



Autorità di Sistema Portuale
del Mar Ligure Orientale
Porti di La Spezia e
Marina di Carrara

Presidente: Dott. Mario Sommariva
Segretario Generale: Ing. Federica Montaresi

Responsabile Unico del Procedimento: Ing. Mirko Leonardi

PIANO REGOLATORE PORTUALE DI MARINA DI CARRARA

CIG: 949570145B

LIVELLO

PRP

ELABORATO

**RELAZIONE ILLUSTRATIVA DEGLI ELABORATI PREDISPOSTI AI FINI DELLA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI E SISMICI E DEL RISCHIO SISMICO, ASSOCIATI ALLE INFRASTRUTTURE PORTUALI MARITTIME, RELATIVE ALLA PROPOSTA DI PIANO REGOLATORE PORTUALE DEL PORTO DI MARINA DI CARRARA (MS)
PARTE 1: RELAZIONE ILLUSTRATIVA DELLA CARTOGRAFIA**

Redazione del Piano Regolatore Portuale:



Modellistica numerica di supporto:



ELABORATO G.1.02		SCALA		NS. RIF. PRP-MDC_G.1.02_ Aprile2022.DOCX	COMMESSA – NN. A4 MDC2023 - 65
DATA	REVISIONE	REDATTORE	CONTROLLO	APPROVAZIONE	
16 febbraio 2023		SV	EV	MZ	

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

AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR LIGURE ORIENTALE PORTO DI MARINA DI CARRARA



RELAZIONE ILLUSTRATIVA DEGLI ELABORATI PREDISPOSTI AI FINI DELLA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI E SISMICI E DEL RISCHIO SISMICO, ASSOCIATI ALLE INFRASTRUTTURE PORTUALI MARITTIME, RELATIVE ALLA PROPOSTA DI PIANO REGOLATORE PORTUALE DEL PORTO DI MARINA DI CARRARA (MS)

Parte 1: relazione illustrativa della cartografia

TECNICI:

Dott. Geol. Marco Zanicchi

Dott. Geol. Eliana Vannini

Dott. Ing. Silvia Vannucci

Aprile 2022

Ns. Rif 2294

Firmato digitalmente

1. PREMESSA

Sulla base dell'incarico conferitoci con Determinazione 41 del 11/02/2022 del Dirigente dell'Ufficio Tecnico e di Pianificazione Infrastrutturale (CIG ZA43525E8A), è stata elaborata la presente relazione, che ha la finalità di illustrare gli elaborati cartografici prodotti ai fini della valutazione degli aspetti geologici, geomorfologici, sismici e del rischio sismico associato alle infrastrutture portuali marittime contenute nella proposta di piano regolatore portuale del Porto di Marina di Carrara.

Per la definizione dei contenuti degli elaborati in oggetto si è fatto riferimento a quanto contenuto nella Appendice "C" delle Linee Guida per la redazione dei piani regolatori di sistema portuale (marzo 2017), emanate dall'allora Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, che prevedono la valutazione del rischio sismico associato alle infrastrutture portuali marittime.

Stante la notevolissima mole di informazioni di carattere geotecnico e geofisico già disponibile sull'areale di studio, è stato predisposto un programma di indagini geofisiche integrative, destinato ad completare il quadro delle informazioni già in Ns. possesso:

- nelle zone poste sulla terra ferma con minor abbondanza di informazioni utilizzabili per gli scopi del lavoro
- nelle parte a mare (principalmente interessate dalle opere previste dal piano regolatore portuale) ove tali informazioni risultavano più carenti.

Per questo motivo preventivamente al lavoro è stata condotta una disamina e scrematura di tutte le informazioni tecniche disponibili relative a:

- Studi territoriali e geotecnici, eseguiti nel 1998, nelle aree di pertinenza dell'Autorità Portuale di Marina di Carrara (Prof. Noli - Prof. Contini) nell'ambito della ristrutturazione della banchina "Buscaioli".

- indagini geognostiche eseguite, dalla EPTA CONSULT s.c.r.l. nel mese di agosto del 1999, all'esterno dell'area del riempimento (sondaggi meccanici a carotaggio continuo, prove penetrometriche, tipo SPT, prove pressiometriche, prove di laboratorio geotecnico);
- indagini geognostiche eseguite, dalla EPTA CONSULT s.c.r.l. nel mese di settembre 2001, all'esterno dell'area del riempimento (sondaggi meccanici a carotaggio continuo, prove penetrometriche SPT , DPHS, e prove di laboratorio geotecnico), nell'ambito del progetto di ristrutturazione della banchina "Fiorillo";
- indagini geognostiche Eptaconsult srl per il progetto di costruzione della nuova palazzina uffici della Autorità Portuale nel porto di marina di Carrara (2002);
- Indagini geognostiche Eptaconsult srl per posa piezometri nel piazzale Città di Massa (2003);
- indagini geognostiche per realizzazione deposito merci eseguite da Studio Amati srl di Roma nel 2003;
- indagini geognostiche eseguite, dalla EPTA CONSULT s.c.r.l. nel mese di Novembre 2008, nell'area del riempimento (sondaggi meccanici a carotaggio continuo, prove penetrometriche SPT, prove penetrometriche DPHS e prove di laboratorio geotecnico); nell'ambito del progetto del sistema di conterminazione del piazzale Città di Massa;
- indagini geofisiche geoelettriche eseguite, dalla EPTA CONSULT s.c.r.l. nel 2008, nell'area del riempimento del nuovo piazzale Città di Massa per determinazione dello spessore e della geometria degli elementi del riporto superficiale preventiva alla infissione del palancolato di conterminazione;
- indagini geofisiche sismiche redatte da EPTACONSULT srl per l'ATF del molo di levante nel porto di Marina di Carrara (2010);
- Indagini geognostiche e geofisiche a supporto del progetto definitivo dei lavori di adeguamento del Ponte sul T. Carrione eseguite da Studio Geologico Focardi nel 2011;
- Indagini geognostiche eseguite da Grandi Lavori Fincosit (Impresa Terra srl) del Maggio 2012 nell'ambito del monitoraggio del rilevato di precarica nel nuovo piazzale Città di Massa;

- Indagini geologiche e geognostiche preliminari dei 4 ambiti del progetto interfaccia Porto-Città eseguite, dalla EPTA CONSULT s.c.r.l. nel mese di Dicembre 2012;
- Indagini geognostiche e geofisiche nel cantiere N.C.A. di Marina di Carrara eseguita da Geotirreno srl (2013);
- Indagini geognostiche e geofisiche di supporto alla relazione geologica per il posizionamento delle centrali idriche antincendio di tipo monoblocco da esterno nel Porto di Marina di Carrara eseguite da Bierregi srl (2017);
- Indagini geognostiche e sulle strutture esistenti per la progettazione definitiva degli interventi per la fruibilità protetta della passeggiata sul mare in corrispondenza del molo di ponente (ambito 4 -progetto di interfaccia porto-città') eseguite da Proger spa –Bierregi srl (2019);
- Campagna di indagini geognostiche e geofisiche nell'ambito della relazione geologica e sismica inerente il progetto di ampliamento e ammodernamento del compendio produttivo in concessione a NCA spa, redatte da Studio di Geologia Dott.ssa Stefania Botti (2019)
- Indagini geognostiche propedeutiche alla progettazione del sistema di ormeggio per l'accosto di una grande nave cruise nel porto di Marina di Carrara e dei relativi interventi funzionali, eseguite da Geoservice snc (2020);
- indagini geognostiche integrative per la progettazione dell'intervento di riprofilatura della testata del molo di sottoflutto del porto di Marina di Carrara, eseguite dalla Ditta Borghi Drill srl (2020);
- Indagini geognostiche e geofisiche sulla banchina Tagliericio eseguite da Ecocantieri srl (2021).

2. METODOLOGIA

L'analisi dei dati bibliografici disponibili, riportata sulla cartografia allegata, metteva in evidenza come la maggior parte dei dati fossero concentrati sulle banchine a terra con solo alcune zone scoperte, mentre il minor numero di informazioni riguardava le parti a mare ad

est della Banchina Fiorillo ove dall'ipotesi di Piano è prevista la realizzazione della nuova Banchina Walton.

Inoltre mentre le informazioni di carattere litostratigrafico e geotecnico risultavano esaustive per la comprensione della sequenza litostratigrafica locale, sebbene semplificata in base al criterio della "prevalenza litologica", dell'area: (si veda il "modello geologico generale dell'area portuale"), i caratteri sismici specificatamente relativi alle sequenze sismostratigrafiche e quindi alla classifica del suolo in relazione alle NTC 2018, sebbene piuttosto omogenei (cfr. tavola 3 delle informazioni di carattere sismico), presentavano alcune zone scoperte.

Per questo motivo, e nell'ottica di redigere le cartografie oggetto del presente incarico, si è provveduto ad integrare le indagini esistenti con prospezioni di tipo prettamente sismico, volte a individuare i caratteri delle aree non studiate, per mettere in relazioni i caratteri litostratigrafici e sismici di dette aree con quelli delle aree ove le informazioni, relative a questi aspetti, erano più ridondanti.

La presente metodologia di integrazione ha compreso indagini a terra, mediante l'adozione di indagini sismiche passive su stazione singola HVSR con tromografo digitale.

Nelle seguenti foto sono rappresentate le postazioni delle misure HVSR integrative:



Prove HVSR: T1, T2 e T3 del marzo 2022

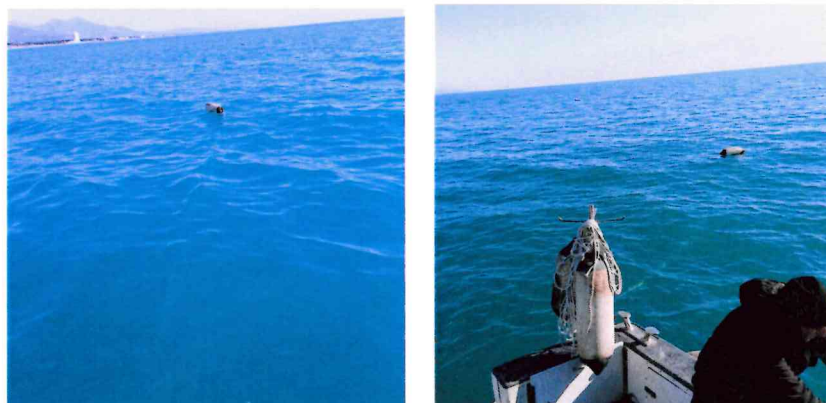


Prove HVSr T4, T5 e T6 del marzo 2022

Per quanto riguarda le aree a mare, in considerazione della esposizione al moto ondoso e del traffico portuale, si è prevista l'esecuzione di profili MASW eseguiti con catene dei idrofoni posati sul fondale e relativa energizzazione. Per queste si sono eseguite misure utilizzando una catena di 12 idrofoni interdistanziati di 5 metri al fine di ricostruire la stratigrafia del sottosuolo registrando le onde compressive; inoltre utilizzando la metodologia MASW sono state registrate le onde superficiali.

Quest'ultima indagine ha permesso di ricostruire anche sul fondale la "stratigrafia sismica" del sito (pannello di velocità strato per strato) e di calcolare il $V_{seq}-V_{s30}$.

Come previsto dalle Norme Tecniche allegate all'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e ripresa dalle Norme Tecniche delle Costruzioni del 17 gennaio 2018, tale valore ha permesso di individuare la categoria del suolo di fondazione e di definire l'azione sismica di progetto. Le energizzazioni sono state ottenute con l'utilizzo di cartucce uso industriale, in apposito cannoncino, che ha trasmesso l'onda d'urto immediatamente sopra al fondale marino.



Gavitelli alle estremità della catena di idrofoni sul fondo nelle prove MASW 1 (a sx) e MASW 2 (a dx)



Strumentazione geofisica di acquisizione delle MASW (sismografo a 24 bit DAQlinkIII prodotto dalla Seismic Source Co.-USA) e cannoncino di energizzazione al fondale

3. CARATTERI GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICI ED IDROGEOLOGICI GENERALI

3.1 CARATTERI GEOLOGICI E STRATIGRAFICI GENERALI

Sotto il profilo geologico l'area di intervento si colloca al margine e mare della pianura alluvionale apuo-versiliana. La pianura in questione ha avuto origine dal susseguirsi delle fasi depositive in diverse condizioni trasgressive e regressive marine. Infatti la sequenza litostratigrafia ottenuta evidenzia, verso il basso, termini di deposizione alluvionale in ambiente fluviale con varia granulometria (ad iniziare dalla profondità prossima ai 30 m dal piano di campagna fino ad oltre 50.00 m) che indicano una linea di riva posta molto al largo rispetto all'attuale con sedimenti arrossati in fase di esposizione all'aria. La parte superiore della sequenza, sino al riporto di superficie, rappresenta un fitto alternarsi di fenomeni depositivi in ambiente marino lacustre e/o lagunare come dimostrano le presenza di gusci di lamellibranchi e gasteropodi marini, livelli torbosi e con resti vegetali carboniosi. In tale orizzonte localmente si rinvencono lenti più grossolane , presumibilmente

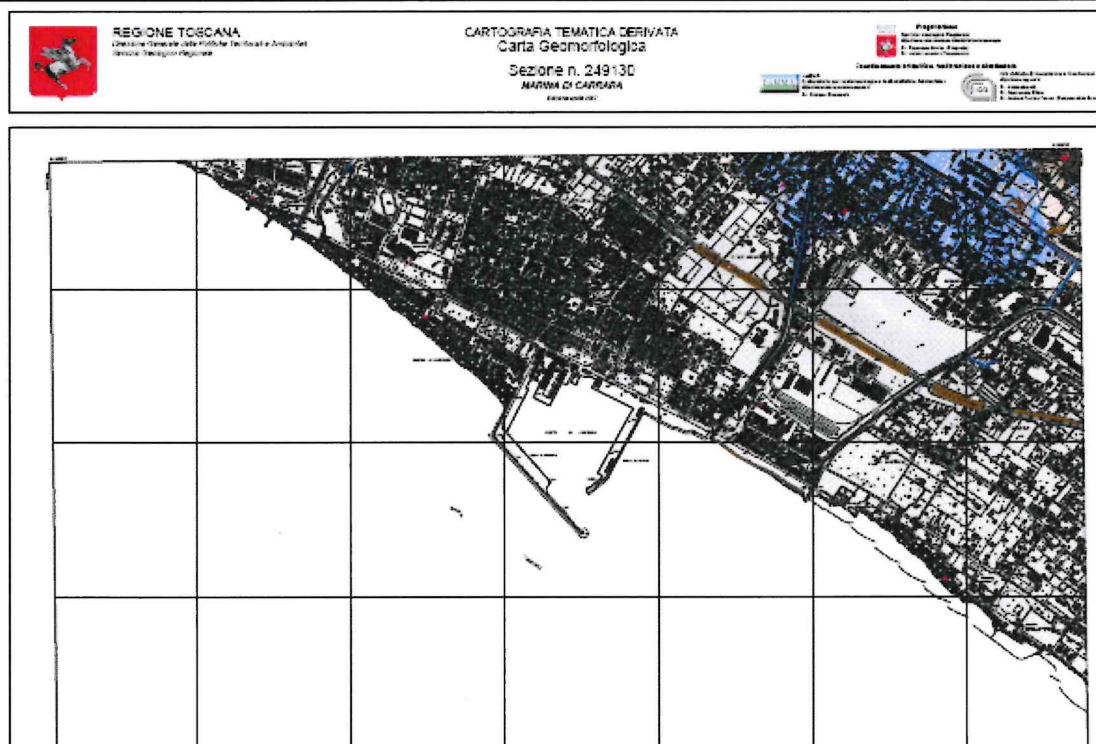
collegate a zone di maggior apporto dei corsi idrici scendenti dalle Alpi Apuane. Sebbene nell'area siano certamente presenti, nelle carote esaminate (per la maggior parte direttamente dallo scrivente) non si sono osservati sedimenti di origine francamente eolica (ambiente di duna costiera).

A parte alcuni orizzonti con andamento discontinuo e spesso lenticolare la maggior parte degli orizzonti riconosciuti, seppur con spessori variabili, si riscontrano in tutte le verticali esaminate (cfr. seguente paragrafo 4.5 delle ricostruzioni litostratigrafiche).

3.2 CARATTERI GEOMORFOLOGICI GENERALI

In merito alla situazione geomorfologica vengono prese in esame le sole forme presenti nella pianura alluvionale, ed in particolare quelle dipendenti dai processi legati all'azione fluviale od antropica.

Analizzando la carta geomorfologica edita dalla Regione Toscana (sezione 249031 edizione Aprile 2007) di seguito riportata:



Si osserva unico elemento posto nella parte settentrionale della carta e rappresentato dalla parte marginale di valle di una conoide alluvionale del Torrente Carrione. Non si rinvenivano altri elementi geomorfologici di rilievo quali orli di terrazzi e paloalvei interessanti la pianura alluvionale in questione. Anche all'analisi delle fotografie aeree a causa delle notevole urbanizzazione e trasformazione della morfologia (soprattutto in prossimità della costa) non si riconoscono elementi geomorfologici significativi tali da integrare la cartografia suddetta.

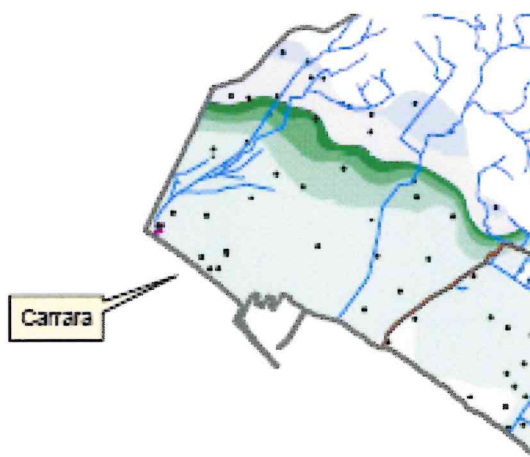
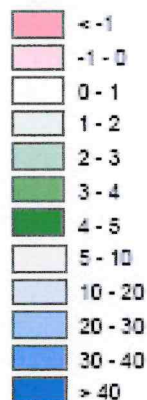
3.3 CARATTERI IDROGEOLOGICI GENERALI

La porzione di pianura alluvionale analizzata rappresenta (sino alle profondità analizzate) un acquifero freatico monostrato, in quanto gli orizzonti di potenziale compartimentazione sono caratterizzati da spessori sempre molto discontinui e geometria lenticolare.

In base alle analisi condotte nell'ambito dell'ATO Toscana Nord.

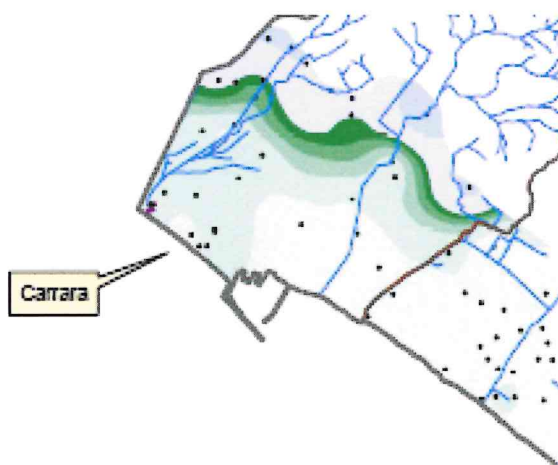
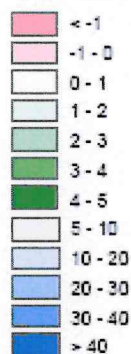
Legenda

Livello Piezometrico (m s.l.m.)
Aprile 2007



Legenda

Livello Piezometrico (m s.l.m.)
Settembre 2007



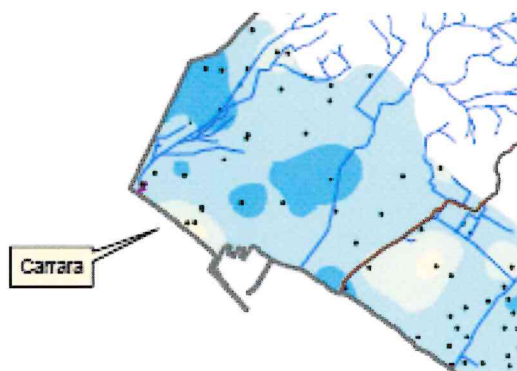
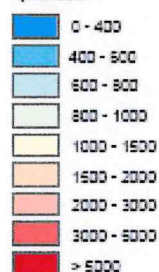
Analizzando le due cartografie si osserva una variazione della soggiacenza tra il periodo di massima ricarica (inizio primavera), dove si riscontrano valori di 1-2 m s.l.m. (p.c. a quote variabili da 1 a 2 m s.l.m.. quindi molto prossimo al piano di campagna) ed il periodo tardo estivo. In questo a causa della di minor ricarica, si hanno valori di piezometria variabili da 0 a 1 m s.l.m..

La variazione di soggiacenza annuale è quindi dell'ordine di 1.00 m. L'apporto idrico di elementi quali il Torrente Carrione, non sembra influenzare la piezometria in maniera significativa a grande scala.

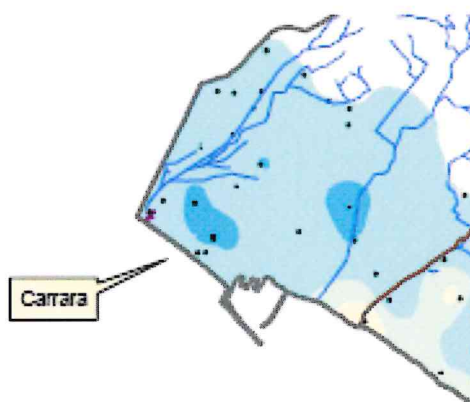
Analizzando le carte di cui sopra, nella parte pianeggiante (adiacente al porto) il gradiente è modestissimo (cfr. rilievi piezometrici di dettaglio al novembre 2009).

In termini di qualità delle acqua e soprattutto di rapporti delle acqua dolci con il mare, la situazione della conducibilità elettrica varia di poco dal periodo tardo invernale a quello tardo estivo con un valore medio intorno a 600-800 microSiemens/cm come riportato nelle due carte seguenti relative alle misure dell'aprile e settembre 2007

Legenda
Conducibilità (microS/cm)
Aprile 2007



Legenda
Conducibilità (microS/cm)
Settembre 2007



Si nota come vista la vicinanza con il mare e con l'alveo del T. Carrione le modeste variazioni locali siano generate dalla contemporaneità i fattori suddetti (anche dalla componente di moto ondoso che fa risentire i suoi effetti in modo diverso sulle due sponde).

4. ELEMENTI ILLUSTRATIVI DELLA CARTOGRAFIA ELABORATA

4.1 COROGRAFIA DI UBICAZIONE DELL'AREA DI STUDIO

La cartografia in oggetto (visibile in tavola 1) ha la sola finalità di evidenziare sotto il profilo corografico l'ubicazione dell'area di studio rappresentata dall'area portuale di Marina di Carrara oggetto del Piano Regolatore Portuale su base cartografica CTR 1:5000.

4.2 CARTOGRAFIA COMPLESSIVA CON RAPPRESENTAZIONE DI TUTTE LE INDAGINI REPERITE E DI QUELLE SPECIFICATAMENTE ESEGUITE

L'elaborato riportato in Tavola 2 vuole rappresentare l'intero universo delle informazioni di carattere geognostico (e quindi geotecnico e sismico) reperite nell'area, nel corso delle varie campagne geognostiche ripetutesi sebbene con differenti finalità. Per questo motivo si è resa necessaria un'accurata azione di semplificazione delle sequenze litostratigrafiche e di omogeneizzazione delle stesse, creando un numero ridotto di orizzonti con caratteri granulometrici e di addensamento peculiari.

Per ogni punto di indagine visibile sulla cartografia è riportato rispettivamente:

- un simbolo differente a seconda che si tratti di: sondaggi geognostici, prove penetrometriche (statiche o dinamiche) o prove sismiche puntuali (in foro o in superficie, oppure su fondale marino), con determinazione dei profili in onde S e/o P o stendimenti in superficie o fondale marino.

- una lettera indicante la campagna a cui fa riferimento la verticale o prova in questione ed una coppia di numeri indicanti l'anno in cui il dato bibliografico reperito è stato eseguito

4.3 CARTOGRAFIA DI DETTAGLIO DELLE INDAGINI SISMICHE REPERITE E SPECIFICATAMENTE ESEGUITE

La Tavola 3 compendia le prove sismiche Down Hole, HVSR e MASW relativa all'area oggetto del Piano Regolatore Portuale (gli elaborati delle prove sono riportati in allegato a fine testo).

Nel dettaglio per ogni punto di indagine è stato determinato il valore del parametro $V_{s,eq}$ di cui alle NTC 2018.

Per velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione (o dal piano di campagna), secondo la relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore $h(strato)$ e dalla velocità delle onde S $V_s(strato)$.

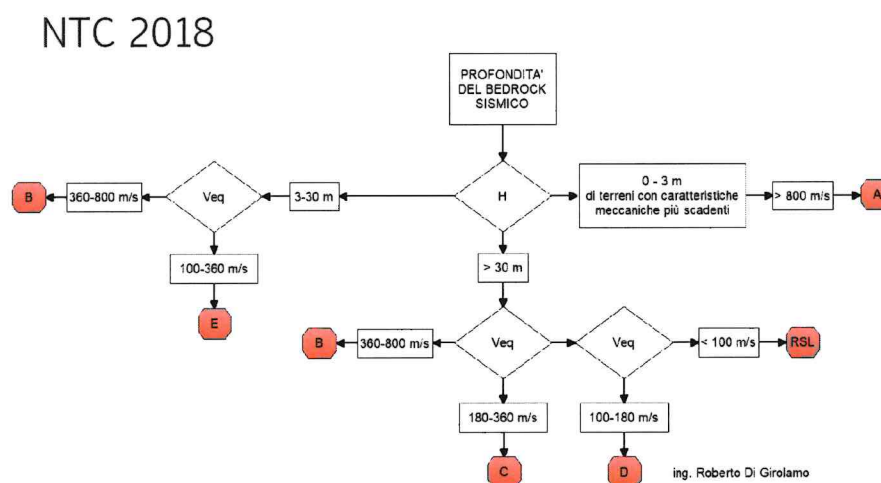
Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, come nel caso in oggetto, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro

V_{S30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

In base al seguente schema, guardando la carta di tavola 3, in tutti i punti investigati si è ottenuto un valore di $V_{Seq}=V_{S30}$ generalmente inferiore a 300 m/s, fa eccezione quanto emerso sulla Banchina Capitan Fiorillo, ove nella parte centrale il valore di $V_{Seq}=V_{S30}$ risulta appena maggiore di 300 m/s (comunque inferiore a 360 m/s), mentre nella parte della attuale Banchina Servizi (alla testata della suddetta Banchina Cap. Fiorillo), le prove eseguite hanno risentito della presenza dell'antica scogliera indicando valori di $V_{Seq}=V_{S30}$ maggiori di 520 m/s. Sui fondali marini (dragati o meno) i valori di $V_{Seq}=V_{S30}$ risultano sensibilmente più contenuti e dell'ordine di 200-220 m/s.

In base al seguente diagramma:



E prendendo in considerazione le seguenti categorie di sottosuolo (DM 17/01/2018)

Categoria A

Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità

delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

Categoria B

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

Categoria 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.

Categoria D

Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 m/s e 180 m/s.

Categoria E

Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30m.

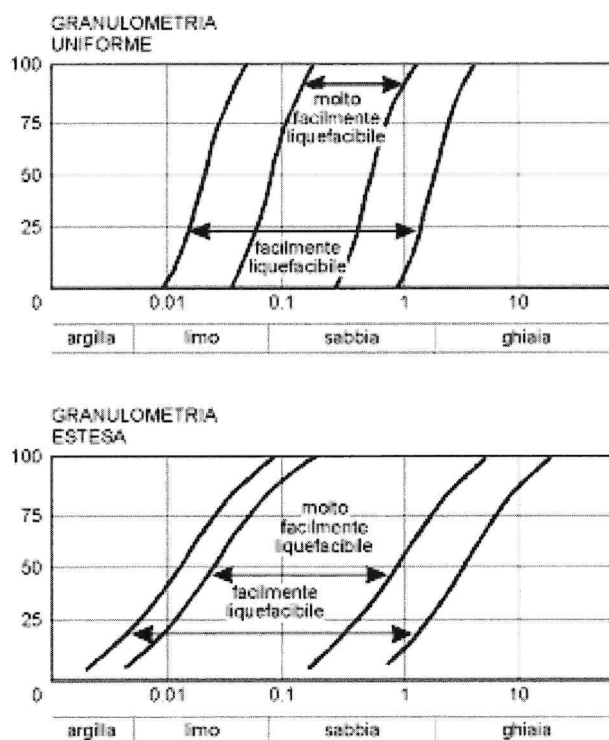
La maggior parte delle verticali ricade in suolo tipo “C” con la sola eccezione della testata della Banchina Servizi che, per la presenza della scogliera in corrispondenza delle prove eseguite, ricadrebbe in classe di suolo B (cautelativamente anche questa parte viene inserita in classe di suolo “C”).

Nella stessa tavola viene riportato il limite delle rispettive maglie sismiche di appartenenza (che cambia circa a metà dell'area portuale) dove nella maglia superiore, considerando un affollamento significativo (classe di edificio 3) con Coefficiente di Utilizzo 1.5 e vita nominale 50 anni, si ottiene un valore di ag

(espresso in g) pari a 0.152, mentre nella maglia inferiore un valore di a_g (sempre espresso in g) pari a 0.144.

Nella stessa tavola sono riportate aree dove in base alle prove di laboratorio reperite nei sondaggi geognostici si hanno caratteri omogenei (mediati sulla verticale) del peso di volume naturale del terreno e della presenza percentuale di sedimento fine (passante al vaglio 0.075 mm ossia la percentuale totale di limo+argilla), da utilizzarsi nella successiva cartografia per la definizione dell'indice di liquefazione.

I campioni considerati sui differenti logos stratigrafici, sono stati scelti tra quelli che già a prima analisi potevano ricadere nel fuso granulometrico critico di cui ai due profili granulometrici di riferimento (Tsuchida, 1970), uno per granulometrie uniformi, l'altro per granulometrie estese (presenza di frazioni argillose o ghiaiose) di seguito riportati.



Provvedendo ad escludere dalla media le granulometrie esterne a tali fusi.

4.4 CARTOGRAFIA DI DETTAGLIO DELL'INDICE DI LIQUEFAZIONE POTENZIALE

Nella bibliografia specialistica sono stati sviluppati metodi semplificati che permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilitabile nello strato (CRR) e lo sforzo tagliente indotto dal sisma (CSR). Cioè in pratica si ha:

$$F_s = CRR/CSR$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione, se il coefficiente di sicurezza sarà minore di 1 (di 1.25 secondo l'Eurocodice 8 stesso coefficiente utilizzato nelle successive nostre elaborazioni dell'Indice di Liquefazione).

La grandezza CSR dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto). CRR è altresì funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche dinamiche e statiche o con i valori delle velocità delle onde S ricavati da indagine geofisica (come nel nostro caso).

La scelta dell'utilizzo delle onde S per la definizione del parametro è scaturita dal fatto che le prove penetrometriche (statiche e dinamiche) susseguitesì in differenti periodi, riguardavano soltanto le parti a terra e presentavano una distribuzione disomogenea.

Con tale premessa la grandezza CSR è stata ricavata attraverso la relazione:

$$T = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'} r_d \frac{1}{MSF};$$

dove:

$a_{\max}$	= accelerazione sismica massima;
g	= accelerazione di gravità = 980.7 cm/s ² ;
σ_{v0}	= pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;
σ_{v0}'	= pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;
r_d	= coefficiente funzione della profondità dal p.c.;
MSF	= coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma.

Ove r_d è stato fatto derivare dalla correlazione empirica di Boulanger & Idriss (2014)

$$r_d = \exp(\alpha + \beta)$$

$$\alpha = -1.012 - 1.126 \operatorname{sen} \left(\frac{h_{media}}{11.73} + 5.133 \right)$$

$$\beta = M_w \left[0.106 + 0.118 \operatorname{sen} \left(\frac{h_{media}}{11.28} \right) + 5.142 \right]$$

in cui M_w è la magnitudo momento del sisma di riferimento.

Per il calcolo del coefficiente correttivo MSF dalla velocità delle onde V_s si è utilizzata la relazione di Idriss 1999:

$$MSF = 6.9 \cdot \exp \left(\frac{-M}{4} \right) W^{-0.058} \leq 1.8$$

Altresì per il calcolo della resistenza la taglio mobilitata dal sisma CRR, si è utilizzata la relazione di Boulanger & Idriss 2004

$$R = 0.022 \left(\frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + \frac{2.8}{V_{s1c} - V_{s1}} - \frac{2.8}{V_{s1}}$$

dove:

$$V_{s1}(\text{m/s}) = \text{velocità delle onde S nello strato corretta} = V_s \left(\frac{1}{\sigma_{v0}'} \right)^{0.25}, \text{ dove}$$

V_s è la velocità misurata e σ_{v0}' (kg/cmq) è la pressione verticale efficace a metà strato;

$V_{s1c}(m/s)$ = valore critico delle onde S nel deposito, ricavabile attraverso il seguente schema:

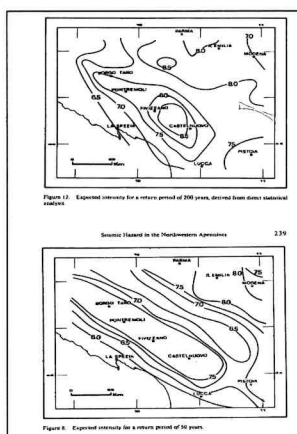
$V_{s1c}(m/s)=215$ se la percentuale di fine(FC)<5%;

$V_{s1c}(m/s)=215-0.5x(FC-5)$ se $5<FC<35\%$;

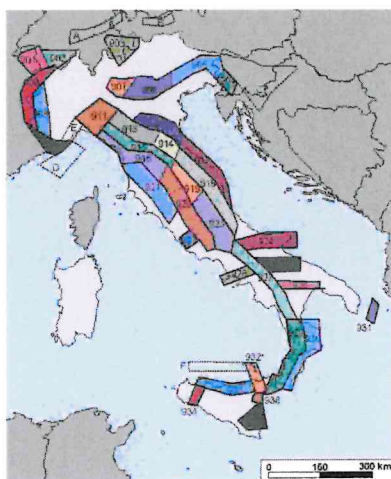
$V_{s1c}(m/s)=200$ se $FC\geq 35\%$;

Il calcolo di MSF e Rd ha richiesto la definizione e l'inserimento nel software della magnitudo di riferimento.

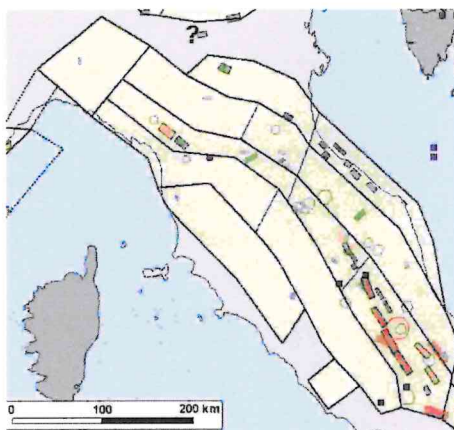
Analizzando gli studi del Prof. Eva a tempo di ritorno 200 anni per la piana del Porto di Marina di Carrara si avrebbe un valore pari a 7.00 mentre con Tr 50 anni il valore scende a 6.00 (vedi figura seguente).



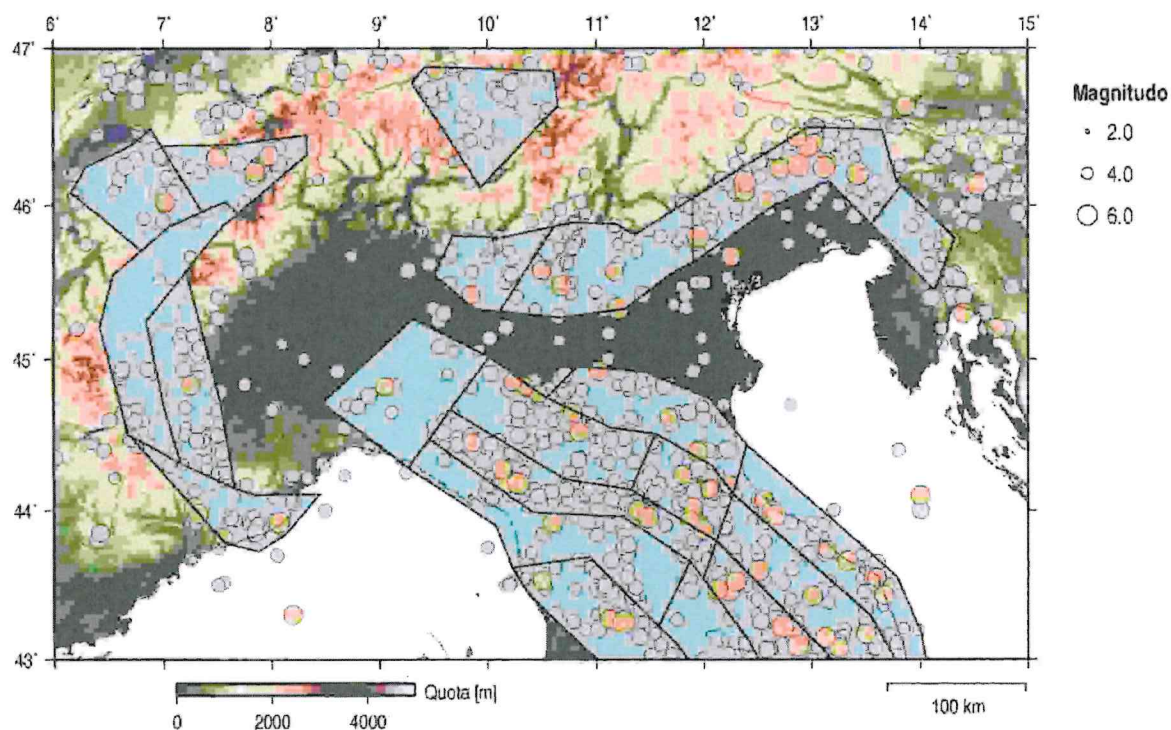
Dati più recenti, ed in particolare la zonazione sismogenetica effettuata nel 2004 (ZS9) la zona risulta definita come 916, coincidente con i settori in distensione tirrenica caratterizzata da sismicità di bassa energia, che sporadicamente può raggiungere valori di magnitudo relativamente elevati.



Se analizziamo inoltre la distribuzione delle sorgenti sismogenetiche si vede che non sono ubicate nell'area di studio.



Se analizziamo infine la geometria delle sorgenti sismiche, si nota che nell'area di studio si hanno sorgenti tutte a magnitudo inferiore a 5.4 Ms,



(in arancione eventi con $M_s > 5.4$)

Anche in questo caso si osserva che il valore di magnitudo desunto dal Prof. Eva per Tr 200 anni risulta troppo elevato.

Stante il fatto che nell'ordinanza 3274/03 non si fa riferimento al valore di magnitudo da applicare nei calcoli, è maggiormente ragionevole l'applicazione di un valore intermedio tra quello suddetto (7 Ms) ed il valore massimo registrato in serie storica dai dati soprariportati (magnitudo 5.4); si è quindi utilizzato il valore di magnitudo 6.5 che, peraltro, rappresentava sino a pochi anni orsono il limite per la possibilità di liquefazione (la liquefazione era ritenuta praticamente impossibile con magnitudo inferiore a 6 Ms).

Per tutte le situazioni in cui le prove erano state eseguite su banchina e piazzale si è considerata una profondità della falda pari al livello medio mare ossia -2.50 m dal piano banchina o piazzale (-1.20 per la Banchina Servizi).

Una stima del rischio di liquefazione complessivo lungo ogni verticale di calcolo viene fornita in base al parametro indice di liquefazione (IL). Tale indice viene definito dalla seguente relazione:

$$IL = \sum_{i=1}^n FW(z)\Delta z$$

dove:

n = numero degli intervalli di calcolo di F_s lungo la verticale;

$F = 0$ per $F_s \geq F_s$ di riferimento;

$F = 2000000e^{-18.427F_s}$ per F_s di riferimento $> F_s \geq 0.95$

$F = 1 - F_s$ per $F_s < 0.95$

Δz = spessore dell'intervallo di calcolo;

$W(z) = 10 - 0.5z$, con z = profondità di calcolo (massimo 20 m).

In base al valore di IL ottenuto è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione attraverso la seguente tabella (Somez, 2003):

IL	Rischio di liquefazione
IL=0	Molto basso
$0 < IL \leq 2$	Basso
$2 < IL \leq 5$	Moderato
$5 < IL \leq 15$	Alto
$15 < IL$	Molto alto

La carta di tavola 4 evidenzia solo due diverse situazioni dell'indice di liquefazione, (mentre gli elaborati del valore dell'indice redatti utilizzando il software Liquef di Program-Geo Brescia, sono riportati in allegato a fine testo):

- **molto alto** nelle situazioni di fondale naturale ed in alcune zone localizzate delle banchine Fiorillo e Tagliercio, così come all'interno dell'area NCA ed all'estremo est di Viale Colombo;
- **molto basso** in tutte le altre parti;

Il significato della carta in questione è quello di fornire uno strumento, a livello di pianificazione, delle zone in cui è necessario uno sforzo progettuale di maggior dettaglio in relazione a tale aspetto (come vedremo nella specifica cartografia di pericolosità), proprio alla luce del fatto che tutte le verifiche progettuali di dettaglio condotte a supporto dei vari interventi realizzati (banchine, scogliere, etc) non hanno mai evidenziato una significativa criticità di tale aspetto.

Nella stessa cartografia di Tavola 4, in corrispondenza dei vari punti di indagine, sono state inoltre riportate le situazioni di esecuzione delle prove se su fondale o su piano banchina e le quote di bottom e top dei livelli che hanno fornito condizioni di indice di liquefazione molto alto.

4.5 CARTOGRAFIA DI DETTAGLIO DELLA UBICAZIONE DEI SONDAGGI DI CUI E' STATA OMOGENEIZZATA LA SEQUENZA LITOSTRATIGRAFICA PER L'ELABORAZIONE DELLE SEZIONI GEOLOGICHE E LITOSTRATIGRAFICHE INTERPRETATIVE

A seguito della omogeneizzazione delle sequenze litostratigrafiche dei sondaggi geognostici reperiti, e in considerazione della distribuzione delle verticali di indagine, è stata predisposta la carta dei sondaggi geognostici di tavola 5. La tavola in questione riporta la tracce di 5 sezioni litostratigrafiche che sono rappresentate poi nella tavola 9. La scelta delle sezioni è stata condotta in maniera tale che le stesse

potessero essere rappresentative delle caratteristiche delle differenti banchine o dei tratti di esistenti.

Dalla omogeneizzazione delle informazioni stratigrafiche si sono ottenuti 4 differenti orizzonti costituenti il modello litostratigrafico e quindi geologico locale, concepito utilizzando il criterio della prevalenza litologica per ogni singolo orizzonte:

- **ORIZZONTE A**

Riporto eterogeneo, ma prevalentemente grossolano, sino alle dimensioni dei blocchi. Sono anche state inserite, in questo orizzonte, le situazioni su banchina ove il riporto risulta costituito da sabbia con caratteri di addensamento differenti da quelli chiaramente riscontrati sul fondale marino naturale. Tale orizzonte nella carta di tavola 6 (indicativa della distribuzione degli spessori del riporto), è stato suddiviso per aree omogenee in base a 3 range di spessore (inferiore a 5 m: anche completamente assente come nelle condizioni di fondale naturale, tra 5 e 10 m, e superiore a 10 m).

- **ORIZZONTE B**

Si tratta di un orizzonte costituito dal fondale naturale caratterizzato da una alternanza fitta di livelli decimetrici di sabbie fini limose e limi sabbiosi prevalenti, con livelli di torbe (gusci di lamellibranchi e gasteropodi marini verso il basso dell'orizzonte). Il sedimento si presenta da sciolto o molto sciolto in base ai campioni disponibili ai test SPT ed alle prove penetrometriche reperite. L'orizzonte non è uniforme in termini di spessore in senso areale, come sarà descritto nella tavola 7 di seguito illustrata. Nella parte meridionale dell'area portuale sul prolungamento della Banchina Fiorillo ed all'estremo ovest dell'area (spiaggia esterna alla banchina Chiesa) gli spessori sono maggiori di 20 m. Nella parte settentrionale della banchina Buscaiol e in parte dell'area NCA, così come allo sbocco del Torrente Carrione, lo spessore risulta dell'ordine di 10-20 m, mentre in tutte le rimanenti zone, detto spessore, risulta inferiore a 10 m.

- **ORIZZONTE C**

Trattasi di una fitta alternanza di livelli multidecimetrici di sabbie da medie a grossolane con ghiaietto generalmente raro (complessivamente con grado di addensamento medio). Questo orizzonte è presente in tutte le verticali investigate, (come esplicitato nella Tavola 8 che commenteremo in seguito). Gli spessori maggiormente rappresentati, sono più frequentemente compresi tra 10 e 20 m, ma si riscontra una fascia di direzione NNE-SSW di fronte alla banchina Buscaioli dove lo spessore di tale orizzonte risulta inferiore a 10.00 m, così come alla foce del Torrente Carrione. La parte dell'area all'estremo ovest zona dell'angolo tra le banchine Chiesa e Tagliercio mostra spessori di tale orizzonte superiori a 20 m.

- **ORIZZONTE D**

Si tratta di un orizzonte granulometricamente eterogeneo in senso areale che tuttavia si incontra in tutte le verticali di indagine (vedi distribuzione areali degli spessori di tavola 9 di seguito illustrata). Rappresenta l'orizzonte profondo dei terreni maggiormente addensati se sabbioso ghiaiosi, o molto consistenti, se prevalentemente argilloso limosi. Si rinviene alla profondità di 25-35 m dal piano banchine o a profondità dell'ordine di 20 m dal fondale nello specchio di mare entro il porto.

4.6 CARTOGRAFIA DELLO SPESSORE DEL RIPORTO

Nella carta di tavola 6 è rappresentata la variazione areale dello spessore di riporto prevalentemente nelle aree di banchina e piazzale. Sono state individuate tre classi di spessore: 0-5 m, 5-10 m e maggiore di 10 m.

4.7 CARTOGRAFIA DELLO SPESSORE DELL'ORIZZONTE B DELLE SABBIE SCIOLTE PREVALENTI

Nella carta di tavola 7 è rappresentata la variazione areale dello spessore dell'orizzonte B delle sabbie fini sciolte. Sono state individuate tre classi di spessore: 0-10 m, 10-20 m e maggiore di 20 m.

4.8 CARTOGRAFIA DELLO SPESSORE DELL'ORIZZONTE C DELLE SABBIE MEDIAMENTE ADDENSATE PREVALENTI

Nella carta di tavola 8 è rappresentata la variazione areale dello spessore dell'orizzonte C delle sabbie fini mediamente addensate. Sono state individuate tre classi di spessore: 0-10 m, 10-20 m e maggiore di 20 m.

4.9 SEZIONI GEOLOGICHE E LITOSTRATIGRAFICHE INTERPRETATIVE

Nelle sezioni riportate in tavola 9 è rappresentata la variabilità degli spessori degli orizzonti prevalenti Riporto "A", orizzonte "B", orizzonte "C" e tetto dell'orizzonte "D", lungo le sezioni individuate.

4.10 CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOTECNICA

Nella carta di tavola 10 viene proposta la pericolosità delle differenti aree, in ragione delle potenziali problematiche di carattere geotecnico del sottosuolo. Tuttavia in una situazione litostratigrafica assai omogenea come riscontrato all'interno dell'area portuale dalla omogeneizzazione dei sondaggi reperiti, ed una altrettanto omogenea caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sciolti all'interno dei singoli orizzonti del modello geologico (cfr paragrafo 4.5), stante una generale bassa pericolosità dei terreni si è individuato un criterio per discernere all'interno della condizione di pericolosità P1geo tre sub classi di bassa pericolosità P1geoA,

P1geoB e P1geoC, considerando soprattutto lo spessore dell'orizzonte B delle sabbie fini più o meno limose da sciolte a molto sciolte.

Il grado di **pericolosità non significativa** (P0geo) è ovviamente stato assegnato alle aree delle attuali banchine dove le fasi realizzative delle banchine stesse, nell'ottica delle sollecitazioni previste sui piazzali, ha di per se risolto le possibili problematiche dovute alla presenza dell'orizzonte B delle sabbie sciolte di maggior o minor spessore.

Per le altre aree soprattutto riferite al fondale marino per definire una possibile variabilità entro il livello di bassa pericolosità, si è fissato il parametro dello spessore del riporto (pressochè assente in tutte le verticali e comunque di spessore inferiore a 5.00 m) variando il subgrado: A, B e C in base allo spessore dell'orizzonte B suddetto: indicando una pericolosità bassa (P1geoA) dove tale spessore risultava inferiore a 10 m, media (P1geoB) se compreso tra 10 e 20 m, ed elevata (P1geoC) alta se superiore a 20 m) La cartografia così ottenuta identifica, all'interno di una generale situazione di pericolosità bassa P1geoA, un'area sul prolungamento verso sudovest della Banchina Fiorillo inserita in classe P1geoC e un'area nella zona del club nautico ed antistante la Banchina Buscaioli a pericolosità bassa ma di subclasse B (P1geoB).

4.11 CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

La pericolosità sismica di base (ossia dalle caratteristiche della componente di pericolosità dovuta alle caratteristiche sismologiche regionali, quali: energia, frequenza dei terremoti, attenuazione spaziale del moto sismico, contesto sismo tettonico, ubicazione e stili di fagliazione delle principali sorgenti sismiche) nella ristretta area di studio, riferita al perimetro dell'area portuale, evidenzia una sola differenza, che riguarda il cambiamento della maglia sismica di riferimento il cui limite corre pressochè al centro dell'area portuale in direzione E-W (vedi tavola 3).

Detta maglia è generata da INGV in base ad un reticolo di **10751 punti** definito tramite le coordinate di **latitudine** e **longitudine** che ricopre tutto il territorio nazionale. Per ogni nodo del reticolo geografico i parametri sono forniti in corrispondenza di determinati periodi di ritorno T_R (**30** anni, **50** anni, **72** anni, **101** anni, **140** anni, **201** anni, **475** anni, **975** anni, **2475** anni). I parametri a_g , F_0 e T_c^* per tutti i punti del reticolo sono elencati negli **allegati A e B** del **D.M. 14/1/2008** e **DM 17/1/2018**. Tali parametri servono a determinare la **forma spettrale** da utilizzare nei calcoli in combinazione sismica

Il calcolo degli spettri di risposta si basa su tre parametri fondamentali che definiscono la **pericolosità sismica di base**:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nella fattispecie la maglia che interessa la parte settentrionale dell'area portuale presenta i seguenti parametri riferiti alla pericolosità sismica di base

Stati limite

 Classe Edificio				
III. Affollamento significativo...				-
 Vita Nominale	50			-
 Interpolazione	Media ponderata			-
CU = 1.5				
Stato Limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	45	0.052	2.514	0.245
Danno (SLD)	75	0.063	2.523	0.263
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.152	2.391	0.296
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.193	2.380	0.306
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			

Mentre quella inferiore mostra la seguente situazione :

Stati limite



Classe Edificio

III. Affollamento significativo...



Vita Nominale 50



Interpolazione Media ponderata

CU = 1.5

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	45	0.049	2.527	0.242
Danno (SLD)	75	0.060	2.544	0.262
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.144	2.390	0.296
Prevenzione collasso (SLC)	1.462	0.183	2.382	0.305
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			

In considerazione del parametro SLV (con classe di edificio 3), la differenza più sostanziale si riscontra nel parametro “accelerazione sismica di base a_g (espressa in g)” che, nella parte meridionale dell’area portuale, scende di circa il 7% rispetto al valore assegnato alla maglia interessante la parte settentrionale dell’area portuale.

Tale differenza relativa alla pericolosità sismica di base è stata inserita nel calcolo dell’indice di liquefazione, e quindi è stata automaticamente considerata anche per le successive valutazioni della pericolosità sismica, pur non comparando direttamente nella legenda della carta di pericolosità sismica di tavola 11.

Considerata la natura e la variabilità litostratigrafica e geotecnica del modello locale, si è individuata nella liquefazione il rischio di tipo geotecnico di dipendenza sismica che può interessare l’area portuale in questione.

Per le finalità pianificatorie dello studio in progredire è stato applicato, come descritto al paragrafo 4.4, un approccio semplificato basato essenzialmente su correlazioni empiriche, nel nostro caso utilizzando le numerose determinazioni in situ della velocità di propagazione delle onde di taglio S, mentre si è optato per non utilizzare le prove in situ di tipo penetrometrico in quanto le informazioni disponibili risultavano meno distribuite ed esaustive rispetto alle onde Vs.

E’ comunque noto il fatto che le correlazioni empiriche siano da considerare valide solo in prima approssimazione quale quella richiesta per lo strumento pianificatorio in predicato, che ha il solo scopo di individuare le aree potenzialmente

problematiche andando a condizionare la fattibilità di alcune tipologie di intervento alle risultanze di specifiche campagne di indagine integrative a carattere puntuale.

Nel definire il metodo empirico da utilizzarsi si sono fatte alcune considerazioni preliminari che partono dal fatto che in base alle ricostruzioni litostratigrafiche condotte (cfr sezioni di tavola 9 ove la scala delle altezze è amplificata rispetto a quella delle lunghezze e pertanto apparentemente sembra che le interfacce di separazione tra le diverse unità litostratigrafiche non si susseguano su strati piano paralleli) la definizione degli effetti di sito può essere eseguita utilizzando un modello lineare equivalente.

Nello specifico partendo dal modello del sottosuolo (modello geologico articolato in 4 orizzonti, cfr paragrafo 4.5) i parametri da considerare sono:

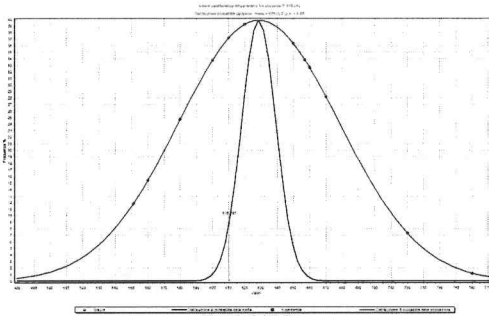
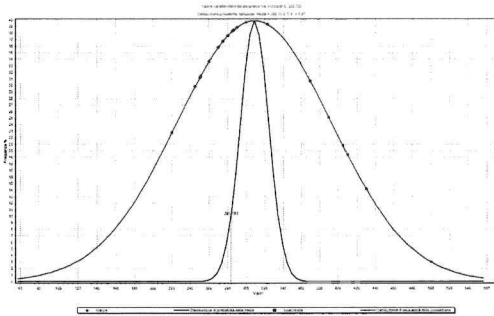
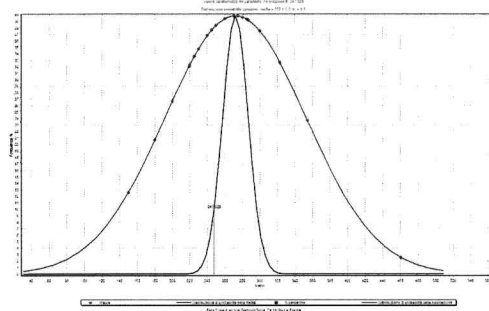
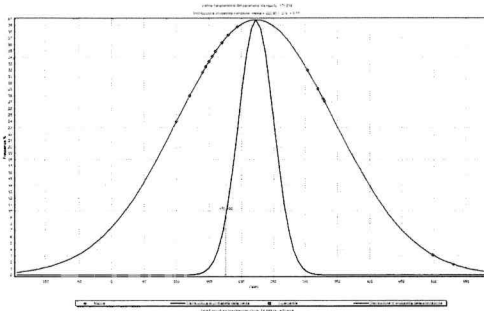
- Spessore orizzonte litostratigrafico
- Velocità di propagazione delle onde di taglio V_s per il singolo orizzonte litostratigrafico
- Peso di unità di volume dei terreni di ciascun orizzonte litostratigrafico
- Curva di decadimento del modulo di taglio e dello smorzamento intrinseco del terreno di ogni singolo orizzonte litostratigrafico.

Si osserva come la variabilità dei primi tre parametri per il rispettivo orizzonte, risulta significativa solo per il parametro spessore, mentre per gli due parametri non si hanno variazioni di rilievo.

L'analisi statistica dei valori delle velocità delle onde sismiche di taglio per ogni singolo orizzonte mostra infatti una differenza tra il valore medio dei valori di V_s ed il valore del frattile 5% della V_s effettivamente molto contenuto, come compendiato nella tabella che segue:

Orizzonte	V_s medio m/s	Frattile 5% di V_s m/s	COV
A	223	176	0.55
B	272	248	0.3

C	309	284	0.27
D	629	610	0.08



Per quanto concerne il peso di volume l'analisi dei dati delle prove di laboratorio reperite sui vari sondaggi a quote diversificate, ha consentito di definire una zonizzazione areale di valori omogeni mediati sulle singole verticali da utilizzarsi poi per le verifiche dell'indice di liquefazione.

Infine per quanto concerne le curve di decadimento del modulo di taglio e dello smorzamento intrinseco, non erano disponibili prove di laboratorio fatte in quest'ottica: colonna risonante, taglio torsionale ciclico, etc, pertanto una definizione di questo aspetto viene demandata alle indagini di dettaglio per i singoli interventi previsti all'interno del piano regolatore portuale.

Il motivo di tale scelta sta nel fatto che una corretta definizione degli effetti ciclici del sisma sui terreni in questione, vista la necessità di definire aspetti quali l'accoppiamento idro-meccanico tra la fase liquida e quella solida del mezzo poroso effettivamente in grado di simulare l'incremento delle pressioni interstiziali causato

dal carico ciclico e la conseguente riduzione degli sforzi efficaci con riduzione della rigidità e della resistenza meccanica, è facilmente comprensibile come l'argomento non possa scaturire da informazioni geotecniche di carattere bibliografico (come quelle disponibili nell'area portuale) , sebbene, molto dettagliate, ma non svolte in quest'ottica.

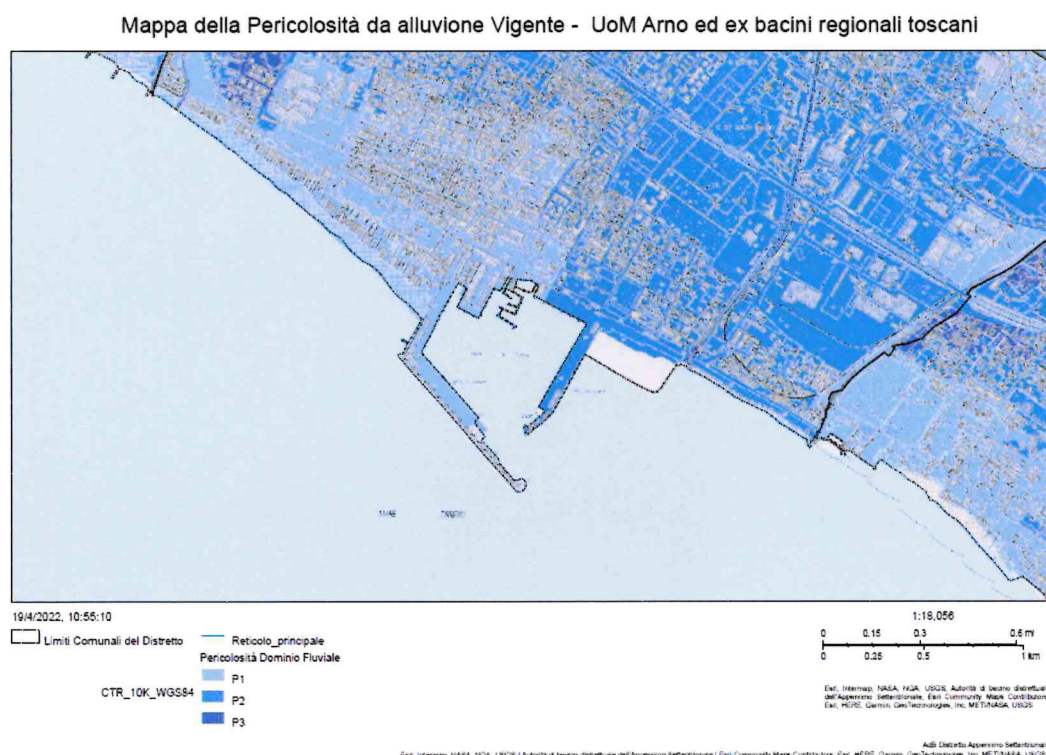
La carta della pericolosità sismica nell'ottica del fenomeno della liquefazione si articola in due classi: la più bassa **P0sis non significativa** relativa essenzialmente a gran parte delle aree di banchina (all'interno delle quali già nelle fasi realizzative si è provveduto ad affrontare e risolvere l'aspetto in questione) e la classe **P1sis di pericolosità bassa (per variabilità dell'indice di liquefazione da basso a molto alto definito soltanto con il metodo empirico delle onde S)** articolato in 3 subclassi: **P1sisA, P1sisB e P1sisC** .

All'interno della attuali banchine che ricadono in aree di Pericolosità non significativa P0sis si rinvencono due situazioni localizzate **P1sisC** : una al centro della banchina Capitan Fiorillo e le altre in due punti della Banchina Tagliercio ove l'indice di liquefazione, (con il metodo empirico applicato) è risultato molto alto, peraltro su spessori significativi delle sequenze litostratigrafiche locali. Le zone a pericolosità bassa **P1sisA** dove si è ottenuto un indice di liquefazione molto alto ma su spessore della sequenza verticale molto contenuti (inferiore a 10 m) riguardano l'area dei NCA e la parte prossima via Colombo presso lo sbocco del T. Carrione. La pericolosità bassa **P1sisB** si rinviene nell'area della nuova Banchina Walton ove sul fondale marino si sono determinati spessori di sequenza stratigrafica potenzialmente liquefacibili compresi tra 10 e 20 m. Infine tutta la rimanente parte di fondale dell'area portuale ed alcune zone a terra come detto nella Banchina Fiorillo e nella Banchina Tagliercio, mostrano una pericolosità bassa (**P1sisC**) derivante da un indice di liquefazione molto alto su spessori di sequenza stratigrafica maggiore di 20 m.

4.12 CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

Stanti le caratteristiche morfologiche delle infrastrutture portuali ove banchine e piazzali presentano specifiche pendenze verso i presidi di raccolta e comunque consentono tutte lo scarico delle acque eventualmente non captate direttamente in mare, sono stati valutati gli elaborati tecnici sia tratti dal Piano Regionale di Gestione delle Acque tratti dal sito dell'Autorità di Bacino dell'appennino Settentrionale che dal P.O.C. del Comune di Carrara in relazione a questo specifico aspetto.

Per quanto riguarda il P.R.G.A. (Art.6 delle Norme di Disciplina di Piano) si riporta di seguito lo stralcio cartografico riferito all'area portuale in esame:



Va premesso che la pericolosità da alluvione P è la probabilità di accadimento di un predefinito evento alluvionale nell'intervallo temporale t; nel PGRA la pericolosità da alluvione fluviale viene espressa in tre classi riferite a differenti scenari di probabilità di accadimento dell'evento.

In base all'Art. 6 suddetto, nella mappa della pericolosità da alluvione fluviale, le aree a pericolosità sono rappresentate su tre classi, secondo la seguente gradazione:

- pericolosità da alluvione elevata (P3), comprendenti le aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni e, limitatamente alla UoM Regionale Liguria, con tempo di ritorno minore/uguale a 50 anni;
- pericolosità da alluvione media (P2), comprendenti le aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni e, limitatamente alla UoM Regionale Liguria con tempo di ritorno maggiore di 50 anni e minore/uguale a 200 anni;
- pericolosità da alluvione bassa (P1) corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale.

Nella mappa di pericolosità da alluvione costiera le aree a pericolosità sono rappresentate su due classi (P3 e P2) corrispondenti rispettivamente alle aree inondabili, per ingressione delle acque marine, da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 50 anni e da eventi con tempo di ritorno maggiore di 50 anni e minore/uguale a 100 anni. L'area in esame non ricade in classe di pericolosità per ingressione delle acque marine (ovviamante grazie alle opere di difesa dall'attività del moto ondoso in essere).

Questo classifica la parte occidentale dell'area portuale come a pericolosità bassa da Dominio Fluviale P1, mentre la parte orientale (ad esclusione del Piazzale Città di Massa non campito) come a pericolosità media da Dominio Fluviale P2.

A questo proposito si riporta di seguito quanto prevedono le Norme di Disciplina di Piano per le due aree a pericolosità considerate:

Art. 9 – Aree a pericolosità da alluvione media (P2) – Norme

1. Nelle aree P2, per le finalità di cui all'art. 1, sono da consentire gli interventi che possano essere realizzati in condizioni di gestione del rischio, fatto salvo quanto previsto al seguente comma 2 e al successivo art. 10.

2. Nelle aree P2 da alluvioni fluviali l'Autorità di bacino distrettuale si esprime sulle opere idrauliche in merito all'aggiornamento del quadro conoscitivo con conseguente riesame delle mappe di pericolosità.

3. Le Regioni disciplinano le condizioni di gestione del rischio per la realizzazione degli interventi nelle aree P2.

Art. 10 – Aree a pericolosità da alluvione media (P2) – Indirizzi per gli strumenti governo del territorio

1. Fermo quanto previsto all'art. 9 e all'art. 14 comma 9, nelle aree P2 per le finalità di cui all'art. 1 le Regioni, le Province, le Città Metropolitane e i Comuni, nell'ambito dei propri strumenti di governo del territorio si attengono ai seguenti indirizzi:

a) sono da subordinare, se non diversamente localizzabili, al rispetto delle condizioni di gestione del rischio, le previsioni di:

- ☐ nuove opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali;
- ☐ nuovi impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006;
- ☐ sottopassi e volumi interrati

b) sono da subordinare al rispetto delle condizioni di gestione del rischio le previsioni di:

- ☐ nuove infrastrutture e opere pubbliche o di interesse pubblico;
- ☐ interventi di ampliamento della rete infrastrutturale primaria, delle opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali e degli impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006;
- ☐ nuovi impianti di potabilizzazione e depurazione;
- ☐ nuove edificazioni

c) sono da privilegiare le trasformazioni urbanistiche tese al recupero della funzionalità idraulica alla riqualificazione e allo sviluppo degli ecosistemi fluviali esistenti, nonché le destinazioni ad uso agricolo, a parco e ricreativo – sportive.

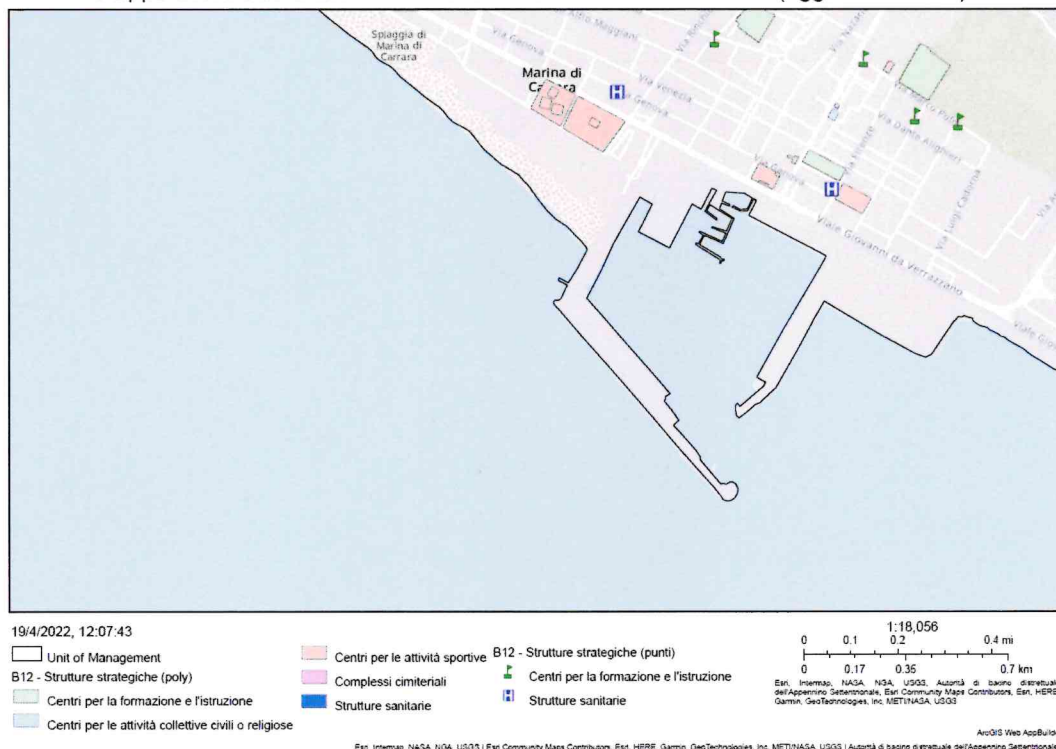
Art. 11 – Aree a pericolosità da alluvione bassa (P1) – Norme e indirizzi per gli strumenti di governo del territorio

- 1. Nelle aree P1 sono consentiti gli interventi previsti dagli strumenti urbanistici garantendo il rispetto delle condizioni di gestione del rischio.*
- 2. Nelle aree P1 da alluvioni fluviali l'Autorità di bacino distrettuale si esprime sulle opere idrauliche in merito all'aggiornamento del quadro conoscitivo con conseguente riesame delle mappe di pericolosità.*
- 3. La Regione disciplina le condizioni di gestione del rischio per la realizzazione degli interventi nelle aree P1*

Il PRGA sempre all'Art. 6 delle Norme di Disciplina di Piano prevede inoltre la mappatura delle aree a rischio di alluvione.

La mappa del rischio di alluvioni redatta ai sensi della direttiva 2007/60/CE rappresenta la distribuzione degli elementi a rischio, individuati ai sensi della direttiva, nella mappa della pericolosità da alluvione.

Mappa del rischio di alluvioni ai sensi della direttiva 2007/60/CE (agg. 31/10/2019)

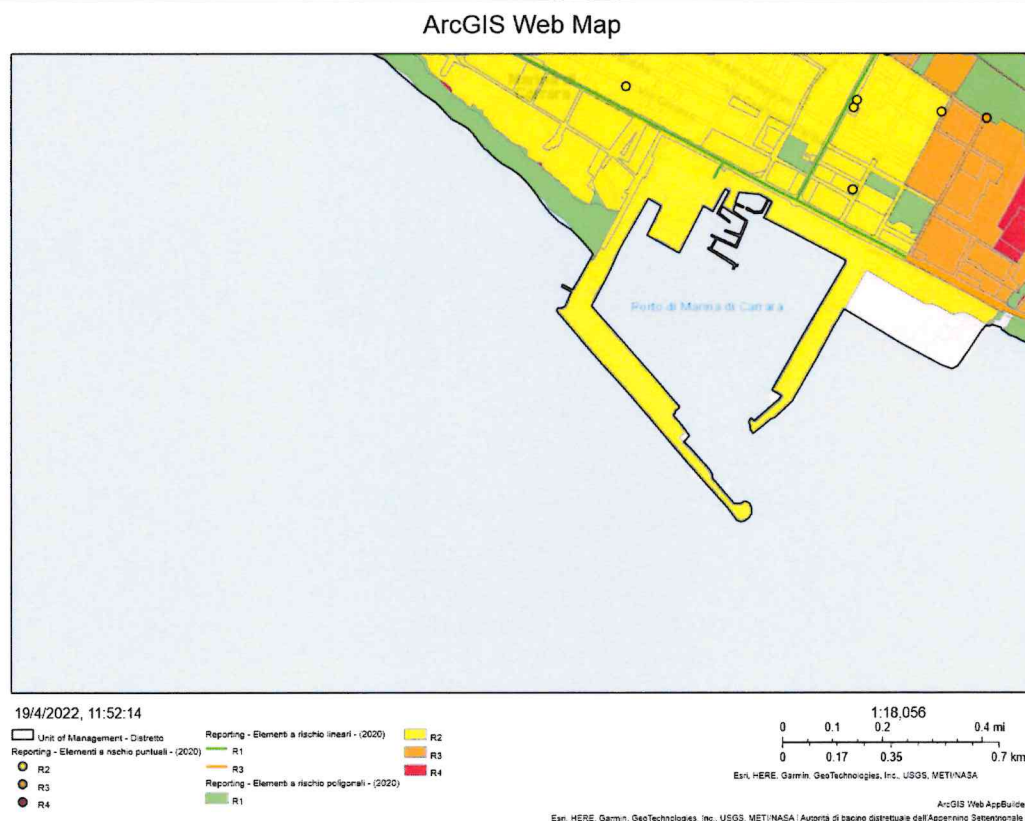


Non si rinvencono elementi di rilievo all'interno dell'area portuale in esame.

La mappa del rischio di alluvioni redatta altresì ai sensi del decreto legislativo 49/2010 definisce la distribuzione del rischio. Le aree a rischio sono rappresentate in quattro classi, secondo la seguente gradazione:

- R4, rischio molto elevato;
- R3, rischio elevato;
- R2, rischio medio;
- R1, rischio basso

La mappa del rischio da alluvione ai sensi del Dlgs 49/2010:



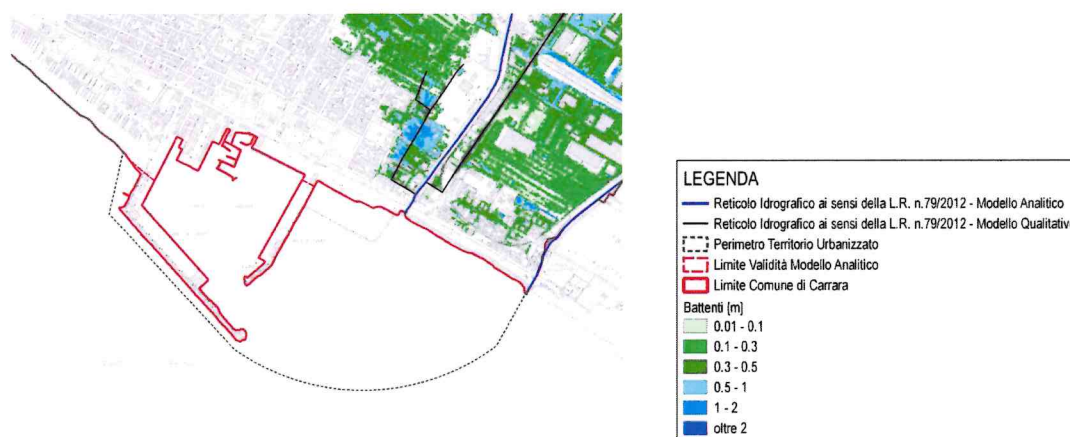
evidenzia come tutta l'area portuale ricada in classe di Rischio R2 medio (ad eccezione del piazzale Città di Massa non cartografato)

Nell'ambito degli studi idraulici prodotti dalla società Hydrogeo Ingegneria di Firenze a supporto del Piano Operativo Comunale di Carrara è stato condotto uno studio idraulico sull'intero territorio comunale comprendendo anche le aree interessate dal Porto di Marina di Carrara

L'approccio modellistico per la caratterizzazione della pericolosità idraulica di tipo "analitico" ha previsto una modellazione idraulica accoppiata 1D-2D di dettaglio con input idrologici derivanti dall'analisi idrologica. L'input idrologico è stato quindi caratterizzato da idrogrammi di piena rappresentati da immissioni puntuali o distribuite lungo l'asta fluviale analizzata. Tale approccio modellistico, in cui viene

studiata in dettaglio la propagazione dell'onda di piena lungo il reticolo fluviale ed i fenomeni esondativi sulle aree contermini, è stato definito "Modellazione Analitica".

La tavola 4B del lavoro suddetto, di cui di seguito si riporta uno stralcio non mostra nell'area portuale, a tempo di ritorno 200 anni, alcun battente idrico e di conseguenza l'assenza della velocità di scorrimento delle acque esondate:



In base al modello sviluppato l'area portuale non risulterebbe interessata da alcun battente idrico a Tr 200 anni, **in base a questo elemento non sussisterebbe il problema della pericolosità idraulica dell'area portuale.**

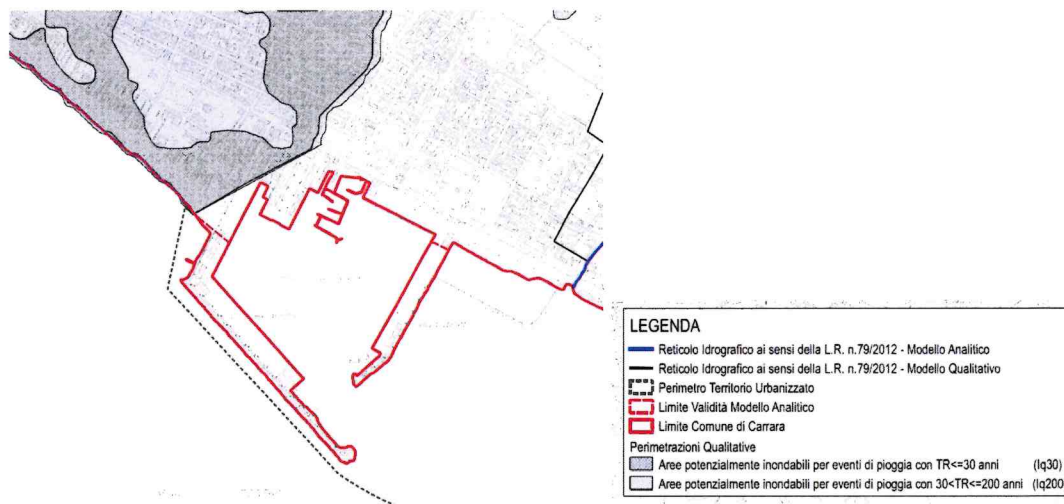
Al fine di completare l'analisi delle aree allagate su tutta l'estensione del territorio comunale, nell'ambito dello studio di Hydrogeo è stato inoltre implementato un modello idraulico bidimensionale a carattere diffuso.

Quali input idrologici al modello sono stati utilizzati i dati di pioggia lorda.

Le aree allagabili risultanti da tale approccio modellistico avevano la finalità di dare indicazioni sulle potenziali pericolosità idrauliche in tutte quelle zone in cui non era stato possibile effettuare lo studio analitico di dettaglio. Tale approccio non prevedeva uno studio dettagliato della propagazione della piena lungo il reticolo fluviale ed è stato definito "Modellazione Qualitativa".

Gli scenari di riferimento per l'implementazione del modello qualitativo sono i tempi di ritorno TR 30-200 anni. Al fine di massimizzare gli effetti sia per le aree montane che per i fondivalle sono stati simulati eventi meteorici di durata pari a 1.0 e 3.0 ore.

Le risultanze di detto studio sono compendiate nello stralcio della carta di Tavola 7A di seguito riportato:

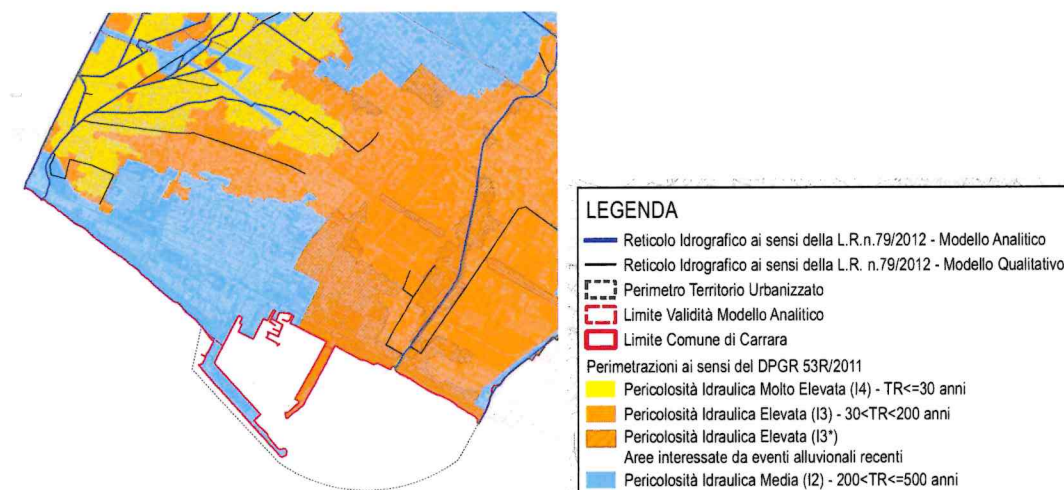


Questo mostra come soltanto una piccola parte dell'area portuale ad estremo ovest risulta interessata da esondazione a Tr compreso tra 30 e 200 anni. Il resto dell'area portuale non vien classificato come potenzialmente inondabile.

Lo stesso studio definiva nella carta di pericolosità idraulica ai sensi del DPGR 53R/2011 (Tavola 8A) le seguenti aree:

- Aree a pericolosità idraulica molto elevata (I4), allagabili per eventi con tempo di ritorno inferiore a 30 anni (da modello analitico e dal previgente PS 2012 per il tratto montano di Carrione, Torano e Gragnana);
- Aree a pericolosità idraulica elevata (I3), allagabili per eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni (da modello analitico e dal previgente PS 2012 per tratto montano di Carrione, Torano e Gragnana);
- Aree a pericolosità idraulica elevata (I3*), interessate da eventi alluvionali recenti (2014);

- Aree a pericolosità idraulica media (I2), caratterizzate da eventi alluvionali con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni, (mutuate dal vigente PGRA).

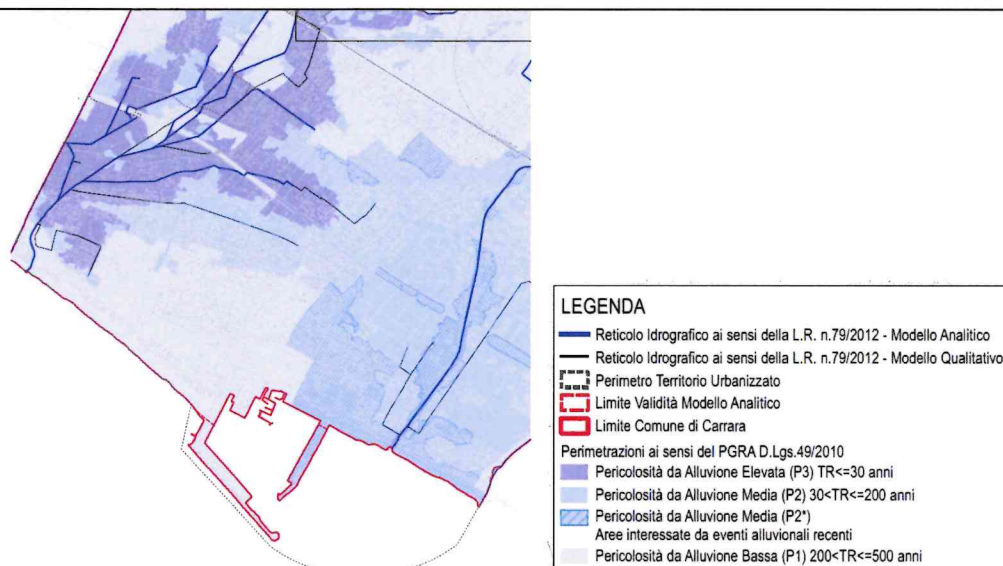


In tale cartografia la parte ad ovest dell'area portuale veniva classificata come a pericolosità media perché inondabile a tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni mentre la parte ad est (compresa la banchina Capitan Fiorillo e Servizi) a pericolosità elevata perché inondabile a Tr compreso tra 30 e 200 anni con l'aggravante dell'inondazione avvenuta recentemente. Il tutto riportato su base CTR non aggiornata perché non comprendente l'ampliamento della Banchina Fiorillo verso est.

Sempre nello studio in oggetto, ai fini dell'aggiornamento del PGRA, le aree allagate venivano classificate come segue (Tavola 9A):

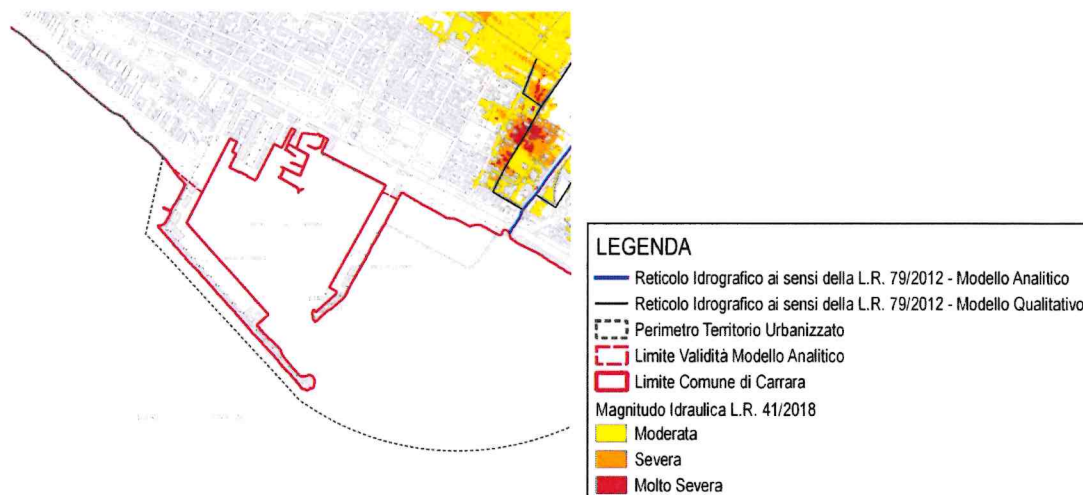
- Aree a pericolosità da alluvione elevata (P3), allagabili per eventi con tempo di ritorno inferiore a 30 anni;
- Aree a pericolosità da alluvione media (P2), allagabili per eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni;
- Aree a pericolosità da alluvione media (P2*), interessate da eventi alluvionali recenti (2014);
- Aree a pericolosità da alluvione bassa (P1), allagabili per eventi con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni.

Lo stralcio di tale cartografia è di seguito compendiato:



In questo elaborato la parte ad ovest dell'area portuale presentava una pericolosità da alluvione bassa P1 (inondabile tra 200 e 500 anni) mentre il resto ad est una pericolosità da alluvione media P2(inondabile a Tr compreso tra 30 e 200 anni) con aggravante dell'interessamento da parte di eventi di allagamento recenti (anche per questa tavola la base cartografica utilizzata non risultava aggiornata).

Infine, al fine di poter tener conto dei condizionamenti idraulici di cui alla L.R. 41/2018 nella definizione dei criteri generali di fattibilità idraulica degli interventi, sempre nello studio di cui sopra è stata redatta la carta della magnitudo idraulica (Tav. 11) , di cui si riporta uno stralcio:



Si può osservare come tutta l'area portuale non ricada in alcuna classe di magnitudo idraulica.

Nello specifico la Legge regionale soprariportata (L.R. 41/2018), introduce i seguenti concetti:

“scenario per alluvioni frequenti”: lo scenario di cui all'articolo 6, comma 2, lettera c), del d.lgs. 49/2010, individuato negli atti di pianificazione di bacino e definito dai medesimi atti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a trenta anni;

“scenario per alluvioni poco frequenti”: lo scenario di cui all'articolo 6, comma 2, lettera b) del d.lgs. 49/2010, individuato negli atti di pianificazione di bacino e definito dai medesimi atti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a duecento anni;

“magnitudo idraulica”: la combinazione del battente e della velocità della corrente in una determinata area, associata allo scenario relativo alle alluvioni poco frequenti:

La stessa magnitudo viene definita nel modo che segue:

- **“magnitudo idraulica moderata”**: valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente uguale o inferiore a 0,3 metri;
- **“magnitudo idraulica severa”**: valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 0,5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente superiore a 0,3 metri e inferiore o uguale a 0,5 metri;
- **“magnitudo idraulica molto severa”**: battente superiore a 0,5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 1 metro. Nei casi in cui la velocità non sia determinata battente superiore a 0,5 metri;

Per la lettura delle suddette tavole valgono le disposizioni riportate di seguito.

- a) Nel caso in cui si ricada all'interno delle perimetrazioni derivanti esclusivamente dalla “modellazione analitica” valgono le disposizioni del DPGR 53R/2011.
- b) Nel caso in cui si ricada all'interno di aree allagabili derivanti esclusivamente dalla “modellazione qualitativa” si dovrà tener conto degli approfondimenti di natura idraulica indicati nelle NTA dello strumento urbanistico comunale.

- c) Nel caso in cui si ricada all'interno di aree allagabili derivanti sia dalla "modellazione analitica" che dalla "modellazione qualitativa", dovrà essere tenuto in conto che la pericolosità della zona è ascrivibile sia ad uno o più corsi d'acqua studiato/i analiticamente, che a corso/i d'acqua analizzato/i dal punto di vista qualitativo; dovrà quindi essere previsto quanto riportato sia al punto a) che al punto b).
- d) Nel caso in cui si ricada all'esterno delle aree allagabili da entrambe le modellazioni non sono necessari ulteriori approfondimenti idraulici.

Lo studio precisava infine che per le aree perimetrate classe di pericolosità I3* nella carta della pericolosità idraulica ai sensi del DPGR 53R/2011 (Tavola 8A), si assume un battente idraulico convenzionale pari a 10 cm;

Analizzando i vari elaborati appare una situazione sotto il profilo idraulico piuttosto complicata dove le valutazioni tecniche di tipo analitico non evidenziano comunque alcun battente idrico nell'area portuale.

Al contempo la valutazione qualitativa delimita solo una piccola parte ad ovest dell'area portuale, mentre infine le carte di pericolosità basandosi su quanto avvenuto nel 2014, se classificano la parte ad ovest come a pericolosità idraulica media (inondabile a Tr tra 200 e 500 anni) impongono un limite non giustificato dalle valutazioni analitiche per la parte orientale ove la pericolosità viene definita elevata.

Le cartografie del PRGA individuano altresì la parte occidentale dell'area portuale come a pericolosità bassa da Dominio Fluviale P1, mentre la parte orientale (ad esclusione del Piazzale Città di Massa non campito) come a pericolosità media da Dominio Fluviale P2.

La reale motivazione dell'inserimento si basa quindi principalmente sul fatto che nel 2014 penetrando dal varco di Levante si è effettivamente verificato un allagamento comunque modesto e di breve durata, in considerazione della morfologia dei piazzali e delle banchine (dotate di apposite pendenze verso i

presidi di captazione ed allontanamento delle acque di pioggia) ma soprattutto del fatto che il modesto battente instauratosi poteva riversarsi direttamente in mare da filo banchine.

Entrando in un dettaglio maggiore ed analizzando la fotografia da elicottero scattata dal Corpo dei Vigili del Fuoco, nel corso dell'evento alluvionale del 2014, di seguito riportata:



e disponibile sul Web, si nota come all'interno dell'area portuale l'allagamento abbia interessato soltanto la parte direttamente antistante il varco di Levante, non coinvolgendo il piazzale Città di Massa perché a quota più elevata. Per questo motivo dalla cartografia di pericolosità idraulica di tavola 12 la parte del piazzale Città di Massa è stata considerata come a pericolosità molto bassa per assenza di battente idrico.

Queste motivazioni ci hanno indotto a ripensare la carta di pericolosità di tavola 12 con inserimento classi di pericolosità indicanti globalmente una pericolosità più contenuta.

Nella fattispecie si sono concepite 2 sole classi di pericolosità ed in particolare le aree dove né la modellazione analitica né quella qualitativa indicavano fenomeni di possibile inondazione, e le cartografie del PRGA indicavano una pericolosità da Dominio Fluviale bassa P1 sebbene nelle carte di pericolosità del P.O.C. (fossero inserite in pericolosità media) sono state inserite in **pericolosità idraulica molto bassa (P0idr)**

Infine le aree recentemente inondate (alluvione del 2014) sono state inserite a Tr 200 anni come a **pericolosità idraulica bassa (P1idr)**, nonostante l'inserimento nelle cartografie del PRGA in pericolosità da Dominio Fluviale P2 media e la classificazione nel P.O.C. come a pericolosità elevata, considerata la presenza di un battente idraulico quantitativamente stabilito ai sensi dell'abrogato DPGR 53R/2011 come pari a 10 cm e quindi con battente inferiore a 30 cm e una eventuale velocità di scorrimento inferiore a 2.00 m/s.

Va anche precisato che la condizione di battente nullo o ridotto (inferiore a 30 cm), in base agli studi condotti dal Prof. R. Rosso del Politecnico di Milano su incarico conferitogli dalla Regione Liguria (le cui conclusioni sono state recepite dalla Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Magra), soprattutto se associate a velocità di scorrimento molto basse ed inferiori a 1.5 m/s quali quelle che si possono instaurare sulle banchine portuali (in assenza di pendenze di rilievo delle superfici di scorrimento), rappresentano condizioni di bassa pericolosità relativa.

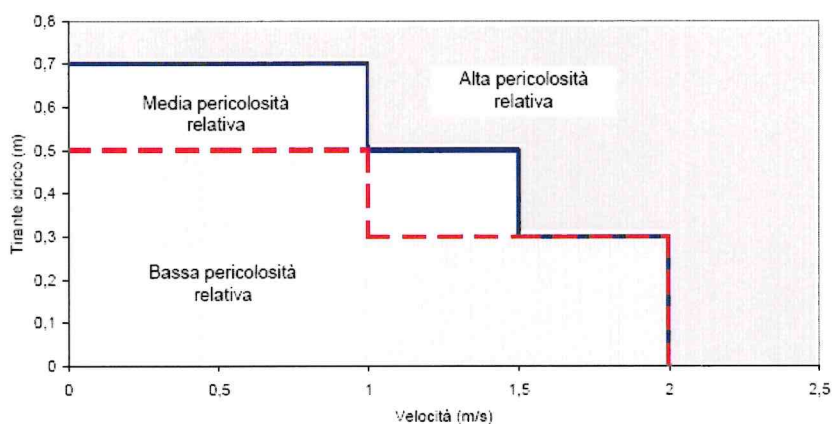


Figura 1. Soglie di pericolosità relativa in termini di tirante idrico condizionato alla velocità della corrente.

Condizioni di velocità di scorrimento	Condizioni di tirante idrico	
	Bassa pericolosità relativa	Alta pericolosità relativa
$0 \text{ m/s} < v < 1 \text{ m/s}$	$h < 0,50 \text{ m}$	$h > 0,70 \text{ m}$
$1 \text{ m/s} < v < 1,5 \text{ m/s}$	$h < 0,30 \text{ m}$	$h > 0,50 \text{ m}$
$1,5 \text{ m/s} < v < 2 \text{ m/s}$	$h < 0,30 \text{ m}$	$h > 0,30 \text{ m}$

Tabella 1. Soglie di pericolosità relativa in termini di tirante idrico condizionato alla velocità della corrente.

Il criterio esposto è stato confrontato ed integrato con altre conoscenze e valutazioni in merito, con particolare riferimento alla stabilità degli individui, alla resistenza strutturale degli edifici e alla mobilitazione degli autoveicoli in condizioni di inondazione.

La condizione che può instaurarsi sulle banchine in caso di inondazione, risulta inferiore al valore di spinta massima tollerabile, (definita sperimentalmente ed in base alla letteratura, come pari a 1500 N/m).

Pertanto sulle banchine portuali non è ragionevole ritenere che possano verificarsi problematiche di stabilità degli individui (operanti sulle banchine stesse), di mobilitazione, da parte delle acque ruscellanti, degli autoveicoli e dei mezzi

portuali, e tantomeno legate alla resistenza strutturale degli edifici e dei manufatti per gli effetti delle inondazione; si tratta quindi di una condizione di bassa o nulla pericolosità relativa.

4.13 CARTA DI FATTIBILITA' GEOTECNICA

Prendendo a riferimento quanto contenuto nell'elaborato di fattibilità geologica idraulica e sismica del P.O.C. del Comune di Carrara e considerando gli aspetti relativi alla vulnerabilità sismica delle infrastrutture portuali di cui alla Appendice "C" delle Linee Guida per la redazione dei piani regolatori di sistema portuale (marzo 2017), emanate dall'allora Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, sono stati concepiti gli elaborati relativi alla fattibilità.

In riferimento alla fattibilità geotecnica partendo dalla carta di pericolosità relativa allo stesso aspetto sono state definite nella carta di tavola 13, n. 2 classi di fattibilità caratterizzate da un **grado di condizionamento generalmente nullo o basso**, quest'ultimo derivante da modeste differenze in termini di pericolosità da affinare con campagne di indagini per le fasi progettuali successivi di diverso impegno.

La classe di **fattibilità ampia (F1geo)** è assegnata alle aree dove la pericolosità geotecnica è stata definita non significativa (P0geo), in quanto sono già state realizzate importanti opere marittime e portuali e per questo sono caratterizzate da un elevato livello di conoscenza dei terreni che richiede nel corso delle attività progettuali dei singoli interventi soltanto una campagna di indagini geotecniche minimali volte ad affinare alcuni aspetti peculiari in grado di consentire un più puntuale sviluppo della progettazione delle opere previste dal P.R.P.

La classe di **fattibilità limitatamente condizionata (F2geo)** è suddivisa in tre subclassi: A, B e C che si differenziano, non per il livello di condizionamento, bensì alla luce delle caratteristiche della campagna di indagini richiesta in fase

progettuale successiva per la completa definizione degli aspetti di potenziale criticità.

Nella fattispecie alle aree a pericolosità geotecnica bassa-subclasse A (**P1geoA**) corrisponde la classe di **Fattibilità condizionata F2geoA** che prevede, in fase progettuale successiva dei singoli interventi, che vengano investigate con indagini puntuali (campagna di indagini minimali), dedicate a coprire le poche aree ove le informazioni carattere geotecnico bibliografico presentano ancora qualche lacuna soprattutto volte a confermare l'aspetto dello spessore ridotto (< 10 m) dell'orizzonte geotecnico B delle sabbie sciolte e molto sciolte .

La classe di fattibilità limitatamente condizionata (F2geoB) è estesa alle aree risultate a pericolosità geotecnica bassa-subclasse B (**P1geoB**), dovuta alla presenza di maggiori spessori dell'orizzonte B delle sabbie sciolte (10-20 m) . In quest'area che si colloca nella zona del club nautico e nel tratto di mare antistante la Banchina Buscaioli, in corso di progettazione degli interventi sarà necessario realizzare una campagna geognostica estesa all'intera area, soprattutto rivolta alle parti a mare destinata ad evidenziare nel dettaglio i limiti areali e verticali delle aree di maggior spessore dell'orizzonte geotecnico potenzialmente critico.

Infine la classe di fattibilità limitatamente condizionata (F2geoC) riguarda la stretta fascia di fondale antistante la testata della banchina Capitan Fiorillo e Banchina Servizi riportata come a pericolosità geotecnica bassa-subclasse C (**P1geoC**) nella carta di tavola 10. Nelle fasi progettuali dei vari interventi del P.R.P in quest'area, la campagna geognostica dovrà essere estesa all'area indicata ed alle parti immediatamente esterne con la finalità di delimitarne con maggior precisione i confini ed ottenere una peculiare caratterizzazione geotecnica della sequenza che in base ai dati raccolti ha mostrato importanti spessori dell'orizzonte B delle sabbie sciolte (> di 20 m) .

4.14 CARTA DI FATTIBILITA' SISMICA

In riferimento alla fattibilità sismica partendo dalla carta di pericolosità relativa allo stesso aspetto sono state definite nella carta di tavola 14 sempre numero 2 classi

di fattibilità: ampia e limitatamente condizionata, caratterizzate, anche in questo caso, da diverso grado di condizionamento. Anche per la fattibilità sismica la classe di fattibilità limitatamente condizionata è suddivisa in 3 subclassi A, B e C derivanti dalla rispettiva pericolosità.

La classe di **fattibilità ampia (F1sis)** è assegnata alle aree dove la pericolosità sismica è stata definita non significativa (P0sis), in quanto l'indice di liquefazione risultava molto basso. Si tratta della maggior parte delle banchine esistenti fatta eccezione alcune aree limitate sulla banchina Capitan Fiorillo e sulla banchina Tagliercio.

La classe di **fattibilità limitatamente condizionata-subclasse A (F2sisA)** è assegnata alle aree a pericolosità sismica bassa (**P1sisA**) dove il valore dell'indice di liquefazione era risultato molto alto ma associato solo a spessori di sequenza stratigrafica contenuti ed inferiori a 10 m. In fase progettuale successiva dei singoli interventi, le aree in questione dovranno essere investigate con indagini puntuali soprattutto dedicate a coprire le poche aree ove le informazioni relative alla risposta sismica di tipo bibliografico presentano alcune incertezze, ed è comunque mancante la definizione del decadimento del modulo di taglio e dello smorzamento intrinseco del terreno.

La classe di **fattibilità limitatamente condizionata –subclasse B (F2sisB)** è estesa alle aree risultate a pericolosità sismica bassa subclasse B (**P1sisB**) per fenomeni di liquefazione potenziale con indice di liquefazione molto alto su spessori di sequenza litologica compresi tra 10 e 20 m. In quest'area in corso di progettazione degli interventi sarà necessario realizzare una campagna sismica a estesa all'intera area, volta evidenziare nel dettaglio i limiti areali e verticali delle aree potenzialmente pericolose sotto il profilo sismico, andando anche in questo caso a sviluppare l'aspetto della definizione del decadimento del modulo di taglio e dello smorzamento intrinseco del terreno.

Infine la **classe di fattibilità limitatamente condizionata-subclasse C (F2sisC)**

riguarda le aree ove la pericolosità è risultata bassa-subclasse C (**P1sisC**) per problematiche di liquefazione con Indice di Liquefazione molto alto su spessori di sequenza litostratigrafica maggiori di 20 m. Nelle fasi progettuali dei vari interventi del P.R.P. in queste aree, la campagna sismica (anche in questo caso volta a sviluppare anche l'aspetto della definizione del decadimento del modulo di taglio e dello smorzamento intrinseco del terreno) dovrà essere estesa all'area indicata ed alle parti immediatamente esterne con la finalità di delimitarne con maggior precisione i confini.

4.15 CARTA DI FATTIBILITA' IDRAULICA

In riferimento alla fattibilità idraulica partendo dalla carta di pericolosità relativa allo stesso aspetto sono state definite, nella carta di tavola 15, numero 2 classi di fattibilità caratterizzate da diverso grado di condizionamento in quanto la problematica emersa evidenzia, nel caso specifico, un livello di pericolosità globalmente contenuto e tale da giustificare, come maggior tutela un limitato grado di condizionamento derivante dalla nulla o modestissima entità della problematica di natura idraulica che può interessare le aree del P.R.P. portuale.

La classe di **fattibilità ampia (F1idr)** è assegnata alle aree a pericolosità idraulica a tr 200 anni molto bassa (P0idr), per le quali nelle norme di attuazione, non attendendosi la presenza di un battente idrico in corso di inondazione, sono previste soltanto le normali procedure seguite dalle attività portuali nel corso degli eventi meteorici di maggior intensità

La classe di **fattibilità limitatamente condizionata (F2idr)** è estesa alle aree risultate a pericolosità idraulica a Tr 200 anni bassa (P1idr), dove nelle norme di attuazione sono inseriti accorgimenti specifici per gli interventi edilizi, nonché per le

attività di stoccaggio nelle banchine e nei magazzini rapportati alla possibile presenza di un battente idrico ridotto comunque in condizioni di bassa pericolosità relativa (battente < 30 cm e velocità < di 2.00 m/s).

5. CONSIDERAZIONI SULL'ASPETTO RISCHIO

Per quanto concerne la determinazione del grado di rischio a cui una determinata area è soggetta, valutabile ai sensi del D.lgs. 49/2010 in termini di classe di rischio da R1 (moderato) a R4 (molto elevato), stante il quadro dei dati di base mediamente disponibili, si è scelto di confermare l'approccio semplificato, che viene di seguito sintetizzato.

La formula del rischio di riferimento è:

$$R = P \times E \times V = P \times D$$

in cui

R = rischio

P = pericolosità

E = valore degli elementi esposti

V = vulnerabilità

D = danno potenziale

La metodologia scelta, stante la complessità dei fenomeni da rappresentare, assume in via semplificata la vulnerabilità unitaria per tutti gli elementi esposti ipotizzando per ognuno di essi un danno pari al suo intero valore in caso di evento che lo coinvolge.

La metodologia ha quindi previsto il susseguirsi delle seguenti fasi:

- Raccolta ed organizzazione della base dati degli elementi a rischio secondo le macrocategorie richieste dalla direttiva e dal decreto
- Raggruppamento dei diversi elementi esposti secondo quattro classi di danno potenziale variabili tra moderato/nullo (D1) e molto elevato (D4) così come indicato negli indirizzi operativi del Ministero dell'Ambiente. In particolare, le classi di danno a cui viene fatto riferimento sono le seguenti:

- ☐ D4 (Danno potenziale molto elevato): aree in cui si può verificare la perdita di vite umane, ingenti danni ai beni economici, naturali storici e culturali di rilevante interesse, gravi disastri ecologico –ambientali;
- ☐ D3 (Danno potenziale elevato): aree con problemi per l'incolumità delle persone e per la funzionalità del sistema economico, aree attraversate da linee di comunicazione e da servizi di rilevante interesse, le aree sedi di importanti attività produttive;
- ☐ D2 (Danno potenziale medio): aree con limitati effetti sulle persone e sul tessuto socio-economico. Aree attraversate da infrastrutture secondarie e attività produttive minori, destinate sostanzialmente ad attività agricole o a verde pubblico;
- ☐ D1 (Danno potenziale moderato o nullo): comprende le aree libere da insediamenti urbani o produttivi dove, in relazione agli aspetti idraulici, risulta possibile il libero deflusso delle piene.

Di seguito si riporta l'elaborazione degli strati informativi del rischio tramite incrocio tra gli strati di pericolosità e quelli di danno potenziale secondo la matrice di rischio di seguito riportata, coerente con gli indirizzi operativi ministeriali.

Rischio R: è la combinazione della probabilità di un evento critico sia esso derivante da problematiche di carattere geologico, sismico o idraulico e delle potenziali conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche derivanti da tale evento. Ai fini applicativi si definisce il valore R del rischio come il prodotto tra pericolosità, vulnerabilità ed entità del bene considerato

Le classi di rischio adottate sono quelle di cui al DPCM 29/9/98, così come di seguito riportato:

- ☐ R4 (Rischio molto elevato): per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.
- ☐ R3 (Rischio elevato): per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni relativi al patrimonio ambientale;

- ☐ R2 (Rischio medio): per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- ☐ R1 (Rischio moderato): per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono marginali.

ASPETTO PERICOLOSITA' GEOLOGICA

		CLASSE DI PERICOLOSITA'			
CLASSI DI DANNO	Liv.Danno Potenziale	P0geo	P1geoA	P1geoB	P1geoC
	D4				
	D3				
	D2	R1	R2	R2	R2
	D1				

ASPETTO PERICOLOSITA' SISMICA

		CLASSE DI PERICOLOSITA'			
CLASSI DI DANNO	Liv.Danno Potenziale	P0sis	P1sisA	P1sisB	P1sisC
	D4				
	D3				
	D2	R1	R2	R2	R2
	D1				

ASPETTO PERICOLOSITA' IDRAULICA

		CLASSE DI PERICOLOSITA'	
CLASSI DI DANNO	Liv.Danno Potenziale	P0idr	P1idr
	D4		
	D3		
	D2	R1	R1
	D1		

Per tutte le attività previste all'interno dell'area del P.R.P. il livello di danno massimo previsto per tutti gli aspetti trattati è D2 (Danno potenziale medio) caratterizzato da limitati effetti sulle persone e sul tessuto socio-economico. Aree attraversate da infrastrutture secondarie e attività produttive minori.

Di conseguenza il grado di rischio cambia in ragione del grado di pericolosità tra:

- R2 (Rischio medio): per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- R1 (Rischio moderato): per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono marginali.

6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le limitazioni e le prescrizioni per le diverse classi di pericolosità che condizionano la fattibilità degli interventi erano riportate nelle disposizioni contenute nel DPGR n.53/R-Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) successivamente abrogato dalla D.P.G.R. 5/R/2020.

In questo documento la fattibilità è espressa mediante una codifica alfanumerica di cui si riportano le definizioni delle singole classi:

F1 Fattibilità senza particolari limitazioni

Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

F2 Fattibilità con normali vincoli

Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.

F3 Fattibilità condizionata Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi.

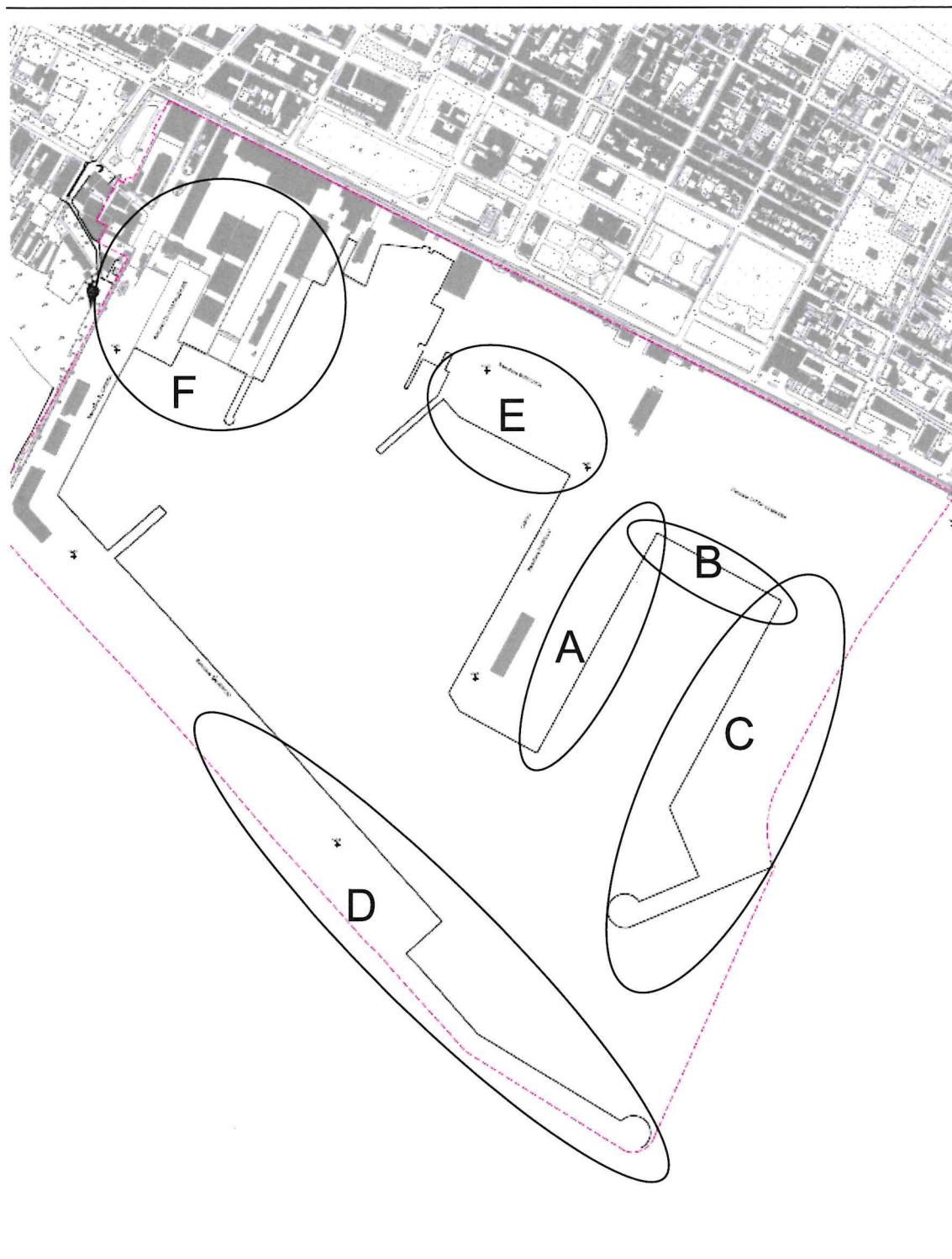
F4 Fattibilità limitata

Si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza che vanno individuati e definiti in sede di redazione del medesimo regolamento urbanistico, sulla base di studi e verifiche atti a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione.

Per quanto riguarda gli aspetti idraulici, ai sensi della L.R. 41/2018, non rientrando in area di magnitudo idraulica alcuna, nelle aree caratterizzate da pericolosità per scenari di alluvioni poco frequenti (I3) e frequenti (I4), **non risulta necessario** che le trasformazioni urbanistiche vengano attuate prima della realizzazione delle opere di difesa idraulica necessarie negli altri casi e realizzate rispettando quanto previsto all'Art.8, comma 1 lettere a),b), c) e d), della citata legge regionale.

Il P.R.P. analizzato prevede per grandi linee interventi di:

- A) banchinamento verso SE della delle banchina Capitan Fiorillo (con eliminazione della Banchina Servizi attuale)
- B) banchinamento del Piazzale Città di Massa verso S-SW
- C) Creazione del nuovo molo di sottoflutto con relativo banchinamento (banchina Walton) ed area di testata
- D) Prolungamento Banchina Taliercio verso SE e diga foranea.
- E) Ampliamento Banchina Buscaioli verso SW;
- F) Area industriale e cantieristica:



Nel volume 2 dedicato alla norme geologiche di attuazione sono trattati i vari interventi e commentate le condizioni di pericolosità e fattibilità relative emerse dalla cartografia prodotta.

ALLEGATI:

- 1) LOGOS SONDAGGI GEOGNOSTICI DA BIBLIOGRAFIA**
- 2) TABULATI INDAGINI SISMICHE (ONDE S) DA BIBLIOGRAFIA E SPECIFICATAMENTE ESEGUITE**
- 3) DIAGRAMMI CALCOLO INDICE DI LIQUEFAZIONE SOFTWARE “LIQUEF” PROGRAM GEO BRESCIA METODO BOULANGE&IDRISS (2014)**

ALLEGATO 1

LOGOS SONDAGGI GEOGNOSTICI DA BIBLIOGRAFIA

ALLEGATO 2

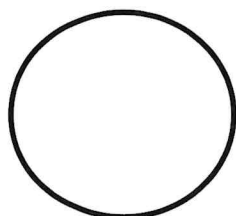
TABULATI INDAGINI SISMICHE (ONDE S) DA BIBLIOGRAFIA E SPECIFICATAMENTE ESEGUITE

ALLEGATO 3

DIAGRAMMI DI CALCOLO INDICE DI LIQUEFAZIONE SOFTWARE “LIQUEF” PROGRAMGEO BRESCIA METODO BOULANGE&IDRISS (2014)

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Legenda



Area in studio

SCALA 1 : 25.000

