

	PROGETTISTA 	WBS NQR/20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 1 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12") - DP 24 bar ed opere connesse

**Punto di Intercettazione di Derivazione Importante con Stacco con discaggio
(PIDI n. 5 + PIDA) DN 300 (12") x DN 150 (6")
Loc. "Villa Cassaro"**

EDIFICIO USO TELECOMANDO E TELEMISURE

TIPO «B5 COPERTURA A FALDE»

Relazione di calcolo strutturale

comprensiva di:

descrizione generale

criteri di analisi e di modellazione sismica

dimensionamento e verifica dell'opera

giudizio motivato di accettabilità dei risultati

0	Emissione per Aggiornamento AU 327 per prescrizioni VIA	Costigliola	Olivi	Mattei	Gen. '25
	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

File dati: nqr20133-rel-civ-e-10698_0

	PROGETTISTA 	WBS NQR/20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 2 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

I N D I C E

1.	INTRODUZIONE	3
1.1	Descrizione dell'opera	3
1.2	Principi generali di dimensionamento	4
1.3	Normativa di riferimento	5
1.4	Vita nominale e classe d'uso	6
1.5	Precisazioni in merito agli stati limite di progetto	7
1.6	Elaborati di progetto	8
1.7	Sistema di qualità	9
2.	SISMICITÀ E RELATIVI CRITERI DI MODELLAZIONE	10
2.1	Parametri dell'azione sismica locale	10
2.2	Parametri dell'azione sismica di progetto	11
2.3	Capacità dissipative e metodo di analisi	13
2.4	Confronto tra spettri di risposta di calcolo	15
3.	ASPETTI GEOTECNICI	19
3.1	Schema stratigrafico e caratterizzazione geotecnica	19
3.2	Verifiche geotecniche	20
4.	CONDIZIONI DI CARICO	22
4.1	Carichi permanenti strutturali	22
4.2	Carichi permanenti non strutturali	22
4.3	Carichi variabili d'utilizzo	23
4.4	Carico da neve	23
4.5	Carico dovuto al vento	25
4.6	Azioni termiche	27
4.7	Definizione e combinazione delle azioni	28
5.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E PARAMETRI DI RESISTENZA	31
5.1	Materiali previsti per la struttura	31
5.2	Condizioni ambientali	32
6.	MODELLAZIONE STRUTTURALE	34
6.1	Approcci progettuali e verifiche agli stati limite	34
6.2	Simulazione dell'azione sismica	35
6.3	Modi propri di vibrare della struttura e massa partecipante	36
6.4	Criteri di verifica	36
6.5	Rigidezze e deformabilità	37
6.6	Dettagli costruttivi	39
7.	SOLAIO DI COPERTURA	40
8.	CODICE DI CALCOLO AUTOMATICO	42
8.1	Caratteristiche del codice di calcolo	42
8.2	Affidabilità e validazione del codice di calcolo	45
9.	PRESENTAZIONE E ANALISI DEI RISULTATI	47
9.1	Presentazione dei risultati	47
9.2	Codifica condizioni di carico	50
9.3	Risultati in termini di resistenza	50
9.4	Risultati in termini di danno ed operatività	52
9.5	Risultati in termini di stabilità rispetto al terreno	52
9.6	Analisi e giudizio complessivo sui risultati	53
9.7	Rappresentazione grafica dei risultati	56
10.	ATTRAVERSAMENTO CAVIDOTTI IN FONDAZIONE	68

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 3 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

1. INTRODUZIONE

1.1 Descrizione dell'opera

La presente relazione descrive il calcolo di dimensionamento e di verifica della struttura a telai di cemento armato, relativa alla realizzazione di un edificio, costituito da unico livello in elevazione fuori terra, denominato tipo "B5", destinato ad accogliere impianti di telecomando e telemisure.

Tale fabbricato è da realizzarsi all'interno dell'area di impianto denominata Punto di Intercettazione di Derivazione Importante con Stacco con discaggio (PID n. 5 + PIDA) DN 300 (12") x DN 150 (6"), a servizio del metanodotto RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12") - DP 24 bar ed opere connesse.

Il sito di realizzazione è in località "Villa Cassaro", nel comune di Aragona (AG).

La struttura ha dimensioni planimetriche al piano fondazioni pari a 5,55 m, in direzione convenzionale X, e 3,05 m, in direzione convenzionale Y. L'altezza, dal piano di posa delle fondazioni, è pari a circa 4,00 m.

Le fondazioni sono di tipo diretto a travi rovesce. Gli elementi in elevazione consistono in quattro pilastri, collegati in sommità da travi "a spessore", lungo le direzioni convenzionali X e Y. Queste costituiscono la delimitazione di un solaio di copertura, conformato a due falde; la cui orditura, monodirezionale, si sviluppa lungo l'asse convenzionale X.

La copertura è contornata da un cornicione perimetrale aggettante.

La struttura intelaiata in c.a. del fabbricato è rappresentata da:

- travi di fondazione con sezione rettangolare, aventi base 40 cm, altezza 70 cm, poggiate su suolo elastico alla Winkler;
- piastra di collegamento, spessore 15 cm, atta a costituire la base del calpestio interno del fabbricato;
- elemento bidimensionale di collegamento esterno, spessore da 18 cm a 20 cm, atto a costituire marciapiede perimetrale;
- pilastri a sezione rettangolare 30 cm per 40 cm;
- travi sommitali di bordo a sezione trapezia, base 30 cm, altezza 35 cm ÷ 40,5 cm;
- travi di solaio, solaio alleggerito (20+4) e trave di colmo a spessore, di geometria congruente con la conformazione a falde della copertura.

Per il dimensionamento qui descritto sono state considerate tutte le prescrizioni delle norme vigenti, in materia di caratteristiche geometriche degli elementi strutturali.

La costruzione è prevista sia completata mediante opere di finitura interna ed esterna; in particolare sono contemplati tamponamenti in muratura, delimitati dagli elementi strutturali, e opere ordinarie di impermeabilizzazione, intonacatura, tinteggiatura, ecc. oltre a serramenti esterni che rispondono alle specifiche esigenze d'utilizzo.

	PROGETTISTA 	WBS NQR/20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 4 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

Il volume interno alla costruzione determina unico locale, in cui saranno allocati i dispositivi impiantistici di misura e telecomando, collegati all'esterno mediante cavidotti elettrici e di segnalazione interrati.

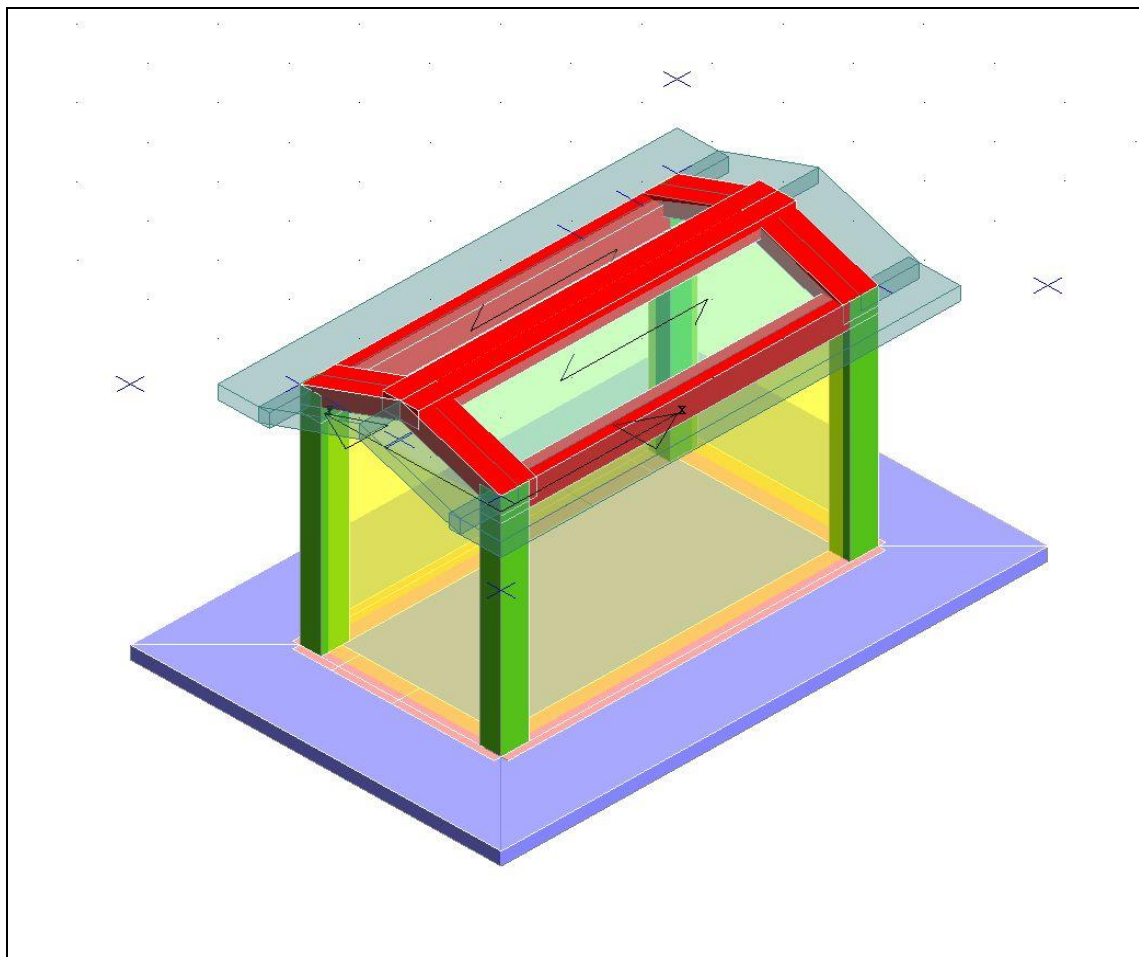


Fig. 1.1: Rappresentazione assonometrica della struttura

1.2 Principi generali di dimensionamento

L'opera è stata predimensionata e calcolata considerando valori "estremizzati" delle azioni esterne di carattere "ambientale" (vento, neve, azione sismica, ecc.), in modo da consentire la realizzazione del manufatto, con le medesime caratteristiche geometriche e strutturali in più parti del territorio nazionale; risultando sempre e comunque conforme alle esigenze di dimensionamento che derivano dalle sollecitazioni indotte dal contesto locale.

Per quanto riguarda le azioni esterne, il presente documento è quindi basato sul confronto tra tutte le specifiche situazioni locali che derivano dal sito di realizzazione e quelle che sono state assunte a base di calcolo, al fine di verificare come le seconde siano effettivamente cautelative rispetto al caso concreto di esecuzione.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 5 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

I risultati delle verifiche condotte, descritti nella presente relazione e nel Fascicolo dei calcoli strutturali, si riferiscono quindi a condizioni di carico più gravose di quanto strettamente relativo al luogo di costruzione qui previsto. Dal punto di vista pratico, da tutto ciò segue che la struttura che sarà realizzata offrirà margini di resistenza e di sicurezza più ampi di quanto derivante dalla applicazione su di essa delle azioni attese in ambito locale.

È invece delegato alla "Relazione geotecnica e sulle fondazioni" l'analisi dei risultati delle verifiche geotecniche relative alla condizione "teorica" presa a riferimento e di quelli che derivano dalla specifica situazione locale, come più diffusamente specificato nel seguito della presente relazione.

1.3 Normativa di riferimento

Il progetto di cui alla presente relazione è redatto in conformità alle disposizioni delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito "Norme" o "NTC18"), emesse con Decreto Ministro delle Infrastrutture del 17 gennaio 2018, di concerto con il Ministro dell'interno e con il Capo del Dipartimento della Protezione Civile, ai sensi delle leggi 05/11/1971, n. 1086, e 02/02/1974, n. 64, così come riunite nel "Testo Unico per l'Edilizia" di cui al D.P.R. 06/06/2001, n. 380, e dell'art. 5 del Decreto Legge 28/05/2004, n. 136, convertito in legge, con modificazioni, dall'art. 1 della legge 27/07/2004, n. 186 e ss.mm.ii.

Essa ha inoltre riferimento, sia in linea generale sia nel dettaglio, nei seguenti strumenti di normazione e documenti tecnici:

- Eurocodice 1, "Basi di calcolo ed azioni sulle strutture";
- Eurocodice 2, "Progettazione delle strutture in calcestruzzo";
- Eurocodice 7, "Progettazione geotecnica";
- Eurocodice 8, "Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture";
- Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 21 gennaio 2019, n. 7, recante "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018";
- Linee guida per la messa in opera e la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito, Decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 361 del 26 settembre 2017.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 6 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

1.4 Vita nominale e classe d'uso

Per la costruzione viene identificato un periodo di riferimento V_R , che si ricava moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U .

La vita nominale è intesa come "il parametro convenzionale correlato alla durata dell'opera alla quale viene fatto riferimento in sede progettuale per le verifiche dei fenomeni dipendenti dal tempo, (ad esempio: fatica, durabilità, ecc.), rispettivamente attraverso la scelta ed il dimensionamento dei particolari costruttivi, dei materiali e delle eventuali applicazioni di misure protettive per garantire il mantenimento dei livelli di affidabilità, funzionalità e durabilità richiesti" (Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 21 gennaio 2019, n. 7, C2.4.1). "È un'ipotesi della progettazione che la durabilità di una struttura o parte di essa nel suo ambiente sia tale che essa rimanga idonea all'uso durante la vita utile di progetto con un'appropriata manutenzione (...) in modo tale che deteriorazioni non debbano diminuire la durabilità e le prestazioni della struttura avendo il dovuto riguardo al livello previsto di manutenzione" (Eurocodice 1, parte 1, 2.5).

Le NTC18 associano a tipi di costruzione un valore minimo della vita nominale espresso in anni; in particolare, come riportato nella tabella 2.4.I della suddetta norma, per le costruzioni con livelli di prestazioni ordinari, si prevede un valore minimo della vita nominale pari a 50 anni. Tale concetto è svincolato da quello di "strategicità", come già specificato nella "Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, n. 7 del 21 gennaio 2019", ove si chiarisce che, "ai sensi e per gli effetti del Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 3685 del 21 ottobre 2003, il carattere strategico di un'opera o la sua rilevanza per le conseguenze di un eventuale collasso, sono definiti dalla classe d'uso" (Istruzioni, C2.4.1). Ne segue che la vita nominale è scelta in funzione del numero di anni di vita utile previsto per la struttura senza che si debba ricorrere ad interventi di manutenzione straordinaria. Coerentemente con tali indicazioni, la vita nominale del manufatto trova quindi riferimento nelle scelte progettuali che sono descritte nella presente relazione, nel Piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera e nella Relazione sui materiali.

La classe d'uso discende invece da considerazione "esterne" che tengono conto di quanto può accadere "in presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso" (NTC18, § 2.4.2). Inoltre, sull'assegnazione della classe d'uso intervengono criteri di qualificazione non solo tecnica ma anche "amministrativa" (finalità di protezione civile, competenza statale).

Il metanodotto al cui servizio è l'area di impianto in cui è prevista la realizzazione della struttura e del sistema impiantistico ad essa associato può considerarsi un'opera infrastrutturale di interesse strategico; la struttura in progetto è tuttavia un'opera accessoria, il cui eventuale danneggiamento non compromette direttamente la stabilità del gasdotto ma può solo interferire con la funzionalità dei dispositivi di servizio. Per tale manufatto l'assegnazione della classe d'uso assume un carattere "convenzionale". Imporre classe d'uso IV è quindi ipotesi cautelativa, non sussistendo, peraltro, possibili conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 7 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

degli stati limite.

Alla luce di tali considerazioni, si è motivatamente assunta per la costruzione la seguente combinazione di V_N e C_U , conseguentemente determinando il periodo di riferimento "di progetto":

- V_N , vita nominale della costruzione, 50 anni;
- C_U , coefficiente d'uso (classe IV), 2,0;
- V_R , periodo di riferimento per la costruzione, 100 anni.

Date dalle NTC18 le probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento, associate all'azione sismica agente per ciascuno degli stati limite di calcolo, il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni, $T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$, è così determinato:

Stato limite		Valori in anni del periodo di ritorno T_R al variare del periodo di riferimento V_R	
di esercizio	SLO	$0,6 V_R$	60
	SLD	$\approx 1,0 V_R$	101
ultimo	SLV	$\approx 9,5 V_R$	949
	SLC	$19,5 V_R$	1950

1.5

Precisazioni in merito agli stati limite di progetto

In accordo con quanto previsto al punto 7.3.6 delle NTC18, le verifiche allo stato limite di prevenzione del collasso (SLC) devono essere svolte soltanto in termini di duttilità e solo qualora le verifiche di duttilità siano espressamente richieste. Per la struttura in esame, avendo condotto un'analisi di tipo lineare e avendo rispettato, per tutti gli elementi strutturali, le regole specifiche per i dettagli costruttivi precisate nei Capitoli 4 e 7 delle NTC18, queste ultime prevedono che le verifiche di duttilità possano ritenersi implicitamente soddisfatte (§ 7.3.6.1 delle NTC18). Tuttavia, per le sezioni allo spiccato delle fondazioni, indipendentemente dai particolari costruttivi adottati, la verifica di duttilità risulta necessaria, accertando che la capacità in duttilità della costruzione sia almeno paria a 1,2 volte la domanda in duttilità locale, valutata in corrispondenza dello SLV, nel caso si utilizzino modelli lineari.

Pertanto, come riportato al paragrafo 9.7 "Rappresentazione grafica dei risultati", al fine di verificare la duttilità delle sezioni allo spiccato delle fondazioni, si è condotta apposita verifica.

Occorre inoltre specificare che, per la costruzione in progetto, non riveste concreto obbligo di Legge porre come condizione di dimensionamento lo Stato Limite di operatività (SLO), pur essendo il manufatto "formalmente" di classe d'uso IV. Difatti non sussistono condizioni per cui esso debba essere utilizzato durante e subito dopo il terremoto, non essendo la sua destinazione d'uso riconducibile a quanto previsto dallo spirito e dalla lettera delle norme vigenti, che attribuiscono tale obiettivo ad ospedali, caserme, centri della protezione civile, ecc. Come esposto, si tratta infatti di un'opera

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 8 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

accessoria al metanodotto. I collegamenti impiantistici con le aree esterne al fabbricato sono di natura elettrica e non si ha quindi il caso di cui al punto 7.2.4 delle NTC18, relativo al passaggio di tubi gas dal terreno alla costruzione.

Sotto altro punto di vista, non sussiste il caso in cui gli spostamenti strutturali orizzontali o le accelerazioni prodotte dalle azioni sismiche possano produrre interruzioni d'uso degli impianti (peraltro immediatamente sostituibili) disposti all'interno del fabbricato.

Spostamenti che possono dar luogo ad eventuali crisi nelle parti non strutturali sono solo di carattere assoluto, in direzione verticale: per verificare che le azioni ordinarie di progetto non siano tali da far venir meno le condizioni di funzionalità delle parti non immediatamente sostituibili dell'impianto di comando e misura, la protezione che deriva dal calcolo strutturale è basata sulle analisi geotecniche, che si concretizzano nel determinare se possono aver luogo distorsioni nei cavidotti interrati di collegamento (che attraversano, in appositi vani, le fondazioni), a causa di spostamenti verticali delle travi di fondazione e conseguentemente del manufatto. Tale condizione, riferita a stati limite di esercizio, è basata sul calcolo dei cedimenti del terreno, come descritto in successiva parte della presente relazione ("Verifiche geotecniche"). Per gli spostamenti verticali massimi si pone prudenzialmente il limite di 40 mm, a prescindere da dove si possano verificare lungo lo sviluppo delle fondazioni.

Per i motivi esposti, sono omesse le verifiche relative alle condizioni SLO, che peraltro sarebbero limitate (per quanto detto in merito alle verifiche di funzionalità degli impianti) agli spostamenti interpiano, in condizioni sismiche, con azioni variabili al valore "quasi permanente".

Il calcolo e la verifica degli spostamenti relativi, effettuato in associazione allo stato limite SLD, risulta sufficiente a verificare le condizioni di efficienza generali del fabbricato, in relazione agli eventuali danni agli elementi non strutturali, intesi come murature esterne di tamponamento; danni potenziali che comunque nessuna influenza hanno sulla continuità di funzionamento degli impianti. La verifica degli spostamenti relativi SLO è comunque indirettamente effettuata e, come successivamente riportato, risulta soddisfatta ("Risultati in termini di danno ed operatività").

1.6 Elaborati di progetto

Per quanto riguarda la caratterizzazione topografica e geotecnica del sito di esecuzione, le caratteristiche progettuali relative ai materiali di costruzione, le procedure di manutenzione della parte strutturale del manufatto, nonché per la rappresentazione grafica dell'opera in progetto si fa riferimento ai seguenti elaborati:

- Relazione geologica e sismica LA-E-80302;
- Elaborato grafico strutturale CC-A-12609;
- Elaborato grafico architettonico CC-3C-12610;
- Piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera CI-E-10697;

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 9 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

- Relazione sui materiali CI-E-10696;
- Relazione geotecnica e sulle fondazioni CI-E-10695;
- Fascicolo dei calcoli CI-E-10699.

A tali elaborati si rimanda per quanto non espressamente descritto nella presente relazione e per ogni correlato approfondimento.

1.7 Sistema di qualità

Le attività relative al presente studio sono sviluppate seguendo quanto stabilito dalle procedure ed istruzioni di lavoro applicabili nell'ambito del sistema di qualità aziendale SAIPEM S.p.A., certificato dal TUV NORD ai sensi UNI EN ISO 9001:2015 (Certificate No: 44 100 16410143-002 – Original approval: 08/12/1994).

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 10 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

2. SISMICITÀ E RELATIVI CRITERI DI MODELLAZIONE

2.1 Parametri dell'azione sismica locale

Le azioni sismiche in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite da considerare per l'opera, sono definite a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, con riferimento alle prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R .

La pericolosità sismica è determinata:

- in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g e degli altri parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC18, considerati in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale, nonché in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondenti;
- in corrispondenza dei punti del reticolo nazionale di riferimento, i cui nodi sono individuati nell'allegato B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture del 14 gennaio 2008, con le modalità descritte nell'allegato A del suddetto Decreto Ministeriale (media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici);
- per le probabilità di superamento nei diversi periodi di ritorno T_R corrispondenti al periodo di riferimento della costruzione ed agli stati limite per i quali è imposta la verifica.

I parametri sismici di base, che caratterizzano il sito di esecuzione, sono i seguenti:

Coordinate sito:	Longitudine	13.607365°	Latitudine	37.411705°
Punti maglia:	48286	48287	48508	48509
Valori dei parametri sismici, per i periodi di ritorno T_R , associati agli stati limite di progetto				
stato limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
SLD	101	0.036	2.469	0.292
SLV	949	0.074	2.634	0.440

L'azione sismica ideale così individuata deve essere variata, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo, effettivamente presenti nel sito di costruzione, oltre che di quelle prodotte dalla morfologia della superficie.

Per valutare l'effetto della risposta sismica locale dovuto alle caratteristiche del sottosuolo, è possibile fare riferimento all'approccio semplificato proposto dalle NTC18 (§ 3.2.2), che si fonda sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Nello specifico, sulla base delle risultanze della relazione geologica e sismica, il profilo stratigrafico del sito di progetto può prudenzialmente farsi corrispondere a:

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 11 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPem: 023113-000-CI-E-10698

categoria B, assimilabile a rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Ai fini della definizione dell'azione sismica locale è necessario valutare anche le condizioni morfologiche; per configurazioni superficiali semplici, quali quelle relative all'area di costruzione, si può adottare la classificazione in categorie topografiche proposta dalle NTC18 (§ 3.2.2). Sulla base delle risultanze della relazione geologica e sismica, la conformazione del sito corrisponde a:

superficie pianeggiante o rilievo isolato comunque di altezza inferiore a 30 m, identificata con la **categoria T1 ($S_T = 1$)**.

2.2 Parametri dell'azione sismica di progetto

Affinché il progetto risulti valido ed applicabile nella maggior parte del territorio nazionale, l'azione sismica considerata per il dimensionamento è stata determinata facendo riferimento alle condizioni massime possibili attese. Per identificare tali condizioni, si sono effettuate le valutazioni ed analisi di seguito descritte.

La pericolosità sismica di riferimento è stata valutata in termini di ordinata dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$, mediante il data-base "Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Dipartimento della Protezione civile; Milano, 28 luglio 2007", che fornisce il valore della ordinata spettrale $S_e(T)$ per nove probabilità di eccedenza in 50 anni e per 10 periodi spettrali compresi tra 0,1 e 2 secondi, sia in termini di mediana pesata, sia nei corrispondenti al 16^{mo} e all'84^{mo} percentile, che indicano l'incertezza della stima.

Per tale base informativa è usata la griglia di calcolo passo 0,05 gradi in latitudine e longitudine e i risultati si riferiscono a suolo rigido (categoria A: $V_{s,eq} > 800$ m/s).

Determinati gli ambiti territoriali che forniscono i maggiori valori di $S_e(T)$, si è successivamente fatto ricorso al data-base dei parametri a_g , F_0 , T_c^* , relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento, riportato nell'Allegato B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture del 14 gennaio 2008. Per i periodi T_R non contemplati, i parametri dello spettro sono stati ricavati per interpolazione, a partire dai dati relativi a quelli previsti nel data-base, utilizzando l'espressione:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

L'ordinamento dei dati, per valori massimi di a_g e subordinatamente del prodotto $a_g \cdot F_0$ e di T_c^* , ha permesso di determinare i punti del reticolo ritenuti utili, per ciascun periodo di ritorno di interesse. Tali punti sono stati scelti anche tenendo conto della variabilità del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s , a sua volta funzione di a_g e F_0 , in modo da addivenire al più sollecitante spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali su suolo non rigido.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 12 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

I parametri sismici che sono stati considerati ai fini di calcolo sono i seguenti:

Coordinate sito:	Longitudine	15,06504°	Latitudine	37,67354°
Punto maglia:	47200			
Valori dei parametri sismici, per il periodo di ritorno T_R , associato allo SLD				
stato limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
SLD	101	0,148	2,601	0,270

Coordinate sito:	Longitudine	14,92850°	Latitudine	37,17538°
Punto maglia:	49418			
Valori dei parametri sismici, per il periodo di ritorno T_R , associato allo SLV				
stato limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
SLV	949	0,397	2,300	0,507

Come premesso, affinché il progetto risulti valido ed applicabile nella maggior parte del territorio nazionale, è stata determinata la combinazione di categoria di suolo e condizioni topografiche che dà luogo agli spettri di calcolo più cautelativi per ciascun stato limite di progetto.

A tal fine, si è operato un confronto sulla entità del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S , che amplifica l'accelerazione spettrale orizzontale, determinando che, in associazione con i parametri sismici a_g , F_0 , relativi ai siti di maggior pericolosità in precedenza individuati, esso risulta maggiore nel caso di terreni di categoria C, con riferimento ai valori associati a tempo di ritorno di interesse per lo SLV. Più in generale però, per tale tempo di ritorno, sussistono condizioni possibili ove il coefficiente di amplificazione stratigrafica risulta maggiore per la categoria D¹, dipendendo dal prodotto tra i due parametri sismici.

Con maggior dettaglio, si può affermare che, per tempo di ritorno 949 anni, il primo caso è vero per oltre 800 nodi del reticolo nazionale su 10.751 (circa 7,7%); per i restanti, il coefficiente S_S risulta maggiore nel caso di categoria D.

In generale, per $F_0 \cdot a_g < 0,78$ g, il sottosuolo di categoria D mostra amplificazioni maggiori delle altre categorie di sottosuolo, mentre, per $0,78 \text{ g} \leq F_0 \cdot a_g < 1,17$ g, i fenomeni di amplificazione sono più marcati per il sottosuolo di categoria C. Ne segue che, per valori del tempo di ritorno dell'ordine di quelli associati agli stati limite di esercizio, risulta invece sempre maggiore il coefficiente di amplificazione stratigrafica relativo alla categoria D. Il sottosuolo di categoria D presenta, nell'intervallo dei tempi di ritorno di interesse, valori di T_c^* maggiori rispetto a quanto relativo alle categorie di sottosuolo E, C, B, A. Poiché l'altro coefficiente correlato alle caratteristiche del sottosuolo, C_c , decresce al crescere di T_c^* , conseguentemente, nell'ordine delle categorie qui descritto, l'effetto di

¹ In alcuni siti e per tempi di ritorno elevati, anche la categoria E o la categoria A possono dar luogo a amplificazione stratigrafica maggiore che nei casi di categorie C e D. Ciò tuttavia è relativo a valori dei parametri sismici associati a tempo di ritorno di interesse per le verifiche SLC, che sono escluse dal presente contesto. Ovviamente tutto quanto qui esposto è valido solo in relazione al periodo di riferimento per la costruzione assunto (100 anni).

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 13 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

amplificazione massima si sposta verso periodi più brevi e si riduce l'estensione del tratto orizzontale caratterizzato da ordinata spettrale massima.

Per quanto riguarda la condizione topografica dell'area di realizzazione, coerentemente con le caratteristiche consuete di esecuzione degli impianti all'interno dei quali si prevede l'installazione della struttura, essa corrisponde di norma a configurazioni superficiali semplici, sostanzialmente pianeggianti; del tutto prudenzialmente, per il progetto, essa è invece rappresentata dalla categoria T4 (NTC18, tab. 3.2.V).

In considerazione di tali valutazioni, si è assunto che al sisma "ideale" di progetto relativo allo SLD siano associati:

- sottosuolo di categoria D,
- coefficiente topografico $S_T = 1,40$.

Sulla base delle medesime considerazioni, si è assunto che al sisma "ideale" di progetto relativo allo SLV siano associati:

- sottosuolo categoria C,
- coefficiente topografico $S_T = 1,40$.

La componente verticale dell'azione sismica non è contemplata in progetto, in ragione delle caratteristiche geometriche della struttura e non ricorrendo la casistica elencata al punto 7.2.2 delle NTC18.

2.3 Capacità dissipative e metodo di analisi

L'ordinata $S_d(T)$ dello spettro di calcolo viene determinata anche in funzione delle capacità dissipative della struttura, rappresentate da un fattore η , che altera lo spettro di risposta assunto a riferimento (per il quale $\eta = 1$).

Per la progettazione si è scelto di effettuare analisi dinamica lineare; essa consiste nella determinazione dei modi di vibrare della costruzione, nel calcolo degli effetti dell'azione sismica per ciascuno dei modi di vibrare individuati, nella combinazione di questi effetti. Per l'analisi svolta con tale metodo "modale", la ricerca dei modi e delle relative frequenze è perseguita con il metodo di Jacobi; i modi di vibrazione considerati sono in numero tale da assicurare l'eccitazione di più dell'85% della massa totale della struttura.

Per lo studio dei casi che prevedano significativi danneggiamenti, generalmente associati ad azioni riferite agli SLU, il fattore η può essere calcolato in funzione del fattore di comportamento q previsto per lo stato limite.

Poiché le verifiche agli stati limite ultimi e allo stato limite di danno non vengono effettuate tramite l'uso di accelerogrammi ed analisi dinamiche al passo, le capacità dissipative della struttura possono essere messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche, che ne tiene conto in modo semplificato. In tal caso, lo spettro di progetto da utilizzare è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento, con le ordinate ridotte, ottenute sostituendo η con $1/q$ (dove q

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 14 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

è il "fattore di comportamento"; considerato unico, in ragione della semplice geometria dell'opera, indipendentemente dalla direzione della azione sismica); assumendo comunque $S_d(T) \geq 0,2 \cdot a_g$ (NTC18, § 3.2.3.5).

Utilizzando l'analisi lineare per sistemi dissipativi, come avviene per gli stati limite ultimi, gli effetti delle azioni sismiche sono calcolati, quale che sia la modellazione per esse utilizzata, riferendosi allo spettro di progetto ottenuto assumendo un fattore di comportamento q i cui limiti sono definiti alla Tabella 7.3.I delle NTC18.

Gli elementi strutturali delle fondazioni devono avere invece comportamento non dissipativo, indipendentemente dal comportamento strutturale attribuito alle parti costruttive su di essi gravanti. Le fondazioni devono quindi essere preservate da fenomeni di plasticizzazione; il telaio che costituisce la porzione in elevazione della struttura è invece appieno considerato nell'analisi ("Simulazione dell'azione sismica") e gli spettri di calcolo da considerare sono alterati da considerazioni ed effetti connessi alla relativa capacità di plasticizzazione; pertanto, le travi ed i pilastri del telaio sono considerati come elementi la cui presenza nel modello strutturale è contemplata ai fini della resistenza all'azione sismica e, con i limiti successivamente descritti, ai fini della valutazione della gerarchia delle resistenze².

Il valore del fattore di comportamento q da adottare è, in generale, dipendente dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e tiene conto, convenzionalmente, delle capacità dissipative del materiale. Il limite superiore q_{lim} del fattore di comportamento relativo allo SLV è calcolato tramite la seguente espressione:

$$q_{lim} = q_0 \cdot K_R$$

dove:

- q_0 è il valore base del fattore di comportamento allo SLV, i cui massimi valori sono riportati in Tabella 7.3.II delle NTC18 in dipendenza della Classe di Duttilità, della tipologia strutturale, del coefficiente λ di cui al § 7.9.2.1 delle medesime normative e del rapporto α_u/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la plasticizzazione in un numero di zone dissipative tale da rendere la struttura un meccanismo e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione; la scelta di q_0 deve essere esplicitamente giustificata;
- K_R è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, ed è posto pari a 1,0, essendo la struttura caratterizzata da tale forma di regolarità geometrica.

Per la costruzione in progetto, costituita da struttura a telaio di un piano, regolare in pianta, con classe di duttilità considerata media (CD "B"), per q_0 e per il rapporto α_u/α_1

² A tali elementi di modello il codice di calcolo utilizzato associa la codifica di "elemento sismoresistente". Gli effetti di tale assunzione sono descritti in "Criteri di verifica".

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 15 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

possono adottarsi i valori indicati nelle "Norme" (§ 7.4.3.2)³. Posto $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$ ed essendo $q_0 = 3,0 \cdot \alpha_u/\alpha_1$, da tali formulazioni discendono $q = 3,30$ e quindi $\eta = 1/q = 0,303$.

Pertanto, gli spettri di calcolo sono conseguentemente alterati sulla base delle considerazioni esposte e dei potenziali effetti connessi alla relativa capacità di dissipazione.

Anche per quanto riguarda le analisi per gli SLE, l'utilizzo delle metodologie di analisi lineare per sistemi non dissipativi prevede che gli effetti delle azioni sismiche siano calcolati, quale che sia la modellazione per esse utilizzata, riferendosi allo spettro di progetto ottenuto assumendo un fattore di comportamento q avente limite superiore pari a 1.5 per SLD.

Inoltre, come previsto al punto 7.3.1 delle NTC18, qualora la domanda in resistenza allo SLV risulti inferiore a quella allo SLD, si può definire la capacità in resistenza sulla base della domanda allo SLD invece che allo SLV; qualora si utilizzi questa eventualità, il fattore di comportamento allo SLV è scelto in modo che le ordinate dello spettro di progetto per lo SLV siano non inferiori a quelle dello spettro di progetto per lo SLD. Tuttavia, per scelta progettuale, si vuole addivenire a condizioni di sicurezza strutturale superiore, nell'ottica di conseguire tale sicurezza in qualsiasi sito del territorio nazionale, con una struttura adeguata a qualunque contesto (rispondendo in termini non duttili ad azioni del tutto "ideali" ed "estremizzate"); pertanto si impone che essa sia in grado di fornire le necessarie garanzie a prescindere dal fatto che la domanda in resistenza maggiore corrisponda allo SLV o allo SLD (in base a quanto già esposto in merito alla variabilità del rapporto tra i due spettri di calcolo, in dipendenza dalle caratteristiche del sito di analisi); le verifiche strutturali quindi sono condotte discernendo del tutto i due casi e sottoponendo la struttura ad entrambi i cimenti come se fosse quello maggiormente dimensionante.

Pertanto, si impone che il valore di progetto di ciascuna sollecitazione, calcolato in presenza delle azioni sismiche corrispondenti allo SLD, attribuendo al fattore di comportamento q il valore 1,5 ($\eta = 2/3$), risulti inferiore al corrispondente valore della resistenza di progetto, determinato secondo le regole specifiche per ciascun tipo strutturale.

I valori di η così determinati esauriscono i dati necessari alla completa definizione dello spettro di risposta di calcolo per tutti gli stati limite di progetto, potendoli associare agli spettri di riferimento del relativo sito di maggior incidenza (SLV, SLD).

2.4 Confronto tra spettri di risposta di calcolo

In sintesi, per le verifiche degli elementi in termini di resistenza, la struttura è stata dimensionata e verificata sulla base delle azioni sismiche di progetto di seguito

³ Il fattore riduttivo K_w è posto pari a 1, per struttura a telaio (NTC18, § 7.3.1).

	PROGETTISTA 	WBS NQR/20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 16 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

rappresentate.

A maggior chiarimento di quanto qui esposto, si specifica che il progetto è stato supportato dalla modellazione del comportamento della struttura nelle condizioni sismiche proprie di due diversi siti "ideali"; ai quali corrispondono potenzialmente spettri di calcolo rispettivamente dimensionanti per lo SLV e lo SLD⁴.

In ragione dei fattori di comportamento corrispondenti a ciascuno stato limite, si evidenzia come le condizioni SLD, relative al sito corrispondente scelto, possano risultare parimenti o maggiormente determinanti, in termini di risposta richiesta alla struttura, rispetto alle condizioni SLV.

spettro di calcolo SLD di progetto , verifiche elementi strutturali in termini di resistenza							
a_g [g]	F_0	T_c^* [s]	S_T	η	S_s	S	C_c
0,148	2,601	0,270	1,400	0,667	1,800	2,520	2,406
T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]	$S_d(0)$ [m/s ²]	$S_d(T_B)$ [m/s ²]	$S_d(T_C)$ [m/s ²]	$S_d(T_D)$ [m/s ²]	$S_d(4s)$ [m/s ²]
0,217	0,650	2,192	3,659	6,344	6,344	1,880	0,565

spettro di calcolo SLV di progetto , verifiche elementi strutturali in termini di resistenza							
a_g [g]	F_0	T_c^* [s]	S_T	η	S_s	S	C_c
0,397	2,300	0,507	1,400	0,303	1,152	1,613	1,314
T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]	$S_d(0)$ [m/s ²]	$S_d(T_B)$ [m/s ²]	$S_d(T_C)$ [m/s ²]	$S_d(T_D)$ [m/s ²]	$S_d(4s)$ [m/s ²]
0,222	0,666	3,188	6,282	4,378	4,378	0,915	0,779

⁴ Il Fascicolo dei calcoli strutturali, per completezza di esposizione dei risultati, riporta gli esiti del dimensionamento e delle verifiche per lo SLV e per lo SLD, relativamente a ciascuno dei due siti "ideali" cui si è fatto ricorso per il progetto.

	PROGETTISTA 	WBS NQR/20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 17 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

Le azioni sismiche proprie del sito di costruzione sono invece le seguenti:

spettro di calcolo SLD locale , verifiche elementi strutturali in termini di resistenza							
a_g [g]	F_0	T_c^* [s]	S_T	η	S_s	S	C_c
0.036	2.469	0.292	1.000	0,667	1.200	1.200	1.407
T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]	$S_d(0)$ [m/s ²]	$S_d(T_B)$ [m/s ²]	$S_d(T_C)$ [m/s ²]	$S_d(T_D)$ [m/s ²]	$S_d(4s)$ [m/s ²]
0.137	0.411	1.745	0.427	0.702	0.702	0.165	0.031

spettro di calcolo SLV locale , verifiche elementi strutturali in termini di resistenza							
a_g [g]	F_0	T_c^* [s]	S_T	η	S_s	S	C_c
0.074	2.634	0.440	1.000	0,303	1.200	1.200	1.296
T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]	$S_d(0)$ [m/s ²]	$S_d(T_B)$ [m/s ²]	$S_d(T_C)$ [m/s ²]	$S_d(T_D)$ [m/s ²]	$S_d(4s)$ [m/s ²]
0.190	0.571	1.897	0.873	0.697	0.697	0.210	0.145

La verifica che le sollecitazioni sismiche considerate in progetto sono cautelative rispetto a quella che deriverebbe dall'applicazione dei parametri locali ove è prevista la costruzione può essere effettuata anche in termini grafici, comparando gli spettri di calcolo "ideali" utilizzati con quelli "reali", determinati dai parametri sismici e dai coefficienti di risposta propri del sito di esecuzione.

Il confronto con gli spettri di calcolo del sito di realizzazione è effettuato per stati limite corrispondenti, relativamente alla condizione di verifica degli elementi strutturali in termini di resistenza.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 18 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

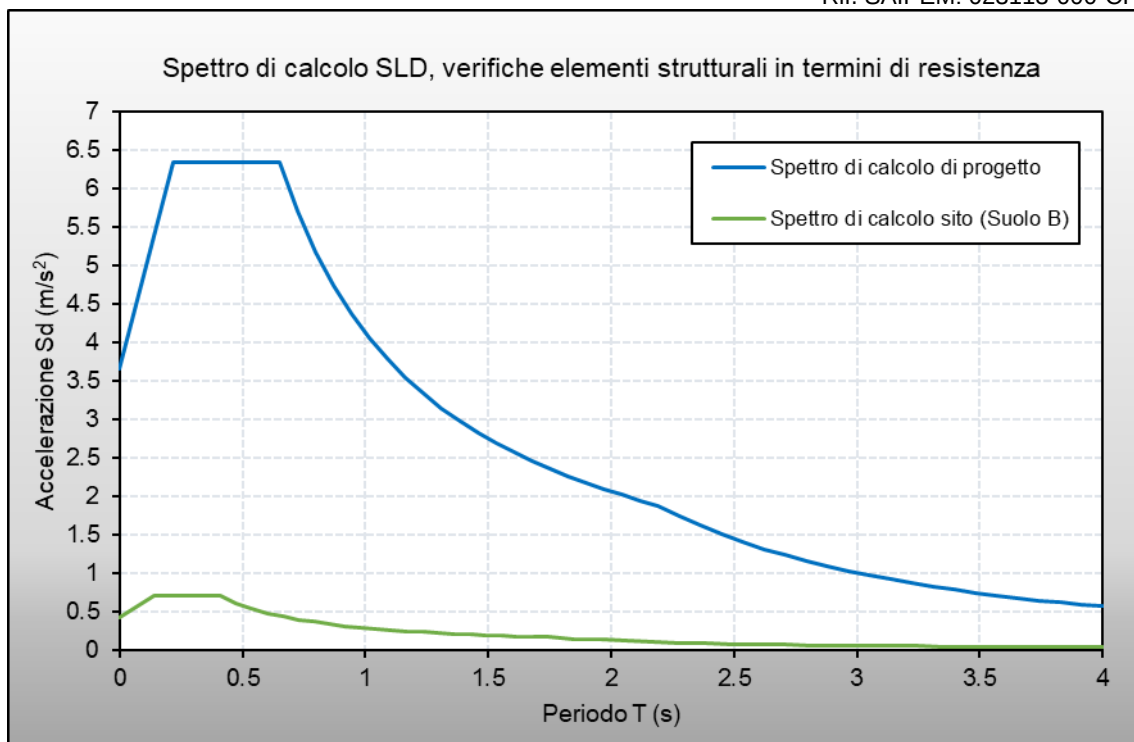


Fig. 2.4.1: Confronto spettri di calcolo SLD

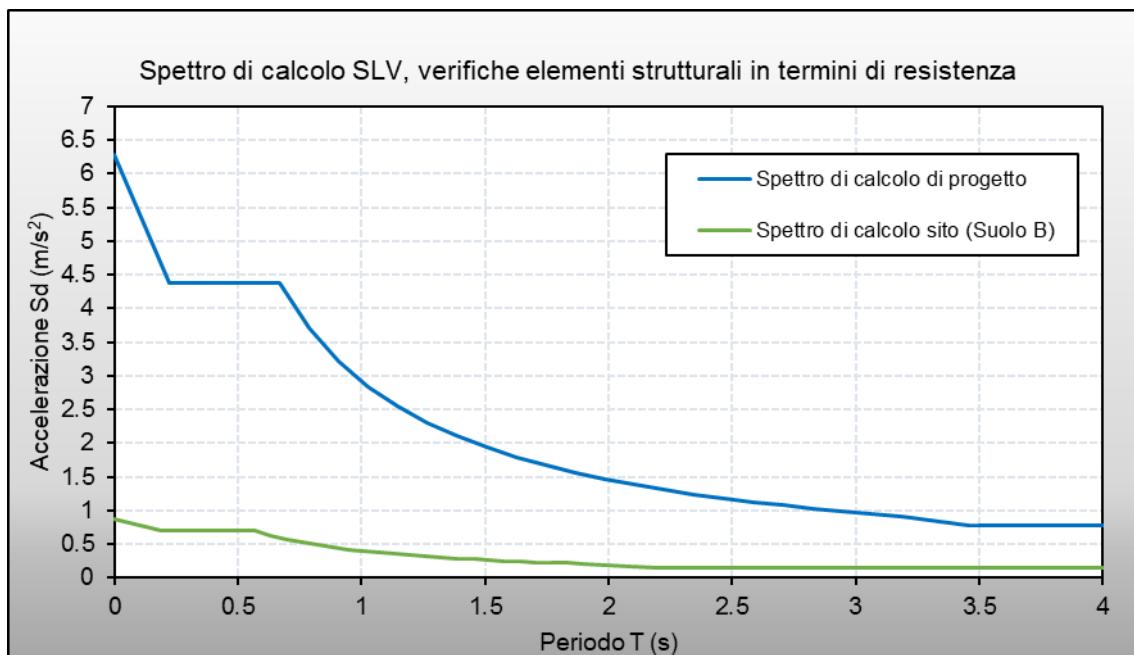


Fig. 2.4.2: Confronto spettri di calcolo SLV

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 19 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

3. ASPETTI GEOTECNICI

3.1 Schema stratigrafico e caratterizzazione geotecnica

Come descritto in fase introduttiva, in merito ai criteri di dimensionamento, il progetto della struttura è basato su alcune condizioni geotecniche "teoriche" considerate cautelative, tenendo conto delle situazioni medie attese per i siti ove di norma può prevedersi la realizzazione del manufatto.

Nella apposita "Relazione geotecnica e sulle fondazioni" viene affrontato nel dettaglio il confronto tra i risultati delle verifiche geotecniche relative a tali condizioni "teoriche" di progetto, prese a riferimento, e quelli che derivano dalla specifica situazione locale.

Quanto ivi dettagliato risulta sufficiente a determinare il modello necessario (inteso come schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni compresi nel volume significativo), finalizzato all'analisi quantitativa degli specifici aspetti progettuali qui trattati.

In altri termini, l'impostazione di progetto è sottoposta ad apposite verifiche nella citata relazione, atte ad attestarne, per il sito di esecuzione, l'idoneità con riferimento al comportamento del complesso manufatto-terreno.

Nella relazione geologica e sismica sono anche determinati gli eventuali interventi preliminari di "bonifica" e correzione del terreno, atti a garantire le condizioni di stabilità richieste, in termini di capacità portante, scorrimento e cedimento, laddove necessari per cause particolari del sito di esecuzione.

In tali elaborati sono determinate anche le eventuali opere di drenaggio e protezione, finalizzate a ridurre la suscettività all'acqua del terreno di fondazione e ad eliminare il rischio di perdita di resistenza del terreno stesso per fenomeni di liquefazione, qualora presente; inoltre, sono descritti i parametri di stima atti a rapportare la situazione qui considerata con le eventuali condizioni di maggiore compressibilità di uno o più strati del terreno di fondazione.

Per la modellazione, il piano di posa della fondazione è considerato come terreno a grana media/fine, mediamente consistente, mediamente permeabile, non sede di circolazione idrica fino alle profondità di interesse; caratterizzato da parametri di resistenza tali da poter analizzare l'interazione del sistema struttura di fondazione-terreno sia in condizioni drenate sia in condizioni non drenate.

Ai fini squisitamente strutturali, il terreno interessato dall'opera, costituente il volume significativo, è quindi rappresentato mediante l'assunzione del seguente schema stratigrafico e geotecnico di calcolo.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 20 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

Sottosuolo omogeneo dalle proprietà meccaniche e resistive riferibili ai seguenti parametri:

- valore caratteristico del peso di volume naturale, γ_k	=	18,0 kN/m ³
- valore caratteristico dell'angolo di resistenza al taglio, φ'_k	=	17 °
- valore caratteristico della coesione efficace, c'_k	=	5,0 kPa
- modulo elastico di calcolo	=	8 Mpa
- modulo edometrico di calcolo	=	9 MPa
- coefficiente di Poisson	=	0,3
- modulo di reazione verticale (K_v di Winkler)	=	1,5 daN/cm ³
- resistenza al taglio non drenata, c_u	=	50,0 kPa

I parametri geotecnici descritti sono da ritenersi relativi a livelli tensionali compatibili con quelli indotti dalle opere con cui i terreni stessi sono destinati ad interagire e sono ritenuti costanti nell'intervallo tensionale al quale corrispondono.

In particolare, coerentemente con le caratteristiche cautelative scelte per rappresentare il terreno di fondazione, il modulo verticale di Winkler è stato fissato in termini sufficientemente prudenziali.

Ai soli fini del dimensionamento strutturale (e senza influenze sulle verifiche di scorrimento sul piano di posa), è stata considerata nulla la possibilità di spostamento orizzontale della fondazione, ponendo modulo di reazione orizzontale del terreno K_o di Winkler pari a zero.

In assenza di vincolo elastico, la tendenza della fondazione a deformarsi viene concettualmente del tutto contrastata, generando di conseguenza all'interno della struttura tensioni orizzontali del tutto cautelative, considerato che, nella realtà, un seppur minimo scorrimento orizzontale della fondazione è inevitabile.

3.2 Verifiche geotecniche

Ai sensi delle NTC18 (§ 6.4.2.1), le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi geotecnici, per carico limite, sono effettuate impiegando la combinazione di gruppi di coefficienti parziali dell'Approccio progettuale 2; rispettivamente definiti per le azioni (A1), per i parametri geotecnici (M1) e per le resistenze (R3).

La verifica allo stato limite ultimo per carico limite (capacità portante) consiste nel confronto tra la pressione verticale in fondazione e la pressione limite per il terreno.

La verifica allo stato limite ultimo per scorrimento sul piano di posa consiste nel confronto tra le azioni, intese con il valore che hanno parallelamente al piano di scorrimento, e la resistenza, intesa come risultante delle tensioni tangenziali limite sullo stesso piano, eventualmente sommata alla risultante delle tensioni limite agenti sulle superfici laterali della fondazione.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 21 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

In linea con quanto riportato al punto 6.4.2.1 delle NTC18, anche la verifica allo stato limite ultimo per scorrimento sul piano di posa viene effettuata impiegando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2.

Oltre alle verifiche SLU, le NTC18 (§ 6.4.2.2) prevedono la verifica agli stati limite di esercizio, basata sul calcolo dei valori degli spostamenti verticali (cedimenti elastici e/o da consolidazione) per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura, che, nel caso in progetto, si concretizzano nel determinare se possono aver luogo distorsioni nei cavidotti di collegamento interrati, a causa di spostamenti verticali delle travi di fondazioni.

Tale condizione coincide con le verifiche dei cedimenti del terreno in condizioni di esercizio; i limiti di ammissibilità dei quali sono descritti in tema di precisazioni in merito agli stati limite di progetto.

A tal proposito, si ribadisce che cedimenti dell'ordine previsto possono considerarsi compatibili con la continuità funzionale dei cavidotti, ove saranno disposti collegamenti di natura elettrica e collegamenti per trasmissione di segnali. Per il dimensionamento e le verifiche di progetto, pertanto, si è imposto convenzionalmente che l'abbassamento massimo atteso, risulti, in corrispondenza delle travi di fondazione, non superiore a tale valore.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 22 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

4. CONDIZIONI DI CARICO

4.1 Carichi permanenti strutturali

Per la determinazione dei pesi propri strutturali sono assunti i valori dei pesi dell'unità di volume riportati nella Tab. 3.1.I. delle NTC18. In particolare:

- calcestruzzo armato 25,0 kN/m³
- solaio alleggerito 20 cm + 4 cm⁵ 3,00 kN/m²

4.2 Carichi permanenti non strutturali

Solaio di copertura

- spianata di malta 0,45 kN/m²
 - impermeabilizzazione 0,05 kN/m²
 - manto di tegole (coppi) 0,80 kN/m²
 - eventuale controsoffitto o altri carichi sospesi 0,30 kN/m²
-
- totale copertura 1,60 kN/m²

Murature di tamponamento (sono previste due possibilità di finitura)

Ipotesi A

- intonaco esterno 2,0 cm 0,45 kN/m²
 - muratura in blocchi termici 38,0 cm 3,90 kN/m²
 - intonaco interno 1,5 cm 0,35 kN/m²
-
- totale ipotesi A 4,70 kN/m²

Ipotesi B

- rivestimento tipo pietra 12,0 cm 1,15 kN/m²
 - malta d cemento 3,0 cm 0,65 kN/m²
 - muratura in blocchi termici 25,0 cm 2,55 kN/m²
 - intonaco interno 1,5 cm 0,35 kN/m²
-
- totale ipotesi B 4,70 kN/m²

Calpestio interno

- pavimento sopraelevato (struttura e finitura) 0,40 kN/m²

Tutti i carichi permanenti non strutturali (tamponature esterne, massetti e pavimenti, isolamenti e rivestimenti, intonaci e finiture, ecc.), sono considerati secondo le dimensioni previste nel progetto ed in ragione dei pesi specifici dei materiali ivi definiti.

⁵ Interasse solaio 40 cm. Per ciascuna fascia si ha; travetti 60 daN; volterrane leggere 20 daN; caldana 40 daN.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 23 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

I carichi non strutturali relativi agli elementi su cui insistono non sono stati considerati "compiutamente definiti"; pertanto non si ricorre alla possibilità concessa dalle NTC18 (nota alla tabella 2.6.I) e non si adottano per essi gli stessi coefficienti parziali dei carichi permanenti strutturali. Tale scelta comporta un ulteriore livello di sicurezza in fase di calcolo.

4.3 Carichi variabili d'utilizzo

Per la determinazione dei carichi variabili relative alle modalità d'utilizzo, è stata identificata la destinazione d'uso dell'opera, a cui le NTC18 associano i relativi valori caratteristici:

- i sovraccarichi sulla copertura sono univocamente identificati come categoria H – Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione; essi di norma non intervengono nelle combinazioni per le verifiche generali ($\psi_{ij} = 0$) e nelle combinazioni per le verifiche locali, in quanto alternativi al carico da neve che, in termini di carico distribuito risulta sempre maggiore; essi sono tuttavia considerati e prudenzialmente associati al carico da neve in una combinazione statica, al fine di incrementare le condizioni di sicurezza, relative al dimensionamento degli elementi portanti la copertura;
- i sovraccarichi sul calpestio interno (sebbene la specifica destinazione d'utilizzo del manufatto non corrisponda ad alcuna delle categorie d'uso previste nella tabella 3.1.II delle NTC18, e da queste sia radicalmente diversa), sono identificati, come ipotesi progettuale, corrispondenti a categoria A (ambienti ad uso residenziale – aree per attività domestiche e residenziali), compensando l'effettiva minore incidenza attesa per l'eventuale presenza di carichi atipici (macchinari, impianti, ecc.);
- i sovraccarichi sul marciapiede perimetrale sono analogamente identificati, per ipotesi progettuale, corrispondenti a categoria A (ambienti ad uso residenziale – aree per attività domestiche e residenziali).

4.4 Carico da neve

L'azione di calcolo dovuta a presenza di neve sulla copertura è valutata mediante la espressione indicata nelle NTC18 (§ 3.4):

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_e \cdot C_t$$

Per il coefficiente termico si pone $C_t = 1$, giacché può escludersi riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione.

Azione considerata per il calcolo di progetto

Affinché il progetto risulti valido ed applicabile nella maggior parte del territorio nazionale, l'azione della neve considerata per il dimensionamento è stata determinata

	PROGETTISTA 	WBS NQR/20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 24 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

facendo riferimento alle condizioni più gravose possibili, tenendo conto delle situazioni medie attese per i siti ove di norma può prevedersi la realizzazione del manufatto.

Ai fini del dimensionamento e della verifica della struttura, Il valore caratteristico del carico della neve al suolo q_{sk} è fissato pari a $9,73 \text{ kN/m}^2$, valore fornito dalla NTC18 per siti posti a quota altimetrica pari a 1.500 m s.l.m, con riferimento alla zona I – Mediterranea.

Per il parametro di esposizione si assume $C_e = 0,9$ si determina $q_s/\mu_i \approx 8,8 \text{ kN/m}^2$.

Per il coefficiente di forma, essendo $\alpha = 19,3^\circ$ l'angolo formato da entrambe le falde con l'orizzontale, si ha $\mu_i = 0,80$; da cui $q_s \approx 7,0 \text{ kN/m}^2$.

Considerata la simmetria della copertura, tale carico è considerato uniformemente distribuito, condizione corrispondente al caso I del punto 3.4.3.3 delle NTC18; essendo $\alpha < 20^\circ$, la principale disposizione di carico è quella di neve depositata in assenza di vento.

Azioni locali dovute alla neve

Come successivamente specificato ("Solaio di copertura"), nel dimensionamento dell'elemento di copertura è stato considerato anche l'effetto di neve aggettante dal bordo (Istruzioni, C3.4.3.3.5).

Tale condizione è presa in considerazione solo per la verifica del cornicione e non costituisce una azione oggetto di combinazioni di carico che interessano l'intera struttura.

Azione relativa al sito di realizzazione

Per la località di esecuzione, il valore caratteristico del carico della neve al suolo q_{sk} è determinabile come segue:

Zona III	altitudine [m s.l.m.]	q_{sk} [kN/m ²]
	419	0,90

Il contesto generale dell'area di impianto è tale che per il parametro di esposizione si può assumere $C_e = 0,9$, valore associato al caso di aree piane non ostruite, esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti. Segue $q_s/\mu_i = 0,81 \text{ kN/m}^2$.

Pertanto, si dimostra che l'azione considerata per il calcolo di progetto è effettivamente prudentiale rispetto a quanto relativo al sito di costruzione.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 25 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

4.5 Carico dovuto al vento

Ai fini della determinazione dell'azione del vento (in quanto azione non eccezionale, i cui effetti possono essere riscontrati mediante le ordinarie procedure di controllo e manutenzione), avendo assegnato alla struttura vita nominale 50 anni, essa si considera una costruzione ordinaria e pertanto il periodo di ritorno assunto è posto pari a 50 anni.

Le azioni aerodinamiche complessive sono rappresentate dalla pressione equivalente (detta anche pressione complessiva), esercitata dal vento sulle superfici della costruzione o dei suoi elementi. Secondo quanto previsto dalle "Norme", per costruzioni usuali e regolari, quale è il manufatto in progetto, l'azione del vento, oltre che essere considerata orizzontale, è ricondotta ai suoi soli effetti "statici equivalenti"; ovvero azioni che, applicate staticamente alla costruzione o ai suoi elementi, danno luogo a spostamenti e sollecitazioni pari ai massimi indotti dall'azione dinamica del vento effettivo. Per semplicità di calcolo, tali effetti sono costituiti da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici che compongono la costruzione; l'azione d'insieme è data dalla risultante delle azioni sui singoli elementi, considerando come direzione quella corrispondente ad uno degli assi principali della pianta.

La determinazione delle azioni e degli effetti statici equivalenti del vento prevede la valutazione della velocità di progetto e della pressione cinetica di riferimento q_r , e conseguentemente della pressione del vento p , data dall'espressione (NTC18, § 3.3.4)

$$p = q_r \cdot C_e \cdot C_d \cdot C_p.$$

La schematizzazione operata per l'azione è la seguente:

- il vento viene considerato agente alternativamente nei due versi di ciascuna direzione coincidente con gli assi principali della pianta (vento X; vento Y);
- l'altezza di calcolo dal suolo, che determina il valore del coefficiente di esposizione C_e , è considerata pari a 2/3 dell'altezza della superficie esposta ($\approx 2,0$ m);
- la risultante della pressione positiva sulla superficie verticale sopravento e la risultante della pressione negativa sulla superficie verticale sottovento sono suddivise sui relativi nodi sommitali dei pilastri, secondo la relativa incidenza delle superfici (altezza, considerata pari a 3,0 metri, per lunghezza di incidenza, che è doppia per i pilastri centrali, ove essi sono dispari) considerate al 50%; tale modello equivale a valutare le risultanti al netto del momento di trasporto per l'applicazione al nodo sommitale ed equivale, in alternativa, a considerare che metà dell'azione sia assorbita dai nodi di fondazione;
- la pressione negativa sulla superficie a falde della copertura è posta nulla, in quanto azione favorevole nella composizione con il carico da neve ($\gamma = 0$); quest'ultimo, come detto, è considerato distribuito secondo il caso I del punto 3.4.3.3 delle NTC18;
- considerata la specifica destinazione d'uso del manufatto, esso è schematizzato come privo di aperture, trascurando quindi gli effetti della pressione interna.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 26 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

Azione considerata per il calcolo di progetto

Affinché il progetto risulti valido ed applicabile nella maggior parte del territorio nazionale, l'azione del vento considerata per il dimensionamento è stata determinata facendo riferimento alle condizioni più gravose possibili, tenendo conto delle situazioni medie attese per i siti ove di norma può prevedersi la realizzazione del manufatto.

Ai fini del dimensionamento e della verifica della struttura, la pressione cinetica di riferimento q_r è fissata pari a 1.450 N/m^2 ; valore massimo che le NTC18 attribuiscono ad una altitudine di 1500 m s.l.m. (isole minori e mare aperto esclusi), corrispondente alle zone 4 e 6.

Il coefficiente dinamico è posto $c_d = 1$.

Il coefficiente di esposizione c_e è fissato pari a 1,883 (massimo previsto dalle NTC18, per altezza sul suolo pari a 2,0 metri).

Segue: $p / c_p \approx 2.730 \text{ N/m}^2$

Il coefficiente di pressione c_p è funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. In assenza di dati suffragati da opportuna documentazione e prove sperimentali in galleria del vento, si è deciso di adottare il coefficiente di pressione esterna previsto dalla Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, n. 7 del 21 gennaio 2019. In particolare, al punto C3.3.8.1 viene definito suddetto coefficiente (c_{pe}) sia per gli elementi sottovento (intendendo come tali quelli non direttamente investiti dal vento) sia per gli elementi sopravvento (cioè direttamente investiti dal vento).

Come descritto nei paragrafi iniziali della presente relazione, per scelta progettuale, si vuole addivenire a condizioni di sicurezza strutturale superiore, nell'ottica di conseguire tale sicurezza in qualsiasi sito del territorio nazionale, con una struttura adeguata a qualunque contesto; pertanto, per la struttura in esame, si sono calcolati dei coefficienti di pressione (sopravento e sottovento) derivanti dalle massime sollecitazioni agenti sulle pareti verticali e sulla copertura. Nello specifico, per gli elementi sottovento si pone $c_{pe} = -0,5$, mentre per gli elementi sopravvento si pone $c_{pe} = +0,8$.

In sintesi, per il dimensionamento della struttura, si determinano i valori:

- ortogonalmente ai lati X (2 pilastri), $p_Y^+ = 2.184 \text{ N/m}^2$, $p_Y^- = 1.092 \text{ N/m}^2$; con risultanti ai nodi
 $0,50 \cdot p_Y^+ \cdot A_x = 9,10 \text{ kN}$,
 $0,50 \cdot p_Y^- \cdot A_x = 5,91 \text{ kN}$;
- ortogonalmente ai lati Y (2 pilastri), $p_X^+ = 2.169 \text{ N/m}^2$, $p_X^- = 1.085 \text{ N/m}^2$; con risultanti ai nodi
 $0,50 \cdot p_X^+ \cdot A_Y = 5,00 \text{ kN}$,
 $0,50 \cdot p_X^- \cdot A_Y = 3,25 \text{ kN}$.

Il vento è omesso dalla combinazione delle azioni solo relativamente agli stati limite

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 27 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica (NTC18, § 2.5.3); è invece considerato nelle combinazioni di calcolo non sismiche.

Azione relativa al sito di realizzazione

La pressione cinetica di riferimento q_r per il sito di realizzazione è determinata come segue:

Zona	$V_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s [1/s]	altitudine [m s.l.m.]	V_b [m/s]	q_r [N/m ²]
4	28	500	0.36	419	28	491

Il coefficiente dinamico è posto $c_d = 1$.

Il coefficiente di esposizione c_e , è determinato sulla base della relativa categoria identificata in base a zona, distanza dal mare, classe di rugosità del terreno; con coefficiente topografico posto $c_t = 1$.

Assunte per il sito

- classe di rugosità D,
- categoria di esposizione II,
- altezza di calcolo sul suolo 2,0 m,

segue

Categoria	k_r	Z_0 [m]	Z_{min} [m]	c_t	altezza [m]	c_e
II	0.19	0.05	4.00	1	2.00	1.801

Da cui: $p / c_p \approx 884 \text{ N/m}^2$

Pertanto, si dimostra che l'azione considerata per il calcolo di progetto è effettivamente prudentiale rispetto a quanto relativo al sito di costruzione.

4.6 Azioni termiche

L'azione termica rappresenta gli effetti delle variazioni della temperatura esterna, dell'irraggiamento solare e del calore trasmesso per convezione alla struttura. Il campo di temperatura sulle sezioni di elementi monodimensionali è descritto mediante la componente uniforme $\Delta T_u = T - T_0$ data dalla differenza tra la temperatura media esterna T e quella relativa alla data della costruzione T_0 .

Poiché la temperatura ordinaria dell'aria e gli effetti di irraggiamento solare non costituiscono una azione fondamentale per la sicurezza o per la efficienza funzionale della struttura, si tiene conto solo di tale componente uniforme, ricavata dai valori dati dalle "Norme" (tab. 3.5.II), che per le strutture in c.a. considerate "esposte", vale $\Delta T_u = \pm 15 \text{ }^\circ\text{C}$.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 28 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

Ai fini del dimensionamento strutturale, la componente è stata considerata soltanto positiva, essendo tale condizione quella che ordinariamente può interessare il sito di costruzione e che dà luogo a combinazioni di azioni rilevanti.

4.7 Definizione e combinazione delle azioni

Le azioni considerate nel dimensionamento della struttura sono:

- carichi permanenti strutturali, G_1 ;
- carichi permanenti non strutturali, G_2 ;
- azioni variabili, di breve durata rispetto alla vita nominale della struttura,
 - sovraccarichi d'utilizzo categoria "abitazioni", Q_1 ,
 - carico da neve, Q_2 ,
 - sovraccarichi d'utilizzo categoria "coperture", Q_3 ,
 - vento in direzione X, Q_4 ,
 - vento in direzione Y, Q_5 ,
 - vento in direzione -X, Q_6 ,
 - vento in direzione -Y, Q_7 ,
 - carico termico, Q_8 ;
- azioni sismiche,
 - effetti della eccentricità accidentale, correzione direzione 0° asse X, E_1 ,
 - effetti della eccentricità accidentale, correzione direzione 90° asse X, E_2 ,
 - sisma direzione 0° asse X, E_3 ,
 - sisma direzione 90° asse X, E_4 .

Tutte le azioni sono considerate applicando i relativi coefficienti parziali di sicurezza. Come previsto dalle "Norme", tra le azioni variabili che possono agire contemporaneamente, si identifica a turno una azione dominante; le altre azioni variabili vengono considerate mediante i relativi coefficienti di combinazione (ψ).

Il valore degli ψ per la neve sono considerati relativi al caso di localizzazione a quota superiore a 1.000 m s.l.m.

Per scelta progettuale, i carichi variabili Q_1 e Q_2 sono stati considerati contemporaneamente dominanti; tale condizione costituisce un ulteriore fattore di sicurezza per la risposta della struttura alle azioni verticali.

In ragione di ciò e della natura delle azioni attese si sono determinate le seguenti

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 29 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

combinazioni di calcolo⁶:

- 12 combinazione SLU, in condizioni non sismiche, con azioni amplificate dai relativi coefficienti parziali di sicurezza (coefficienti γ) ed azioni variabili non dominanti considerate al loro valore "raro" o di durata breve⁷ (coefficienti ψ_0)

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q4} \cdot \psi_{04} \cdot Q_{k4} \text{ (alternati 5, 6, 7) } + \gamma_{Q8} \cdot \psi_{08} \cdot Q_{k8}$$

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot \psi_{01} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q4} \cdot Q_{k4} \text{ (alternati 5, 6, 7) } + \gamma_{Q8} \cdot \psi_{08} \cdot Q_{k8}$$

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot \psi_{01} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q4} \cdot \psi_{04} \cdot Q_{k4} \text{ (alternati 5, 6, 7) } + \gamma_{Q8} \cdot Q_{k8}$$

- 32 combinazione SLV (verifiche degli elementi strutturali in termini di resistenza), in condizioni sismiche, con azioni variabili al valore "quasi permanente" (coefficienti ψ_2 , con $\psi_{2,4,5,6,7} = \psi_{28} = 0$)

$$\pm E_1 \pm 0,3 \cdot E_2 \pm E_3 \pm 0,3 \cdot E_4 + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{24} \cdot Q_{k4} \text{ (alternati 5, 6, 7) } + \psi_{28} \cdot Q_{k8}$$

$$\pm 0,3 \cdot E_1 \pm E_2 \pm 0,3 \cdot E_3 \pm E_4 + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{24} \cdot Q_{k4} \text{ (alternati 5, 6, 7) } + \psi_{28} \cdot Q_{k8}$$

- 12 combinazioni SLE (tensioni di esercizio cls. e acciaio), in condizioni non sismiche, con azioni variabili non dominanti considerate al loro valore "raro" o di durata breve (coefficienti ψ_0)

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + Q_{k2} + \psi_{04} \cdot Q_{k4} \text{ (alternati 5, 6, 7) } + \psi_{08} \cdot Q_{k8}$$

$$G_1 + G_2 + \psi_{01} \cdot Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + Q_{k4} \text{ (alternati 5, 6, 7) } + \psi_{08} \cdot Q_{k8}$$

$$G_1 + G_2 + \psi_{01} \cdot Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{04} \cdot Q_{k4} \text{ (alternati 5, 6, 7) } + Q_{k8}$$

- 6 combinazioni SLE in condizioni non sismiche (fessurazione), con azioni variabili dominanti considerate al loro valore "frequente" (coefficienti ψ_1) ed azioni variabili non dominanti considerate al loro valore "quasi permanente" (coefficienti ψ_2 , con $\psi_{2,4,5,6,7} = \psi_{28} = 0$)

$$G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{12} \cdot Q_{k2} + \psi_{24} \cdot Q_{k4} \text{ (alternati 5, 6, 7) } + \psi_{28} \cdot Q_{k8}$$

$$G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{14} \cdot Q_{k4} \text{ (alternati 5, 6, 7) } + \psi_{28} \cdot Q_{k8}$$

$$G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{24} \cdot Q_{k4} \text{ (alternati 5, 6, 7) } + \psi_{18} \cdot Q_{k8}$$

- 1 combinazione SLE in condizioni non sismiche (tensioni di esercizio cls. e fessurazione), con azioni variabili considerate tutte al loro valore "quasi permanente" (coefficienti ψ_2 , con $\psi_{2,4,5,6,7} = \psi_{28} = 0$)

$$G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{24} \cdot Q_{k4} \text{ (alternati 5, 6, 7) } + \psi_{28} \cdot Q_{k8}$$

- 32 combinazione SLD (verifiche degli elementi strutturali in termini di resistenza, con

⁶ Nelle formule il simbolo "+" rappresenta "combinato con".

⁷ Come in precedenza descritto, il carico variabile Q3 è considerato prudenzialmente associato al carico da neve in una combinazione statica, al fine di incrementare le condizioni di sicurezza relative al dimensionamento degli elementi di copertura.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 30 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

$\eta = 2/3$, e verifica spostamenti sismici relativi interpiano, con $\eta = 1$), in condizioni sismiche, con azioni variabili al valore "quasi permanente" (coefficienti ψ_2 , con $\psi_{2,4,5,6,7} = \psi_{28} = 0$)

$\pm E_1 \pm 0,3 \cdot E_2 \pm E_3 \pm 0,3 \cdot E_4 + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{24} \cdot Q_{k4}$ (alternati 5, 6, 7) + $\psi_{28} \cdot Q_{k8}$

$\pm 0,3 \cdot E_1 \pm E_2 \pm 0,3 \cdot E_3 \pm E_4 + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{24} \cdot Q_{k4}$ (alternati 5, 6, 7) + $\psi_{28} \cdot Q_{k8}$.

Le 12+32 combinazioni SLU, SLV, con i coefficienti parziali A1, per le azioni o per l'effetto delle azioni (Approccio progettuale 2), e le combinazioni SLE sono utilizzate anche ai fini delle verifiche GEO, per gli stati limite geotecnici.

Le combinazioni di calcolo qui descritte ed in altra parte ulteriormente esplicate nelle azioni componenti ("Codifica condizioni di carico"), con riferimento al codice di calcolo utilizzato, sono riportate in esteso nel Fascicolo dei calcoli strutturali, per le combinazioni SLU/SLV/SLD, oltre che per le combinazioni SLE.

In particolare, le tabelle ivi esplicitate descrivono le combinazioni SLU non sismiche e le combinazioni SLV/SLD applicate dal codice di calcolo nei vari casi previsti dalle NTC18, secondo la variazione di entità dell'azione sismica (al variare del fattore di struttura associato alle verifiche SLV, alle verifiche di resistenza SLD e alle verifiche degli spostamenti relativi SLD); variazione di azione che interviene senza che si abbiano modifiche alle combinazioni di calcolo "sismiche".

Si specifica che i coefficienti esposti nelle citate tabelle di combinazione rappresentano, laddove sussiste il caso, il prodotto dei valori $\gamma_j \cdot \psi_{ij}$ previsti dalle NTC18 ai paragrafi 2.5.2 e 2.6.1, con le precisazioni e le specifiche in precedenza descritte, e che, pertanto non vengono qui esplicitati nei loro fattori componenti, essendo questi già ivi definiti.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 31 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E PARAMETRI DI RESISTENZA

5.1 Materiali previsti per la struttura

Calcestruzzo

Ai fini del dimensionamento e della verifica della struttura in c.a., la classe del calcestruzzo è considerata C25/30. Tale condizione progettuale è volutamente cautelativa rispetto alla corrispondente prescrizione esecutiva (vedi "Relazione sui materiali"), secondo la quale, per la realizzazione del manufatto, si ricorrerà a materiale di classe C28/35. Tale scelta ha base in due distinte motivazioni: la prima è correlata alla classe di esposizione di parte della struttura ed è discussa nel seguito.

Ai fini di calcolo, si ha quindi:

Classe di resistenza	C25/30
Resistenza caratteristica a compressione f_{ck} [N/mm ²]	25,0
Resistenza di calcolo a compressione f_{cd} [N/mm ²]	14,2

Il ricorso ad una classe superiore di calcestruzzo non altera comunque i risultati di progetto e non modifica, se non favorevolmente, le condizioni di resistenza previste ed attese, oltre che permettere una più idonea corrispondenza con le condizioni ambientali attese, nell'ottica di preservare la funzionalità dell'opera nella sua vita utile prevista.

Per i vari casi di sollecitazione, la misura della sicurezza è determinata sulla base dei valori caratteristici derivati da f_{ck} , divisi per i coefficienti parziale di sicurezza previsti dalle NTC18.

La deformazione massima del conglomerato cementizio compresso è pari a ϵ_{cu} , nel caso di flessione semplice e composta con asse neutro che interseca la sezione, con valore di deformazione ϵ_{cu} pari a 0,35%. Il diagramma di calcolo tensione-deformazione del conglomerato cementizio ha forma parabola-rettangolo (definito da un arco di parabola di secondo grado passante per l'origine, avente asse parallelo a quello delle tensioni, e da un segmento di retta parallelo all'asse delle deformazioni tangente alla parabola nel punto di sommità), con vertice della parabola di ascissa ϵ_{c2} pari a 0,20%, ed estremo finale del segmento avente ascissa ϵ_{cu} . L'ordinata massima del diagramma è pari a f_{cd} .

Per il modulo elastico del calcestruzzo si assume il valore determinabile in base alla resistenza a compressione, come modulo secante, in punti assegnati del diagramma tensione-deformazione, tra la tensione nulla e 0,4 della media f_{cm} della resistenza (di cui f_{ck} è il frattile 5%); segue il valore: $E_c = 22.000 (f_{cm}/10)^{1/3}$, espresso in N/mm², coerente con quanto in Eurocodice 2, in funzione delle classi di resistenza; segue $E_c \approx 31,5$ kN/mm².

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 32 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

Acciaio in barre d'armature e per rete elettrosaldata

Tipo	B450C
Resistenza caratteristica di snervamento f_{yk} [N/mm ²]	450,0
Resistenza di calcolo f_{yd} [N/mm ²]	391,3

Per i vari casi di sollecitazione, la misura della sicurezza è determinata sulla base dei valori caratteristici derivati da f_{yk} divisi per i coefficienti parziale di sicurezza previsti dalle NTC18.

Per il diagramma di calcolo tensione-deformazione dell'acciaio si adotta il modello $\sigma - \varepsilon$ elastico-perfettamente plastico, la cui forma è data da un segmento inclinato per $0 \leq \varepsilon_y < \varepsilon_{yd}$, con $\varepsilon_y = f_{yd} / E_s$, fino all'ordinata f_{yd} , ed un segmento orizzontale per $\varepsilon_y \geq \varepsilon_{yd}$, fino al valore ε_{su} deformazione ultima di progetto pari al 90% della deformazione sperimentale sotto carico massimo. Si assume prudenzialmente:

- deformazione ultima dell'acciaio, 1,00%;
- deformazione dell'acciaio al limite elastico, 0,18%.

Il modulo elastico dell'acciaio è $E_s = 210 \text{ kN/mm}^2$.

Gli elementi strutturali sono verificati allo stato limite di fessurazione con le procedure definite nelle "Norme" (§ 4.1.2.2.4), in funzione delle condizioni ambientali e della suscettibilità delle armature alla corrosione; in questo caso si è imposta in progetto la condizione ordinaria e reale, che l'acciaio per armature sia del tipo "poco sensibile".

5.2 Condizioni ambientali

È previsto che l'armatura resistente della struttura in cemento armato sia protetta da un adeguato ricoprimento di calcestruzzo; il copriferro è quindi qui inteso come distanza tra la superficie esterna dell'armatura (inclusi collegamenti e staffe) e la superficie esterna di calcestruzzo più vicina (UNI ENV, Eurocodice 2, parte 1-1). Lo spessore di tale strato di ricoprimento è dimensionato in funzione dell'aggressività dell'ambiente e della sensibilità delle armature alla corrosione.

Secondo la casistica delle condizioni ambientali, espressa nelle NTC18 dalle tabelle 4.1.III e 4.1.IV, con riferimento alle definizioni date nelle "Linee guida per il calcestruzzo strutturale" C.S.LL.PP., nonché nella UNI EN 206:2016, tali aspetti sono così sintetizzabili: condizioni ambientali ordinarie; classe di esposizione prevalente XC3. Tale classificazione corrisponde ad "edifici con interni a umidità relativa da moderata ad alta; calcestruzzo esterno riparato dalla pioggia".

Per le sole fondazioni, si avrebbe classificazione di esposizione corrispondente a XC2, "strutture interrate, in ambiente bagnato e raramente secco, fondazioni". Si è fatta l'ipotesi che l'intera struttura possa essere rappresentata da unica classe, senza tener conto delle eventuali differenze tra parti interne ed esterne, parti protette dall'acqua e

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 33 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

parti a contatto con il terreno.

Poiché si è previsto per la strutture, coerentemente con il piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera, vita nominale di 50 anni, l'entità minima del copriferro è conseguentemente definita ("Istruzioni", tab. C4.1.IV), in funzione della classe di resistenza del calcestruzzo; pertanto si è posto:

- per tutti gli elementi "asta", copriferro pari a 2,5 + 0,5 cm di tolleranza;
- per tutti gli elementi "piastra", copriferro pari a 2,0 + 0,5 cm di tolleranza;
- per il solaio ed il cornicione, copriferro pari a 2,0 + 0,5 cm di tolleranza.

Tuttavia, come detto, non è possibile dar luogo ad ipotesi secondo le quali l'intera struttura possa essere rappresentata da unica classe di esposizione, senza tener conto delle differenze tra parti interne ed esterne, parti protette dall'acqua e parti a contatto con il terreno. Pertanto, a parità di condizioni esecutive relative al copriferro, poiché può manifestarsi l'eventualità che le condizioni ambientali siano concretamente rilevanti nel sito di esecuzione, in particolare per quanto riguarda le porzioni fuori terra, è cautelativamente prescritto che l'intera struttura sia realizzata con calcestruzzo di classe C28/35, maggiormente tutelante in relazione all'ampiezza delle fessure rispetto a quanto derivante dalla classe considerata per il calcolo strutturale qui descritto.

Tale condizione è considerata anche ai fini delle procedure finalizzate a garantire la conservazione dell'opera per il tempo corrispondente alla vita utile prevista (vedi "Piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera").

Come già esposto, il ricorso ad una classe superiore di calcestruzzo non altera comunque i risultati di progetto e non modifica, se non favorevolmente, le condizioni di resistenza previste ed attese.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 34 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

6. MODELLAZIONE STRUTTURALE

6.1 Approcci progettuali e verifiche agli stati limite

La struttura, per quanto attiene alle componenti che non coinvolgono azioni di tipo geotecnico, è verificata con riferimento a stato limite ultimo STR, "raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali, compresi gli elementi di fondazione". Tale verifica è condotta adottando i coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni che sono riportati nella colonna A1 della Tabella 2.6.I delle NTC18.

Per le componenti strutturali che coinvolgono le azioni di tipo geotecnico, invece, le verifiche a stato limite ultimo GEO sono condotte con l'Approccio progettuale 2. Inoltre, come previsto al punto 7.2.5 delle NTC18, il dimensionamento delle strutture di fondazione e le verifiche di sicurezza del complesso fondazione-terreno sono eseguiti assumendo come azione in fondazione quella derivante dall'analisi strutturale eseguita ipotizzando un comportamento strutturale non dissipativo.

Pertanto, nelle verifiche agli stati limite ultimi, in condizioni non sismiche, sono presi in considerazione:

- lo stato limite di resistenza della struttura STR (raggiungimento della massima capacità di resistenza di parti di strutture, collegamenti, fondazioni; raggiungimento della massima capacità di resistenza della struttura nel suo insieme);
- lo stato limite di resistenza del terreno GEO, per la stabilità delle fondazioni (raggiungimento di meccanismi di collasso, analizzati anche per le combinazioni sismiche).

Nelle verifiche agli stati limite di esercizio, in condizioni non sismiche, sono prese in considerazione:

- le verifiche delle tensioni di esercizio;
- le verifiche di fessurazione.

Le verifiche di deformabilità per inflessione delle travi di telaio, essendo tali elementi di luce non superiore a 10 m (e non portanti tamponamenti), sono omesse, ritenendole implicitamente soddisfatte secondo il relativo rapporto di snellezza, così come definito anche dalla Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, n. 7 del 21 gennaio 2019, al punto C4.1.2.2.2. Conformemente a quanto ivi prescritto, per quanto riguarda la salvaguardia dell'aspetto e della funzionalità dell'opera, le frecce a lungo termine del solaio di copertura sono invece calcolate sotto la condizione quasi permanente dei carichi, imponendo il limite di 1/250 della luce.

Sotto l'effetto dell'azione sismica, il rispetto degli stati limite ultimi e di esercizio si verifica (§ 7.1 delle NTC18):

- nei confronti di tutti gli stati limite ultimi, nel rispetto delle indicazioni progettuali e costruttive date dalle "Norme" e mediante le verifiche relative al solo SLV (verifiche degli elementi strutturali in termini di resistenza);

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 35 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

- nei confronti degli stati limite di esercizio, sulla base delle verifiche relative allo SLD (verifiche degli elementi strutturali in termini di resistenza e verifica spostamenti sismici relativi interpiano);
- pur essendo la costruzione di classe d'uso IV, non si verifica lo stato SLO relativamente agli elementi non strutturali, il tutto come in precedenza motivato ("Precisazioni in merito agli stati limite di progetto")⁸.

6.2 Simulazione dell'azione sismica

La componente orizzontale dell'azione sismica è considerata in direzione di entrambi gli assi principali della pianta della costruzione. Gli effetti sismici sulla struttura (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti, ecc.) sono combinati applicando le componenti orizzontali mediante i coefficienti moltiplicativi 1,0 e 0,3 (NTC18, § 7.3.5), con rotazione dei coefficienti e conseguente individuazione degli effetti più gravosi.

Alla struttura si applica una analisi sismica "nodale"⁹, nel quadro della analisi lineare dinamica modale. L'analisi sismica è effettuata considerando come "piano sismico" (ove tutti i nodi ad esso appartenenti si muovono solidalmente) la quota sommitale della copertura, corrispondente alla trave di colmo. Alla quota inferiore di imposta delle travi di bordo è stato considerato un piano "intermedio", non sismico. In tal modo è possibile tener conto dell'assenza di un effettivo orizzontamento rigido ai nodi superiori dei pilastri; pertanto tali nodi possono subire spostamenti relativi, per l'effetto dei cinematismi della stessa copertura.

Gli effetti della eccentricità accidentale del centro di massa sono determinati mediante l'applicazione di carichi statici costituiti da momenti torcenti di valore pari alla risultante orizzontale della forza agente al piano (NTC18, § 7.3.3.1), moltiplicata per l'eccentricità accidentale del baricentro delle masse rispetto alla sua posizione di calcolo. Tale condizione dà luogo ad un carico agente sulla struttura contemporaneamente all'azione sismica.

La quota di nullo dell'azione sismica ("zero sismico") è posta, per il modello di calcolo, in corrispondenza del livello superiore delle travi di fondazione. Ne segue che gli elementi del manufatto oltre tale quota, così come tutti i carichi dovuti a pesi permanenti (con eccezione dei carichi accidentali, di cui si considera la massa equivalente ridotta), partecipano alle valutazioni degli effetti dinamici di progetto. Tale condizione di calcolo opera nel modello secondo le forme proprie dell'analisi di tipo dinamico, scelta per la determinazione degli effetti sismici: gli effetti dell'intera massa strutturale considerata si risentono in termini di valutazione dei modi di vibrare delle strutture e quindi in termini di entità delle forze sismiche; forze che il codice di calcolo applica a partire dalla base del manufatto. Per le porzioni di struttura interrata non sono stati considerati effetti aggiuntivi

⁸ Si effettua invece la verifica per la continuità funzionale dei cavidotti interrati ("Verifiche geotecniche").

⁹ Nel caso di analisi sismica nodale viene calcolata la massa sismica afferente a ciascun nodo della struttura e su ciascun nodo viene applicata la corrispondente forza sismica.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 36 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

espliciti di smorzamento.

6.3 Modi propri di vibrare della struttura e massa partecipante

L'analisi dinamica lineare prevede la determinazione dei modi di vibrare "naturali" della struttura, considerata elastica (analisi modale), mediante soluzione delle equazioni del moto in condizioni di oscillazioni libere (assenza di forzante esterna) e nella individuazione di particolari configurazioni deformate. Qualunque configurazione deformata, e quindi anche il suo stato di sollecitazione, viene ottenuta come combinazione di deformate elementari; in funzione dell'azione che agisce, alcuni modi di vibrare hanno parte più significativa di altri nella descrizione della conseguente configurazione.

La massa partecipante di un modo di vibrare esprime la quota parte delle forze sismiche di trascinamento, e quindi dei relativi effetti che il singolo modo è in grado di descrivere; pertanto, per poter cogliere gli effetti dell'azione sismica, sono considerati tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% e comunque un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85% (NTC18, § 7.3.3.1). Il numero dei modi propri di vibrare della struttura, considerati in fase di calcolo, è quindi aumentato finché, a calcolo ultimato, non viene raggiunto il limite minimo pari all'85% come percentuale della massa eccitata della struttura, come imposto da normativa.

Per tutti i modi di vibrare identificati dal codice di calcolo, aventi massa partecipante significativa, lo sviluppo è effettuato utilizzando una combinazione quadratica completa degli effetti relativi a ciascun modo.

6.4 Criteri di verifica

Poiché si è scelto di effettuare analisi dinamica lineare, la resistenza delle sezioni della struttura soggetta all'evento sismico di progetto viene simulata mediante un comportamento deformativo-tensionale in fase elastica (comportamento lineare).

Pur con i limiti di applicabilità derivanti dalla particolare conformazione della struttura, costituita da unico livello e pertanto in assenza di rilevanti forze verticali applicate agli elementi in elevazione, in generale, le non linearità geometriche sono prese in conto, attraverso il fattore θ (NTC18, § 7.3.1), proporzionale alla differenza tra lo spostamento orizzontale di un orizzontamento e lo spostamento orizzontale dell'orizzontamento immediatamente sottostante; se $\theta \geq 0,1$ esse non vengono trascurate e si incrementano gli effetti dell'azione sismica orizzontale di un fattore pari a $1/(1 - \theta)$. Essendo l'analisi basata su analisi lineare dinamica modale di tipo "nodale" (ammettendosi, in linea teorica, la possibilità di spostamenti relativi tra tutti i nodi ed in particolare, per quanto in precedenza espresso, tra i nodi sommitali dei pilastri), il codice di calcolo utilizzato non prevede la presentazione, nel Fascicolo dei calcoli strutturali, dei presupposti per l'analisi degli effetti del secondo ordine: la verifica della entità del fattore θ è quindi delegata ai controlli eseguiti in fase di elaborazione, insieme agli altri test e riscontri descritti in apposita parte della presente relazione ("Analisi e giudizio complessivo sui

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 37 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

risultati"), dopo aver effettuato il calcolo della struttura, mediante una parallela analisi lineare dinamica non "nodale", in virtù del "piano sismico" sommitale, fatto coincidere con il solaio di copertura (vincolando quindi gli spostamenti mutui tra i nodi sommitali dei pilastri).

Concordemente con l'impostazione dell'analisi sismica, la resistenza di progetto degli elementi e dei collegamenti è valutata in accordo con le regole previste nelle NTC18, tenendo conto delle sovraresistenze richieste e delle specifiche di controllo per le potenziali zone critiche. In fase di determinazione degli esecutivi, è comunque esclusa sugli elementi bidimensionali la possibilità di plasticizzazione: essi sono quindi dimensionati e verificati in base ad una quantità di armatura tale da garantire sempre un comportamento di tipo elastico.

Tutti gli elementi ad asta della struttura sono considerati "sismo-resistenti", per cui la presenza nel modello strutturale è considerata sia ai fini della resistenza all'azione sismica sia ai fini della valutazione della gerarchia delle resistenze. Per evitare la rottura prematura per meccanismo fragile della generica sezione critica, quest'ultima è progettata per sostenere sollecitazioni derivate da condizioni di equilibrio che tengono conto della formazione di cerniere plastiche e della sovraresistenza delle zone adiacenti; ad esempio la resistenza di progetto nei confronti delle sollecitazioni di taglio viene determinata non sulla base dei valori forniti dal modello di calcolo, bensì sulla base delle resistenze cui sono associati meccanismi deformativi duttili, generalmente flessionali, opportunamente amplificate mediante opportuni coefficienti di sovraresistenza.

Nel modello di calcolo, non è prevista alcuna limitazione del taglio iper-resistente; opzione possibile per poter assicurare a ciascuna asta una resistenza a taglio maggiore di quella a flessione; tale opzione è congruente con il rispetto della gerarchia delle resistenze.

Le verifiche nei rapporti di sovraresistenza propri della gerarchia delle resistenze non sono direttamente espresse nel Fascicolo dei calcoli strutturali, in quanto, come contemplato nelle NTC18, per le sezioni di base dei pilastri di piano viene adottato come momento di progetto (automaticamente dal codice di calcolo utilizzato), il maggiore tra il momento risultante dall'analisi effettuata come descritto al punto 7.4.4.2.1 ed il momento della sezione di sommità degli stessi elementi; inoltre il criterio di gerarchia non è applicato alle stesse sezioni di sommità in quanto trattasi di elementi di ultimo piano (unico, nel caso in progetto).

Nel modello, è imposto anche per le travi di fondazione, oltre che per quelle in elevazione, il rispetto del valore minimo di area dell'armatura longitudinale, tale da potere assorbire uno sforzo di trazione pari al taglio massimo ivi determinato.

6.5 Rigidezze e deformabilità

Viene tenuta in conto solo una parte della rigidezza torsionale delle aste, ai fini della risoluzione in fase elastica della struttura tridimensionale. Preassegnando un valore $X < 100$ % della rigidezza torcente delle aste, ferme restando le condizioni complessive di

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 38 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

equilibrio e di resistenza, esse risultano proporzionalmente meno sollecitate a torsione; ne segue che la resistenza della struttura viene affidata in misura maggiore a meccanismi resistenti di tipo flessionale, con una diversa redistribuzione delle sollecitazioni. In progetto è stato considerato $X = 0,1$, in quanto le sezioni degli elementi sono estremamente limitate e l'adozione di valori superiori comporterebbe armature resistenti non compatibili. Si ritiene inoltre preferibile adottare una bassa percentuale di rigidità torsionale, e quindi affidarsi più ad un comportamento di tipo flessionale, in quanto il cemento armato è più affidabile nella resistenza a flessione che non in quella a torsione.

La percentuale ridotta di rigidità flessionale degli elementi a piastra costituisce un parametro del modello e permette di tenere in conto del fatto che, a causa della fessurazione del calcestruzzo, la rigidità flessionale, ai fini della risoluzione in fase elastica della struttura tridimensionale, può essere ridotta. Assegnando il valore 100%, come si è fatto per il modello di progetto, si tiene conto per intero della suddetta rigidità degli elementi, ipotizzati come costituiti da materiale perfettamente elastico ed a sezione interamente reagente (assegnando un valore inferiore si ipotizzerebbe invece una rigidità ridotta, che, in linea del tutto generale, potrebbe portare ad un incremento del periodo del manufatto e ad una conseguente lieve riduzione delle azioni sismiche).

In linea di principio, è possibile escludere nelle procedure di calcolo il contributo della deformabilità a taglio; ipotesi semplificativa, che conduce ad una approssimazione accettabile solo quando le aste sono abbastanza snelle. In fase di dimensionamento, la deformabilità a taglio è stata considerata, al fine di ottenere una maggiore precisione di calcolo.

Le modalità di progetto e verifica delle armature sono basate sulle seguenti assunzioni di modello:

- la verifica a flessione delle sezioni delle travi, oltre che dei pilastri, è effettuata in termini di flessione deviata;
- il momento minimo positivo di verifica delle travi, in base al quale calcolare l'armatura necessaria, nel caso in cui il valore di calcolo risultasse inferiore (inteso come valore per cui dividere l'espressione ql^2 per ottenere tale momento minimo), è posto pari a zero;
- l'influenza di spostamenti relativi sul piano orizzontale, dovuti al sisma e indotti nel terreno di fondazione, è tenuta in conto mediante il collegamento tra gli elementi della fondazione stessa, accertando che ciascuno di essi sia in grado di assorbire sforzi assiali pari a quelli definite dalle NTC18, al punto 7.2.5;
- le piastre sono analizzate con il criterio di "presso-flessione", secondo il quale si combina il momento flettente a piastra, presente su ciascun lato del micro-elemento componente (mesh), con lo sforzo normale ad esso associato e si esegue la classica verifica di una sezione rettangolare presso-inflessa.

Ulteriori criteri di progetto ed attributi assegnati agli elementi della struttura sono esposti nel Fascicolo dei calcoli.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 39 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

6.6 Dettagli costruttivi

Sono contemplate in progetto tutte le prescrizioni relative ai dettagli costruttivi espressi ai capitoli 4 e 7 delle NTC18, in materia di sezione d'armatura longitudinale minima, rapporto geometrico relativo all'armatura tesa, ancoraggio delle barre e loro giunzioni, sezione complessiva e posizione dell'armatura trasversale, interfero.

Con eccezione dell'armatura di ripartizione da disporre nel solaio di copertura, le strutture sono progettate sulla base di un numero massimo di tre diversi diametri delle barre d'armatura, verificando la sussistenza negli elementi di sufficienti margini tra sollecitazioni agenti e sollecitazioni resistenti, oltre che il rispetto delle condizioni minime di sezione, previste dalle NTC18.

Per quanto attiene alle travi perimetrali di fondazione, interessate dall'attraversamento di un fascio tubiero, atto a contenere i collegamenti in continuità con cavidotti interrati esterni, sono separatamente determinati le condizioni di verifica ed i relativi dettagli esecutivi.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 40 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

7. SOLAIO DI COPERTURA

Il solaio a falde di copertura è costituito da travetti in calcestruzzo armato e blocchi multiforati (volterrane leggere) in laterizio; i blocchi in laterizio, non collaboranti, hanno funzione di alleggerimento e di aumento della rigidezza flessionale. Si tratta di solaio monodirezionale, ordito in direzionale convenzionale X, in doppio pannello; delimitato dalla trave di colmo e dalle travi di bordo; ciascun pannello a conformare una delle falde del tetto. L'interasse tra i travetti è pari a 400 mm; la larghezza inferiore della sezione è pari a 120 mm. L'altezza dell'elemento è 200 mm + 40 mm di caldana.

Nel modello di calcolo, l'elemento è identificato come "Solaio1", costituito oltre che da ciascun pannello alleggerito anche dalla parte in continuità del cornicione perimetrale, a sezione piena, di spessore pari a 150 mm. La porzione di cornicione ortogonale all'orditura del solaio, di medesime caratteristiche geometriche, a sbalzo rispetto alle due travi perimetrali in direzione X, è identificata nel modello di calcolo come "Solaio2".

Come dettagliato all'inizio del presente documento, relativamente al dimensionamento del solaio di copertura ed alla verifica locale del cornicione perimetrale vengono considerate condizioni di sollecitazione, relative al carico da neve, più gravose di quanto derivi dallo specifico contesto geografico di costruzione. Ciò equivale ad aver considerato un coefficiente amplificativo ulteriore per tale azione, eccedente il valore di base, previsto dalle norme vigenti. In particolare, il valore caratteristico del carico della neve al suolo q_{sk} è stato posto pari a quello massimo previsto dalle NTC18, che corrisponde alla zona I mediterranea, ad una altitudine pari a 1500 m s.l.m.; da cui $q_{sk} = 9,73 \text{ kN/m}^2$. Segue: $q_s = 0,8 \cdot 0,9 \cdot q_{sk} \approx 7,00 \text{ kN/m}^2$. Come già esposto, considerata la simmetria della copertura, tale carico è considerato uniformemente distribuito.

Nel complesso, l'elemento "Solaio2" grava come momento sulle travi laterali della copertura (carichi permanenti strutturali, 0,08 t·m/m; permanenti non strutturali, 0,03 t·m/m; carico da neve, 0,15 t·m/m).

Nel dimensionamento della copertura ("Solaio 1" e "Solaio 2"), così come definito anche dalla Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, n. 7 del 21 gennaio 2019, al punto C3.4.3.3.5, è stato considerato anche l'effetto di neve aggettante dal bordo. Tale condizione è considerata coerentemente con l'ipotesi di dimensionamento basata su sito ideale di altitudine maggiore di 800 m s.l.m. Si tratta di "fenomeno locale", che viene preso in considerazione per la verifica del cornicione, e non costituisce una azione oggetto di combinazioni di carico che interessano l'intera struttura. L'entità del carico è stata determinata sulla base delle specifiche contenute in Eurocodice 1, parte 2-3, assumendo $K = 0,23$, per clima medio ed in dipendenza dai materiali costituenti il tetto; assegnato $\gamma = 3 \text{ kN/m}^3$, peso specifico della neve per questa specifica stima, e posto $q_s \approx 7,00 \text{ kN/m}^2$, segue: $q_{se} = K \cdot q_s^2 / \gamma = 3,80 \text{ kN/m}$.

La ricerca delle caratteristiche della sollecitazione negli elementi del solaio è stata effettuata risolvendoli come trave continua con il metodo degli elementi finiti (F.E.M.). La verifica a momento e taglio delle sezioni è stata invece effettuata con il metodo degli stati limite, assumendo come sezione resistente quella costituita dall'area compressa di conglomerato e dalle aree metalliche.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 41 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

Gli estremi, costituiti dalle travi portanti, sono trattati come vincoli fissi rispetto alla travata di solaio, che mantiene la sua continuità; tali quindi da permettere la rotazione senza opporvi alcuna resistenza, e da impedire qualunque abbassamento. Viene quindi trascurata la rigidezza torsionale delle travi e anche la loro deformabilità flessionale. Lo schema di calcolo viene riferito ad una striscia di un metro di solaio. Le verifiche, invece, sono riportate sul singolo travetto, che è trattato come avente una sezione a "T" in cemento armato, trascurando l'eventuale contributo resistente dei laterizi. In corrispondenza delle travi di vincolo aventi medesima altezza del solaio (trave a spessore), non viene eseguito calcolo delle spuntature del diagramma dei momenti.

Nei pannelli del solaio principale di copertura è prevista la disposizione di un travetto rompitratta, calcolato in base alla funzione $m_o(\gamma_o, \delta_o)$, dipendente dai rapporti geometrici tra luce e interasse delle nervature (δ_o), e tra lunghezza del travetto e luce del solaio (γ_o); funzione che consente di interpretare il comportamento elastico del rompitratta come trave su suolo elastico alla Winkler, avente come modulo fittizio quello dipendente dalla risposta delle nervature su cui esso grava. L'armatura minima risultante è stata modificata nel quadro generale di analisi del solaio, affinché la larghezza delle nervature, il loro interasse, lo spessore della soletta di completamento e la presenza del rompitratta assicurino la rigidezza nel piano, evitando effetti secondari.

Per le verifiche sopra dette e per il dimensionamento esecutivo sono stati rispettati i minimi di legge per quanto riguarda la larghezza massima di soletta collaborante, lo spessore minimo del solaio e della caldana e il rispetto delle armature minime necessarie. Le ipotesi rappresentative di dettaglio, in particolare per quanto riguarda la rigidezza ai fini del comportamento della struttura soggetta alle azioni sismiche, sono precedentemente descritte ("Simulazione dell'azione sismica").

La verifica dei risultati del calcolo, così come le analisi operate su di essi, sono riportate nel seguito.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 42 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

8. CODICE DI CALCOLO AUTOMATICO

8.1 Caratteristiche del codice di calcolo

L'analisi strutturale e le relative verifiche sono condotte con l'ausilio di codice di calcolo automatico così identificabile

software:	CDS - Computer Design of Structures; rel.2019
autore e produttore:	S.T.S. s.r.l. Software Tecnico Scientifico S.r.l. via Tre torri n°11 – Complesso Tre torri, 95030 Sant'Agata li Battiati (CT)
solutore a elementi finiti:	CDSWin
licenza d'uso:	STS CDS WIN - Chiave HW n. 22594
applicativo solaio:	CDFWin
applicativo geotecnico:	CDGWin

I metodi di calcolo adottati per il calcolo sono i seguenti:

- per i carichi statici, metodo delle deformazioni;
- per i carichi sismici, metodo dell'analisi modale.

Il calcolo degli spostamenti e delle caratteristiche viene effettuato con il metodo degli elementi finiti (F.E.M.). Sono inseriti due tipi di elementi:

- elemento monodimensionale asta (beam) che unisce due nodi aventi ciascuno 6 gradi di libertà; per maggiore precisione di calcolo, viene tenuta in conto anche la deformabilità a taglio e quella assiale di questi elementi; queste aste, inoltre, non sono considerate flessibili da nodo a nodo ma hanno sulla parte iniziale e finale due tratti infinitamente rigidi formati dalla parte di trave inglobata nello spessore del pilastro; questi tratti rigidi forniscono al nodo una dimensione reale;
- elemento bidimensionale shell (quad) che unisce quattro nodi nello spazio; il suo comportamento è duplice, funziona da lastra per i carichi agenti sul suo piano, da piastra per i carichi ortogonali.

In particolare le aste sono schematizzate con elementi a due nodi deformabili assialmente, a flessione e taglio, utilizzando funzioni di forma cubiche di Hermite. Tale modello finito ha la caratteristica di fornire la soluzione esatta in campo elastico lineare, per cui non necessita di ulteriori suddivisioni interne degli elementi strutturali.

Ogni elemento bidimensionale viene modellato con funzioni di forma di tipo polinomiale che rappresentano una soluzione congruente ma non esatta nello spirito del metodo F.E.M. Per questo tipo di elementi finiti la precisione dei risultati ottenuti dipende quindi dalla forma e densità della mesh. Il metodo è efficiente per il calcolo degli spostamenti nodali ed è sempre rispettoso dell'equilibrio a livello nodale con le azioni esterne.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 43 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

Le verifiche sono effettuate direttamente sullo stato tensionale ottenuto, per le azioni di tipo statico e di esercizio, mentre per le azioni dovute al sisma ed in genere per le azioni che provocano elevata domanda di deformazione anelastica, sulle risultanti (forze e momenti) agenti globalmente su una sezione dell'oggetto strutturale.

Nel modello vengono tenuti in conto i disassamenti tra i vari elementi strutturali schematizzandoli come vincoli cinematici rigidi.

Ai fini della risoluzione della struttura, gli spostamenti X e Y e le rotazioni attorno l'asse verticale Z di tutti i nodi che giacciono su di un impalcato dichiarato rigido sono mutuamente vincolati. Assemblate tutte le matrici di rigidezza degli elementi in quella della struttura spaziale, la risoluzione del sistema viene perseguita tramite il metodo di Cholesky.

L'analisi sismica dinamica è svolta con il metodo dell'analisi modale; la ricerca dei modi e delle relative frequenze è stata perseguita con il metodo delle "iterazioni nel sottospazio". I modi di vibrazione considerati sono in numero tale da assicurare l'eccitazione di più dell'85% della massa totale della struttura.

Per ciascuna direzione di ingresso del sisma sono valutate le forze modali, che vengono applicate su ciascun nodo spaziale (tre forze, in direzione X, Y e Z, e tre momenti). Sono prima calcolate le sollecitazioni e gli spostamenti modali e poi viene calcolato il loro valore efficace. I valori delle sollecitazioni sismiche sono combinate linearmente (in somma e in differenza) con quelle per carichi statici, per ottenere le sollecitazioni per sisma nelle due direzioni di calcolo.

Le verifiche, svolte secondo il metodo degli stati limite ultimi e di esercizio, si ottengono involupando tutte le condizioni di carico prese in considerazione.

Per l'elemento trave, l'armatura minima di progetto è determinata suddividendola in cinque conci in cui l'armatura si mantiene costante, valutando per tali conci le massime aree di armatura superiore ed inferiore richieste in base ai momenti massimi riscontrati nelle varie combinazioni di carico esaminate. Lo stesso criterio è adottato per il calcolo delle staffe. Anche l'elemento pilastro viene scomposto in cinque conci in cui l'armatura si mantiene costante. Vengono determinate le armature richieste nella metà superiore (testa) e inferiore (piede).

La fondazione su travi rovesce è risolta contemporaneamente alla sovrastruttura tenendo in conto sia la rigidezza flettente che quella torcente, utilizzando per l'analisi agli elementi finiti l'elemento asta su suolo elastico alla Winkler.

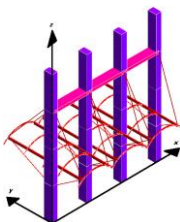
La ripartizione dei carichi, data la natura matriciale del calcolo, tiene automaticamente conto della rigidezza relativa delle varie travate convergenti su ogni nodo.

Le verifiche per gli elementi bidimensionali (setti) vengono effettuate sovrapponendo lo stato tensionale del comportamento a lastra e di quello a piastra. Vengono calcolate le armature delle due facce dell'elemento bidimensionale disponendo i ferri in due direzioni ortogonali.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 44 di 71	Rev. 0

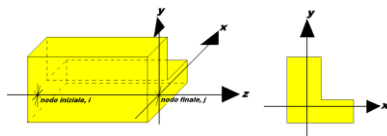
Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

Il sistema di riferimento globale è costituito da una terna destra di assi cartesiani ortogonali (O-XYZ) dove l'asse Z rappresenta l'asse verticale rivolto verso l'alto. Le rotazioni sono considerate positive se concordi con gli assi vettori.



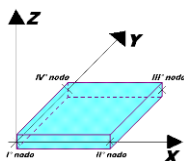
Il sistema di riferimento locale delle aste, inclinate o meno, è costituito da una terna destra di assi cartesiani ortogonali che ha l'asse Z coincidente con l'asse longitudinale dell'asta ed orientamento dal nodo iniziale al nodo finale, gli assi X ed Y sono orientati come nell'archivio delle sezioni descritto nel Fascicolo dei calcoli.

Il sistema di riferimento locale dell'elemento shell è costituito da una terna destra di assi cartesiani ortogonali che ha l'asse X coincidente con la direzione fra il primo ed il secondo nodo di input, l'asse Y giacente nel piano dello shell e l'asse Z in direzione dello spessore. I carichi agenti sono: carichi e momenti distribuiti lungo gli assi coordinati; forze e coppie nodali concentrate sui nodi. Le convenzioni sui segni sono di seguito



rappresentate.

Le forze distribuite sono da ritenersi positive se concordi con il sistema di riferimento locale dell'asta, quelle concentrate sono positive se concordi con il sistema di riferimento globale. I gradi di libertà nodali sono gli omologhi agli enti forza, e quindi sono definiti positivi se concordi a questi ultimi.



I principi generali di modellazione che sono stati imposti al codice di calcolo sono descritti dettagliatamente in precedenti parti della presente relazione.

Ulteriori convenzioni e specificazioni relative al software ed alla logica di soluzione sono riportate nel Fascicolo dei calcoli strutturali.

Nelle calcolazioni si è fatto riferimento ai valori nominali delle grandezze geometriche ipotizzando che le tolleranze ammesse in fase di realizzazione siano conformi alle euronorme EN 1992-1-1, EN206; ovvero:

- copriferro –5 mm (EC2, 4.4.1.3);

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 45 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

- per le dimensioni $l \leq 150\text{mm}$, $\pm 5\text{ mm}$;
- per le dimensioni $l = 600\text{ mm}$, $\pm 15\text{ mm}$;
- per le dimensioni $\geq 2.500\text{ mm}$, $\pm 30\text{ mm}$.

Per i valori intermedi, le tolleranze sono interpolare linearmente.

8.2 Affidabilità e validazione del codice di calcolo

Come previsto al punto 10.2 delle NTC18, l'affidabilità del codice utilizzato è stata 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.

In particolare è stata valutata la relazione sui casi prova forniti dalla S.T.S. s.r.l., che contiene un insieme di test il cui obiettivo è quello di verificare l'affidabilità e l'applicabilità del solutore agli elementi finiti utilizzato dal programma CDSWin. Al fine di raggiungere l'obiettivo di verifica posto, gli esempi riportati nelle pagine di tale documento riguardano differenti analisi di calcolo, molteplici elementi, diversi casi di mesh e/o di condizioni al contorno, provenendo da autorevoli testi ingegneristici, e fanno riferimento a problemi la cui soluzione teorica, essendo nota, può essere confrontata con quella fornita dal programma al termine dell'elaborazione. Per ogni test svolto è citata la specifica fonte del riferimento e sono forniti tutti i dati necessari per riprodurre i risultati ottenuti.

Oltre a tale fase preliminare, è stato controllato il software durante la fase di elaborazione, in quanto esso è dotato di filtri e controlli di autodiagnostica, che agiscono a vari livelli, sia nella definizione del modello sia nel calcolo vero e proprio. I controlli vengono visualizzati, sotto forma di tabulati, di videate a colori o finestre di messaggi. In particolare, il software è dotato dei seguenti filtri e controlli:

- filtri per la congruenza geometrica del modello di calcolo generato;
- controlli a priori sulla presenza di elementi non connessi, interferenze, mesh non congruenti o non adeguate;
- filtri sulla precisione numerica ottenuta, controlli su eventuali mal condizionamenti delle matrici, verifica dell'indice di condizionamento;
- controlli sulle verifiche sezionali e sui limiti dimensionali per i vari elementi strutturali in funzione della normativa utilizzata;
- controlli e verifiche sugli esecutivi prodotti.

Il programma è dotato di un manuale tecnico ed operativo. L'assistenza è effettuata direttamente dalla casa produttrice, mediante linea telefonica o e-mail.

Tutti i risultati del calcolo sono forniti, oltre che in formato numerico, anche in formato grafico permettendo così di evidenziare agevolmente eventuali incongruenze.

Il programma consente la stampa di tutti i dati di input, dei dati del modello strutturale utilizzato, dei risultati del calcolo e delle verifiche dei diagrammi delle sollecitazioni e

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 46 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

delle deformate.

A tal proposito, si è provveduto a confrontare i risultati ottenuti dalle elaborazioni in termini di spostamenti verticali (cedimenti elastici e/o da consolidazione) con i risultati frutto di un calcolo manuale semplificato, eseguito mediante l'utilizzo delle stesse relazioni adoperate dal codice di calcolo in questione. Nello specifico, non si sono rilevate differenze sostanziali tra quanto restituito dal software e quanto determinato dal calcolo manuale semplificato.

Considerata la tipologia dell'intervento, riconducibile senza dubbio ad opera edile ordinaria, non si rende necessaria un'ulteriore validazione indipendente del calcolo strutturale o un controllo incrociato sui risultati delle elaborazioni ottenute, se non attraverso opportune verifiche sugli elementi più sollecitati.

Pertanto, con riferimento al paragrafo 10.2 delle NTC18, il progettista

dichiara

di aver esaminato preliminarmente la documentazione a corredo del software, per valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico; detta documentazione, fornita dal produttore o dal distributore del software, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, ha permesso di individuare il campo d'impiego e descrive i casi-prova interamente risolti e commentati, per i quali sono forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 47 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

9. PRESENTAZIONE E ANALISI DEI RISULTATI

9.1 Presentazione dei risultati

L'esito delle elaborazioni è rappresentato nelle analisi e negli schemi grafici ("Rappresentazione grafica dei risultati") di seguito riportati, che forniscono anche immediato riscontro di quanto previsto al punto 10.2 delle NTC18.

I risultati conseguiti sono stati analizzati nel dettaglio, anche mediante tali rappresentazioni, in particolare, in relazione ai seguenti parametri:

- andamento dei momenti X e Y nelle sezioni degli elementi;
- andamento del taglio X e taglio Y nelle sezioni degli elementi;
- spostamenti della struttura;
- deformate riferite ai modi di vibrare principali;
- massima tensione trasmessa sul terreno.

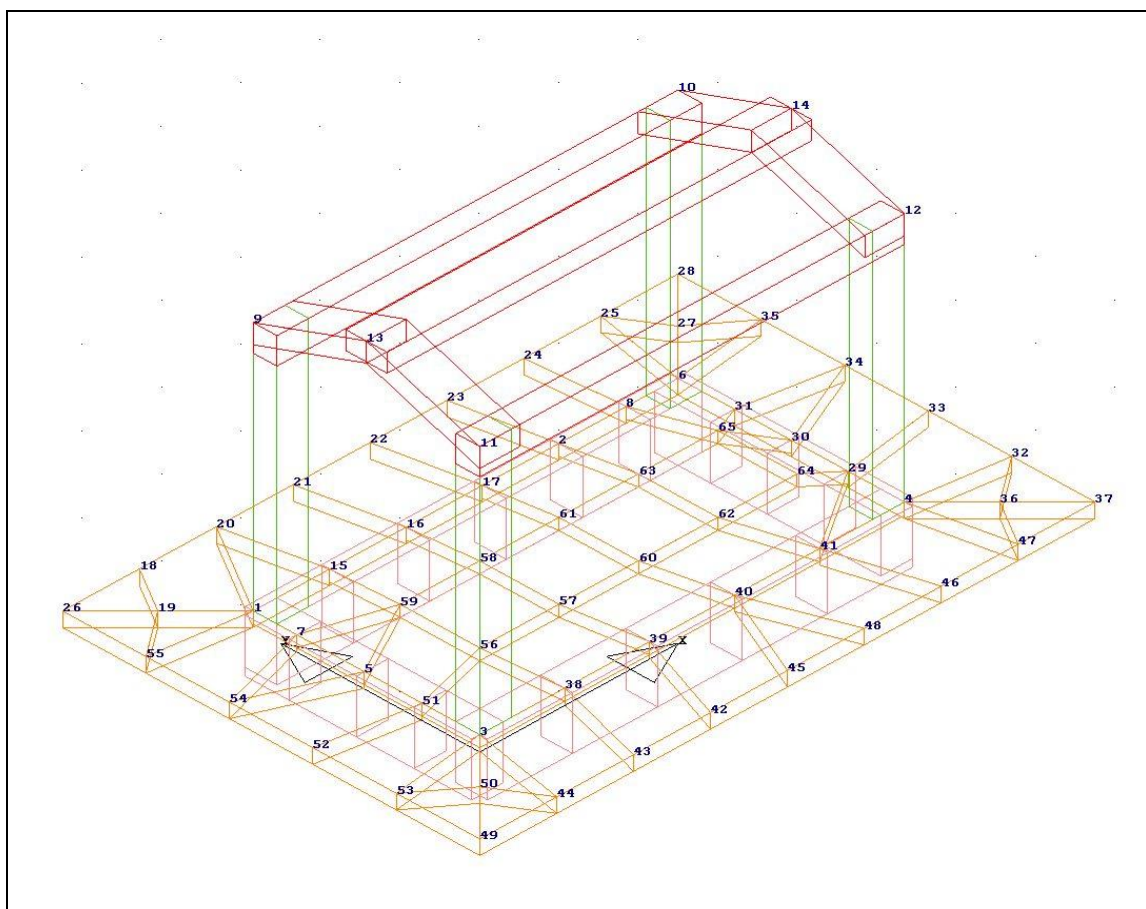


Fig. 9.1.1: Rappresentazione del modello strutturale (nodi)

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 48 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

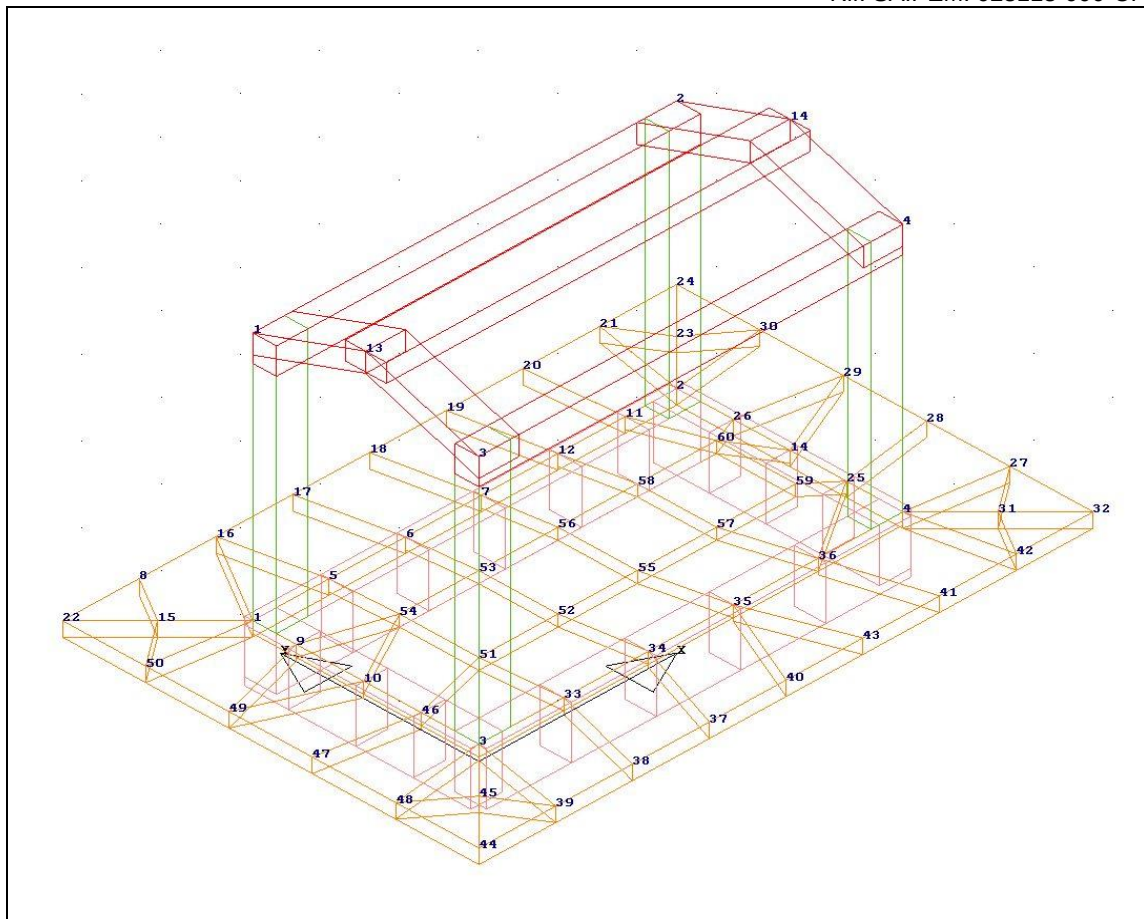


Fig. 9.1.2: Rappresentazione del modello strutturale (fil)

Il Fascicolo dei calcoli strutturali, correlato alla presente relazione, costituisce la illustrazione dei risultati numerici, in una sintesi completa ed efficace, fornendo per ogni elaborazione il dettaglio numerico relativo. In particolare, nella parte iniziale del fascicolo sono descritti tutti i dati di input, relativi alla modellazione strutturale, alle caratteristiche dei materiali, ai parametri ed ai coefficienti parziali previsti dalle NTC18, alle modalità di applicazione dei carichi, coerentemente con quanto contenuto nella presente relazione.

L'elaborato contiene anche i valori di sollecitazione necessari a rappresentare il comportamento complessivo della struttura, in relazione a ciascuno stato limite. Nel dettaglio dei "Risultati di calcolo e verifica" vengono esposti, in forma tabellare:

- i modi propri di vibrare e le masse eccitate;
- le caratteristiche della sollecitazione nella combinazione degli effetti relativi ai singoli modi ed alle componenti sismiche (combinazione quadratica completa degli effetti relativi a ciascun modo);
- il valore delle tensioni associate alle sollecitazioni nella combinazione degli effetti relativi ai singoli modi (combinazione quadratica completa degli effetti relativi a ciascun modo);

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 49 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

- le caratteristiche della sollecitazione e i valori delle tensioni relativi a ciascuna delle azioni non sismiche o equivalenti statiche, e quelli relativi all'analisi termica;
- l'entità delle armature minime di progetto per la condizione di stato limite più gravosa, con le verifiche di resistenza a presso-flessione, taglio e torsione;
- i risultati delle verifiche delle tensioni di esercizio e di fessurazione;
- i risultati delle verifiche in termini di spostamenti relativi.

Le analisi sismiche sono differenziate secondo i due siti di progetto (SLV, SLD).

Si chiarisce che i risultati delle verifiche SLE, benché nel Fascicolo siano presentati prima delle verifiche di resistenza SLU, SLV, SLD, sono basate sulle armature che derivano da queste ultime.

Al fine di contenere l'entità del Fascicolo dei calcoli, sono omessi i risultati relativi agli spostamenti assoluti della struttura, riportati di seguito in forma grafica per le combinazioni a cui si associano i valori massimi.

Inoltre, le verifiche delle aste e degli elementi shell in c.a. sono riportate con maschere di stampa in forma sintetica. Per quanto riguarda le aste, la stampa riporta su poche righe le informazioni essenziali necessarie a risalire alle grandezze fondamentali di ciascuna verifica. Come descritto in precedenza, l'armatura minima di progetto nelle aste è determinata suddividendo ciascun elemento in conci in cui l'armatura richiesta si mantiene costante; i tabulati sintetici delle verifiche sono limitati ad alcuni conci principali (per i pilastri, concio centrale e conci estremi). Per quanto riguarda gli elementi shell (setti e piastre), la stampa propone i risultati relativi ai nodi più significativi, ed esattamente il 20% del numero totale dei nodi, così suddiviso: 5% + 5% riservato a quei nodi presenti sulla faccia superiore dell'elemento, che richiedono rispettivamente la maggiore armatura in direzione X ed in direzione Y; 5% + 5% del tutto analogamente per la faccia opposta dell'elemento.

Si chiarisce che le armature proposte dal codice di calcolo sono quelle minime che necessitano al fine di determinare adeguato dominio di resistenza o adeguate sollecitazioni resistenti relative alle sollecitazioni di calcolo riportate nei medesimi tabulati, la cui legenda è contenuta nel Fascicolo dei calcoli. Tale armatura minima necessaria, è rielaborata, in fase di redazione degli elaborati grafici esecutivi, secondo le esigenze costruttive di seguito descritte ("Analisi e giudizio complessivo sui risultati").

Nel Fascicolo dei calcoli sono riportati anche i dati di ingresso ed i risultati relativi al solaio ed alle verifiche geotecniche (carico limite, scorrimento, entità dei cedimenti). Per queste ultime, in particolare, sono esplicitamente descritte le formulazioni atte alla determinazione dei singoli parametri e fattori, utilizzate dal software.

Le convenzioni sui segni e le unità di misura, oltre quanto già in precedenza qui specificato, e le legende dei simboli utilizzati sono indicati nello stesso fascicolo dei calcoli.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 50 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

Come successivamente descritto, i risultati numerici testimoniano la compiuta definizione della risposta strutturale, che risulta adeguata, sia nel suo complesso, sia per ciascuno degli aspetti di verifica che sono stati presi in considerazione, nel rispetto di quanto contemplato dalle norme tecniche vigenti. Tutte le condizioni di carattere progettuale imposte trovano esatta corrispondenza con gli esiti di calcolo.

9.2 Codifica condizioni di carico

Le azioni considerate nei calcoli sono:

- carichi permanenti strutturali, G_1 (condizioni CDS n. 1);
- carichi permanenti non strutturali, G_2 (condizioni CDS n. 2);
- azioni variabili, di breve durata rispetto alla vita nominale della struttura,
 - sovraccarichi d'utilizzo categoria "abitazioni", Q_1 (condizioni CDS n. 3),
 - carico da neve, Q_2 (condizioni CDS n. 4),
 - sovraccarichi d'utilizzo categoria "coperture", Q_3 (condizioni CDS n. 5),
 - vento in direzione X, Q_4 (condizioni CDS n. 6),
 - vento in direzione Y, Q_5 (condizioni CDS n. 7),
 - vento in direzione -X, Q_6 (condizioni CDS n. 8),
 - vento in direzione -Y, Q_7 (condizioni CDS n. 9),
 - carico termico, Q_8 (condizioni CDS n. 12);
- azioni sismiche,
 - effetti della eccentricità accidentale, correzione direzione 0° asse X, E_1 (condizioni CDS n. 10),
 - effetti della eccentricità accidentale, correzione direzione 90° asse X, E_2 (condizioni CDS n. 11),
 - sisma direzione 0° asse X, E_3 (condizioni CDS n. 13),
 - sisma direzione 90° asse X, E_4 (condizioni CDS n. 14).

Tale codifica consente una immediata leggibilità del fascicolo dei calcoli.

9.3 Risultati in termini di resistenza

La sicurezza e le prestazioni della struttura risultano garantite grazie alla verifica degli opportuni stati limite definiti in funzione dell'utilizzo della costruzione, della sua vita nominale e di quanto stabilito dalle NTC18.

L'opera, così individuata dal punto di vista strutturale, può considerarsi compiutamente definita con le caratteristiche determinate. In particolare risultano verificate:

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 51 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

- la sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU) che possono provocare eccessive deformazioni permanenti, crolli parziali o globali, dissesti, che possono compromettere l'incolumità delle persone e/o la perdita di beni; per le verifiche sono stati utilizzati i coefficienti parziali relativi alle azioni ed alle resistenze dei materiali in accordo a quanto previsto dalle NTC18 per i vari tipi di materiale; le armature e le sezioni che sono state previste risultano soddisfare le condizioni imposte; gli esiti del calcolo sono riportati nel Fascicolo dei calcoli;
- la sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio (SLE) che possono limitare nell'uso e nella durata l'utilizzo della struttura, per le azioni di esercizio; le armature e le sezioni che sono state previste risultano soddisfare le condizioni imposte; gli esiti del calcolo sono riportati nel Fascicolo dei calcoli.

Si evidenzia, nel dettaglio, che risultano soddisfatte le verifiche delle tensioni di esercizio e le verifiche di fessurazione, per ciascun elemento della struttura.

Per quando riguarda le fasi costruttive intermedie, la struttura non risulta cimentata in maniera più gravosa della fase finale.

Come già in precedenza specificato, il progetto è stato supportato dalla modellazione del comportamento strutturale nelle condizioni sismiche proprie di due diversi siti "ideali"; siti determinati affinché i relativi spettri di calcolo diano luogo alle maggiori condizioni di dimensionamento rispettivamente per lo SLV e lo SLD. I risultati conseguiti evidenziano come alcune sollecitazioni associate al sito SLD siano rilevanti, in termini di risposta richiesta alla struttura, anche in confronto alle condizioni determinate per il sito SLV.

In generale, il valore di progetto di ciascuna sollecitazione, calcolato in presenza delle azioni sismiche corrispondenti ai due siti (attribuendo ad η il valore previsto dalle norme per le singole verifiche e per ciascun tipo strutturale), risultando inferiore al corrispondente valore della resistenza di progetto, calcolato secondo le regole specifiche indicate dalle NTC18, implica contemporaneamente la limitazione dei danneggiamenti strutturali, inclusi danneggiamenti nei nodi e nelle connessioni tra elementi, e la resistenza in termini di ogni stato limite ultimo indagato. Ciò in quanto mentre nel caso SLV la risposta sismica della struttura è affidata, oltre che alle sue caratteristiche in termini di resistenza, alla sua capacità di sviluppare deformazioni cicliche in campo plastico, nel caso SLD, essa è affidata essenzialmente alle sue caratteristiche di rigidezza e resistenza; con il risultato atteso che la struttura presenta (o si considera possa presentare) comportamento dissipativo nei riguardi degli stati limite ultimi e comportamento sostanzialmente non dissipativo nei riguardi degli stati limite di esercizio. Il Fascicolo dei calcoli strutturali riporta quindi, come detto, i risultati che derivano dall'applicazione dello stato sismico corrispondente a ciascuno dei due siti "ideali".

Gli esiti sono tali che il progetto risulta valido ed applicabile nella maggior parte del territorio nazionale ed ovviamente anche nel sito effettivo di realizzazione.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 52 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

9.4 Risultati in termini di danno ed operatività

In condizioni sismiche, risultano garantite le condizioni che escludono eccessivi spostamenti sismici relativi interpianto per la condizione SLD (saggiata attraverso l'analisi nello specifico sito "ideale" prescelto). Lo spostamento relativo massimo risulta pari a circa 9,55 mm. inferiore al valore limite ammesso pari a 16,55 mm.

Pur essendo la costruzione di classe d'uso IV, non essendo significativi i potenziali danni agli elementi non strutturali, ai fini di operatività, è omessa la verifica dello stato limite SLO, sotto la relativa azione sismica di progetto. Si osserva tuttavia che lo spostamento massimo interpianto associato alla condizione sismica SLD è inferiore a 2/3 del valore limite, per cui deve ritenersi rispettata, con ampio margine, anche la corrispondente condizione per gli spostamenti relativi SLO (correlati ad un cimento sismico inferiore a quello cui è associato lo stato limite di danno).

Le condizioni di funzionalità per gli spostamenti verticali sono invece saggiate, in termini di SLE, attraverso la verifica geotecnica: i cedimenti delle travi di fondazione sono compatibili con la salvaguardia dei cavidotti di collegamento interrati e quindi con l'operatività degli impianti. In particolare, il cedimento massimo puntuale (di tipo elastico) risulta circa pari a 0,9 cm (combinazione 1 con azioni variabili non dominanti considerate al loro valore "raro" o di durata breve).

Anche per tale complesso di risultati, gli esiti sono tali che il progetto risulta valido ed applicabile nella maggior parte del territorio nazionale e, secondo quanto specificato nella Relazione geotecnica e sulle fondazioni, anche nel sito effettivo di realizzazione.

9.5 Risultati in termini di stabilità rispetto al terreno

Le verifiche geotecniche risultano soddisfatte, essendo rispettati

- i presupposti di capacità portante, dati dal confronto tra la pressione verticale trasmessa dalle fondazioni e la pressione limite per il terreno;
- la verifica allo scorrimento globale nella direzione parallela al piano di posa delle fondazioni;
- le condizioni di idoneo esercizio, determinate dal calcolo dei valori del cedimento massimo atteso, contenuto entro i limiti imposti, come in precedenza descritto.

In particolare, la massima tensione ortogonale puntuale indotta dalle travi di fondazione sul terreno, in esercizio, risulta poco superiore a 0,3 daN/cm² (distribuzione areale massime pressioni sul terreno, comb. 4 SLU).

Gli esiti sono tali che il progetto risulta valido ed applicabile, con le specificazioni appositamente contenute nella Relazione geotecnica e sulle fondazioni.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 53 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

9.6 Analisi e giudizio complessivo sui risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli che ne hanno comprovato l'attendibilità. Tale valutazione è emersa grazie al confronto con i risultati di semplici calcoli, di larga massima, eseguiti con metodi tradizionali e adottati in fase di primo proporzionamento della struttura.

Sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi, si è valutata la consistenza delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni. Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello offerte dal software di calcolo ne hanno permesso di controllare la coerenza geometrica e verificarne la corrispondenza del comportamento, sotto le azioni applicate, rispetto alla realtà fisica.

Alcuni risultati ottenuti, quali sollecitazioni e deformazioni sono stati oggetto di controllo mediante schemi semplificati di cui è nota la soluzione in forma chiusa nell'ambito della Scienza delle costruzioni. Per gli elementi inflessi di tipo bidimensionale, si è provveduto a confrontare i valori ottenuti dall'analisi F.E.M. con i valori di momento flettente ottenuti con gli schemi semplificati della Tecnica delle costruzioni.

Si è inoltre controllato che le reazioni vincolari e le azioni interne impresse alla struttura dessero valori in equilibrio con i carichi applicati; in particolare per i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche si è provveduto a confrontarli con valori ottenuti da modelli semplificati. Le sollecitazioni ottenute sulle travi per i carichi verticali sono state confrontate con semplici schemi a trave continua. Si è anche verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software utilizzato abbiano dato esito positivo.

Dal punto di vista meramente numerico, si sono esaminati i telai della struttura effettuando, senza ausilio di calcoli automatici l'analisi delle travi, che, vista la simmetria del fabbricato, possono essere studiate per una sola metà; i risultati determinati autonomamente, a parità di caratteristiche geometriche, avrebbero indotto sezioni d'armatura minore di quanto esecutivamente determinato, anche grazie agli esiti del calcolo automatico.

Apposita verifica è stata eseguita relativamente al solaio di copertura, per il quale si sono riscontrati anche lo stato tensionale massimo nei travetti e l'entità degli spostamenti, risultati coerenti con gli esiti del calcolo automatico. Le deformate della struttura risultano coerenti con le ipotesi effettuate e con le direzioni di carico.

Inoltre, si è provveduto a confrontare i risultati ottenuti dalle elaborazioni in termini di spostamenti verticali (cedimenti elastici e/o da consolidazione) con i risultati frutto di un calcolo manuale semplificato, eseguito mediante l'utilizzo delle stesse relazioni adoperate dal codice di calcolo in questione. Nello specifico, non si sono rilevate differenze sostanziali tra quanto restituito dal software e quanto determinato dal calcolo manuale semplificato. Come in precedenza descritto, il codice di calcolo automatico è stato predisposto alle relative correzioni previste dalle NTC18 relativamente agli effetti del secondo ordine ma, di fatto, esse non sono state applicate: l'assenza di più

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 54 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

orizzontamenti superiori (trattandosi di livello unico, nel caso in progetto), la ridotta entità dei carichi verticali indotti direttamente sugli elementi strutturali e la geometria dell'opera, comportano valori del parametro di controllo $\theta < 0,1$, al variare del sito sismico di analisi scelto per il progetto.

I risultati conseguiti ed i controlli procedurali operati dal codice di calcolo hanno permesso di verificare che i singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme possiedono una duttilità non in contrasto con il fattore di comportamento q adottato, oltre che idonee capacità di deformazione. Tale condizione, come descritto al punto 7.3.6.1 delle NTC18 è soddisfatta anche in virtù delle regole di progetto specifiche e, con le precisazioni proprie del modello, in precedenza descritte, delle regole di gerarchia delle resistenze relative ai singoli aspetti costruttivi.

Lo stato tensionale sul terreno è stato oggetto di controllo mediante valutazione speditiva. I calcoli geotecnici di progetto sono stati sottoposti a verifica puntuale mediante le stesse formulazioni utilizzate dal codice di calcolo; essi sono comunque rivisti in chiave locale nella Relazione geotecnica e sulle fondazioni.

In linea con quanto previsto al punto 7.4.4.3.1 delle NTC18, si sono eseguite le verifiche di resistenza dei nodi trave-pilastro, verificando, ove necessario, l'incremento del passo delle staffe orizzontali di contenimento lungo l'altezza dei nodi non confinati. L'interasse delle staffe lungo pilastri e travi è stato "normalizzato", sì da determinare tronchi di passo costante, multiplo del centimetro, tenendo conto della lunghezza complessiva delle aste e dei risultati delle verifiche ai nodi. Inoltre, come previsto al punto 7.3.6.1 delle NTC18, per le sezioni allo spiccato delle fondazioni, indipendentemente dai particolari costruttivi adottati, si è condotta apposita verifica di duttilità.

Per quanto riguarda le verifiche a pressoflessione delle aste, nei tabulati del Fascicolo dei calcoli vengono esposte separatamente le armature lungo i lembi delle due direzioni ortogonali delle sezioni, attribuendo ad entrambe le aree di acciaio relative alle barre d'angolo. Un controllo sulla effettiva consistenza della armatura minima calcolata è effettuato in base agli elaborati grafici, che il software propone sia a video sia come files in formato cad. Apposita fase di controllo dei calcoli, condotta con altri procedimenti, ha permesso di determinare i risultati delle scelte esecutive, in termini di diametro e numero delle barre. Tale verifica e la conseguente scelta delle armature è stata effettuata con riferimento all'area minima richiesta nel concio più sollecitato.

Sulla base dei raffronti eseguiti, si conclude in merito alla piena accettabilità dei risultati conseguiti, che sono quindi stati adottati per la elaborazione dei disegni esecutivi.

In essi, i particolari costruttivi e la conformazione e la posizione delle barre di armatura sono stati ulteriormente verificati e rielaborati, introducendo tutti gli accorgimenti necessari a garantire effettive condizioni di agevole messa in opera, sulla base di considerazioni proprie della pratica costruttiva e della regola dell'arte. Ciò in particolare per quanto riguarda la scelta del numero di diametri da utilizzare, con indicazione delle relative sovrapposizioni e degli ancoraggi.

Pertanto, con riferimento al paragrafo 10.2 delle NTC18, il progettista

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 55 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

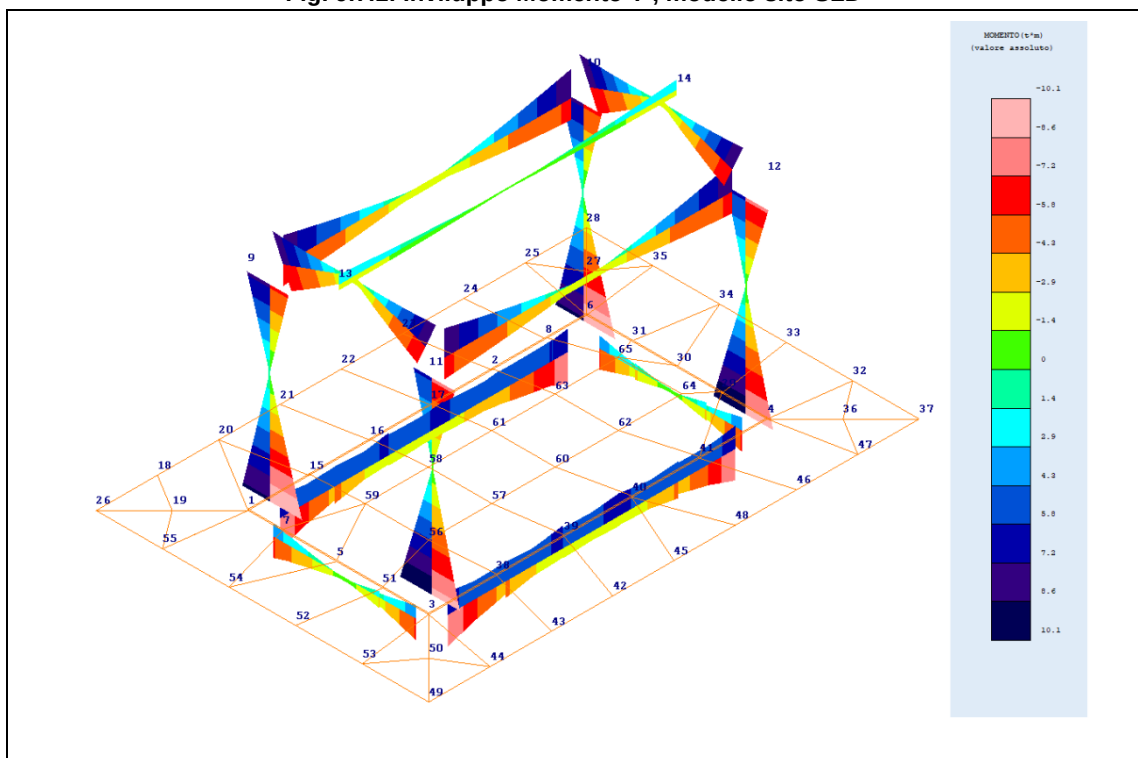
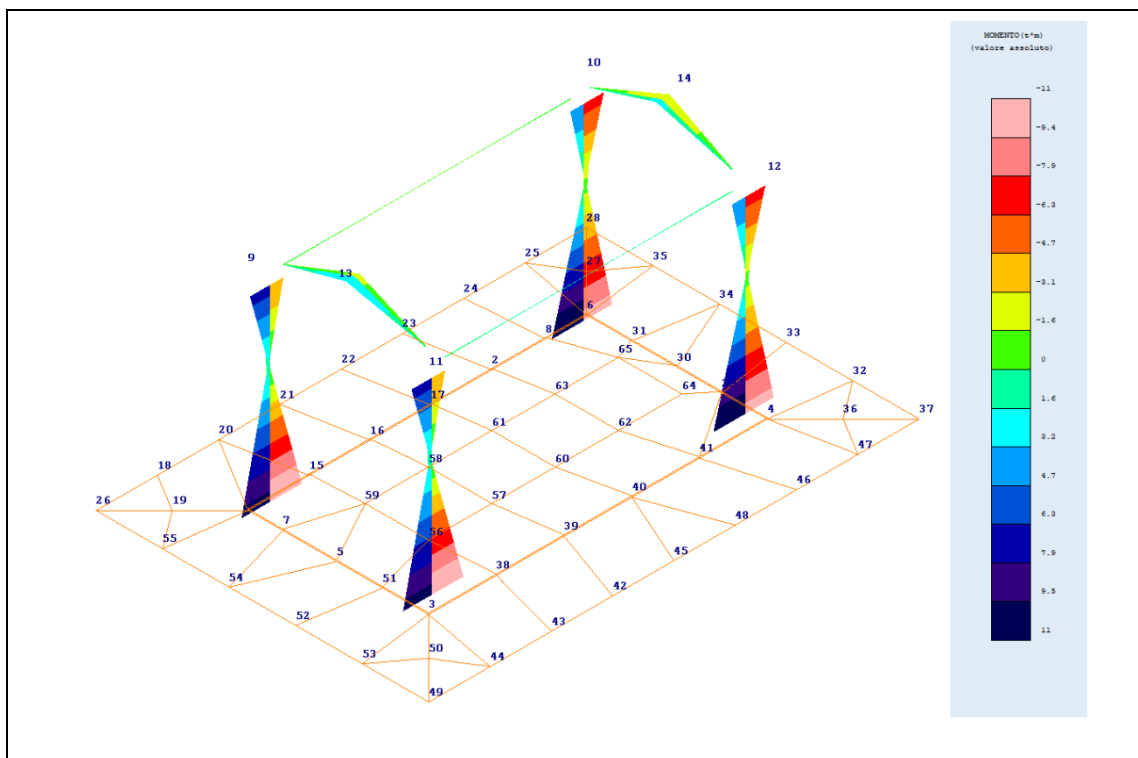
dichiara

di aver sottoposto i risultati delle elaborazioni a controlli che ne comprovano l'attendibilità; che tali valutazioni sono consistite nel confronto con i risultati di calcolazioni condotte in base ad algoritmi autonomamente sviluppati, adottati in fase di dimensionamento dell'opera; che, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi, ha valutato la correttezza delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni; che i controlli svolti sono quelli in precedenza sinteticamente illustrati e che la comparazione tra i risultati derivanti dal codice di calcolo e quelli discendenti dalle valutazioni autonomamente condotte hanno fornito esito positivo.

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 56 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

9.7 Rappresentazione grafica dei risultati



File dati: nqr20133-rel-civ-e-10698_0

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 57 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

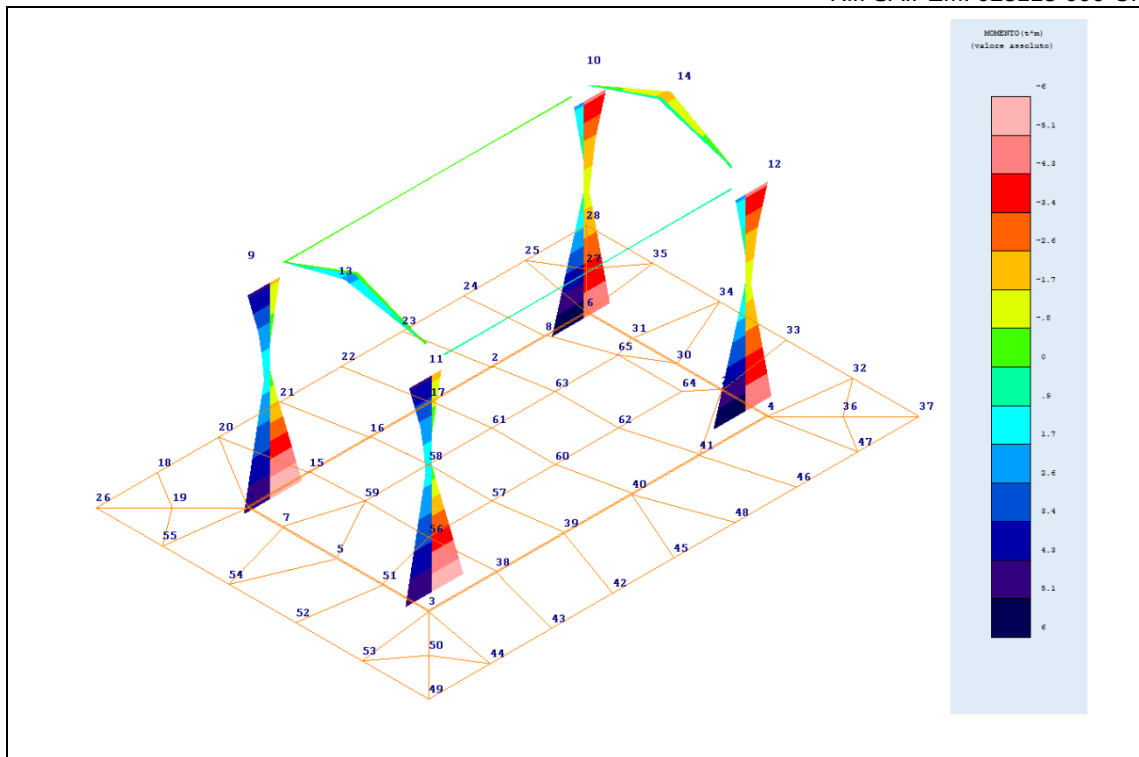


Fig. 9.7.3: Involuppo Momento Y, modello sito SLV

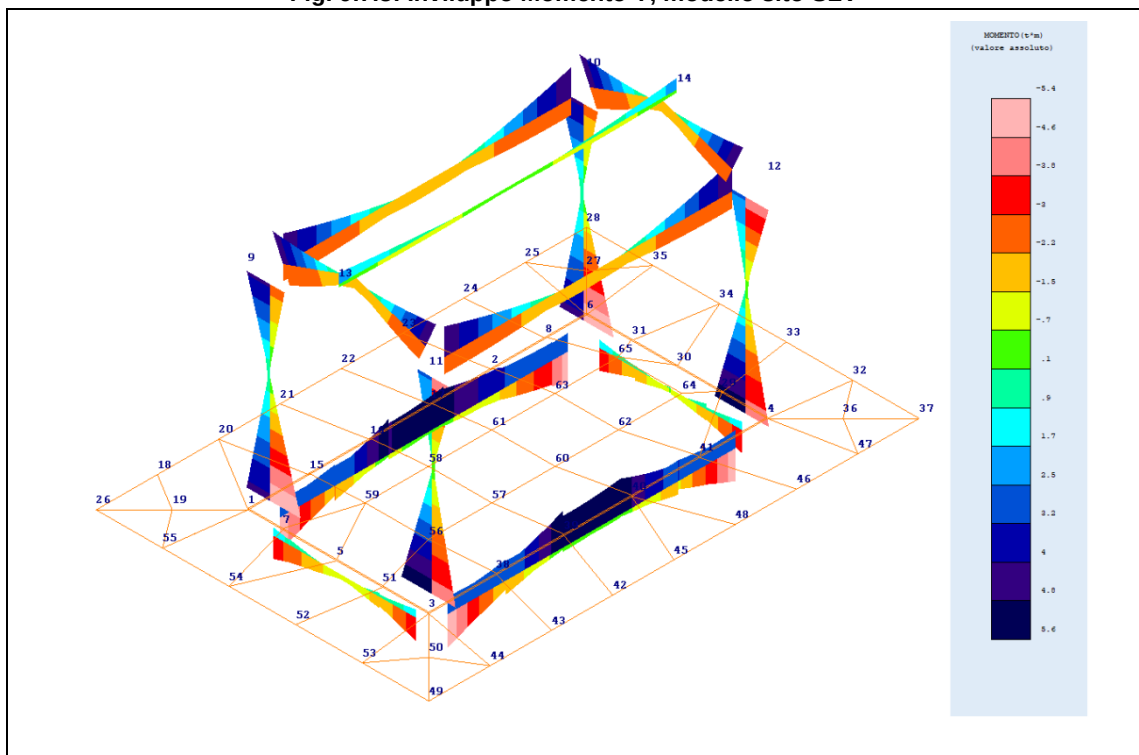


Fig. 9.7.4: Involuppo Momento X, modello sito SLV

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 58 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

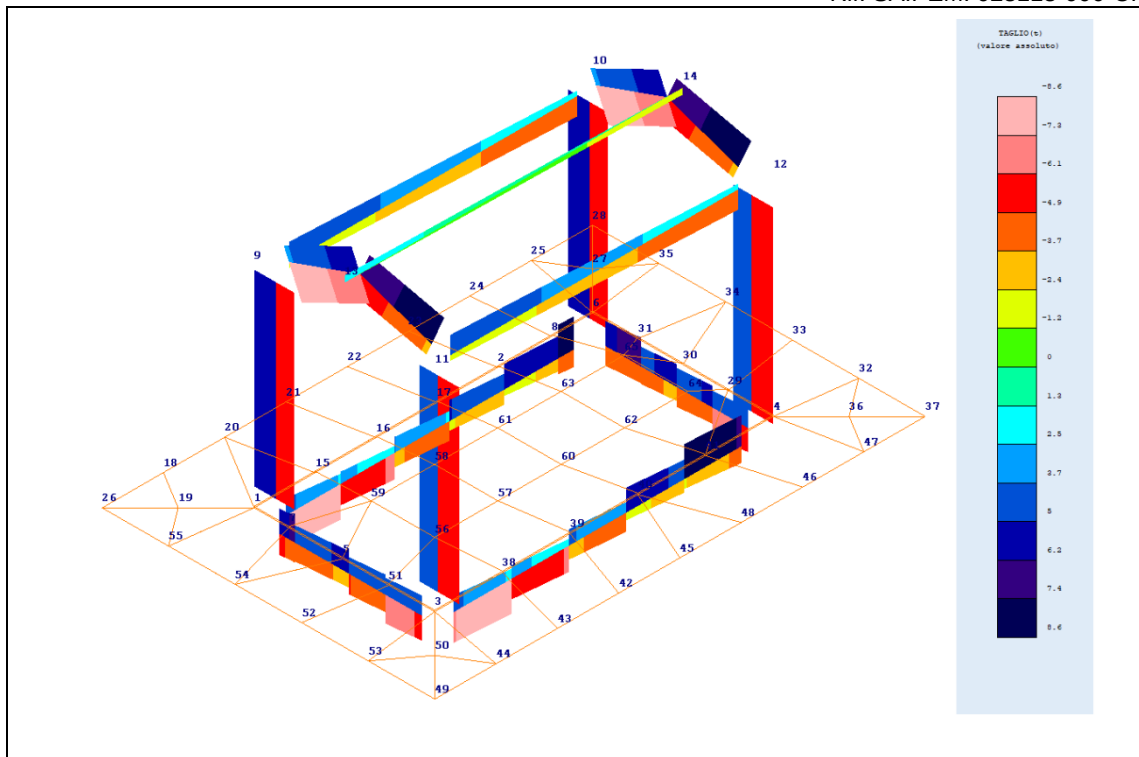


Fig. 9.7.5: Involuppo Taglio Y, modello sito SLD

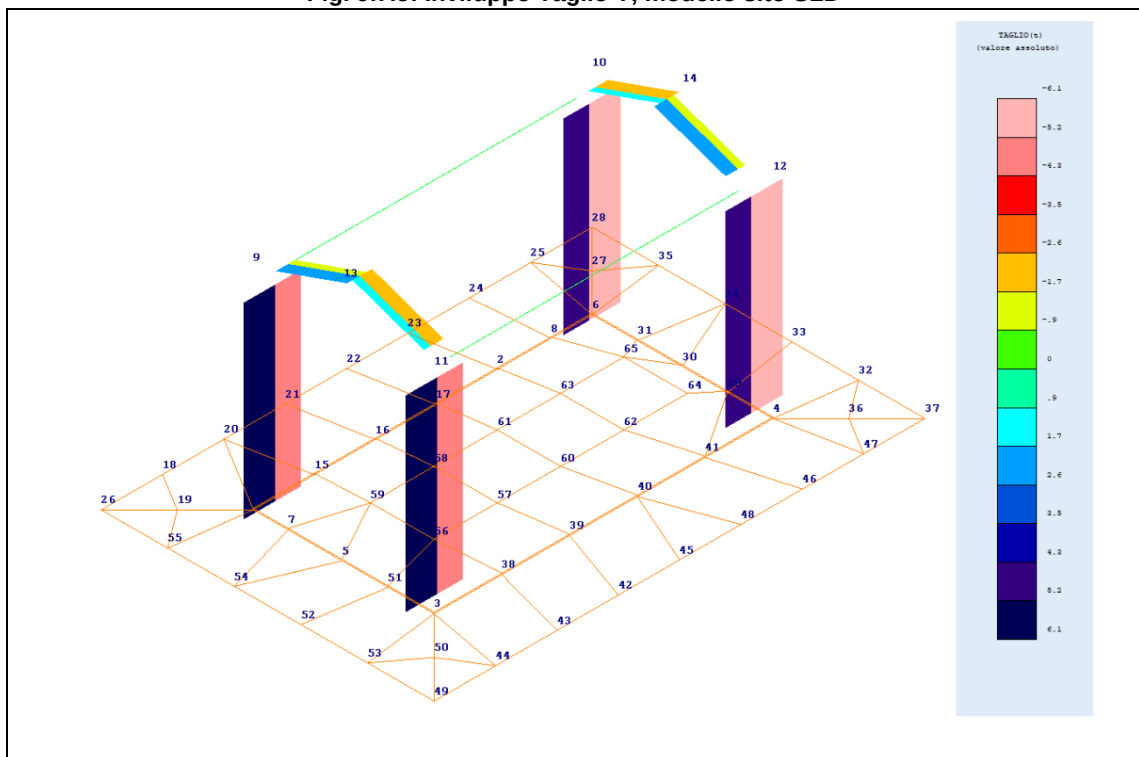


Fig. 9.7.6: Involuppo Taglio X, modello sito SLD

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 59 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

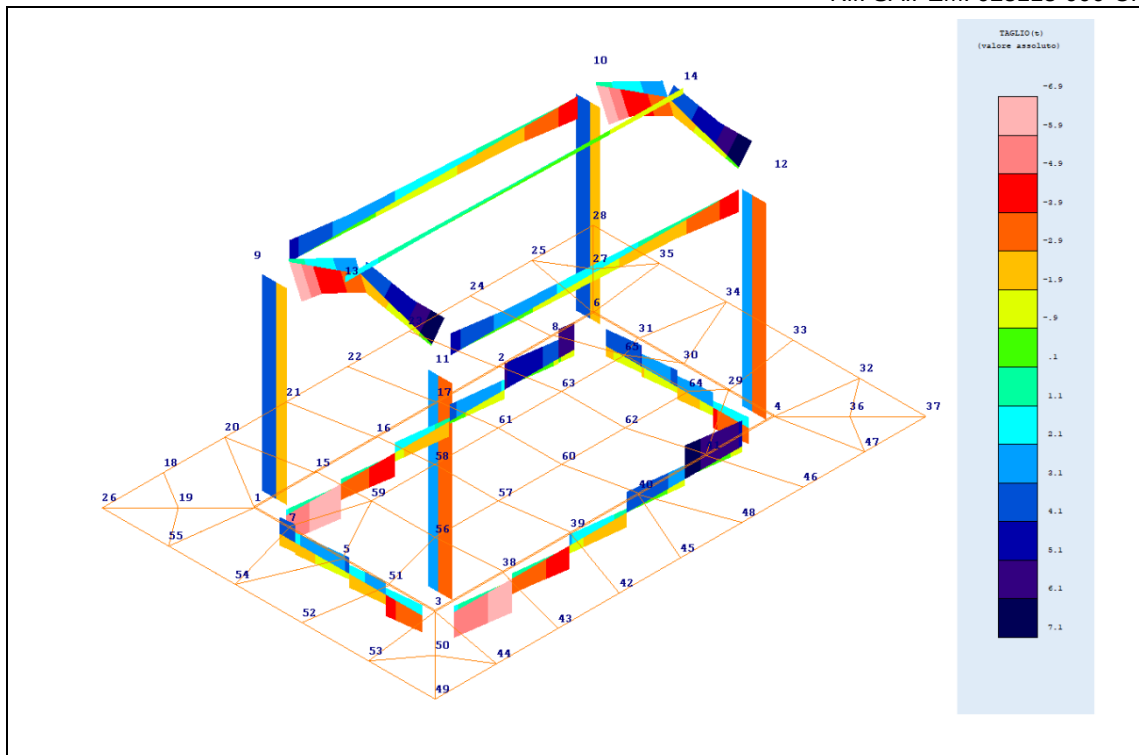


Fig. 9.7.7: Involuppo Taglio Y, modello sito SLV

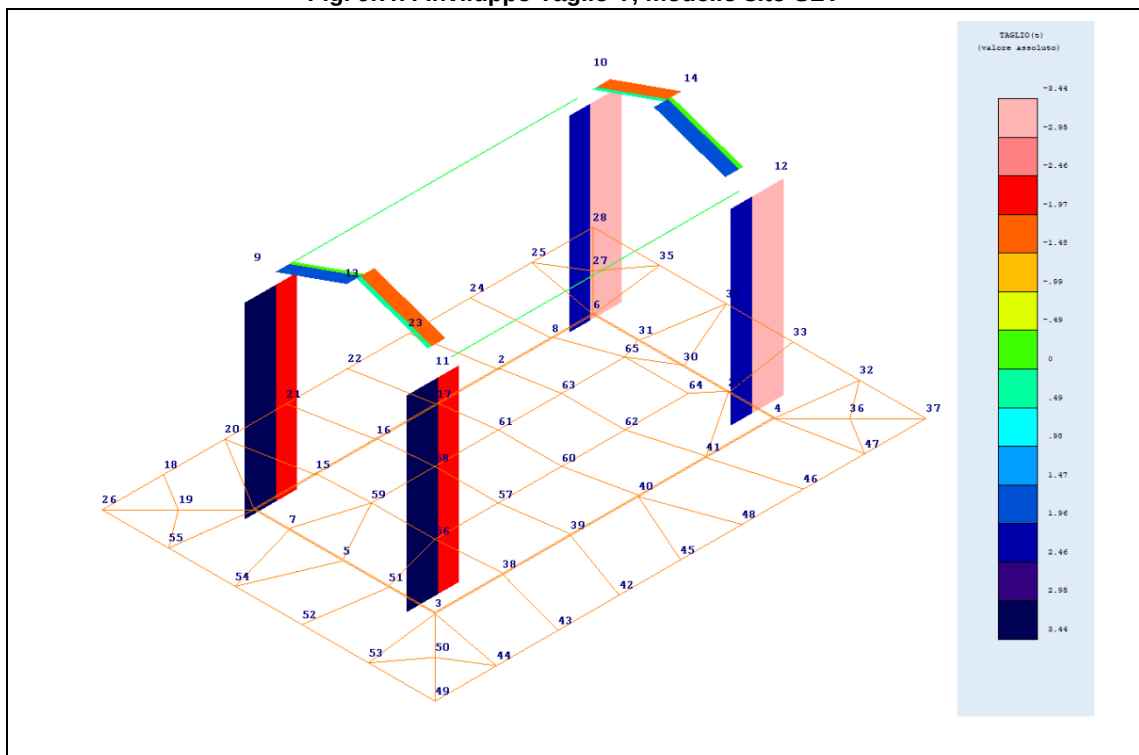


Fig. 9.7.8: Involuppo Taglio X, modello sito SLV

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 60 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

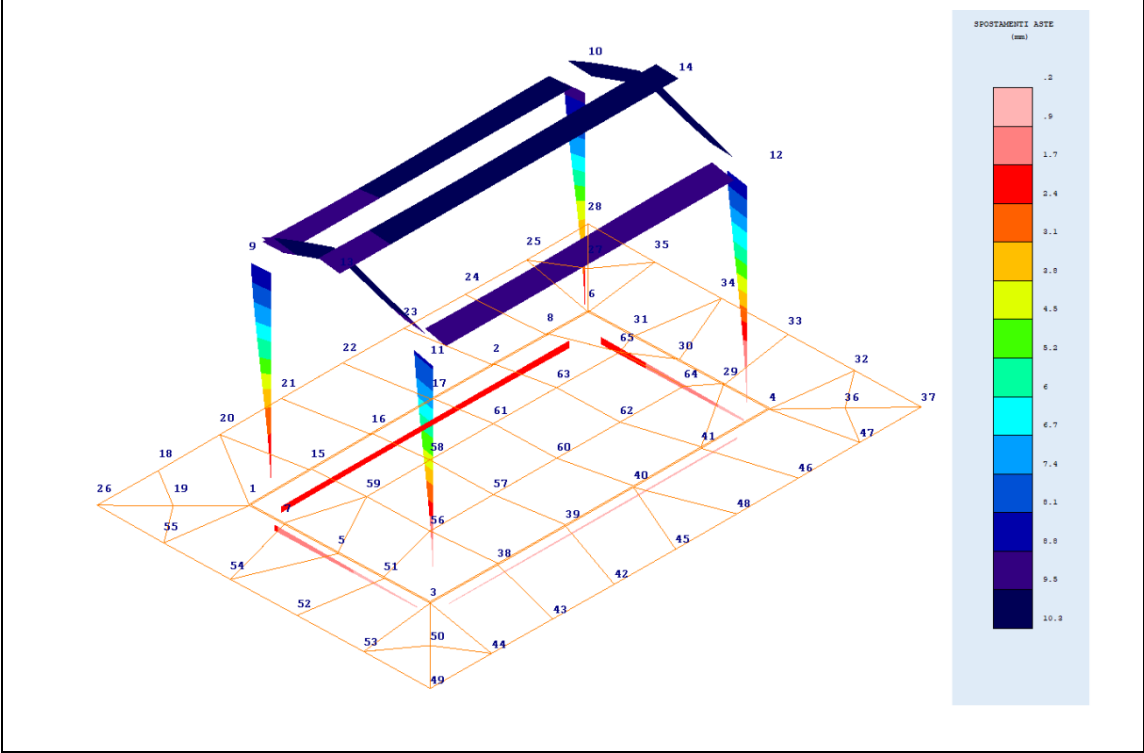


Fig. 9.7.9: Deformata spostamenti massimi, modello sito SLD (comb. 29 SLV/SLD)

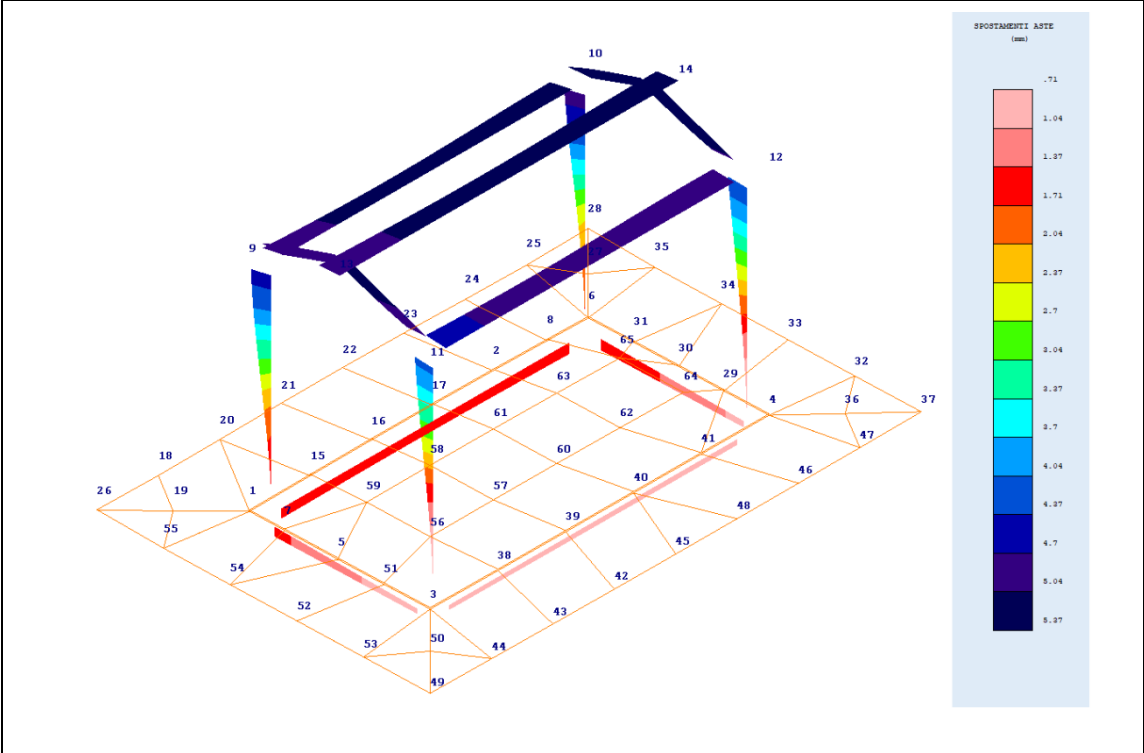


Fig. 9.7.10: Deformata spostamenti massimi, modello sito SLV (comb. 29 SLV/SLD)

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 61 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

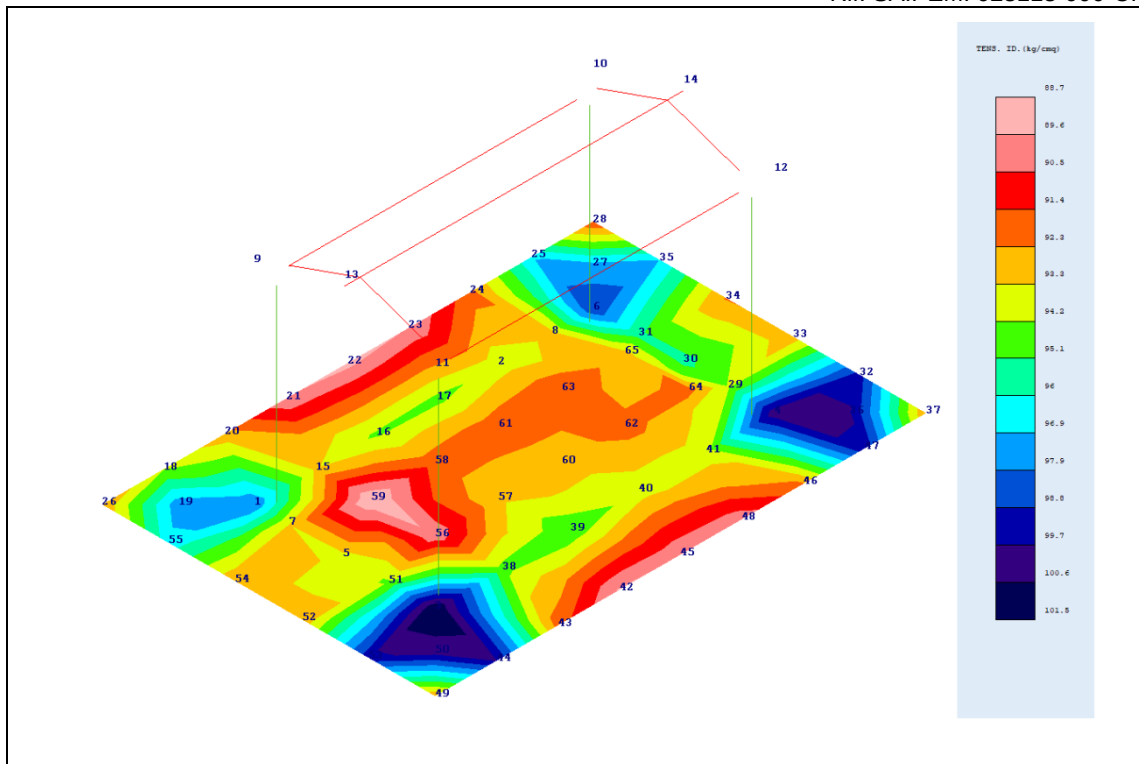


Fig. 9.7.11: Distribuzione massime tensioni ideali piastre (comb. 12 SLU)

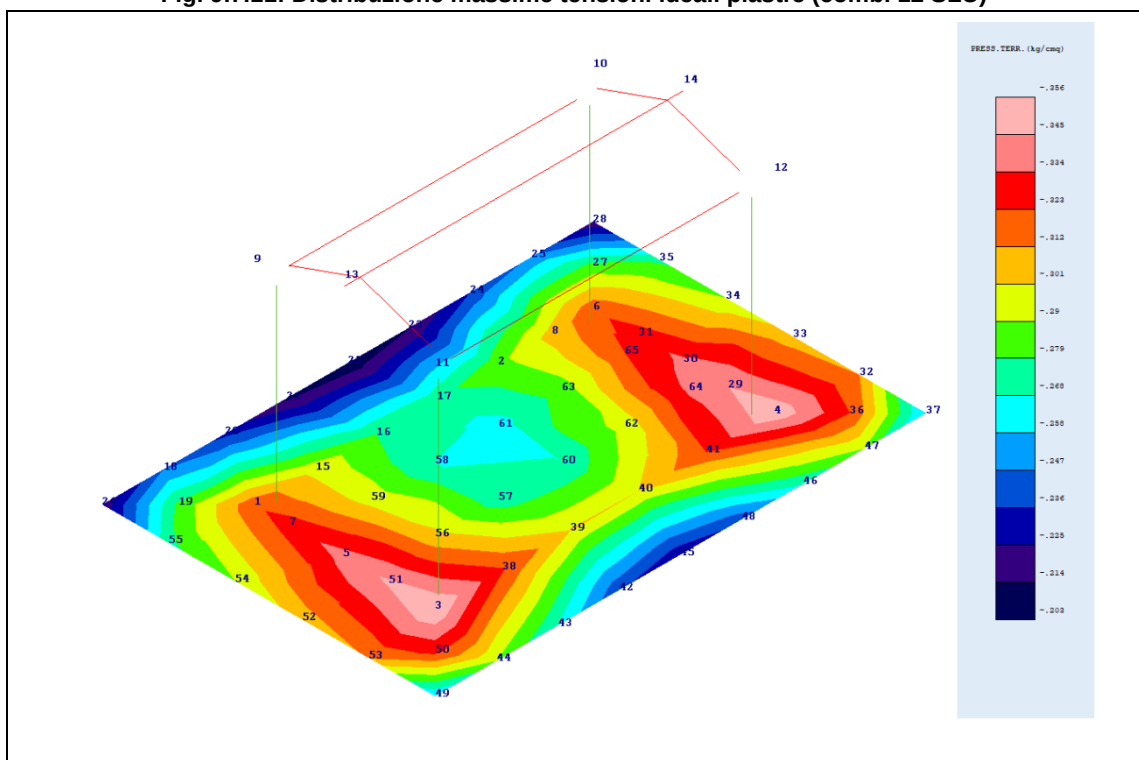


Fig. 9.7.12: Distribuzione areale massime pressioni sul terreno (comb. 4 SLU)

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 62 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

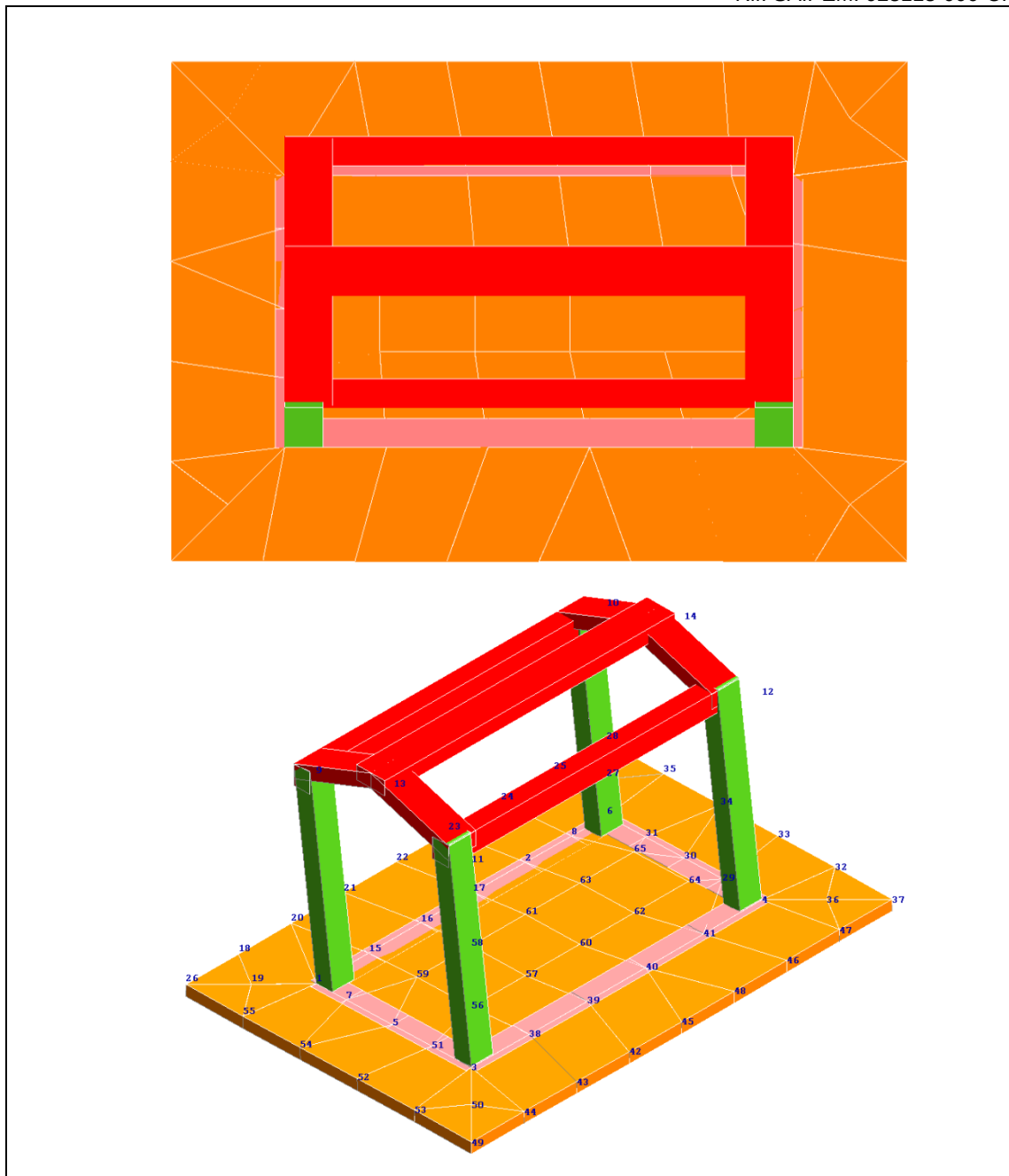


Fig. 9.7.13: Modo 1 - Traslazione in direzione Y (vista in pianta e assonometria)

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 63 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

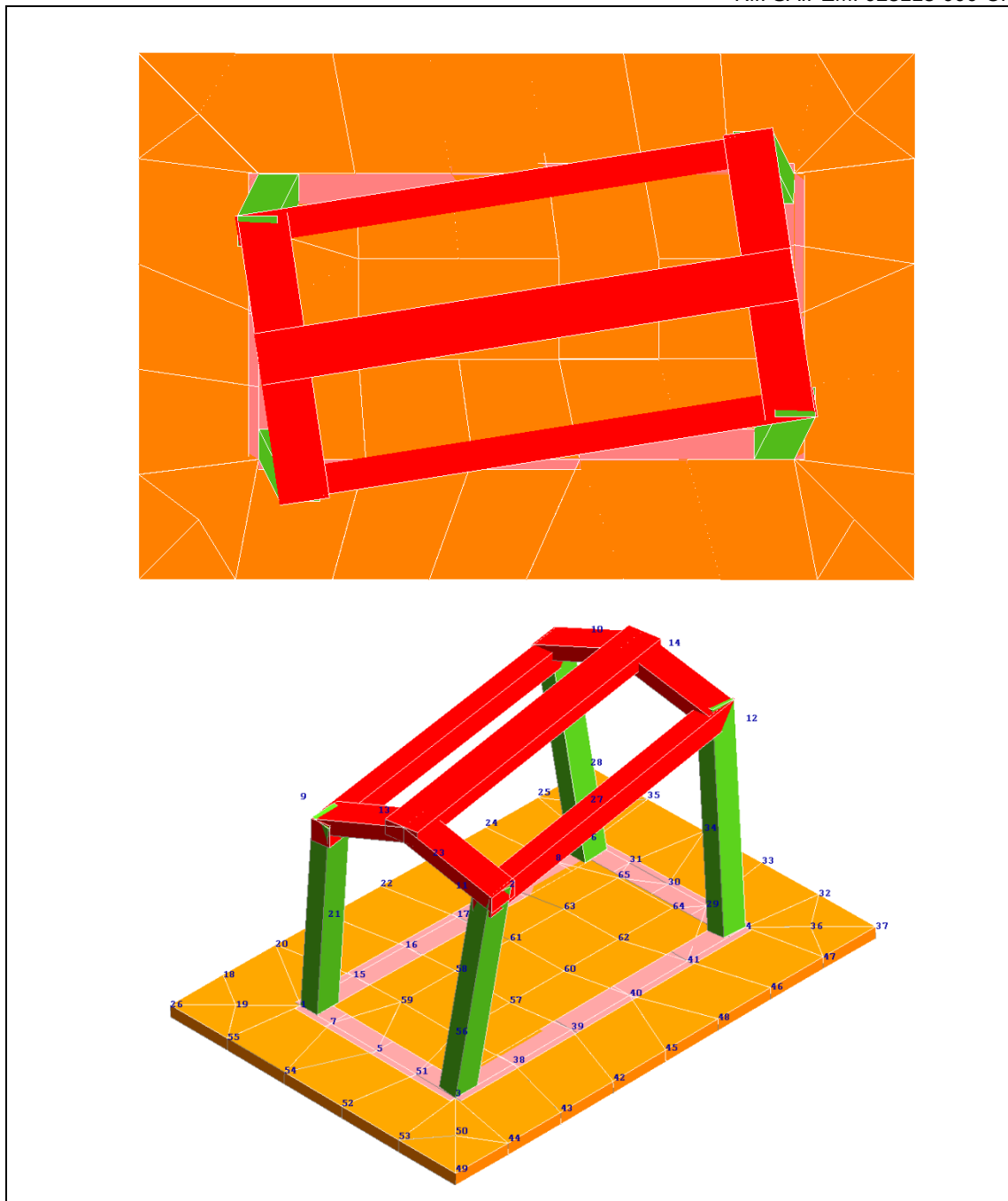


Fig. 9.7.14: Modo 2 - Rotazione intorno all'asse Z (vista in pianta e assonometria)

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 64 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

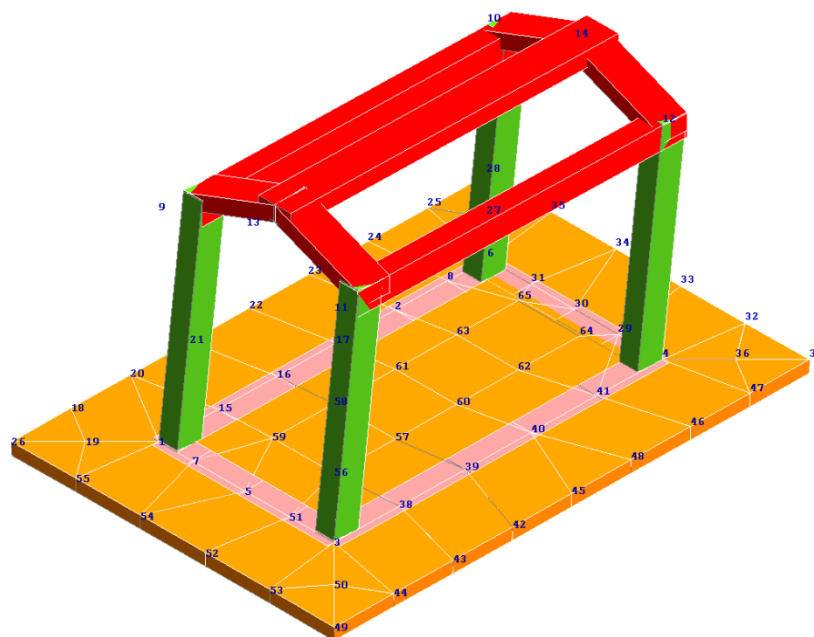
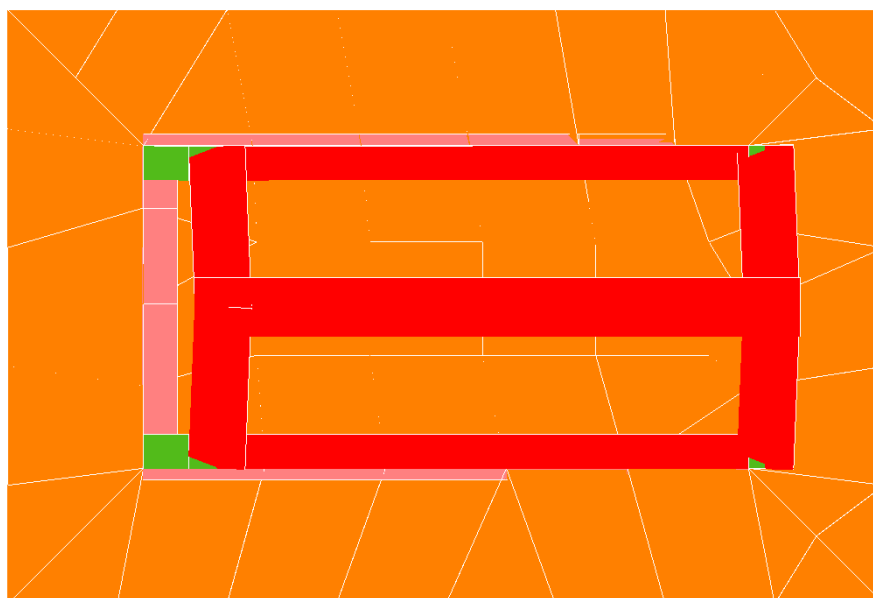


Fig. 9.7.15: Modo 3 - Traslazione in direzione X (vista in pianta e assonometria)

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 65 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

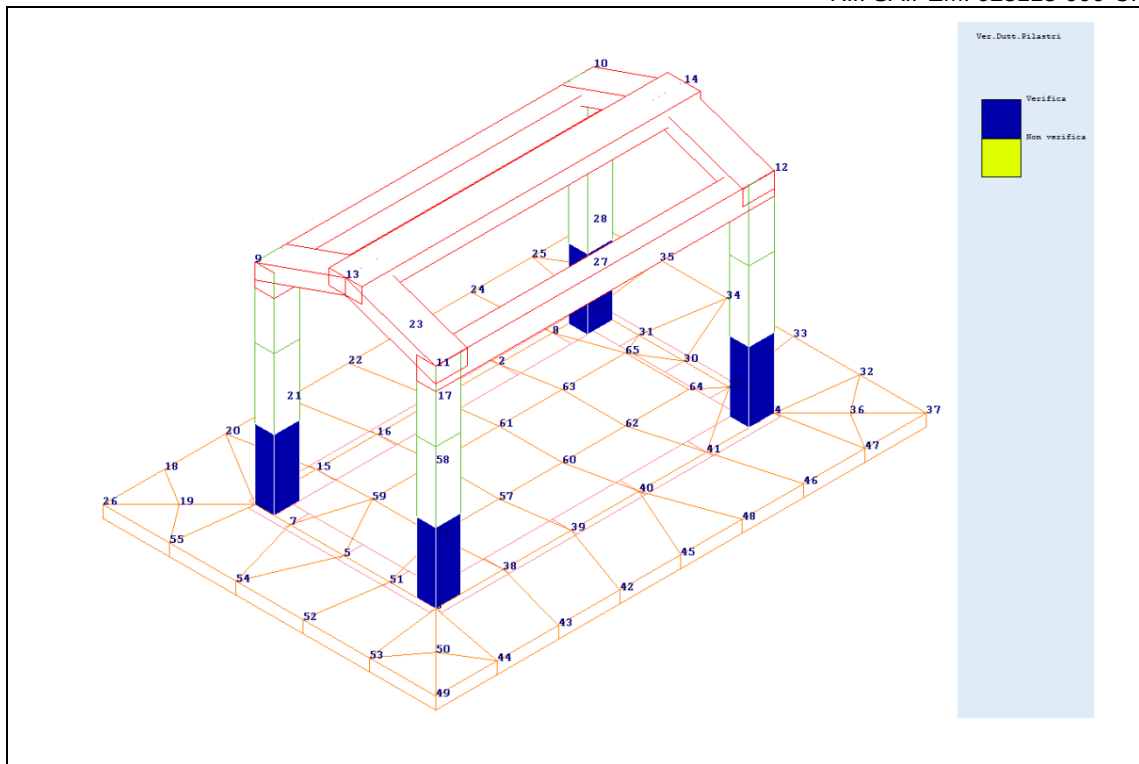


Fig. 9.7.16: Verifica di duttilità delle sezioni allo spiccatto delle fondazioni (Sito SLV)

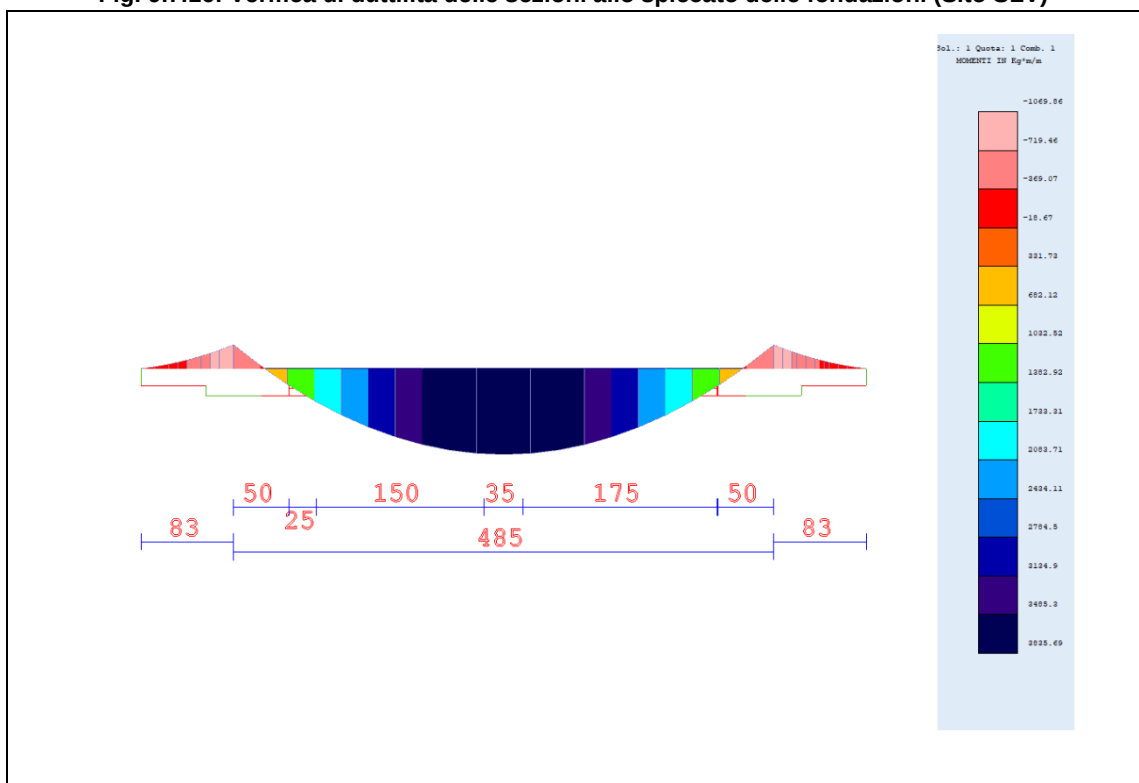


Fig. 9.7.17: Momento flettente massimo copertura (solaio 1, comb. SLU)

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 66 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

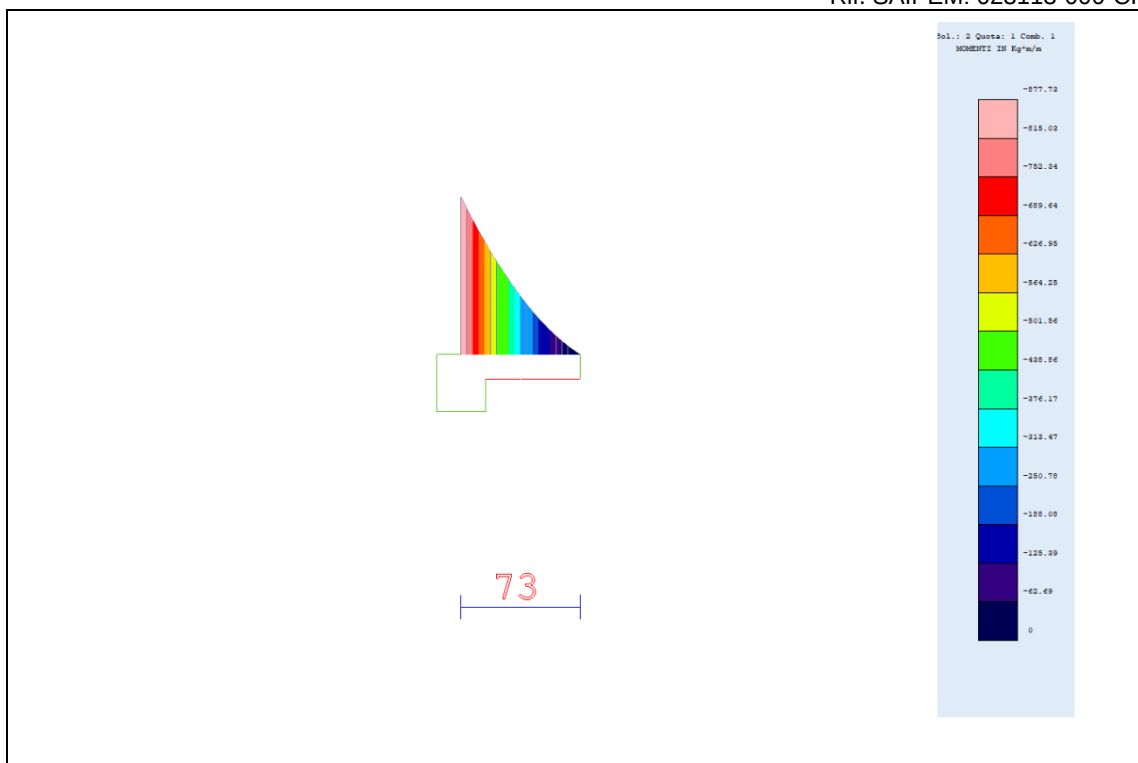


Fig. 9.7.18: Momento flettente massimo cornicione laterale (solaio 2, comb. SLU)

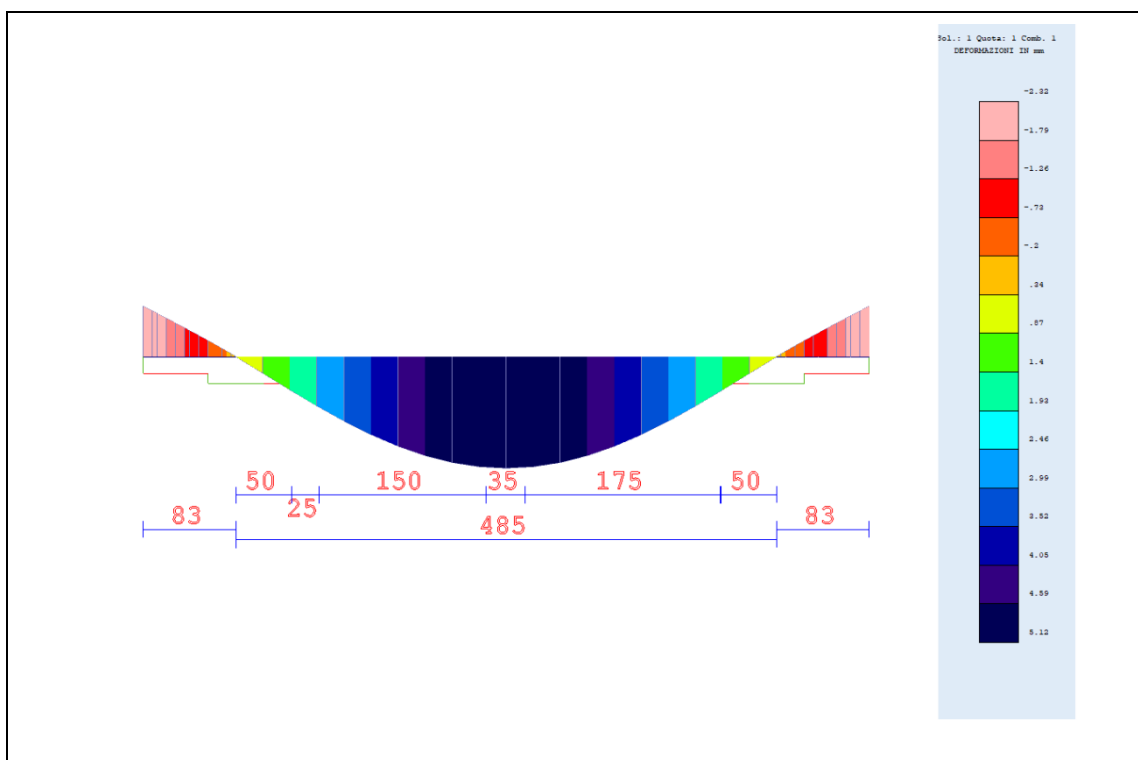


Fig. 9.7.19: Deformata massima copertura (solaio 1, comb. SLU)

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 67 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

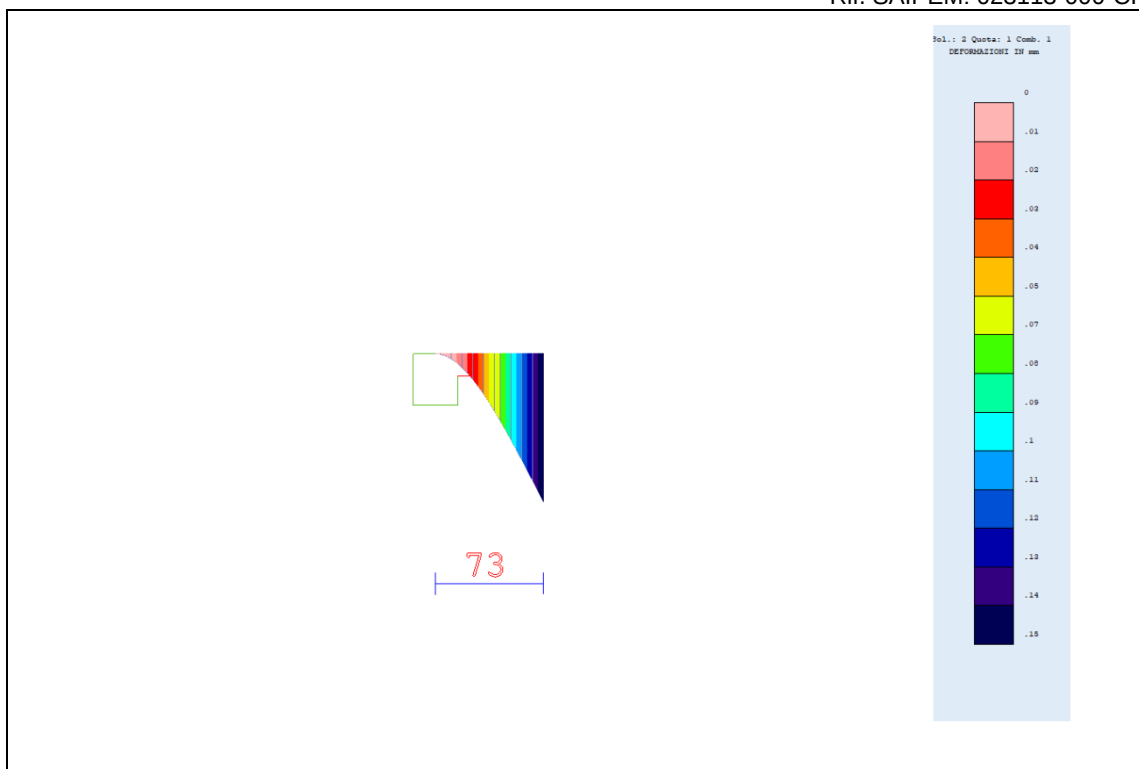


Fig. 9.7.20: Deformata massima cornicione laterale (solaio 2, comb. SLU)

	PROGETTISTA		WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ	Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO	RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 68 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

10. ATTRAVERSAMENTO CAVIDOTTI IN FONDAZIONE

In due posizioni, normalmente ortogonali tra loro e contrapposte rispetto agli assi baricentrici della costruzione, le travi perimetrali di fondazione sono interessate dall'attraversamento di un fascio tubiero, in continuità con cavidotti interrati esterni. Tali connessioni impiantistiche, di natura elettrica e di segnalazione, costituiscono elemento essenziale del sistema di telecomando e telemisura che il fabbricato è finalizzato ad accogliere¹⁰. La posizione degli attraversamenti è prevista in prossimità dei pilastri d'angolo: in planimetria, ad una distanza compresa tra 25 cm e 110 cm dal filo interno dei pilastri stessi. In altezza, la trave di fondazione risulta frazionata in due porzioni dai vani di attraversamento; porzioni rispettivamente di 20 cm e 35 cm.

La presenza di tali attraversamenti comporta una verifica puntuale della sezione "ridotta" che ne consegue. Tale verifica è così eseguita:

- si determinano le massime sollecitazioni derivanti dal calcolo generale della struttura, agenti nelle indicate porzioni delle travi di fondazione;
- si procede a verifica, attribuendo per intero tali sollecitazioni alla frazione di altezza pari a 35 cm;
- si individuano le armature minime necessarie.

I risultati generali relativi alla struttura, per come sono forniti dal codice di calcolo e per come sono stati oggetto di controllo successivo, forniscono per i due siti sismici prefissati, i valori delle sollecitazioni nei tronchi di trave di fondazione appositamente identificati, sulla base della posizione in precedenza descritta per gli attraversamenti. Tali sollecitazioni sono le massime cui può essere soggetta la sezione ridotta, a prescindere da quali siano le travi perimetrali di fondazione interessate.

VERIFICHE AZIONI S.L.V. nei due siti di calcolo (filì 12-11, 10-9)

Sito SLD																										
STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - FONDAZIONE																										
Filo Iniz. Fin. Ctg	Quota Iniz. Final	T a t	Sez Bas Alt	C o n c	VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE										VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE											
					Co Nr	GamRd	M Exd kN10m	N Ed kN*10	x/ d	sf% 100	sc% 100	Area cmq sup inf	Co Nr	V Exd kN*10	V Eyd kN*10	T Sdu kN*10	V Rxd kN*10	V Ryd kN*10	TRd kN*10	TRId kN10m	Coe Cls	Coe Sta	ALon cmq	staffe Pas Lun Fi		
10	0,00		2 1	43	1,10	2,4	0,0	19	3	1	5,6	5,6	43	0,0	3,2	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	6	7	0,0	19	42	10
9	0,00		40 3	43	1,10	2,6	0,0	19	4	1	5,6	5,6	0	0,0	0,0	0,0	19,3	35,8	11,2	0,0	0	0	0,0	25	0	10
2.5			70 5	43	1,10	2,6	0,0	19	4	1	5,6	5,6	43	0,0	2,5	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	4	5	0,0	19	42	10
12	0,00		2 1	15	1,10	-3,3	0,0	19	5	1	5,6	5,6	2	0,0	5,2	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	9	11	0,0	19	42	10
11	0,00		40 3	21	1,10	3,6	0,0	19	5	1	5,6	5,6	0	0,0	0,0	0,0	19,3	35,8	11,2	0,0	0	0	0,0	25	0	10
2.5			70 5	21	1,10	3,6	0,0	19	5	1	5,6	5,6	2	0,0	4,4	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	8	9	0,0	19	42	10

Sito SLV																										
STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - FONDAZIONE																										
Filo Iniz. Fin. Ctg	Quota Iniz. Final	T a t	Sez Bas Alt	C o n c	VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE										VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE											
					Co Nr	GamRd	M Exd kN10m	N Ed kN*10	x/ d	sf% 100	sc% 100	Area cmq sup inf	Co Nr	V Exd kN*10	V Eyd kN*10	T Sdu kN*10	V Rxd kN*10	V Ryd kN*10	TRd kN*10	TRId kN10m	Coe Cls	Coe Sta	ALon cmq	staffe Pas Lun Fi		
10	0,00		2 1	43	1,10	2,5	0,0	19	4	1	5,6	5,6	43	0,0	3,4	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	6	7	0,0	19	42	10
9	0,00		40 3	43	1,10	2,8	0,0	19	4	1	5,6	5,6	0	0,0	0,0	0,0	19,3	35,8	11,2	0,0	0	0	0,0	25	0	10
2.5			70 5	43	1,10	2,8	0,0	19	4	1	5,6	5,6	43	0,0	2,8	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	5	6	0,0	19	42	10
12	0,00		2 1	27	1,10	3,7	0,0	19	5	1	5,6	5,6	2	0,0	5,2	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	9	11	0,0	19	42	10
11	0,00		40 3	21	1,10	4,0	0,0	19	6	1	5,6	5,6	0	0,0	0,0	0,0	19,3	35,8	11,2	0,0	0	0	0,0	25	0	10
2.5			70 5	21	1,10	4,0	0,0	19	6	1	5,6	5,6	2	0,0	4,4	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	8	9	0,0	19	42	10

¹⁰ La stabilità dei cavidotti e la continuità funzionale delle connessioni è assicurata mediante la verifica dei cedimenti della struttura, come in precedenza descritto.

	PROGETTISTA		WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)		REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse		Fg. 69 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

VERIFICHE AZIONI S.L.D. nei due siti di calcolo

Sito SLD																											
STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.D. - FONDAZIONE																											
Filo Iniz Fin. Ctgè	Quota Iniz. Final t	T a	Sez Bas Alt	C o n c	VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE								VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE														
					Co Nr	GamRd	M Exd kN10m	N Ed kN*10	x/ d	sf% 100	sc% 100	Area cmq sup inf	Co Nr	V Exd kN*10	V Eyd kN*10	T Sdu kN*10	V Rxd kN*10	V Ryd kN*10	TRd kN*10	TRld kN10m	Coe Cls	Coe Sta	ALon cmq	staffe Pas Lun Fi			
10	0,00		2	1	43	1,00	2,9	0,0	19	4	1	5,6	5,6	43	0,0	3,9	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	7	8	0,0	19	42	10
9	0,00		40	3	43	1,00	3,2	0,0	19	5	1	5,6	5,6	0	0,0	0,0	0,0	19,3	35,8	11,2	0,0	0	0	0,0	25	0	10
2.5			70	5	43	1,00	3,2	0,0	19	5	1	5,6	5,6	43	0,0	3,3	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	6	7	0,0	19	42	10
12	0,00		2	1	27	1,00	4,3	0,0	19	6	2	5,6	5,6	21	0,0	4,9	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	9	10	0,0	19	42	10
11	0,00		40	3	21	1,00	4,6	0,0	19	7	2	5,6	5,6	0	0,0	0,0	0,0	19,3	35,8	11,2	0,0	0	0	0,0	25	0	10
2.5			70	5	21	1,00	4,6	0,0	19	7	2	5,6	5,6	37	0,0	4,3	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	8	9	0,0	19	42	10

Sito SLV																											
STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.D. - FONDAZIONE																											
Filo Iniz Fin. Ctgè	Quota Iniz. Final t	T a	Sez Bas Alt	C o n c	VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE								VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE														
					Co Nr	GamRd	M Exd kN10m	N Ed kN*10	x/ d	sf% 100	sc% 100	Area cmq sup inf	Co Nr	V Exd kN*10	V Eyd kN*10	T Sdu kN*10	V Rxd kN*10	V Ryd kN*10	TRd kN*10	TRld kN10m	Coe Cls	Coe Sta	ALon cmq	staffe Pas Lun Fi			
10	0,00		2	1	43	1,00	2,1	0,0	19	3	1	5,6	5,6	43	0,0	2,8	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	5	6	0,0	19	42	10
9	0,00		40	3	43	1,00	2,3	0,0	19	3	1	5,6	5,6	0	0,0	0,0	0,0	19,3	35,8	11,2	0,0	0	0	0,0	25	0	10
2.5			70	5	43	1,00	2,3	0,0	19	3	1	5,6	5,6	43	0,0	2,1	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	4	4	0,0	19	42	10
12	0,00		2	1	15	1,00	-2,9	0,0	19	4	1	5,6	5,6	21	0,0	3,9	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	7	8	0,0	19	42	10
11	0,00		40	3	21	1,00	3,0	0,0	19	4	1	5,6	5,6	0	0,0	0,0	0,0	19,3	35,8	11,2	0,0	0	0	0,0	25	0	10
2.5			70	5	21	1,00	3,0	0,0	19	4	1	5,6	5,6	37	0,0	3,3	0,0	25,4	47,1	14,7	0,0	6	7	0,0	19	42	10

Le tabelle riportate, estratte dal fascicolo dei calcoli, descrivono, per la sezione intera delle travi di fondazione (nei conci estremi ed in quello mediano):

- Filo In/Fin, nodo iniziale e nodo finale di due tronchi di fondazione, corrispondenti alle posizioni (per le corrispondenti opposte posizioni, valgono i medesimi risultati, determinati dalla simmetria geometrica della struttura e dei carichi esterni);
- Co Nr, numero della combinazione di carico che dà luogo alle sollecitazioni ultime di calcolo che inducono la massima deformazione nell'acciaio e nel calcestruzzo per la verifica a flessione;
- MExd, momento ultimo di calcolo asse X (incrementato dalla traslazione del diagramma del momento flettente), espresso in 10·kN·m;
- NEd, sforzo normale ultimo di calcolo, espresso in 10·kN;
- VExd, taglio ultimo di calcolo in direzione X, espresso in 10·kN;
- VEyd, taglio ultimo di calcolo in direzione Y, espresso in 10·kN;
- TSd, momento torcente ultimo di calcolo, espresso in 10·kN·m.

VERIFICHE S.L.E.

STAMPA VERIFICHE S.L.E. FONDAZIONE																				
FESSURAZIONE											FRECCHE		TENSIONI							
Filo N.ro	Quota (m)	Tra N.ro	Combi Caric	Fessu. mm lim cal	dist mm	Con cio	Com bin	Mf X (kN*10)*m	Mf Y (kN*10)*m	N kN*10	Frecce mm limite calc	Com bin	Combinaz Carico	σ lim. -- daN/cm ² --	σ cal.	Co nc	Comb	Mf X (kN*10)*m	Mf Y (kN*10)*m	N kN*10
10	0,00		Rara										Rara cls	150,0	48,5	5	12	1,1	0,0	-132,2
9	0,00		Freq	0,4	0,000	0	5	5	1,0	0,0	0,0		Rara fer	3600	426	5	12	1,1	0,0	-132,2
			Perm	0,3	0,000	0	4	1	0,9	0,0	0,0		Perm cls	112,0	5,9	4	1	0,9	0,0	0,0
12	0,00		Rara										Rara cls	150,0	51,5	1	10	-2,2	0,0	-132,2
11	0,00		Freq	0,4	0,000	0	1	1	-1,4	0,0	0,0		Rara fer	3600	450	1	10	-2,2	0,0	-132,2
			Perm	0,3	0,000	0	1	1	-1,0	0,0	0,0		Perm cls	112,0	6,8	1	1	-1,0	0,0	0,0

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 70 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

La tabella riportata, estratta dal fascicolo dei calcoli, descrive, per la sezione intera:

- Combi Caric, caratteristica dei valori di combinazione delle azioni;
- Mf X Momento flettente asse X, in condizioni di esercizio.

Nel Fascicolo dei calcoli e nell'elaborato grafico strutturale sono descritti i risultati e gli esiti della verifica, condotta associando contemporaneamente alla sezione ridotta del tronco di trave i seguenti valori massimi prudenziali, ottenuti opportunamente amplificando quelli derivanti dal modello strutturale e descritti nelle precedenti tabelle:

- per le verifiche SLU in termini di resistenza,
 $MExd = 50 \text{ kN}\cdot\text{m}$; $NEd = 10 \text{ kN}$; $VEyd = 55 \text{ kN}$; $TSd = 10 \text{ kN}\cdot\text{m}$;
- per le verifiche in condizioni di esercizio,
 $Mf X \text{ rare} = 25 \text{ kN}\cdot\text{m}$;
 $Mf X \text{ frequenti} = 25 \text{ kN}\cdot\text{m}$;
 $Mf X \text{ quasi permanenti} = 15 \text{ kN}\cdot\text{m}$.

A maggior chiarimento di quanto qui presentato, si chiarisce che le tabelle riportate sono righe estratte dal Fascicolo dei calcoli strutturali, relativamente alle verifiche SLU/SLV/SLD per il sito "ideale" dimensionante per le verifiche SLD, per il sito "ideale" dimensionante per le verifiche SLV, oltre che alle verifiche SLE (indipendenti dal sito di analisi sismica). Da cui si determinano le rispettive sollecitazioni massime descritte.

I fili fissi delle travi di fondazione 9, 10, 11, 12 sono stati appositamente disposti nel modello di calcolo, in corrispondenza di due delle possibili zone di passaggio condutture (lungo due lati ortogonali tra loro), secondo la lunghezza massima prevista per le esigenze impiantistiche (che potrebbe essere anche inferiore, dal punto di vista esecutivo). La posizione dei fili fissi ha riferimento nella figura 9.1.2 e, come detto, corrisponde (considerata la simmetria della struttura e dei carichi) a tutte le possibili posizioni degli attraversamenti.

Per la verifica della sezione ridotta nei due tronchi delle travi di fondazione sono stati assunti come contemporaneamente agenti le sollecitazioni derivanti anche da siti, combinazione e condizioni di verifica diverse tra loro; imponendo, come descritto in precedenza, valori massimi prudenziali, ottenuti opportunamente incrementando quelli derivanti dall'analisi del modello strutturale: per $MExd$, in luogo di 46 kN si è assunto 50 kN; per Ned , in luogo di 0,0 si è assunto 10 kN; per $VEyd$, in luogo di 52 kN si è assunto 55 kN; per TSd , in luogo di 0,0 si è assunto 10 kN, ecc. Il tutto al fine di determinare la sussistenza di idonee condizioni di fattibilità con ampio margine di sicurezza.

Nei tronchi degli attraversamenti, la sezione ridotta delle travi di fondazione, considerate soltanto per la loro porzione inferiore di altezza pari a 35 cm, risulta idonea sia in termini di resistenza sia in termini di verifica delle condizioni di esercizio, con le medesime armature previste per la sezione intera (adeguatamente rivisitate, in chiave esecutiva, per tener conto della presenza dei vani di attraversamento).

	PROGETTISTA 	WBS NQ/R20133	UNITA' 000
	LOCALITÀ Aragona (AG)	REL-CIV-E-10698	
	PROGETTO/IMPIANTO RIFACIMENTO DERIVAZIONE PER PORTO EMPEDOCLE DN 300 (12"), DP 24 bar ed opere connesse	Fg. 71 di 71	Rev. 0

Rif. SAIPEM: 023113-000-CI-E-10698

Anche per tale aspetto, gli esiti sono tali che il progetto risulta valido ed applicabile nella maggior parte del territorio nazionale ed ovviamente anche nel sito effettivo di realizzazione.