



AUTORITA' PORTUALE DI ANCONA



Progetto di fattibilità tecnica ed economica banchinamento fronte esterno molo Clementino nel porto di Ancona

Progetto:



Studio
Zoppi
INGEGNERIA
& Associati

Dott. Ing. Paolo Zoppi
Dott. Ing. Caterina Zoppi
Dott. Ing. Giuseppe Di Cosmo

Il Responsabile del Procedimento:

Dott. Ing. Gianluca Pellegrini

RELAZIONE SISMICA

base:

scala

data: giugno 2016

N.	AGGIORNAMENTI E MODIFICHE	DATA
1		
2		
3		

SOMMARIO

1. GENERALITA'	2
1.1. INTRODUZIONE	2
1.2. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	4
1.3. DOCUMENTI E RELAZIONI DI INDAGINE	4
2. AZIONI SISMICHE.....	4
2.1. PREMessa.....	4
2.2. STATI LIMITE	5
2.3. VITA NOMINALE	6
2.4. CLASSI D'USO.....	6
2.5. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA	7
2.6. DEFINIZIONE DELLA TERNA DI VALORI A_G, F_0, T^*_C	7
3. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	8
4. SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO	9
5. INDAGINI DI RIFERIMENTO.....	12
6. SPETTRI DI PROGETTO.....	18
7. COMBINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA	23
8. CONCLUSIONI	24

1. Generalita'

Nella presente relazione sismica, redatta nell'ambito del "Progetto di fattibilità tecnica ed economica banchinamento fronte esterno molo Clementino di Ancona", vengono trattate le problematiche connesse alla classificazione sismica del territorio ai fini della determinazione di parametri utili per le verifiche sismiche delle strutture oggetto della progettazione.

Il progetto in esame riguarda la possibilità di banchinare e di allargare lo spazio di calata del lato esterno del Molo Clementino, oggi non attraccabile in quanto protetto da una mantellata in massi di cls., in maniera da realizzare un fronte di lunghezza idonea alla ricettività delle unità navali di medie e grandi dimensioni.

Verranno evidenziati dapprima i parametri generali legati alla sismicità dell'area dell'intervento o di aree vicine, per poi passare al livello di importanza delle opere e scendere infine nel dettaglio dello spettro sismico di progetto.

Quanto segue è redatto sulla base di documentazione esistente e va considerato un contributo all'inquadramento delle problematiche, da integrare in sede di progettazione definitiva ed esecutiva con indagini settoriali specifiche.

1.1. Introduzione

Le Marche rappresentano una regione storicamente sismica, come d'altra parte il più generale contesto italiano. Tale fenomeno si colloca in un quadro di movimenti tettonici legati all'orogenesi alpina non ancora esaurita. Alla base dei terremoti che investono la nostra regione è un complesso sistema di faglie che, rilasciando la tensione che vi si accumula, generano onde sismiche.

L'area in oggetto ricade nella fascia di zonazione sismogenetica n. 917 (Figura 1), caratterizzata da un regime tettonico debolmente compressivo in atto (Figura 2), con meccanismi di rottura prevalenti per thrust (sovrascorrimenti) e subordinatamente per strike-slip (movimenti trascorrenti) nelle zone di snodo.

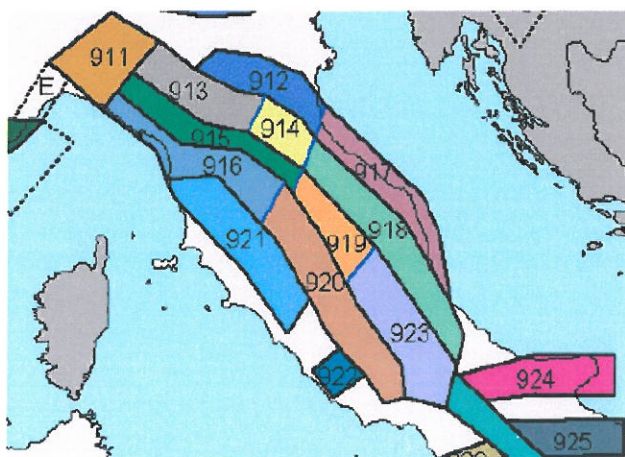


Figura 1. Zonazione sismogenetica.

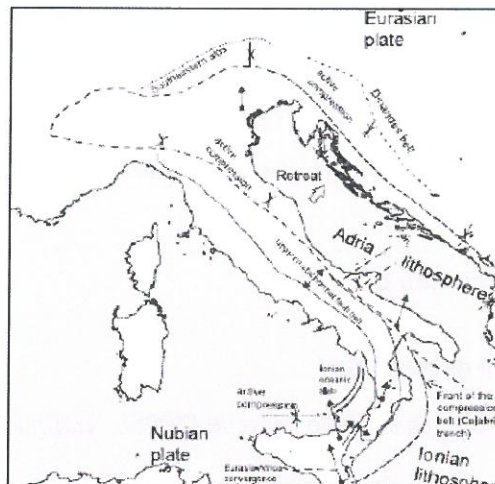


Figura 2. Regime tettonico.

Le principali sorgenti sismogenetiche sono in relazione con tali superfici di rottura. La classe di profondità delle sorgenti della zona 917 è 5-8 km, la distanza ipocentrale in cui si addensano statisticamente la maggior parte dei terremoti è valutata essere attorno ai 7 km. Le sorgenti sismogenetiche più occidentali (zonazione 918 ed oltre) lungo la catena appenninica (legate a regimi tettonici differenti) sono più profonde (12 – 20 km con profondità efficace attorno ai 13 km) ed intense e fanno pesantemente risentire gli effetti anche nell'area in oggetto.

La provincia di Ancona ha risentito di molti sismi di elevata intensità fin dall' antichità, con aree sismogenetiche localizzate principalmente nell'appennino fabrianese, sulla costa (con epicentri principali: Senigallia, Ancona e Numana) ed in mare. Epicentri si sono registrati anche nelle zone collinari e pedemontane: Jesi, Cupramontana, Apiro e Loreto (dal "Catalogo dei terremoti italiano dall' anno 1000 al 1980" del C.N.R. e successivi aggiornamenti del Servizio Sismico Nazionale CPTI04, DBMI04 e DBMI07). Si riportano di seguito i sismi di elevata intensità con epicentro in un intorno significativo dell'area in oggetto (Figura 3).

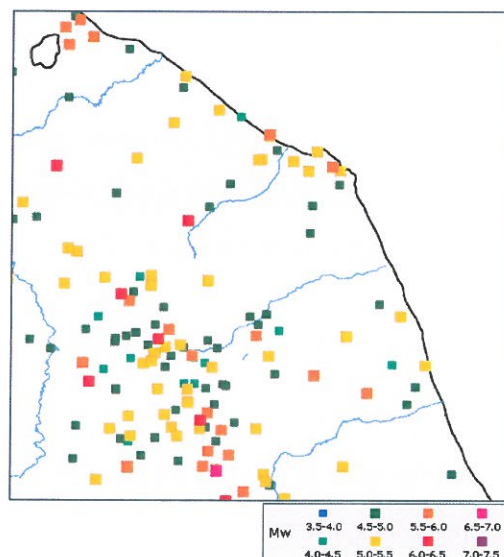


Figura 3. Mappa degli epicentri dei terremoti i cui dati compongono DBMI07 beta 1.

1.2. Quadro normativo di riferimento

Per la redazione della presente relazione, si è fatto riferimento alle seguenti norme:

- *DM.14/01/2008 - "Norme tecniche delle Costruzioni (NTC)";*
- *CIRCOLARE 2 Febbraio 2009, n° 617 – Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";*
- *Eurocodici in versione normata UNI.*

1.3. Documenti e relazioni di indagine

- *Eucentre e Università Politecnica delle Marche [2006], "Definizione dell'imput sismico per il porto di Ancona";*
- *Eucentre [2015], "Porto di Ancona – indagini geofisiche sulla banchina 26 "Darsena Marche" – Relazione tecnica, indagine sismica tomografica.*
- *Dott. Geol. Fabio Vita, "Rapporto geologico" del progetto "interventi strutturali banchine 6 e 7".*

2. Azioni Sismiche

2.1 Premessa

Le norme NTC 2008 prevedono che l'azione sismica sia caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti.

Le azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate di spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

La normativa adottata (D.M. 14/01/08 Testo Unico – Norme tecniche per le costruzioni) suddivide il territorio nazionale in un reticolo di punti di coordinate geografiche assegnate.

Per ogni punto del reticolo vengono assegnate le 9 terne di valori:

$$a_g \quad F_o \quad T_c^*$$

per i periodi di ritorno (T_r) di riferimento dove:

a_g è l'accelerazione orizzontale massima al sito su suolo di riferimento rigido;

F_o è il fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c^* è il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

a_g è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento, attualmente fornita dallo INGV, mentre F_o e T_c^* sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dalle NTC approssimino al meglio i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento derivanti dalla pericolosità di riferimento.

La posizione geografica di riferimento in cui è localizzata l'opera, del comune di Ancona, rientra all'interno di una specifica quaterna di punti notevoli del reticolo.

Interpolando i valori si ottengono le terne di valori per i periodi di ritorno di riferimento specifiche per il comune in oggetto:

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0,042	2,458	0,277
50	0,057	2,563	0,276
72	0,070	2,490	0,285
101	0,086	2,438	0,281
140	0,101	2,459	0,285
201	0,120	2,448	0,286
475	0,174	2,454	0,295
975	0,229	2,487	0,308
2475	0,320	2,506	0,317

Tabella 1. Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento.

Nei confronti delle azioni sismiche, gli stati limite di esercizio ed ultimi sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

2.2 Stati limite

Gli stati limite di esercizio sono:

- *Stato Limite di Operatività (SLO)*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- *Stato Limite di Danno (SLD)*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- *Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)*: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti

strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali sismiche orizzontali;

- *Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)*: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

2.3 Vita nominale

La vita nominale di un'opera V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere utilizzata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella tabella seguente:

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie. ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Tabella 2 Riferimento Tab. 2.4.1 D.M. 14/01/2008.

2.4 Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi così come definite di seguito:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001 n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione di strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

2.5 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Per la scelta del periodo di ritorno da utilizzare, intervengono 2 fattori: la valutazione del periodo di riferimento (V_R) e la probabilità di superamento dello stato limite di progetto, in altre parole la richiesta prestazionale che la struttura deve soddisfare.

2.5.1 Periodo di riferimento V_R

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascuna costruzione, moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito in funzione della classe d'uso secondo i valori riportati di seguito:

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0.7	1.0	1.5	2.0

Tabella 3 Riferimento Tab. 2.4.II D.M. 14/01/2008.

2.5.2 Probabilità di superamento dello stato limite richiesto

Le probabilità di superamento nei periodi di riferimento P_{V_R} cui riferirsi per individuare l'azione sismica per gli stati limite considerati sono riportate nella Tabella 4:

Stati Limite		P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 4 Riferimento Tab. 3.2.I D.M. 14/01/2008.

Nelle NTC 08, al capitolo 7.1, sotto l'effetto dell'azione sismica si considerano rispettati tutti gli stati limite di esercizio qualora sia rispettato il solo SLD.

Per le verifiche in termini di stati limite ultimi è sufficiente rispettare il solo SLV.

2.6 Definizione della terna di valori a_g , F_0 , T_c^*

In ultima analisi, le scelte progettuali introdotte ai due paragrafi precedenti, definiscono la massima accelerazione orizzontale al sito su suolo di riferimento rigido:

Comune di Ancona

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLO	120	0,094	2,449	0,283
SLD	201	0,120	2,448	0,286
SLV	1898	0,291	2,501	0,314
SLC	2475	0,320	2,506	0,317

Tabella 5. Parametri calcolati con foglio di calcolo "Spettri NTC ver. 1.0.3" del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

3. Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche

Le condizioni del sito di riferimento rigido in generale non corrispondono a quelle effettive. È necessario, pertanto, tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale. Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della *risposta sismica locale*. Le modifiche sopra citate corrispondono a:

- *Effetti stratigrafici*, legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno;
- *Effetti topografici*, legati alla configurazione topografica del piano campagna. La modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno va attribuita alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche ed all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello diffratto.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende dunque necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, come riportate nelle seguenti tabelle:

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

Tabella 6. Riferimento Tab. 3.2.II D.M. 14/01/2008.

Categoria	Descrizione
S1	<i>Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.</i>
S2	<i>Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.</i>

Tabella 7. Riferimento Tab. 3.2.III D.M. 14/01/2008.

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensitività possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

In riferimento alle possibili configurazioni topografiche si può fare riferimento alla seguente classificazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 8. Riferimento Tab. 3.2.IV D.M. 14/01/2008.

4. Spettro di risposta elastico

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali X ed Y è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale ed è definito dalle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

Nelle quali T ed S_e sono, rispettivamente, il periodo di vibrazione e l'accelerazione spettrale orizzontale, S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la seguente relazione:

$$S = S_S \cdot S_T$$

Essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica ed S_T è il coefficiente di amplificazione topografica, definiti nelle seguenti tabelle:

Categoria sottosuolo	S_S
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$

Tabella 9. Riferimento Tab. 3.2.V D.M. 14/01/2008.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 10. Riferimento Tab. 3.2.VI D.M. 14/01/2008.

Nelle espressioni dello spettro elastico, inoltre, η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$$

Dove ξ (espressa in percentuale) è valutata sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione; F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale; T_c è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

Dove T_c^* è il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale e C_c è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo tabellato come segue:

Categoria sottosuolo	C_c
A	1,00
B	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Tabella 11. Riferimento Tab. 3.2.V D.M. 14/01/2008.

$T_B = T_C/3$ è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante; T_D , infine, è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$$

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale Z è definito dalle seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\ T_C \leq T < T_D & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

Nelle quali T e S_{ve} sono, rispettivamente, il periodo di vibrazione e l'accelerazione spettrale verticale, mentre F_v è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

Per la componente verticale del sisma, i valori di S_s , T_B , T_C e T_D , sono riportati di seguito:

Categoria di sottosuolo	S_s	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1.0	0.05 s	0.15 s	1.0 s

Tabella 12. Riferimento Tab. 3.2.VII D.M. 14/01/2008.

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata.

Per gli stati limite ultimi, ai fini del progetto o della verifica delle strutture le capacità dissipative delle strutture possono essere messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovraresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni. In tal caso, lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata, con le

ordinate ridotte sostituendo nelle formule γ con $1/q$, dove q è il fattore di struttura, funzione della tipologia strutturale dell'opera. Si assumerà comunque $S_d(T) \geq 0,2 \cdot a_g$

5. Indagini di riferimento

La classificazione della categoria di sottosuolo si effettua sulla base della velocità equivalente della propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità¹.

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ è definita dall'espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \left(\frac{m}{sec} \right)$$

Mentre la resistenza penetrometrica dinamica equivalente $N_{SPT,30}$ è definita dall'espressione:

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1}^M h_i}{\sum_{i=1}^M \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}$$

In cui:

- h_i spessore in metri dell'*i*-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio dell'*i*-esimo strato;
- $N_{SPT,i}$ numero di colpi N_{SPT} dell'*i*-esimo strato;
- N numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;
- M numero di strati di terreni a grana grossa compresi nei primi 30 m di profondità.

Ai fini della classificazione sismica del sito, per caratterizzare i terreni e quindi stabilire la categoria di suolo, si fa riferimento alle indagini e prove eseguite sul sito in oggetto nel 2006 da Eucentre e Università Politecnica delle Marche nell'ambito della "Definizione dell'input sismico per il porto di Ancona", da Eucentre nel 2015 nell'ambito delle "Indagini geofisiche sulla banchina 26 "Darsena Marche" e dal Dott. Geol. Fabio Vita nell'ambito del progetto "interventi strutturali banchine 6 e 7".

In particolare, nell'indagine del 2006 si è fatto riferimento ai risultati delle seguenti prove:

- 4 sondaggi meccanici, tre dei quali spinti fino alla profondità di 40 ed uno sino a 50 m;
- 4 prove penetrometriche statiche (CPT), spinte a rifiuto, che hanno raggiunto profondità variabili da 23 a 25.4 m dal p.c.
- 4 indagini geofisiche in foro di tipo cross-hole, che hanno fornito informazioni sul profilo di velocità V_p e V_s nel sottosuolo.

¹ Nel caso in cui tale determinazione non è disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente ai colpi della Prova Penetrometrica Dinamica (SPT) $N_{SPT,30}$ nei terreni a grana grossa.

- *prove geotecniche di laboratorio eseguite su campioni prelevati in sito.*

Tra i risultati delle prove effettuate quelli utili al presente studio per la valutazione di risposta sismica locale sono i risultati delle prove CPT e i profili di velocità delle onde di taglio V_s desunti dalle prove geofisiche cross-hole.

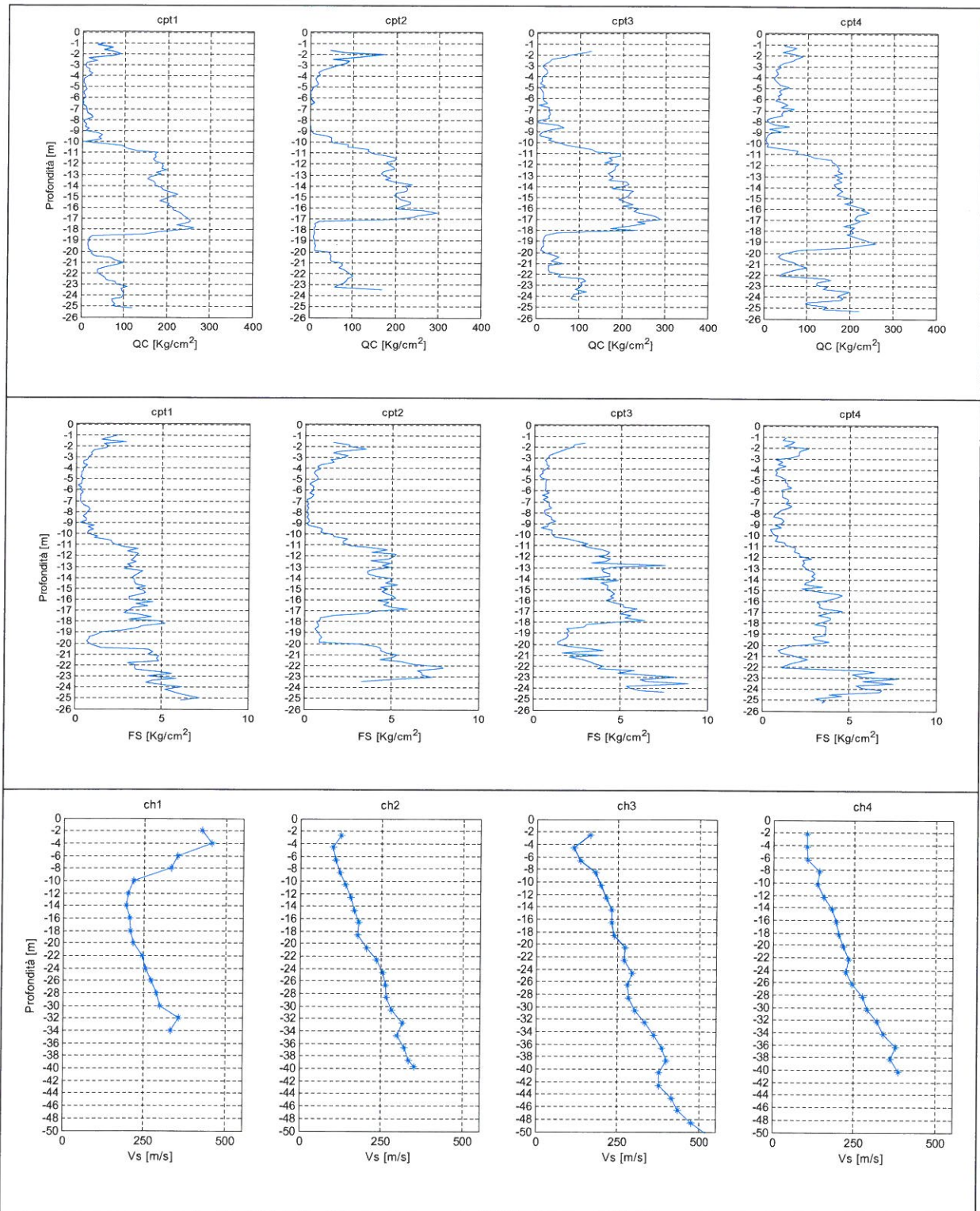
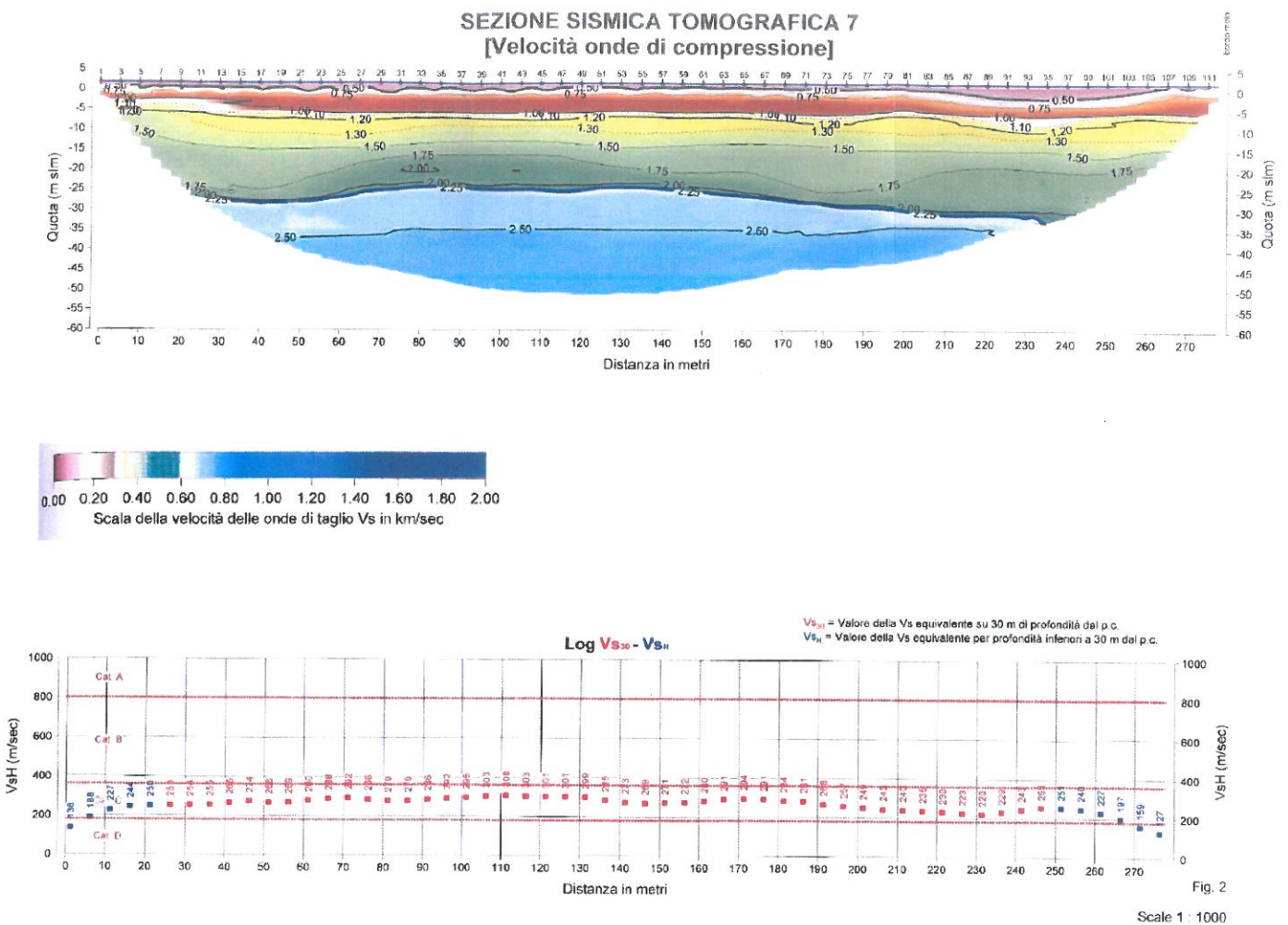
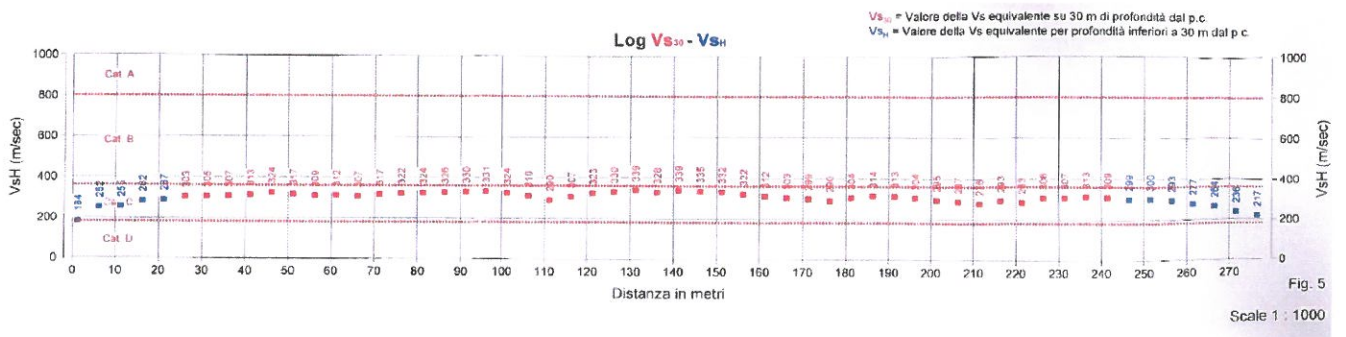
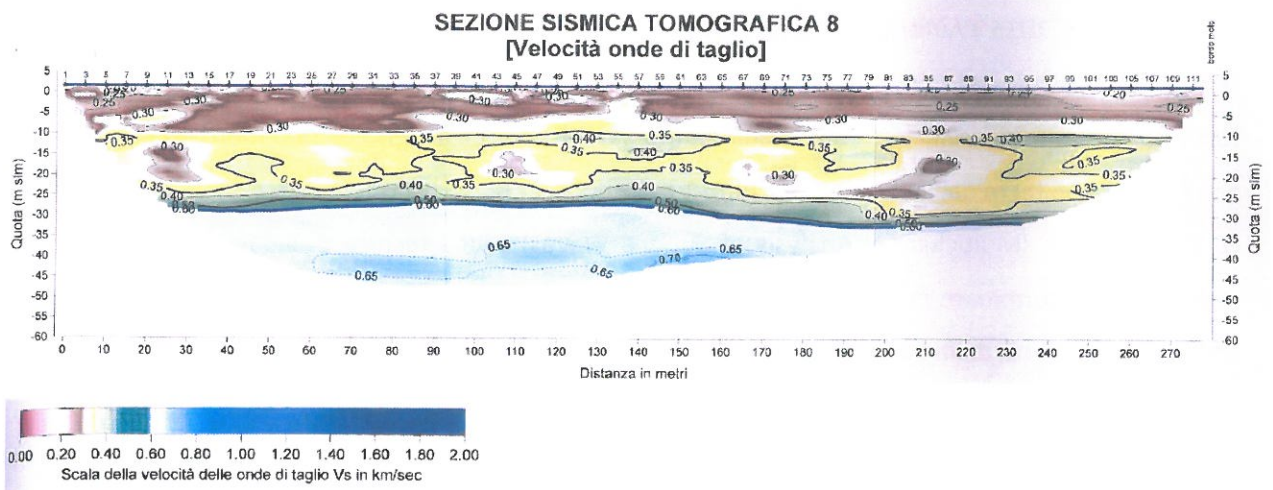
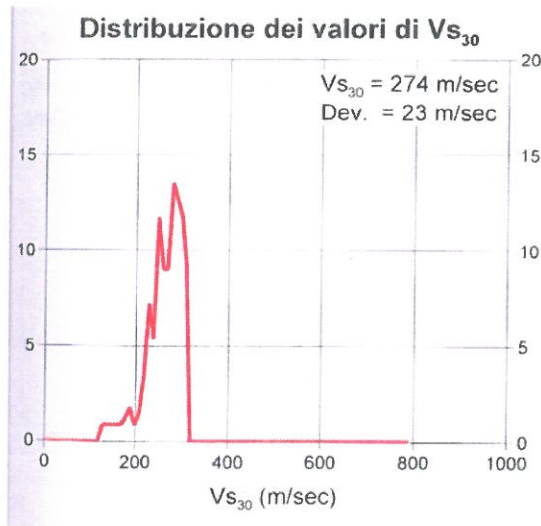


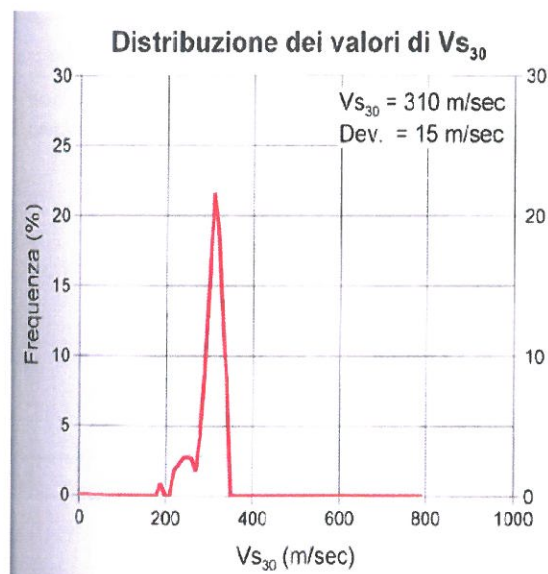
Figura 4. Risultati delle prove CPT (resistenza alla punta qC e attrito laterale FS) e delle prove geofisiche cross-hol.

Nella campagna di indagine eseguita nel 2015 per la banchina 26 del porto di Ancona sono state eseguite indagini sismiche tomografiche che permettono di ottenere, tramite l'inversione tomografica, un'ottimizzazione dei campi di velocità (V_p e V_s). Quello che si ottiene da un'indagine sismica tomografica è una caratterizzazione dei materiali predominanti.

Il primo aspetto che si nota sulle sezioni sismiche è una interfaccia di rigidità ($V_p=2250$ m/s e $V_s=600$ m/s) ad una profondità tra i 25 e i 30 metri che separa il sottosuolo argillo-marnoso più rigido dai materiali alluvionali.







Il 16 dicembre 2013 l’Autorità Portuale di Ancona ha fatto un’indagine geofisica mediante una prova MASW per il calcolo del valore V_{s30} secondo il DM 14/01/2008 per la banchina 7 del porto di Ancona.

Nel caso in esame si è realizzato uno stendimento con 24 geofoni a passo di 2,00 metri ed energizzazione a -5.00 m e a +5.00 m dagli estremi (Geofono 1 e Geofono 24).

La prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di determinare in modo dettagliato l’andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Il metodo MASW si basa sullo studio delle onde superficiali e sulla loro caratteristica di essere dispersive, ovvero di avere velocità diverse in funzione della frequenza. Tale metodo consiste nel registrare, con diversi geofoni verticali, le onde superficiali generate attraverso la caduta di un maglio di diversi quintali e registrarle. Allontanando i ricevitori dalla sorgente si investigano profondità via via maggiori. Successivamente i dati vengono elaborati nel dominio delle frequenze fino ad ottenere la curva di dispersione delle onde superficiali e quindi le loro velocità di fase.

Una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali è quella di costruire un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall’analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale. L’intero processo comprende tre passi successivi (Figura 5):

- *L’acquisizione delle onde superficiali (ground roll);*
- *la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);*
- *l’inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .*

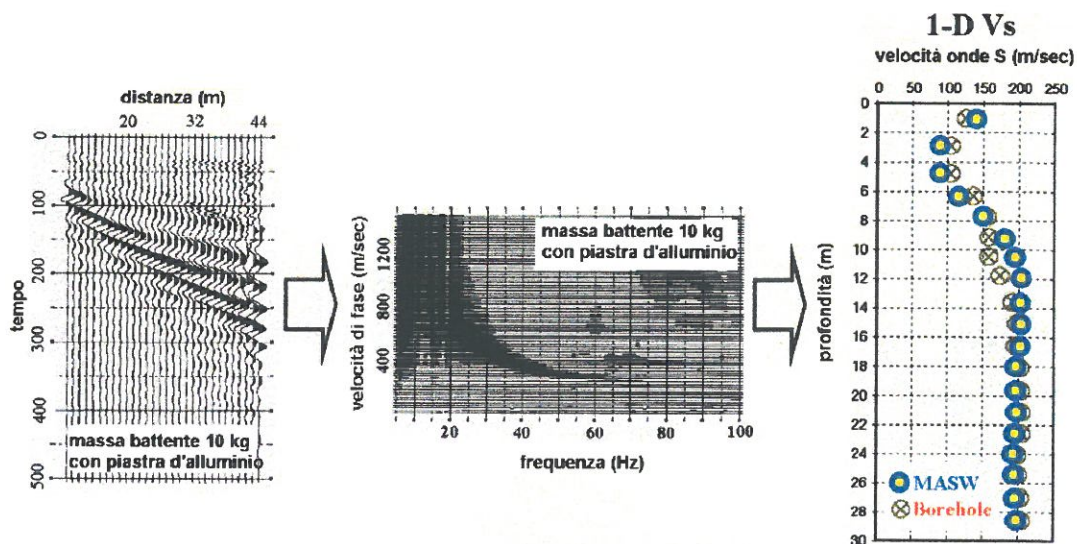


Figura 5. Processo di caratterizzazione sismica MASW.

Nella Figura 7 sono riportati i risultati delle prove MASW per la banchina 7. Nel riquadro in alto a sinistra è riportata l'immagine di dispersione dell'energia sismica. Al di sotto è riportata l'estrazione della curva di dispersione eseguita sull'immagine precedente. Ancora sotto sono riportati i grafici relativi al modello del terreno, sia sotto forma di stratificazione Vs (spezzata di colore blu) che di Modulo di Taglio (spezzata verde).

Con una curva di colore rosso è stato tracciato il valore di Vs progressiva. A destra è visibile il sismogramma mentre in basso è riportato il valore del parametro Vs30.



Figura 6. Zona di esecuzione prova MASW.

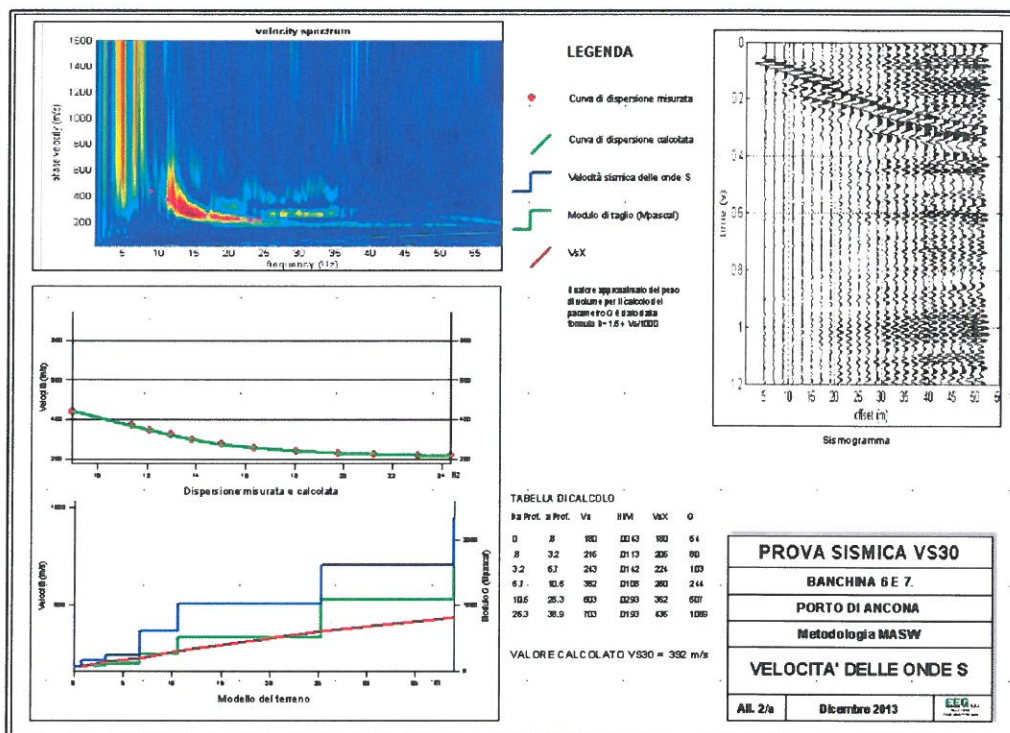


Figura 7. Calcolo delle velocità delle onde S con metodologia MASW.

Riguardo all'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni si rileva che i valori di Vs30 rilevati nei sucitati studi hanno determinato una categoria di suolo C ($180 \text{ m/s} \leq V_{s30} \leq 360 \text{ m/s}$).

6. Spettri di progetto

L'Autorità Portuale di Ancona, ove si verificasse in sede esecutiva la fattibilità anche in termini di costo, auspica la realizzazione di una banchina di carattere strategico, quindi capace di resistere strutturalmente ad eventi catastrofici. Pertanto, per quanto riguarda la vita nominale si propone di assumere pari a 100 anni trattandosi di opera di carattere strategico e, conseguentemente, la classe IV per la classe d'uso. Il coefficiente d'uso C_U è quindi pari a 2,0 per cui il periodo di riferimento si determina con la relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 100 \cdot 2,0 = 200 \text{ anni}$$

Nel caso in esame, si ha quindi:

- | | |
|----------------------------|--------------------|
| • Classe d'Uso dell'opera | Classe = IV |
| • Vita Nominale dell'opera | $V_N = 100$ anni |
| • Periodo di riferimento | $V_R = 200$ anni |
| • Categoria di Sottosuolo | Cat. = C |
| • Categoria topografica | Cat. = T1 |

Lo spettro di progetto in oggetto ha come ipotesi alla base:

- Smorzamento ξ non considerato (Posto pari a 5%);
- Fattore di struttura componenti orizzontali non considerato (Posto pari a 1);

- *Fattore di struttura componenti verticali posto pari a 1;*

L'applicazione dei parametri sopra indicati ha portato, per il sito in oggetto (lat.43,62, long. 13,49 - Figura 8) ai risultati di seguito indicati.



Figura 8. Individuazione coordinate del sito in oggetto.

Si riporta di seguito lo spettro di progetto per le opere in oggetto:

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

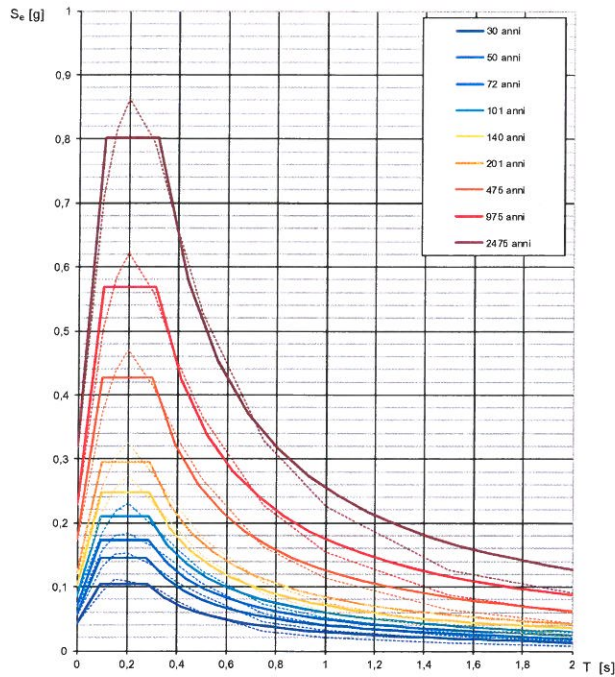
Interpolazione

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Nodi del reticolo intorno al sito

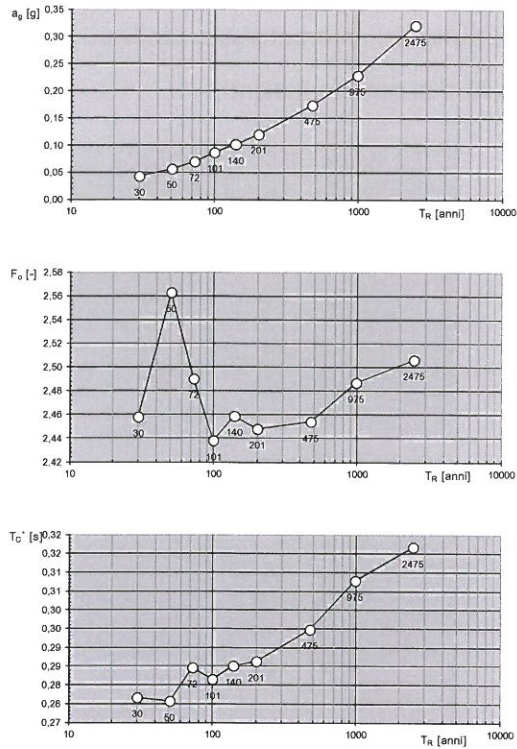
INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_c : variabilità col periodo di ritorno T_R



FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

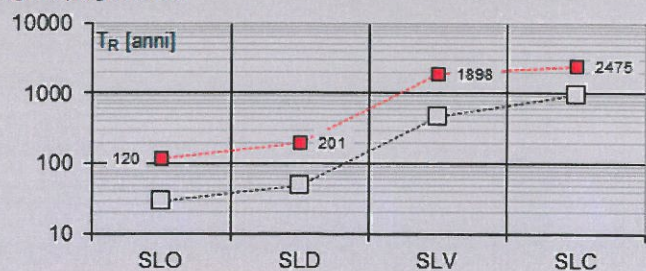
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE {
 SLO - $P_{VR} = 81\%$
 SLD - $P_{VR} = 63\%$
 Stati limite ultimi - SLU {
 SLV - $P_{VR} = 10\%$
 SLC - $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

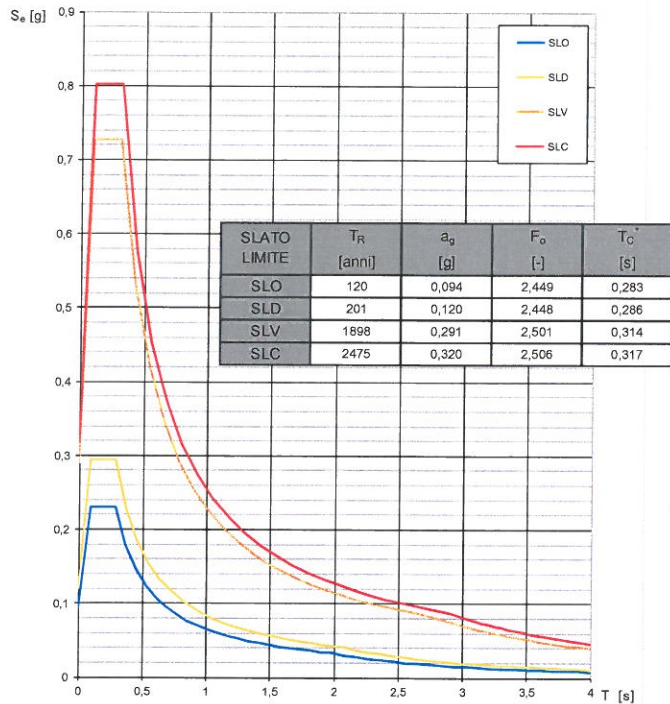
INTRO

FASE 1

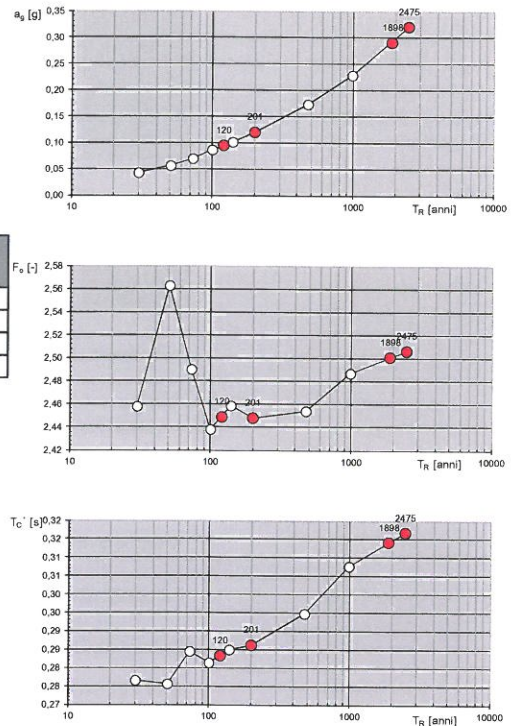
FASE 2

FASE 3

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori di progetto dei parametri a_g, F_o, T_C in funzione del periodo di ritorno T_R



FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **C** info

Categoria topografica **T1** info

$S_B = 1,264$ $C_C = 1,539$ info

$h/H = 0,000$ $S_T = 1,000$ info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento ξ (%) **5** $\eta = 1,000$ info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore q_o **1** Regol. in altezza **si** info

Compon. verticale

Spettro di progetto

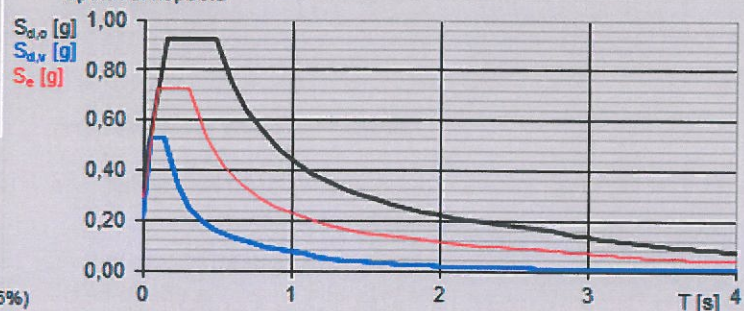
Fattore q **1** $\eta = 1,000$ info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



- Spettro di progetto - componente orizzontale
- Spettro di progetto - componente verticale
- Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,291 g
F_a	2,501
T_C	0,314 s
S_S	1,264
C_C	1,539
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,264
η	1,000
T_B	0,161 s
T_C	0,483 s
T_D	2,763 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(S+\xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_s(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,367
T_B	0,161	0,919
T_C	0,483	0,919
	0,582	0,750
	0,700	0,634
	0,809	0,549
	0,918	0,484
	1,026	0,433
	1,135	0,391
	1,243	0,357
	1,352	0,329
	1,460	0,304
	1,569	0,283
	1,677	0,265
	1,786	0,249
	1,894	0,234
	2,003	0,222
	2,112	0,210
	2,220	0,200
	2,329	0,191
	2,437	0,182
	2,546	0,174
	2,654	0,167
T_D	2,763	0,161
	2,822	0,154
	2,881	0,148
	2,940	0,142
	2,998	0,136
	3,057	0,131
	3,116	0,126
	3,175	0,122
	3,234	0,117
	3,293	0,113
	3,352	0,109
	3,411	0,105
	3,470	0,102
	3,529	0,099
	3,588	0,095
	3,647	0,092
	3,705	0,089
	3,764	0,087
	3,823	0,084
	3,882	0,081
	3,941	0,079
	4,000	0,077

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{sv}	0,212 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,000
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	1,820
S	1,000
η	1,000

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_a \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

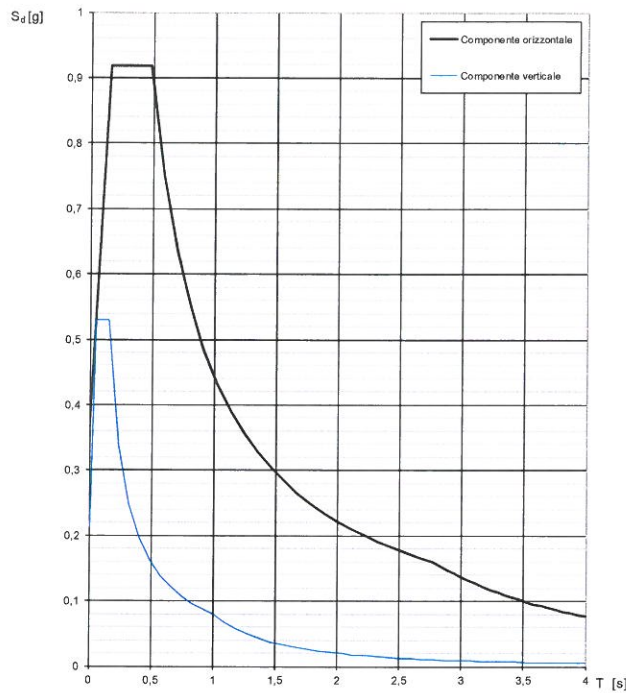
$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,212
T_B	0,050	0,529
T_C	0,150	0,529
	0,235	0,338
	0,320	0,248
	0,405	0,196
	0,490	0,162
	0,575	0,138
	0,660	0,120
	0,745	0,107
	0,830	0,096
	0,915	0,087
T_D	1,000	0,079
	1,094	0,066
	1,188	0,056
	1,281	0,048
	1,375	0,042
	1,469	0,037
	1,563	0,033
	1,656	0,029
	1,750	0,026
	1,844	0,023
	1,938	0,021
	2,031	0,019
	2,125	0,018
	2,219	0,016
	2,313	0,015
	2,406	0,014
	2,500	0,013
	2,594	0,012
	2,688	0,011
	2,781	0,010
	2,875	0,010
	2,969	0,009
	3,063	0,008
	3,156	0,008
	3,250	0,008
	3,344	0,007
	3,438	0,007
	3,531	0,006
	3,625	0,006
	3,719	0,006
	3,813	0,005
	3,906	0,005
	4,000	0,005

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



7. Combinazione dell'azione sismica

Nella combinazione dell'azione sismica con le altre azioni si assumono unitari tutti i coefficienti γ_G e γ_Q amplificativi dei carichi, arrivando, per quelli gravitazionali, a livelli di sollecitazione nettamente inferiori di quanto avviene nelle verifiche non sismiche delle strutture.

La norma fornisce la seguente formula di combinazione:

$$F + G + P + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki}$$

dove: G rappresenta i carichi permanenti, P rappresenta l'eventuale precompressione e ψ_{2i} rappresenta il coefficiente di combinazione per i valori quasi permanenti dei carichi variabili Q_{ki} (Tabella 13), coefficienti che tengono conto della ridotta probabilità di piena coesistenza di questi carichi con l'azione del terremoto violento.

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0.7	0.5	0.3
Categoria B Uffici	0.7	0.5	0.3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0.7	0.7	0.6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0.7	0.7	0.6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1.0	0.9	0.8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0.7	0.7	0.6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0.7	0.5	0.3
Categoria H Coperture	0.0	0.0	0.0
Vento	0.6	0.2	0.0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0.5	0.2	0.0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0.7	0.5	0.2
Variazioni termiche	0.6	0.5	0.0

Tabella 13. Riferimento Tab. 2.5.I D.M. 16/01/2008.

Il sisma viene considerato indipendente nelle 3 direzioni d'azione. Gli effetti ottenuti vengono combinati secondo la seguente formula:

$$\gamma X \pm \gamma Y \pm \gamma Z$$

I coefficienti γ generano le 3 seguenti combinazioni possibili:

C1	0,3	0,3	1
C2	0,3	1	0,3
C3	1	0,3	0,3

I segni invece generano 8 possibili:

C1	+	+	+
C2	-	+	+
C3	+	-	+
C4	+	+	-
C5	-	-	+
C6	-	+	-
C7	+	-	-
C8	-	-	-

Combinando le due matrici otteniamo le 24 combinazioni possibili sismiche.

8. Conclusioni

Sulla base della documentazione esistente e di quanto su esposto si possono definire, in prima analisi, i seguenti parametri sismici per la classificazione sismica:

- Porto di Ancona Lat. 43,6283 Long. 13,4956
- Classe d'Uso dell'opera Classe = **IV**
- Vita Nominale dell'opera V_N = **100 anni**
- Categoria di Sottosuolo Cat. = **C**
- Categoria topografica Cat. = **T1**
- Fattore di struttura componenti orizzontali non considerato
- Fattore di struttura componenti verticali 1
- Smorzamento viscoso 5%

Spettro di progetto SLV:

- S_S 1.363
- T_B 0.159 sec
- T_C 0.476 sec
- T_D 2.505 sec
- a_g 0.226 g

- F_0 2.486
- T_c^* 0.295 sec

Tali dati vanno approfonditi con indagini specialistiche e potrebbero essere modificati in sede di progettazione definitiva ed esecutiva.

Si precisa inoltre che il fattore di struttura e lo smorzamento viscoso sono funzione anche della tipologia strutturale che verrà scelta (struttura su massi pilonati o su pali), che dovrà essere compatibile con la volontà della Amministrazione di realizzare un'opera di carattere strategico.