

COMUNE DI P. S. GIORGIO



PROVINCIA DI FERMO



INDAGINE GEOLOGICA AI FINI DELLA
REDAZIONE DEL PIANO REGOLATORE
PORTUALE DI PORTO SAN GIORGIO

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA
E IDRAULICA

COMMITTENTE: COMUNE DI PORTO SAN GIORGIO

DATA: DICEMBRE 2020

DOTT. GEOL. MARCO BRUNELLI
PIAZZA S. D'ACQUISTO N°21 - 60131 ANCONA
TEL:071/9941484
E-MAIL: GEOMARC@TISCALI.IT

**INDICE**

1. PREMESSA	pag. 04
2. CENNI SUL PIANO PER LA SISTEMAZIONE DELL'AREA PORTUALE DI P.S. GIORGIO CONTENUTO NELLA PROPOSTA DI PIANO REGOLATORE PORTUALE E CARATTERI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA IN VARIANTE	pag. 05
3. CARATTERI GEOLOGICI E LITOSTRATIGRAFICI	pag. 11
4. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA IN SITU	pag. 14
5. ANALISI GRANULOMETRICHE DA PROVE DI LABORATORIO	pag. 17
6. CARATTERISTICHE SISMICHE GENERALI DELL'AREA DI STUDIO	pag. 20
7. REPERIMENTO DATI DA MICROZONAZIONE SISMICA	pag. 27
8. MODELLAZIONE SISMICA DI SITO	pag. 29
9. STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	pag. 34
10. ANALISI DI COMPATIBILITÀ' IDRAULICA AI SENSI DELLA L.R. 23/11/2011	pag. 38
10.1 Premessa	pag. 38
10.2 Verifica preliminare: analisi idrografica-bibliografica-storica	pag. 40
10.2.1 Inquadramento cartografico	pag. 40
10.2.2 Reticolo idrografico	pag. 40
10.2.3 Rapporto delle aree in variante con ambiti esondabili definiti	pag. 47
10.2.3.1 P.A.I. (Cartografia Piano Assetto Idrogeologico)	pag. 47
10.2.3.2 Studio idraulico-ambientale mediante l'analisi dei processi geomorfologici in atto per la caratterizzazione dei bacini idrografici principali delle marche- metodo IDRAIM (Carta degli elementi antropici a rischio per fenomeni di esondazione alla scala 1:5.000)	pag. 48
10.2.3.3 Studio Mitigazione Rischio Idrogeologico-Allegato 2 Consorzio Bonifica delle Marche – Carta massimi livelli idrici	pag. 49
10.2.3.4 Piano di Gestione Integrata delle Zone Costiere	pag. 50
10.2.3.5 Piano di gestione del rischio alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino centrale - Autorità di bacino dell'Appennino centrale – Mappe di pericolosità	pag. 51
10.2.4 Notizie di esondazioni storiche reperite dal progetto AVI	pag. 51
10.2.5 Studi idraulici reperiti della zona oggetto di studio	pag. 54
10.2.5.1 Consorzio bonifica Marche – Studi 2017 e 2019	pag. 54
10.2.5.2 Protezione civile – Piano comunale di emergenza – 2014	pag. 55
10.2.5.3 Autorità di Bacino del Fiume Tevere – Piano di gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) – 2016	pag. 56
10.2.5.4 Geco Sistema (ing. Mazzoli e Broccoli) – Proposta di mitigazione del rischio idraulico ai sensi dell'art. 23 delle Norme	



di Attuazione del Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale (PAI) – 2009	pag. 57
10.2.5.5 Servizio tutela, gestione e assetto del territorio -P.F. Tutela del territorio di Fermo - Salvaguardia del regime fluviale, difesa, rafforzamento e rinaturalizzazione degli argini, protezione delle spalle e dei ponti, creazione di piane esondabili (flood zone) torrente Ete Vivo – 2019	pag. 61
10.3 VERIFICA SEMPLIFICATA: ANALISI IDROGRAFICA E GEOMORFOLOGICA	pag. 67
10.3.1 Analisi geomorfologica del tratto di interesse del fiume Ete Vivo	pag. 67
10.3.2 Fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica	pag. 70
10.4 CONCLUSIONI DELLA VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA E PRESCRIZIONI	pag. 73
10.4.1 Rapporto aree in variante con la fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica	pag. 73
10.4.2 Pericolosità e vocazionalità delle aree in variante	pag. 74
11. PRESCRIZIONI	pag. 75
11.1 Prescrizioni di tipo sismico	pag. 75
11.2 Prescrizioni di tipo geotecnico	pag. 76
11.3 Prescrizioni di tipo idraulico	pag. 77
ALLEGATI FUORI TESTO	
1) Stralcio C.T.R. sezione 315020 – scala 1:10.000	
2) Stralcio carta geologica regionale edizione C.T.R. – sezioni 315020 – scala 1:10.000	
3) Stralcio P.A.I. tav. RI 60a – scala 1:7.500	
4) Stralcio catastale fuori scala	
5) Stralcio tavola P3.5 – usi e modalità di trasformazione del territorio - del P.R.G. 1996 variante al piano regolatore generale – scala 1:5.000	
6) Planimetria aree in variante al P.R.P. con ubicazione sondaggi e misure sismiche – scala 1:2.000	
7) Sezioni litostratigrafiche e geomeccaniche A-A, B-B e C-C – scala lunghezze 1:400 scala altezze 1:200 (nella versione cartacea scala lunghezze 1:800 scala altezze 1:400)	
8) Stratigrafie sondaggi a carotaggio continuo S1 e S2 - scala 1:75 con documentazione fotografica	
9) Stratigrafia sondaggio a carotaggio continuo reperito dalla relazione del geol. E. Librandi del 1996	
10) Stratigrafia sondaggio a carotaggio continuo reperito dalla relazione del geol. D Mercuri del 2010	
11) Prove geotecniche di laboratorio – analisi granulometriche	



- 12) Relazione indagini sismiche MASW e HVSR
- 13) Tabelle di calcolo per la verifica del potenziale di liquefazione sulla base dei valori di V_s – sondaggio 1 Area A e sondaggio 2 Area B
- 14) Stralcio 1:5.000 della “Carta degli elementi antropici a rischio per fenomeni di esondazione (da valutazioni geomorfologiche utilizzando il metodo Idrain) – Consorzio di bonifica Marche
- 15) Carta dei massimi livelli idrici raggiunti in corrispondenza delle sezioni fluviali considerate – scala 1:20.000 con stralcio scala 1:7.500 – Consorzio di bonifica Marche
- 16) Stralcio tavole C22 e C23 degli “Elaborati grafici degli interventi strutturali di piano” tratta dal “Piano di Gestione Integrata delle Zone Costiere (Piano GIZC) – Regione Marche
- 17) Mappa di pericolosità – scala 1:7.500 tratta dal “Piano di gestione del rischio alluvioni distretto idrografico dell’Appennino centrale” – Autorità di bacino dell’Appennino centrale
- 18) Opere antropiche in alveo e di difesa spondale nel tratto finale del fiume Ete Vivo – Tavola su base foto aerea fuori scala
- 19) Stralcio scala 1:5.000 della “Carta dei processi geomorfologici in atto” – Consorzio di bonifica Marche
- 20) Carta litotecnica della copertura scala 1:4.000
- 21) Planimetria aree in variante al P.R.P con indicazione perimetro area esondabile P.A.I. e perimetro fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica- Scala 1:2000 (nella versione cartacea scala 1:4000)
- 22) Planimetria aree in variante al P.R.P con indicazione pericolosità e vocazionalità - Scala 1:2000 (nella versione cartacea scala 1:4000)

1. PREMESSA

Su incarico del Comune di Porto San Giorgio si è svolto il presente studio geologico, geotecnico, sismico, di valutazione geomorfologica e verifica di compatibilità idraulica, finalizzato all'aggiornamento della relazione geologica per la valutazione ambientale strategica del Piano Regolatore Portuale del porto di Porto San Giorgio e per una variante al P.R.P. medesimo. I documenti tecnici su cui lo scrivente si è basato per l'esecuzione del presente studio sono quelli allegati alla "Proposta preliminare di P.R.P. in attuazione del Piano Regionale Porti" in funzione della definitiva stesura del piano medesimo a cura del Dip. Ing. Civ. e Arch. (DICEA) dell'Univ. Politecnica delle Marche, documenti recepiti dal Comune di P.S. Giorgio con deliberazione di giunta comunale n. 135 del 07/08/2020.

Già nell'anno 2006 lo scrivente partecipò come consulente del "TCA Associati" allo studio di impatto ambientale per la variante al piano regolatore Portuale, studio ripreso poi per la Valutazione Ambientale Strategica per la proposta del P.R.P. in attuazione al piano regionale dei porti nell'anno 2010.

Il presente lavoro è stato svolto per mezzo della elaborazione di dati bibliografici, di dati derivanti da precedenti indagini reperite svolte all'interno dell'area portuale per adeguamenti e varianti del piano regolatore del porto del 1996 e del 2010 e di dati acquisiti specificamente con la presente campagna di studi, dati che possono essere così sintetizzati:

DATI BIBLIOGRAFICI:

- reperimento e analisi di cartografie tematiche, topografiche, geologiche, geomorfologiche e cartografia P.A.I.;
- reperimento di dati litostratigrafici e geomeccanici derivanti da sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche dinamiche svolti per precedenti studi nell'area portuale dai geologi Ermanno Librandi nel 1996 e Daniele Mercuri nel 2010;
- reperimento di cartografie, dati bibliografici e storici in merito a esondazioni nell'area di foce del fiume Ete Vivo finalizzate alla stesura della valutazione preliminare di compatibilità idraulica della variante al P.R.P.
- Studio idraulico-ambientale mediante l'analisi dei processi geomorfologici in atto per la caratterizzazione dei bacini idrografici principali delle marche- metodo IDRAIM
- Studio Mitigazione Rischio Idrogeologico-Allegato 2 - Consorzio Bonifica delle Marche – Carta massimi livelli idrici
- Piano di Gestione Integrata delle Zone Costiere
- Piano di gestione del rischio alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino centrale - Autorità di bacino dell'Appennino centrale – Mappe di pericolosità
- Geco Sistema (ing. Mazzoli e Broccoli) – Proposta di mitigazione del rischio idraulico ai sensi dell'art. 23 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale (PAI) – 2009
- Servizio tutela, gestione e assetto del territorio -P.F. Tutela del territorio di Fermo - Salvaguardia del regime fluviale, difesa, rafforzamento e rinaturalizzazione degli argini, protezione delle spalle e dei ponti, creazione di piane esondabili (flood zone) torrente Ete Vivo – 2019

**DATI ACQUISITI ED ELABORATI SPECIFICAMENTE PER QUESTO STUDIO:**

- **esecuzione di 2 sondaggi a carotaggio continuo** che hanno consentito l'osservazione diretta dei terreni presenti nel sottosuolo in oggetto fino al raggiungimento del substrato argilloso Plio-Pleistocenico;
- **prelievo di 4 campioni** di materiale prevalentemente sabbioso durante lo svolgimento dei carotaggi, campioni inviati al laboratorio geomeccanico per essere sottoposti ad **analisi granulometriche** con lo scopo di poterne valutare il potenziale di liquefazione;
- **redazione di 2 sezioni** litostratigrafiche/geomeccaniche correlanti i sondaggi e le prove SCPT reperite da studi precedenti e i dati litostratigrafici ottenuti con i due nuovi carotaggi svolti per il presente studio
- **esecuzione di 2 indagini sismiche di tipo M.A.S.W.** nelle due principali aree di progetto all'interno dell'area portuale finalizzate alla determinazione delle velocità sismiche V_s nel sottosuolo necessarie sia alla definizione della categoria sismica di appartenenza del sottosuolo in oggetto sia alla stima del potenziale di liquefazione degli orizzonti prevalentemente sabbiosi;
- **esecuzione di 2 indagini di sismica passiva (H.V.S.R.).** Le misure H/V sono state finalizzate sia alla valutazione delle frequenze di vibrazione tipiche del sottosuolo in studio necessarie ad evitare fenomeni di risonanza con le strutture in progetto sia, analizzate congiuntamente con le misure M.A.S.W. e con dati stratigrafici noti, per definire con più accuratezza e per profondità più elevate le velocità V_s nel sottosuolo;
- **valutazioni cartografiche e rilievi topografici e geomorfologici** dell'alveo del tratto terminale del fiume Ete Vivo e di un intorno significativo ad esso, comprendente l'area portuale, al fine di svolgere il secondo step (geomorfologico) della valutazione di compatibilità idraulica;
- **redazione della carta** delle aree potenzialmente raggiungibili dalle acque di esondazione del fiume Ete Vivo in relazione al progetto di variante del piano regolatore del porto

2. CENNI SUL PIANO PER LA SISTEMAZIONE DELL'AREA PORTUALE DI P.S. GIORGIO CONTENUTO NELLA PROPOSTA DI PIANO REGOLATORE PORTUALE E CARATTERI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA IN VARIANTE

Il bacino di porto San Giorgio nasce come iniziativa privata a scopo turistico nella prima metà degli anni '80 del '900. Fu individuato il suo posizionamento nella zona meridionale del territorio comunale di Porto San Giorgio fino alla sponda sinistra del fiume Ete Vivo che segna il limite di confine comunale con la località Marina Palmense del Comune di Fermo. La sua realizzazione era già completata nel 1985, secondo una disposizione portuale nello schema a bacino con molo di sopraflutto e molo di sottoflutto ed imboccatura rivolta verso Nord. Gli ormeggi interni del nuovo porto turistico sono predisposti generalmente su pontili in conglomerato cementizio armato su pali.

In occasione della realizzazione del porto vennero demolite delle vecchie strutture preesistenti nello stesso arenile, tra cui il lungo pontile dei primi anni '50 ed un pennello nei pressi della foce del fiume Ete Vivo del 1939, strutture visibili nello stralcio allegato dell'ortofotocarta dell'anno 1977, precedente alla realizzazione del porto e messo a confronto col medesimo foglio dell'ortofotocarta con ripresa aerea del 1988, quindi di poco successiva alla realizzazione del porto così come è oggi.

Nell'attuale configurazione, il porto di Porto San Giorgio ha due moli esterni principali in cemento armato circondati di blocchi di pietra frangiflutti, uno a nord, rettilineo e che si estende dalla linea di costa verso est e l'altro a sud di forma arcuata che si estende dalla linea di costa dapprima verso nord est, poi ruotando decisamente in direzione nord. All'interno di questi due moli il porto è occupato per larga parte dagli specchi d'acqua e dai moli di approdo interni e per il restante spazio dalle "aree emerse" in parte della preesistente spiaggia e in parte sottratte al mare nelle quali è in progetto la realizzazione degli edifici e delle altre strutture accessorie oggetto di variante del P.R.P.; ***ai soli fini della caratterizzazione sismica e litostratigrafica-geomeccanica***, tali "aree emerse" sono state dallo scrivente suddivise (arbitrariamente) rispettivamente in tre zone, ***A-Nord, B-Sud, C-Ovest***:

- **Zona A-Nord**- a ridosso del molo principale nord, con forma all'incirca di un triangolo isoscele, avente la base lungo la linea di costa e il vertice nella parte di molo protesa più a est. In tale area è prevista la realizzazione:

- di 6000 m³ di residence turistici che si protendono dalla linea della strada costiera verso il mare con prospiciente parco urbano;
- di un campo sportivo/auditorium;
- degli edifici della Capitaneria di Porto;
- di spazi per il sistema delle associazioni sportive.

Per la caratterizzazione geomeccanica-litostratigrafica e sismica della **zona A-Nord**, oltre ai dati pregressi reperiti da precedenti studi nell'area (due carotaggi e due prove SCPT), è stato eseguito anche un sondaggio a carotaggio continuo per il presente lavoro, sondaggio svolto nella zona di "vertice" del triangolo; sono state inoltre eseguite indagini sismiche sia con una prova di tipo M.A.S.W. sia con una prova di tipo H.V.S.R.;

- **Zona B-Sud**- è costituita da una "fascia" parallela alla linea di costa di larghezza circa 80 m. Tale parte verrà ampliata colmando una zona attualmente sommersa adibita a varo del cantiere navale e si estenderà quindi mantenendo la medesima larghezza, fino al molo principale sud. In tale zona sono previsti:

- edifici da adibirsi a centro congressi,
- edifici da adibirsi ad attività commerciali,
- edificio da adibirsi a centro direzionale,
- edifici da adibirsi ad attività del cantiere navale,
- strutture viarie e ciclabili.

Per la caratterizzazione geomeccanica-litostratigrafica e sismica della **zona B-Sud**, oltre ai dati di due prove SCPT reperite dai precedenti studi nell'area, è stato eseguito anche un sondaggio a carotaggio continuo per il presente lavoro, sondaggio svolto all'interno dell'attuale area dei

cantieri navali. Sono state inoltre eseguite indagini sismiche sia con una prova di tipo M.A.S.W. sia con una prova di tipo H.V.S.R. -

- **Zona C-Ovest**- Dalla proposta preliminare di P.R.P. recepita dalla Giunta Comunale (vedi planimetria allegata) altre opere verranno realizzate in aree già urbanizzate poste a Ovest dell'ambito portuale "*sensu stricto*" ed in particolare: 1) verranno demoliti e ricostruiti alcuni edifici tra via XX Settembre, via Pergolesi e via Napoli con riqualificazione dell'intera area compresa tra queste vie e il lungomare con la realizzazione di una piazza che collegherà in modo visivo e fisico l'abitato con il mare; 2) verranno realizzate opere infrastrutturali e parcheggi tra via San Martino e la parte sud del porto. Per tali aree non sono state eseguite specifiche indagini litostratigrafiche, geotecniche e sismiche.

SCHEMA FUNZIONALE



Figura 2.1

LEGENDA

**Figura 2.2**

Il molo principale sud del porto, oltre alle funzioni di protezione degli approdi dalle correnti marine, svolge anche una azione di barriera nei confronti della adiacente foce del fiume Ete Vivo. Il fiume, con direzione che nel tratto terminale diviene prettamente ovest-est, segna il margine sud dell'abitato di Porto San Giorgio e sfocia nel Mare Adriatico, come detto, subito a sud del molo del porto. La zona di foce vera e propria è protetta a nord dal molo del porto, che raggiunge una altezza di circa 4,8 m s.l.m. e a sud da un piccolo molo costituito da massi frangiflutti. Nel tratto terminale prima della foce, il fiume ha una larghezza dell'area golenale variabile da 25 a 40 m ed è contenuto entro argini in terra di altezza circa 1,5÷2,5 metri sopra il livello del piano campagna. Come già detto il fiume segna, 1) in sinistra idrografica, il confine sud dell'abitato di Porto San Giorgio dove a breve distanza dall'argine l'antropizzazione è intensa con presenza di numerose abitazioni, centri commerciali, strade e 2) in destra idrografica, il confine nord dell'abitato di Marina Palmense, una frazione di Fermo assai meno urbanizzata nell'area prospiciente l'Ete Vivo e quindi con tessuto urbano diradato, con poche abitazioni a distanza minima dalla destra idrografica dell'Ete Vivo di circa 150 m. Per quanto riguarda le caratteristiche topografiche e geomorfologiche dell'area portuale in variante del P.R.P. ove si prevede una futura edificazione,

adottandone per semplicità descrittiva la suddivisione nelle tre zone (A, B e C) in precedenza elencate si può affermare che, alla data della presente relazione, tutta l'area in variante è sostanzialmente pianeggiante, e più in particolare:

- la - **Zona A-Nord**- è quasi interamente inerbita ed ha una topografia pianeggiante, con quota di circa 1,3 m s.l.m. tranne in alcune zone nelle quali accumuli di materiale di colmata creano "collinette" sabbiose di altezza non superiore a 2-3 m sul piano campagna, max circa 4,5 m sul liv. m. mare;
- la - **Zona B-Sud**- posta a quota circa 1,4-1,6 m s.l.m. è occupata per la metà più vicina al fiume dall'area di rimessaggio barche e cantieristica ed è interamente imbrecciata dove non cementificata dai moli mentre, nel settore più a nord alle spalle della strada perimetrale di accesso alle banchine e ai moli interni di ormeggio, l'area è in parte inerbita ed in parte adibita a strade e parcheggi con alcuni edifici ospitanti attualmente strutture di servizio che saranno oggetto di rifacimento.
- la - **Zona C-Ovest**- è attualmente occupata in parte minore da un parco urbano e da un'area sterrata e per la parte maggiore da edifici e piazzali che saranno pressoché interamente riprogettati, attualmente si trova a una quota variabile da 2,85 a 3,58 m s.l.m.m.

Rischi legati alla stabilità gravitativa -

Come facilmente intuibile, vista la topografia prettamente pianeggiante dell'area portuale oggetto di variante, non si hanno pericolosità/rischi di tipo gravitativo.

Rischi legati all'esondabilità -

Per quanto riguarda eventuali rischi collegati all'esondabilità del fiume Ete Vivo, dalla cartografia del P.A.I., della quale si allega stralcio, si nota che l'intera area portuale è stata esclusa dalla zona esondabile E-23-0001 (con indice di rischio molto elevato R4), zona esondabile che, nell'ultimo tratto che va dal ponte della S.S.16 alla foce, si estende per un massimo di 250÷300 m da entrambe le sponde dall'alveo fluviale fino al ponte della ferrovia e che nella zona più prossima alla foce si estende per oltre 500 m lungo la spiaggia in destra idrografica mentre si estende per un massimo di 100 m in sinistra idrografica, dove è condizionata dalla urbanizzazione nella zona; qui il perimetro/limite dell'area esondabile viene infatti posto a nord in corrispondenza della strada di accesso al porto (via S. Martino) e a est in corrispondenza del muretto di recinzione dell'area di rimessaggio barche e cantieristica.

Fa eccezione progettuale un parcheggio di prevista realizzazione in adiacenza all'argine in sx idrografica, subito prima del ponte della ferrovia. Come verrà illustrato nei capitoli seguenti, il problema della esondabilità è stato affrontato e approfondito in fase di analisi della compatibilità idraulica della variante al P.R.P. in progetto.

Rischi legati all'erosione costiera -

Nell'area portuale non si risente della problematica di potenziali fenomeni di erosione costiera dal momento che si tratta di un'area protetta dalle correnti marine e dalle onde dai moli principali. Dalla carta dell'evoluzione della linea di costa nei pressi del porto di Porto San Giorgio, già allegata alla VAS del 2006 e della quale si riporta stralcio, si nota che dal 1894 fino alla costruzione del porto (1985) il tratto di costa in esame è stato in costante erosione e arretramento. Dal 1985 in poi, grazie alla barriera protettiva fornita dalla struttura portuale e dalle scogliere, c'è stata una inversione di tendenza quasi generalizzata con stabilizzazione della linea di costa.

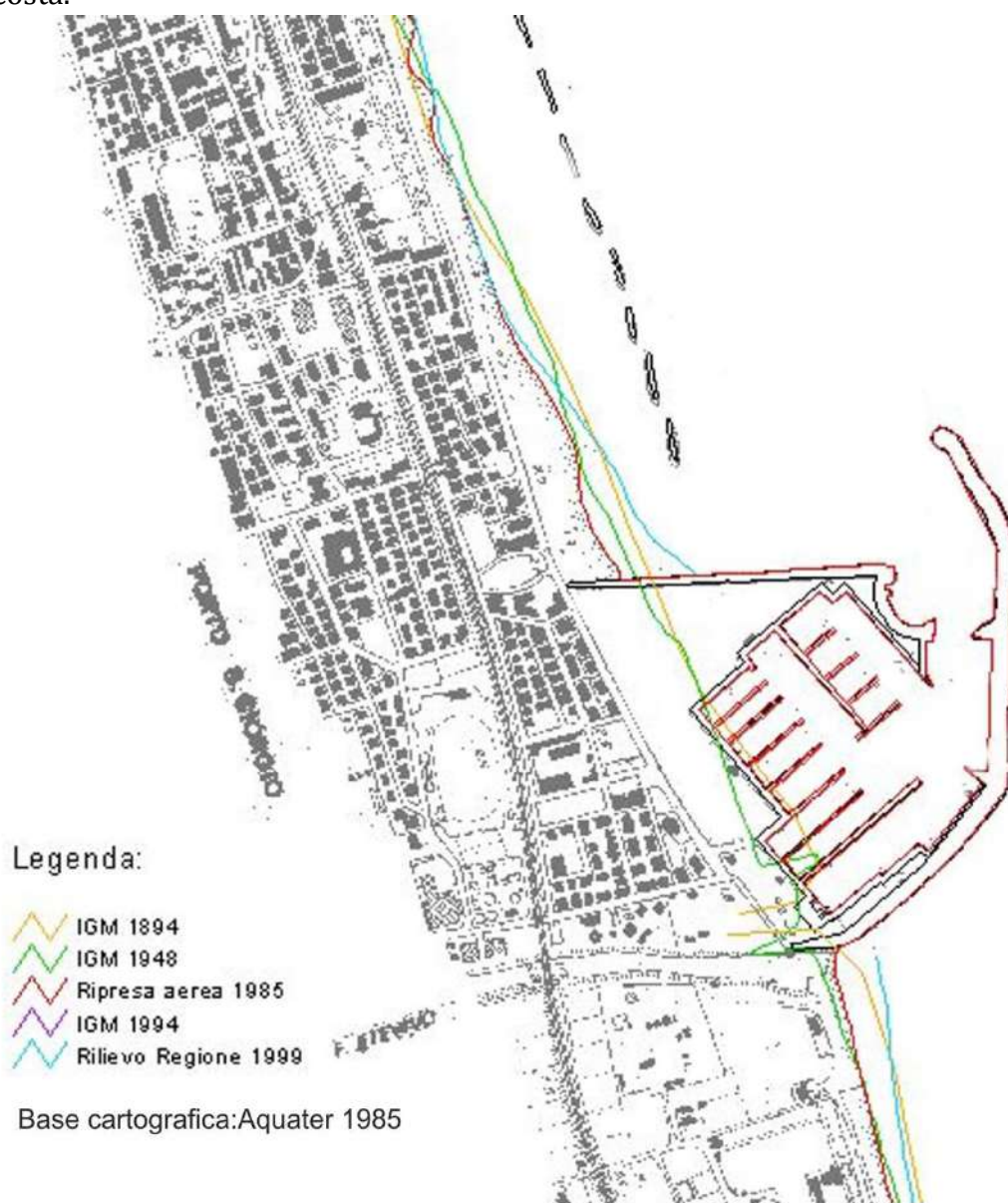


Figura 2.2

- Evoluzione storica della linea di costa - Tratta da "studi, indagini, modelli matematici finalizzati alla redazione del piano di difesa della costa" - Regione Marche servizio lavori pubblici - Istituto di idraulica dell'università degli studi di Ancona

3. CARATTERI GEOLOGICI E LITOSTRATIGRAFICI

A causa dell'attività tettonica Plio-Pleistocenica, i terreni del substrato geologico dell'area oggetto di variante si sono depositati nel cosiddetto *bacino marchigiano esterno*, nel settore fermano, che rappresenta l'area più depressa del bacino deposizionale marchigiano; in esso si depositava una potente successione argillosa di ambiente da profondo fino a batiale, riconducibile alla Formazione delle Argille Azzurre (rinvenibili nella porzione medio-terminale del bacino idrografico del Fiume Ete Vivo così come degli altri fiumi della zona). La sedimentazione si chiude con sabbie legate a passaggi graduali alle sottostanti peliti, indicative di un ambiente variabile da spiaggia sommersa a battigia e spiaggia emersa. Al di sopra del substrato sono particolarmente diffuse le coperture continentali quaternarie ed in particolare i depositi alluvionali attuali, recenti e terrazzati. L'area portuale interessata dal progetto insiste sopra depositi alluvionali recenti portati al mare dai corsi d'acqua limitrofi, tra i quali il principale è l'Ete vivo, e dal mare rielaborati. Sopra tali depositi alluvionali è stato steso uno spessore variabile di terreno di colmata, probabilmente ricavato per gran parte dal dragaggio delle sabbie eseguito per l'approfondimento del fondale del porto.

Da lavori pregressi è stata reperita una batimetria del fondale marino nella situazione subito antecedente alla realizzazione del porto; le curve batimetriche sono riportate nella planimetria allegata e indicano che nell'area nella quale è stato perforato il sondaggio S1, all'estremità verso mare dell'area A, il fondale si trovava ad una profondità di circa -3,5 m al di sotto del livello del mare; considerando che la quota attuale del molo sul quale è stato eseguito il carotaggio è pari a circa +1,2 m s.l.m., lo spessore di terreno riporto in tale verticale di sondaggio dovrebbe essere all'incirca di 4,70 m.

In effetti, a quanto emerso dalla stratigrafia del sondaggio S1 (eseguito zona A-nord), lungo la verticale si rinviene un primo metro circa di terreno di riporto sabbioso con elementi antropici e poi una sottostante sabbia di colore grigio che si approfondisce fino a -4,60 m dal. p.c. che rappresenta, probabilmente, il materiale di colmata utilizzato per far emergere l'area all'interno del molo principale nord.

Nel sondaggio S2, (eseguito nella zona B-sud), lo spessore del riporto costituito da ghiaie grossolane e sabbia frammiste a laterizio è pari a 2 metri mentre probabilmente non c'è o ha spessore molto limitato il riempimento sabbioso di colmata, dal momento che nell'area nella quale è stato eseguito il sondaggio il terreno era già emerso trovandosi quasi in corrispondenza della originaria linea di battigia. Lo stesso discorso vale anche per il sondaggio S01 eseguito nel 2010 dal geol. D. Mercuri che si trova all'incirca alla stessa distanza del sondaggio S2 dalla



attuale linea di costa e che, infatti, presenta uno spessore di circa 0,6 m di riporto antropico mentre non si distingue un materiale di colmata.

Al di sotto dei materiali di riporto e di colmata i depositi alluvionali trasportati dai fiumi e rielaborati dall'azione marina sono costituiti, a quanto emerso dai sondaggi S1 e S2 eseguiti per la presente relazione, fino a circa 10 m dal p.c. da alternanze di strati prevalentemente sabbiosi e strati prevalentemente ghiaiosi e poi, scendendo in profondità, i materiali assumono granulometrie più fini e si hanno alternanze di strati sabbiosi e strati argilloso-limosi. Un nuovo aumento delle dimensioni granulometriche dei materiali alluvionali si ha in corrispondenza della loro base, dove si rinvencono di nuovo ghiaie anche grossolane e qualche ciottolo, negli ultimi 1÷2 m prima del passaggio alla formazione geologica delle argille di sedimentazione marina Plio-Pleistoceniche.

Il substrato argilloso di sedimentazione marina Plio-Pleistocenica si rinviene a partire da -20,80 m dal p.c. (circa -19,5 m al di sotto del livello del mare) al sondaggio S1, al vertice EST della **zona A**, e a partire da -25,30 m dal p.c. (circa -24,0 m al di sotto del livello del mare) al sondaggio S2, eseguito nella **zona B**, nell'area di rimessaggio barche.

Tale substrato è costituito da argilla limosa grigia talora con veli sabbiosi, a struttura evidente e fratturazione concoide ma a consistenza plastica al contatto con le sovrastanti alluvioni, con valori di coesione non drenata C_u misurati con lo scissometro tascabile sulle carote appena estratte dal foro di sondaggio variabili da 1,4 a poco più di 2,0 kg/cm² e valori di resistenza a compressione semplice misurati con il penetrometro tascabile sulle carote stesse variabili tra 2,5 e 4,0 kg/cm².

Lungo la verticale del sondaggio S.01₂₀₁₀ fatto eseguire dal geologo D. Mercuri nella parte più prossima alla costa della **zona A** (vedi planimetria allegata), il substrato Plio-Pleistocenico non è stato rinvenuto fino alla profondità di -20,0 m dal p.c. raggiunta dal carotaggio. La presenza di materiale più grossolano alla base del carotaggio S.01₂₀₁₀, descritto come sabbia a granulometria grossolana con abbondanti ciottoli, sembra assimilabile alla parte più profonda dei depositi alluvionali a granulometria medio grossolana rinvenuti nel sondaggio S.1 svolto per la presente relazione, prima del passaggio alla sottostante formazione di deposizione marina argillosa. quindi è ipotizzabile che, anche nel caso del sondaggio S01/2010 il substrato sia pochi decimetri al di sotto dei 20 m dal p.c. (circa -18,5m al di sotto del livello del mare) raggiunti con il foro.

Differente è, invece, la situazione descritta nel sondaggio n°13₁₉₉₆ reperito dall'indagine geologica eseguita dal geol. Ermanno Librandi nel 1996, sondaggio realizzato quasi al centro della **zona A**, dove il substrato Plio-Pleistocenico era stato rinvenuto ad una profondità ben inferiore rispetto a tutti gli altri carotaggi e cioè a -16,50 m dal p.c.; considerando che tale sondaggio è stato eseguito probabilmente ad una quota più elevata di oltre 1 metro rispetto al



piano campagna attuale, quota stimata in +2,50 m sul livello del mare, dando credito al sondaggio n°13₁₉₉₆ descritto, il substrato Plio-Pleistocenico in questa zona dovrebbe quindi trovarsi ad una profondità di circa -14,2 m al di sotto del livello del mare.

Il livello idrico misurato nelle verticali di prova, sia dai due sondaggi eseguiti per la presente relazione, sia dai sondaggi e dalle prove penetrometriche reperite dai precedenti lavori, è concorde e corrispondente al livello del mare; proprio per via del fatto che il valore del livello idrico riportato nella stratigrafia del sondaggio del geologo Librandi non risulta concorde con gli altri, si è giunti alla conclusione che il piano campagna della zona indagata con tale carotaggio, nel 1996, data di esecuzione, era, probabilmente, più elevato rispetto all'attuale di circa 1,3 m, trovandosi ad una quota di circa 2,50 m s.l.m..

4. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA IN SITU

La caratterizzazione geotecnica dei terreni a componente granulometrica prevalentemente **coesiva**, limosa e argillosa, è stata eseguita per mezzo dello scissometro tascabile e del pocket penetrometro sulle carote appena estratte dal foro di sondaggio. Lo scissometro misura la resistenza del materiale a taglio rapido e, di conseguenza, il suo valore di coesione non drenata C_u mentre il penetrometro tascabile misura la resistenza di rottura a compressione semplice del materiale stesso (q_u) che a sua volta può essere empiricamente correlato al valore di coesione non drenata con la seguente formula: $C_u=0,9 \times (q_u/2)$.

Le misure di C_u e q_u eseguite con i due strumenti sono riportate nelle allegate stratigrafie dei sondaggi S1 e S2 eseguiti per la presente relazione e mostrano che gli orizzonti prevalentemente coesivi che costituiscono i depositi alluvionali hanno consistenza molle e plastica, con valori di C_u molto spesso inferiori anche notevolmente all'unità ($0,25 \div 0,4$ kg/cm²) e solo raramente superiori a 1 kg/cm².

I valori di resistenza a compressione q_u che, come detto, sono poco più del doppio dei valori di C_u , oscillano tra 1,50 e 3,0 kg/cm².

Valori di pocket penetrometro erano stati misurati anche dal collega geol. E. Librandi e riportati nella sua stratigrafia del sondaggio S.13₁₉₉₆ e risultano concordi con quanto registrato nei terreni indagati con i sondaggi svolti per la presente relazione, con q_u variabili da 1,5 a 2,7 kg/cm².

L'argilla limosa costituente il tetto della formazione Plio-Pleistocenica subito sotto il contatto con le alluvioni e fino alla profondità del sondaggio ha anch'essa consistenza plastica, offrendo resistenze alla compressione q_u variabili da 2,50 a 4,00 kg/cm² e valori di coesione non drenata C_u variabili tra 1,40 e 2,20 kg/cm². Anche in questo caso i risultati delle prove eseguite dal geol. Librandi nella sua stratigrafia del S.13₁₉₉₆ sono congruenti con quelli eseguiti dallo scrivente.

Per la caratterizzazione geotecnica dei primi metri di profondità degli orizzonti di terreno a componente granulometrica prevalentemente **incoerente** (sabbiosa e ghiaiosa) che si distinguono all'interno dei depositi alluvionali si sono utilizzate le elaborazioni dei risultati delle prove penetrometriche dinamiche pesanti eseguite dal geologo D. Mercuri nel 2010 (SCPT₂₀₁₀).

Le prove penetrometriche dinamiche SCPT misurano la resistenza offerta dal terreno all'infissione a battuta di una punta conica, misurando il numero di colpi necessari affinché il sistema aste/punta venga infisso per 30 cm nel terreno (passo d'avanzamento) sotto i colpi di



un maglio del peso di 73 kg lasciato cadere da una altezza di 75 cm al di sopra del sistema di battuta.

I grafici derivanti da tali prove sono riportati nelle sezioni A-A, B-B e C-C allegare e mettono in luce l'alternanza, all'interno dei depositi alluvionali, tra gli strati prevalentemente incoerenti più o meno addensati, caratterizzati da un numero elevato di colpi per passo d'avanzamento e gli strati prevalentemente coesivi o incoerenti a bassa densità come i materiali da colmata, caratterizzati da un numero basso di colpi per passo d'avanzamento.

Nessuna delle prove penetrometriche dinamiche eseguite dal geologo D. Mercuri è stata spinta in profondità fino ad incontrare il substrato Plio-Pleistocenico anche perché tali prove sono molto influenzate dalla profondità soprattutto in presenza di prevalenti orizzonti coesivi, poiché l'attrito laterale di questi sulle aste tende a prendere il sopravvento sulla reale resistenza del terreno, falsando di molto, in aumento, il numero di colpi mano a mano che si raggiungono profondità più elevate.

Il numero di colpi che si registra con le prove penetrometriche dinamiche può essere ricondotto ad un valore di N_{spt} tramite la seguente formula:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e varia a seconda dello strumento utilizzato mentre Q_{spt} è l'energia specifica riferita alla prova S.P.T. ed è convenzionalmente pari a 7,83 kg/cm².

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente (73 kg)
M'	peso aste (8 kg per ciascun metro)
H	altezza di caduta (75 cm)
A	area base punta conica (20,27 cm ²)
d	passo di avanzamento (30 cm)

A partire dai valori di N_{spt} vi sono numerose formule che consentono di determinare i principali parametri geotecnici dei materiali attraversati; le prove del 2010 sono state rielaborate dallo scrivente suddividendo le verticali in orizzonti considerabili omogenei per resistenza e valutando, per ciascun orizzonte, la media del numero di colpi, il conseguente valore medio di N_{spt} e, tramite numerose formule proposte da differenti autori, i principali parametri geotecnici. Le elaborazioni (rielaborazione dei dati originali -n. colpi- delle prove) sono riportate estesamente in allegato mentre nelle sezioni A-A, B-B e CC sono tracciate le suddivisioni delle verticali in orizzonti omogenei dove, per i vari strati a prevalente



granulometria incoerente, sono riportati i valori di angolo d'attrito e peso volume dedotti. Le medesime suddivisioni e parametri geotecnici sono riportate nella tabella seguente utilizzata per stimare i valori medi per ciascuna litologia considerabile omogenea tra una verticale e l'altra.

La caratterizzazione geotecnica preliminare in situ, visto il limitato n. di prove svolte in relazione all'ampiezza delle aree in variante, degli orizzonti litostratigrafici del sottosuolo dell'area di studio, può essere così definita:

Riporto antropico grossolano (ghiaie sabbiose): $\gamma=2,20 \text{ T/m}^3$; $\varphi= 41,5^\circ$

Sabbie di colmata: $\gamma=1,95 \text{ T/m}^3$; $\varphi= 31,3^\circ$

Orizzonti alluvionali prevalentemente sabbiosi: $\gamma=1,97 \text{ T/m}^3$; $\varphi= 32,9^\circ$

Orizzonti alluvionali prevalentemente ghiaiosi: $\gamma=2,10 \text{ T/m}^3$; $\varphi= 36,9^\circ$

Orizzonti alluvionali prevalentemente fini, limosi e/o argillosi: $C_u=0,5 \text{ kg/cm}^2$; $\gamma=1,98 \text{ T/m}^3$; $\gamma_{\text{sat}}=2,10 \text{ T/m}^3$

Formazione Plio-Pleistocenica argilloso limosa (fino alla profondità indagata con le prove, dove la consistenza è ancora plastica): $C_u=2,8 \text{ kg/cm}^2$; $\gamma=2,10 \text{ T/m}^3$; $\gamma_{\text{sat}}=2,15 \text{ T/m}^3$

5. ANALISI GRANULOMETRICHE DA PROVE DI LABORATORIO

Come detto in premessa, al fine di valutare il potenziale di liquefazione dei terreni presenti nel sottosuolo in studio, sono stati prelevati dei campioni di terreno in corrispondenza degli orizzonti ritenuti più suscettibili di tali fenomeni essendo sedimenti costituiti da sabbie con scarsa componente grossolana e/o fine.

Si è quindi scelto di prelevare due campioni per ciascuno dei sondaggi caratterizzanti le due distinte zone in oggetto e cioè:

ZONA A-nord - sondaggio S.1

- **campione 1)** tra -2,50 e -3,00 m dal p.c. prelevato all'interno della sabbia di colmata a granulometria media

- **campione 2)** tra -7,50 e -8,00 m dal p.c. prelevato all'interno della sabbia beige alluvionale a granulometria media

ZONA B-sud - sondaggio S.2

- **campione 1)** tra -3,20 e -3,50 m dal p.c. prelevato all'interno della sabbia gialla alluvionale a granulometria medio-grossolana

- **campione 2)** tra -7,50 e -8,00 m dal p.c. prelevato all'interno della sabbia beige alluvionale a granulometria medio-grossolana con qualche elemento di ghiaia

Dalle analisi, delle quali di seguito si riporta una tabella riassuntiva, i due campioni prelevati al sondaggio S.1 risultano costituiti quasi esclusivamente da sabbia (con percentuali superiori al 93%) mentre i due campioni prelevati al sondaggio S2, pur essendo comunque costituiti per la maggior parte da sabbia, hanno una percentuale di circa il 20% di materiali non liquefacibili quali ghiaie o limi e argille.

TABELLA RIASSUNTIVA ANALISI GRANULOMETRICHE

	Sondaggio 1		Sondaggio 2	
	campione 1 -2,50÷-3,00	campione 2 -7,50÷-8,00	campione 1 -3,20÷-3,50	campione 2 -7,50÷-8,00
Ghiaia (%)	1,9	0	14	13,5
Sabbia (%)	93,6	96,2	81,5	82,2
Frazione fine - Limo + argilla (%)	4,5	3,8	4,5	4,3

I certificati delle analisi granulometriche, redatti dal laboratorio geomeccanico Orazi di Pesaro, sono riportati in allegato.

Per poter determinare se un terreno è suscettibile di liquefazione, le NTC2018 indicano che una prima valutazione può essere eseguita confrontando la curva granulometrica dei terreni sottoposti a valutazione ai 2 fusi granulometrici proposti da Tsuchida (1970), uno per le granulometrie con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e l'altro per le granulometrie con



coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$. Se la curva granulometrica ricade all'interno del fuso di riferimento il terreno è potenzialmente suscettibile di liquefazione e vanno quindi eseguiti i calcoli per la stima del coefficiente di sicurezza alla liquefazione.

I due campioni prelevati al sondaggio S1 e caratteristici della zona A hanno entrambi un coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ mentre dei due campioni prelevati al sondaggio S2 e caratteristici della zona B, il più superficiale (S2-C1) ha un coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ mentre il più profondo (S2-C2) ha un coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$.

Di seguito si riportano tabelle e relativi grafici nel quale le curve granulometriche dei 4 campioni esaminati sono state paragonate ai relativi fusi granulometrici; da tale grafico si nota che tutte le curve ricadono all'interno delle aree **potenzialmente liquefacibili**.

0		Curva granulometrica		Curva granulometrica		Curva granulometrica	
Sondaggio S1 - Campione 1		Sondaggio S1 - Campione 2		Sondaggio S2 - Campione 1		Sondaggio S2 - Campione 2	
-2,50÷3,00 m da p.c.		-7,50÷8,00 m da p.c.		-3,20÷3,50 m da p.c.		-7,50÷8,00 m da p.c.	
Diametro	% passante	Diametro	% passante	Diametro	% passante	Diametro	% passante
127	100	127	100	127	100	127	100
101,6	100	101,6	100	101,6	100	101,6	100
76,1	100	76,1	100	76,1	100	76,1	100
50,8	100	50,8	100	50,8	100	50,8	100
25,4	100	25,4	100	25,4	100	25,4	100
19	100	19	100	19	100	19	100
12,7	100	12,7	100	12,7	100	12,7	100
9,51	100	9,51	100	9,51	97,4	9,51	100
4,76	99,2	4,76	100	4,76	91,3	4,76	95,7
2	98,1	2	100	2	86	2	86,5
0,8411	97,3	0,8411	99,7	0,8411	78,6	0,8411	85,7
0,42	95,8	0,42	99,2	0,42	58	0,42	84,9
0,21	72	0,21	64,5	0,21	21,9	0,21	76
0,063	4,5	0,063	3,8	0,063	4,5	0,063	4,3

Tabella 5.1

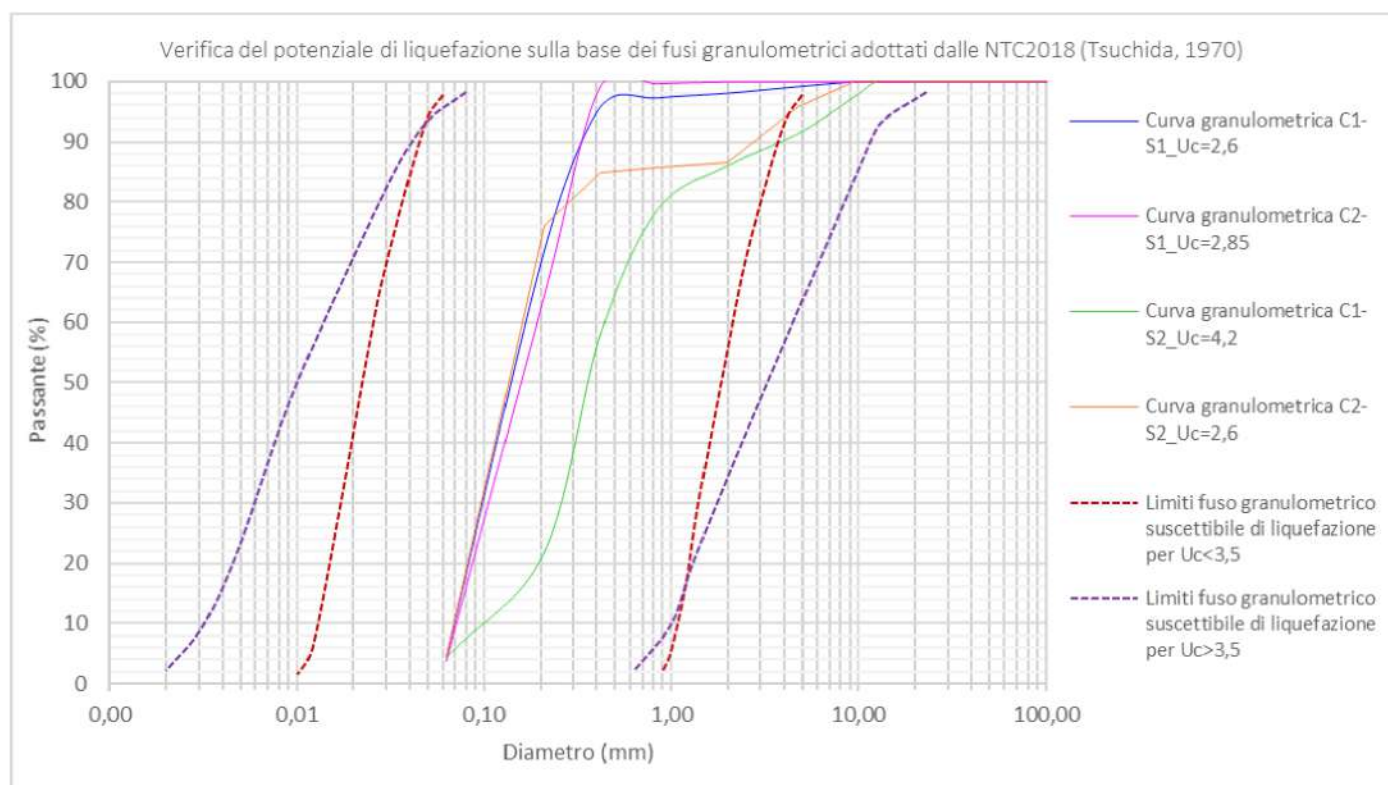


Grafico 5.2

Pertanto, considerando che tali campioni sono rappresentativi sia della sabbia di colmata sia degli strati prevalentemente sabbiosi dei depositi alluvionali, si è proceduto alla stima del potenziale di liquefazione (vedi capitolo 7) di tutti i livelli di sabbia rilevati nelle due stratigrafie redatte per la presente relazione.

6. CARATTERISTICHE SISMICHE GENERALI DELL'AREA IN STUDIO

A seguito dell'emanazione dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274/03 che ha stabilito l'esistenza di 4 zone sismiche sull'intero territorio nazionale e dell'Ordinanza del P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006, che ha disciplinato i criteri alla base degli studi per la definizione della pericolosità sismica utili alla riclassificazione sismica del territorio nazionale, il territorio di Porto San Giorgio è stato classificato "Zona Sismica 2 – Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti". Di seguito la mappa delle zone sismiche del 2004 reperita nel sito dell'INGV.

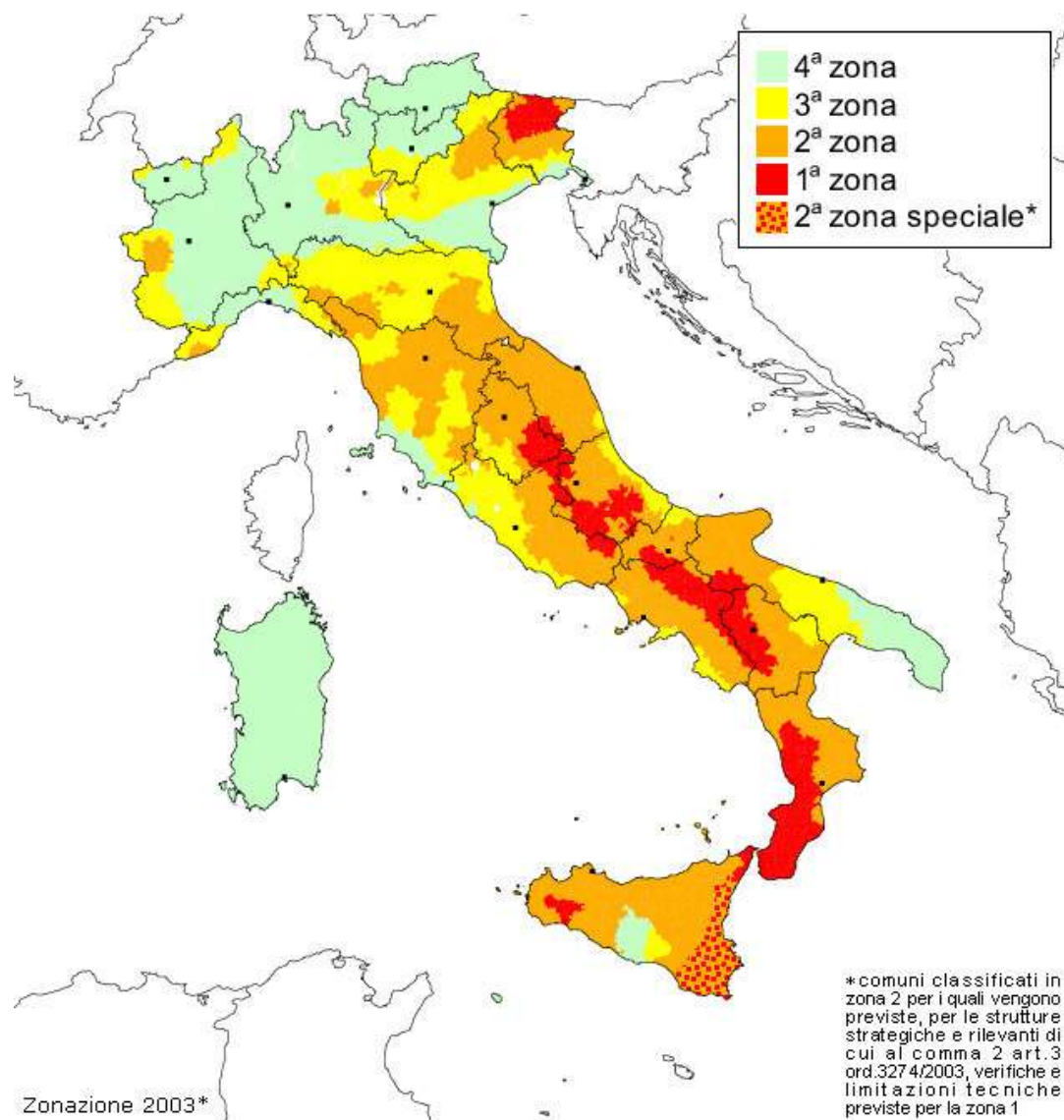


Figura 6.1

Alla zona 2 competono, per suolo di tipo "A", valori di accelerazione di picco orizzontale al suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compresi tra 0,15 a_g/g e 0,25 a_g/g e un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) $a_g/g = 0,25$. Con la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale redatta nel 2006 (di seguito allegata intera e con zoom sulla zona di studio) le accelerazioni massime al suolo sono

state classificate con maggior dettaglio e l'area costiera Marchigiana viene fatta ricadere all'interno della fascia con valori compresi tra 0,175 ag/g e 0,200 ag/g .

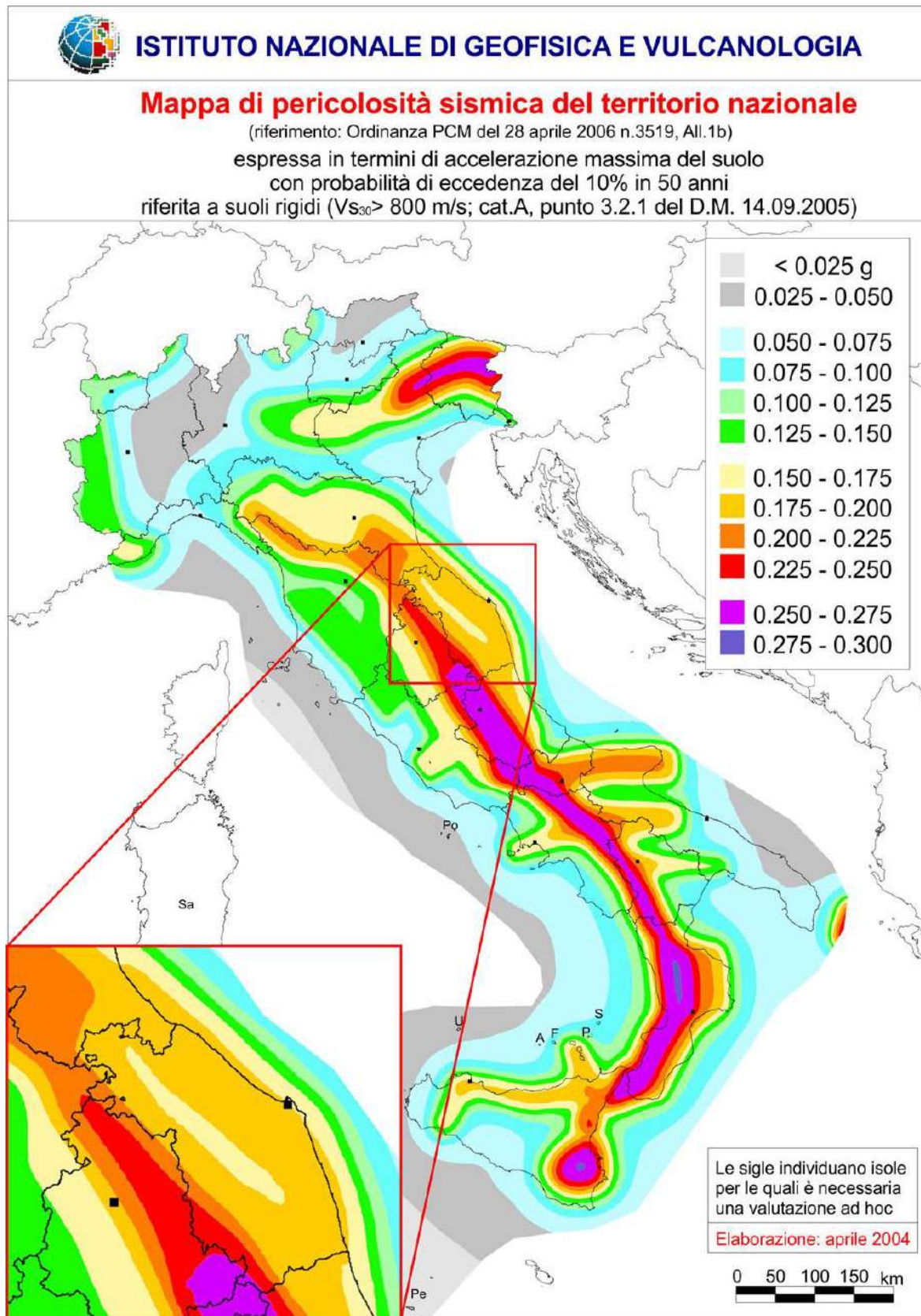


Figura 6.2

Con il D.M. 14 gennaio 2008, ripreso poi dalle **NTC2018** entrate in vigore nel marzo 2018, l'azione sismica di progetto viene valutata con un approccio di tipo "sito dipendente" implementando all'accelerazione di base determinata come sopra esposto, meccanismi

incrementali dovuti ad effetti locali sia in dipendenza della stratigrafia del terreno sia in dipendenza di eventuali effetti topografici.

Il DBMI - Database Macrosismico Italiano redatto da INGV, contiene i dati dei terremoti storici, ovviamente più dettagliati e più numerosi a partire dal 1900 in considerazione dell'aumento degli strumenti nel territorio e del miglioramento del loro modo di registrare gli scuotimenti sismici e della loro maggiore sensibilità.

La **storia sismica dell'area di Porto San Giorgio** rivela numerosi eventi registrati tra la fine del 1700 e il 2017, ultimo anno di aggiornamento del DBMI, tra i quali, quello che a Porto San Giorgio si è avvertito con intensità maggiore (stimata pari a 7) è avvenuto il 3 luglio 1987 in mare, poco al largo della costa proprio di fronte alla cittadina, avente una magnitudo $M_w=5,06$ ed una profondità di soli 2,7 km.

Effects	Reported earthquakes			
Int.	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io Mw
5	1795 06 19 23 30	Maceratese	17	6 4.70
5	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8 5.85
3	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8 5.74
NF	1897 12 18 07 24 2	Alta Valtiberina	132	7 5.09
NF	1898 06 27 23 38	Reatino	186	8 5.50
NF	1898 08 25 16 37 4	Valnerina	67	7 5.03
NF	1899 04 21 00 57 5	Narni	45	4 3.96
NF	1908 11 16 16 28	Fermo	6	4 3.70
4	1922 06 08 07 47	Valle del Chienti	47	6 4.73
3-4	1924 01 02 08 55 1	Senigallia	76	7-8 5.48
6	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8 5.83
2-3	1933 09 26 03 33 2	Maiella	325	9 5.90
F	1943 01 16	Monti Sibillini	22	6-7 5.04
5	1943 10 03 08 28 2	Ascolano	170	8 5.67
F	1972 06 14 18 55 5	Costa anconetana	17	4.68
4-5	1979 09 19 21 35 3	Valnerina	694	8-9 5.83
3-4	1980 11 23 18 34 5	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.81
4	1984 04 29 05 02 5	Umbria settentrionale	709	7 5.62
3	1985 05 01 16 57 3	Ascolano	51	5 4.09
4	1986 10 13 05 10 0	Monti Sibillini	322	5-6 4.46
7	1987 07 03 10 21 5	Costa Marchigiana	359	7 5.06
5-6	1987 09 04 16 42 4	Costa Marchigiana	75	6 4.66
4-5	1997 09 26 00 33 1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8 5.66
5	1997 09 26 09 40 2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9 5.97
4-5	1997 10 03 08 55 2	Appennino umbro-marchigiano	490	5.22
4-5	1997 10 06 23 24 5	Appennino umbro-marchigiano	437	5.47
4-5	1997 10 14 15 23 1	Valnerina	786	5.62
3-4	1998 04 05 15 52 2	Appennino umbro-marchigiano	395	4.78
3	2003 03 29 17 42 1	Adriatico centrale	68	5.43
2-3	2003 05 25 17 15 1	Ascolano	88	4-5 3.81
2	2004 12 09 02 44 2	Teramano	213	5 4.09
NF	2005 04 12 00 31 5	Maceratese	131	4 3.74
NF	2006 10 21 07 04 1	Anconetano	287	5 4.21
5	2016 10 30 06 40 1	Valnerina	379	6.61

Tabella 6.4

A lato si riporta l'elenco dei terremoti registrati dal DBMI relativi alla cittadina di Porto San Giorgio mentre sotto è riportato il grafico che schematizza tali terremoti in base alla loro distribuzione temporale e intensità.



Grafico 6.3

Da uno stralcio del catalogo parametrico dei terremoti italiani si nota che la maggior parte dei sismi a maggiori magnitudo che interessano l'area di Porto San Giorgio si sviluppano in mare, proprio come quello avvenuto nel 1987 mentre più rari ma comunque con magnitudo pari a 5 hanno epicentro nell'entroterra, verso la cittadina di Fermo.

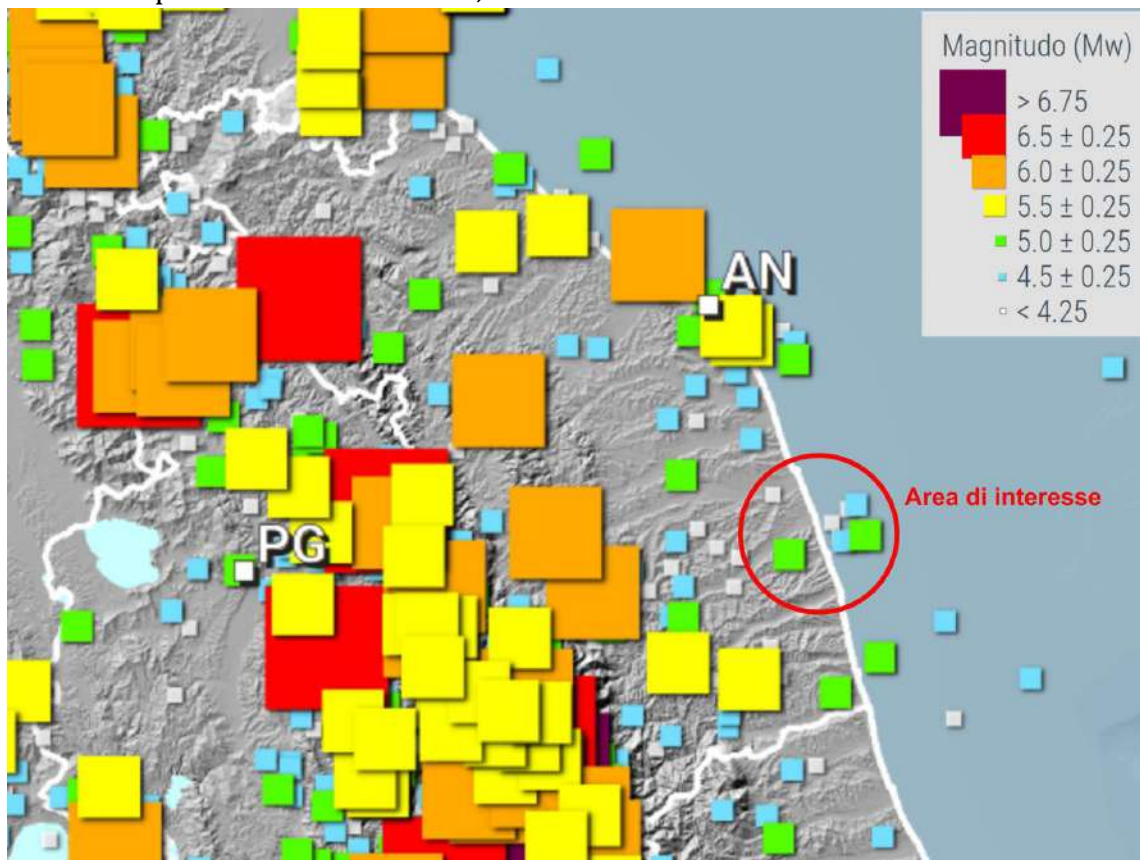


Figura 6.5



A lato la carta con l'ubicazione del terremoto del 1987 e la mappa delle intensità registrate nei vari siti limitrofi tra i quali, come detto, una intensità pari a 7 segnalata a Porto san Giorgio. Da quanto riportato nel database delle sorgenti sismogenetiche individuali (DISS) reperibile sul sito dell'INGV, Porto San Giorgio si trova tra due strutture sismogenetiche composite collegate alle strutture tettoniche associate al movimento compressivo dell'area costiera Marchigiana.

Figura 6.6

Nel DISS per sorgente sismogenetica composta si intende un sistema di faglie esteso in grado di generare scuotimenti del terreno, non necessariamente associabile a sorgenti sismogenetiche individuali (ITIS), cioè a faglie responsabili di specifici terremoti di rilevante entità (le sorgenti individuali vengono catalogate nel DISS solamente se in grado di generare terremoti con magnitudo maggiore di 5.5).

Le due sorgenti sismogenetiche composite che interessano l'area di studio, come osservabile dalla figura riportata di seguito, sono rispettivamente la ITCS020 Marche sud, che corre con andamento nord/ovest - sud/est all'incirca tra le città di Macerata e di Teramo e che costituisce la parte più a sud del sovrascorrimento onshore dell'Appennino Umbro Marchigiano esterno e la ITCS156 Conrad ubicata nel Mare Adriatico, poco al largo della costa meridionale delle Marche e che costituisce una parte del sovrascorrimento offshore dell'Appennino Umbro Marchigiano esterno.

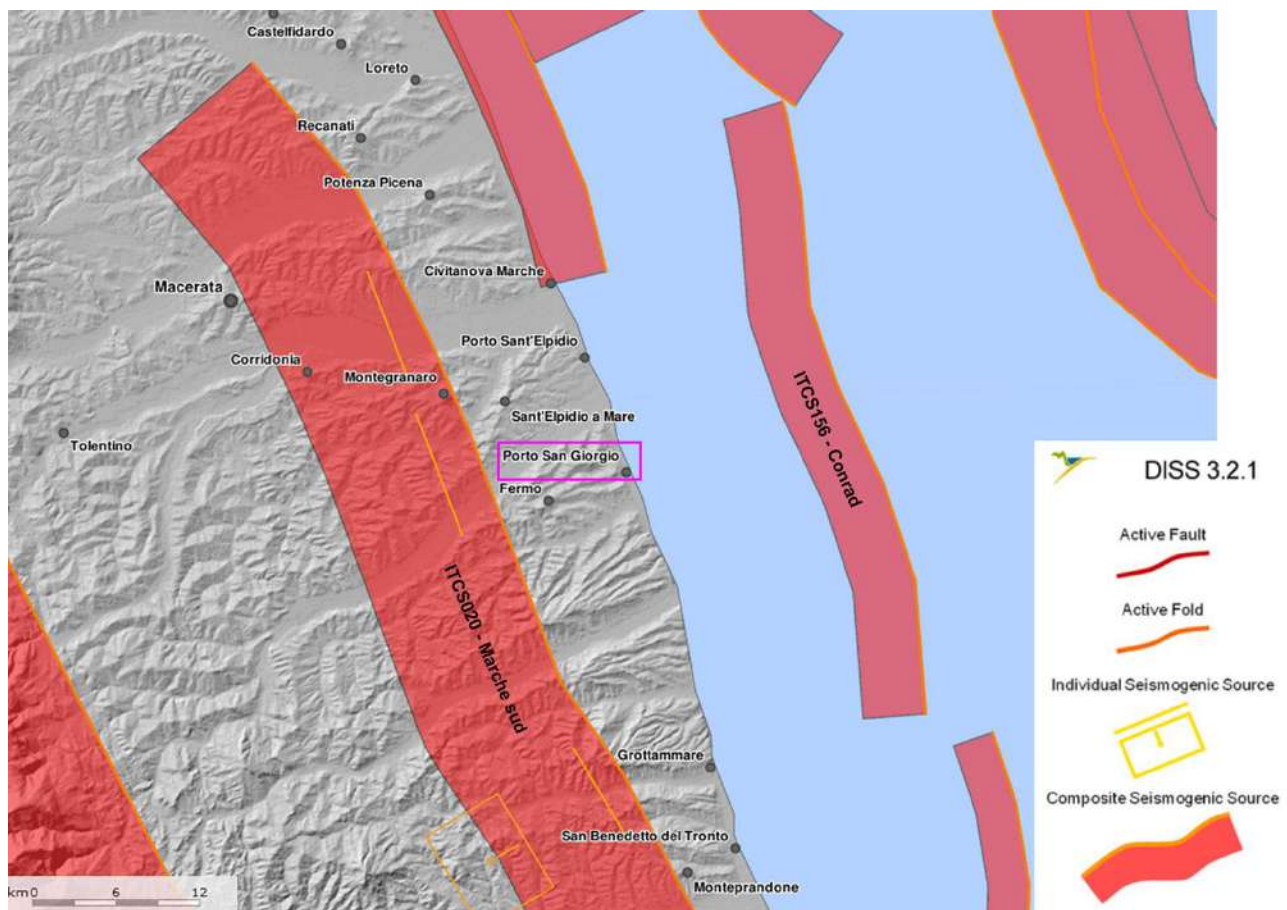


Figura 6.7

La **ITCS020 Marche sud** comprende un sistema di faglie a vergenza da est a nord/est che segnano il bordo esterno della catena Nord Appenninica, disposte parallelamente alla linea di costa. L'attività tettonica della zona è collegata al settore meridionale del sovrascorrimento cieco del nord delle Marche e dati di sottosuolo fanno ipotizzare che il piano del sovrascorrimento coinvolge l'intera successione Meso-Cenozoica e che è governato da una azione compressiva NE-SW, confermata anche dal meccanismo focale dei terremoti, tutti disposti lungo il fronte onshore esterno.

La massima magnitudo associata a questa sorgente sismogenetica composita è pari a $M_w=5,9$, valore derivato dalla massima magnitudo associabile alle sorgenti sismogenetiche individuali in essa contenute.

La **ITCS156 Conrad** comprende un sistema di faglie a vergenza nord/est posto al bordo esterno della catena Appenninica settentrionale, facente parte del sovrascorrimento offshore e disposte parallelamente alla linea di costa.

Le deformazioni tettoniche della regione Umbro-Marchigiana sono guidate da due principali livelli strutturali:

- 1) uno inferiore consistente in profonde e ampie anticlinali che deformano la successione carbonatica Mesozoica-Paleogenica, prodotte da sovrascorrimenti che dislocano le evaporiti triassiche;
- 2) uno più superficiale formato da piccole e strette anticlinali ubicate nelle zone assiali delle anticlinali maggiori e che si sviluppano nei sedimenti Neogenici di avanfossa.

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS020
Name	Southern Marche
Compiler(s)	Kastelic V.(1), Livani M.(2), Maesano F.E.(1), Scrocca D.(3), D'Ambrogio C.(4), Basili R.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), Fracassi U.(1), Mariano S.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Universit di Roma La Sapienza; Dipartimento di Scienze della Terra; Roma, Italy 3) CNR; Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria; Roma, Italy 4) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy
Created	08-Jan-2005
Updated	26-May-2016
Display map ...	
Related sources	ITIS070

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE	
Min depth [km]	3.5	LD	Based on geological data from Bigi et al. (2013).
Max depth [km]	13.0	LD	Based on geological data from Bigi et al. (2013).
Strike [deg] min... max	140...175	LD	Based on geological data from Bigi et al. (2013).
Dip [deg] min... max	35...50	LD	Based on geological data from Bigi et al. (2013).
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from regional tectonic considerations.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.15...0.4	OD	Derived from restoration of base of Pleistocene horizon.
Max Magnitude [Mw]	5.9	EJ	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

- -

Figura 6.8

Nella regione sono inoltre presenti altre strutture geometriche quali sovrascorrimenti minori dovuti alla presenza di numerosi piani di scollamento nei sedimenti sedimentari stratificati.

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS156
Name	Conrad
Compiler(s)	Livani M.(1), Scrocca D.(2), Maesano F.E.(3), Kastelic V.(3), D'Ambrogi C.(4), Basili R.(3)
Contributor(s)	Livani M.(1), Scrocca D.(2), Maesano F.E.(3), Kastelic V.(3), D'Ambrogi C.(4), Basili R.(3)
Affiliation(s)	1) Universit di Roma La Sapienza; Dipartimento di Scienze della Terra; Roma, Italy 2) CNR; Istituto di Geologia Ambientale e Geingegneria; Roma, Italy 3) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 4) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy
Created	24-May-2016
Updated	26-May-2016
Display map ...	
Related sources	

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.1	OD Based on geological data and interpretation of seismic profiles.
Max depth [km]	6.5	OD Based on geological data and interpretation of seismic profiles.
Strike [deg] min... max	158...177	OD Based on geological data and interpretation of seismic profiles.
Dip [deg] min... max	41...48	OD Based on geological data and interpretation of seismic profiles.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ Inferred from regional tectonic considerations.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.15...0.2	EJ Unknown, values assumed from similar to those of adjacent structure.
Max Magnitude [Mw]	5.8	EJ Inferred from regional geodynamic and tectonic considerations.

LD=LITERATURE DAta; OD=ORIGInAL DAta; ER=EMPIRICAL RELATIOnSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIOnSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

In generale comunque la regione è soggetta a una compressione ad andamento NE-SW dimostrata dai meccanismi focali di vari terremoti tra i quali quello più forte del 1987 di fronte alla costa di Porto San Giorgio avente, come visto in precedenza, magnitudo di oltre 5. La massima magnitudo associata a questa sorgente sismogenetica composita è pari a Mw=5,8, valore derivato da considerazioni tettoniche e geodinamiche; la vicinanza della zona epicentrale e la scarsa profondità dei terremoti generati in questa sorgente sismogenetica fanno sì che siano quelli che colpiscono con maggiore intensità l'area di studio.

Figura 6.9

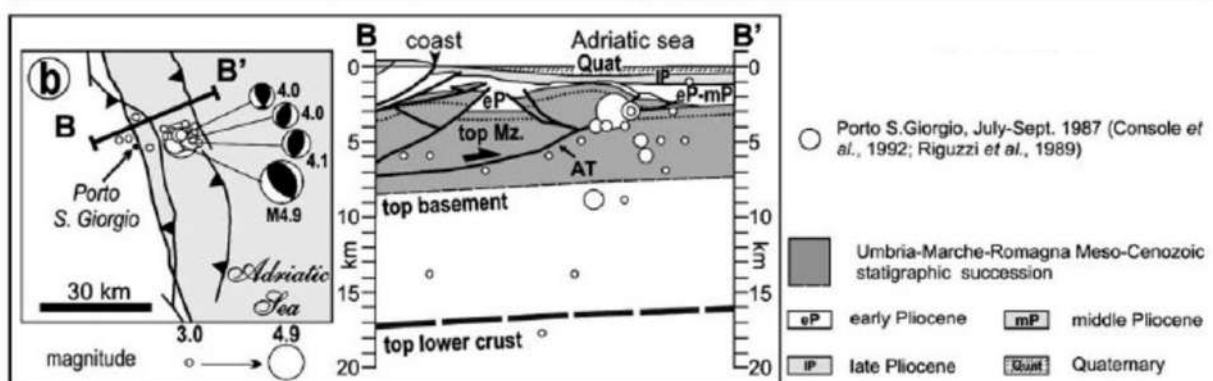


Fig. 4. Relationships between recent seismic sequences and Plio-Quaternary thrust faulting along the Coastal-Adriatic and Po Plain domains in two study areas: a = Faenza, b = Porto San Giorgio (see Fig. 1 for location). The uppermost 12 km of section A-A' and 8 km of section B-B' are constrained by seismic reflection data (after Cassano et al., 1986; Bally et al., 1986).

Figura 6.10

7. REPERIMENTO DATI DA MICROZONAZIONE SISMICA

Il Comune di Porto San Giorgio dispone di uno studio di microzonazione sismica validato di primo livello mentre i successivi livelli di approfondimento non sono ancora disponibili in rete (perché non svolti o non validati). Ai fini del presente lavoro si è cercato di reperire dati sismici dell'**Area C-Ovest** compresa nella variante al piano regolatore dove non sono state eseguite misure dallo scrivente per questo lavoro trovando, però, solamente un'indagine con tromografo e una prova Re.Mi.. Non disponendo di conoscenze stratigrafiche per un confronto diretto nell'area (non sono stati reperiti sondaggi negli studi di microz.ne), i dati reperiti potrebbero non risultare del tutto attendibili. L'indagine HVSR, per esempio, indica una frequenza di risonanza molto bassa (0,31 Hz) stimata in una parte del grafico dove l'elevata deviazione standard in ampiezza del picco ($\pm 2,53$ Hz) rende il dato assai incerto e quindi non affidabile.

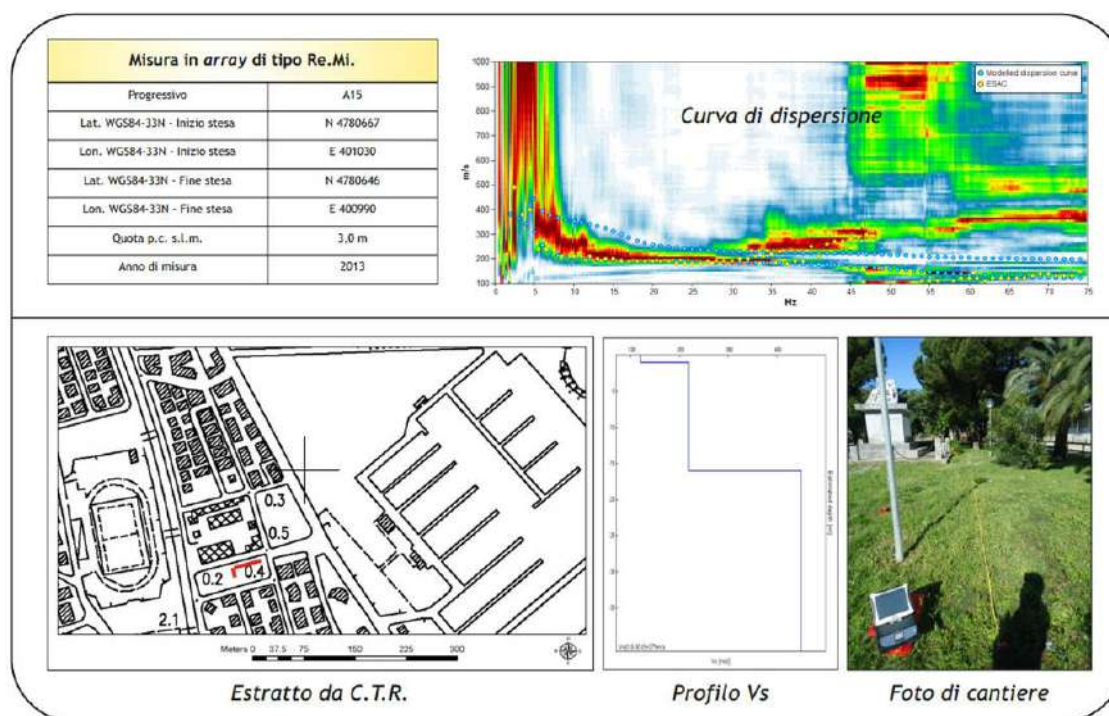


Figura 7.1

L'indagine Re.Mi. (i cui elaborati tratti dal citato lavoro di microzonazione sono riportati di seguito) indica invece un profilo sismostratigrafico del sottosuolo con un salto di velocità, potenzialmente coincidente con il tetto della formazione in posto Plio-Pleistocenica a scarsa alterazione, ad una profondità di circa 16÷17 m dal p.c., quota abbastanza concorde con quanto osservato con i carotaggi e reperiti nell'area portuale. Sempre dallo studio di Microz.ne sismica, dalla carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS, v. figura successiva) si evince che tutta l'area presa in esame per il presente studio ricade all'interno della zona potenzialmente **suscettibile di liquefazione e**, pertanto, per il presente lavoro sono state eseguite due verifiche preliminari al potenziale di liquefazione del sottosuolo in studio, 1 per la Zona A-Nord e 1 per la zona B-Sud, come illustrato al successivo capitolo 9.

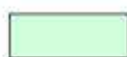




Stralcio carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) - scala 1:7.500


tratta dall'indagine di microzonazione sismica di I livello del Comune di Porto San Giorgio

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

	Zona 1
	Zona 2
	Zona 3

Punti di misura di rumore ambientale

	Punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di F0
---	---

Zone suscettibili di instabilità

	Instabilità di versante: attiva
	Liquetazioni

 Sezione topografica

 Confine comunale

Figura 7.2

8. MODELLAZIONE SISMICA DI SITO

Per poter stimare l'azione sismica che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite nella futura progettazione edilizia, bisognerà:

- stabilire la *vita nominale* (V_N) delle varie opere che si intendono realizzare nelle aree in oggetto;
- valutarne la *classe d'uso* (C_u);
- determinare quindi il *periodo di riferimento* ($V_R = V_N \times C_u$) ed il *periodo di ritorno associato allo stato limite preso in considerazione* ($T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR})$);
- definire la ***pericolosità sismica di base*** per il sito interessato alla realizzazione delle opere, facendo riferimento alla sua posizione geografica e alla situazione litostratigrafica e topografica dell'area.

Vita nominale (V_N)

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

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

Classe d'uso (C_u)

<i>Classe I:</i> Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. $C_u=0,7$
<i>Classe II:</i> 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. $C_u=1,0$
<i>Classe III:</i> 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. $C_u=1,5$
<i>Classe IV:</i> 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 DM 5/11/2001, 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. $C_u=2,0$

Periodo di riferimento

Senza la precisa conoscenza delle strutture che si intendono realizzare in futuro in ambito portuale, si sono ipotizzate due classi d'uso afferenti a due tipologie edilizie secondo le NTC2018 che attribuiscono una **classe d'uso II** (affollamento normale senza funzioni pubbliche) agli

Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato

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%



edifici residenziali e aree verdi previsti in gran parte nella **Zona A-Nord** e una **classe d'uso III** (affollamento significativo) per le opere tipo auditorium e attività commerciali previsti per esempio nella **Zona B-Sud**. A progetto definito di ogni opera andranno ovviamente rivalutate le classi d'uso e i conseguenti tempi di ritorno e accelerazioni sismiche stimate.

La **pericolosità sismica di base** del sito di interesse è definita mediante l'accelerazione orizzontale massima (a_g) attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale, nonché dalle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento alle prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

Le forme spettrali sono definite a partire dai valori dei parametri:

a_g = accelerazione orizzontale massima;

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.

Negli **Allegati A e B** del decreto del Ministero delle infrastrutture - NTC2018 sono definiti tali parametri per i 10.751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati da un codice ID e dalle coordinate geografiche (longitudine e latitudine).

A partire dagli spettri di risposta elastici di base, riferiti al suolo rigido di categoria A, si deve procedere alla caratterizzazione stratigrafica del sottosuolo e topografica dell'area di indagine al fine di "normalizzare" gli spettri di progetto riferendoli al sito di studio.

Il moto generato da un terremoto in un sito, infatti, dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del sottosuolo e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni di cui è costituito.

La caratterizzazione del sito può essere svolta con analisi di risposta sismica locale o, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella tabella 3.2.II delle NTC2018, si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori di velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

Per la stima dell'andamento delle velocità V_s nel sottosuolo in studio sono state fatte eseguire, per ciascuna delle due aree nelle quali è stata suddivisa l'area portuale oggetto di studio:

- **una misura sismica M.A.S.W. in onde di Rayleigh** con stendimento di lunghezza 60 metri con 12 geofoni posti a interasse di 5 m.

- **una misurazione di sismica passiva HVSR** all'incirca al centro dello stendimento M.A.S.W. utilizzata, oltre che per una migliore definizione del modello sismico di velocità V_s tramite analisi congiunta con i dati delle prove M.A.S.W. (questa tecnica permette di indagare profondità

maggiori rispetto alla precedente), anche per la stima delle frequenze di interesse del sito in studio. Le indagini sismiche sono state eseguite in corrispondenza delle zone indagate con le verticali di sondaggio (vedi planimetria allegata) così da avere una correlazione tra i dati indiretti derivanti dalla sismica e le osservazioni stratigrafiche dirette derivanti dalle carote di sondaggio e, quindi, avere una buona taratura dei risultati delle due tipologie di indagine. In calce si riporta la relazione sismica redatta dal geologo Giulio Brunelli nella quale si illustra la modellazione congiunta tra M.A.S.W., H.V.S.R. e dati litostratigrafici che ha permesso la ricostruzione dei seguenti modelli sismo-stratigrafici del sottosuolo, adottabili per le due aree indagate:

Zona A-Nord-Tabella 8.1

layer	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità alla base dello strato [m]
1	0.3	180	0.3
2	2.7	190	3
3	2	200	5
4	3	210	8
5	4.8	220	12.8
6	4	240	16.8
7	4	280	20.8
8	7	315	27.8
9	7	360	34.8
10	10	400	44.8
11	10	460	54.8
12	0	500	0

Zona B-Sud-Tabella 8.2

layer	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità alla base dello strato [m]
1	0.3	380	0.3
2	2.4	270	2.7
3	1.9	210	4.6
4	4.6	230	9.2
5	10	260	19.2
6	9	300	28.2
7	25	410	53.2
8	0	440	0

Dai modelli sismo-stratigrafici si deduce la categoria sismica di sottosuolo in rispetto alla tab. 3.2.II della vigente normativa NTC2018, determinando la Vs equivalente, cioè la media armonica delle Vs dal piano campagna (o dal piano di fondazione dei fabbricati in progetto qualora diverso dal piano campagna) fino a raggiungere il substrato sismico con Vs>800 m/s o, nel caso di non raggiungimento di tale substrato entro 30 m come nel caso in esame, fino alla profondità di -

30,0 m dal p.c. (o dal piano fondazione). Per la valutazione delle $V_{S,eq}$ si usa la formula (3.2.1) suggerita nelle NTC2018 al capitolo 3.2.2 e cioè:

Dai modelli sismo-stratigrafici nella **Zona A-Nord**, a partire dal piano campagna si ha una $V_{S,eq}=247\text{m/s}$ che fa ricadere il sito nella **categoria sismica C** e nella **Zona B-Sud**, sempre a

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

partire dal p.c. si ha una $V_{S,eq}=272\text{m/s}$ che fa ricadere il sito sempre nella **categoria sismica C**.

La categoria sismica della **Zona C-Ovest**, è stata dedotta dal profilo sismostratigrafico derivante dall'indagine Re.Mi. reperita dallo studio di microzonazione sismica come citato al precedente capitolo 7, ottenendo un valore di $V_{S,eq}=269\text{m/s}$ che fa ricadere anche questo sito nella **categoria sismica C**.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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.
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.
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.
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 e 180 m/s.
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 30 m.

La **categoria topografica** di entrambe le aree in esame è pari a **T1** (tabella 3.2.III delle NTC2018) corrispondente a aree pianeggianti. A partire dai dati di ubicazione, categoria sismica di

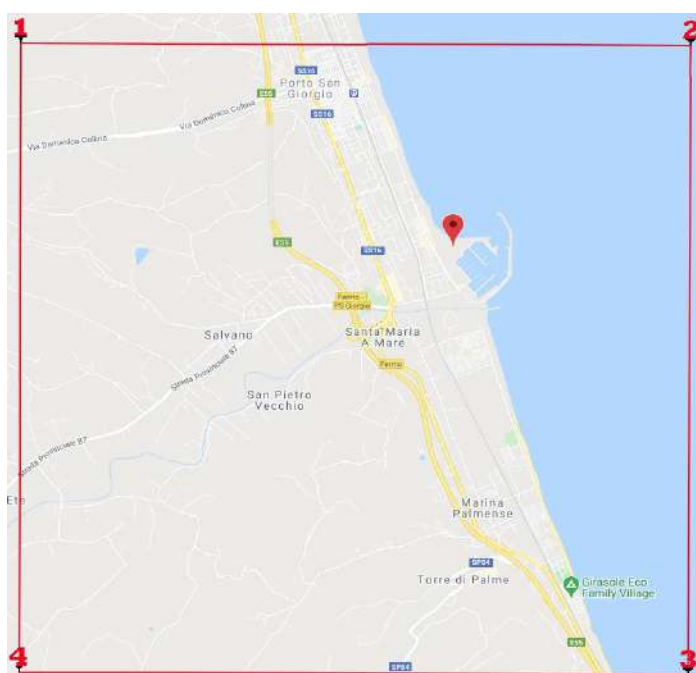


Figura 8.3

sottosuolo e categoria topografica dell'area indagata si deducono i seguenti parametri sismici:

Zona A-Nord:

- UBICAZIONE (coordinate ED50):
lat. 43.168416° long. 13,808317°

- MAGLIA DI APPARTENENZA:
siti di riferimento:

Sito 1 ID: 22759 Lat: 43,1847
Lon: 13,7643 Distanza: 3998,343

Sito 2 ID: 22760 Lat: 43,1845
Lon: 13,8382 Distanza: 2673,745

Sito 3 ID: 22982 Lat: 43,1345
Lon: 13,8326 Distanza: 4257,492

Sito 4 ID: 22981 Lat: 43,1347
Lon: 13,7641 Distanza: 5191,512

- CLASSE D'USO: II quindi $C_u=1,0$

- VITA NOMINALE: $V_n=50$ anni

- STATO LIMITE CONSIDERATO:

SLV (salvaguardia della vita);

- TEMPO DI RITORNO: 475 anni

Partendo da tali dati si ha:

$$ag = 0,180 \quad F_0 = 2,461 \quad T_{c^*} = 0,304$$

Secondo la normativa N.T.C.2018 trovandosi in categoria sismica C ($S_s = 1,43$) e topografica T1

($S_T = 1,00$) si avrà:

$$Ag_{max} = Ag \times S_s \times S_T = 0,180 \times 1,43 \times 1,00 = 0,257 \text{ g}$$

Zona B-Sud

- UBICAZIONE (coordinate ED50):

lat. 43.165860° long. 13,809279°

- MAGLIA DI APPARTENENZA:

siti di riferimento:

Sito 1 ID: 22759 Lat: 43,1847

Lon: 13,7643 Distanza: 3998,343

Sito 2 ID: 22760 Lat: 43,1845

Lon: 13,8382 Distanza: 2673,745

Sito 3 ID: 22982 Lat: 43,1345

Lon: 13,8326 Distanza: 4257,492

Sito 4 ID: 22981 Lat: 43,1347

Lon: 13,7641 Distanza: 5191,512

- CLASSE D'USO: III quindi $C_u = 1,5$

- VITA NOMINALE: $V_n = 75$ anni

- STATO LIMITE CONSIDERATO:

SLV (salvaguardia della vita);

- TEMPO DI RITORNO: 712 anni

Partendo da tali dati si ha:

$$ag = 0,210 \quad F_0 = 2,490 \quad T_{c^*} = 0,311$$

Secondo la normativa N.T.C.2018 trovandosi in categoria sismica C ($S_s = 1,39$) e topografica T1

($S_T = 1,00$) si avrà:

$$Ag_{max} = Ag \times S_s \times S_T = 0,210 \times 1,39 \times 1,00 = 0,292 \text{ g}$$

La valutazione degli Ag_{max} afferenti alle diverse classi d'uso che si sono ipotizzate prevalenti sulla base della proposta preliminare di P.R.P. nelle due zone (A e B) in oggetto, è servita nel caso specifico per una stima del potenziale di liquefazione limitato alle verticali indagate all'interno delle citate zone, come illustrato al successivo capitolo.

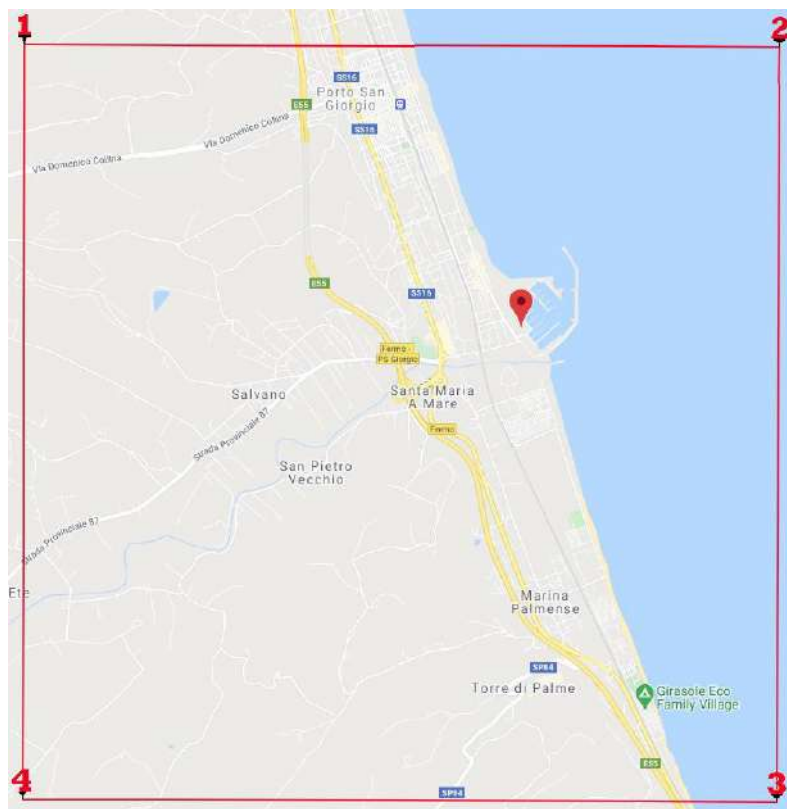


Figura 8.4

9. STIMA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Poiché la microzonazione sismica di primo livello individua tutto il sottosuolo dell'area portuale come potenzialmente soggetto a liquefazione e considerata la presenza di abbondanti sabbie rilevate anche dai sondaggi eseguiti specificamente per il presente lavoro, si è ritenuto di svolgere una valutazione preliminare del potenziale di liquefazione dei terreni del sottosuolo in studio. La valutazione è stata eseguita con il metodo semplificato di Seed e Idriss per il calcolo del CSR (rapporto di sforzo ciclico) e la formula Andrus & Stokoe, 1997 per il calcolo delle resistenze cicliche CRR.

I metodi semplificati si basano sul confronto fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto, ovvero fra gli stati tensionali che producono liquefazione o livelli di deformazione critici e quelli indotti dalle onde sismiche nella loro propagazione. A tal fine i metodi semplificati richiedono la conoscenza di parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, valutati questi ultimi o con prove dinamiche di laboratorio o, come nel caso in esame, con prove in situ. La loro applicazione richiede quindi:

- la valutazione della resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclici in condizioni non drenate, mediante correlazioni basate su prove in situ e in laboratorio, definita come rapporto di resistenza ciclica (CRR);
- calcolo delle sollecitazioni di taglio indotte, ossia del carico sismico, definito come rapporto tensionale ciclico (CSR);

Il rapporto tra le due variabili, da stimare nei vari orizzonti sabbiosi sotto falda potenzialmente suscettibili di liquefazione, costituisce il coefficiente di sicurezza rispetto alla liquefazione, consentendo pertanto di stabilire se nell'area si potrebbe verificare o meno tale fenomeno e con quali accelerazioni sismiche.

Per la determinazione del potenziale di liquefazione col metodo semplificato si deve procedere per gradi:

- valutazione dello sforzo indotto dall'azione sismica (CSR – rapporto di sforzo ciclico);
- normalizzazione delle misure di sito in base alla profondità e alla percentuale di fine nel terreno, con formule variabili a seconda del tipo di dato a disposizione (q_c , N_{spt} o V_s);
- valutazione delle resistenze cicliche del terreno (CRR);
- calcolo del fattore di sicurezza alla liquefazione ($F_s = CRR/CSR$)

I calcoli del potenziale di liquefazione sono stati eseguiti per tutti i vari orizzonti a prevalente componente sabbiosa che sono stati intercettati nelle due verticali di sondaggio fatte eseguire per la presente relazione e relative rispettivamente alla **Zona A-Nord** (sondaggio 1) e alla **Zona B-Sud** (sondaggio 2) dell'area portuale oggetto di variante al P.R.P. La procedura semplificata per la stima del potenziale di liquefazione è stata eseguita con i metodi di Seed e Idriss e di



Andrus e Stokoe citati in precedenza e di seguito descritti analiticamente.

In allegato si riporta una tabella con i calcoli svolti per i vari livelli sabbiosi oggetto di analisi.

1) valutazione dello sforzo indotto dall'azione sismica (CSR – rapporto di sforzo ciclico)

Per la determinazione del CSR è stato utilizzato il metodo di **Seed-Idriss (1982)**, un metodo basato su una procedura semi-empirica e che richiede la conoscenza di pochi parametri: accelerazione di picco al p.c. del sito di riferimento, profondità alla quale si vuole calcolare il potenziale di liquefazione e tensione litostatica totale ed efficace.

Il rapporto di sforzo ciclico è, infatti, definito dalla relazione:

$$CSR = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot r_d$$

nella quale:

a_{max} = accelerazione di picco al piano di campagna = $a_g \times S_s \times S_t$ - per l'area in esame, calcolando l'accelerazione in stato di salvaguardia della vita SLV ($a_g = 0,236$) su un suolo di categoria sismica C ($S_s = 1,34$) e categoria topografica T1 ($S_t = 1,00$) si ha $a_{max} = 0,316g$ con $g =$ accelerazione di gravità pari a $9,8 \text{ m/s}^2$ quindi **$a_{max} = 3,103$**

σ_v = tensione totale verticale nel sottosuolo

σ'_v = tensione efficace verticale nel sottosuolo

r_d = coefficiente riduttivo dell'azione sismica alla profondità di interesse per tenere in conto la deformabilità del sottosuolo; il coefficiente r_d decresce con la profondità ed è funzione delle condizioni stratigrafiche e geotecniche. Esso può essere calcolato con due metodi, il primo dei quali tiene in conto solamente la profondità del terreno potenzialmente liquefacibile, il secondo anche della Magnitudo massima attesa nel sito di studio (M).

1- formula di Seed & Idriss 1971

$$r_d = 1 - 0.00765 \times z \quad \text{per } z \leq 9.15 \text{ m}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 \times z \quad \text{per } 9.15 < z \leq 23 \text{ m}$$

$$r_d = 0.774 - 0.008 \times z \quad \text{per } 23 < z \leq 30 \text{ m}$$

$$r_d = 0.5 \quad \text{per } z > 30 \text{ m}$$

in cui z è la profondità in metri dal piano campagna.

2- formula di Idriss & Boulanger 2004

$$r_d = \exp[(-1,012 - 1,126 \times \text{sen}(z/11,73 + 5,133)) + (0,106 + 0,118 \times \text{sen}(z/11,28 + 5,142))] \times M]$$

Dall'analisi delle sorgenti sismogenetiche individuali e composite descritte nel DISS e citate al precedente capitolo 6, la magnitudo massima attesa nel sito è stata **cautelativamente** stimata come la maggiore tra quelle descritte e pari cioè a **M=5,9**.

2) Normalizzazione delle misure di sito

I valori delle velocità sismiche V_s misurati con le prove sismiche, per tenere conto dell'influenza della pressione verticale efficace nel sottosuolo, devono essere ricondotti a valori V_{s1} ovvero a valori normalizzati ad una tensione efficace verticale P_a pari a 1 atm ($10,3 \text{ T/m}^2$) e ciò può essere fatto attraverso la seguente formula:

$$V_{s1} = C_v \times V_s$$

$$\text{con } C_v = (P_a / \sigma'_v)^{0,25}$$

dove σ'_v è la pressione efficace alla profondità considerata, espressa nella stessa unità di misura della pressione atmosferica.

Per convenzione e al fine di non avere valori eccessivi di V_{s1} , soprattutto negli strati più superficiali di terreno, il valore di ***Cv non deve comunque essere maggiore di 1,4.***

Nelle tabelle allegate sono riportati, per ciascun orizzonte sabbioso analizzato lungo le due verticali di sondaggio (S1 per la Zona A-Sud e S2 per la Zona B-Nord), i valori di V_s derivanti dalla modellazione delle indagini sismiche M.A.S.W. (congiunta per la sola zona B) in onde di Rayleigh e H.V.S.R. e i valori corrispondenti di V_{s1} calcolati come sopra detto applicando i coefficienti correttivi C_v per la profondità.

3) Valutazione delle resistenze cicliche del terreno

La resistenza ciclica del terreno è un parametro dipendente dalle proprietà del terreno (in questo caso le V_s) e dalle sue caratteristiche granulometriche. Come esplicitato al capitolo 5 su ciascuna verticale di sondaggio sono stati prelevati campioni di sabbia ritenuti rappresentativi, sottoposti poi ad analisi granulometriche per valutarne la curva granulometrica e il valore percentuale della frazione fine (**FC%**) da inserire all'interno delle formule per il calcolo della resistenza ciclica.

Pertanto nelle tabelle per il calcolo della liquefazione allegate, in corrispondenza degli strati sabbiosi per i quali si hanno a disposizione dati di laboratorio sono state inserite le percentuali di fine derivanti dalle rispettive curve granulometriche, mentre per gli orizzonti per i quali non si hanno campioni analizzati, sono state ipotizzate plausibili percentuali di contenuto di fine sulla base delle osservazioni dirette delle carote estratte dai fori di sondaggio.

Secondo Andrus & Stokoe, 1997 il CRR può essere stimato con la seguente formula:

$$CRR = 0,022 \times \left(\frac{V_{s1}}{100} \right) + 2,8 \times \left(\frac{1}{V_{s1}^* - V_{s1}} - \frac{1}{V_{s1}^*} \right)$$

dove V_{s1}^* è il valore **limite superiore** di V_{s1} per il verificarsi del fenomeno di liquefazione ed è variabile in funzione del contenuto di fini all'interno del sedimento, secondo i seguenti step:

- $V_{s1}^* = 215 \text{ m/s}$ per terreni con contenuto di fini (Fc%) minore di 5%
- $V_{s1}^* = 200 \text{ m/s}$ per terreni con contenuto di fini (Fc%) maggiori del 35%



- $Vs1^* = 215 - 0,5 \times (Fc\% - 5)$ per terreni con contenuto di fini (Fc%) compreso tra 5% e 35%

Come osservabile dalle allegate tabelle, a partire da questi dati, tutti gli orizzonti di sabbia esaminati lungo le due verticali di sondaggio riferibili alle due zone nelle quali è stata suddivisa l'area portuale di Porto San Giorgio hanno valori di Vs_1 superiori al valore limite di $Vs1^*$ risultando quindi non suscettibili di liquefazione.

Non essendo possibile calcolare il fattore CRR di resistenza ciclica del terreno, il calcolo del fattore di sicurezza a liquefazione si interrompe a questo livello, con l'esclusione di potenziali fenomeni di liquefazione degli orizzonti sabbiosi esaminati per il presente studio.

In fase di progettazione definitiva si ritiene comunque necessario eseguire ulteriori e più mirati sondaggi a carotaggio per dettagliare con maggior precisione gli orizzonti sabbiosi presenti nel sottosuolo in prossimità delle strutture in progetto e di far precedere la valutazione del potenziale di liquefazione anche da valutazioni di risposta sismica locale.

Le tabelle di calcolo del potenziale di liquefazione sono allegate fuori testo in calce al presente lavoro.



10. ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA AI SENSI DELLA L.R. 23/11/2011

10.1 Premessa

La presente relazione di compatibilità idraulica viene effettuata relativamente alle aree interessate dal progetto di sistemazione dell'area portuale di Porto San Giorgio e alle zone limitrofe interessate da riqualificazioni e adeguamento delle opere infrastrutturali, aree ricadenti nella Zona di Pianificazione Unitaria ZPU 9 del Piano Regolatore Generale.

Lo studio della compatibilità idraulica è stato svolto secondo i criteri di verifica indicati nelle linee guida allegate alla D.G.R. n. 53 del 27/01/2014 per il recepimento della legge L.R. 23/11/2011 n°22 con particolare riferimento all'art. 10 comma 4 di tale legge regionale.

Secondo la D.G.R. 53/2014 l'ambito di applicazione dei criteri di compatibilità idraulica riguarda *"gli strumenti di pianificazione del territorio e le loro varianti, da cui derivi una trasformazione in grado di modificare il regime idraulico"* dove per modifica del regime idraulico si intende: *a) strumenti di pianificazione territoriale generale e le loro varianti che comportano maggiore capacità edificatoria...omissis...b) strumenti di pianificazione territoriale generale e le loro varianti che, pur non incrementando il rapporto di copertura vigente, riguardino aree comunque denominate, interessanti superfici maggiori di 2 ha, che non possono essere considerate di completamento in quanto non rispondenti all'art.2 lett. b del D.M. 1444/1968; c) strumenti di pianificazione territoriale generale e le loro varianti che, pur non rientrando nelle fattispecie a) e b), introducono destinazioni d'uso che possono determinare un aumento dell'esposizione al rischio idraulico....omissis....*

Poiché la proposta preliminare di variante al PRP aumenterà la capacità edificatoria dell'area e quindi la sua esposizione al rischio, ne è stata valutata la compatibilità idraulica in funzione delle modificazioni previste, soprattutto l'impatto può generare che la presenza del limitrofo tratto terminale e foce del fiume Ete Vivo.

Come indicato in tale normativa, la verifica di compatibilità idraulica va eseguita secondo successivi livelli di approfondimento:

- Verifica preliminare: analisi idrografica-bibliografica-storica nella quale vanno reperite le cartografie necessarie alla caratterizzazione del reticolo idrografico, della sua topografia e della geomorfologia delle aree coinvolte (mappe catastali, I.G.M., P.A.I., carte tecniche, P.R.G, DTM...). Vanno inoltre analizzati i dati storici di inondazioni delle aree in studio e raccolte informazioni circa le criticità idrauliche, i livelli idrici raggiunti durante le piene anche consultando studi idraulici pregressi della zona considerata. La verifica preliminare va sviluppata sempre. Al termine di questo step si valuta la necessità di passare al successivo livello di verifica che, nel caso in esame, si rende necessario in quanto ricadente nel punto d) del capitolo 2.4.1 - Livelli della verifica di compatibilità idraulica secondo il quale l'esclusione dai successivi livelli di



verifica non è applicabile: *" ove l'area di interesse o sua parte è posta ad una quota non superiore a +0,50 m rispetto a quella presso il limite delle aree inondabili del PAI per piene con tempo di ritorno di 200 anni"*.

- **Verifica semplificata: analisi geomorfologica** consistente in una dettagliata analisi geomorfologica e topografica dell'area e del reticolo idrografico in un intorno significativo ad essa al fine di tracciare una fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica in grado di indicare se le aree oggetto di studio possano essere raggiunte da eventuali fenomeni di esondazione/allagamento. La delimitazione della fascia di pertinenza fluviale include la valutazione delle aree inondabili per piene eccezionali relative a tempi di ritorno di almeno 200 anni, delle forme fluviali riattivabili con piene eccezionali, delle aree interessate/interessabili dall'evoluzione-mobilità dell'alveo e delle scarpate fluviali. Trattandosi di area fortemente urbanizzata rientrano nella analisi anche le strutture antropiche che possono influenzare i percorsi dell'acqua in caso di fuoriuscita dall'alveo.

Secondo quanto riportato al capitolo 2.4.2 della DGR 53/2014, *"nel caso in cui l'area interessata dallo strumento di pianificazione sia posta ad una quota e distanza tale da non essere sicuramente (ovvero chiaramente inequivocabile e senza incertezze) interessabile da fenomeni di inondazione/allagamento del reticolo idrografico e non sia sicuramente interessabile dalle dinamiche fluviali, la verifica di compatibilità idraulica sarà considerata soddisfatta con la verifica preliminare"*. In caso contrario si dovrà passare al 3 livello di verifica.

- **Verifica completa: analisi idrologica-idraulica** che si utilizza per la valutazione dei tiranti/velocità di allagamento per vari tempi di ritorno al fine di individuare le fasce a differente pericolosità idraulica, nonché definire gli interventi eventualmente necessari per mitigare la pericolosità idraulica. Per fare ciò è necessario studiare il bacino idrografico del fiume valutandone le dimensioni, le acclività, le pendenze, le percentuali di copertura vegetale e/o urbanizzata al fine di stimarne il coefficiente di deflusso e valutare i tempi di corrivazione riferiti alla sezione di chiusura posta in corrispondenza del tratto terminale poco prima del suo sbocco a mare. Andranno inoltre valutate le quantità di pioggia attese nell'area attraverso una raccolta dati degli annali idrologici sulla base dei tempi di corrivazione attesi e andrà valutato, tramite opportune verifiche idrauliche, se le sezioni di alveo nelle zone più critiche in prossimità dell'area di foce risultano sufficienti a contenere le piene con T.R. pari a 200 anni.



10.2 Verifica preliminare: analisi idrografica-bibliografica-storica

10.2.1 Inquadramento cartografico

L'area portuale oggetto di variante può essere individuata con le seguenti coordinate, espresse in Gauss Boaga (fuso est) e riferite all'incirca al punto baricentrico di ciascuna delle tre zone principali in cui è stata suddivisa:

- **Zona A (a nord):** Est: 2423059.754 m Nord: 4780107.984 m

- **Zona B (a sud):** Est: 2423172.899 m Nord: 4779825.839 m

- **Zona C (a ovest):** Est: 2422899.77 m Nord: 479911.468 m

L'area è stata individuata nelle seguenti cartografie a varie scale di cui si allegano stralci:

- sezione **315020** della carta tecnica regionale **C.T.R.** in scala 1:10.000
- tavola **P3.5 -usi e modalità di trasformazione del territorio-** del **P.R.G.** 1996 variante al piano regolatore del Comune di Porto San Giorgio in scala 1:5.000
- tavola **RI 60a** della cartografia **P.A.I.** aggiornamento 2016 in scala 1:10.000
- sezione **315020** della carta **geologica regionale** edizione C.T.R in scala 1:10.000
- sezione **315020** delle ortofotocarte degli anni 1977, 1983 e 1988 in scala 1:10.000, messe a confronto per valutare le variazioni del tratto terminale del fiume Ete Vivo e del tratto di costa considerato tra la situazione antecedente alla realizzazione del porto, quella durante l'esecuzione dei lavori e quella di poco successiva al suo completamento nella configurazione attuale
- stralcio in scala 1:10.000 dei fogli **125I e 125II della cartografia I.G.M. degli anni 1892/95 e 1950** (scala originale 1:25.000) per un ulteriore confronto, assieme alle **ortofotocarte** degli anni **1977, 1983 e 1988**, tra la situazione antecedente la costruzione del porto e la situazione successiva.
- **mappe catastali** reperite dal sito dell'agenzia delle entrate per la individuazione dei corsi d'acqua demaniali

Per le valutazioni di dettaglio della topografia dell'area prossima alla foce del fiume Ete Vivo si sono elaborati, con un software GIS, i dati del **DTM** (Digital Terrain Model) con maglie a 2 m e si sono utilizzati i dati del rilievo topografico dei fiumi della provincia di A.P. eseguito su commissione della Regione Marche nell'anno 2004.

10.2.2 Reticolo idrografico

Nella zona di studio il solo corso d'acqua rilevante è il fiume Ete Vivo che nasce ad una quota di 493 m s.l.m. in un'area compresa tra Montelparo e Santa Vittoria in Matenano. Il suo bacino idrografico ha una estensione complessiva di 180 km² e l'asta fluviale ha una lunghezza di circa 37 km. Tra i suoi affluenti principali vi sono il torrente Cosollo, il torrente Lubrico mentre fossi tributari minori sono il Rivo, il Terqueta, il Carnera in destra idrografica e il fosso dello Storno, il

Salvano e il fosso di Moie in sinistra idrografica.

Nel tratto di interesse, il fiume Ete Vivo corre con direzione sud-ovest nord-est da monte fino all'incrocio con il tracciato autostradale per poi deviare decisamente verso est nel tratto terminale di foce, dove segna il confine tra i comuni di Fermo a sud e di Porto San Giorgio a nord; quest'ultimo ha la maggior parte dell'abitato concentrato in una fascia larga circa 500 m parallela alla linea di costa, abitato che termina a sud proprio in corrispondenza degli argini del fiume. L'area portuale di Porto San Giorgio è sorta nel 1985 davanti alla parte meridionale dell'abitato e la sua realizzazione ha portato ad una modesta deviazione della foce del fiume Ete Vivo, circa 50÷60 m più a sud rispetto alla sua posizione precedente alla realizzazione del molo sud del porto.

Le variazioni del tratto terminale del fiume Ete Vivo si possono vedere nella tavola di confronto tra le cartografie di differenti anni reperite in rete e pubblicate su supporto cartaceo:

- nello stralcio I.G.M. del 1892/95 oltre alla completa assenza di urbanizzazione sulla costa a nord e a sud della foce del fiume, si nota che la linea di costa, in corrispondenza della foce dell'Ete Vivo, ha un andamento convesso sporgente verso mare rispetto alle zone limitrofe, ad indicare che in tale fase storica l'accumulo di materiale detritico da parte del fiume prevaleva rispetto



Figura 10.2.2.1

all'erosione costiera da parte del mare. La foce del fiume sia allarga ad estuario con buona ampiezza nel tratto terminale probabilmente dovuto alle golene createsi per deposizione-sovralluvionamento già a partire dall'incrocio con il tracciato ferroviario, in mare non erano presenti opere di difesa dall'erosione;

- nello stralcio I.G.M. del 1950 si nota ancora la scarsissima urbanizzazione delle aree di pianura alluvionale dell'Ete Vivo, così come di buona parte del tratto costiero a nord e a sud di questo; la forma convessa della linea costiera che si notava nella cartografia del 1892 si fa meno accentuata e, circa 100 m a nord della foce del fiume Ete Vivo, si nota la presenza di una struttura, forse un molo di attracco per piccole imbarcazioni o un pennello posto a difesa della dall'erosione costiera. L'alveo fluviale sia allarga ancora con un triangolo piuttosto ampio nella zona di foce mentre lungo il tratto terminale del suo corso, tra il tracciato ferroviario e la costa, appare già più inciso e meno ampio rispetto alla situazione mostrata dalla precedente cartografia del 1892;

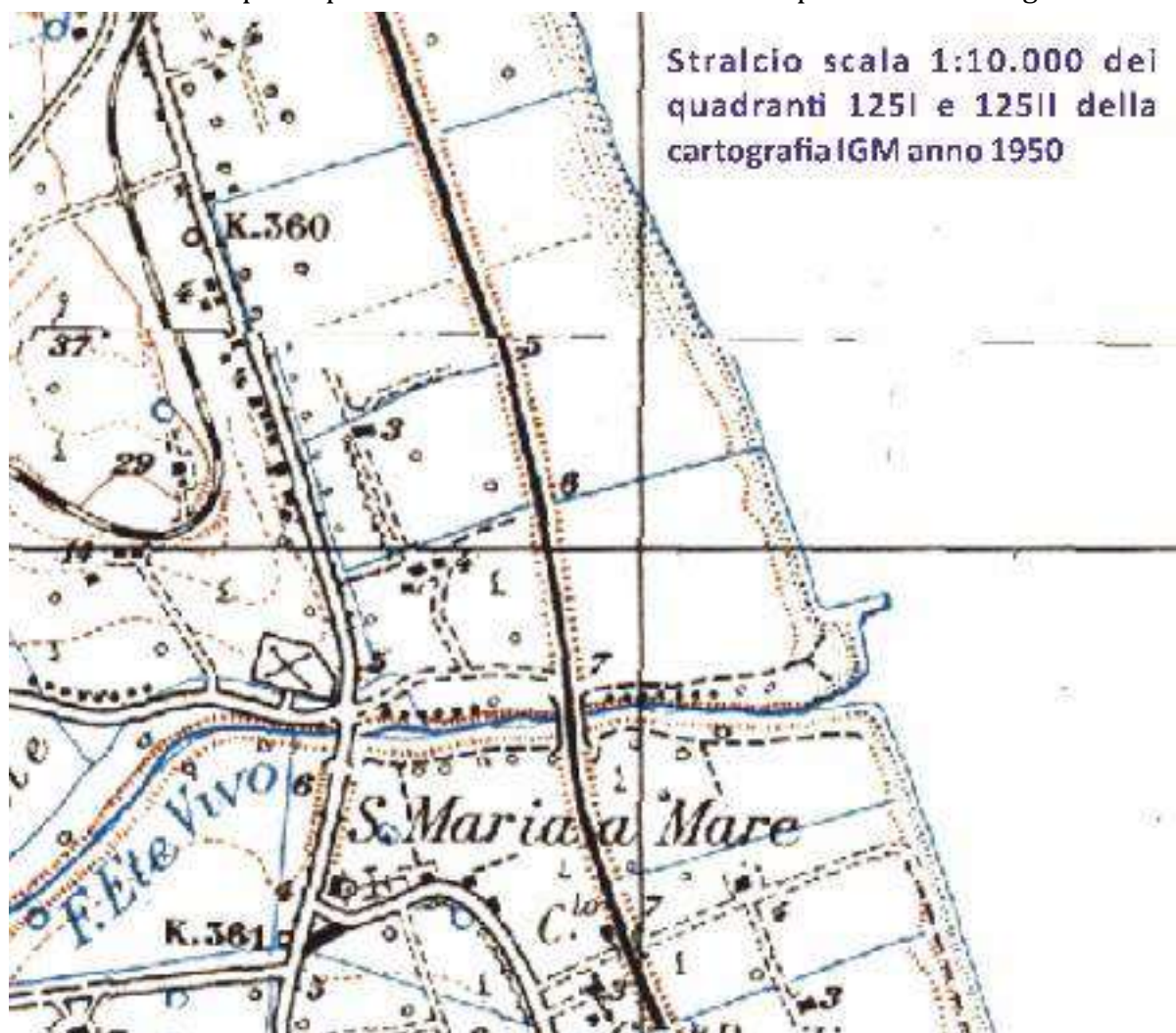


Figura 10.2.2.2

- nell'ortofotocarta del 1977 si nota che l'urbanizzazione dell'abitato di Porto San Giorgio è arrivata quasi all'estensione attuale con i primi agglomerati di edifici a meno di 100 m dall'alveo dell'Ete Vivo.

Il pennello a nord della foce, già presente nella cartografia precedente, ha portato all'accumulo di un "triangolo" di sedimenti nella parte sud che ha protetto la costa altrimenti soggetta ad erosione come di può notare dall'assottigliamento dell'arenile nella zona nord del pennello e dalla presenza di alcune barriere frangiflutto posizionate davanti alla linea di costa in corrispondenza delle prime urbanizzazioni dell'area adiacente all'Ete Vivo di Porto San Giorgio. In tale ortofotocarta si nota anche la presenza di un pontile circa 300 m a nord dell'area di foce che si allunga per oltre 350 m dalla linea di costa verso il mare. In tale cartografia la foce dell'Ete Vivo non è ben evidente e non è chiaro se continua ad essere all'incirca nella stessa posizione della cartografia precedente o si sia arcuata verso sud a causa dell'accumulo di sedimenti nel tratto tra la foce stessa e il pennello.



Figura 10.2.2.3

- nell'ortofotocarta del 1983 il porto comincia ad assumere la forma attuale, con i moli principali a nord e a sud già realizzati ma con i moli interni ancora in costruzione e con uno specchio di acqua non colmato in corrispondenza della attuale **Zona A-Nord** oggetto di studio.

Il pontile non è ancora demolito ed inglobato all'interno del porto. In corrispondenza dell'area di foce del fiume Ete Vivo è stato realizzato il braccio sud del porto e, a quanto sembra dalla fotografia (non molto chiara in realtà), il fiume sembra ancora sfociare all'incirca nella stessa zona, passando tra le due "ramificazioni" in cemento che costituiscono il molo sud del porto;



Figura 10.2.2.4

- nell'ortofotocarta del 1988 il porto è completamente realizzato come nella configurazione attuale, con la **Zona A - Nord** colmata, il pontile non più presente e i moli interni realizzati. L'Ete vivo nel tratto terminale devia leggermente verso sud per poi ritornare leggermente a nord proprio nella zona di foce "accostandosi" al braccio di chiusura del porto. L'edificazione dei moli del porto ha portato all'avanzamento della linea di costa sia a sud sia a nord dell'area portuale, con arenile che, soprattutto nella zona a nord, è aumentato di oltre 50 m rispetto alla situazione precedente la costruzione del porto anche probabilmente per l'azione combinata con gli scogli frangiflutto che nel frattempo sono stati sistemati a difesa della costa di fronte all'abitato di Porto San Giorgio, ormai divenuto denso ed esteso lungo tutto il tratto costiero fino all'argine in sinistra idrografica dell'Ete Vivo.



Figura 10.2.2.5

Come si è potuto notare dalle ortofotocarte, dopo il 1950 l'urbanizzazione di Porto San Giorgio è aumentata velocemente, arrivando ad occupare quasi interamente la piana alluvionale del Fiume Ete Vivo, soprattutto nel suo tratto terminale di circa 1 km dal tracciato autostradale alla zona di foce; qui edifici residenziali, strutture recettive/turistiche, edifici commerciali e anche infrastrutture quali un depuratore, sono ubicate a ridosso degli argini, a meno di 50÷100 m dall'alveo del fiume. In destra idrografica (comune di Fermo) la piana alluvionale è assai meno urbanizzata con pochi edifici nelle vicinanze del corso del fiume ma con la centrale gas di "San Giorgio mare" che giunge fino a circa 25 m dall'alveo del fiume. La larghezza dell'alveo dell'Ete Vivo passa da circa 10÷15 m nel tratto che va da subito a monte del ponte dell'autostrada fino al ponte della statale, per poi allargarsi fino a 25÷30 m nel tratto finale. Gli argini sono misti, parte in terra e parte in calcestruzzo (muri a difesa degli edifici commerciali/artigianali ubicati tra il ponte della strada statale e il ponte della ferrovia (v. foto 10.2.2.6).

Nella zona di foce, invece, l'argine in sinistra idrografica è in cemento poiché coincide con il molo meridionale del porto e l'argine in destra idrografica è costituito da un piccolo molo in circondato da massi frangiflutti che si allunga per poco più di 60 m dalla attuale linea di costa.



Foto 10.2.2.6

Per quanto riguarda le opere infrastrutturali di attraversamento del fiume Ete Vivo, nel tratto di interesse si segnalano, oltre al citato ponte grazie al quale il tracciato autostradale scavalca il suo corso, altri due ponti, quello della S.S.16, circa 300 m più a valle del precedente e quello della ferrovia Bologna-Taranto, circa 600 m dal primo e a 485 m dalla foce.

Il ponte della ferrovia è costituito da quattro arcate in muratura con pila centrale con intradosso degli archi circa $4,0 \div 4,5$ m al di sopra del fondo dell'alveo fluviale (**vedi foto 10.2.2.7**).



Foto 10.2.2.7

Un nuovo ponte ciclo-pedonale è in fase di realizzazione proprio nell'area di foce a brevissima distanza dall'inizio del molo sud del porto; allo stato attuale i lavori sono sospesi causa covid19 e sono stati realizzati solamente i basamenti delle pile del futuro ponte in acciaio, poggianti sugli argini in destra e sinistra idrografica del fiume; in particolare per la realizzazione del basamento in sinistra idrografica è stato localmente abbassato l'argine di circa 50 cm, altezza che si presume sarà ripristinata al termine dei lavori; altrimenti si creerebbe una zona di debolezza che potrebbe favorire il passaggio dell'acqua durante eventi di piena particolarmente intensi del fiume Ete Vivo. (v. foto 10.2.2.8)



Foto 10.2.2.8

10.2.3 Rapporto delle aree in variante con ambiti esondabili definiti

10.2.3.1 P.A.I. (Cartografia Piano Assetto Idrogeologico) -

La sovrapposizione delle aree esondabili riportate nella cartografia del **P.A.I.** sulla planimetria di progetto (v. *Stralcio PAI scala 1:7.500 allegato*) evidenzia che all'interno dell'area esondabile è in previsione solamente la realizzazione di alcuni parcheggi a raso ubicati tra via Solferino e l'argine sinistro del Fiume Ete Vivo, poco a monte del ponte della ferrovia, e la modifica della viabilità con la creazione di una rotatoria alla fine di via Solferino prima di raggiungere l'area portuale vera e propria, oltre alla realizzazione di altri parcheggi a raso tra la nuova rotatoria e l'area del campeggio esistente. Non sono previste strutture in elevazione (edifici) all'interno delle aree esondabili riportate nel P.A.I.. L'area del P.A.I. denominata E-23-0001 e caratterizzata da indice di rischio R4, risulta piuttosto omogenea e di ampiezza uniforme in destra e sinistra idrografica nel tratto precedente al ponte della autostrada superato il quale l'area esondabile si allarga soprattutto in destra idrografica nel Comune di Fermo. In particolare la fascia esondabile in sinistra idrografica si estende di più nel tratto compreso tra il ponte della S.S. e il ponte ferroviario, a valle del quale la fascia esondabile è molto più ristretta non oltrepassando via Solferino per poi chiudersi a ridosso del perimetro dell'area portuale in senso stretto.

10.2.3.2 Studio idraulico-ambientale mediante l'analisi dei processi geomorfologici in atto per la caratterizzazione dei bacini idrografici principali delle marche- metodo IDRAIM (Carta degli elementi antropici a rischio per fenomeni di esondazione alla scala 1:5.000)

Il Consorzio di Bonifica delle Marche ha prodotto nel 2019 uno studio su tutti i principali fiumi della Regione utilizzando il metodo "IDRAIM", (*Sistema di valutazione idrogeomorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua*) che costituisce un quadro metodologico complessivo di analisi, valutazione post-monitoraggio e di definizione delle misure di mitigazione degli impatti ai fini della pianificazione integrata prevista dalle Direttive 2000/60/CE e 2007/60/CE. Tale sistema di valutazione, tenendo conto in maniera integrata di obiettivi di qualità ambientale e di mitigazione dei rischi legati ai processi di dinamica fluviale, si pone come metodo a supporto della gestione dei corsi d'acqua e dei processi geomorfologici. All'interno dello studio IDRAIM sono state definite le **fasce di dinamica morfologica (FDM) e di dinamica di evento (FDE)**. Nel definire la **FDM** si considera la dinamica di un corso d'acqua in assenza di elevata magnitudo: tale fascia comprende l'attuale alveo del corso d'acqua, le zone che sono state attive a partire dagli anni '50 del secolo scorso e le zone di possibile riattivazione nel medio periodo (prossimi 50 anni). La delimitazione della fascia si basa inoltre sulla presenza delle opere di difesa, che la vanno a delimitare dove presenti. Si tratta di una fascia che ha una probabilità elevata di essere interessata dalla dinamica laterale del corso d'acqua nel medio termine, anche in assenza di eventi di piena di elevata magnitudo. La **FDE**, più ampia della FDM, comprende l'attuale alveo del corso d'acqua, le zone della pianura che sono state attive negli ultimi 100-200 anni e le zone di possibile riattivazione nel corso di un evento estremo. A differenza della FDM, il limite esterno di questa fascia non è di norma limitato dalla presenza di opere di difesa, in quanto la dinamica molto elevata che si verifica nel corso di un evento estremo spesso arriva a compromettere la funzionalità delle opere, a meno che queste non vengano esplicitamente considerate di sicura affidabilità anche durante tali eventi. In allegato è riportato uno stralcio della "***Carta degli elementi antropici a rischio per fenomeni di esondazione alla scala 1:5.000 (da valutazioni geomorfologiche utilizzando il metodo IDRAIM)***" del tratto terminale del fiume Ete Vivo, dove si evidenzia che la fascia di dinamica morfologica (FDM) interagisce con la posizione dei parcheggi ipotizzati, in particolare col parcheggio previsto in un'area subito a monte del ponte della ferrovia, mentre il limite della fascia di dinamica d'evento (FDE) è poco più ampio del limite imposto dalla cartografia del P.A.I..

10.2.3.3 Studio Mitigazione Rischio Idrogeologico - Allegato 2 - Consorzio Bonifica delle Marche - Carta massimi livelli idrici -

Per tale studio, partendo da dati pluviometrici, geologici, geomorfologici, di acclività....il gruppo di studio afferente al Consorzio di Bonifica e UniCam ha eseguito una modellazione idrologica del bacino idrografico del fiume Ete Vivo con programmi dedicati quali "Hec-GeoHMS" e "Hec-Ras" e, valutate le portate idriche nei vari settori del fiume, ha stimato la capacità di deflusso di numerose sezioni dell'alveo lungo il corso del fiume ed in particolare si riporta stralcio della cartografia della zona di foce, di specifico interesse della variante al P.R.G.; laddove le sezioni di alveo non risultavano sufficienti a contenere le piene per i tempi di ritorno sopra citati (50, 100 e 200 anni) i softwares hanno permesso di ipotizzare l'estensione del possibile allagamento delle aree circostanti l'alveo fluviale, rappresentate, nello stralcio cartografico allegato, con i differenti colori a seconda dei tempi di ritorno.

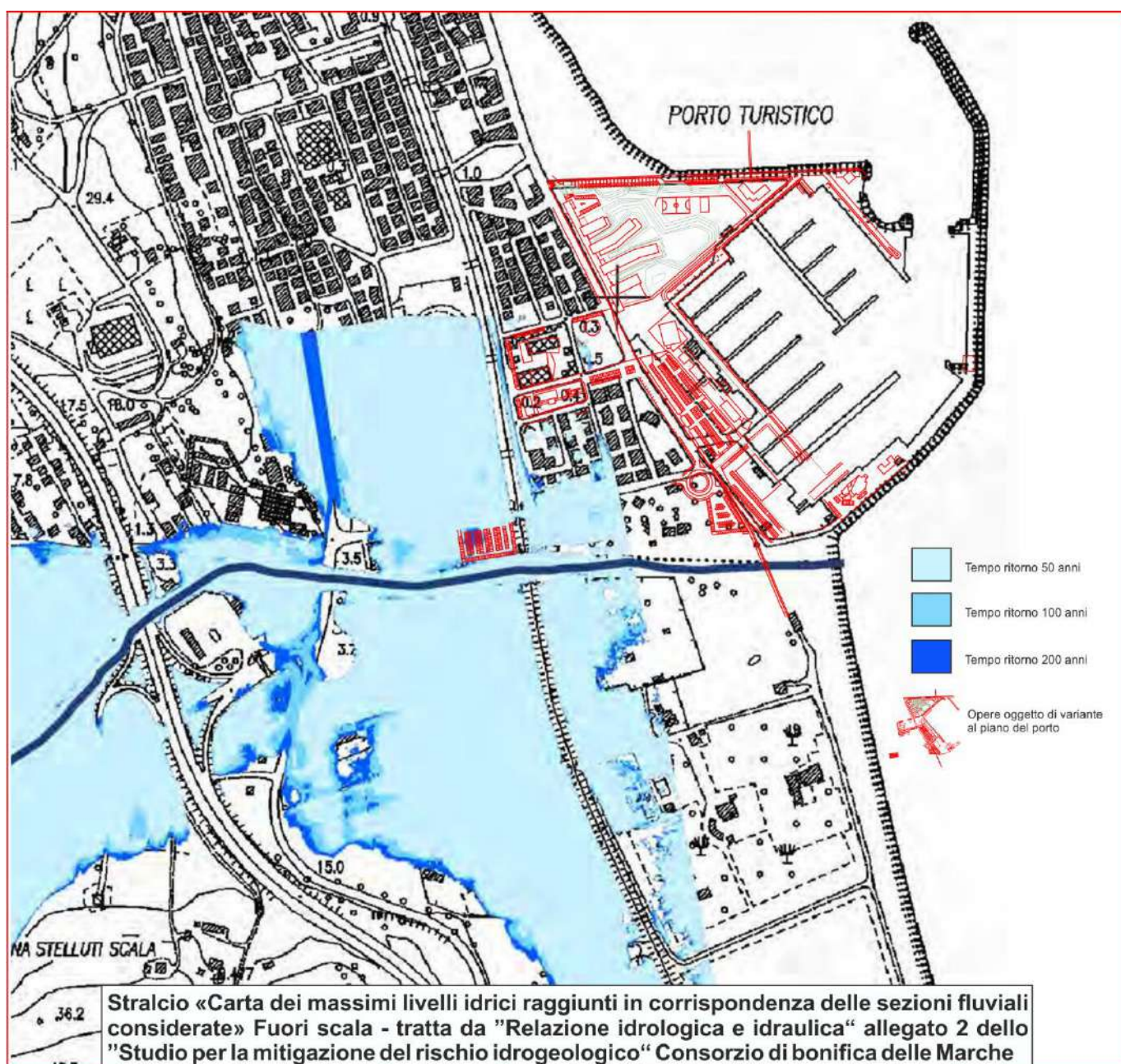


Figura 10.2.3.3.1



Tale studio di carattere preliminare mostra, almeno per l'area di interesse della variante al P.R.P., evidenti limiti a causa della indisponibilità nell'area di foce del rilievo LIDAR e quindi dell'impossibilità di una adeguata "chiusura" della stima della ipotesi di processo di esondazione sino al mare. La sovrapposizione delle aree in variante con la "**Carta dei livelli idrici raggiunti in corrispondenza delle sezioni fluviali considerate**" redatta dal Consorzio di Bonifica delle Marche nell'ambito dello "*Studio per la mitigazione del rischio idrogeologico*", mostra che l'area portuale in senso stretto non è compresa nella valutazione per i limiti sopra esposti mentre i parcheggi a raso previsti tra via Solferino e l'argine sinistro del Fiume Ete Vivo, poco a monte del ponte della ferrovia, ricadono all'interno della fascia esondabile per tutti i tempi di ritorno considerati. Piccole "zone" allagabili sono inoltre segnalate nell'area in cui è prevista la sistemazione della piazza pensata per creare una "continuità visiva e fisica" tra l'area portuale e l'abitato.

10.2.3.4 Piano di Gestione Integrata delle Zone Costiere (Tav. C22-C23 Piano GIZC)

Per quanto riguarda la possibilità di **alluvioni marine** la cartografia di riferimento è quella derivante dal **Piano di Gestione Integrata delle Zone Costiere (Piano GIZC)** redatto nel 2018 dalla Regione Marche - P.F. Difesa del suolo e della costa. In tale cartografia, come osservabile dagli stralci delle tavole C22 e C23 allegati fuori testo (fuori scala), la maggior parte degli interventi previsti, eccettuati quelli di rifacimento della piazza e delle strutture da eseguirsi in prossimità della linea ferroviaria ricadono, invece, all'interno della fascia di rispetto dei 30 metri dalla linea di demanio. Secondo l'articolo 22 delle Norme Tecniche di Attuazione (N.T.A.) del GIZC "Disciplina della "fascia di rispetto" e delle aree T.R.>100", al comma 8 si afferma: "Le medesime Tab.1 e Tab.2 **non si applicano alle aree portuali di cui al Piano dei porti della Regione Marche vigente**". Quindi, le trasformazioni previste per la variante al PRG del porto non debbono sottostare alla disciplina della "fascia di rispetto" del Piano GIZC.

Inoltre alcune parti delle aree in progetto di variante all'interno dell'area portuale ricadono all'interno dei limiti della "direttiva alluvioni" (2007/60/CE-D.Lgs. 49/2010) con tempi di ritorno sia di 20 anni (linea verde) sia di 100 anni (linea rossa). In tali aree non vi sono prescrizioni particolari, tanto più che trovandosi in ambito portuale, l'altezza delle onde calcolate per lo studio, corrispondenti ad un massimo di 2,45 m per T.R. 100 anni, verrà notevolmente smorzata dall'azione dei moli del porto stesso; in ogni caso al fine di ridurre l'esposizione della popolazione a fattori di rischio e comprendere tali zone all'interno delle misure di protezione civile, si consiglia di prendere in dovuta considerazione la possibile interazione tra le nuove attività/opere proposte ed il pericolo di inondazione marina.

10.2.3.5 Piano di gestione del rischio alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino centrale - Autorità di bacino dell'Appennino centrale - Mappe di pericolosità (stralcio scala 1:7.500)

Un'ulteriore cartografia stilata dall'Autorità di Bacino dell'Appennino Centrale è la **Mappa delle Pericolosità** redatta nell'ambito del "Piano di gestione del rischio alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino centrale"; tale carta riassume le potenziali pericolosità alluvionali sia collegate all'esondazione del fiume Ete Vivo (ricalcando la preesistente cartografia PAI - 100 < Tr < 200), sia collegate a mareggiate e ingressioni marine (ricalcando la fascia direttiva alluvioni con Tr 100 anni) sia collegate alle flash flood, ossia eventi piovosi molto intensi e concentrati in un breve lasso di tempo che creano notevoli problemi al sistema di smaltimento fognario e che, come vedremo nel successivo capitolo sui dati di allagamenti storici di Porto San Giorgio, sono effettivamente un annoso problema di sottopassaggi e locali interrati di varie zone dell'abitato. Da tale cartografia (vedi stralcio allegato) le aree A e B in studio per il presente lavoro ricadono nell'ambito delle potenziali ingressioni marine nella fascia di pericolosità **P2 - media probabilità (alluvioni poco frequenti)** anche se, come detto, l'azione protettiva dei moli del porto rende poco probabile l'arrivo di onde di altezza notevole soprattutto in corrispondenza dell'area B, protetta anche dallo specchio d'acqua interno con moli di attracco mentre più esposta potrebbe risultare l'area A in caso di mareggiate provenienti da nord. Quasi tutte le zone oggetto di variante in esame sono, invece, comprese nei **bacini ad alta vulnerabilità agli eventi flash floods**, bacino che comprende anche i moli del porto sebbene questi si ritiene non abbiano possibilità di alluvionarsi per violente piogge potendo l'acqua defluire immediatamente verso mare. Inoltre il perimetro delle zone suscettibili di flash floods è tagliato nettamente nella zona verso l'entroterra escludendo l'area nella quale è in progetto la nuova rotatoria e la nuova viabilità; anche questo è piuttosto strano, tanto più che numerosi problemi di alluvionamenti di sottopassaggi e scantinati si sono verificati negli anni lungo via Solferino, via che da tale cartografia risulterebbe invece esclusa l'area vulnerabile.

10.2.4 Notizie di esondazioni storiche reperite dal progetto AVI

Il progetto speciale AVI è un progetto commissionato dal Ministro per il Coordinamento della Protezione Civile al Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) allo scopo di realizzare un censimento delle aree storicamente vulnerate da calamità geologiche (frane) ed idrauliche (piene).

Ricercando gli eventi alluvionali che hanno colpito il comune di Porto San Giorgio e la zona di foce dell'Ete Vivo negli ultimi decenni si sono individuati i seguenti principali avvenimenti, testimoniati anche da cronache giornalistiche raccolte all'interno del medesimo catalogo AVI:



N° sito	Località	Data	Scheda S4	Note
In rosso gli eventi di cui si dispone di notizie di dettaglio				
11044060004	Porto San Giorgio	1948	10100006	Esondazione Rio Petronilla allaga quartieri del centro storico
11044060001	Porto San Giorgio	29/10/1951	4100093	Evento meteorologico e rotture arginali
11044060001	Porto San Giorgio	24/01/1952	100109	Mareggiata
11044060005	Porto San Giorgio	01/12/1998	10100017	Straripamento Ete Vivo
11044060004	Porto San Giorgio	1969	10100007	Esondazione Rio Petronilla
11044060001	Porto San Giorgio	06/09/1947	100029	Evento meteorologico-pioggie intense e piene
11044060001	Porto San Giorgio	01/12/1982	100038	nessuna notizia precisa
11044060002	Porto San Giorgio - Zona attorno al cimitero	31/12/1972	100117	Evento meteorologico-sovralluvionamento
11044060003	Porto San Giorgio - Zona costiera	31/08/1996	8100014	Rio Petronilla
11044060001	Porto San Giorgio	18/06/1999		Evento meteorologico e allagamenti sottopassaggi
	Porto San Giorgio	03/03/2011		Innalzamento livello idrometrico Ete Vivo con problemi alla viabilità principale

Tabella 10.2.4.1

Tra questi eventi, i più rilevanti per la zona oggetto di indagine e dei quali si è ritrovata testimonianza di cronache giornalistiche sono:

- **01/12/1998:** da giornale di cronaca locale: "Il momento più difficile e più rischioso è stato vissuto ieri mattina quando nella zona intorno alla SS16, a cavallo dei comuni di Porto San Giorgio e Fermo, il fiume Ete Vivo è uscito fuori dal letto. Oltre alla campagna, soprattutto nella zona di Santa Maria a mare, l'acqua fangosa ha invaso alcuni interrati di via Solferino a Porto San Giorgio dove i vigili del fuoco hanno faticato non poco per cercare di ristabilire la normalità...omissis...il livello dell'acqua era arrivato a circa 50 centimetri dalla sede stradale...omissis...."

- **18/06/1999:** da giornale di cronaca locale: " mercoledì sera verso le 19,30 si è sfiorata la tragedia a Porto San Giorgio. In un sottopassaggio di via Solferino l'acqua ha bloccato una Passat con due anziani a bordo, un parroco di Civitanova di 71 anni e una donna di 82, che si sono trovati in forte difficoltà. Entrambi si sono attardati nell'auto non rendendosi conto forse che il livello dell'acqua saliva paurosamente fino a raggiungere i finestrini. E quasi intrappolati



all'interno sono stati salvati ad un certo punto da un ristoratore del luogo, G. J. di 31 anni e da una pattuglia di vigili urbani che li hanno raggiunti nel sottopasso riuscendo a portarli fuori...omissis...Molti altri sottopassi hanno subito allagamenti anche a causa del black-out elettrico che ha mandato in tilt le elettropompe...omissis... A Porto San Giorgio intanto si cercano soluzioni al problema dei sottopassi ferroviari che una volta inondati dalle acque "tagliano" in due la città, rendendo impraticabile il traffico da una parte all'altra della strada ferrata. Mercoledì pomeriggio il lungo black-out elettrico ha spento anche i semafori. Il Comune ha allo studio un progetto per dotare gli scarichi di un'aspirazione con batterie alternative autonome.

- **03/03/2011: da rapporto evento Protezione Civile**: Si sono avuti inoltre venti forti nord-orientali lungo la fascia costiera e mare molto mosso, con importanti mareggiate. Le precipitazioni hanno determinato delle onde di piena significative su tutti i fiumi regionali...omissis... Tutti i fiumi del reticolo idrografico, sia minore che maggiore, sono andati in crisi, sia a causa delle elevate cumulate raggiunte in poche ore, che per effetto del moto ondoso che ha fortemente ostacolato il naturale deflusso delle acque in mare. I fiumi sono esondati in diversi punti, provocando danni. Numerose sono state le evacuazioni e le operazioni di soccorso alla popolazione, anche mediante mezzi anfibi. Le precipitazioni persistenti hanno causato, inoltre, allagamenti in diverse località, centri abitati e case sparse. Sono stati inoltre allagati insediamenti produttivi, strade ed infrastrutture di primaria importanza.

Quest'ultimo evento del 2011 il fiume Ete Vivo è esondato in più punti nel tratto collinare, nel comune di Monte Giberto, mentre ha coinvolto marginalmente la zona di foce dove le arginature hanno resistito al forte aumento di altezza delle acque dovuto alle eccezionali e improvvise piogge e alla difficoltà di deflusso causata dalle contemporanee mareggiate; ciononostante questo evento ha dato il via ad una serie di studi sulle portate del fiume e sulla capacità di smaltimento delle sezioni più critiche dell'alveo coincidenti, per la zona di foce, con i principali attraversamenti della autostrada, della strada statale e della ferrovia. I lavori di allargamento e innalzamento del ponte della S.S 16, ritenuto necessario al fine di garantire il deflusso delle portate del fiume con contemporaneo miglioramento della fruibilità con realizzazione di una pista ciclabile, un marciapiede ed un sottopassaggio è stato portato a termine nell'anno 2014. Altri numerosi allagamenti del tratto di abitato di Porto San Giorgio più vicino all'area di studio, con problemi agli scantinati in particolare degli edifici prospicienti via Solferino e dei principali sottopassaggi, non derivano da esondazioni del fiume ma da improvvise e abbondanti piogge (definite flash flood nella sopra citata cartografia) che non riescono ad essere contenute e smaltite dal sistema fognario e quindi vanno ad allagare le zone più basse.

Tale problematica non viene affrontata in questo lavoro in quanto non si tratta di un pericolo proveniente dal fiume ma da una difficoltà di smaltimento fognario.

10.2.5 Studi idraulici reperiti della zona oggetto di studio

10.2.5.1 Consorzio bonifica Marche - Studi 2017 e 2019

Il bacino del fiume Ete Vivo è stato analizzato con studi commissionati dal Consorzio di Bonifica delle Marche, uno primo studio in collaborazione con l'Università di Camerino pubblicato del 2017 denominato "**Studio per la mitigazione del rischio idrogeologico**" un secondo studio svolto nel 2019 denominato - "**Studio idraulico ambientale mediante l'analisi dei processi geomorfologici in atto per la caratterizzazione dei bacini idrografici - progetto IDRAIM**". Nello "*Studio per la mitigazione del rischio idrogeologico*" è stato analizzato il bacino idrografico del fiume suddividendolo in sotto bacini, valutandone le caratteristiche morfologiche, geologiche e di copertura vegetale al fine di stimarne i tempi di corrivazione e analizzando la pluviometria così da poter stimare le portate attese per differenti tempi di ritorno nei vari nodi rilevanti dei sotto bacini.

Da tali studi si evince che per la zona di foce il **tempo di corrivazione medio** valutato tramite numerosi autori è pari a **3 ore e 50 minuti** e le **portate massime** stimate per i vari tempi di ritorno sono rispettivamente:

$T_R=50$ anni: 217,6 m³/s,

$T_R=100$ anni: 271,5 m³/s,

$T_R=200$ anni: 324 m³/s.

A partire dai dati di portata e dai dati topografici di numerose sezioni lungo il corso del fiume, in tali lavori sono state modellate tramite software appositi le aree potenzialmente esondabili in caso di piene con i valori di tempo di ritorno sopra citati. Da tali modellazioni è scaturita la carta, già citata al precedente c. 10.2.3 "**Carta dei livelli idrici raggiunti in corrispondenza delle sezioni fluviali considerate**" secondo la quale per l'abitato di Porto San Giorgio la zona più critica con maggiore estensione dell'area inondabile si estende in sinistra idrografica ed è quella compresa tra il ponte della Strada Statale e il ponte della Ferrovia dove tale fascia si estende per quasi 400 m andando a coprire l'intera area dove è presente il campo di calcio e numerose abitazioni limitrofe. A valle del ponte della ferrovia l'area a potenziale alluvionamento in sinistra idrografica è decisamente più ridotta, estendendosi mediamente per meno di 150 m dall'asse dell'Ete Vivo. Dal confronto della posizione delle aree oggetto di variante con le aree esondabili valutate con lo studio del Consorzio di Bonifica (2017), risultano ricadere all'interno della fascia a rischio alluvionamento solamente i parcheggi in progetto a ridosso dell'argine in sinistra idrografica subito a monte del ponte ferroviario.



10.2.5.2 Protezione civile – Piano comunale di emergenza - 2014

Nel **Piano Comunale di Emergenza di Protezione Civile** (rev. novembre 2014) del comune di Porto San Giorgio, le portate stimate che derivano da elaborazioni di tipo statistico probabilistico dell'ufficio Idrografico e Mareografico di Bologna, sono notevolmente più elevate rispetto a quelle valutate con calcoli più specifici dagli studi del Consorzio di Bonifica e risultano pari a $500 \div 520 \text{ m}^3/\text{s}$ per $T_R=500$ anni e $400 \div 420 \text{ m}^3/\text{s}$ per $T_R=100$ anni.

In tale piano si legge: "I tratti, in corrispondenza dei ponti S.S.16, F.S. e alla foce del fiume, risultano essere esondabili. L'area che verrà ad essere eventualmente interessata, è quella a monte del ponte sulla S.S. 16 tenendo conto che, l'argine in sinistra idrografica (territorio della Città di Porto San Giorgio) è posto a quota più bassa dell'argine in destra idrografica (territorio della città di Fermo); va inoltre precisato che, qualora vengano a determinarsi condizioni di esondazioni anche a valle del ponte sulla S.S.16, la situazione è invertita (argine in sinistra idrografica posizionato a quota più alta rispetto a quello in destra idrografica) e pertanto l'area interessata sarebbe quella in destra idrografica del Fiume Ete Vivo (territorio del Comune di Fermo). In relazione al verificarsi dell'evento di esondazione del Fiume Ete Vivo la rete di comunicazione viaria, presenta una elevata vulnerabilità con un danno potenziale distribuito sul territorio connesso sia alla perdita di funzionalità della rete stessa, sia alla potenziale perdita di sicurezza per le persone. In modo particolare possono essere interessati:

- il casello autostradale in entrata ed in uscita;
- il tratto terminale della strada provinciale Val D'Ete;
- ed un tratto di circa 1 km della S.S.16."

Non si è purtroppo riusciti a reperire la cartografia delle aree esondabili allegata a tale piano di protezione civile, pertanto, basandosi solamente su quanto scritto, si può dedurre che le aree interessate da variante, tutte ubicate a valle del ponte della S.S. dovrebbero essere soggette a minor rischio esondazione in quanto l'arginatura più alta in sinistra idrografica rispetto a quella in destra porterà ad un eventuale sormonto degli argini preferenzialmente verso il territorio fermano.

10.2.5.3 Autorità di Bacino del Fiume Tevere - Piano di gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) - 2016

Nel "**Piano di gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)**" redatto dall'autorità di Bacino del Fiume Tevere, distretto dell'Appennino Centrale nel marzo 2016, si è cercato di individuare le principali criticità dei fiumi Marchigiani tra i quali l'Ete Vivo proponendo obiettivi ed interventi per la mitigazione del rischio idrogeologico. In tale piano si legge: "I rischi principali sono presenti a monte del ponte dell'A14 dove l'inconsistenza degli argini determina delle brecce con inondazione di alcune frazioni e centri abitati di Fermo e Porto San Giorgio. Continuamente si presentano erosioni lungo le strade che costeggiano sia in destra che in sinistra idrografica il Fiume Ete Vivo con interruzione della viabilità. Particolarmente vulnerabili sono quasi tutti gli attraversamenti a monte del ponte dell'A14. È necessario un approccio d'analisi delle problematiche idrauliche e di intervento differente rispetto a quello intrapreso fino ad oggi in cui si è intervenuti solo a difesa previo realizzazioni di argini; occorre recuperare la naturale capacità di laminazione del corso d'acqua previa realizzazione di casse di espansione in zone che storicamente venivano inondate dal fiume. Gli interventi continui di ripristino e consolidamento degli argini a lungo termine potranno risultare antieconomici se confrontati con i costi/benefici derivanti dalla realizzazione di idonee casse di espansione."

Secondo tale studio le azioni da porre in opera per la mitigazione del rischio idraulico del fiume Ete vivo sono riassunte nella seguente tabella (10.2.5.3.1) e nella cartografia ad essa riferita.

Fiume Ete Vivo

Measure Code	Measure Name	Priority	Progress of Implementation	Measure Type
FM029A/10	Manutenzione straordinaria arginature	High	Completed	M35
TL-6143	Lavori di mitigazione del rischio idraulico del Fiume Ete Vivo	High	Completed	M33
TL-6375-1	Individuazione di aree per la realizzazione di casse di espansione - Fiume Ete Vivo	High	Not started	M24
TL-6488-1	Approfondimento del quadro conoscitivo della pericolosità idraulica (idrologia e idraulica) - Fiume Ete Vivo	High	On-Going Construction	M24
TL-6178	Sistemazione idraulica, riqualificazione e mitigazione del rischio idraulico per il Torrente Ete Vivo - Tratto compreso tra il Ponte dell'Autostrada e C.da Noce	Critical	Completed	M33, M35
TL-6318-12	Ripristino officiosità idraulica mediante manutenzione e adeguamento sezioni di deflusso/pulizia alveo/taglio selettivo vegetazione/verifica situazione opere trasversali/stabilizzazione sponde mediante inerbimento e piantumazione	Critical	Not started	M33, M35
TL-6367	Verifica-manutenzione-potenziamento tratti arginati - Fiume Ete Vivo	Critical	Not started	M24, M33, M35
TL-6371-1	Rifacimento e/o adeguamento di ponti - Fiume Ete Vivo	Critical	Not started	M33
TL-6403-1	Rialzamento ponte tubo - Fiume Ete Vivo	Critical	Not started	M23
TL-6447-1	Realizzazione e manutenzione di difese spondali in tratti localizzati - Fiume Ete Vivo	Moderate	Not started	M33, M35

Tabella 10.2.5.3.1

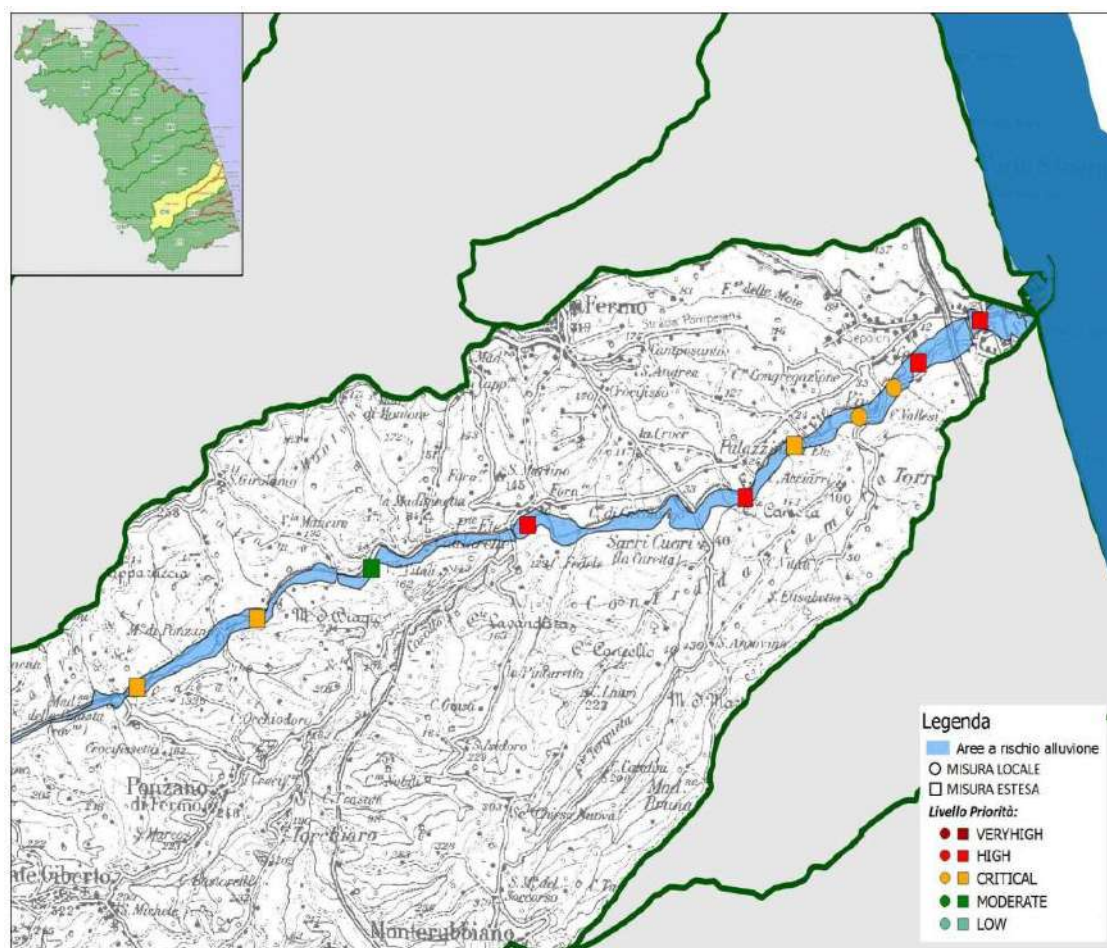


Figura 10.2.5.3.2

10.2.5.4 Geco Sistema (ing. Mazzoli e Broccoli) – Proposta di mitigazione del rischio idraulico ai sensi dell'art. 23 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale (PAI) - 2009

Lo studio ai fini della ***“Proposta di mitigazione del rischio idraulico ai sensi dell'art. 23 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale (PAI)”*** eseguito dagli ingegneri Mazzoli e Broccoli parte dai risultati di un precedente elaborato, curato dai medesimi autori, dal titolo ***“Lavori di sistemazione idraulica del tratto terminale del fiume “Ete Vivo” - tratto A 14 / foce - presenza perimetrazione P.A.I. – rischio di esondazione R4 - relazione idrologico – idraulica”***.

Lo scopo del lavoro è stato quello di valutare, in prossimità del centro commerciale “Oasi” per un’area di circa 1,5 ha, l’entità dei tiranti idrici accumulabili in caso di esondazione del limitrofo corso d’acqua Ete Vivo, nel comune di P. S. Giorgio, come evidenziato nella figura sotto riportata. Per la zona di interesse specifico dello studio sono state valutate in dettaglio ***l’entità dei tiranti idrici invasabili per assegnati eventi di piena***, che ha comportato la necessità per gli autori di includere nel loro studio una valutazione idraulica estesa a un intorno significativo all’area di specifico interesse, con discreta attendibilità della valutazione anche di una zona in sinistra e

destra idrografica compresa tra il ponte dell'autostrada e la foce, come evidenziato anche dalla densità delle sezioni idrauliche tracciate nel citato tratto fluviale (v. figura seguente).

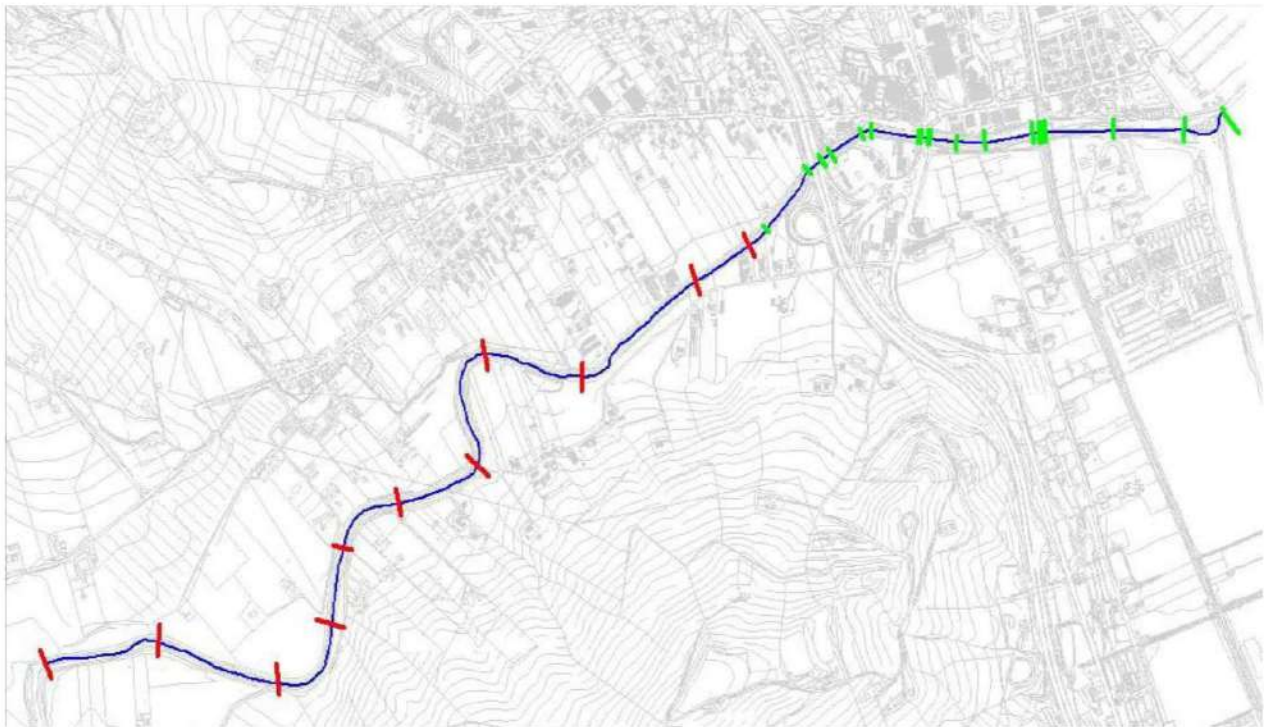


Figura 10.2.5.4.1 (Sezioni per la modellazione con HEC-RAS)

Il modello idraulico è stato implementato con il valore della portata al colmo di $415 \text{ m}^3/\text{s}$ derivato dalla stima di regionalizzazione tratta da una *relazione idrologica-idraulica svolta nel 2005* dai medesimi autori dello studio di cui si parla. L'idrogramma di progetto adottato di tipo "gamma incompleto" è riportato nella figura sottostante.

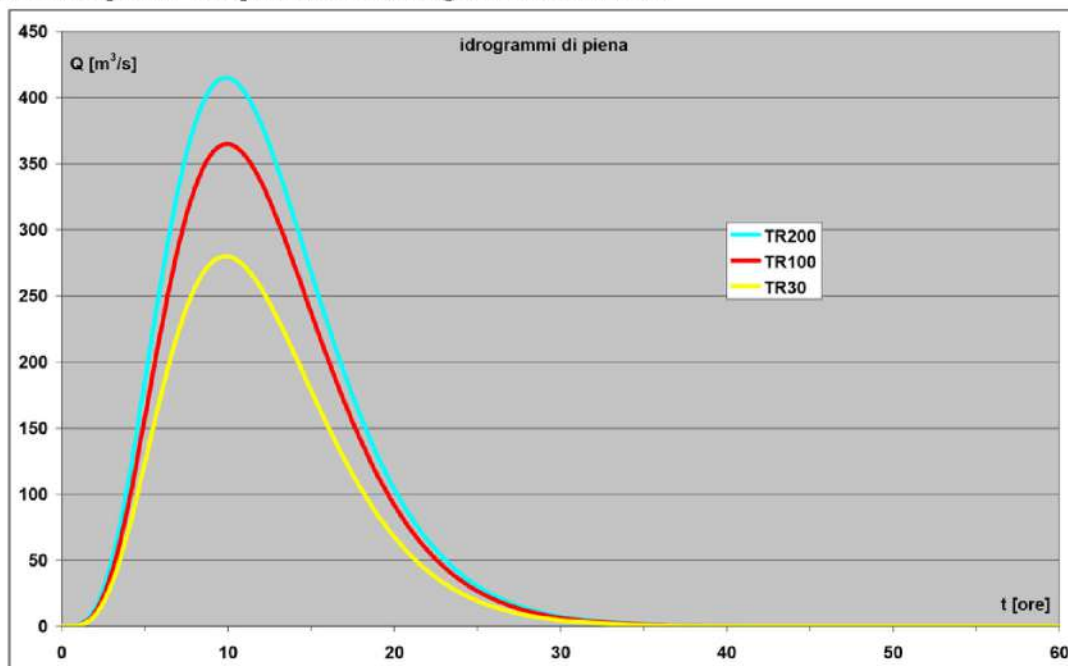


Grafico 10.2.5.4.2 (Idrogrammi di piena per assegnato tempo di ritorno)

Nelle simulazioni idrauliche con tempo di ritorno di 200 anni, gli autori hanno scelto come condizione più gravosa di considerare il livello statico del mare posto a +1,3 m (su indicazioni contenute negli studi dell’Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli).

Gli autori si sono basati, inoltre, sulle ipotesi che i volumi idrici di inondazione si generano esclusivamente per tracimazione delle sommità arginali del corso d’acqua.

Non sono dunque considerati altri fenomeni quali, ad esempio, il collasso delle strutture arginali o fenomeni di rigurgito.

Si rimanda allo studio specifico per ogni approfondimento in merito alla stima e alla simulazione del fenomeno di esondazione mentre se ne riassumono di seguito i risultati.

Risultati

Partendo dal modello digitale del terreno gli estensori dello studio hanno ricavato le linee preferenziali di deflusso in caso di fuoriuscita lungo i tratti arginati del fiume Ete Vivo, riportate nello stralcio fuori scala della “Tavola D” delle linee potenziali di deflusso sotto riportato. Sono indicate in blu le possibili direzioni di deflusso nella condizione attuale, mentre in rosso quelle che permangono anche dopo i lavori di risagomatura e risistemazione dell’alveo.

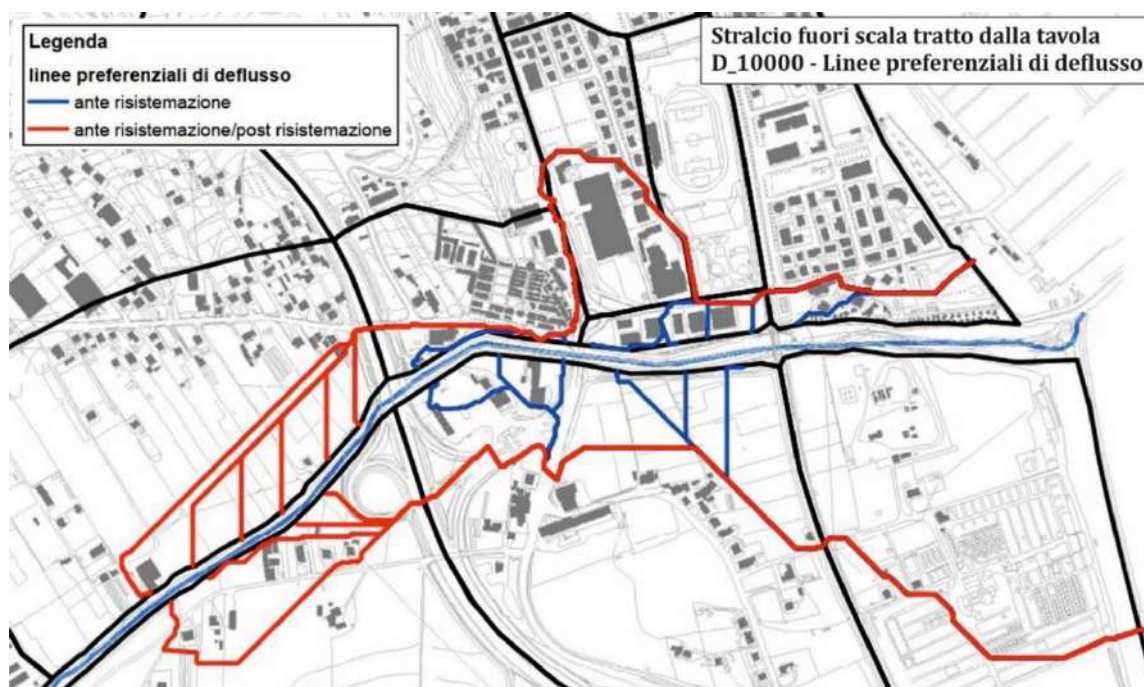


Figura 10.2.5.4.3

Come si nota dalla figura, secondo lo studio le acque esondate in sinistra idrografica tendono a seguire il percorso della strada provinciale Val d’ Ete SP87 e a superare l’autostrada attraverso il relativo sottopasso, per poi costeggiare il cimitero e giungere in corrispondenza della rotonda di nuova costruzione che, in virtù della particolare conformazione e delle quote topografiche sommitali, funge da spartiacque indirizzando il flusso verso nord, lungo la SS16 verso l’abitato di Porto San Giorgio. Qui le acque trovano una via preferenziale all’interno dell’abitato, per il sistematico abbassamento delle quote topografiche, per poi dirigersi verso il mare

attraversando la ferrovia in corrispondenza del sottopasso di via Solferino, andando a interessare una parte dell'area soggetta a variante del P.R.P. di Porto S. Giorgio.

Un ulteriore risultato dello studio è compendiato nelle 9 tavole che sintetizzano le altezze dei possibili tiranti idrici per 3 differenti tempi di ritorno (T.R. 30, 100, 200) per 3 differenti scenari:

Scenario A1- stato attuale (2009 prima degli interventi di mitigazione);

Scenario B1- stato post-risistemazione (ipotizzando uno scenario dopo la realizzazione degli interventi di risagomatura e risistemazione suggeriti nel precedente studio idrologico-idraulico del 2005 e, per quanto a conoscenza dello scrivente per gran parte eseguiti)

Scenario C1- stato post-mitigazione che valuta gli effetti sulle aree circostanti degli interventi di mitigazione per la messa in sicurezza dell'area di interesse (commerciale)

Per quanto riguarda le aree in sinistra prossime alla foce dell'Ete Vivo, ovvero le aree potenzialmente esondabili di interesse della variante al P.R.P., i tiranti idrici massimi sono stati valutati in +2.1 m sul l.m.m., con estensione dell'invaso valutabile nello stralcio sotto riportato della "Tavola C_1_10000, Stato post mitigazione area-TR200", con zone di tracimazione localizzate subito prima del ponte FF.SS. e tra il ponte FF.SS. e la foce. Secondo gli Autori lo scenario dell'altezza dei tiranti idrici per l'area in variante non cambia ipotizzando tempi di ritorno di 30 e 100 anni poiché in questi casi sono state considerate condizioni al contorno del

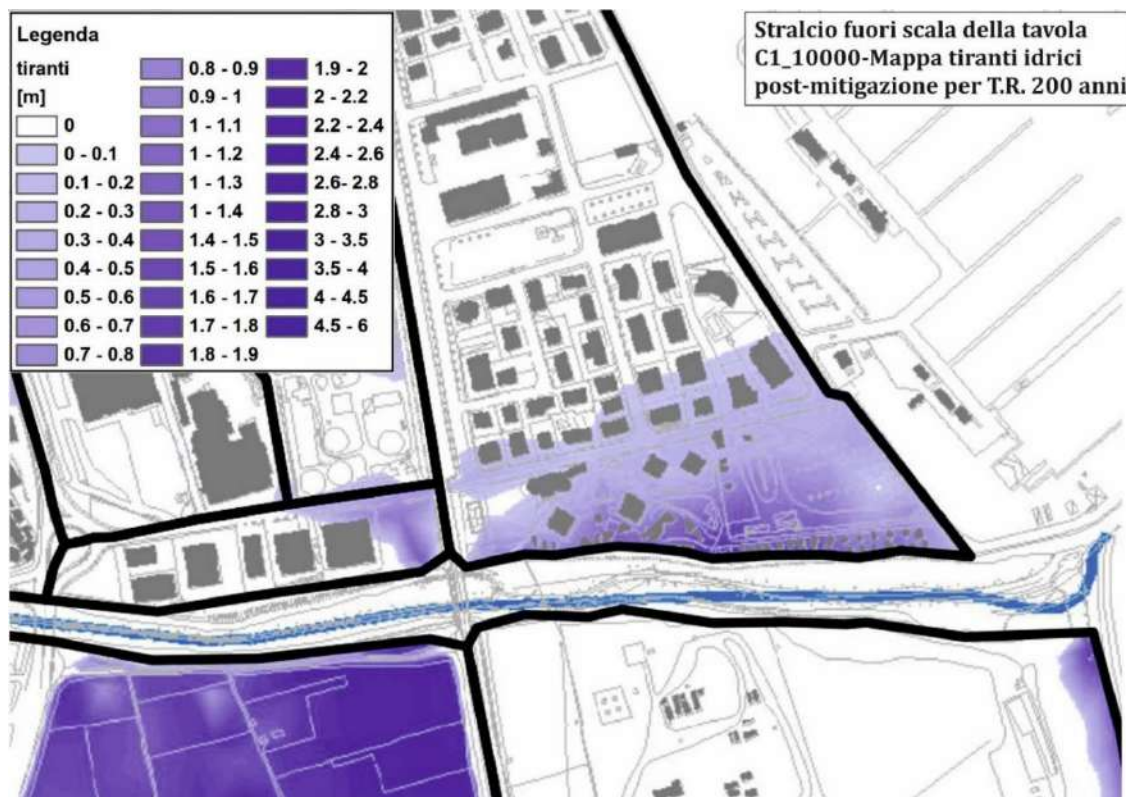


Figura 10.2.5.4.4

livello del mare differenti, ovvero il livello statico del mare è stato considerato +1.7 m per verifiche con TR 100 e +2.1 m per verifiche con TR 30 cosicché i risultati finali delle quote dei tiranti idrici riportati nelle "mappe dei tiranti idrici" in tutti e tre gli scenari post mitigazione è sostanzialmente identico.

10.2.5.5 Servizio tutela, gestione e assetto del territorio -P.F. Tutela del territorio di Fermo - Salvaguardia del regime fluviale, difesa, rafforzamento e rinaturalizzazione degli argini, protezione delle spalle e dei ponti, creazione di piane esondabili (flood zone) torrente Ete Vivo - 2019

Nel 2019 il Servizio tutela, gestione e assetto del territorio -P.F. Tutela del territorio di Fermo ha svolto uno studio di aggiornamento idrologico e idraulico rispetto ai precedenti svolti nel 2009 e 2012, ai fini di un progetto esecutivo per la *“Salvaguardia del regime fluviale, difesa, rafforzamento e rinaturalizzazione degli argini, protezione delle spalle e dei ponti, creazione di piane esondabili (flood zone) torrente Ete Vivo”*, (autori: ing. G. Laureti, geom. A. Ciccolini, geom. S. Albertini, responsabile del procedimento ing. M. Trovarelli)

Rimandando al citato studio per ogni approfondimento metodologico, idrologico e idraulico, le conclusioni sintetiche della relazione idrologica sono riportate nella sottostante tabella di stima delle portate alla foce dell'Ete Vivo per tempi di ritorno duecentennali. Per i successivi calcoli di verifica idraulica gli autori dello studio hanno adottato a scopo cautelativo una portata di progetto alla foce di **456 m³/sec** (calcolata col metodo razionale).

BACINI	Metodo Razionale	Metodo SCS	Metodo Regionalizzazione portate	Metodo HEC-HMS
Bacino di monte	45.08	46.28		50.8
Bacino Lubrico	31	17.68		34.2
Bacino Rivo	41	42.93		44.8
Bacino Il Rio	65.57	71.71		52.3
Bacino Versante Nord	42.36	43.84		47.7
Bacino Cosollo	44.81	51.89		53.7
Bacino Scorticapecore	29.9	25.41		22.9
Bacino Vallone	22.7	21.03		19
Bacino Terqueta	28	32.32		30.6
Bacino Storno	15.85	14.53		12.5
Bacino Salvano	17.82	14.09		13.3
Bacino Camera	27.72	23.44		22.3
Bacino Moie	22.71	17.02		17.5
Bacino Foce	21.64	17.62		19.9
Sommano portate alla foce m³/s	456.16	439.79	408	441.5

Tabella 10.2.5.5.1

La relazione idraulica ha costituito un aggiornamento delle analisi svolte nel 2012 sul tratto del fiume Ete Vivo dalla foce al ponte Ete Calderette ed un ampliamento delle stesse fino al ponte per Monte Giberto. A seguito dell'analisi idrologica (v. o cfr. Relazione Idrologica) è stato svolto un esame approfondito delle modifiche dell'asta fluviale a seguito degli eventi alluvionali successivi a quello del 2011 e agli interventi di sistemazione idraulica realizzati in situazione di somma urgenza, individuando in tutte le sezioni considerate le caratteristiche del deflusso di portate per diversi periodi di ritorno, le aree di esondazione dell'alveo, il tirante idraulico e le velocità dell'acqua. Lo studio ha considerato 221 sezioni ripartite planimetricamente in 15 tavole la prima delle quali, a iniziare dalla foce, comprende le prime 20 sezioni tra le quali quelle analizzate per il presente lavoro.

I risultati dello studio di cui si tratta e che interessano l'area in variante al P.R.P. di P.S. Giorgio sono di seguito riportati e sintetizzati in:

- 1) uno stralcio planimetrico scala 1:10.000 con indicate le sezioni dalla foce (n.1) al ponte delle FFSS (n. 5);

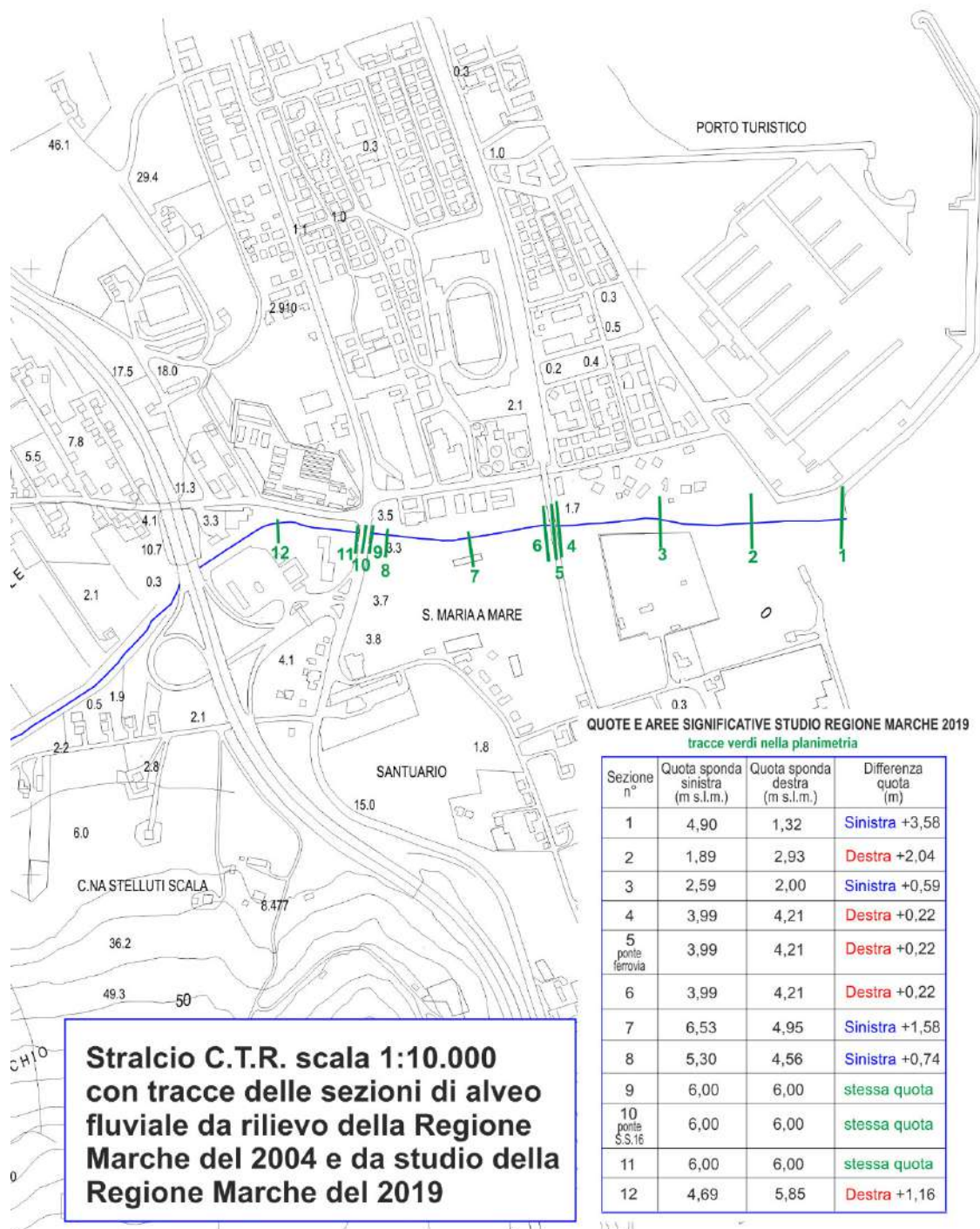


Figura 10.2.5.5.2

- 2) 4 stralci di sezioni idrauliche tratti dall'allegato "D.04-Planimetrie e sezioni idrauliche".

Negli stralci allegati delle sezioni idrauliche è riportato il confronto delle verifiche dello stato di fatto e di progetto. Sono stati riportati, per ciascuna sezione, i dati relativi alla portata, al livello dell'acqua e alla velocità per tutti i tempi di ritorno (TR 200, TR 100, TR 50, TR 30, TR10).

Sezione 1 tracciata alla foce, in sinistra idraulica passante per il muro in calcestruzzo del molo sud di difesa portuale: la sponda sinistra riesce a contenere tutti gli eventi alluvionali mentre la sponda destra riesce a contenere i soli eventi alluvionali con tempi di ritorno sino a 50 anni, con sormonto dell'argine per gli eventi con T.R. 100 e 200 anni.

Questa sezione non crea alcun problema per l'area prossima al fiume in varianza al P.R.P.

Stralcio tavola - Sezione 1 -
 tratto da relazione idraulica per progetto esecutivo per la
 "Salvaguardia del regime fluviale, difesa, rafforzamento e
 rimaturalizzazione degli argini, protezione delle spalle e dei
 ponti, creazione di piane esondabili (flood zone) torrente Ete Vivo"

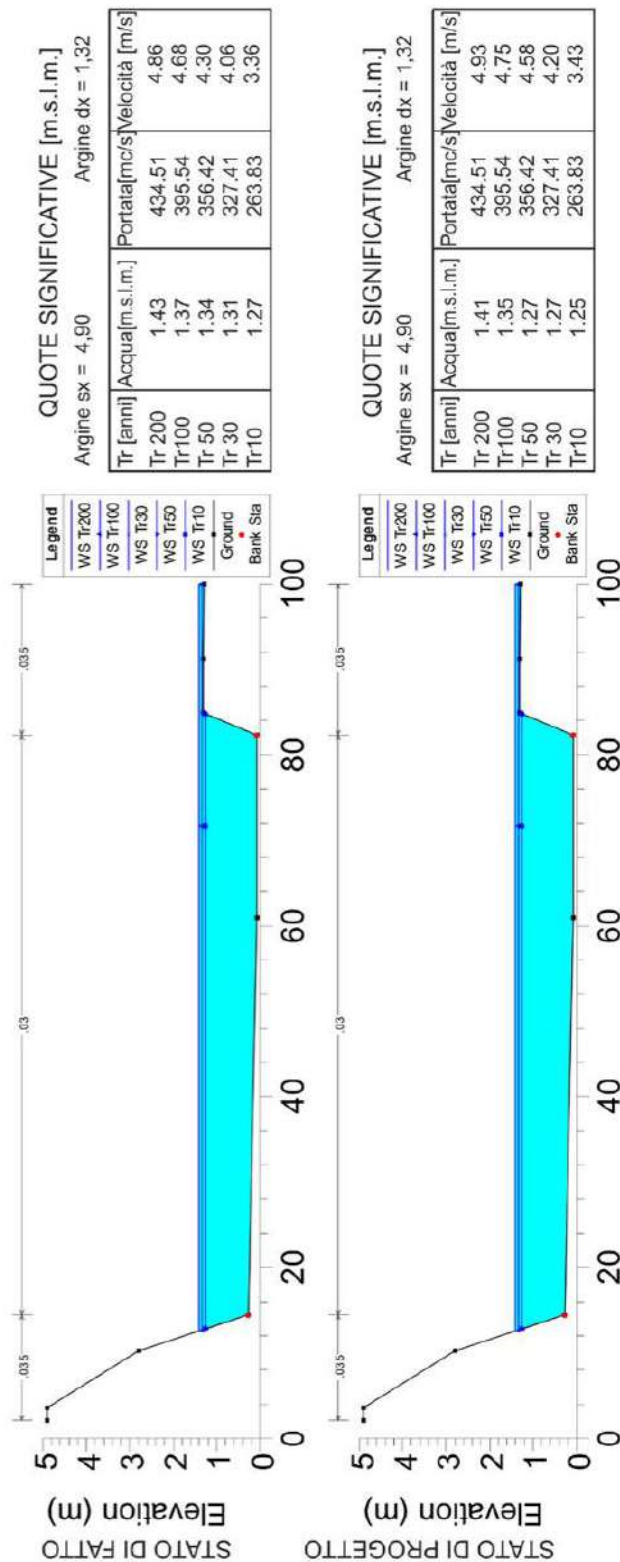


Figura 10.2.5.5.3

Sezione 2, tracciata circa 45 m a monte dell'inizio del muro in calcestruzzo del molo sud di difesa portuale: la quota massima arginale in sinistra idrografica è di +2.65 m mentre in destra è di +2,93 m. La sezione riesce a contenere eventi alluvionali con tempi di ritorno fino a 50 anni mentre non contiene assolutamente eventi alluvionali con T.R. di 100 e 200 anni.

Stralcio tavola - Sezione 2 -
 tratto da relazione idraulica per progetto esecutivo per la
 "Salvaguardia del regime fluviale, difesa, rafforzamento e
 rinaturalizzazione degli argini, protezione delle spalle e dei
 ponti, creazione di piane esondabili (flood zone) torrente Ete Vivo"

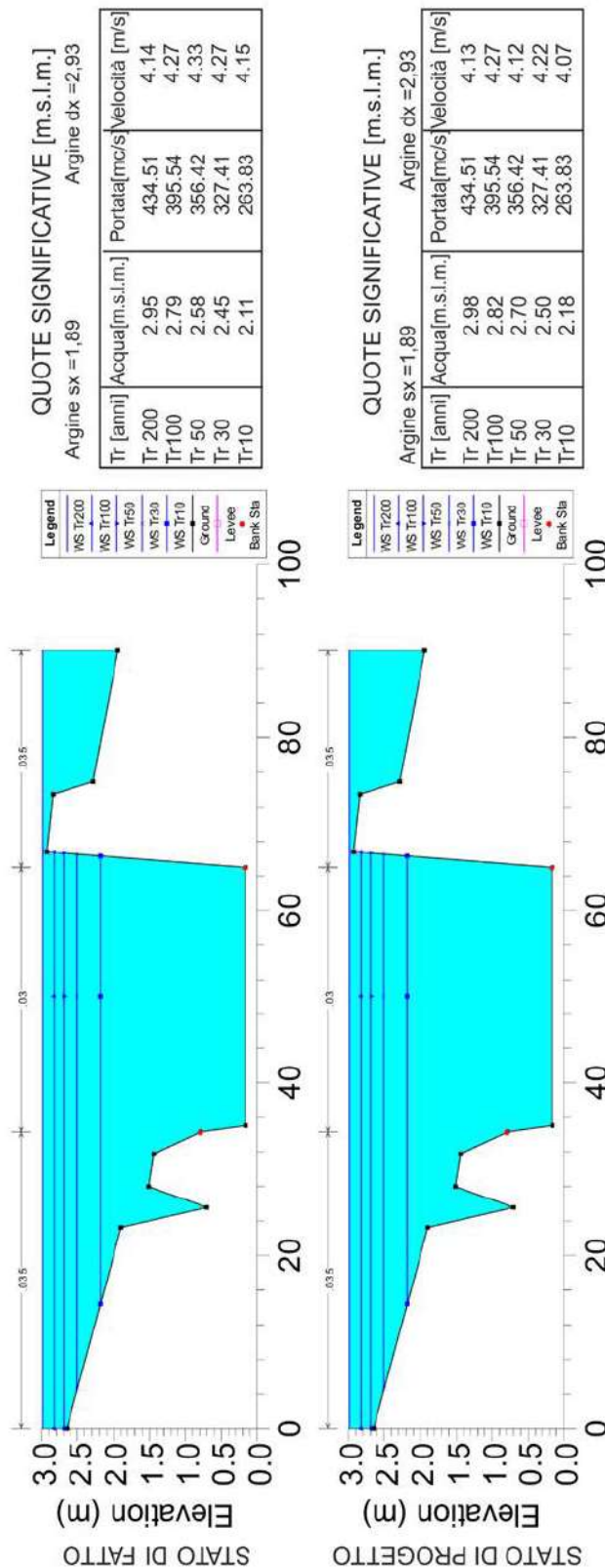


Figura 10.2.5.5.4

Sezione 3, tracciata circa 195 m a monte dell’inizio del muro in calcestruzzo del molo sud di difesa portuale: la quota massima arginale in sinistra idrografica è di +2.59 m mentre in destra è di +2,00 m. La sezione non riesce a contenere eventi alluvionali già con T.R. di 30 anni, con maggiore esondazione in destra idrografica, senza risparmiare la sinistra.



Stralcio tavola - Sezione 3 -
 tratto da relazione idraulica per progetto esecutivo per la
 "Salvaguardia del regime fluviale, difesa, rafforzamento e
 rinaturalizzazione degli argini, protezione delle spalle e dei
 ponti, creazione di piane esondabili (flood zone) torrente Ete Vivo"

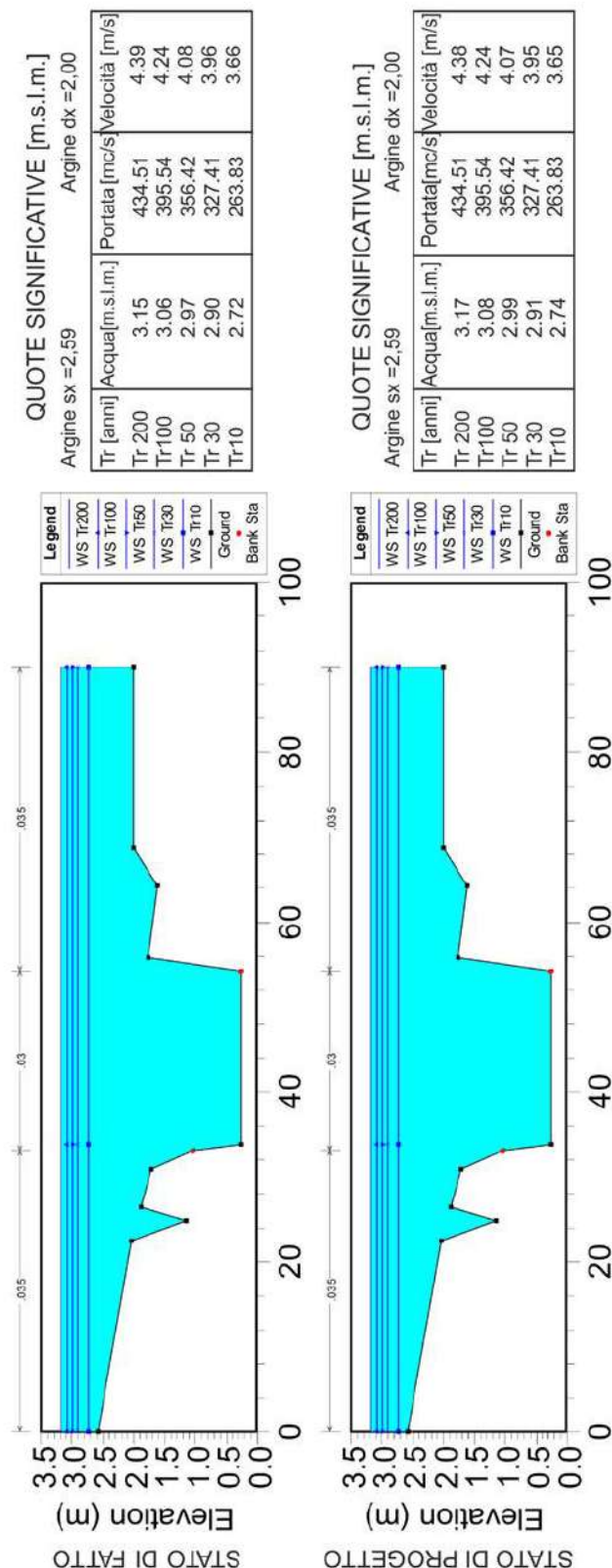


Figura 10.2.5.5.5

Sezione 5, tracciata in corrispondenza (al centro) del ponte FF.SS.: la quota massima arginale in sinistra idrografica è di +3.99 m mentre in destra è di +4,21m. Allo stato attuale la sezione contiene gli eventi di piena anche con T.R. di 200 anni

Stralcio tavola - Sezione 5 -

tratto da relazione idraulica per progetto esecutivo per la "Salvaguardia del regime fluviale, difesa, rafforzamento e rinaturalizzazione degli argini, protezione delle spalle e dei ponti, creazione di piane esondabili (flood zone) torrente Ete Vivo"

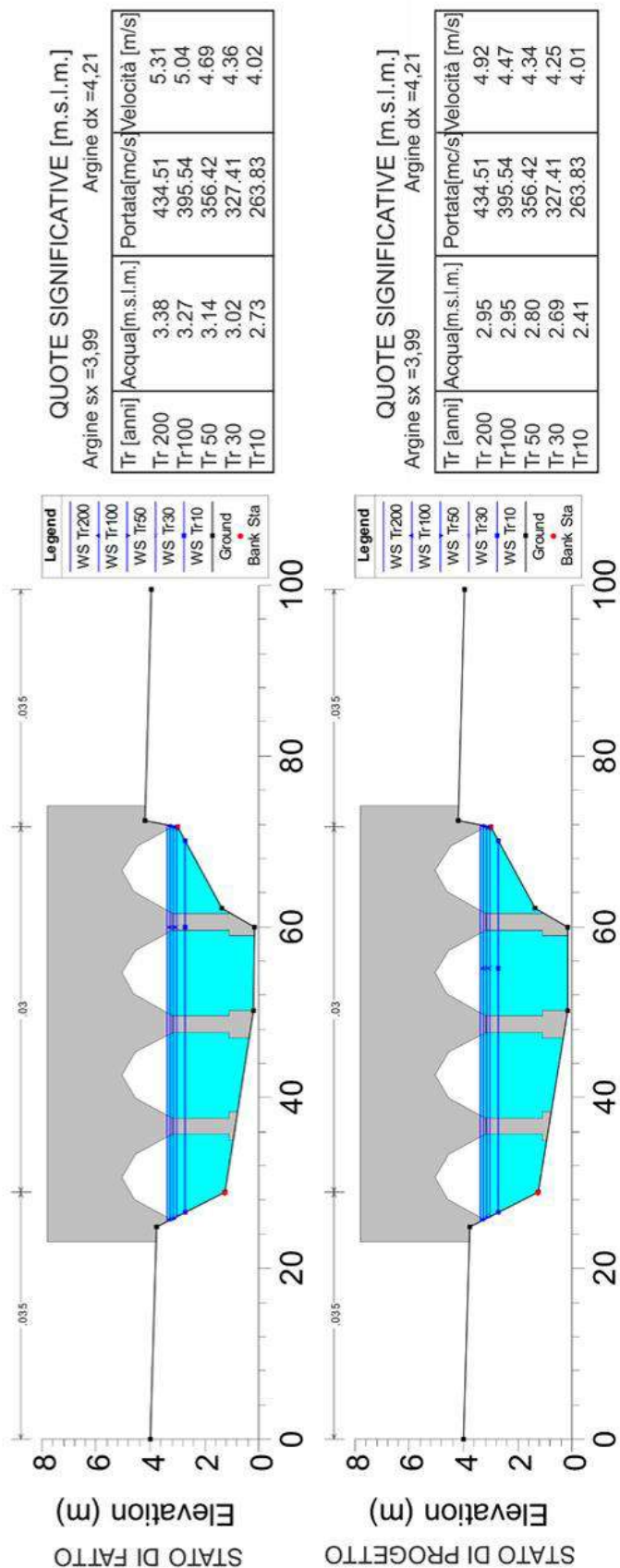
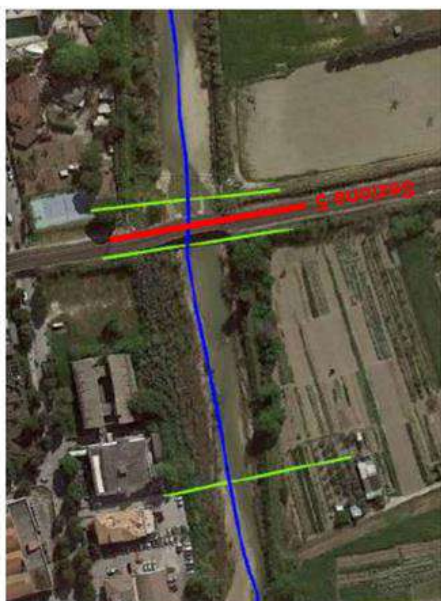


Figura 10.2.5.5.6

10.3 VERIFICA SEMPLIFICATA: ANALISI IDROGRAFICA E GEOMORFOLOGICA

10.3.1 Analisi geomorfologica del tratto di interesse del fiume Ete Vivo

Il tratto terminale verso valle del Fiume Ete Vivo, quello più strettamente in connessione con l'abitato di Porto San Giorgio le cui abitazioni ed infrastrutture arrivano a lambirne gli argini in sinistra idrografica, ha una lunghezza di poco più di 1 km (dal ponte dell'A14 alla foce) ed una direzione prevalente verso est/nord-est. Come già citato in precedenza in tale tratto, oltre all'attraversamento dell'autostrada, si hanno anche il ponte della strada statale 16 a circa 800 m dalla zona di foce e il ponte di attraversamento della linea ferroviaria Bologna-Bari a meno di 500 m dalla zona di foce. Un nuovo ponte ciclo-pedonale è in fase di realizzazione proprio in prossimità della zona di foce, vicino al molo sud del porto ma, come illustrato con fotografie al paragrafo 10.2.2, attualmente ne sono state realizzate solamente le pile di fondazione in corrispondenza degli argini in destra e sinistra idrografica, lavori che hanno portato anche al momentaneo taglio ed abbassamento dell'argine sinistro di circa 50 cm, altezza di argine che andrà ovviamente ripristinata al termine della costruzione del ponte. L'Ete Vivo compie una curva ad ampio raggio in corrispondenza del ponte autostradale dove la sua direzione passa da nord est a est e poi prosegue rettilineo fino a sfociare nel Mare Adriatico. Proprio a partire da questa ansa sono state realizzate numerose opere arginali e di difesa di sponda dove le costruzioni si avvicinano maggiormente agli argini. Come osservabile dalla foto aerea fuori scala con indicazione delle **“Opere antropiche in alveo e di difesa spondale nel tratto finale del fiume Ete Vivo”**, oltre alle arginature in terra, tutto il tratto tra il ponte autostradale e quello della statale è stato fatto oggetto di realizzazione di murature in cls. armato o in gabbionate a rialzo/rinforzo degli argini.

Oltre il ponte della statale e procedendo verso il mare, le protezioni arginali sono inizialmente costituite da muri in calcestruzzo armato, per circa 100 in sinistra idrografica e per circa 80 in destra, poi prevalentemente in terra in sinistra mentre in destra idrografica sono ancora presenti protezioni in muratura, gabbionate e scogliere di massi in corrispondenza della centrale di gas nel comune di Fermo.

Gli argini in terra e le opere antropiche rilevate sono in generale in buone condizioni e ben mantenute eccezion fatta per una gabbionata realizzata a difesa di un'erosione di sponda in destra idrografica nel tratto compreso tra il ponte della S.S. 16 e il ponte ferroviario che, probabilmente a causa di scarso approfondimento della fondazione o dell'erosione verticale in alveo, ha subito uno scalzamento alla base ed è collassata per buona parte, divenendo potenzialmente dannosa in caso di crollo in alveo per la locale riduzione della sezione idraulica (vedi documentazione fotografica nella sopra citata tavola con indicazione opere antropiche).



Nella *“Carta dei processi geomorfologici in atto”* tratta dallo “Studio idrogeomorfologico e della qualità ambientale dei bacini idrografici della Regione Marche” a cura del Consorzio di Bonifica Marche, è evidenziato come a partire dal ponte della S.S.16 fino alla zona di foce in sinistra idrografica, lato Comune di P.S. Giorgio, il fiume Ete Vivo sia in prevalente deposizione mentre in fondo d’alveo si hanno fenomeni di erosione verticale da media a elevata intensità.

In destra idrografica, sotto il comune di Fermo, la situazione è decisamente più critica con fenomeni di elevata erosione laterale, causa probabile del dissesto della gabbionata prima citata, e con *“Aree di probabile superamento/rottura delle sponde”*.

La Regione Marche nel 2004 aveva promosso ed eseguito un rilievo topografico di tutte le aste fluviali principali della provincia di AP tracciando inoltre numerose sezioni sia in tratti di alveo liberi da opere antropiche sia in corrispondenza di ponti, potenzialmente le sezioni più critiche in caso di ostruzioni delle luci durante gli eventi di piena. Per il presente lavoro si è reperito tale studio valutando che, pur essendo passati circa diciassette anni dal rilievo della Regione, se ne potessero comunque trarre indicazioni importanti. Nell’allegato **“Stralcio C.T.R. scala 1:10.000 con tracce delle sezioni di alveo fluviale da rilievo della Regione Marche del 2004 e da studio della Regione Marche del 2019”**, sono segnate le posizioni delle numerose sezioni reperite e, nella tabella, l’area delle sezioni, la loro quota in dx e sx idrografica e la differenza di quota le due sponde. La tabella di sintesi del “Rilievo 2004”, a partire dalla sez.103, cioè a partire dalla zona nella quale l’abitato di Porto San Giorgio si avvicina maggiormente all’alveo, la sponda in sinistra idrografica (lato P.S. Giorgio) ha sempre una quota maggiore o in alcuni casi uguale a quella in destra idrografica (lato Fermo). Questo dato è stato ripreso nel Piano Comunale di Emergenza di Protezione Civile, citato al paragrafo 10.2.5 nel quale si valuta un minor rischio di esondazione nell’abitato di Porto San Giorgio rispetto a quello di Fermo in quanto l’argine in sinistra idrografica sarebbe per buona parte più elevato rispetto a quello in destra; ne consegue che eventuali sormonti d’argine per piene eccezionali dell’Ete Vivo sarebbero stati molto più probabili nel lato Fermano rispetto al lato Sangiorgese.

La tabella di sintesi del “Rilievo 2019” delle sezioni fluviali prodotte dal *“Servizio tutela, gestione e assetto del territorio -P.F. Tutela del territorio di Fermo”*, mostra che a partire dal ponte della FF.SS. (sezioni 4, 5 e 6) la sx idrografica ha sponde più basse, notevolmente più basse nel caso della sezione 2; nella sez.3 la sx è più alta ma non così alta da impedire una esondazione per eventi alluvionali con T.R. 200 anni (vedi capitolo 10.2.5.5). La sezione 1 è prossima al mare e non costituisce pericolo perché ormai le difese in cls armato del braccio sud del porto impediscono ogni possibile esondazione verso Porto San Giorgio. La comparazione dei dati dei rilievi del 2004 con quelli del 2019 sembra mostrare che il gap di quota a sfavore della sponda Fermana, almeno dal ponte della FF.SS. al mare che è il tratto fluviale prossimo alle aree in



variante al P.R.P. in variante, sia stato in buona parte colmato per cui le considerazioni che volevano la sponda Sangiorgese generalmente più protetta rispetto a quella Fermana sono ad oggi sostanzialmente decadute; a tal proposito si veda il confronto tra le sez109_2004/sez3_2019 dove il gap a favore della sponda sx si è dimezzato dal 2004 al 2019 e il confronto tra le sez.108_2004/sez.5_2019 sul ponte FF.SS. dove la lieve prevalenza di quota di +10cm della sponda sx rilevato nel 2004 si inverte nel 2019 dove prevale la sponda dx con un +22cm).

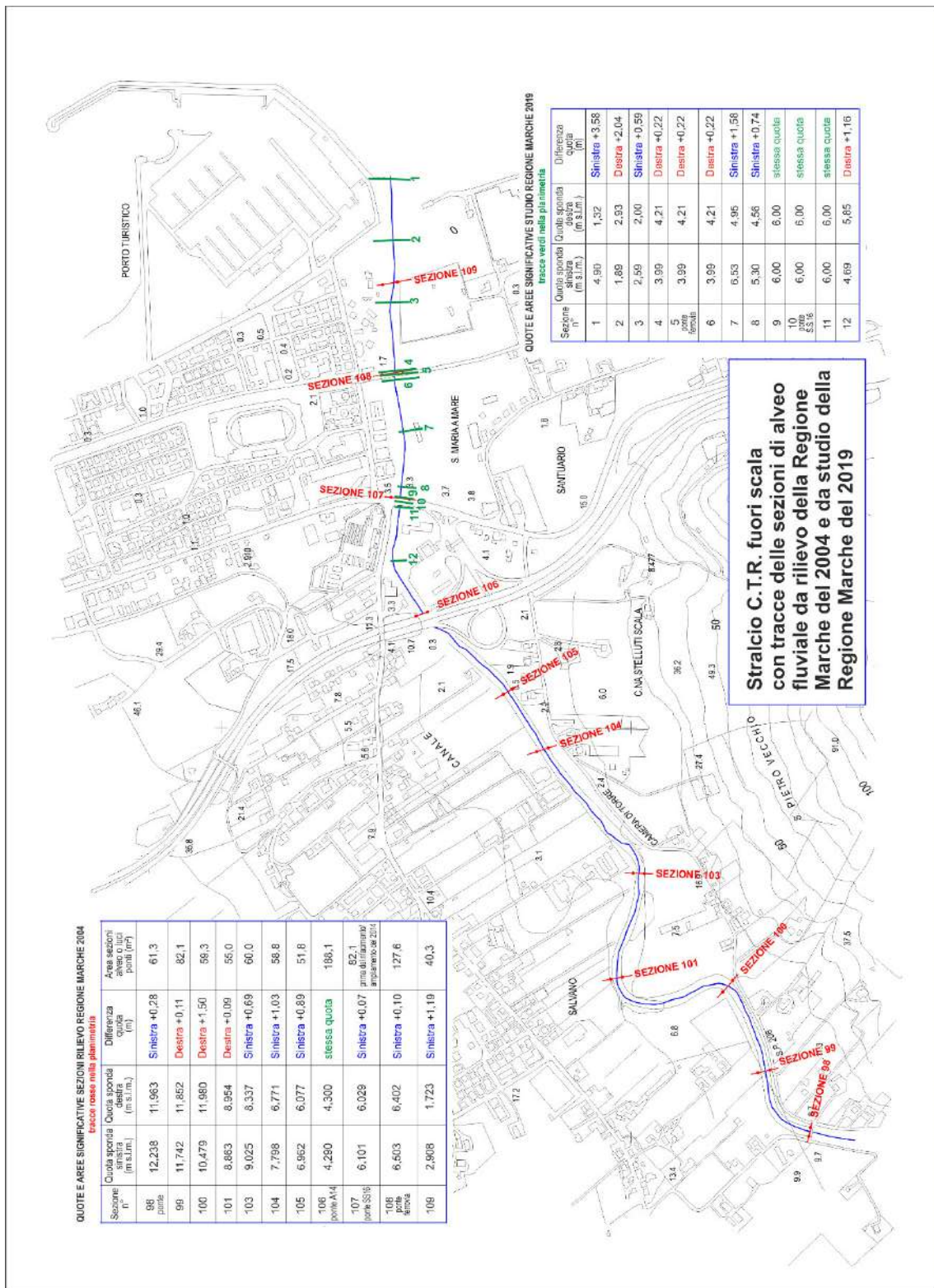


Figura 10.3.1.1

10.3.2 Fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica

Secondo quanto indicato nella D.G.R. 53/2014 *“Norme in materia di riqualificazione urbana sostenibile e assetto idrogeologico”* che redige gli Indirizzi, modalità e indicazioni tecnico operative per la redazione della verifica di compatibilità idraulica (L.R. 22/2011), la fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica è *“la zona che comprende le aree inondabili per piene eccezionali relative a tempi di ritorno di centinaia di anni, le forme fluviali riattivabili con piene eccezionali, le aree interessate/interessabili dall'evoluzione-mobilità dell'alveo e delle scarpate fluviali”*. Nella medesima D.G.R. si suggerisce di intendere tale fascia come *“adeguatamente cautelativa”* e di non considerare come elementi di confinamento e delimitazione strutture arginali o altro tipo di rilevato.

Per la determinazione dell'ampiezza della fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica si è partiti da una sintesi comparativa delle cartografie e degli studi reperiti e analizzati al precedente capitolo ed in particolare si sono valutate in modo approfondito:

1. la *“Cartografia del Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Marche (P.A.I)” (Regione Marche)*
2. lo *“Studio per la mitigazione del rischio idrogeologico” (Consorzio di Bonifica e dell'UniCam-2017)*
3. lo studio idrologico e idraulico di *“Proposta di mitigazione del rischio idraulico ai sensi dell'art. 23 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale (PAI) – 2009” – (Geco Sistema-ing. Mazzoli e Broccoli) –*
4. lo studio idrologico e idraulico *“Salvaguardia del regime fluviale, difesa, rafforzamento e rinaturalizzazione degli argini, protezione delle spalle e dei ponti, creazione di piane esondabili (flood zone) torrente Ete Vivo – 2019” (Servizio tutela, gestione e assetto del territorio -P.F. Tutela del territorio di Fermo)*

Lo studio Consorzio Bonifica-UniCam (2017), considera una portata al colmo con T.R. 200 anni stimata in 324 m³/s ed è lo studio che fornisce il maggior rapporto tra aree inondabili e la massima portata alla foce dell'Ete Vivo; lo studio ferma la rappresentazione dell'area esondabile qualche centinaio di metri prima della costa, quindi non considera la gran parte dell'area in variante al P.R.P. ed esclude del tutto l'area portuale, probabilmente per limiti dovuti al modello digitale del terreno utilizzato (lidar 1×1 m). Anche la cartografia del P.A.I. in sinistra idrografica limita inspiegabilmente l'area esondabile al margine dell'area portuale, pur non essendo presente nella zona meridionale del porto alcun elemento antropico che ostacoli il naturale deflusso dell'acqua verso quote più basse e quindi verso il mare.



Nello studio idrologico-idraulico della Geco-Sistema (2019), commissionato per una valutazione di dettaglio dei tiranti idrici invasabili nei pressi dell'area commerciale "Oasi", sono stati ipotizzati, anche per le aree in variante al P.R.P. in sinistra idrografica, vari scenari di invasamento per fenomeni di esondazione, con portate al colmo di $415 \text{ m}^3/\text{s}$ per un tempo di ritorno di 200 anni.

Nello scenario di "post-mitigazione" per l'area compresa tra il ponte delle FF.SS. e la foce viene stabilito un tirante idrico massimo di +2,1 m.

Verifiche con tempi di ritorno inferiori forniscono pressoché lo stesso risultato a causa dei differenti valori di livello statico marino adottati (cfr. cap. 10.2.5.4). Lo stesso studio mostra poi una tavola delle linee preferenziali di deflusso definite su base topografica che mostrano un interessamento dello scorrimento idrico delle acque esondate anche nella parte di aree in variante al P.R.P. prossime al fiume Ete Vivo.

Le valutazioni idrologiche e idrauliche riportate nello studio del "Servizio tutela, gestione e assetto del territorio -P.F. Tutela del territorio di Fermo" (2019), lo studio più recente che si è potuto analizzare per il presente lavoro per la variante al P.R.P. (v. cap. 10.2.5.5 e cap. 10.3.1), evidenziano che:

- dal ponte delle FF.SS. al mare, le sezioni n. 2 e n. 4 mostrano una quota maggiore in destra idrografica con esondazione preferenziale in sinistra anche per tempi di ritorno inferiori ai 200 anni;
- nella sezione 3 la sinistra idrografica prevale come quota rispetto alla destra ma le verifiche idrauliche prevedono una esondazione anche in sinistra per tempi di ritorno anche inferiori ai 200 anni.

La sintesi di tutti i lavori analizzati, tra i quali i più attuali e significativi sopra riepilogati tengono conto a) di tutti i recenti lavori di miglioramento dell'efficienza dell'alveo, b) dell'allargamento delle luci del ponte sulla SS.16, c) delle opere di mitigazione poste in atto sulle sponde, d) del fatto che la recente realizzazione della rotatoria adiacente al ponte sulla SS.16 possa diminuire/rallentare un eventuale flusso idrico che dovesse provenire da aree poste più a monte dello svincolo autostradale, in sinistra idrografica porta a prefigurare uno scenario di pericolosità idraulica di possibile esondazione nell'area compresa tra il ponte della ferrovia e il mare, anche per eventi meteorici parossistici con tempi di ritorno <200 anni.

I tiranti idrici massimi di +2.1m previsti nell'area dallo studio redatto da "GecoSistema" sono molto probabili ma, considerato che le condizioni al contorno imposte nelle verifiche di tale studio e anche del più recente lavoro del "Servizio tutela, gestione e assetto del territorio -P.F. Tutela del territorio di Fermo":



- impongono nel modello di calcolo adottato che l'esondazione avvenga solo per tracimazione dagli argini, non considerando quindi l'effetto di possibili rotture per erosione (anche parziali) o sfondamento degli stessi argini;
- non considerano possibili parziali occlusioni delle luci dei ponti;
- adottano un livello statico a mare che potrebbe anche innalzarsi rispetto a quanto imposto nelle verifiche idrauliche analizzate,

si ritiene corretto stabilire un franco di + 0.3 m sul massimo tirante idrico nell'area calcolata nelle verifiche idrauliche di GecoSistema, stabilendo quindi il limite dell'area esondabile su base geomorfologica nella quota della isoipsa +2,4 m. Tale quota sul livello del mare corrisponde a circa +0.5 m rispetto alla massima quota di esondazione indicata dal limite delle aree esondabili riportata dalla cartografia P.A.I.

In mancanza di un rilievo a curve di livello di dettaglio a scala adeguata dell'area in sinistra idrografica dell'Ete Vivo dal ponte FF.SS. al mare, è stata sviluppata, per il presente studio, una carta a curve di livello con equidistanza 0,3 m elaborando tramite GIS il rilievo lidar D.T.M. della fascia costiera a maglia 2x2 m; pur tenendo conto dell'imprecisione che l'elaborazione di un DTM con maglia di tale lato può comportare in una zona a scarsa pendenza (sub-pianeggiante), le curve di livello tracciate ad intervalli di 0,3 m (vedi planimetria allegata) hanno permesso di costruire un andamento topografico ritenuto di sufficiente dettaglio dell'area in sinistra idrografica dal ponte della ferrovia alla foce del fiume, inclusa l'area portuale.

Partendo da tale carta si è ricavata la fascia di pertinenza fluviale in sinistra idrografica del fiume Ete Vivo, dal ponte della ferrovia alla foce innalzando l'attuale limite di esondazione fornito dal P.A.I. alla quota dell'isoipsa +2.4 m sul l.m.m.

Il limite dell'area di pertinenza fluviale in prossimità del porto, dove le quote topografiche scendono rapidamente verso le banchine e quindi al mare, è stato definito anche tenendo conto della situazione dei manufatti esistenti (muri in calcestruzzo che bordano la strada di accesso al porto), dell'andamento delle isoipse e dei conseguenti flussi idrici che si creerebbero verso il mare nel caso di affluenza di acque di inondazione (v. allegato *Planimetria aree in variante al P.R.P. con indicazione perimetro area esondabile PAI e perimetro fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica*)

10.4 CONCLUSIONI DELLA VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

10.4.1 Rapporto aree in variante con la fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica

Con la verifica di compatibilità idraulica svolta nelle due fasi preliminare e semplificata, si è giunti alla definizione della fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica.

Dalla *“Planimetria aree in variante al P.R.P. con indicazione perimetro area esondabile P.A.I. e perimetro fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica”* allegata alla scala 1:2.000 nella quale si confrontano le strutture e infrastrutture in progetto con tale fascia di pertinenza, si evidenzia che la parte meridionale della **Zona B-sud**, dove attualmente è ubicato il cantiere navale, potrebbe essere raggiunta da eventuali flussi idrici di esondazione del fiume Ete Vivo, flussi che, pur con un tirante idrico limitato, visto il veloce smaltimento nel vicino specchio di mare, non andrebbero ostacolati. Oltre alla parte meridionale della Zona B-sud, anche le infrastrutture in progetto nelle aree più vicine agli argini fluviali (nuova viabilità con rotatoria e parcheggi in prossimità del porto) ricadono nella fascia di pertinenza fluviale, oltre ad essere già parzialmente incluse all'interno del perimetro di esondazione tracciato nella cartografia P.A.I. Nella planimetria suddetta i parcheggi in progetto in prossimità dell'argine fluviale e subito alle spalle del ponte della ferrovia non sono stati compresi all'interno della fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica in quanto già ricadenti interamente nell'area esondabile P.A.I. e pertanto soggetti alla vincolistica di tale piano.

Si rammenta inoltre che le aree in prossimità del piede esterno degli argini fluviali sono a tutt'oggi vincolati anche dal R.D. 523/1904 secondo il quale in tali aree sono vietati *“Le piantagioni di alberi e siepi, le fabbriche, gli scavi e lo smovimento del terreno a distanza dal piede degli argini e loro accessori minore di quella stabilita dalle discipline vigenti nelle diverse località, ed in mancanza di tali discipline a distanza **minore di metri quattro** per le piantagioni e smovimento del terreno e **di metri dieci** per le fabbriche e per gli scavi”*

La L.R. 23/11/2011 e l'allegato 1 alla successiva D.G.R. 53 del 27/01/2014 definiscono al cap. 2.4.3.1 gli *“Interventi permessi nella fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica”* di cui si riporta stralcio: *omissis...“... sono consentiti unicamente varianti che prevedono il mantenimento delle quantità risultanti dalle previsioni vigenti senza alcun incremento di superfici, con l'adozione di misure di tipo edilizio-costruttive idonee a mitigare il rischio, adottando per il piano di calpestio delle superfici interne delle strutture, un franco di sicurezza di almeno 0.5 m rispetto alle quote massime della fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica;”... omissis.*

10.4.2 Pericolosità e vocazionalità delle aree in variante

A sintesi delle cartografie reperite e prodotte specificamente per il presente lavoro e delle conoscenze litostratigrafiche, geotecniche e sismiche acquisite è stata realizzata una carta della pericolosità su base sismica e idraulica e la derivata carta della vocazionalità dell'area in variante al PRP.

Nella allegata "Planimetria aree in variante al P.R.P. con indicazione pericolosità e vocazionalità alla scala 1:2000" si può notare che l'area in studio è stata suddivisa in tre settori a differenti pericolosità potenziali e conseguenti classi di vocazionalità all'edificazione:

1) vocazionalità ALTA: comprende quelle aree nelle quali le pericolosità geomorfologiche e sismiche potenziali sono dovute a flash flood, liquefazione dei terreni prevalentemente sabbiosi e amplificazione sismica in caso di elevati contrasti di velocità (impedenza) stratigrafica e/o inversioni di velocità;

2) vocazionalità MEDIA: comprende quelle aree nelle quali, oltre alle potenziali pericolosità dell'area precedente, si aggiungono potenziali rischi da alluvioni marine, trovandosi in zone che, pur all'interno dei bracci del porto, potrebbero comunque essere raggiunte dall'acqua in caso di onde particolarmente alte, sebbene si ritenga tale eventualità piuttosto improbabile;

3) vocazionalità BASSA: comprende quelle aree nelle quali, oltre alle potenziali pericolosità delle aree precedenti, si aggiungono potenziali rischi dovuti all'esondazione del fiume Ete Vivo. Sono comprese in questa fascia, infatti, le aree che ricadono all'interno della fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica definita dalla verifica di compatibilità idraulica.

Dal rapporto tra le zone a differente vocazionalità e le aree oggetto di variante al P.R.P. si evince che:

- nella zona a vocazionalità alta ricade l'area definita nella presente relazione come **zona C-Ovest** cioè quella parte di progetto che prevede la riqualificazione di una zona urbana tra via Pergolesi, via Napoli e il tracciato ferroviario;
- nella zona a vocazionalità media ricadono l'intera area definita nella presente relazione come **zona A-nord**, la parte settentrionale della **zona B-sud** e le strutture in progetto a ridosso del braccio sud del porto;
- nella zona a vocazionalità bassa ricadono sia la parte meridionale della **zona B-sud** (attualmente occupata dal cantiere navale) sia l'area destinata al miglioramento della viabilità e dei parcheggi posta nelle immediate vicinanze all'argine in sinistra idrografica del fiume Ete Vivo.

11. PRESCRIZIONI

11.1 Prescrizioni di tipo sismico

Visti i risultati delle indagini sismiche svolte, in tutte le aree a differente vocazionalità (alta, media e bassa) si prescrive l'esecuzione di analisi di risposta sismica locale da svolgere contestualmente ai piani attuativi e/o ai progetti esecutivi. Dal report delle indagini sismiche emerge come il profilo di Vs ipotizzato nell'area della MASW-B (v. fig. 11.1.2 data 2), svolta grosso modo in corrispondenza della linea di costa presente in epoca antecedente la costruzione del porto, mostra un contrasto di impedenza profondo a circa -28m dal p.c. e una inversione di velocità superficiale. Contrariamente al profilo di Vs sviluppato per l'area della MASW-B, il profilo di Vs ipotizzato nell'area della MASW-A (v. fig. 11.1.2 data 1), non mostra netti contrasti di impedenza di taglio. Di seguito si riportano la figura 11.1.1 con la traccia della interpolazione tra le due prove sismiche svolte, i profili di Vs e la loro interpolazione (v. figure 11.1.2 e 11.1.3.).

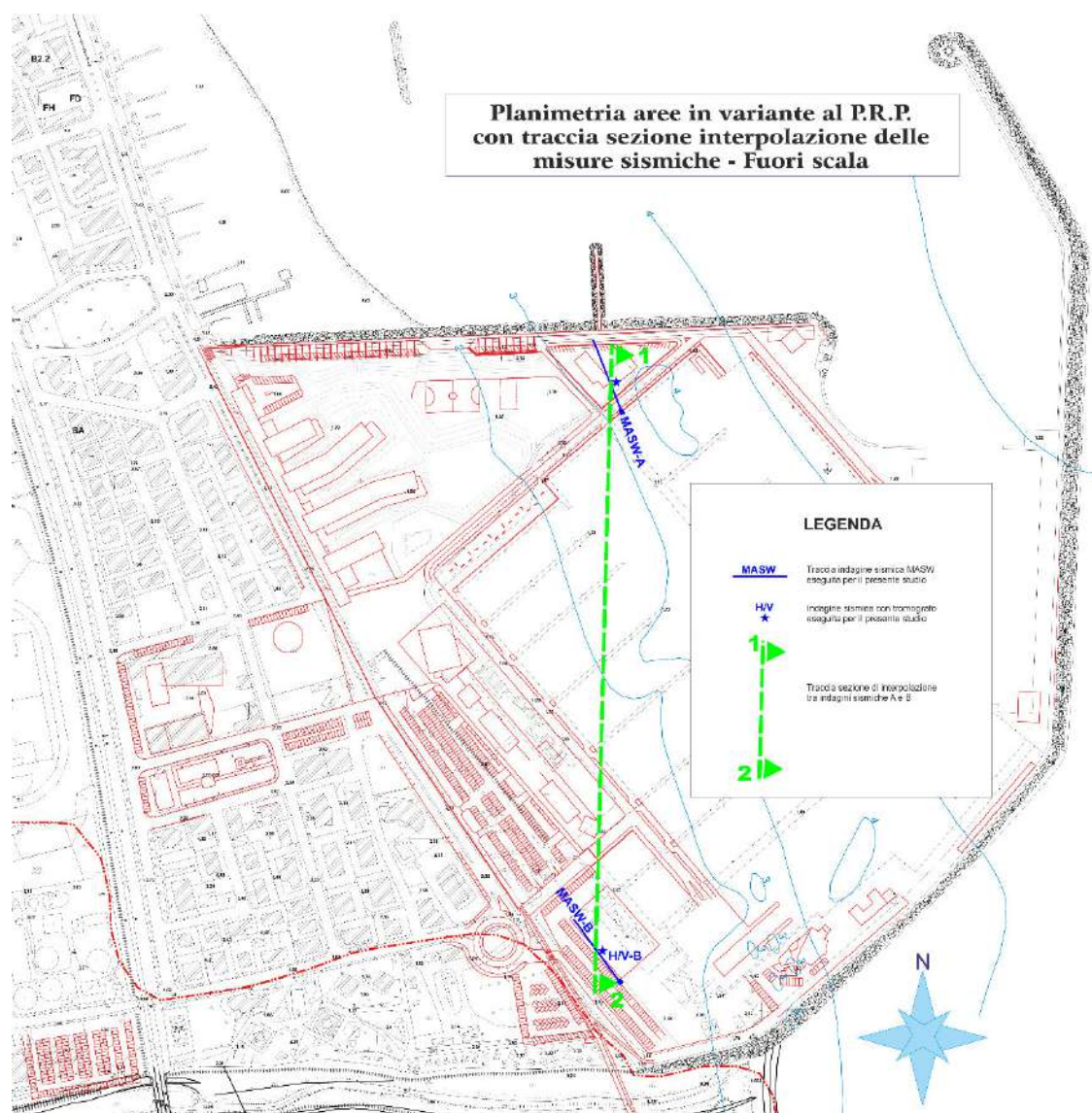
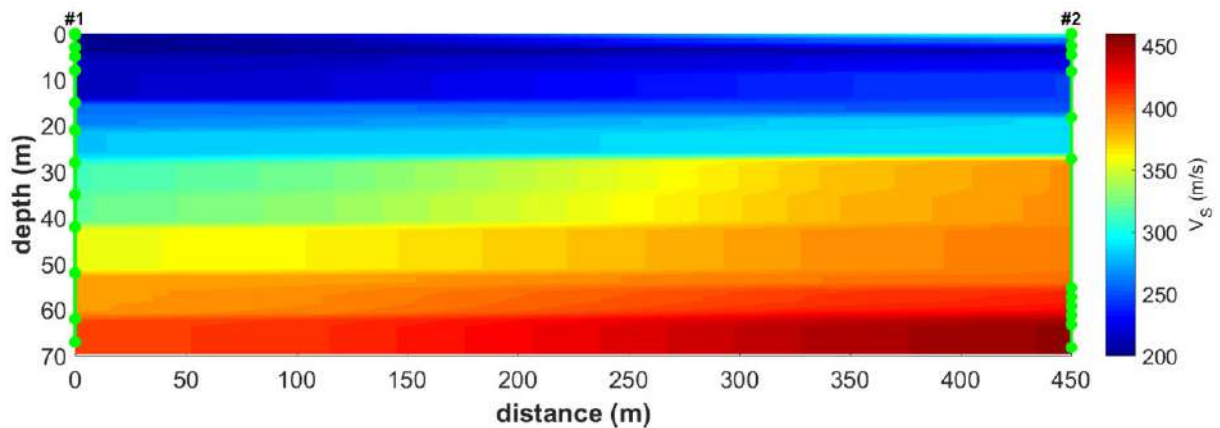
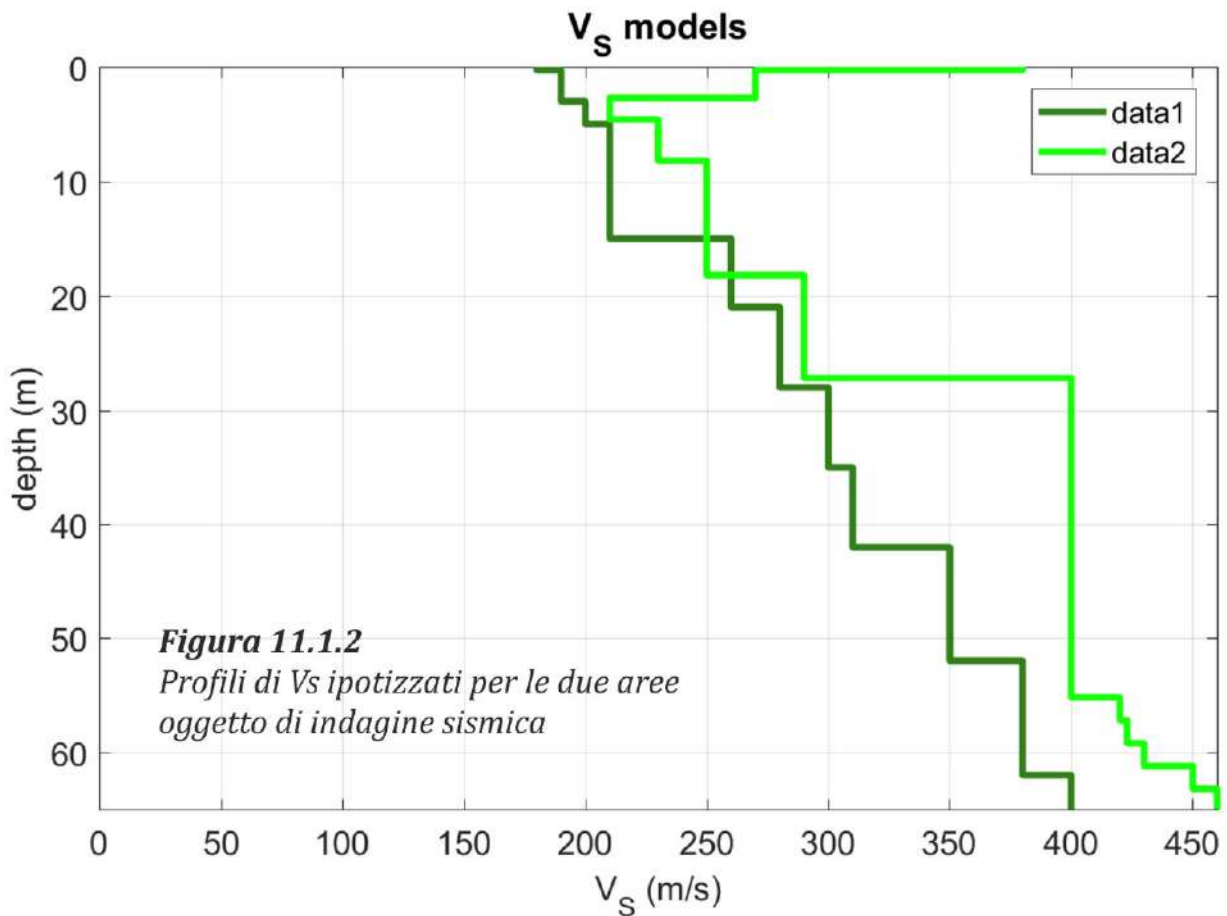


Figura 11.1.1



11.2 Prescrizioni di tipo geotecnico

Sebbene siano già prescritte dalle recenti norme tecniche per le costruzioni (NTC2018), si ribadisce l'importanza della valutazione alla liquefazione dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area di sedime delle aree di futura edificazione, in tutte le aree a differenti vocazionalità.



11.3 Prescrizioni di tipo idraulico

L'allegato 1 della D.G.R. 53 del 27/01/2014 redatto a completamento della L.R. 23/11/2011 sulla compatibilità e invarianza idraulica, al cap. 2.4.3.1 prescrive che: *“ Una volta eseguite le analisi con verifica Semplificata, all'interno della fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica sono consentiti unicamente varianti che prevedono il mantenimento delle quantità risultanti dalle previsioni vigenti senza alcun incremento di superfici, volumetrie, “esposizione” e senza la realizzazione di interrati, con l'adozione di misure di tipo edilizio-costruttivo idonee a mitigare il rischio, adottando, per il piano di calpestio delle superfici interne delle strutture, un franco di sicurezza di almeno 0,5 m rispetto alle quote massime della fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica; ai fini dell'applicazione dei criteri di mitigazione tali quote si considerano quelle massime interne e/o sul bordo della fascia di pertinenza fluviale su base geomorfologica. In ogni caso, in assenza di adeguate misure di mitigazione della pericolosità, non sono consentite edificazioni entro le aree interessabili dalla possibile divagazione dell'alveo e nella fascia di rispetto idraulica degli argini di cui al R.D. 523/1904”*

Oltre a quanto già prescritto dalla D.G.R. 53 del 27/01/2014 sopra citata, ogni opera di nuova costruzione realizzata nell'area a bassa vocazionalità, ovvero nell'area in variante al P.R.P. compresa nell'ambito di pertinenza fluviale su base geomorfologica, dovrà essere eseguita in modo da non ostacolare o ridurre al minimo l'ostacolo al libero deflusso delle eventuali acque di inondazione verso il mare; si dovranno adottare soluzioni che non creino deviazione o barriere e/o rigurgiti ai flussi d'acqua a danno di edificazioni esistenti o aggravamento di pericolo per la pubblica incolumità, anche agendo sull'orientamento delle opere e/o in qualunque modo il progettista riterrà idoneo a produrre una consistente mitigazione al pericolo di esondabilità.

Ogni opera che ricada entro l'ambito interessato da potenziali fenomeni di allagamento da flash flood posta all'interno dell'ambito portuale (vedi Mappa pericolosità- scala 1:7.500 tratta da *“Piano di gestione del rischio alluvioni distretto idrografico dell'appennino centrale”*) dovrà essere realizzata con la quota del piano terra sollevata almeno + 10 cm rispetto alla quota del piano circostante di progetto.

Ancona, dicembre 2020

Geologo Marco Brunelli