

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

OPERA

PORTO DI PALERMO - ARENELLA COMPLETAMENTO MOLO FORANEO PORTO ARENELLA

CUP: I71J19000040005 (OPERA PNRR)
CIG: 9073719DC8

LIVELLO DI PROGETTAZIONE

PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATO

RELAZIONE SISMICA

PROGETTAZIONE



Direzione tecnica:
ING. ELIO CIRALLI

Coordinamento:
ING. GIANCARLO INSERRA

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:
ING. SALVATORE ACQUISTA

AREA TECNICA:
ING. LEONARDO TALLO

ELABORATO B.04	SCALA --	NS. RIF. B04_v001-XXmag2022.docx	COMMESSA - NN. A4 2022ARE - 17	
DATA 20 maggio 2022	REVISIONE 01	REDATTORE GS	CONTROLLO GI	APPROVAZIONE EC

A TERMINI DI LEGGE CI RISERVIAMO LA PROPRIETA' DI QUESTO ELABORATO, CON DIVIETO DI RIPRODURLO, ANCHE IN PARTE, O DI RENDERLO NOTO A TERZI SENZA LE NECESSARIE AUTORIZZAZIONI

INDICE DEI CONTENUTI

1	GENERALITÀ	3
1.1	PREMESSA	3
1.1.1	<i>Il precedente livello progettuale e le approvazioni</i>	3
1.2	IL CORPO DOCUMENTALE	3
1.3	FINALITÀ DELL'ELABORATO	4
1.4	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
2	AZIONI SISMICHE	7
1.1	STATI LIMITE NEI CONFRONTI DELL'AZIONE SISMICA	7
1.2	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	8
1.3	SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO	9
1.4	VITA NOMINALE	11
1.5	CLASSI D'USO	11
1.6	PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA	12
1.7	PERIODO DI RITORNO DELL'AZIONE SISMICA	12
1.8	INDAGINI E DATI DI RIFERIMENTO	12
1.9	IL CRITERIO PER LA CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO	14
1.10	CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA, PERIODO DI RIFERIMENTO E ACCELERAZIONI RELATIVE	16
1.10.1	<i>Categoria di sottosuolo</i>	16
1.10.2	<i>Periodo di riferimento</i>	16
1.10.3	<i>Accelerazione di ancoraggio dello spettro (a_s)</i>	16

ELENCO DELLE FIGURE

FIGURA 1-1:	SOVRAPPOSIZIONE PRP 1974 - PRP 2018 - STATO DI FATTO	4
FIGURA 2-2:	IMMAGINE AEREA DEL SITO CON INDICAZIONE DELLE COORDINATE DEL PUNTO IN VERDE	16

ELENCO DELLE TABELLE

TABELLA 1-1:	CORPO DOCUMENTALE DEL PROGETTO	6
TABELLA 2-1:	RIF. TAB. 3.2.I D.M.II.TT. 17/01/2018	7
TABELLA 2-2:	RIF. TAB. 3.2.II D.M.II.TT. 17/01/2018	8
TABELLA 2-3:	RIF. TAB. 3.2.III D.M.II.TT. 17/01/2018	8
TABELLA 2-4:	– RIF. TAB. 3.2.V D.M.II.TT. 14/01/2008	9
TABELLA 2-5:	RIF. TAB. 3.2.IV D.M.II.TT. 17/01/2018	9
TABELLA 2-6:	RIF. TAB. 3.2.IV D.M.II.TT. 17/01/2018	10
TABELLA 2-7:	RIF. TAB. 3.2.VI D.M.II.TT. 17/01/2018	11
TABELLA 2-8:	RIF. TAB. 2.4.I D.M.II.TT. 17/01/2018	11
TABELLA 2-9:	RIF. TAB. 2.4.II D.M.II.TT. 17/01/2018	12
FIGURA 2-10:	LOCALIZZAZIONE DEI SONDAGGI GEOGNOSTICI	13
TABELLA 2-10:	PARAMETRI SISMICI DEL SITO CORRETTI	17
TABELLA 2-11:	ACCELERAZIONI DI ANCORAGGIO DELLO SPETTRO (A_{MAX})	17

1 Generalità

L'Autorità di Sistema Portuale del Mare di Sicilia Occidentale, nell'ottica del completamento e della funzionalizzazione della propria offerta portuale, per il Porto dell'Arenella vuole eseguire la definizione dell'opera di sopraflutto secondo la configurazione prevista dal Piano Regolatore Portuale oggi vigente.

La redazione del presente progetto esecutivo è stata affidata alla società di ingegneria Progetti e Opere S.r.l., il cui un direttore tecnico è l'Ing. Elio Ciralli. Quest'ultimo si era già occupato della redazione del precedente livello progettuale (livello definitivo), completamente approvato in ossequio alla normativa dell'epoca.

1.1 Premessa

Il progetto esecutivo, finalità dell'incarico professionale ricevuto, viene redatto sulla scorta dei precedenti livelli di progettazione approvati, compresa la procedura di valutazione ambientale.

1.1.1 Il precedente livello progettuale e le approvazioni

Il progetto definitivo dei lavori di completamento del molo foraneo del Porto dell'Arenella è stato redatto secondo la configurazione del precedente Piano Regolatore Portuale approvato dal Consiglio Superiore dei LL.PP. con voto n.529 del 11.09.1974.

Il progetto è stato approvato dal Comitato Tecnico Amministrativo del Provveditorato Interregionale OO.PP. Sicilia-Calabria ed ha già completato una procedura di verifica di assoggettabilità alla VIA per la quale è stata rilasciata la Determina di non assoggettabilità a VIA con D.G.V.A. del MATTM prot. n. DVA-2010-0024939 del 19/10/2010.

Nelle more del reperimento del finanziamento necessario all'esecuzione dei lavori, fu portata a termine la redazione del nuovo Piano Regolatore Portuale di Palermo che ricomprendeva il Porto dell'Arenella.

Il nuovo Piano Regolatore Portuale eseguì la prevista procedura di Valutazione Ambientale Strategica regionale, per la quale fu emesso apposito D.A. 107/GAB del 29/03/2018 con parere motivato alla procedura integrata V.A.S. - V.Inc.A. "Porto di Palermo - Piano Regolatore Portuale" ai sensi dell'art. 16 del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii., condizionato al rispetto delle prescrizioni ed osservazioni, oltre alle misure di mitigazione già previste nel PRP e fatte proprie nel parere n. 73/2018 della C.T.S. regionale.

Al suddetto Decreto seguì l'approvazione *ope legis* del PRP (art. 5, comma 3, Legge 84/94), sancita con il D.D.G. ARTA RS n. 100 del 30/07/2018 in conformità al parere del Consiglio Regionale dell'Urbanistica espresso con il voto n. 93 del 04 luglio 2018.

Il nuovo PRP oltre a inserire il Porto dell'Arenella nell'ambito portuale e a definire la destinazione funzionale, ha disegnato le opere foranee in modo leggermente diverso dal precedente PRP (Cfr. Figura 1-1). Questa leggera variazione, come dimostrato negli studi tecnici di supporto al PRP, migliora la protezione del bacino portuale anche al fine di ridurre l'agitazione residua sotto mareggiata, in modo maggiormente compatibile con la sancita funzione di porto turistico e da diporto.

1.2 Il corpo documentale

Il corpo documentale che costituisce il presente livello di progettazione è quello riportato nella seguente Tabella 1. Si raccomanda di attenersi sempre alla versione più recente degli elaborati che, se esistenti, superano le precedenti versioni.

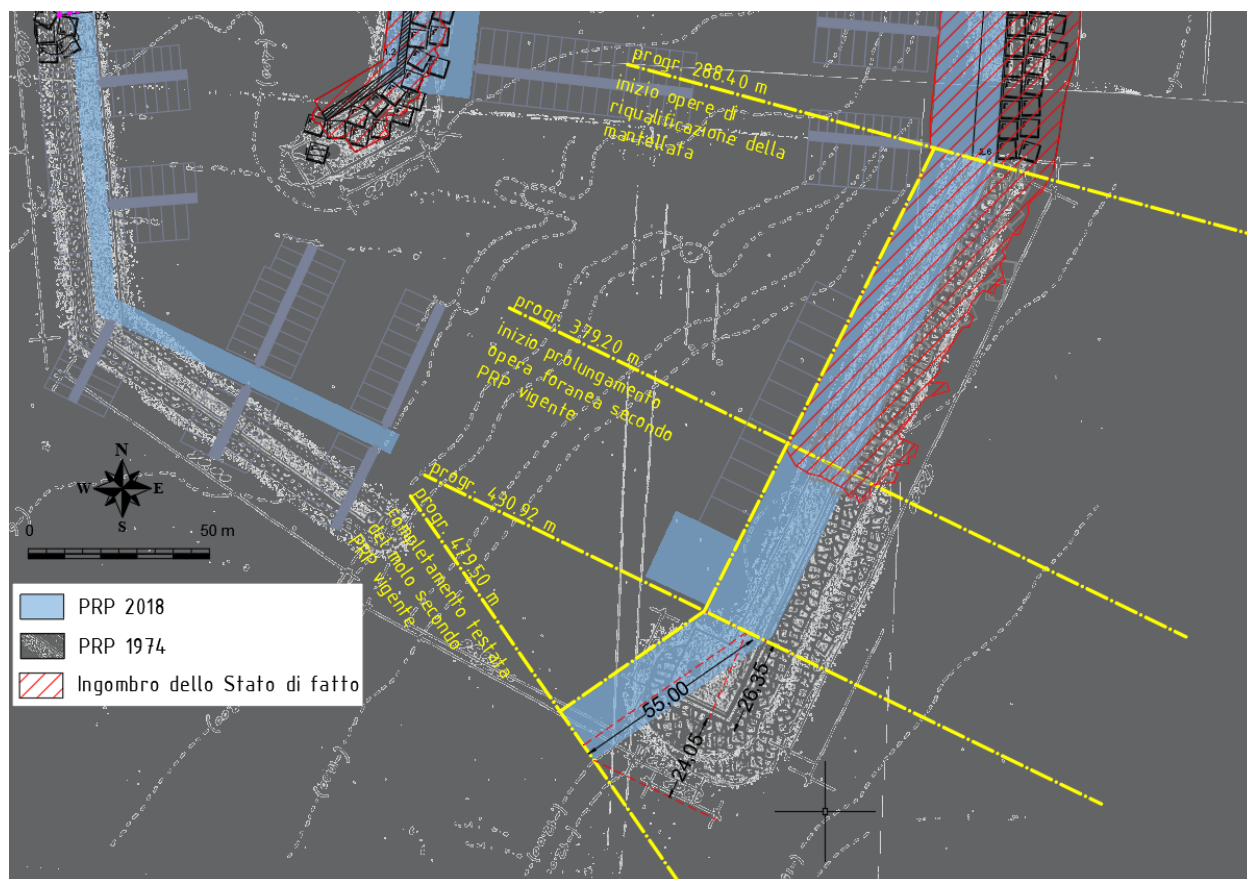


Figura 1-1: Sovrapposizione PRP 1974 - PRP 2018 - Stato di fatto

1.3 Finalità dell'elaborato

Il presente Studio Sismico, che in armonia con le disposizioni di legge in materia si inquadra nel contesto degli studi specialistici mirati al dimensionamento di dettaglio degli interventi da porre in atto nel progetto esecutivo dei "Lavori di completamento del molo foraneo del porto dell'Arenella", l'attenzione si concentra sulla valutazione delle azioni dinamiche che possono essere associate a scosse sismiche. Ne discendono i criteri per la verifica, seppure ispirata a criteri cautelativi e basata su modelli di analisi semplificati, del comportamento delle opere e dei manufatti in progetto anche sotto l'azione dei carichi pulsanti che possono essere originati da questi eventi naturali.

Dopo una sintetica descrizione delle principali caratteristiche degli interventi da realizzare, si richiamano le informazioni ed i dati disponibili in merito alla costituzione del sottosuolo ed alle caratteristiche fisiche e meccaniche delle rocce affioranti nell'area di interesse. A questo riguardo si è fatto specifico riferimento ai contenuti delle specifiche relazioni specialistiche, la Relazione Geologica e lo Studio Geotecnico.

In ultimo si definisce la categoria di sottosuolo ed i valori dei coefficienti di normativa che intervengono nella valutazione delle azioni sismiche.

1.4 Riferimenti normativi

Il presente progetto è stato redatto ai sensi del D.Lgs. 50/2016 e del regolamento ancora oggi vigente (D.P.R. 207/2010 e ss.mm.ii.).

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

- D.M. Ministero Infrastrutture del 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"

- Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 Gennaio 2019 n. 7 – Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17.01.2018
- Legge 05/11/1971 n° 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso e da struttura metallica
- Circolare 02/02/2009, n. 617: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- Linee Guida Calcestruzzo Strutturale del Servizio Tecnico centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP.
- "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" – Ministero dei Lavori Pubblici – Consiglio Nazionale delle Ricerche (GNDCI)
- Eurocodice 2 - Progettazione strutture in calcestruzzo
- Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica
- Eurocodice 8 - Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture
- Norme UNI EN 206-1:2006 ed UNI 11104:2004
- UNI EN 10025
- Coastal Engineering Manual (CEM) edito dallo US Army Corps of Engineers (USACE)



ELENCO DEGLI ELABORATI DI PROGETTO	
codice	titolo elaborato
EE.00	Elenco elaborati
	A - ELABORATI GENERALI
A.01	Relazione generale
	B - RELAZIONI SPECIALISTICHE
B.01	Relazione idraulica marittima
B.01.01	Relazione idraulica marittima: allegati
B.02	Relazione dell'agitazione residua e dell'agibilità portuale
B.02.01	Relazione dell'agitazione residua e dell'agibilità portuale: allegati
B.03	Relazione sulla dinamica della costa
B.04	Relazione sismica
B.05	Relazione geotecnica
B.06	Relazione sul dimensionamento e la stabilità idraulica
B.07.01	Relazione di calcolo delle strutture
B.07.01	Relazione di calcolo delle strutture: allegati
B.08	Relazione paesaggistica
B.09	Studio Geologico (a cura del dott. Paolo Nania)
	RILIEVI TOPOGRAFICI, BATIMETRICI E BIOCENOTICI (A CURA DI ARENA SUB SRL)
R.01	Relazione illustrativa dei rilievi batimetrici e biocenotici
R.01.01	Allegato: Processing Report
R.01.02	Allegato: Video subacquei dei transetti (da trasmettere su richiesta)
T.1	Ortofoto e profili di sezioni
T.2	Ortofoto e Piano Quotato
T.3a	Carta morfologico-batimetrica (isobate)
T.3b	Carta morfologico-batimetrica (rilievo ombreggiato color coded)
T.3c	Carta morfologico-batimetrica (rilievo ombreggiato grey-scale)
T.4a	Carta morfologico-batimetrica (isobate) - Spiaggia Vergine Maria
T.4b	Carta morfologico-batimetrica (shaded relief) - Spiaggia Vergine Maria
T.5	Carta dei tipi di fondo (color coded seabed fetures)
T.6	Carta del mosaico acustico Side Scan Sonar
	RELAZIONE ARCHEOLOGICA PREVENTIVA (A CURA DOTT. ARCHEOL. F. FAZIO - ARENA SUB SRL)
VIARCH.01	Relazione archeologica preventiva a seguito dei rilievi
VIARCH.01.01	Relazione archeologica preventiva: Carta del potenziale archeologico
	C - ELABORATI GRAFICI
	C.SF - STATO DI FATTO
C.SF.01.01	Carta nautica - Cartografia IGM - Carta Tecnica Regionale - Ortofoto
C.SF.01.02	Stralcio PRG - Stralci PRP - Stato di completamento
C.SF.01.03	Carta dei vincoli paesaggistici e territoriali
C.SF.02.01	Planimetria e sezioni dello stato di fatto
C.SF.02.02	Inventario visuale
	C.OP - STATO DI PROGETTO
C.OP.01	Planimetria sinottica delle opere in progetto
C.OP.02	Planimetria di dettaglio
C.OP.03	Raffronto SDF - PRP vigente - Opere in progetto
C.OP.04	Piano di tracciamento delle opere
C.OP.05	Sezioni tipo di progetto
C.OP.06	Quaderno delle sezioni di computo
C.OP.07	Particolari costruttivi e arredo portuale
C.OP.08.01	Cassoni cellulari: piante e sezioni
C.OP.08.02	Cassoni cellulari: carpenterie
C.OP.09	Modalità esecutive e fasi costruttive
C.OP.10	Ubicazione cave, viabilità, interferenze e cantierizzazione
	D - ELABORATI DEGLI IMPIANTI
D.IE.01	Impianti Elettrici e Illuminotecnici: Relazione descrittiva e di calcolo
D.IE.02	Impianti Elettrici e Illuminotecnici: Schema di Installazione
D.IS.01	Impianti Idrici: Relazione descrittiva e di calcolo
D.IS.02	Impianti Idrici: Schema di Installazione
	E - PIANO DI MANUTENZIONE DELL'OPERA E DELLE SUE PARTI
E.01	Manuale d'uso
E.02	Manuale di manutenzione
E.03	Programma di manutenzione
	F - PIANO DI SICUREZZA E COORDINAMENTO E INCIDENZA DELLA MANODOPERA
F.01	Piano di sicurezza e coordinamento
F.02	Planimetria dell'area di cantiere
	G - ELABORATI ECONOMICI ED AMMINISTRATIVI
G.01	Elenco dei prezzi unitari
G.02	Analisi dei prezzi
G.03	Computo metrico estimativo
G.04	Quadro economico
G.05	Cronoprogramma
G.06	Capitolato speciale d'appalto
G.07	Schema di contratto di appalto
SPA	STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE
VINCA	SCREENING DI INCIDENZA AMBIENTALE

RELAZIONE SISMICA

Tabella 1: Corpo documentale del progetto

COMMITTENTE



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

PROGETTAZIONE



2 AZIONI SISMICHE

Le Norme Tecniche per le Costruzioni prevedono per l'azione sismica tre componenti traslazionali, due orizzontali ed una verticale, tra di loro indipendenti.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite previsti dalle norme in vigore, 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. A partire da questa si definisce lo spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$, dipendente anche da prefissate probabilità di eccedenza (P_{VR}) in un periodo V_R , detto di riferimento, che viene valutato come specificato nel seguito.

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.

1.1 Stati limite nei confronti dell'azione sismica

In presenza di azione sismica la norma impone che si considerino i seguenti stati limite:

Stati limite di esercizio:

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 rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Stati limite ultimi:

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 e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni 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 per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} cui riferirsi per individuare l'azione sismica per gli stati limite considerati, sono riportate nella tabella successiva:

Stati Limite	P_{VR} : 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 2: Rif. Tab. 3.2.I D.M.II.TT. 17/01/2018

1.2 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 stesse 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</i> 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.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 3: Rif. Tab. 3.2.II D.M.II.TT. 17/01/2018

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Riguardo 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 $i < 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 4: Rif. Tab. 3.2.III D.M.II.TT. 17/01/2018

1.3 Spettro di risposta elastico

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali è definito dalle seguenti relazioni:

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

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

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

nelle quali T, 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	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$

Tabella 5: – Rif. Tab. 3.2.V D.M.II.TT. 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 di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 6: Rif. Tab. 3.2.IV D.M.II.TT. 17/01/2018

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:

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55$$

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:

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

essendo T_C^* il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale e C_C 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 7: Rif. Tab. 3.2.IV D.M.II.TT. 17/01/2018

$T_B = T_C/3$ 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:

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

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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

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 funzione dell'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 di seguito riportati:

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 8: Rif. Tab. 3.2.VI D.M.II.TT. 17/01/2018

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 in Tabella .

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 di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata in Tabella , con le ordinate ridotte, sostituendo, nelle formule che esprimono le ordinate spettrali, η con $1/q$, dove q è il fattore di comportamento, funzione della tipologia strutturale dell'opera. Si assumerà comunque:

$$S_d(T) \geq 0,2 \cdot a_g$$

1.4 Vita nominale

La vita nominale di un'opera V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla necessaria manutenzione, deve poter essere utilizzata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tabella .

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 9: Rif. Tab. 2.4.I D.M.II.TT. 17/01/2018

1.5 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 delle 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.

1.6 Periodo di riferimento per l'azione sismica

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 definito in funzione della classe d'uso secondo i valori riportati nella Tabella .

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 10: Rif. Tab. 2.4.II D.M.II.TT. 17/01/2018

1.7 Periodo di ritorno dell'azione sismica

A partire dal periodo di riferimento V_R e dalla probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento si può calcolare il Periodo di Ritorno dell'azione sismica al variare dello stato limite da considerare. Il periodo di ritorno T_R è valutabile attraverso la seguente relazione

$$T_R = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

1.8 Indagini e dati di riferimento

Ai fini della classificazione del terreno secondo le tipologie riportate nella Tab. 2.2 si fa riferimento ai risultati delle indagini geognostiche e sismiche condotte dal geologo dott. Paolo Nania (cfr. "Studio Geologico").

In Fig. 2.1 i sondaggi sono indicati con la sigla S seguita dal numero che individua il sondaggio.



Figura 11: Localizzazione dei sondaggi geostatici

Di seguito si ripete la descrizione degli strati qualitativamente individuati nel corso delle indagini geologico/geotecniche.

Sondaggio S1 – 15/11/2018 – Profondità del fondale: 12,20 m

- 0,00 - 4,50 Sabbia grossolana grigiastra (Sabbie di deriva litorale);
- 4,50 - 12,90 Calcareni biancastre da poco a mediamente cementate, alternate a livelli di sabbie a tessitura fine calcaree (Formazione Pleistocenica mediamente rigida);
- 12,90 -17,00 Calcareni giallastre a grana grossolane, cementate. (Formazione Pleistocenica mediamente rigida). Passaggi eteropici (laterali) delle facies calcarenitiche biancastre con le calcareniti giallastre;
- 17,00-30,00 Calcareni massivi, ben cementati a tratti fratturati. (Calcareni di scogliera, di Piattaforma Carbonatica Triassica) Bedrock rigido.

Sondaggio S2 – 16/11/2018 – Profondità del fondale: 13,20 m

- 0,00 - 3,00 Sabbia grossolana grigiastra a tratti a grana molto fine (Sabbie di deriva litorale);

- 3,00 - 13,00 Calcareniti biancastre da poco a mediamente cementate, alternate a livelli di sabbie a tessitura fine calcaree (Formazione Pleistocenica mediamente rigida);
- 13,00 -17,00 Calcareniti giallastre a grana grossolane, cementate. (Formazione Pleistocenica mediamente rigida). Passaggi eteropici (laterali) delle facies calcarenitiche biancastre con le calcareniti giallastre;
- 17,00 -20,00 Calcareniti biancastre da poco a mediamente cementate, alternate a livelli di sabbie a tessitura fine calcaree (Formazione Pleistocenica mediamente rigida);
- 20,00- 30,00 Calcareniti, biocalciruditi, bioclastiti, giallastre ben cementate, con clasti polidimensionati di natura calcarea, a tratti di dimensioni decimetriche. (Formazione Pleistocenica discretamente rigida).

1.9 Il criterio per la classificazione del sottosuolo

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

A tal fine il geologo ha eseguito le seguenti prove sismiche:

- 5 prove sismiche del tipo MASW passiva o HVSR per la definizione dello spettro di risonanza e delle Velocità equivalenti (m/s) per la classificazione delle categorie dei suoli di fondazione secondo le NTC 2018.
- 1 prova sismica MASW ATTIVA.

Si sottolinea l'importanza di associare metodologie sismiche differenti in quanto con la Masw si possono calcolare con maggior dettaglio le velocità medie delle onde sismiche di taglio e quindi definire il $V_{s,eq}$ secondo la formula:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_{s,i}}}$$

Con le stazioni di misurazioni Tromometriche ed applicazione del metodo Nakamura o HVSR è possibile definire le impedenze sismiche ovvero le amplificazioni sismiche locali che possono dare origine a fenomeni sismoindotti quali quelli di liquefazione.

Le indagini sismiche eseguite fanno parte degli allegati alla relazione geologica: "report indagini Masw e Report indagini HVSR".



Figura 2-1: ubicazione delle indagini sismiche eseguite (cfr. Relazione geologica)

Si riportano di seguito gli esiti delle indagini sismiche eseguite. La prova n°2 e n°3 sono state omesse dal geologo perché perfettamente sovrapponibili alle prove n°1 e n°4.

ID PROVA	VELOCITA' VS, EQ	FREQUENZA DI RISONANZA Hz h/v	Profondità contrasto di rigidità	Considerazioni
HVSR 1	456 m/s	3.80 HZ H/V 4.13	23.5m	Riconducibile alla profondità del bedrock geologico
HVSR 4	448 m/s	4.70 HZ H/V 3.08	22.5m	Riconducibile alla profondità del bedrock geologico
HVSR 5	226 m/s	15.35 HZ H/V 3.67	16.7m	Riconducibile alla profondità del bedrock geologico

Tabella 13: Riepilogo Indagini Tromometriche H/V (cfr. Relazione geologica)

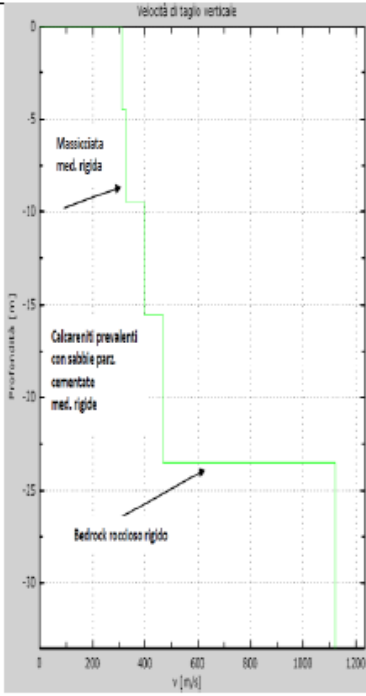
ID PROVA	VELOCITA' VS, EQ	Profondità contrasto di rigidità	Modello sismostratigrafico	Vs media (m/s)	Considerazioni
MASW 1	380m/s	23.50m circa		312m/s 329m/s 397m/s 468m/s 1121m/s (Substrato)	Consente di definire la profondità spessore media lungo la stesa sismica dei contrasti reologici riconducibili a materiali che progressivamente diventano più rigidi con la profondità senza evidenziare inversioni di velocità orizzontali (Vs m/s) che potrebbero essere ricondotti alla presenza di materiali molto più comprimibili rispetto a quelli soprastanti.

Tabella 12: Riepilogo Indagine Sismica Masw (Cfr. Relazione geologica)

Si ritiene che la Vs eq, debba essere definita facendo riferimento ai valori desunti dalla indagine sismica Masw, che ha consentito di definire un suolo di fondazione di tipo B.

1.10 Classificazione sismica dell'area, periodo di riferimento e accelerazioni relative

1.10.1 Categoria di sottosuolo

Utilizzando i valori del modello di velocità relativo alle onde di taglio fino alla profondità di 30 metri, è stato possibile definire la categoria di sottosuolo ai sensi del D.M 17/01/2018, che risulta appartenere alla CATEGORIA B (cfr. Tabella 3 di questa relazione).

1.10.2 Periodo di riferimento

La vita nominale viene assunta pari a 100 anni in considerazione delle caratteristiche dell'opera infrastrutturale; per la classe d'uso si assume la II in quanto il collasso di tali manufatti non determina conseguenze rilevanti.

Il coefficiente d'uso C_U risulta dunque essere pari a 1.

È possibile ora determinare il periodo di riferimento secondo la relazione seguente:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 100 \cdot 1,00 = 100 \text{ anni}$$

1.10.3 Accelerazione di ancoraggio dello spettro (a_s)

In definitiva si è ottenuto dunque:

- Classe d'uso dell'opera: II
- Vita Nominale dell'opera (V_N) = 100 anni
- Periodo di riferimento per l'azione sismica (V_R) = 100 anni
- Categoria di sottosuolo = B

L'utilizzo dei parametri sopra indicati ha portato, per il sito in oggetto (lat. 38,1487°, long. 13,3758° – cfr. Figura 2-2) ai seguenti valori di a_g .



Figura 2-3: Immagine aerea del sito con indicazione delle coordinate del punto in verde

STATO LIMITE	T _R [anni]	a _g [g]	F _o [-]	T _c * [s]
SLO	60	0,063	2,341	0,256
SLD	101	0,083	2,333	0,267
SLV	949	0,209	2,413	0,305
SLC	1950	0,265	2,481	0,316

Tabella 14: Parametri sismici del sito corretti

Determinato il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s e ponendo il coefficiente di amplificazione topografica S_T = 1,00 si ottengono i valori di accelerazione di ancoraggio degli spettri (a_s), per i diversi stati limite:

$$a_{\max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

I valori ottenuti sono riportati nella seguente tabella.

	S _s	C _c	S _t	K _h	K _v	a _{max} [m/s ²]	beta
SLO	1,20	1,44	1	0,015	0,008	0,736	0,2
SLD	1,20	1,43	1	0,020	0,010	0,973	0,2
SLV	1,20	1,39	1	0,070	0,035	2,462	0,28
SLC	1,14	1,39	1	0,085	0,042	2,965	0,28

Tabella 15: Accelerazioni di ancoraggio dello spettro (a_{max})