

COMMITTENTE :



RETE FERROVIARIA ITALIANA - S.p.A.

DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI ANCONA

PROGETTAZIONE:



SWS engineering s.p.a.  
Via della Stazione, 27 Fraz. Mattarello  
38123 Trento (TN) Italia  
P.iva C.F. 0556010222



SOGGETTO TECNICO : RFI SpA - DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI ANCONA  
S. O. INGEGNERIA

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA: BOLOGNA-LECCE  
COMUNE DI ANCONA

PROGETTO: Comune di Ancona - Lungomare Nord

Realizzazione della scogliera di protezione della linea ferroviaria Bologna-Lecce, interrimento con gli escavi dei fondali marini, rettifica e velocizzazione della linea ferroviaria

RELAZIONE SISMICA DELLE STRUTTURE

SCALA

Foglio

di

PROGETTO/ANNO

SOTTOPR.

LIVELLO

NOME DOC.

PROGR.OP.

FASE FUNZ.

NUMERAZ.

1 8 2 6 1 8

0 0 2

P D

T G

0 0

0 0

E 5 0 3

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	1^ EMISSIONE	C. Marchetti	03 Luglio 2018	V. Gangai	02 Luglio 2018	P. Ludovico	04 Luglio 2018	G. del Vasto	04 Luglio 2018
B	2^ EMISSIONE	Ing. CLAUDIA MARCHETTI	03 Agosto 2018	V. Gangai	02 Settemb. 2018	P. Ludovico	04 Settemb. 2018	G. del Vasto	04 Settemb. 2018
C	3^ EMISSIONE		26 Dicembre 2018	V. Gangai	26 Febbraio 2019	P. Ludovico	26 Febbraio 2019	N. D'Alessandro	26 Febbraio 2019

POSIZIONE ARCHIVIO

LINEA

SEDE TECN.

NOME DOC.

NUMERAZ

□ □ □ □

□ □ □ □ □ □

- - - -

. . . . .

Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data	Archiviato	Data

File:

## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1</b>	<b>DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI TERRENO .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>VERIFICHE SISMICHE .....</b>	<b>10</b>

## 1 PREMESSA

Nell'ambito dell'Accordo di Programma "Comune di Ancona - Lungomare Nord. Realizzazione della scogliera di protezione della linea ferroviaria Bologna-Lecce, interrimento con gli escavi dei fondali marini, rettifica e velocizzazione della linea ferroviaria" sottoscritto il 12/10/2017 tra Rete Ferroviaria Italiana S.p.A., il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, L'Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centrale, la Regione Marche e il Comune di Ancona, si inseriscono la progettazione, l'appalto e l'esecuzione dell'intervento in oggetto che si articola in tre fasi funzionali:

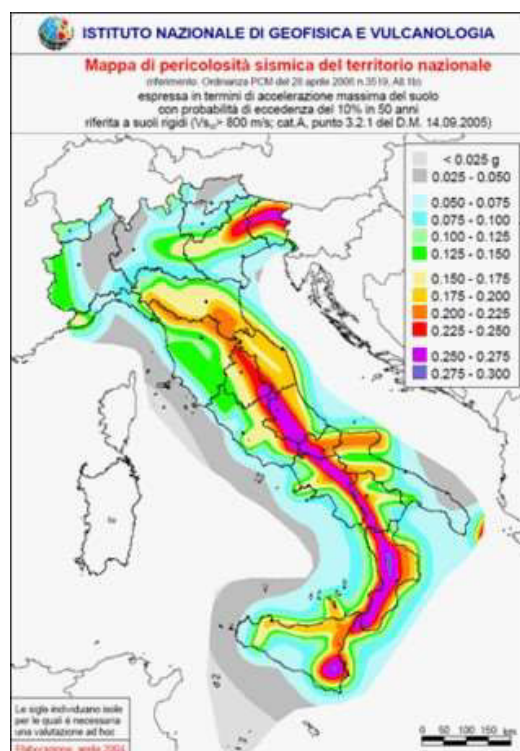
- Fase 1: realizzazione della scogliera di protezione della linea ferroviaria (scogliera esterna lato mare e un pennello), a cura di RFI;
- Fase 2: realizzazione sottofondo, rettifica e velocizzazione della linea ferroviaria (compreso confinamento interno), a cura di RFI;
- Fase 3: interrimento con gli escavi dei fondali marini (area compresa tra la scogliera esterna e il confinamento interno), a cura di AdSP.

In particolare, il presente elaborato ha lo scopo di inquadrare e classificare, dal punto di vista sismico, l'area interessata dalla realizzazione delle opere previste in progetto.

## 2 INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

Sulla base dell'analisi dei terremoti raccolti nei cataloghi sismici e dalla zonazione sismogenetica del territorio (ricostruita in funzione della distribuzione spaziale e della profondità di terremoti conosciuti e in relazione all'attenuazione delle onde sismiche con la distanza dell'epicentro) è stata elaborata dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) la Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale (OPCM 28 aprile 2006 n.3519, All. 1b) che rappresenta un documento di sintesi necessario all'elaborazione di una classificazione sismica del territorio

Tale mappa rappresenta l'accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s, Cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14/09/2005), con valori compresi tra 0,175 e 0,200 g per il territorio in esame.



L'ultimo aggiornamento della classificazione sismica risale al 2003 con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", con la quale sono stati approvati i "criteri per l'individuazione delle zone sismiche, formazione ed aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" e con cui si è allineato il sistema normativo nazionale, per le costruzioni in zona sismica, al sistema dei codici europei.

In particolare il Comune di Ancona risulta classificato in zona sismica 2.

Dal punto di vista tettonico, il territorio di Ancona non presenta particolari strutture sismogenetiche attive (faglie, sovrascorrimenti, etc); questo non riduce comunque il rischio sismico dell'area stessa, poiché la zona è comunque inglobata nel complesso sistema di strutture sismogenetiche presenti in tutto l'Appennino umbro-marchigiano. Gran parte dell'area marchigiana ricade infatti in una fascia caratterizzata da una certa sismicità, interposta fra due fasce sismiche: la fascia sismica occidentale, corrispondente alla più esterna tra le zone sismogenetiche dell'Appennino umbro marchigiano, la fascia sismica orientale, sviluppatasi soprattutto in mare. Lo studio dell'assetto geometrico delle strutture sismiche prossime al territorio del comune di Ancona e degli eventi da esse generati ha portato alla suddivisione di strutture sismogenetiche volumetricamente modeste che non sono in grado di generare terremoti di magnitudo maggiore a Mw 6.37 (vedi Rapporto conclusivo INGV Tab.6 pag 38).

L'area di Ancona risulta tettonicamente attiva con direttrici di faglie di orientazione NE - SO con assenza di rigetto (trasversali) che attivano marginalmente lembi di faglie inverse ad esse perpendicolari. Attualmente una direttrice NE-SO si è attivata nei terreni del fondo marino a 10 Km dalla costa tra Sirolo e Numana (evento con Mmax = 4.4 del 22/08/2013 e con epicentri successivi allineati NE-SO). Analogamente una direttrice NE-SO si era attivata negli eventi sismici avvenuti nella zona di Ancona tra il 1972 e il 1976 come risulta dagli allineamenti ipocentrali dei terremoti (Crescenti 1978). Tali faglie trasversali nel tempo geologico hanno dislocato sulla costa, smembrando in strutture isolate, le dorsali di Monte Conero, di Varano, di Falconara ed hanno condizionato l'idrografia superficiale, permettendo la formazione degli alvei principali del fiume Esino a Nord e del fiume Musone a Sud (Microzonazione sismica del territorio comunale di Ancona, anno 2013).

A supporto della progettazione definitiva per le opere in oggetto è stata eseguita a partire dal giorno 5 marzo 2018 e fino al giorno 31 maggio 2018 una estesa campagna di indagini geognostiche e geofisiche.

### 3 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Con riferimento alle problematiche di natura sismica, si rileva che il presente progetto definitivo è stato elaborato sulla base del DM 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”.

È ben noto che l'azione sismica dipende dalla categoria del terreno, così come definita dalle NTC 2018, che a sua volta si determina mediante il calcolo della velocità media delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri di terreno sotto il piano di fondazione. La categoria di terreno influenza in vario modo i parametri sismici attraverso coefficienti moltiplicativi che valgono 1 solamente nel caso di suolo rigido (categoria A, ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi).

Per stabilire i parametri sismici di progetto occorre partire dalla probabilità di superamento dell'evento sismico (PVR), lo stato limite al quale si intende riferirsi e la vita di riferimento dell'opera in progetto (VR) per ricavare il tempo di ritorno dell'evento sismico (TR). Nel caso specifico si assume come riferimento lo stato limite di collasso (SLC), con una PVR del 5% da cui, con una VR = 75 anni (vita nominale della costruzione VN pari a 50 anni e classe d'uso III, quindi con coefficiente d'uso della costruzione  $C_u$  pari a 1.5), deriva un TR = 1462 anni. Si tratta ora di definire la terna dei parametri ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ), che in un certo senso si possono definire indipendenti e tabulati per la maglia sismica di riferimento.

**Tabella 1 - Terna dei parametri ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) per i periodi di ritorno associati a ciascun stato limite**

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0.054	2.543	0.276
SLD	75	0.073	2.479	0.284
SLV	712	0.205	2.475	0.302
SLC	1462	0.267	2.497	0.312

Nella Tabella 1 - sono riportati i valori della terna di parametri ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) per i periodi di ritorno associati a ciascun stato limite.

Ciascuno dei parametri viene calcolato mediante interpolazione lineare dei parametri associati ad ogni nodo del reticolo attorno al sito. Per lo specifico tempo di ritorno  $T_R$ , i valori dei parametri sono i seguenti:

- $a_g = 2,619 \text{ m/sec}^2$
- $a_g/g = 0,267$
- $F_0 = 2,497$
- $T_c^* = 0,312 \text{ sec}$

Le NTC 2018 indicano, come metodo per il calcolo della terna dei parametri, l'esecuzione di una media ponderata con la distanza dai nodi; in questo caso, trattandosi di un'opera lineare e non di carattere puntuale, è stato ritenuto preferibile utilizzare il valore medio

all'interno della maglia. In ogni caso, il calcolo qui proposto è esemplificativo e non ha carattere vincolante.

Con questi valori, possono essere determinati i periodi fondamentali  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$  che separano i vari rami dello spettro di risposta dell'accelerazione orizzontale.

$$T_B = \frac{T_C}{3} \quad T_C = C_C \cdot T_C^* \quad T_D = 4.0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1.60$$

Dove  $C_C$  è tabulato in funzione della categoria del sottosuolo e vale 1.0 nel caso di sottosuolo rigido (categoria A).

In Tabella 2 sono riportati i tre periodi fondamentali in funzione della categoria del sottosuolo.

**Tabella 2 – Valori dei tre periodi fondamentali in funzione della categoria del sottosuolo**

Categoria	$C_c$	$T^*c$ sec	$T_c$ sec	$T_B$ sec	$T_D$ sec
A	1,00	0,316	0,316	0,105	2,34
B	1,39	0,316	0,438	0,146	2,34
C	1,54	0,316	0,485	0,162	2,34
D	2,22	0,316	0,703	0,234	2,34
E	1,82	0,316	0,576	0,192	2,34

Le espressioni che definiscono i rami dello spettro di risposta sono le seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g * S * \eta * F_0 * \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta * F_0} * \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g * S * \eta * F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g * S * \eta * F_0 * \left[ \frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g * S * \eta * F_0 * \left[ \frac{T_C * T_D}{T^2} \right]$$

Il coefficiente  $S$  è il prodotto del fattore di amplificazione stratigrafica  $S_S$  e delle condizioni topografiche  $S_T$ ; si può cautelativamente assumere un valore:

$$S_T = 1.00 \quad (\text{categoria topografica T1})$$

Il coefficiente  $S_S$  si ricava da formule che dipendono dalla categoria di sottosuolo, da  $F_0$  e dall'accelerazione attesa  $a_g/g$ . Il valore di  $S$ , per la categoria di suolo D, nel caso specifico della coppia di valori  $a_g$  e  $F_0$  pari a quelli sopra ipotizzati per il tracciato in progetto è pari a 1.720.

All'interno delle suddette relazioni, il parametro  $\eta$  altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ( $\xi$ ) diversi dal 5% (valore per il quale si ha  $\eta = 1$ ). Si possono assumere valori di  $5\% \leq \xi \leq 28\%$ ; in corrispondenza dell'estremo superiore ( $\xi = 28\%$ ) si ha  $\eta \geq 0.55$ , considerando la seguente legge di variazione di  $\eta$ :

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}}$$

Assumendo uno smorzamento del 5% ( $\eta = 1$ ), nelle figure seguenti si riportano le ordinate dello spettro di risposta  $S_e(T)$  in accelerazione orizzontale per lo stato limite di collasso, considerando il sottosuolo di categoria C e categoria topografica T1.

### Categoria di sottosuolo C

#### Parametri indipendenti

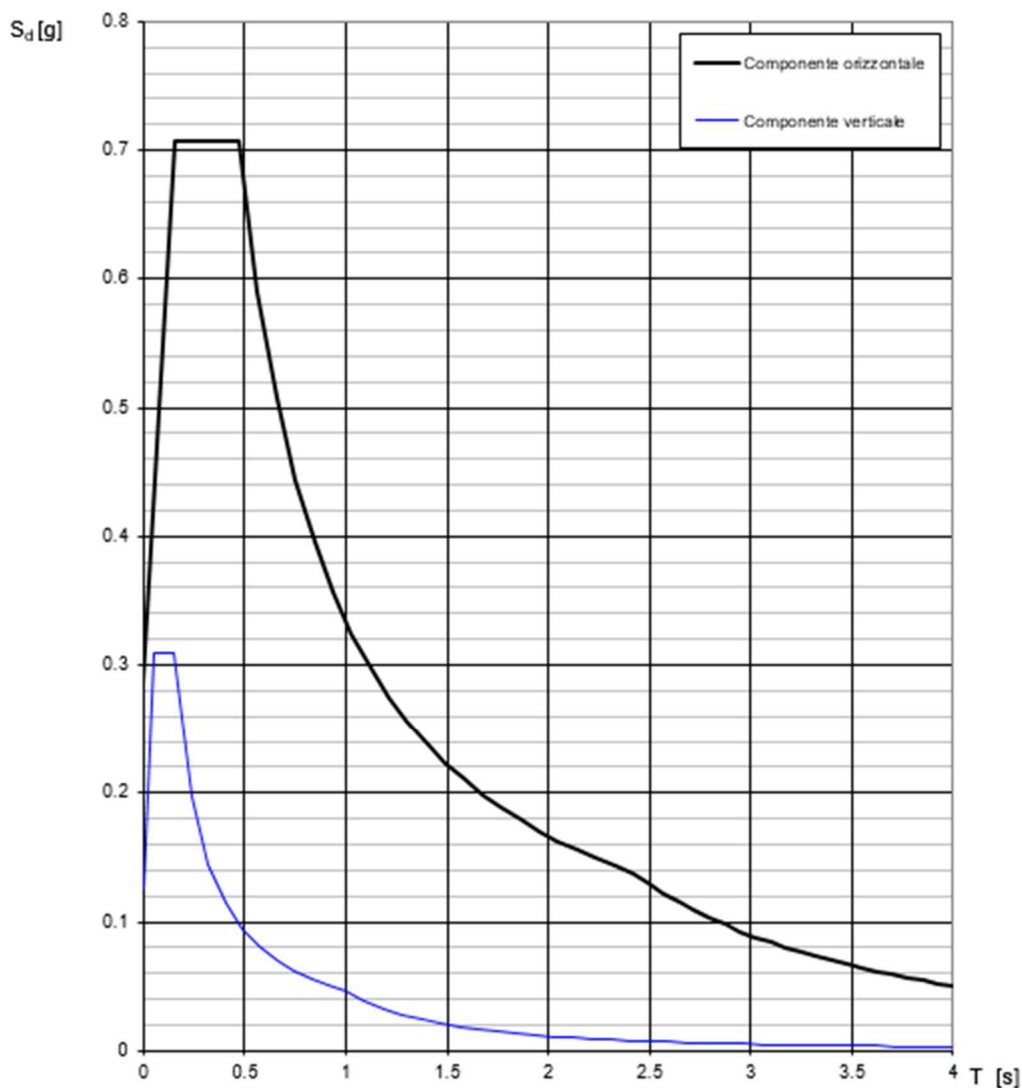
TATO LIMITE	SLC
$a_g$	0.205 g
$F_o$	2.475
$T_C^*$	0.302 s
$S_s$	1.396
$C_c$	1.558
$S_T$	1.000
q	1.000

#### Parametri dipendenti

S	1.396
$\eta$	1.000
$T_B$	0.157 s
$T_C$	0.471 s
$T_D$	2.419 s



**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato li SLV**



**Figura 1 – Spettri di risposta (componente orizzontale e verticale) per lo stato limite SLC**

La determinazione dello spettro di risposta verticale è fondamentalmente simile al procedimento visto. In questo caso sono già prefissati i valori del coefficiente  $S_s = 1.0$ , e dei periodi  $T_B = 0.05$  s,  $T_C = 0.15$  s, e  $T_D = 1.0$  s. Inoltre a  $F_0$  si sostituisce il valore  $F_v$  pari a:

$$F_v = 1.35 * F_0 * \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0.5}$$

### 3.1 DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DI TERRENO

Con il DM del 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, è previsto che la categoria di sottosuolo venga stabilita in funzione dei valori velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ . I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all’approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall’espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Dove:

- $H_i$  è lo spessore dell’ $i$ -esimo strato;
- $V_{s,i}$  è la velocità delle onde di taglio nell’ $i$ -esimo strato
- $N$  è il numero di strati;
- $H$  è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s

Nel caso in oggetto è stata eseguita un’estesa campagna di indagini a supporto della progettazione. In particolare sono state eseguite n. 3 prove Down-Hole e n. 3 MASW, le quali hanno permesso di determinare la velocità delle onde di taglio e classificare correttamente la categoria di sottosuolo. Mediamente la  $V_s$  è risultata compresa tra 260 e 270 m/s nelle prove Down-Hole e circa pari a 300 m/s nelle prove MASW, pertanto, per le verifiche geotecniche e strutturali di progetto, è opportuno assegnare la categoria di sottosuolo C (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*).

## 4 VERIFICHE SISMICHE

Per le verifiche delle opere in progetto sono state effettuate tenendo correttamente conto anche dell'azione sismica, ai sensi del Decreto Ministeriale del 147 gennaio 2018. I risultati di tali verifiche sono riportati nelle specifiche relazioni di calcolo delle strutture.