolo e la verifica delle canne interna ed esterna, delle strutture ad esse connesse e del basamento.

La canna esterna ha un'altezza complessiva fuori - terra pari a circa 50m, ed è realizzata mediante la successione di più conci aventi uno spessore decrescente con l'altezza, che passa dai 12mm della base ai 4mm della sommità. Lungo lo sviluppo verticale, nell'intercapedine tra le due canne concentriche, vengono disposte 8 passerelle interne, ognuna delle quali poggia su 12 travi orizzontali, ottenute con profili di tipo IPE160, realizzate a sbalzo dalla canna esterna e sostenute a loro volta da dei diagonali realizzati con profili di tipo UPN100.

Le passerelle sono previste alle quote +15.00m, +20.00m, +23.90m, +28.70m, +33.50m, +38.30m, +43.10m, +47.90m rispetto al piano campagna.

In corrispondenza delle due passerelle interne inferiori, sono previste anche delle passerelle esterne alla canna, anch'esse poggianti su 12 travi orizzontali, ottenute con profili di tipo IPE160, realizzate a sbalzo dalla canna esterna e sostenute a loro volta da dei diagonali realizzati con profili di tipo UPN100.

La lamiera metallica portante viene realizzata in acciaio di tipo S355, mentre i profili vengono realizzati in acciaio di tipo S275.

La canna viene fondata su di un dado di fondazione in c.a. di sezione quadrata con lato pari a 7,3m e spessore pari a 2,5m: la fondazione è stata modellata come un elemento bidimensionale posto al di sopra di un terreno con schematizzazione alla Winkler.



La canna interna ha un'altezza complessiva fuori-terra pari a circa 50m, ed ha uno spessore costante di 5mm: essa viene realizzata con un acciaio di tipo S355 ed è ancorata al basamento in c.a.

### 5.4 VENTILATORE

Il ventilatore della linea fumi è un macchinario che viene collocato al di sopra di un dado di fondazione in conglomerato cementizio armato: su tale elemento, avente dimensioni in pianta pari a 6mx3m e spessore pari a 0,5m, viene inserito un carico uniformemente distribuito a rappresentazione del peso proprio del ventilatore.

Sulla base delle indicazioni del produttore, è stato supposto un peso proprio pari a 15.500 kg che suddiviso sull'intera area di impronta del dado di fondazione.



	<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. 17/37	

## 6. ANALISI DEI CARICHI

### 6.1 ELETTROFILTRO

#### **Carico permanente**

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

G<sub>2</sub> Carico permanente non strutturale agente sulla struttura, definito come segue:  
Peso permanente gravante sull'orizzontamento di sommità 3.600 Kg/m<sup>2</sup>

#### **Carico accidentale**

La struttura di sostegno dell'elettrofiltro 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 dell'elettrofiltro 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**

La struttura di sostegno dell'elettrofiltro non prevede alcun pannello di baraccatura verticale che possa essere soggetto all'azione del vento. Per tale motivo, il carico vento è stato trascurato in fase di modellazione.

#### **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.

#### **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.

### 6.2 ALL-IN-ONE

#### **Carico permanente**

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

G<sub>2</sub> Carico permanente non strutturale agente sulla struttura, definito come segue:  
Peso permanente gravante sull'orizzontamento di sommità 3.600 Kg/m<sup>2</sup>

#### **Carico accidentale**

La struttura di sostegno dell'all-in-one 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 dell'all-in-one 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**

La struttura di sostegno dell'all-in-one non prevede alcun pannello di baraccatura verticale che possa essere soggetto all'azione del vento. Per tale motivo, il carico vento è stato trascurato in fase di modellazione.

### 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  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  a tutti gli elementi della struttura.

### 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.

## 6.3CAMINO

### Carico permanente

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

G<sub>2</sub> Carico permanente non strutturale agente sulla struttura, definito come segue:  
Peso proprio del solaio grigliato per la manutenzione  $20\text{ Kg/m}^2$

### 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<sub>K2</sub> Categoria H<sub>1</sub> (Copertura e sottotetti accessibili per la sola manutenzione), definito come segue: Q<sub>K2</sub>=  $50\text{ Kg/m}^2$

### Carico vento

È stato tenuto debitamente conto dell'azione del vento sulla struttura secondo quanto indicato al §3.3 delle NTC08, applicando un carico uniformemente distribuito sulla superficie della canna esterna: data la notevole altezza, tale carico è stato suddiviso in fasce d'altezza, assegnando a ciascuna di esse il valore del carico da vento corrispondente alla quota massima.

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
Percentuale aperture edificio	P=	0%
Concio 1 - L=4970mm	Altezza fuori terra edificio	Z= 5 m
	Coefficiente di esposizione	C <sub>e</sub> = 1,63
	<b>Pressione del vento sopravvento</b>	<b>Q<sub>s</sub>= 70 Kg/m<sup>2</sup></b>
	<b>Pressione del vento sottovento</b>	<b>Q<sub>s</sub>= 35 Kg/m<sup>2</sup></b>
Concio 2 - L=11000mm	Altezza fuori terra edificio	Z= 16 m
	Coefficiente di esposizione	C <sub>e</sub> = 2,11
	<b>Pressione del vento sopravvento</b>	<b>Q<sub>s</sub>= 90 Kg/m<sup>2</sup></b>
	<b>Pressione del vento sottovento</b>	<b>Q<sub>s</sub>= 45 Kg/m<sup>2</sup></b>
Concio3- L=10000mm	Altezza fuori terra edificio	Z= 26 m
	Coefficiente di esposizione	C <sub>e</sub> = 2,48
	<b>Pressione del vento sopravvento</b>	<b>Q<sub>s</sub>= 106 Kg/m<sup>2</sup></b>
	<b>Pressione del vento sottovento</b>	<b>Q<sub>s</sub>= 53 Kg/m<sup>2</sup></b>

<b>Concio 4 - L=5000mm</b>	Altezza fuori terra edificio	Z=	31 m
	Coefficiente di esposizione	C <sub>e</sub> =	2,61
	<b>Pressione del vento sopravvento</b>	<b>Q<sub>s</sub>=</b>	<b>110 Kg/m<sup>2</sup></b>
	<b>Pressione del vento sottovento</b>	<b>Q<sub>s</sub>=</b>	<b>55 Kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Concio 5 - L=5000mm</b>	Altezza fuori terra edificio	Z=	36 m
	Coefficiente di esposizione	C <sub>e</sub> =	2,73
	<b>Pressione del vento sopravvento</b>	<b>Q<sub>s</sub>=</b>	<b>120 Kg/m<sup>2</sup></b>
	<b>Pressione del vento sottovento</b>	<b>Q<sub>s</sub>=</b>	<b>60 Kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Concio 6 - L=12885mm</b>	Altezza fuori terra edificio	Z=	39 m
	Coefficiente di esposizione	C <sub>e</sub> =	2,98
	<b>Pressione del vento sopravvento</b>	<b>Q<sub>s</sub>=</b>	<b>130 Kg/m<sup>2</sup></b>
	<b>Pressione del vento sottovento</b>	<b>Q<sub>s</sub>=</b>	<b>65 Kg/m<sup>2</sup></b>

#### **Carico termico**

La canna interna del camino convoglia i fumi della linea verso l'esterno, risultando quindi sottoposta alla loro stessa temperatura di uscita: per tale motivo, in fase di modellazione ad essa è stata applicata una variazione termica pari a +150°C.

Per quanto riguarda la struttura della canna esterna invece, data la presenza di un consistente strato di isolamento termico interno, 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.

#### **6.4 VENTILATORE**

##### **Carico permanente**

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

G<sub>2</sub> Carico permanente non strutturale agente sulla struttura, definito come segue:  
Peso permanente del ventilatore gravante sul dado di fondazione 1.300 Kg/m<sup>2</sup>

##### **Carico accidentale**

La fondazione del ventilatore consiste in un dado che verrà completamente occupato dall'opera elettromeccanica in oggetto. Per tale motivo, la fondazione non è soggetta alla presenza di un sovraccarico accidentale che dunque non è stato inserito in fase di modellazione.

##### **Carico neve**

La fondazione del ventilatore consiste in un dado che verrà completamente occupato dall'opera elettromeccanica in oggetto. Per tale motivo, la fondazione non è soggetta alla presenza di un sovraccarico da neve che dunque non è stato inserito in fase di modellazione.

##### **Carico vento**

La fondazione del ventilatore consiste in un dado completamente interrato che non è quindi soggetto al carico da vento.

##### **Carico termico**

La fondazione del ventilatore consiste in un dado completamente interrato che non è quindi soggetto al carico termico.

##### **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

### 7.1ELETTROFILTRO

I carichi definiti in precedenza sono stati applicati al modello di calcolo sviluppato in forma tridimensionale mediante la definizione di un'area di carico in corrispondenza delle passerelle per la manutenzione, cui sono stati assegnati i valori di carico riportati nella tabella seguente.

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

AREA DI CARICO	Perm. strutt. G1	Perm. non strutt. G2
Piano superiore	Da peso proprio	3.600 kg/m <sup>2</sup>

A tali carichi va aggiunto il carico da vento che è stato direttamente applicato all'elemento bidimensionale in acciaio, così come già definito nei paragrafi precedenti.

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 dell'elettrofiltro**

	N°	Commento	G1	G2	Qk temperatura	E0	E90
<b>SLU</b>	1	Accidentale	1,3	1,3	1,5	/	/
<b>SLV</b>	1	Sisma 0+ /90+	1	1	0	1+	0,3+
	2	Sisma 0- /90-	1	1	0	1-	0,3-
	3	Sisma 90+ /0+	1	1	0	0,3+	1+
	4	Sisma 90- /0-	1	1	0	0,3-	1-
<b>SLE rare</b>	1	Accidentale	1	1	1	/	/
<b>SLD</b>	1	Sisma 0+ /90+	1	1	0	1+	0,3+
	2	Sisma 0- /90-	1	1	0	1-	0,3-
	3	Sisma 90+ /0+	1	1	0	0,3+	1+
	4	Sisma 90- /0-	1	1	0	0,3-	1-

## 7.2 ALL-IN-ONE

I carichi definiti in precedenza sono stati applicati al modello di calcolo sviluppato in forma tridimensionale mediante la definizione di un'area di carico in corrispondenza delle passerelle per la manutenzione, cui sono stati assegnati i valori di carico riportati nella tabella seguente.

**Tabella 4 - Riepilogo dei carichi agenti sulle aree di carico dell'all-in-one**

AREA DI CARICO	Perm. strutt.	Perm. non strutt.
	G1	G2
Piano di manutenzione	Da peso proprio	3.600 kg/m <sup>2</sup>

A tali carichi va aggiunto il carico da vento che è stato direttamente applicato all'elemento bidimensionale in acciaio, così come già definito nei paragrafi precedenti.

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 dell'all-in-one**

	N°	Commento	G1	G2	Qk temperatura	E0	E90
SLU	1	Accidentale	1,3	1,3	1,5	/	/
SLV	1	Sisma 0+/90+	1	1	0	1+	0,3+
	2	Sisma 0-/90-	1	1	0	1-	0,3-
	3	Sisma 90+/0+	1	1	0	0,3+	1+
	4	Sisma 90-/0-	1	1	0	0,3-	1-
SLE rare	1	Accidentale	1	1	1	/	/
SLD	1	Sisma 0+/90+	1	1	0	1+	0,3+
	2	Sisma 0-/90-	1	1	0	1-	0,3-
	3	Sisma 90+/0+	1	1	0	0,3+	1+
	4	Sisma 90-/0-	1	1	0	0,3-	1-

### 7.3 CAMINO

#### 7.3.1 Canna interna

I carichi definiti in precedenza sono stati applicati al modello di calcolo sviluppato in forma tridimensionale mediante la definizione di un'area di carico in corrispondenza delle passerelle per la manutenzione, cui sono stati assegnati i valori di carico riportati nella tabella seguente.

**Tabella 6 - Riepilogo dei carichi agenti sulle aree di carico della canna esterna del camino**

AREA DI CARICO	Perm. strutt. G1	Perm. non strutt. G2	Accidentale Qk1	Vento Qk2
Piano di manutenzione	Da peso proprio	20 kg/m <sup>2</sup>	50 kg/m <sup>2</sup>	/

A tali carichi va aggiunto il carico da vento che è stato direttamente applicato all'elemento bidimensionale in acciaio, così come già definito nei paragrafi precedenti.

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

**Tabella 7 - Valori dei coefficienti di combinazione per la canna esterna del camino**

	N°	Commento	Peso	G1	G2	Qk1	Qk2	Qk temperatura	E0	E90
SLU	1	Accidentale	1,3	1,3	1,5	1,5	0,9	1	/	/
	2	Vento	1,3	1,3	1,5	1,05	1,5	1	/	/
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	1	/	/
	2	Vento	1	1	1	0,7	1	1	/	/
SLE freq.	1	Accidentale	1	1	1	0,7	/	/	/	/
	2	Vento	1	1	1	0,6	0,2	/	/	/
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-

### 7.3.2 Canna esterna

I carichi definiti in precedenza sono stati applicati al modello di calcolo sviluppato in forma, applicando la variazione termica uniforme direttamente agli elementi in acciaio bidimensionali.

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

**Tabella 8 - Valori dei coefficienti di combinazione per la canna interna del camino**

	N°	Commento	Peso	Qk temperatura	E0	E90
<b>SLU</b>	1	SLU 1	1,3	1,5	/	/
<b>SLV</b>	1	Sisma 0+/90+	1	/	1+	0,3+
	2	Sisma 0-/90-	1	/	1-	0,3-
	3	Sisma 90+/0+	1	/	0,3+	1+
	4	Sisma 90-/0-	1	/	0,3-	1-
<b>SLE rare</b>	1	SLE Rare 1	1	1	/	/
<b>SLE freq.</b>	1	SLE Freq.1	1	/	/	/
<b>SLE q.perm.</b>	1	SLE Q. perm. 1	1	/	/	/
<b>SLD</b>	1	Sisma 0+/90+	1	/	1+	0,3+
	2	Sisma 0-/90-	1	/	1-	0,3-
	3	Sisma 90+/0+	1	/	0,3+	1+
	4	Sisma 90-/0-	1	/	0,3-	1-

#### 7.4 VENTILATORE

I carichi definiti in precedenza sono stati applicati al modello di calcolo sviluppato in forma tridimensionale mediante la applicazione di un carico uniformemente distribuito al dado di fondazione.

**Tabella 9 - Riepilogo dei carichi agenti sulla fondazione del ventilatore**

AREA DI CARICO	Perm. strutt.	Perm. non strutt.
	G1	G2
Piano di manutenzione	Da peso proprio	1300 kg/m <sup>2</sup>

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

**Tabella 10 - Valori dei coefficienti di combinazione per il ventilatore**

	N°	Commento	Peso	G1	G2	E0	E90
SLU	1	Accidentale	1,3	1,3	1,5	/	/
SLV	1	Sisma 0+/-90+	1	1	1	1+	0,3+
	2	Sisma 0-/90-	1	1	1	1-	0,3-
	3	Sisma 90+/-0+	1	1	1	0,3+	1+
	4	Sisma 90-/0-	1	1	1	0,3-	1-
SLE rare	1	Accidentale	1	1	1	/	/
SLE freq.	1	Accidentale	1	1	1	/	/
SLE q.perm.	1	Q. perm.	1	1	1	/	/
SLD	1	Sisma 0+/-90+	1	1	1	1+	0,3+
	2	Sisma 0-/90-	1	1	1	1-	0,3-
	3	Sisma 90+/-0+	1	1	1	0,3+	1+
	4	Sisma 90-/0-	1	1	1	0,3-	1-



## 8.CLASSIFICAZIONE SISMICA

La struttura del camino, 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 11 - 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 mensola o pendolo inverso
Regolarità in pianta	SI'
Regolarità in altezza	SI
Eccentricità accidentale	5% dimensioni edificio
Fattore di struttura sisma orizzontale	q = 2
Fattore di struttura sisma verticale	q = 1,5

### 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.

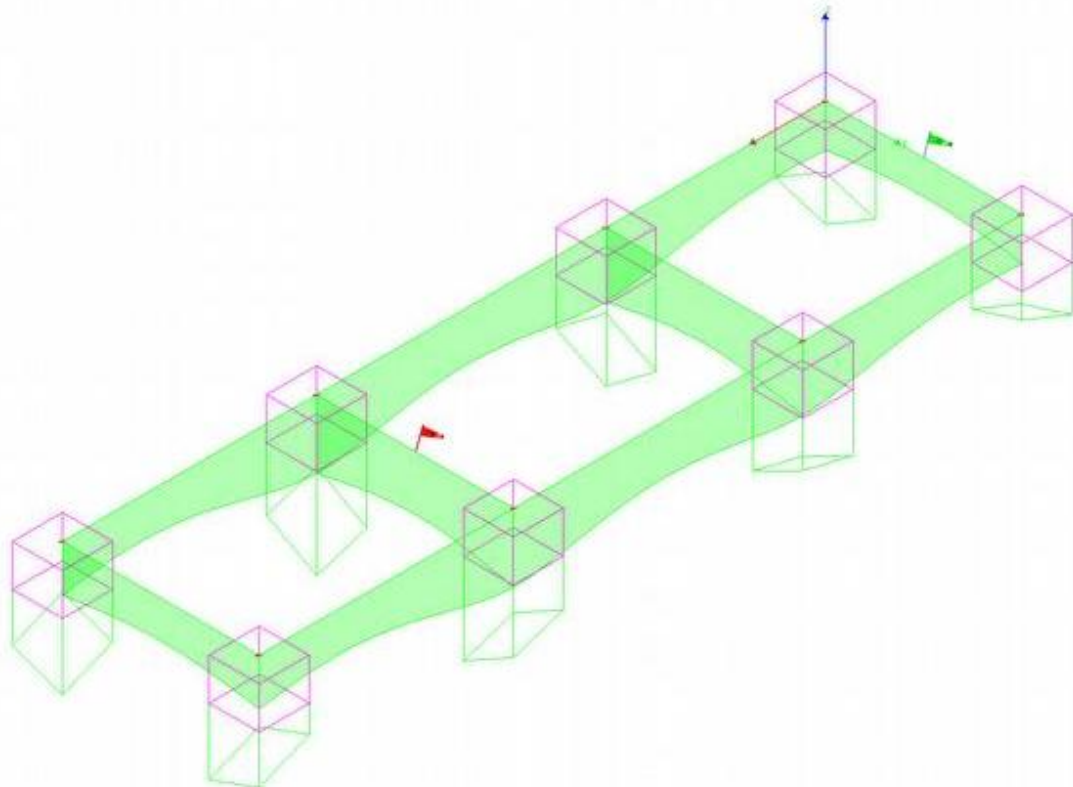


Figura 8: Involuppo delle pressioni sul terreno per l'all-in-one

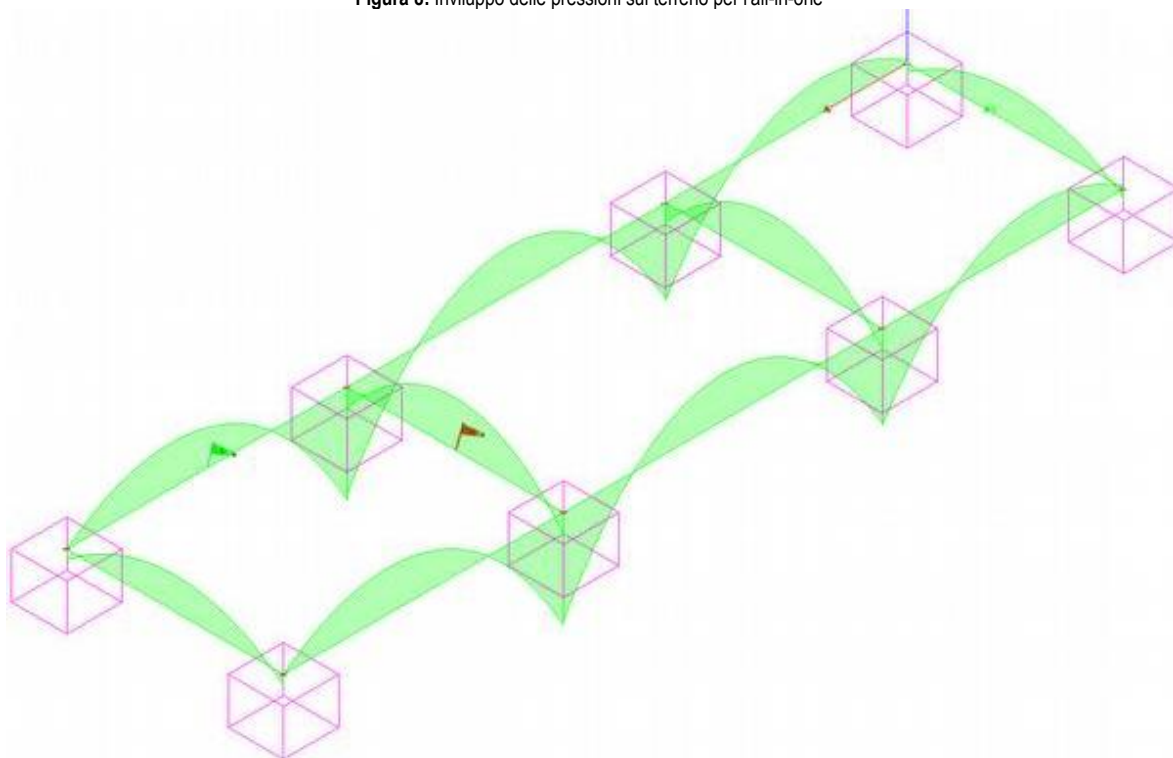


Figura 9: Involuppo dei momenti flettenti sui cordoli di collegamento dell'all-in-one

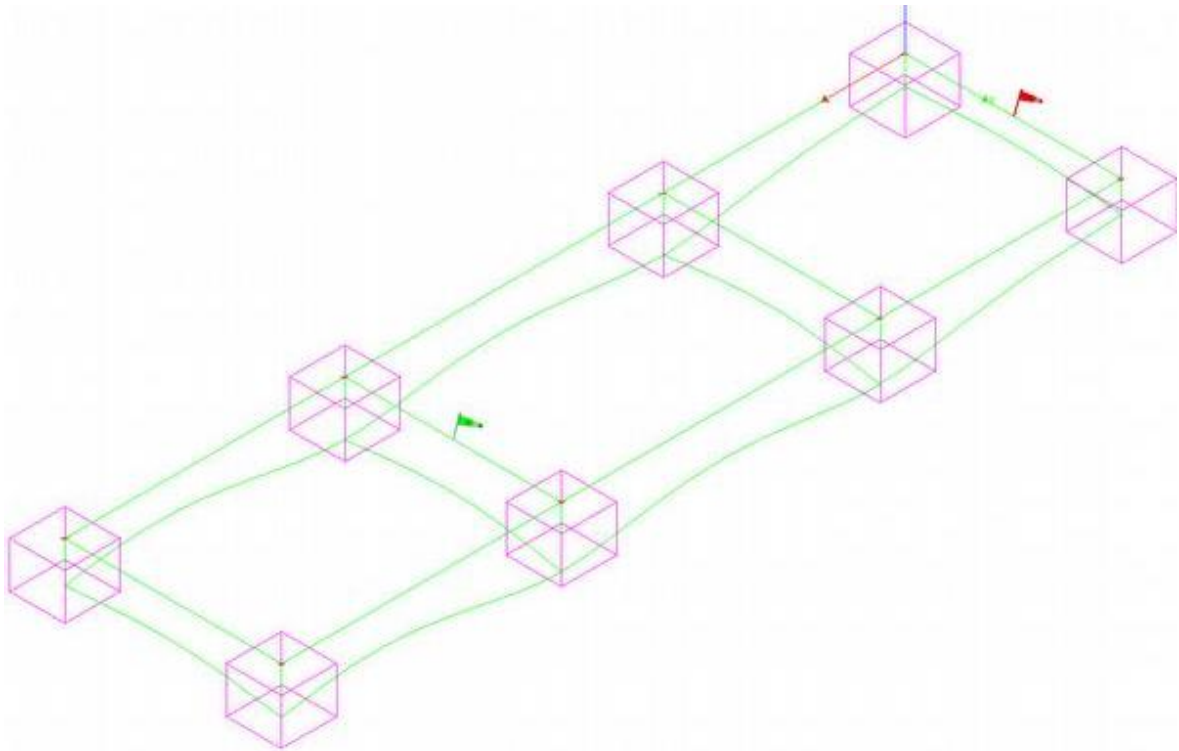


Figura 10: Deformazioni delle fondazioni dell'all-in-one

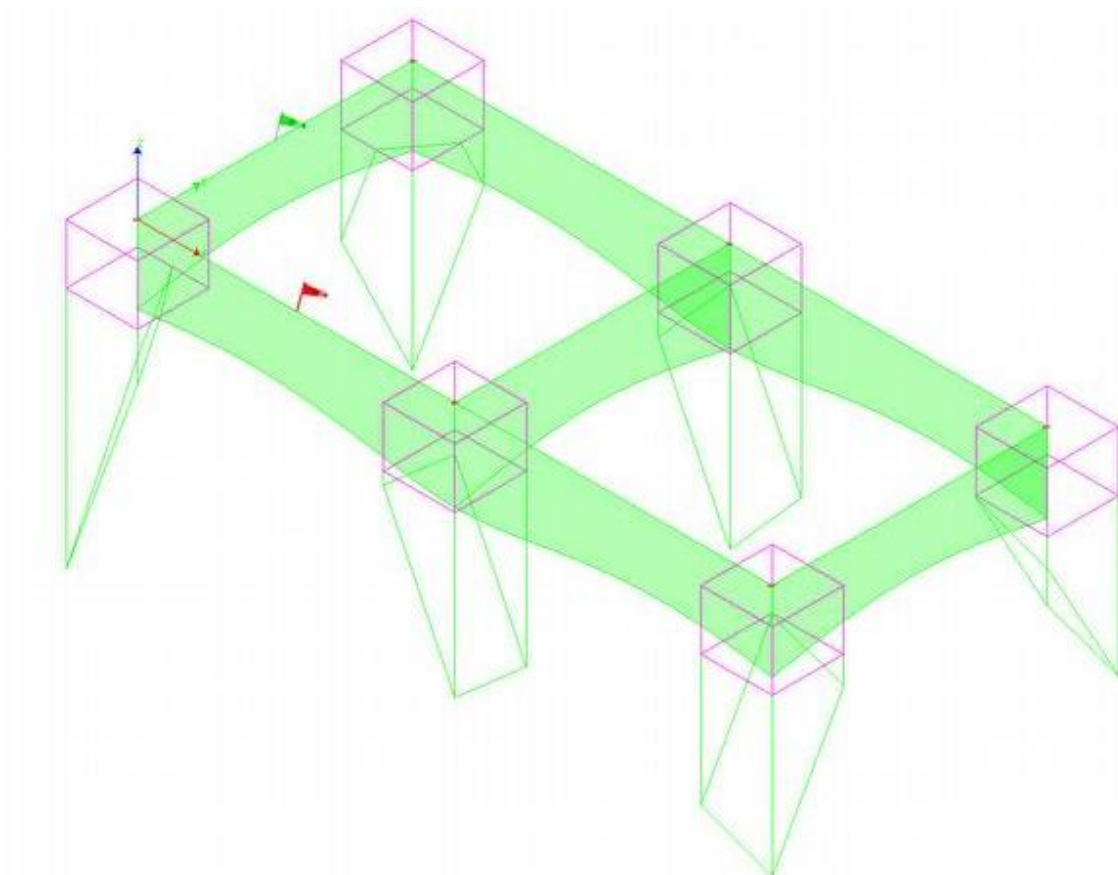


Figura 11: Involuppo delle pressioni sul terreno per l'elettrofiltro

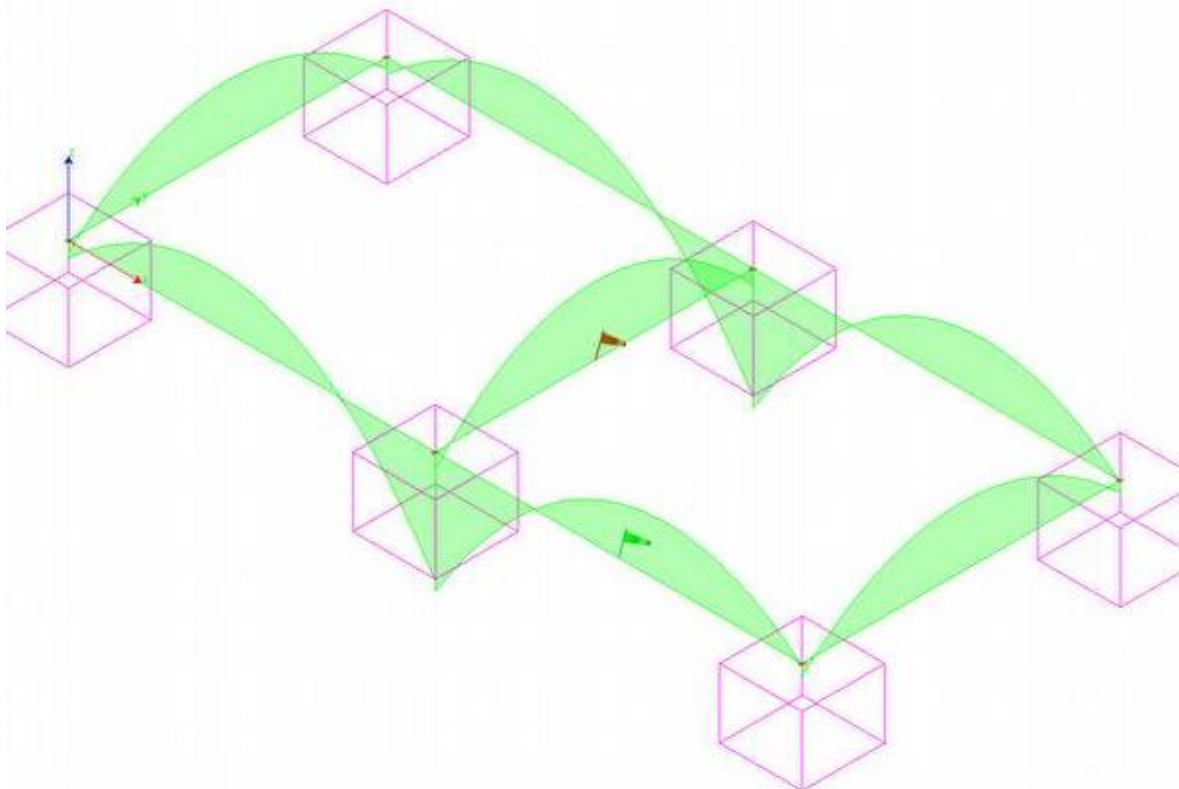


Figura 12: Involuppo dei momenti flettenti sui cordoli di collegamento per l'elettrofiltro

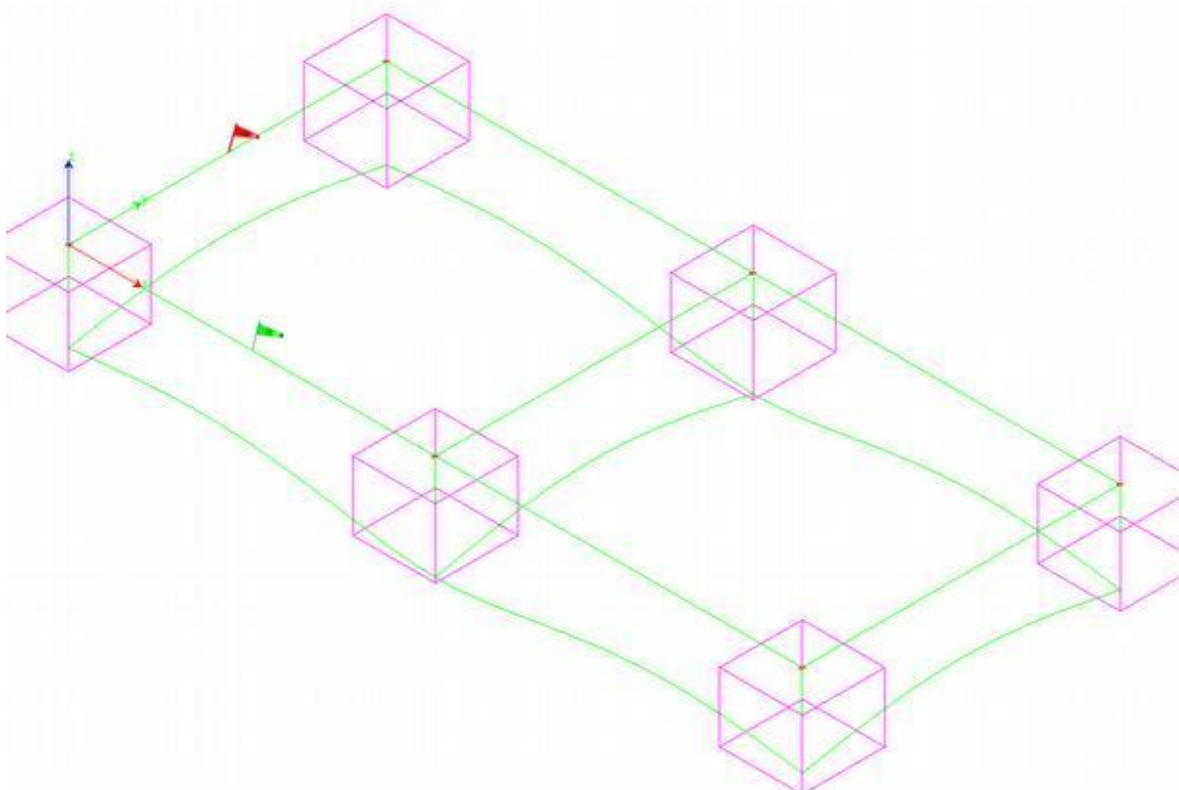




Figura 13: Deformata delle fondazioni per l'elettrofiltro

	<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. 29/37	

## 10. VERIFICHE CONDOTTE

Una volta assegnati i carichi, i programmi hanno provveduto alla verifica degli elementi strutturali (travi in acciaio, platea 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 i software procedono 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'involuppo 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.

#### 10.4 VERIFICHE CANNA ESTERNA DEL CAMINO

La canna metallica esterna della struttura del camino è stata modellata come un elemento bidimensionale in acciaio avente diametro esterno costante pari a 4000mm e successivamente suddiviso in mesh regolari: così come indicato dalla relativa tavola, il corpo della canna è stato suddiviso in 6 conci aventi sviluppo e spessori diversi, ciascuno dei quali è stato però realizzato con un acciaio di tipo S355.

Procedendo dal basso verso l'alto, si ha una successione di conci aventi le seguenti caratteristiche:

- Concio 1 - Lunghezza: 4970mm - Spessore:12mm;
- Concio 2 - Lunghezza: 11000mm - Spessore:10mm;
- Concio 3 - Lunghezza: 1000mm - Spessore:8mm;
- Concio 4 - Lunghezza: 5000mm - Spessore:6mm;
- Concio 5 - Lunghezza: 5000mm - Spessore:5mm;
- Concio 6 - Lunghezza: 12880mm - Spessore:4mm.

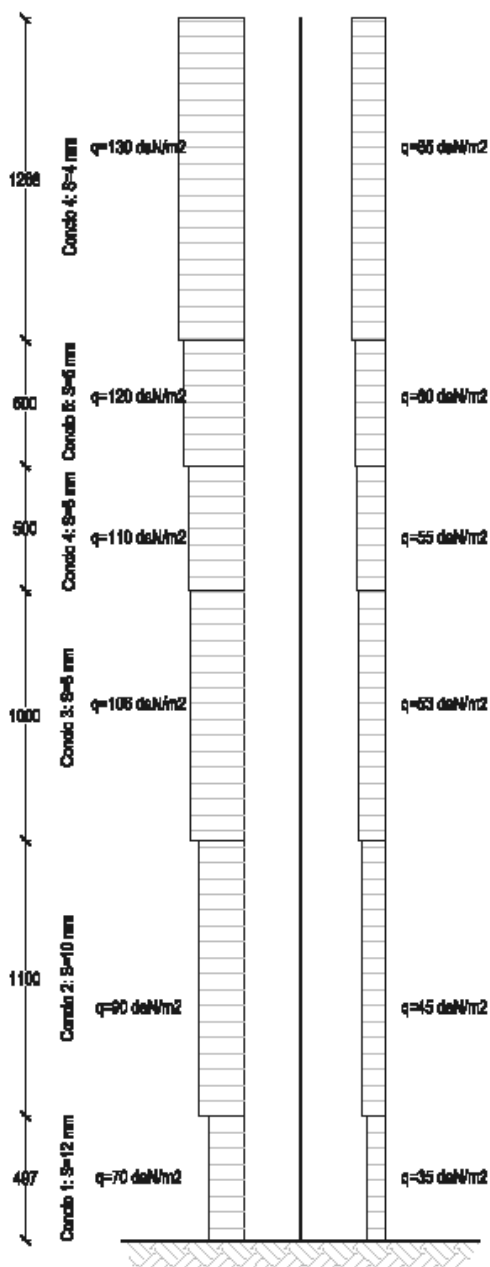
##### 10.4.1 Verifiche canna esterna del camino

Su tale elemento strutturale è stato dapprima condotto il predimensionamento della sezione di base.

La verifica è stata eseguita, in maniera semplificata, considerando la canna esterna come un elemento a trave avente un funzionamento a mensola: su tale elemento è stato applicato un doppio carico uniformemente distribuito, a rappresentazione del carico vento agente sulla faccia sopravvento e su quella sottovento, con un valore crescente a seconda delle quote massime dei conci.

I valori del carico distribuito agente sui vari conci è quello già indicato nei paragrafi precedenti, e sono i seguenti:

Concio	Q sopravvento	Q sottovento
1	70 daN/m <sup>2</sup>	35 daN/m <sup>2</sup>
2	90 daN/m <sup>2</sup>	45 daN/m <sup>2</sup>
3	106 daN/m <sup>2</sup>	53 daN/m <sup>2</sup>
4	110 daN/m <sup>2</sup>	55 daN/m <sup>2</sup>
5	120 daN/m <sup>2</sup>	60 daN/m <sup>2</sup>
6	130 daN/m <sup>2</sup>	65 daN/m <sup>2</sup>



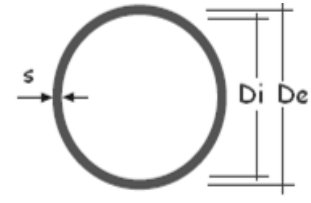
Con tale schematizzazione (riportata nella figura a fianco), è stato determinato il momento flettente agente in corrispondenza dell'incastro alla base della canna, pari a  $M_{Ed}=1.258.758 \text{ daN}\cdot\text{m}$ , con cui è stata condotta la verifica di resistenza della sezione circolare cava.

Considerando un acciaio di tipo S355, la verifica ha mostrato che la sezione d'incastro della canna esterna del camino riesce a garantire un momento resistente pari a  $M_{ERd}=6.452.558 \text{ daN}\cdot\text{m}$  maggiore del momento sollecitante, tale per cui la verifica risulta soddisfatta.

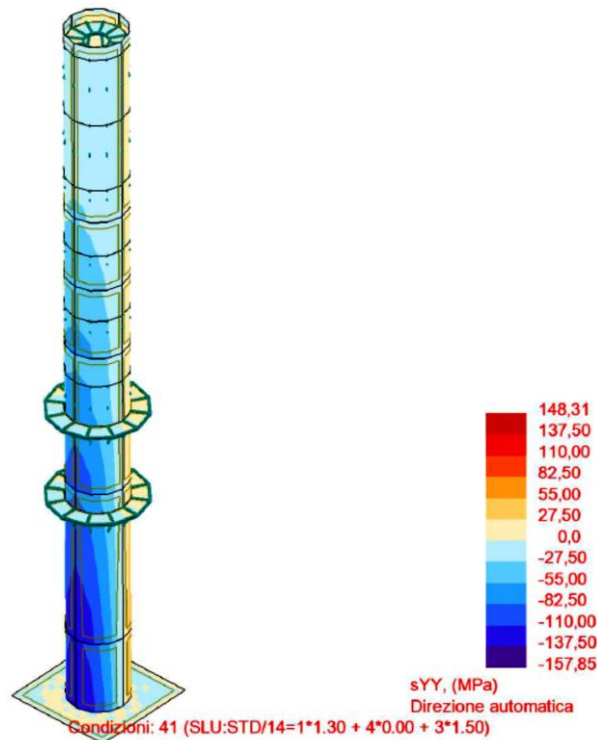
Di seguito si riporta la tabella utilizzata per la verifica.

**Tabella 12 - Predimensionamento della sezione d'incastro della canna esterna del camino**

CARATTERISTICHE SEZIONE		
<b>CLASSE ACCIAIO</b>	<b>S355</b>	
Tensione di snervamento	$f_y = 355$	N/mm <sup>2</sup>
<b>TIPO DI PROFILO</b>	<b>Ø4000mm_s=12mm</b>	
Diametro esterno	$D_e = 4.000$	mm
Spessore	$s = 12$	mm
Diametro interno	$D_i = 3.976$	mm
Numero profili	$n = 1$	
Momento inerzia	$J_y = 2,99E+11$	mm <sup>4</sup>
Momento iner. torsionale	$J_t = 597.778.799.500$	mm <sup>4</sup>
Modulo res. plastico	$W_{ypl} = 190.850.304$	mm <sup>3</sup>
<b>VERIFICA RESISTENZA FLESSIONE 4.2.4.1.2 NTC08</b>		
Coefficiente di taglio	$\rho = 0$	
<b>Momento sollecitante</b>	$M_{Ed} = 1.258.758$	daN*m
<b>Momento resistente</b>		
$M_{Rd} = W_{yPL} * f_{yk} / g_{m0} =$	<b>6.452.558</b>	daN*m
		Coeff. sicurezza $g_{m0} = 1,05$
		<b>Med/Mrd=0,20</b>
		<b>VERIFICA</b>



A seguito della modellazione della struttura della canna esterna del camino e dell'inserimento dei carichi agenti sulla stessa, è stata condotta una verifica a livello tensionale delle mesh costituenti la struttura metallica: in corrispondenza della condizione di carico più sfavorevole agli SLU statici, si è registrata una tensione normale massima pari a circa 160MPa, che risulta minore della tensione massima ammissibile che, per un acciaio di tipo S355, è pari a 340 MPa. Tale risultato indica quindi un coefficiente di sicurezza pari a 2,12. Si riporta nel seguito la vista della mappa tensionale della canna esterna del camino nella condizione più sfavorevole.



**Figura 14:** Massime tensioni agenti sulla canna esterna del camino agli SLU statici



Data l'elevata snellezza della canna esterna del camino, è stata condotta un'analisi non lineare che prendesse in considerazione i problemi di instabilità di tale elemento sotto i carichi di progetto.

Tale analisi, detta analisi di Buckling, permette, in regime di calcolo non lineare, di determinare il moltiplicatore dei carichi che provoca il collasso della struttura, valutando il valore massimo raggiungibile fino ad un cambio drastico di configurazione deformata della struttura.

In tal senso dunque, il moltiplicatore dei carichi può essere considerato come un fattore di sicurezza rispetto alla configurazione nella quale la struttura, mostrando elevati valori di spostamenti, entra in crisi per instabilità.

Questa tipologia di analisi è stata condotta prendendo in considerazione un modello tridimensionale semplificato privo delle passerelle intermedie: in tal modo, a favore di sicurezza è stato completamente trascurato il contributo che esse danno alla rigidità della canna esterna.

Per tale motivo, sono stati presi in considerazione solo i carichi dovuti al peso proprio (Condizione1), il carico da vento (Condizione2) e la loro combinazione senza coefficienti moltiplicativi (Condizione3): per ognuna di queste condizioni, il software ha restituito il valore del coefficiente critico per i primi 5 modi proprio della struttura.

È stata invece considerata la presenza di un anello di irrigidimento interno all'altezza di ciascun orizzontamento interno: tale elemento, avente larghezza di 10cm e spessore pari a 8mm, viene inserito sia per ridurre la lunghezza di inflessione dei pannelli verticali in acciaio, sia per conferire maggiore rigidità trasversale all'intera sezione circolare.

Anche in questo modello, la fondazione viene considerata al di sopra di un terreno con schematizzazione alla Winkler.



Figura 15: Modello utilizzato per l'analisi di Buckling della canna esterna del camino

L'analisi così condotta mostra che nella condizione 3, corrispondente alla presenza in contemporanea del peso proprio e del carico da vento, il coefficiente moltiplicativo critico dei carichi per l'instabilità della struttura risulta pari a **25,54**: essendo tale valore molto maggiore di 1, la verifica di svergolamento globale dell'intera struttura risulta soddisfatta.

Condiz./Modo	Coef_crit.	Precisione
1/ 1	6,54701e+002	4,87679e-004
1/ 2	6,54711e+002	5,38660e-004
1/ 3	7,73368e+002	1,25272e-003
1/ 4	7,73430e+002	3,36739e-003
1/ 5	8,03414e+002	1,14243e-003
2/ 1	2,63009e+001	9,67079e-003
2/ 2	Inesistenti	Inesistenti
2/ 3	Inesistenti	Inesistenti
2/ 4	Inesistenti	Inesistenti
2/ 5	Inesistenti	Inesistenti
3/ 1	2,55485e+001	7,48423e-003
3/ 2	2,78987e+001	5,91403e-003
3/ 3	3,02815e+001	1,73883e-002
3/ 4	Inesistenti	Inesistenti
3/ 5	Inesistenti	Inesistenti

Figura 16: Coefficienti critici della canna esterna

#### 10.4.2 Predimensionamento fondazione del camino

Il dado di fondazione della canna esterna è stato predimensionato secondo criteri di equilibrio, in maniera tale che, allo Stato Limite Ultimo, il peso proprio di tale elemento, oltre che il peso proprio della canna, contrasti la rotazione rigida dell'intero sistema dovuta all'azione del vento trasversale: nella determinazione del momento ribaltante e del momento stabilizzante del sistema è stato tenuto debitamente conto dei coefficienti moltiplicativi indicati dalla tabella 2.6.I delle NTC08.

Come ulteriore margine di sicurezza, non è stato inoltre preso in considerazione il peso proprio della canna interna, la quale viene fissata al dado di fondazione della canna esterna.

**Tabella 13 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (tabella 2.6.I NTC08)**

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup>Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Secondo tale predimensionamento il dado di fondazione deve avere un lato pari a 7,3m e un'altezza di 2,5m. Si riporta nel seguito la tabella utilizzata per la determinazione delle dimensioni del dado di fondazione.

**Tabella 14 - Predimensionamento della del dado di fondazione della canna esterna del camino**

FONDAZIONE					
Lato plinto	L=	7,3	m		
Profondità Plinto	h=	2,5	m		
Peso plinto	Pcls=	333.063	daN	Volume cls	133,225 m3
Peso canna camino	Pacc=	57.594	daN		
M vento	Mven=	839.172	daN*m	coefficiente vento	$\gamma=$ 1,5
M plinto	Mpl=	1.425.896	daN*m	coefficiente peso	$\gamma=$ 0,9
M ribaltante	Med=	1.258.758	daN*m		
M stabilizzante	Mrd=	1.283.306	daN*m	<b>Med/Mrd=0,98</b>	<b>VERIFICA</b>

### 10.4.3 Verifica collegamento base canna esterna del camino

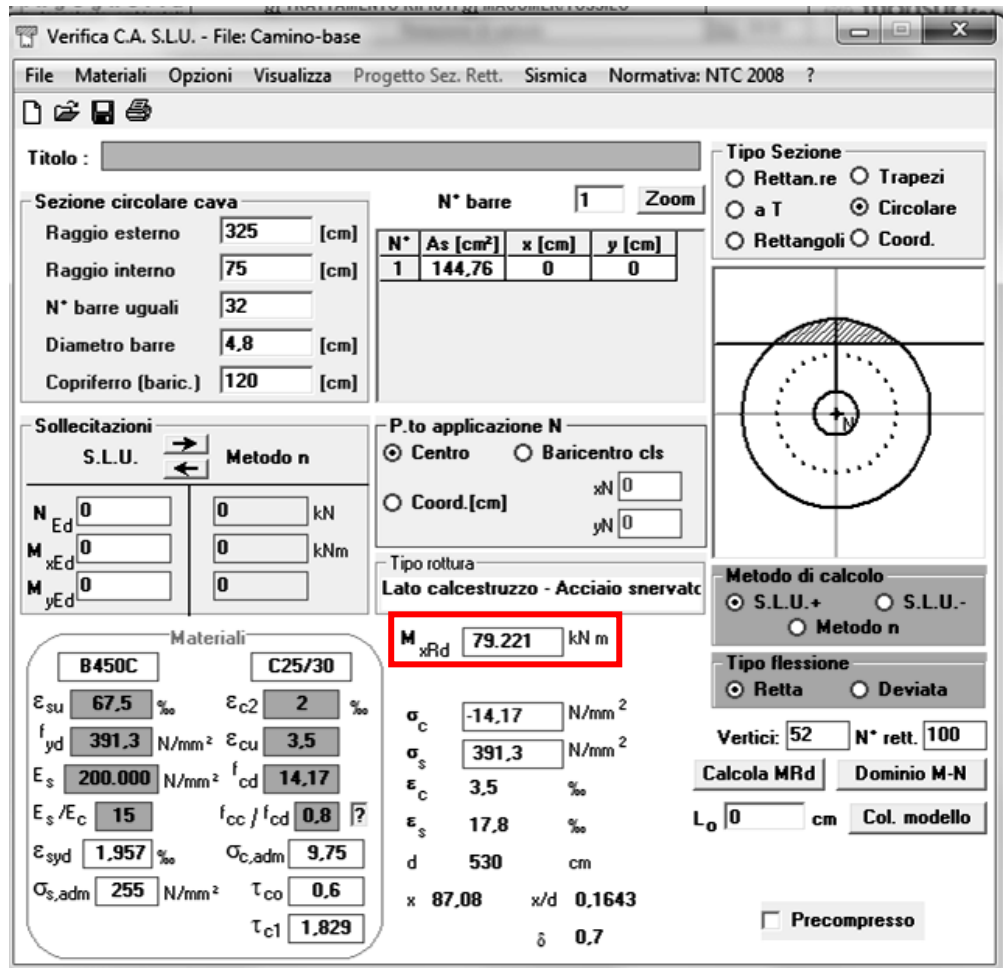
Il collegamento tra la canna esterna in acciaio e il dado di fondazione in conglomerato cementizio armato viene realizzato mediante il ricorso ad una piastra anulare in acciaio, la quale viene collegata alla canna mediante bullonatura tramite degli elementi di irrigidimento, mentre viene connessa al dado di fondazione mediante dei tirafondi.

Per la verifica di quest'ultimi, è stato valutato il momento resistente che offre una sezione fittizia in cemento armato composta dai tirafondi e dalla corona circolare in calcestruzzo coinvolta nel meccanismo di trasmissione delle sollecitazioni di compressione provenienti dalla canna metallica: in particolare, le dimensioni della corona sono state determinate sulla base dello spessore del dado (pari a 250cm) e del meccanismo di trasmissione degli sforzi, per i quali è stata ipotizzata una diffusione a 30° rispetto alla verticale.

La sezione reagente è stata dunque ipotizzata con un raggio esterno pari a  $2m+2,5m/2=3,25m$  e con un raggio interno pari a  $2m-2,5m/2=0,75m$ , mentre i tirafondi sono stati posizionati al centro della stessa.

Per i tirafondi, è stato fatto ricorso a 32 barre aventi diametro pari a 48mm e con disposizione circonferenziale.

Sulla sezione così definita è stata condotta l'analisi del momento resistente, che è risultato essere pari a  $M_{Rd}=79.221kN*m$ : tale valore deve essere confrontato con il momento sollecitante allo Stato Limite Ultimo determinato al §9.4, pari a  $M_{Ed}=12.588 kN*m$ . La verifica risulta quindi soddisfatta.



**Verifica C.A. S.L.U. - File: Camino-base**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 325 [cm]  
 Raggio interno: 75 [cm]  
 N° barre uguali: 32  
 Diametro barre: 4,8 [cm]  
 Copriferro (baric.): 120 [cm]

N° barre: 1 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	144,76	0	0

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 [kN]  
 M<sub>xEd</sub>: 0 [kNm]  
 M<sub>yEd</sub>: 0 [kNm]

**P.to applicazione N**  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>: 0 [cm] Col. modello

Precompresso

**Materiali**

B450C		C25/30	
ε <sub>su</sub>	67,5 ‰	ε <sub>c2</sub>	2 ‰
f <sub>yd</sub>	391,3 N/mm²	ε <sub>cu</sub>	3,5 ‰
E <sub>s</sub>	200.000 N/mm²	f <sub>cd</sub>	14,17
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub>	0,8
ε <sub>syd</sub>	1,957 ‰	σ <sub>c,adm</sub>	9,75
σ <sub>s,adm</sub>	255 N/mm²	τ <sub>co</sub>	0,6
		τ <sub>c1</sub>	1,829

σ<sub>c</sub>: -14,17 N/mm²  
 σ<sub>s</sub>: 391,3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub>: 3,5 ‰  
 ε<sub>s</sub>: 17,8 ‰  
 d: 530 cm  
 x: 87,08 x/d: 0,1643  
 δ: 0,7

**M<sub>xRd</sub> 79.221 kN m**

Figura 17: Verifica del collegamento di base della canna esterna

La piastra di base è stata verificata nei confronti del punzonamento sotto l'azione di trazione del singolo tirafondo, così come indicato al §4.2.8.1.1 delle NTC08: per la piastra è stato assunto uno spessore di 30mm e un acciaio di tipo S355. Nella tabella seguente vengono riportati i calcoli relativi a tale verifica.

**Tabella 15 - Verifica a punzonamento della piastra di base**



VERIFICA A PUNZONAMENTO PIASTRA DI BASE		
	<b>Classe 8,8</b>	
<b>Diametro bullone</b>	<b>d= 48</b>	<b>mm</b>
Coefficiente sicurezza	$g_{M2} = 1,25$	
Tensione di rottura	$f_{tb} = 800$	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
Area resistente	$A_{res} = 1.447$	<b>mm<sup>2</sup></b>
<b>Resistenza trazione bullone</b>	<b><math>F_{t,Rd} = 83.384</math></b>	<b>daN</b>
Spessore piatto	$t_p = 30$	<b>mm</b>
Diametro testa bullone	$d_m = 50$	<b>mm</b>
Acciaio piastra	<b>S355</b>	
Tensione rottura piastra	$f_t = 510$	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
<b>Resistenza a punzonamento</b>	<b><math>B_p, R_d = 115.359</math></b>	<b>daN</b>
		<b>0,72 VERIFICA</b>

È stata infine condotta la verifica nei riguardi della lunghezza di infissione dei tirafondi, accertandosi che essa riesca a garantire a quest'ultimi un sufficiente ancoraggio sotto il massimo sforzo di trazione ammissibile, che è stato assunto pari alla resistenza a trazione del tirafondo.

Nella tabella seguente vengono riportati i calcoli relativi a tale verifica.

**Tabella 16 - Verifica dell'ancoraggio dei tirafondi di base**

VERIFICA SISTEMA ANCORAGGIO-SOLLECITAZIONE TRAZIONE			
diametro barre	$f = 48$	<b>mm</b>	
Tipo calcestruzzo	C 25/30		
Tipo acciaio barre	B450C		
Verifica trazione barre			
Area singolo ancorante	$A_b = 1.810$	<b>mm<sup>2</sup></b>	
Resistenza calc. trazione	$F_{yd} = 391$	<b>N/mm<sup>2</sup></b>	Coeff. sicurezza $g_{m0} = 1,05$
Resistenza totale trazione	$67.437$	<b>daN</b>	<b>Fed/Frd=0 VERIFICA</b>
Verifica sfilamento barre			
Resist. Car. Cilindrica	$f_{ck} = 25$	<b>N/mm<sup>2</sup></b>	Coeff. Parziale sicurezza $g_c = 1,5$
Resist. Car. Cubica	$R_{ck} = 30$	<b>N/mm<sup>2</sup></b>	Coefficiente $\eta = 1$
Res. caratteristica trazione	$f_{ctk} = 2,56$	<b>N/mm<sup>2</sup></b>	
Resistenza tangenz. Caratt.	$f_{bk} = 5,77$	<b>N/mm<sup>2</sup></b>	
Resistenza tangenz. Calcolo	$f_{bd} = 3,85$	<b>N/mm<sup>2</sup></b>	
Lunghezza ancoraggio	$l = 1450$	<b>mm</b>	
Resistenza sfilamento	$F_{rd} = 80.120$	<b>daN</b>	
Resistenza trazione barra	$67.437$	<b>daN</b>	<b>Fed/Frd=0,84 VERIFICA</b>

	<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. 37/37	

### 10.5 VERIFICHE CANNA ESTERNA DEL CAMINO

La canna metallica interna della struttura del camino è stata modellata come un elemento bidimensionale in acciaio avente diametro esterno costante pari a 1400mm e successivamente suddiviso in mesh regolari: così come indicato dalla relativa tavola, il corpo della canna è stato suddiviso in 5 conci aventi sviluppo diverso ma identico spessore pari a 5mm, realizzati con un acciaio di tipo S355.

In totale, la canna interna ha uno sviluppo pari a 50m.

A seguito della modellazione della struttura della canna esterna del camino e dell'inserimento dei carichi agenti sulla stessa, è stata condotta una verifica a livello tensionale delle mesh costituenti la struttura metallica: in corrispondenza della condizione di carico più sfavorevole agli SLU statici, si è registrata una tensione normale massima pari a circa 260MPa, che risulta minore della tensione massima ammissibile che, per un acciaio di tipo S355, è pari a 340 MPa.

Tale risultato indica quindi un coefficiente di sicurezza pari a 1,3.

Si riporta nel seguito la vista della mappa tensionale della canna interna del camino nella condizione più sfavorevole.

**Figura 18:** Massime tensioni agenti sulla canna interna del camino agli SLU statici