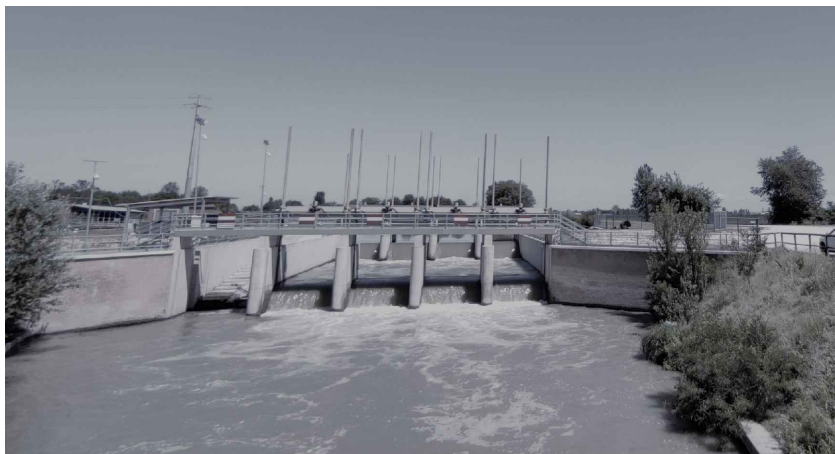




LIFEEL

LIFE19 NAT/IT/000851

Misure urgenti nel Mediterraneo Orientale per la conservazione a lungo termine dell'anguilla europea (*Anguilla anguilla*)



ACTION A3 Progettazione di passaggi per anguille per riaprire oltre 1.000 km di habitat per la migrazione delle ceche verso monte

PROGETTO ESECUTIVO



Data revisione:

Indice revisione:

Natura della modifica:

Settembre 2022

00

Prima emissione

Dicembre 2023

01

Aggiorn.DLgs 36/2023

Aprile 2024

02

Aggiornamento

Titolo elaborato:

Relazione geologica-geotecnica

Ns. Rif.

Data

Scala

Dim. foglio

Elaborato n°

20S30

Settembre 2022

--

A4

002.E.GG.RS_02

DIRETTORE TECNICO:

Dott. Ing. Massimo Sartorelli

PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Beniamino Barenghi



Address: Via Repubblica 1 - 21020 - Varano Borghi (VA)

Tel: +39 0332.961097

Mail to: info@graia.eu - graia@pec.it

Redazione

Dr. Cesare M. Puzzi, Dr.ssa Stefania Trasforini,
Dr.ssa Alessandra Ballerio

Verifica

Dott. Ing. Massimo Sartorelli

Approvazione

Dott. Ing. Massimo Sartorelli





LIFEEL - LIFE19NAT/IT/000851

MISURE URGENTI NEL MEDITERRANEO ORIENTALE PER LA CONSERVAZIONE
A LUNGO TERMINE DELL'ANGUILLA EUROPEA (ANGUILLA ANGUILLA)



ACTION A3: PROGETTAZIONE DI PASSAGGI PER ANGUILLE PER RIAPRIRE OLTRE
1.000 KM DI HABITAT PER LA MIGRAZIONE DELLE CECHE VERSO MONTE

SOMMARIO

PREMESSA	2
1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELLE AREE DI INTERESSE E BREVE DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO	3
1.1 INQUADRAMENTO GENERALE.....	4
1.2 IL SOSTEGNO DI VALPAGLIARO: STATO DI FATTO E PROGETTO	5
1.3 IL SOSTEGNO DI TIENI: STATO DI FATTO E PROGETTO	7
1.4 IL SOSTEGNO DI VALLE LEPRI.....	10
2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE REGIONALE.....	13
3 ASSETTO STRATIGRAFICO SUPERFICIALE DELLE AREE DI INTERVENTO	15
4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLE AREE DI INTERVENTO	20
4.1 AREA DEL SOSTEGNO DI VALPAGLIARO	21
4.2 AREA DEL SOSTEGNO DI TIENI	23
4.3 AREA DEL SOSTEGNO DI VALLE LEPRI.....	25
5 INQUADRAMENTO SISMICO	28
5.1 CENNO AL QUADRO NORMATIVO E DISPOSTI GENERALI.....	28
5.2 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	33
6 INDAGINE MASW	35
6.1 SOSTEGNO DI VALPAGLIARO	37
6.2 SOSTEGNO DI TIENI	40
6.3 SOSTEGNO DI VALLE LEPRI.....	42
7 MODELLAZIONE SISMICA	45
8 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.....	49
9 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	50



PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione geologica e di caratterizzazione geotecnica relativa agli interventi di conservazione facenti parte dell'Azione A.3 del Progetto Life Natura "LIFEEL" LIFE19NAT/IT/000851 "Urgent measures in Eastern Mediterranean for the long term conservation on endangered European Eel", progetto cofinanziato dall'Unione europea, il cui capofila è rappresentato dalla Regione Lombardia con il partenariato di Regione Emilia-Romagna, Parco Delta del Po Veneto, Parco Delta del Po Emiliano, Parco Lombardo della Valle del Ticino, Università di Bologna e di Ferrara e la società Graia S.r.l.

La presente relazione è stata curata dalle scriventi Geol. Miriam Toaldo e Geol. Elena Nostrani a supporto del Progetto Esecutivo dei sei passaggi per pesci previsti in territorio italiano e in particolare nella Regione Emilia Romagna. **La relazione costituisce un approfondimento di quella già presentata in sede di progettazione definitiva degli interventi, arricchita con i risultati delle prove geotecniche e sismiche effettuate presso i tre siti dove è prevista la realizzazione di opere strutturali. Il presente documento non tratta invece le tre aree di intervento lungo il Fiume Panaro, dove è prevista la formazione di rampe in pietrame per la risalita della fauna ittica, non oggetto di calcoli strutturali. Per la caratterizzazione geologica e geotecnica di tali siti, si rimanda alla relazione geologica preliminare predisposta nell'ambito della progettazione definitiva degli interventi.**

Il presente studio è stato condotto nel rispetto delle seguenti norme:

- D.P.R. 328/2001 "Modifiche ed integrazioni della disciplina dei requisiti per l'ammissione all'esame di Stato e delle relative prove per l'esercizio di talune professioni, nonché della disciplina dei relativi ordinamenti";
- Ordinanza P.C.M. n° 3274/2003 e ss.mm.ii "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e ss.mm.ii;
- L.R. 30 ottobre 2008, n° 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico" e s.m.i.;
- Lgs. 3.4.2006, n° 152 "Norme in materia ambientale" e s.m.i.;
- L.R. Emilia-Romagna 30.11.2009 n° 23 "Norme in materia di tutela e valorizzazione del paesaggio. Modifica della Legge Regionale 24.03.2000 n. 20 (Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio) e norme transitorie in merito alla Legge Regionale 30.10.2008 n.19 (Norme per la riduzione del rischio sismico)";
- D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (NTC 2018);
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» » di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018, Circolare 21 gennaio 2019.

L'obiettivo dello studio è la caratterizzazione delle aree dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico, sismico e geotecnico, sulla base degli esiti delle indagini geologiche eseguite e informazioni reperite da bibliografia esistente.



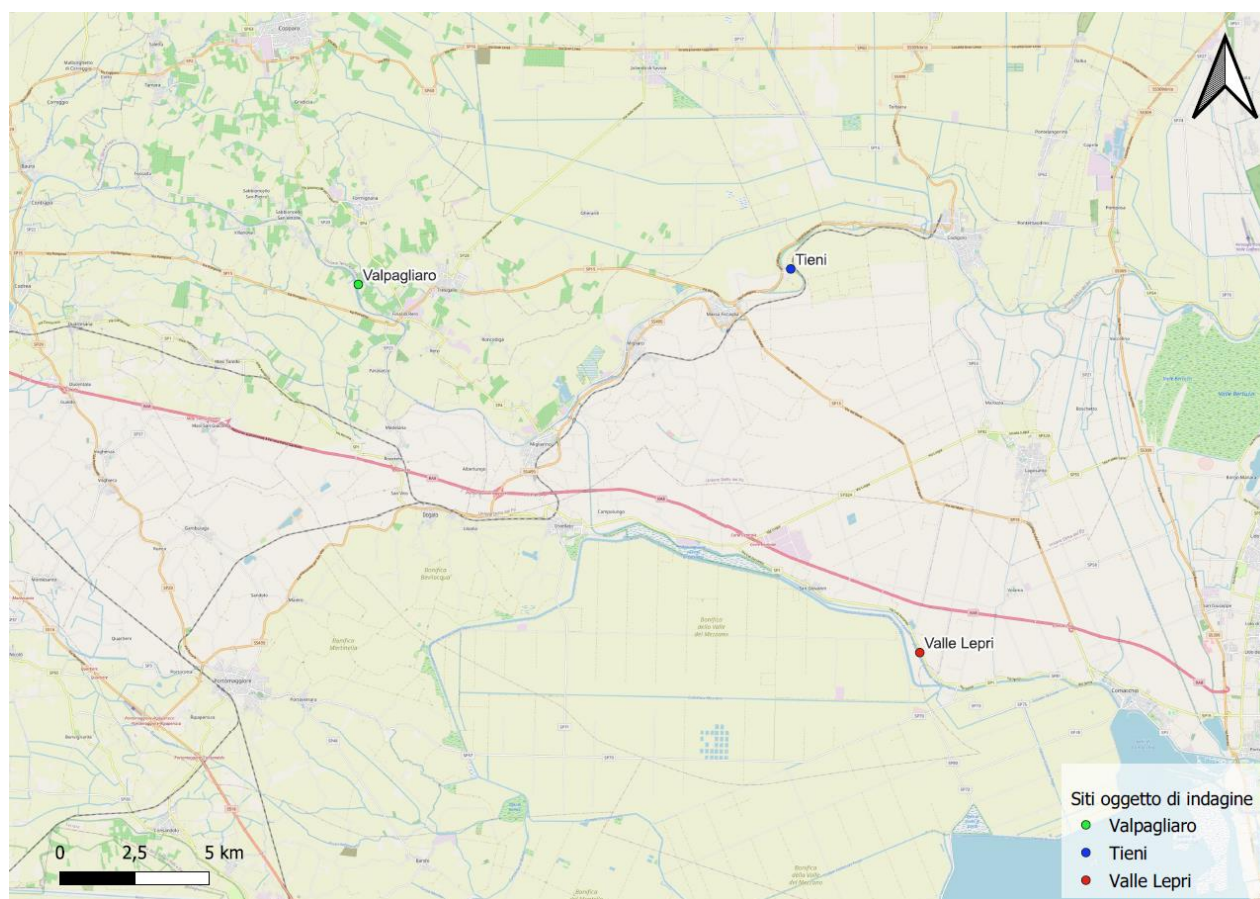
1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELLE AREE DI INTERESSE E BREVE DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO

I tre passaggi per la fauna ittica dove è prevista la realizzazione di opere strutturali sono così dislocati:

- 2 passaggi per pesci a bacini successivi abbinati a passaggi specifici per anguille in corrispondenza di due sostegni presenti su un ramo terminale del Fiume Po (Sostegno di Valle Lepri e sostegno di Tieni);
- 1 passaggio specifico per anguille in corrispondenza di un terzo sostegno posizionato a monte degli altri due sostegni interessati dal progetto (Sostegno di Valpagliaro).

Di seguito si descrivono brevemente tali aree.

FIGURA 1 - LOCALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO





1.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Il corso d'acqua noto come Po di Volano è stato il corso principale del Fiume Po fino al XII secolo quando, a seguito di una rottura arginale, il corso del ramo principale si è spostato verso nord.

Attualmente fa parte della complessa rete di corsi d'acqua naturali, seminaturali e artificiali che caratterizzano la pianura ferrarese e viene utilizzato in parte come via navigabile, come collettore principale della rete irrigua e recettore dei sistemi di bonifica. Il Po di Volano viene alimentato in parte dal Canale emissario di Burana, canale artificiale che ha origine nelle pianure mantovane dove nasce come canale collettore delle acque meteoriche e di reflusso, in parte dal Canale Boicelli, canale artificiale che si diparte dal Fiume Po in sponda destra all'altezza di Pontelagoscuro, frazione di Ferrara.

Il corso d'acqua che ha origine dalla confluenza tra Canale emissario di Burana e Canale Boicelli, nei pressi della stazione ferroviaria di Ferrara, prende oggi il nome di Po di Volano.

Poco a valle di Ferrara dal Po di Volano si distacca, in sponda sinistra, il Po di Primaro, che termina a sud di Ferrara in prossimità dell'argine sinistro del Fiume Reno. A Migliarino, in sponda destra, si diparte, sempre dal Po di Volano, il Canale Navigabile Ferrara – Porto Garibaldi, che raggiunge il Mare Adriatico a Porto Garibaldi. Il Po di Volano scorre invece più a nord, attraversa Fiscaglia e Codigoro per poi sfociare nel Mare Adriatico a nord di Valle Bertuzzi, presso l'abitato di Volano.

FIGURA 2 – LOCALIZZAZIONE DELLE TRE TRAVERSE INTERESSATE DAL PRESENTE PROGETTO (FONTE ORTOFOTO: GOOGLE EARTH, 2021)



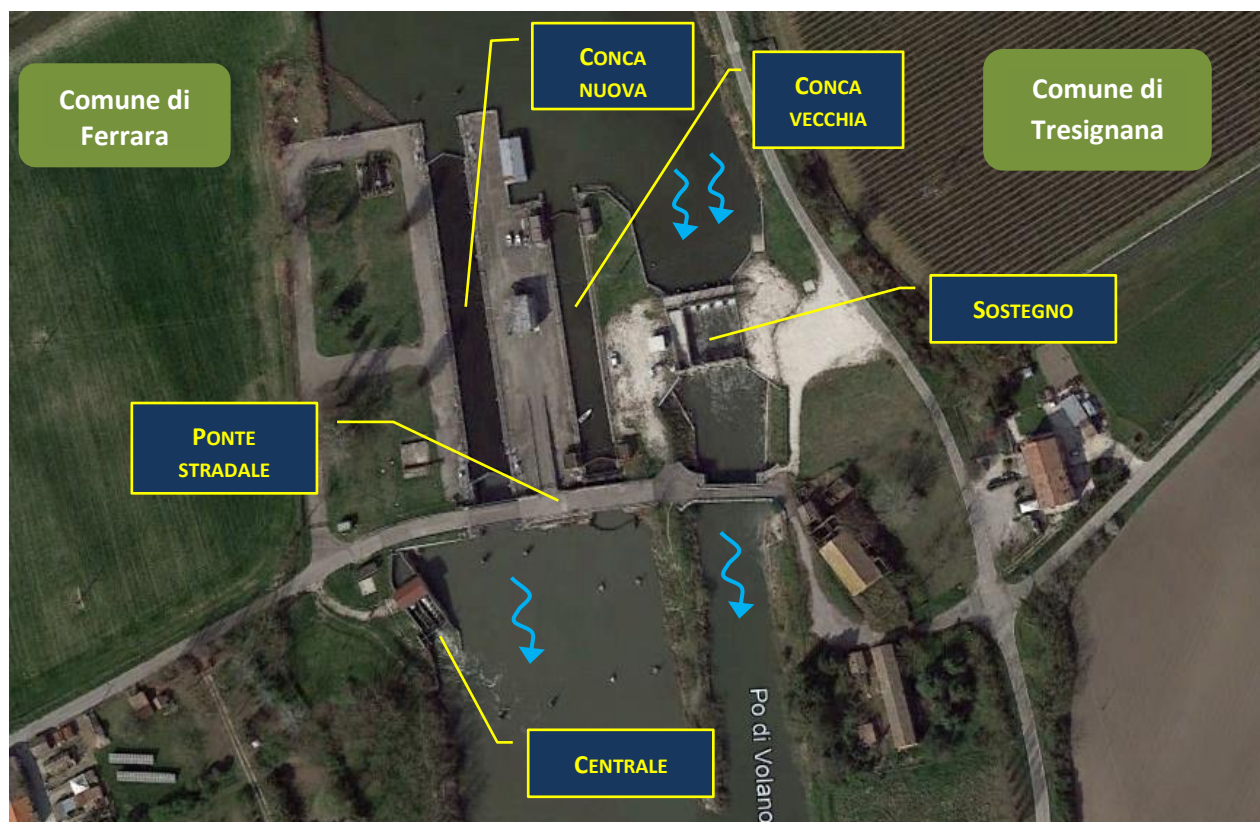


1.2 IL SOSTEGNO DI VALPAGLIARO: STATO DI FATTO E PROGETTO

Il sostegno di Valpagliaro si trova sul confine tra il comune di Ferrara e il comune di Tresignana (FE), circa 20 km a est del centro storico di Ferrara. La struttura, procedendo dalla sponda destra del Po di Volano (a ovest), verso la sponda sinistra (a est), è costituita da:

- un piazzale di servizio, costituito in parte da strade e in parte da aree a prato;
- una conca di navigazione “nuova”, attualmente attiva, lunga circa 110 m;
- un piazzale interamente asfaltato dove sono anche presenti l’edificio di controllo della conca, due piccoli edifici a servizio della vecchia conca e un magazzino;
- la vecchia conca di navigazione, attualmente non attiva, lunga circa 85 m;
- un piazzale non pavimentato dove si trovano gli altri due edifici a servizio della vecchia conca e una tettoia con funzione di deposito dei panconi;
- l’alveo principale, dove è presente il sostegno vero e proprio, costituito da una doppia schiera di paratoie piane motorizzate;
- un piazzale di servizio in ghiaia.

FIGURA 3 – IL SOSTEGNO DI VALPAGLIARO, ORTOFOTO (FONTE ORTOFOTO: GOOGLE EARTH, 2021)





A valle delle opere idrauliche è presente un ponte stradale, da cui si accede alle varie aree di servizio del sostegno e delle conche, attualmente chiuso al traffico all'estremità orientale, verso Formignana. In sponda destra, a valle del ponte stradale, è presente una centrale idroelettrica a doppia coclea, la cui opera di presa è collocata a monte del piazzale di servizio che si trova a ovest della conca nuova. L'impianto deriva una portata media di 11 mc/s.

Il salto idraulico generato dal sostegno è di circa 3 m e varia in funzione di come vengono gestite le opere idrauliche di regolazione.

In corrispondenza del sostegno di Valpagliaro, il progetto prevede la realizzazione di un'unica struttura che sarà realizzata in sponda sinistra del Po di Volano, sfruttando il piazzale di proprietà demaniale presente a sinistra del sostegno.

La soluzione proposta prevede, quindi, di realizzare una struttura esterna all'alveo costituita da cinque parti di seguito elencate, procedendo da valle verso monte:

1. raccordo con l'alveo di valle e tratto in pendenza sulla sponda destra del Po di Volano;
2. tratto a pendenza ridotta nel piazzale a lato del sostegno;
3. cabina di arrivo e monitoraggio, impianto idraulico e sistema di cattura e rilascio.

La struttura è interamente coperta, dal collegamento con l'alveo di valle sino all'edificio di monitoraggio. A differenza degli altri interventi in progetto, in questo caso è prevista l'installazione di una pompa sommersa per alimentare l'intero sistema. Il passaggio artificiale è lungo complessivamente circa 50 metri. Il salto idraulico netto da superare è variabile in funzione dei livelli a monte e a valle del sostegno: esso varia tra un minimo di 290 e un massimo di 320 cm, mentre il dislivello tra la cabina di cattura (punto più alto del sistema) ed il livello di valle è di circa 5,5 metri. La pendenza media dell'intero sistema di risalita è dell'ordine del 5%. La pendenza massima si riscontra nel tratto di valle, sulla sponda del corso d'acqua, ed è pari al 44% (24°), mentre la pendenza del tratto che attraversa il piazzale è dello 0,5%.

FIGURA 4 – TRACCIATO DEL SISTEMA DI RISALITA PER ANGUILLE PRESSO IL SOSTEGNO DI VALPAGLIARO





1.3 IL SOSTEGNO DI TIENI: STATO DI FATTO E PROGETTO

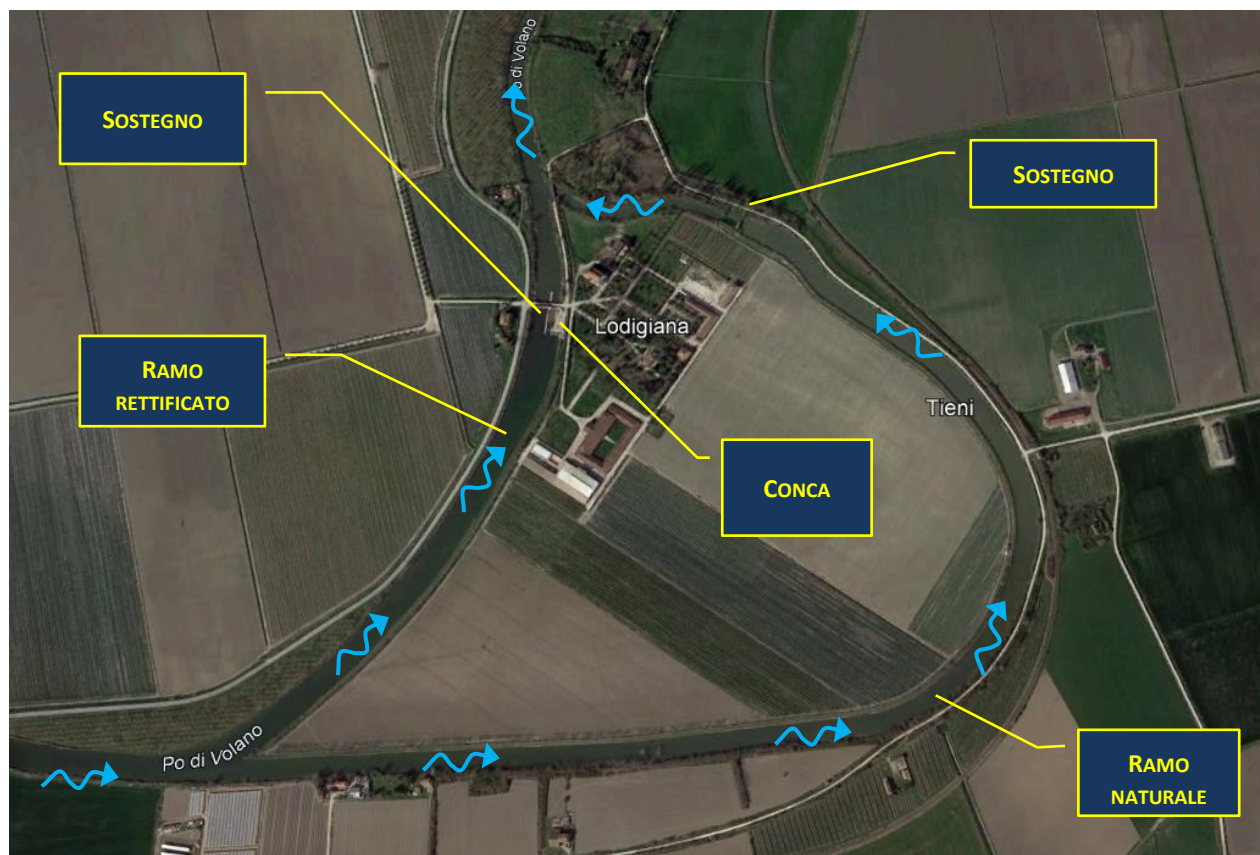
Il sostegno di Tieni si trova circa 24 km a valle del sostegno di Valpagliaro e 12,5 km a valle della derivazione del Canale Navigabile. A Tieni il corso del Po di Volano si divide in due rami: uno segue il vecchio meandro, mentre l'altro, creato artificialmente, lo taglia. Il vecchio ramo segnava anche il confine tra i comuni di Massa Fiscaglia (a est) e Migliarino (a ovest), oggi confluiti nell'unico comune di Fiscaglia.

La distanza tra il punto di divisione dei due rami e la confluenza degli stessi è di 2.300 m, percorrendo il vecchio ramo, e di circa 1.000 m seguendo, invece, il canale rettificato. Entrambi i rami sono dotati di sostegni e il ramo artificiale è, inoltre, dotato di una conca di navigazione collocata a destra del sostegno.

Il passaggio artificiale previsto dal presente progetto sarà realizzato sul ramo naturale, dove il sostegno è costituito da tre paratoie piane in linea che non vengono movimentate da anni. Gli organi di regolazione delle paratoie manuali sono posti all'interno di un edificio storico.

Il salto idraulico generato da entrambi i sostegni è di circa 100 cm e le sue variazioni sono determinate quasi esclusivamente dalle escursioni del livello del Mare Adriatico.

FIGURA 5 – IL SOSTEGNO DI TIENI, ORTOFOTO (FONTE ORTOFOTO: GOOGLE EARTH, 2021)



In corrispondenza del sostegno di Tieni, il progetto prevede la realizzazione di una doppia struttura costituita da un passaggio per pesci a bacini successivi del tipo a “vertical slot” e un passaggio specifico per la risalita delle anguille. I due sistemi di risalita seguono lo stesso tracciato: nella parte di monte il passaggio per anguille è realizzato accanto al passaggio a bacini successivi, mentre nella parte di valle il passaggio per anguille è realizzato all’interno del passaggio a bacini successivi. A differenza del sistema di risalita previsto a Valpagliaro, in questo sito il sistema di risalita per anguille funziona a gravità e non è quindi previsto l’utilizzo di apparati elettrici.

FIGURA 6 – TRACCIATO DEL SISTEMA DI RISALITA PER ANGUILLE PRESSO IL SOSTEGNO DI TIENI E PERCORSO DI ACCESSO ALL’AREA DI CANTIERE



PASSAGGIO A BACINI SUCCESSIVI

Il passaggio a bacini successivi è del tipo a “vertical slot”, ossia è formato da una serie di bacini contigui, separati tra loro da setti attraverso i quali viene ricavata una fessura laterale profonda (*vertical slot*) con una particolare geometria che permette di ridurre al minimo la contrazione della vena d’acqua in corrispondenza della luce e mantenere di conseguenza valori di velocità ridotti. La struttura è lunga complessivamente 26 metri ed ha una larghezza interna di 1,60 metri.



L'opera risulta completamente interrata e la profondità della platea varia tra 150 cm, in corrispondenza del raccordo con l'alveo a monte, a 275 cm in corrispondenza del raccordo con l'alveo di valle. La massima profondità di scavo, in corrispondenza del raccordo con l'alveo di valle, è di 330 cm.

La struttura sarà quasi tutta a cielo aperto; solo in corrispondenza della porta di accesso al manufatto in cui sono alloggiati gli organi di regolazione delle paratoie è prevista la realizzazione di un solaio di copertura su una lunghezza di 4 metri. Ad eccezione di questo tratto, la struttura è dotata di un parapetto di protezione, il quale prosegue anche lungo i bordi del suddetto solaio fino agli spigoli dell'edificio.

Dal punto di vista idraulico, il passaggio è formato da 10 setti e 9 bacini, che diventano 11 se si contano anche quelli a monte e a valle dell'opera. Il dimensionamento e le verifiche idrauliche di funzionamento del passaggio a bacini successivi sono stati effettuati avvalendosi del software di calcolo **Cassiopée**, messo a punto dal polo di ricerca e sviluppo ecoidraulico OFB (*Office Français de la Biodiversité*), dall'IMFT (*Institut de mécanique des fluides de Toulouse*) e da UMR G-EAU (Unità di ricerca congiunta *Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages, Sectors, Territories*) e largamente utilizzato in Francia per la progettazione e la verifica di tutti i tipi di dispositivi artificiali di risalita per la fauna ittica. Il software è reso disponibile gratuitamente al sito <https://cassiopee.g-eau.fr/>.

PASSAGGIO PER ANGUILLE

Il passaggio per anguille realizzato presso il sostegno di Tieni è costituito dalle seguenti parti, in sequenza tra loro procedendo da monte verso valle:

1. pozzetto di raccordo con l'alveo di monte, realizzato contro il muro di contenimento esistente a monte del sostegno; il pozzetto ha dimensioni interne 80 x 80 x 160 (h) cm ed è dotato di una paratoia di fondo in acciaio inox che consente di interrompere il flusso di acqua verso il passaggio artificiale per poter effettuare gli interventi di pulizia e manutenzione;
2. tubazione di raccordo, a pendenza sub orizzontale, realizzata mediante una tubazione in PVC Øest 500 mm, parzialmente rivestita all'interno con substrato artificiale del tipo *bristle board*;
3. bacino di riposo, costituito da un pozzetto di dimensioni interne 80 x 80 x 160 (h), dotato di uno scarico di fondo, chiuso da una paratoia piana in acciaio inox, per la pulizia del pozzetto di raccordo di monte e della tubazione di raccordo;
4. attraversamento della muratura laterale del passaggio, realizzato mediante un tronco di tubo in PVC Øest 500 mm, parzialmente rivestito all'interno con substrato artificiale del tipo *bristle board*;
5. sistema di equalizzazione dei livelli, posto all'interno del passaggio a bacini successivi e realizzato mediante una cassa in acciaio inox al cui interno è posizionato un doppio substrato artificiale del tipo *bristle board*, con le spazzole posizionate orizzontalmente;
6. vasca di scarico delle portate in eccesso, costituita anch'essa da una struttura in acciaio inox, dotata di uno sfioratore laterale con soglia regolabile e rivestita con substrato artificiale del tipo *bristle board*;



7. canalina di scarico a sezione rettangolare, realizzata in acciaio inox e staffata sulla muratura interna del passaggio a bacini successivi; la canalina, lunga complessivamente 4 metri, collega la vasca di scarico delle portate in eccesso con il bacino a valle del passaggio a bacini successivi, dove il livello dell'acqua è lo stesso dell'alveo di valle con cui si trova in comunicazione diretta; anche l'interno della canalina di raccordo è rivestito con substrato artificiale del tipo *bristle board*.

1.4 IL SOSTEGNO DI VALLE LEPRI

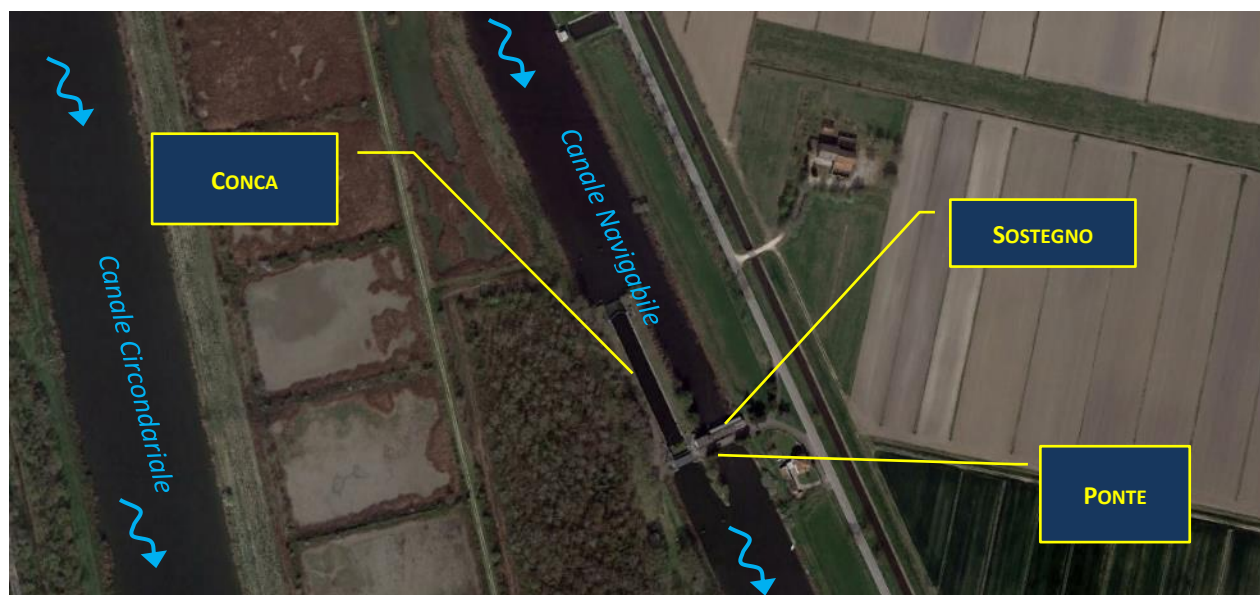
Il sostegno di Valle Lepri si trova sul Canale Navigabile Ferrara – Porto Garibaldi, circa 28 km a valle del sostegno di Valpagliaro e 16,5 km a valle della derivazione del Canale Navigabile. A circa 8 km oltre il sostegno di Valle Lepri, il Canale Navigabile attraversa l'abitato di Comacchio. Il sostegno e la relativa conca di navigazione si trovano in comune di Ostellato, a est della Bonifica del Mezzano.

Il sostegno è costituito da una schiera di paratoie piane motorizzate spostate verso la sponda sinistra del canale. I dispositivi di regolazione delle paratoie e i relativi organi di movimentazione (quadri elettrici e centrale oleodinamica) sono posizionati all'interno di un edificio in muratura.

A destra si trova invece la conca di navigazione. A valle dell'edificio in cui sono alloggiati gli organi di movimentazione delle paratoie e della conca è presente un ponte carrabile, interno alla proprietà. Tutta l'area di pertinenza del sostegno e della conca è infatti recintata.

Il salto idraulico generato dal sostegno, così come quello di Tieni, è di circa 100 cm e le sue variazioni sono determinate quasi esclusivamente dalle escursioni del livello del Mare Adriatico.

FIGURA 7 – IL SOSTEGNO DI VALLE LEPRI, ORTOFOTO (FONTE ORTOFOTO: GOOGLE EARTH, 2021)

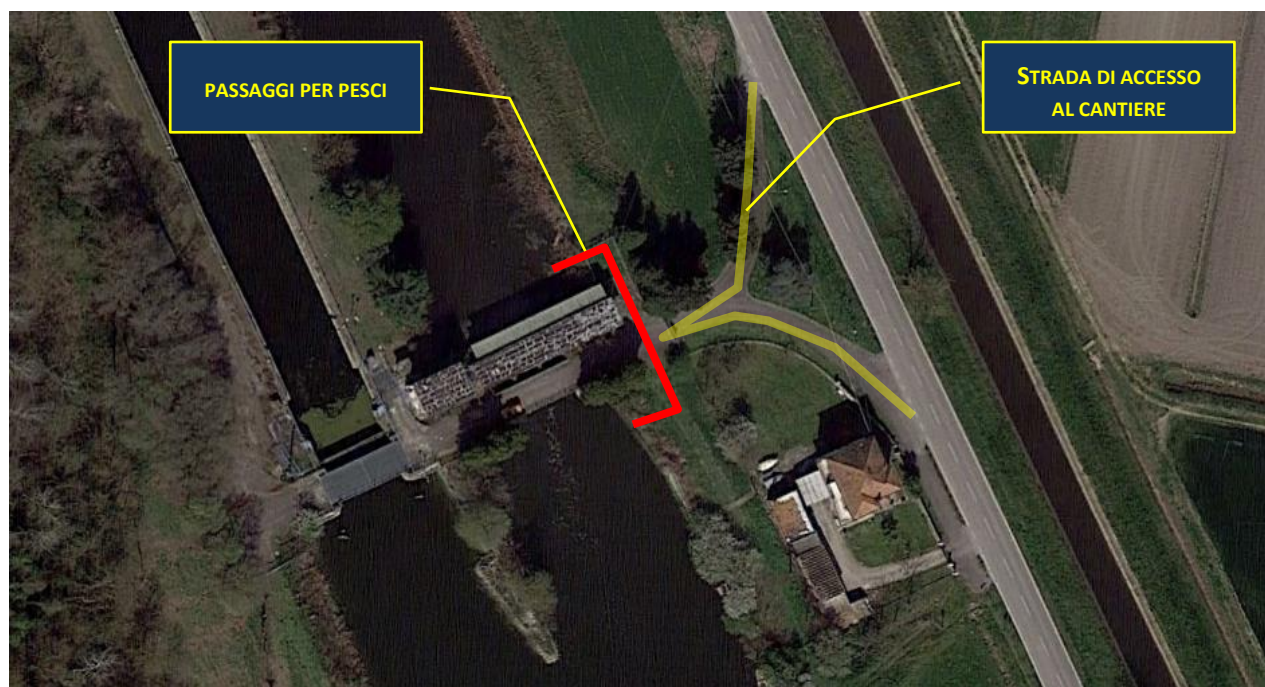


In termini di finalità, di funzionamento idraulico e di scelte progettuali, il sistema di risalita progettato presso il sostegno di Valle Lepri è del tutto analogo a quello previsto presso il sostegno di Tieni.

Le uniche differenze riguardano il tracciato delle opere, la lunghezza delle varie parti che costituiscono i due passaggi artificiali e la posizione dei punti di imbocco e di sbocco.

Di seguito si riporta quindi una descrizione sintetica delle opere previste in questo sito, evidenziando le differenze rispetto a quanto già descritto per il sostegno di Tieni ed omettendo tutta la parte relativa al dimensionamento e alle verifiche idrauliche che rimane assolutamente invariata.

FIGURA 8 – TRACCIATO DEL SISTEMA DI RISALITA PER ANGUILLE PRESSO IL SOSTEGNO DI VALLE LEPRI



PASSAGGIO A BACINI SUCCESSIVI

La struttura è lunga complessivamente 31 metri ed ha una larghezza interna di 1,60 metri.

L'opera risulta completamente interrata e la profondità della platea varia tra 150 cm in corrispondenza del raccordo con l'alveo a monte a 350 cm in corrispondenza del raccordo con l'alveo di valle. La massima profondità di scavo, in corrispondenza della curva a 90° in prossimità del raccordo con l'alveo di valle, è di quasi 400 cm. Il passaggio artificiale ha una forma a "C", la parte principale è parallela al corso d'acqua e ricavata all'interno dell'argine destro; da essa si dipartono due rami, più corti, che consentono di collegare il tronco principale con l'alveo a monte e a valle del sostegno. La struttura sarà in parte a cielo aperto ed in parte ricoperta con un solaio carrabile. Dove non è presente il solaio, essa è dotata di parapetto di protezione.



LIFEEL - LIFE19NAT/IT/000851

**MISURE URGENTI NEL MEDITERRANEO ORIENTALE PER LA CONSERVAZIONE
A LUNGO TERMINE DELL'ANGUILLA EUROPEA (ANGUILLA ANGUILLA)**



*ACTION A3: PROGETTAZIONE DI PASSAGGI PER ANGUILLE PER RIAPRIRE OLTRE
1.000 KM DI HABITAT PER LA MIGRAZIONE DELLE CECHE VERSO MONTE*

PASSAGGIO PER ANGUILLE

Anche il passaggio per anguille è stato progettato con lo stesso schema utilizzato per il sostegno di Tieni, rispetto al quale presenta le seguenti differenze principali:

- la tubazione di raccordo è costituita da due spezzoni, tra loro ortogonali, lunghi rispettivamente 4 m e 17 m;
- tra i due spezzoni appena descritti è presente un secondo bacino di riposo, anch'esso costituito da un pozzetto di dimensioni interne 80 x 80 x 160 (h); la tubazione di scarico e la relativa paratoia di protezione sono posizionati sul pozzetto di valle.



2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE REGIONALE

Il tratto di Pianura Padana preso in considerazione si sviluppa a partire all'Incirca dall'altezza del Comune di Bondeno (FE) sino all'altezza del Comune di Nonantola (MO).

La Pianura Padana è un ampio bacino d'avanfossa subsidente compreso tra la catena appenninica a sud e quella alpina a nord che, a partire dal Terziario, ha raccolto i sedimenti provenienti dallo smantellamento delle catene alpina e appenninica in formazione.

L'assetto strutturale di tale bacino, noto attraverso lo studio dei dati derivanti dalle indagini profonde per ricerche idriche e di idrocarburi, appare assai complesso e strettamente legato alle dinamiche evolutive della catena subalpina e di quella appenninica.

In particolare la fascia posta tra la pianura e le prime colline dell'Appennino è stata ed è tutt'oggi sede di intensi e complessi movimenti tettonici per la sua particolare posizione "a cerniera" tra la catena appenninica in sollevamento e la pianura soggetta invece a subsidenza. Lo stile tettonico compressivo ed il conseguente accorciamento crostale per convergenza e collisione tra la placca Europea e quella Africana è accompagnato, in quest'area, da un pattern deformativo e da un'attività sismica molto complessi.

L'esplorazione geofisica effettuata per la ricerca degli idrocarburi ha messo in luce come la pianura padana a sud del Po sia caratterizzata dalla presenza di faglie inverse e sovrascorrimenti sepolti nord – vergenti, associati ad anticlinali e costituenti i fronti più esterni della catena appenninica.

A tal riguardo possono essere distinti due archi di pieghe principali, che da ovest verso est, sono l'arco delle Pieghe Emiliane e l'Arco delle Pieghe Ferraresi – Romagnole, ed un motivo di pieghe pedappenniniche che marca il margine pedemontano della Regione, delimitando la zona collinare in sollevamento dell'antistante pianura subsidente.

Litologicamente, la Pianura Padana è costituita da una spessa coltre di sedimenti marini in profondità e da sedimenti fluviali in superficie, questi ultimi depositati dai corsi d'acqua alpini ed appenninici nell'antico Golfo Padano, che rappresentava l'insenatura del mare Adriatico tra le Alpi e gli Appennini.

Il ritiro delle acque del Golfo Padano è avvenuto da Ovest verso Est e dai margini delle catene verso l'asse della pianura, ed è senz'altro avvenuto con movimenti alterni, che hanno determinato nel sottosuolo un'alternanza di depositi marini e/o di transizione e di episodi di deposizione continentale.

L'alternanza di facies è inoltre legata alle glaciazioni, che si sono succedute nel Quaternario, a causa dei cambiamenti climatici avvenuti a partire dalla fine del Pliocene ed a variazioni globali del livello del mare. Il riempimento del bacino è avvenuto con sedimenti in massima terrigeni, di notevole spessore, che denotano una subsidenza molto accentuata e un apporto detritico imponente. La maggior parte di questi depositi è sepolta al di sotto delle alluvioni fluviali del Pleistocene medio superiore – Olocene, depositato dai fiumi Po, Secchia, Panaro e relativi affluenti.



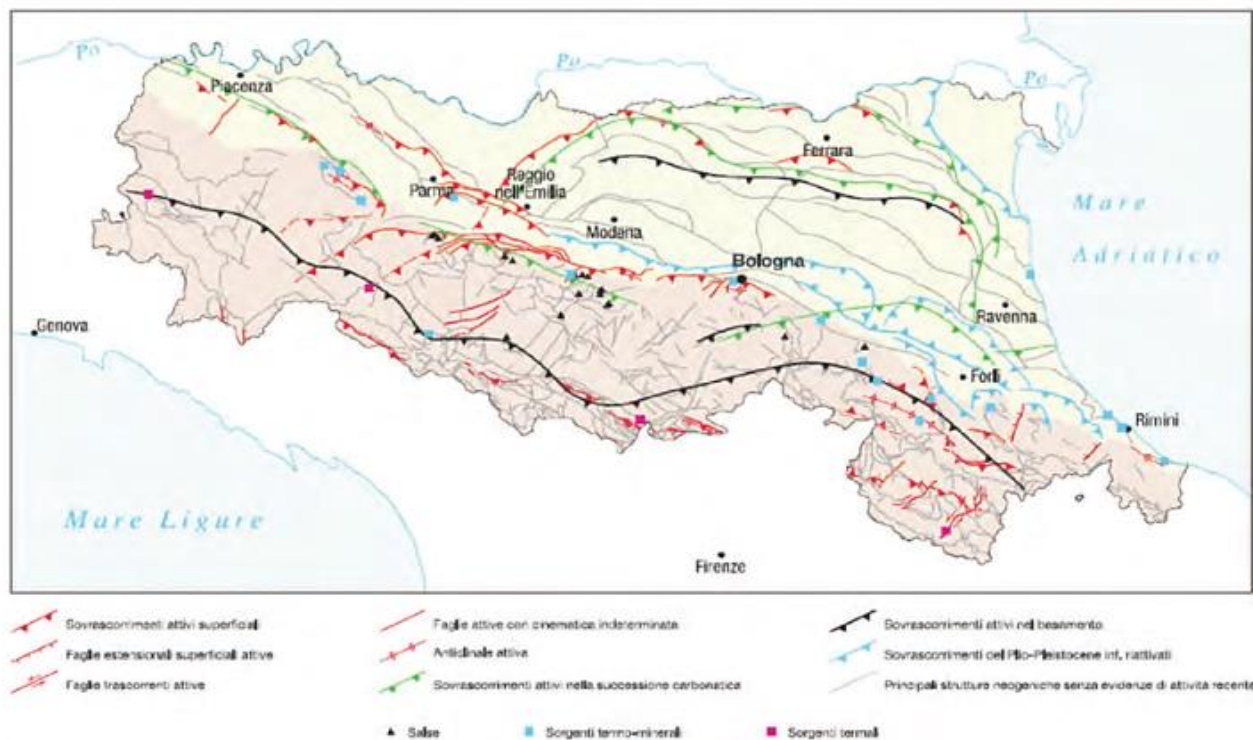
LIFEEL - LIFE19NAT/IT/000851

MISURE URGENTI NEL MEDITERRANEO ORIENTALE PER LA CONSERVAZIONE
A LUNGO TERMINE DELL'ANGUILLA EUROPEA (*ANGUILLA ANGUILLA*)



ACTION A3: PROGETTAZIONE DI PASSAGGI PER ANGUILLE PER RIAPRIRE OLTRE
1.000 KM DI HABITAT PER LA MIGRAZIONE DELLE CECHE VERSO MONTE

FIGURA 9 – ASSETTO STRUTTURALE DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA.





3 ASSETTO STRATIGRAFICO SUPERFICIALE DELLE AREE DI INTERVENTO

La complessa storia geologica della Pianura Padana, affiancata all'azione della rete idrografica, di trasporto e sedimentazione dei materiali provenienti all'erosione delle terre emerse, hanno portato ad avere spessori di sedimenti che vanno da circa 200 m in corrispondenza dell'alto strutturale della Dorsale Ferrarese, a oltre 3000 m nella zona corrispondente al litorale attuale.

Secondo Selli (1976), si possono distinguere due unità strutturali principali: Unità Profonda antecedente a circa 3,55 milioni di anni fa e costituita da sedimenti del Messiniano e Pliocene inferiore e l'Unità Superiore posteriore a circa 3,55 milioni di anni fa e costituita da sedimenti del Pliocene medio – superiore e del Quaternario in concomitanza tra loro.

FIGURA 10 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRATIGRAFICO DELL'AREA DI STUDIO (DA SERVIZIO GEOLOGICO REGIONALE).

PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE						ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)
AFFIORANTI			SEPOLTE				
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI	UNITA' DI CA' DI SOLA	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE
	DILUVIUM p.p.					~0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO
	FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE					~0.65	
	FORMAZIONE DI OLIVATELLO						
QUATERNARIO MARINO	MILAZZIANO SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.	SUPERSISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3'	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 3'	UNITA' ALLUVIONALE INFERIORE	~0.8	0.89
	MILAZZIANO e CALABRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.					~1.0	PLEISTOCENE INFERIORE
	CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERICCO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.					~2.2	1.72
	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.					~3.3-3.6	PLIOCENE MEDIO - SUPERIORE
P ₂	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SUPERSISTEMA DEL PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE		PLIOCENE MEDIO SUPERIORE		~3.9	3.55
						~3.9	PLIOCENE INFERIORE MIocene



In questa sede verrà trattata solo l'Unità Superiore, poiché è quella che è interessante ai fini applicativi connessi alla realizzazione delle opere di progetto.

L'Unità Superiore è influenzata dall'assetto dell'Unità profonda, costituita da sedimenti che formano strutture sepolte quali pieghe anticlinali e sinclinali; per questo fatto i depositi dell'Unità Superiore risultano abbastanza ondulati, con una generale pendenza verso SE, seguendo l'immersione degli assi strutturali Pliocenici.

Il Pleistocene inferiore è caratterizzato litologicamente da sabbie argillose e argille sabbiose, con faune di clima temperato freddo durante il Calabriano e il Siciliano mentre presenta un banco di sabbie con microfauna di clima caldo durante l'Emiliano.

Il Pleistocene superiore presenta depositi con alternanza di episodi a facies litorale, lagunare e palustre continentale. Le facies marine sono date da lenti di sabbie e argille poco potenti e ricche di foraminiferi. Le facies salmastre e lagunari sono caratterizzate da resti abbondanti di vegetali e dalla scarsità di foraminiferi. Le facies continentali sono invece date da livelli palustri con torbe.

Per quanto riguarda l'Olocene, il limite inferiore non è netto, poiché non è facile separare i depositi olocenici da quelli ascrivibili alle ultime glaciazioni; tale limite è inoltre assai differente da zona a zona, a causa di fenomeni di subsidenza differenziale. Litologicamente, è costituito da sabbie a varia granulometria, con argille più o meno sabbiose e localmente livelli di torba.

Infine nel Quaternario recente prevale la sedimentazione in connessione con le variazioni eustatiche del livello marino provocate dalle glaciazioni cosicché sostanziosi depositi continentali si sovrappongono ai sedimenti marini con completo ricoprimento delle strutture geologiche precedenti.

I sedimenti alluvionali recenti hanno un assetto irregolare e più complesso. Infatti, pur presentandosi in stratificazione generalmente subparallela (con una certa pendenza verso NE in direzione al flusso degli attuali corsi d'acqua appenninici), presentano a volte notevoli variazioni di potenza, che sembrano dovute ad ondulazioni del letto con depressioni ad andamento appenninico e probabilmente influenzate dalla presenza di paleovalvei.

Gran parte dei depositi che affiorano sulla pianura emiliano – romagnola, sono recenti (età olocenica, meno di 10000 anni fa). Essi fanno parte della successione post evaporitica del margine padano – adriatico e derivano dalla complessa relazione tra il fiume Po a Nord, i fiumi appenninici a Sud ed il Mare Adriatico a Est.

I terreni della successione sedimentaria superficiale sono raggruppati nel Supersistema Emiliano – Romagnolo, suddiviso nel Sistema Emiliano – Romagnolo Inferiore (AEI) e nel Sistema Emiliano Romagnolo Superiore (AES) in base ai criteri della stratigrafia fisica che sono definiti dalle linee guida per il rilevamento della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50'000.

In particolare per la classificazione stratigrafica, la Regione Emilia-Romagna ha adottato il criterio di classificazione delle litologie e degli ambienti deposizionali sintetizzato nella tabella seguente.



Questo consente di caratterizzare i sedimenti di pianura sia sulla base della loro composizione litologica (ghiaie, sabbie, alternanza di sabbie e limi, ecc..) sia dell'ambiente in cui si sono deposte (alluvionale di canale, deltizio di area interdistributrice ecc.)

FIGURA 11 – CRITERIO DI CLASSIFICAZIONE DELLE LITOLOGIE E DEGLI AMBIENTI DEPOSIZIONALI ADOTTATO DALLA REGIONE EMILIA ROMAGNA.

DEPOSITI ALLUVIONALI	Terrazzo, conoide e pianura alluvionale	- ghiaie e sabbie di riempimento di canale fluviale - sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale - argille e limi di piana inondabile - argille, limi e sabbie di trascinamento fluviale indifferenziata
DEPOSITI DELTIZI E LITORALI	Piana deltizia	- sabbie e limi di canale distributore, argine e rotta - argille e limi di area d'intercanale - argille e limi con sostanza organica di area interdistributrice
	Fronte deltizia e piana di sabbia	- sabbie di cordone litorale e duna eolica - argille e limi di retrocordone
DEPOSITI MARINI	Depositi di prodelta e piattaforma	- argille, limi e sabbie di prodelta e transizione alla piattaforma

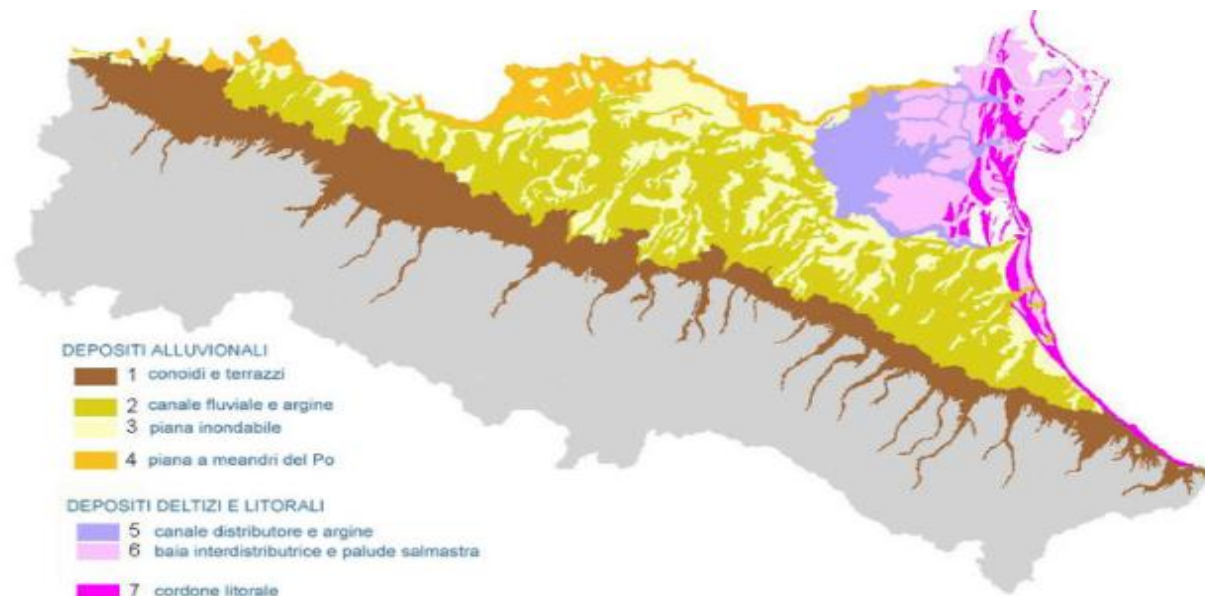
In base a tali principi, la Carta della Geologia di Superficie dell'Emilia-Romagna descrive la distribuzione e le caratteristiche litologiche e di facies delle unità stratigrafiche contenute nel Supersistema Emiliano – Romagnolo. Essa rappresenta l'unità stratigrafica comprendente l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale che affiorano in corrispondenza del margine appenninico padano ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano – romagnola.

I depositi di superficie cartografati si riferiscono unicamente al Sistema Emiliano – Romagnolo Superiore (AES). Questi includono depositi alluvionali che passano verso est a depositi deltizi e marini, organizzati in cicli deposizionali di vario ordine gerarchico.

Si può affermare come i terreni sabbiosi sono localizzati principalmente in corrispondenza di antichi alvei fluviali o di loro con di esondazione, mentre i materiali più fini sono depositati principalmente nelle piane alluvionali in seguito a straripamento dei fiumi o a rotta degli argini naturali.



FIGURA 12 – SINTESI DEI SISTEMI DEPOSIZIONALI DELLA CARTA GEOLOGICA DI PIANURA ALLA Scala 1:250'000.



Dall' analisi puntuale della carta (di cui si riportano in seguito gli stralci significativi) si desume che:

- per quanto riguarda l'area di intervento corrispondente al sostegno di Valpagliaro, si rileva la presenza dei depositi di canale distributore, argine e rotta;

FIGURA 13 – STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA CENTRATA SULL'AREA DEL SOSTEGNO DI VALPAGLIARO.



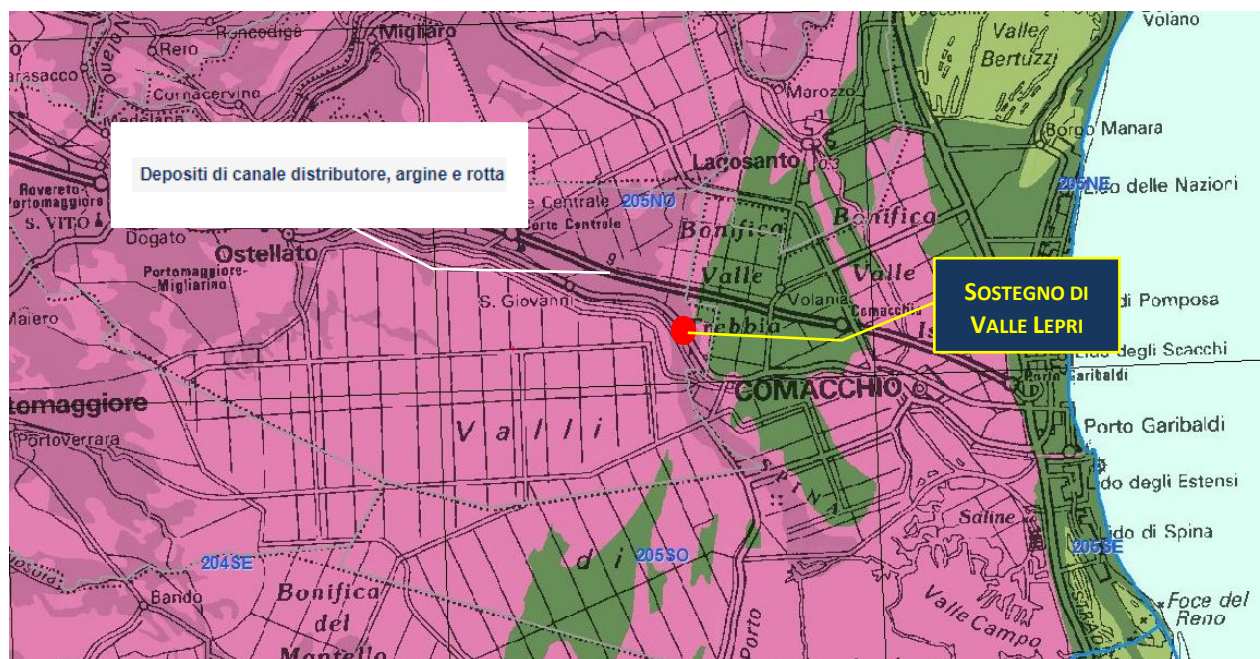
- per quanto riguarda l'area di intervento corrispondente al sostegno di Tieni, si rileva la presenza dei depositi di canale distributore, argine e rotta;

FIGURA 14 – STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA CENTRATA SULL'AREA DEL SOSTEGNO DI TIENI.



- per quanto riguarda l'area di intervento corrispondente al sostegno di Valle Lepri, si rileva la presenza dei depositi di canale distributore, argine e rotta.

FIGURA 15 – STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA CENTRATA SULL'AREA DEL SOSTEGNO DI VALLE LEPRI.





4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLE AREE DI INTERVENTO

Nella fase preliminare di progettazione, la ricostruzione stratigrafica e geotecnica del sottosuolo nelle aree di intervento è stata ipotizzata dai dati delle indagini reperite dalla *Banca Dati delle prove geognostiche della Regione Emilia-Romagna*.

Come da prescrizioni contenute nella relazione geologica-geotecnica preliminare redatta in fase definitiva, per ogni sito interessato dalle opere in progetto sono state eseguite le indagini geologiche e sismiche.

Al fine di approfondire le conoscenze del sottosuolo in termini di caratteristiche meccaniche dei terreni di futura imposta delle opere fondazionali, il giorno 13 settembre 2022 sono state eseguite complessive n° 3 prove penetrometriche, con penetrometro Pagani mod. TG 63 – 200 kN statico – dinamico.

Per ottemperare invece alla normativa sismica e caratterizzare il suolo anche sotto tale aspetto, sono stati eseguiti tre stendimenti MASW, i cui esiti sono esposti nel proseguo della relazione nei capitoli relativi agli approfondimenti sismici. I dati raccolti dalle prove sono stati elaborati e correlati fra loro, allo scopo di ricostruire il quadro stratigrafico dei terreni di fondazione in esame.

L'indagine penetrometrica statica consiste nell'infissione una punta conica standard (Tipo Begemann) nel terreno, ad una velocità costante pari a 2 cm/s; questa registra la resistenza all'avanzamento della punta ed è dotata di un manicotto che misura l'attrito laterale. La spinta necessaria viene trasmessa alla punta mediante una batteria di tubi ed aste da un gruppo a pistoncini idraulici che sviluppa, in questo caso, una spinta massima di 20 t. Attraverso opportune correlazioni tra i valori di q_c (resistenza alla punta) e f_s (resistenza di attrito laterale) è possibile ottenere una classificazione dei terreni attraversati e la determinazione dei parametri geotecnici.

Le prove penetrometriche dinamiche consistono nella misura della resistenza del terreno alla penetrazione di una punta conica con caratteristiche geometriche note, infissa per battuta nel terreno per mezzo di un maglio avente massa standardizzata. Il numero di colpi necessario per avanzare, in questo specifico caso di 20 cm, permette di determinare la resistenza dinamica del terreno, dalla quale è possibile risalire ai parametri geotecnici significativi attraverso elaborazioni successive. Per la definizione dei parametri geotecnici, si impiegano correlazioni empiriche esistenti tra la prova di riferimento SPT comunemente adottata e i dati di resistenza ottenuti dalle prove penetrometriche dinamiche.

I parametri ottenuti dalle prove penetrometriche sono principalmente: la resistenza al taglio non drenata (c_u) e modulo edometrico (E_d) per i terreni coesivi (limi-argille) e l'angolo di attrito (ϕ) e modulo di Young (E_y) per i terreni granulari (sabbie-ghiaie).

Le elaborazioni sono state effettuate mediante programmi di calcolo automatico, aggiornati all'ultima versione:

- Geostru Dynamic Probing, per le prove penetrometriche dinamiche;
- Geostru Static Probing, per le prove penetrometriche statiche.

Per ogni sito vengono riportate la localizzazione e la documentazione fotografica delle indagini eseguite.

4.1 AREA DEL SOSTEGNO DI VALPAGLIARO

Per quanto riguarda l'area in corrispondenza del sostegno di Valpagliaro, sono state eseguite n. 1 prospezione sismica e un'indagine penetrometrica dinamica superpesante DPSH. Si è proceduto con tale tipologia di prova poiché, in corrispondenza della cabina di monitoraggio e dell'area circostante, non è stato possibile eseguire l'operazione di ancoraggio dell'attrezzatura. Dalle evidenze in cantiere sembra essere presente una soletta a partire da una profondità di circa 0,8 m dal locale piano campagna.

Il livello dell'acqua nel foro della prova penetrometrica si attesta a circa 3,6 metri dal piano campagna.

FIGURA 16 – ESTRATTO DA TAVOLA DELLO STATO DI PROGETTO DELL'INTERVENTO DI VALPAGLIARO CON LOCALIZZAZIONE DELLE INDAGINI

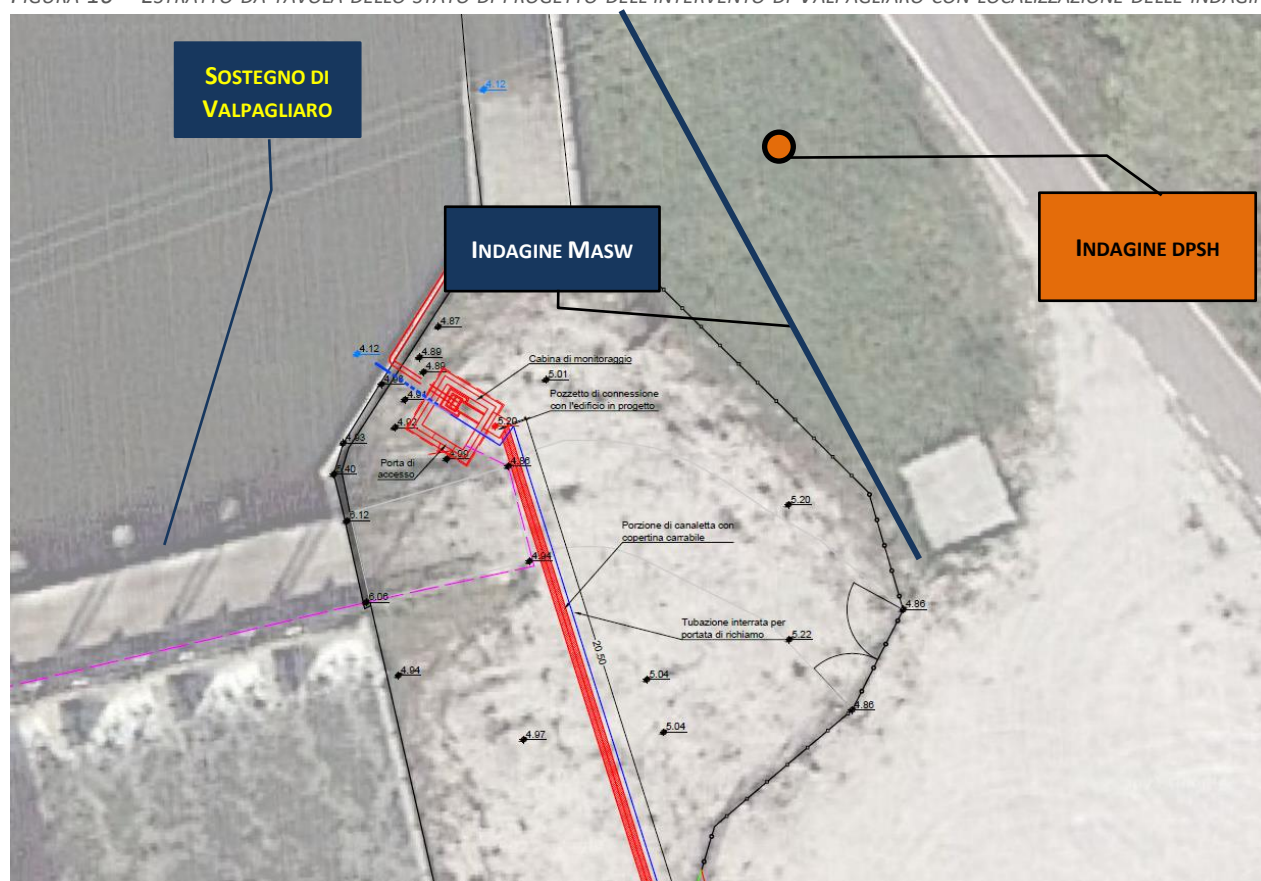




FIGURA 17 – MODELLO STRATIGRAFICO DA INDAGINE DPSH ESEGUITA NEL SOSTEGNO DI VALPAGLIARO

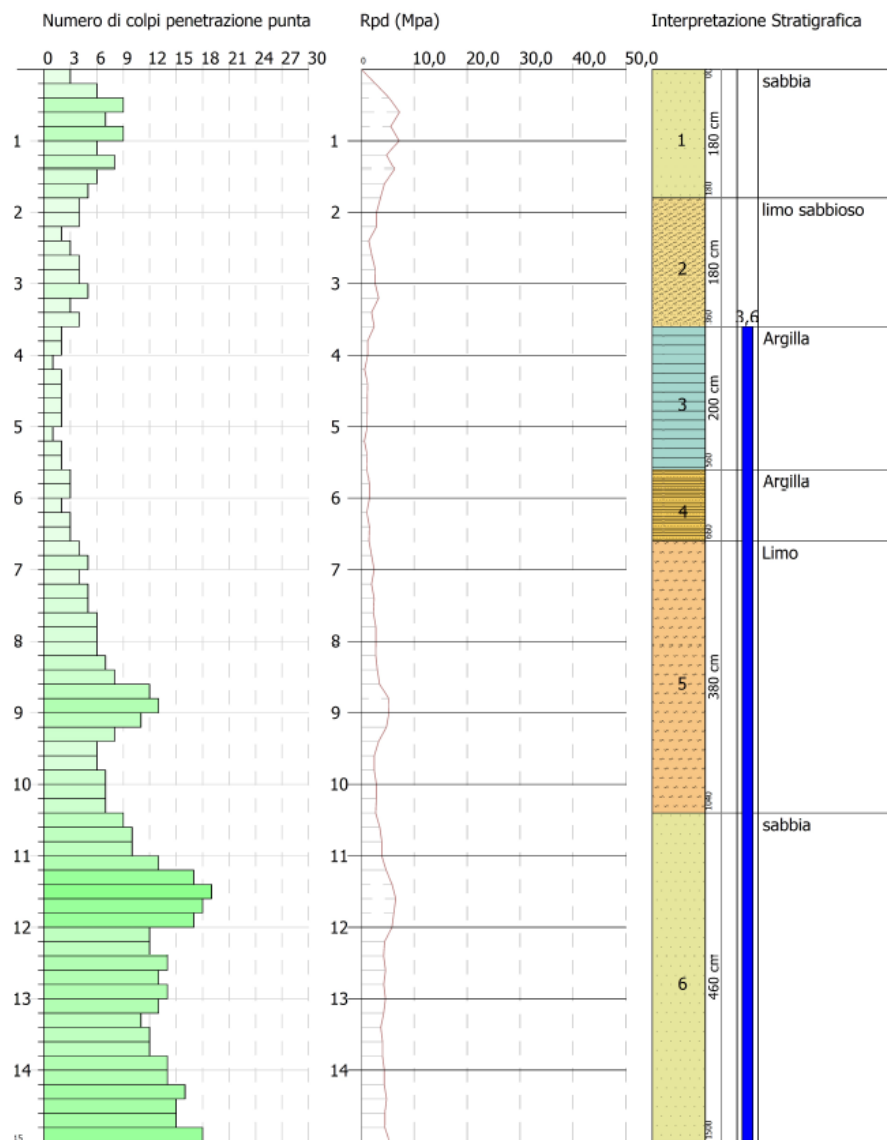


TABELLA 1 – MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO DEL SOSTEGNO DI VALPAGLIARO

Profondità da p.c. [m]	Litologia	Angolo d'attrito (ϕ') [°]	Coesione non drenata (C_u) [kN/m ²]	E_y [kN/m ²]	E_d [kN/m ²]
0,0 – 1,8	Sabbia	27	–	7060	–
1,8 – 3,6	Limo sabbioso	24	–	3920	–
3,6 – 5,6	Argilla	–	25	–	2940
5,6 – 6,6	Argilla	–	49	–	5880
6,6 – 10,4	Limo	27	–	7850	–
10,4 – 15,0	Sabbia limosa	31	–	13730	–

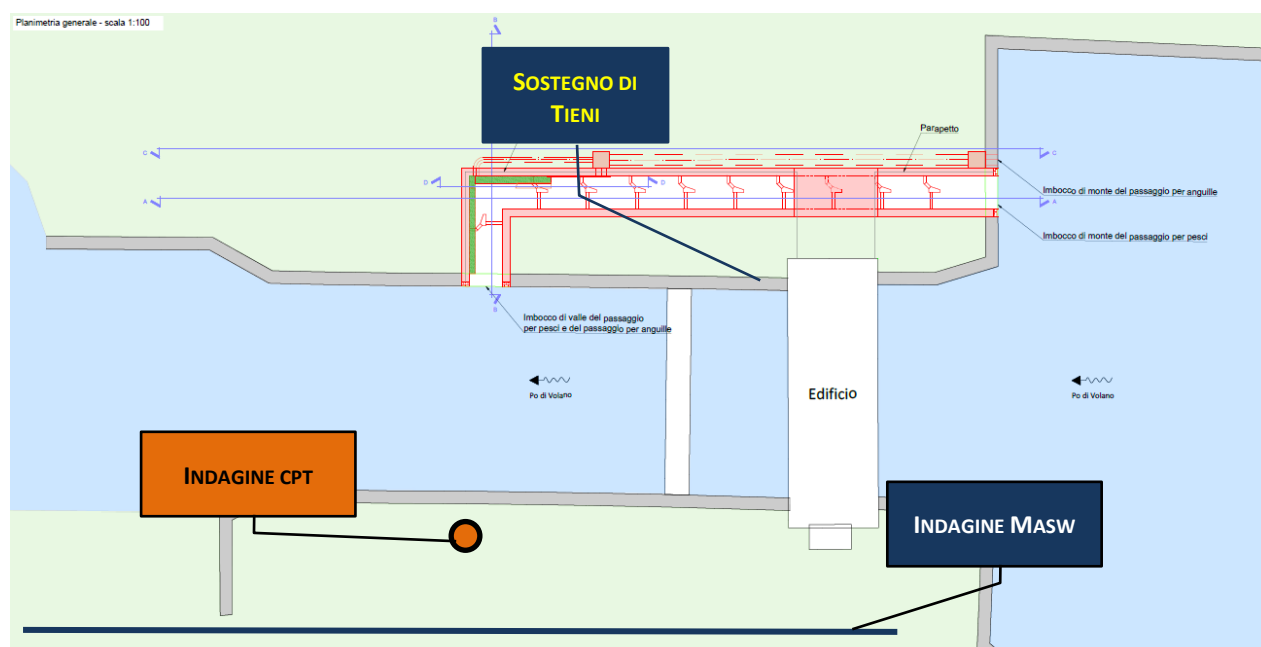


4.2 AREA DEL SOSTEGNO DI TIENI

Nel sito di Tieni l'indagine geologica, consistente in n.1 prova penetrometrica statica e n.1 prospezione sismica, è stata eseguita in corrispondenza della sponda sinistra del Po di Volano, in quanto l'area in cui ricade l'opera di progetto non è attualmente accessibile a mezzi e attrezzature.

Il livello dell'acqua nel foro della prova penetrometrica si attesta a circa 5,8 metri dal piano campagna.

FIGURA 18 – ESTRATTO DA TAVOLA DELLO STATO DI PROGETTO DELL'INTERVENTO DI TIENI CON LOCALIZZAZIONE DELLE INDAGINI



L'elaborazione dell'indagine ha delineato una stratigrafia costituita essenzialmente da materiale coesivo identificabile, anche sulla scorta della presa visione dei sondaggi eseguiti nell'intorno dell'area di intervento, come terreno argilloso e torboso, quantomeno sino a circa 8 m da p.c.

A tale terreno possono essere attribuiti i seguenti parametri geotecnici preliminari:



FIGURA 19 – MODELLO STRATIGRAFICO DA INDAGINE CPT ESEGUITA NEL SOSTEGNO DI TIENI

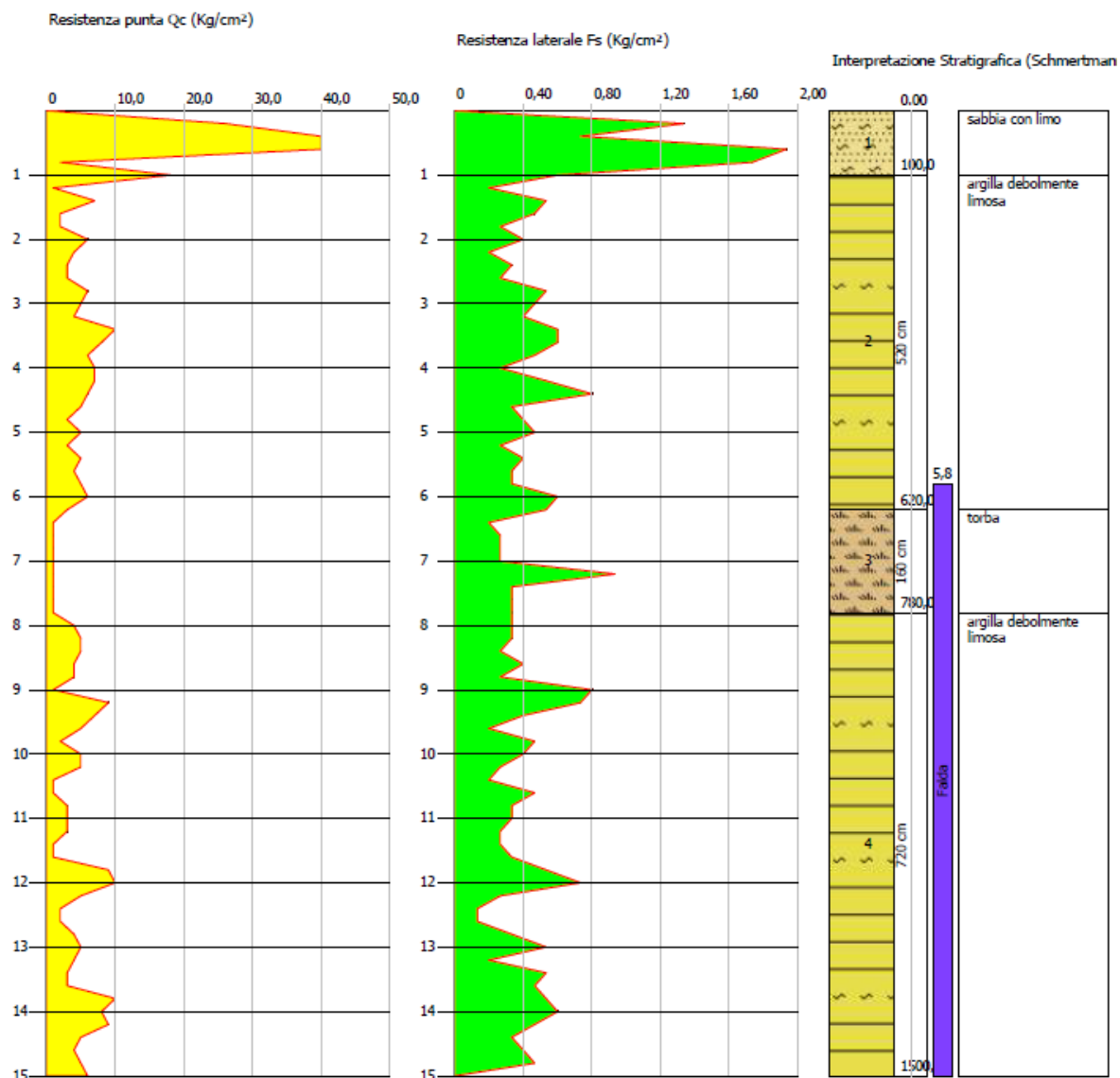


TABELLA 2 – MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO DEL SOSTEGNO DI TIENI

Profondità da p.c. [m]	Litologia	Angolo d'attrito (ϕ') [°]	Coesione non drenata (C_u) [kN/m ²]	E_y [kN/m ²]	E_d [kN/m ²]
0,0 – 1,0	Sabbia con limo	28	–	6300	–
1,0 – 6,2	Argilla debolmente limosa	–	20	–	3880
6,2 – 7,8	Torba	–	10	–	800
7,8 – 15,0	Argilla debolmente limosa	–	20	–	3620



FIGURA 21 – MODELLO STRATIGRAFICO (0,0-2,0 METRI) DA INDAGINE DPSH ESEGUITA NEL SOSTEGNO DI VALLE LEPRI

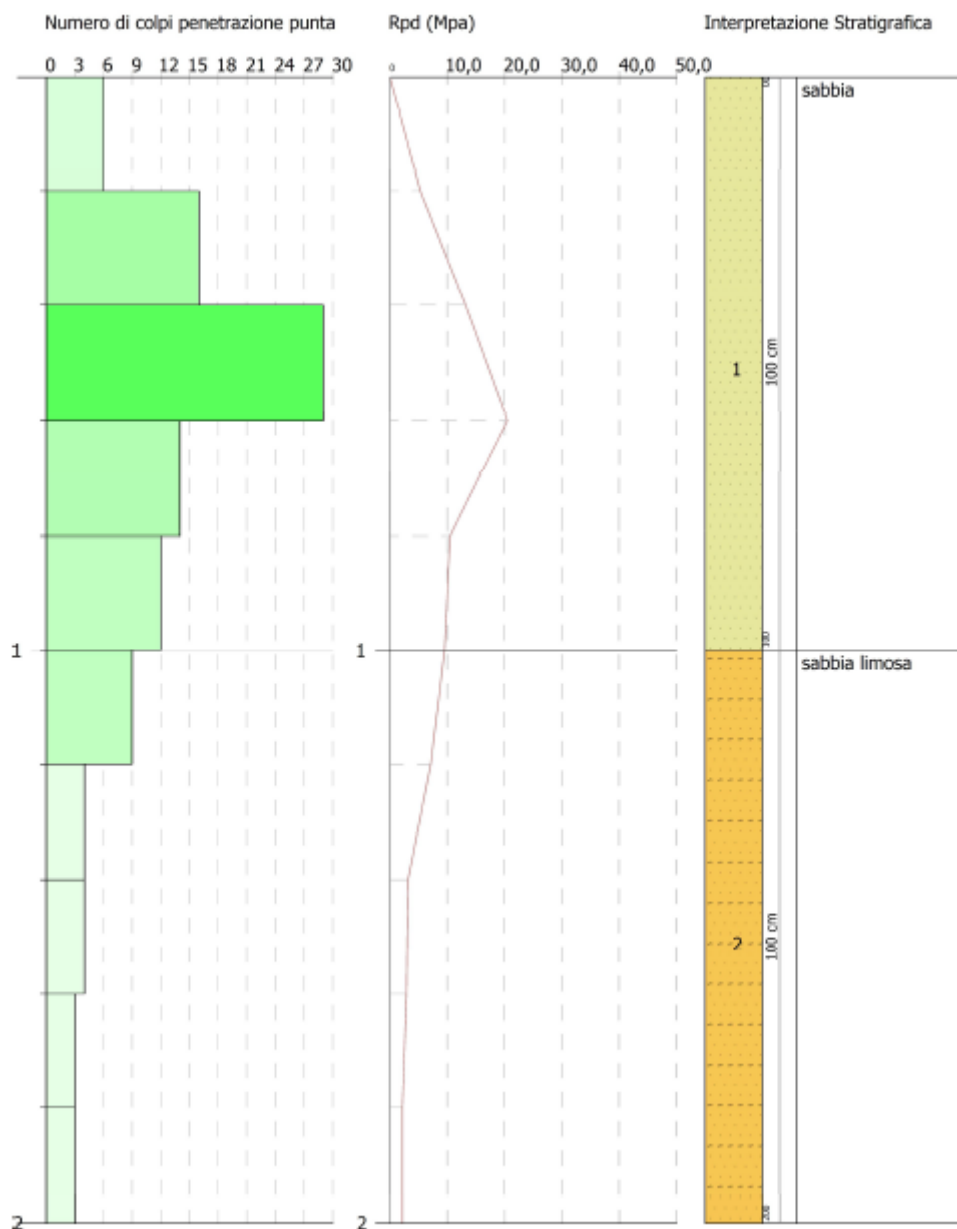


FIGURA 22 – MODELLO STRATIGRAFICO (2,0-9,0 METRI) DA INDAGINE CPT ESEGUITA NEL SOSTEGNO DI VALLE LEPRI

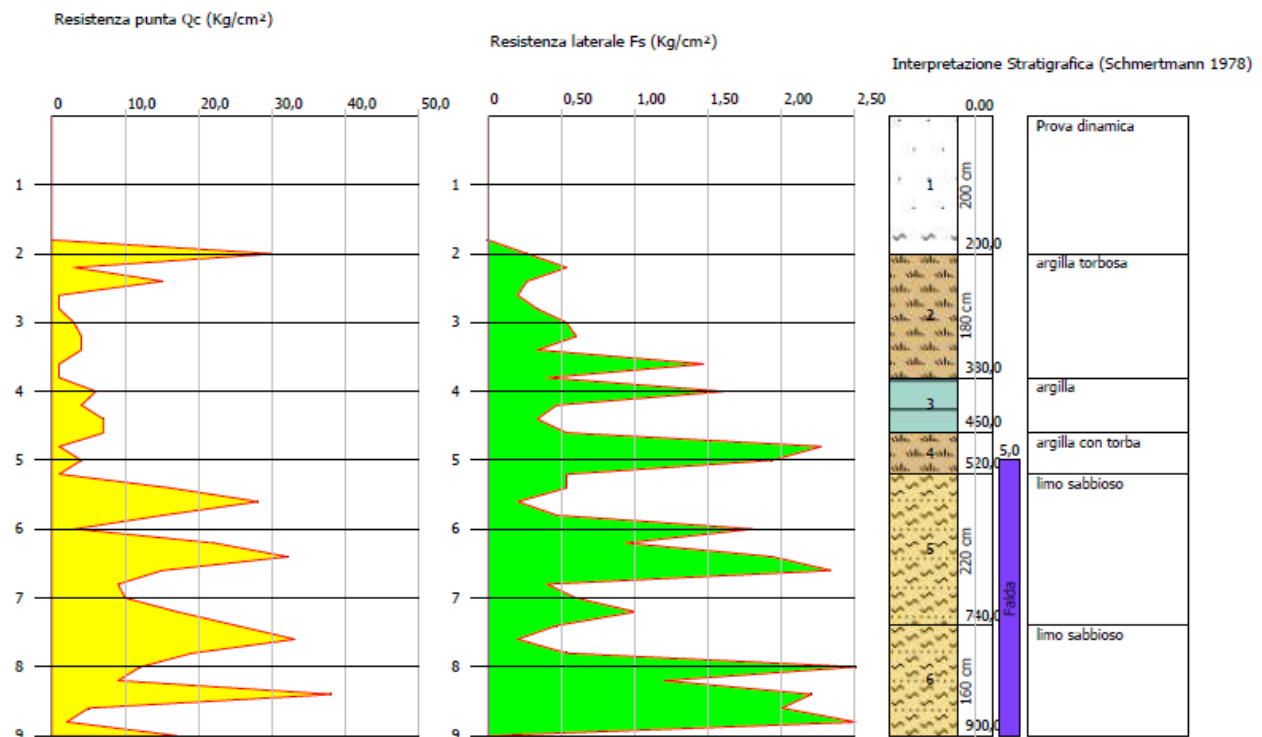


TABELLA 3 – MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO DEL SOSTEGNO DI VALLE LEPRI

Profondità da p.c. [m]	Litologia	Angolo d'attrito (ϕ') [°]	Coesione non drenata (C_u) [kN/m²]	E_y [kN/m²]	E_d [kN/m²]
0,0 – 1,0 ^[1]	Sabbia	34	–	17260	–
1,0 – 2,6 ^[1]	Sabbia limosa	29	–	4710	–
2,6 – 3,8 ^[2]	Argilla torbosa	–	20	–	2930
3,8 – 4,6 ^[2]	Argilla	–	30	–	4800
4,6 – 5,2 ^[2]	Argilla con torba	–	10	–	1600
5,2 – 9,0 ^[2]	Limo sabbioso	25	–	4290	–

NOTE

^[1] prova penetrometrica dinamica

^[2] prova penetrometrica statica

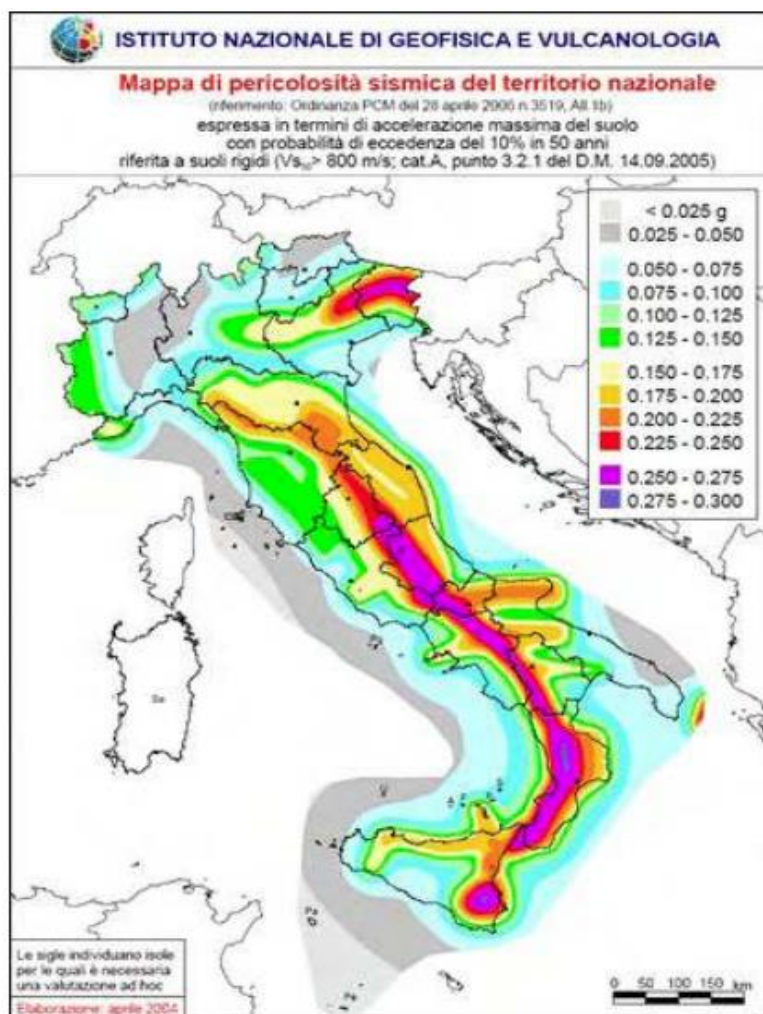


5 INQUADRAMENTO SISMICO

5.1 CENNO AL QUADRO NORMATIVO E DISPOSTI GENERALI

Il panorama legislativo in materia sismica è stato profondamente trasformato dalle recenti normative nazionali ovvero dall'OPCM n. 3274/2003 che è entrata in vigore dal 25 ottobre 2005, data coincidente con la pubblicazione della prima stesura delle norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 settembre 2005) e dalla successiva OPCM n. 3519/2006. La riclassificazione sismica del territorio nazionale prevede che tutto il territorio sia classificato sismico sulla base della Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale riportata di seguito espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi.

FIGURA 23 – MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA – OPCM 3519/2006.



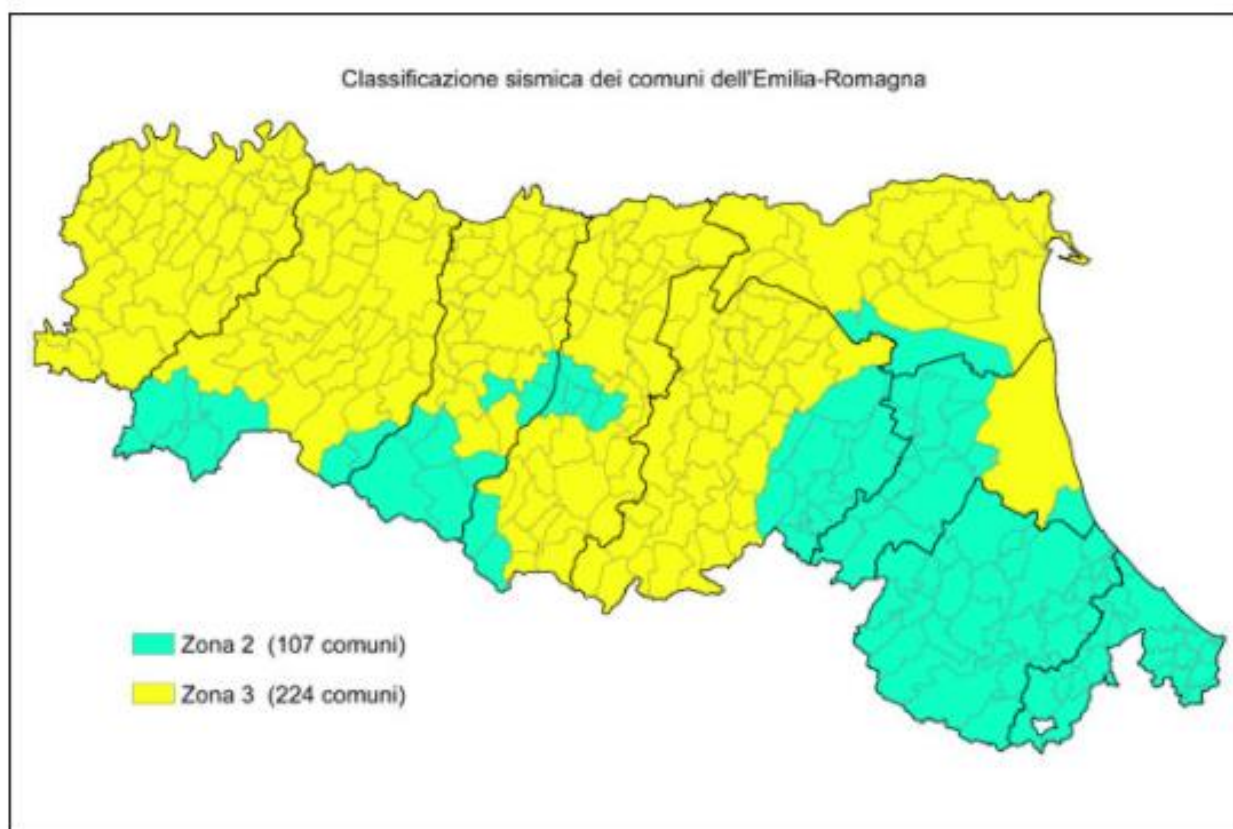


In relazione alla pericolosità sismica, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone con livelli decrescenti di pericolosità, in funzione a quattro differenti valori di accelerazione orizzontale massima al suolo a_{g475} , ossia quella riferita al 50esimo percentile, ad una vita di riferimento di 50 anni e ad una probabilità di superamento del 10% riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s.

TABELLA 4 – CLASSIFICAZIONE DELLE ZONE SISMICHE DEL TERRITORIO NAZIONALE.

Zona 1	$a_{g475} \geq 0.25g$
Zona 2	$0.25 < a_{g475} \leq 0.15g$
Zona 3	$0.15 < a_{g475} \leq 0.05g$
Zona 4	$a_{g475} < 0.05g$

FIGURA 24 – CLASSIFICAZIONE SISMICA COMUNI DELL'EMILIA ROMAGNA.





La regione Emilia-Romagna recepisce l'OPCM n. 3274/2003 attraverso la DGR N. 1435 del 2003, recentemente aggiornata dalla DGR N. 1164 del 23/07/18, la quale tra le modifiche introdotte porta ad includere tutti i comuni della regione all'interno di due sole Zone sismiche: la 2 e la 3.

I territori comunali su cui insistono le opere di progetto sono tutti classificati in Zona Sismica 3 (sismicità "relativamente" bassa).

L'appartenenza ad una delle quattro zone viene stabilita rispetto alla distribuzione sul territorio dei valori di ag_{475} con una tolleranza 0.025g. Come si evince dalla tabella a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (ag). Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione. Infatti, le Norme Tecniche per le costruzioni, hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona e quindi territorio comunale, precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche. Con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni, D.M. 17/01/2018 e la relativa Circolare del 21/01/2019, n. 7, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

Nelle figure successive sono riportati gli stralci della "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" riferita alle aree di interesse, redatta a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel 2004 e recepita dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28.04.2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".

Per quanto riguarda l'area sulla quale è situato il Sostegno di Valpagliaro, essendo al confine tra il Comune di Ferrara e il Comune di Tresignana, la successiva elaborazione prenderà in riferimento entrambi i territori comunali.

Il Comune di Ferrara è ricompreso tra la fascia di accelerazione (max.) di picco orizzontale variabile da 0,100 a 0,175 g Secondo la mappa interattiva di pericolosità sismica dell'I.NGV, nel territorio del Comune di Ferrara sono attesi eventi sismici di Magnitudo (M) media pari a 4,95 per una distanza dal nodo (Coordinate del punto lat: 44.821, lon: 11.659) pari a 10.20 Km.

Il Comune di Tresignana è ricompreso tra la fascia di accelerazione (max.) di picco orizzontale variabile da 0,075 a 0,150 g Secondo la mappa interattiva di pericolosità sismica dell'I.NGV, nel territorio del Comune di Tresignana sono attesi eventi sismici di Magnitudo (M) media pari a 4,95 per una distanza dal nodo (Coordinate del punto lat: 44.774, lon: 11.871) pari a 10.80 Km.



FIGURA 25 – MAPPA INTERATTIVA DI PERICOLOSITÀ DI BASE CENTRATA SUL COMUNE DI FERRARA E SUL COMUNE DI TRESIGNANA.

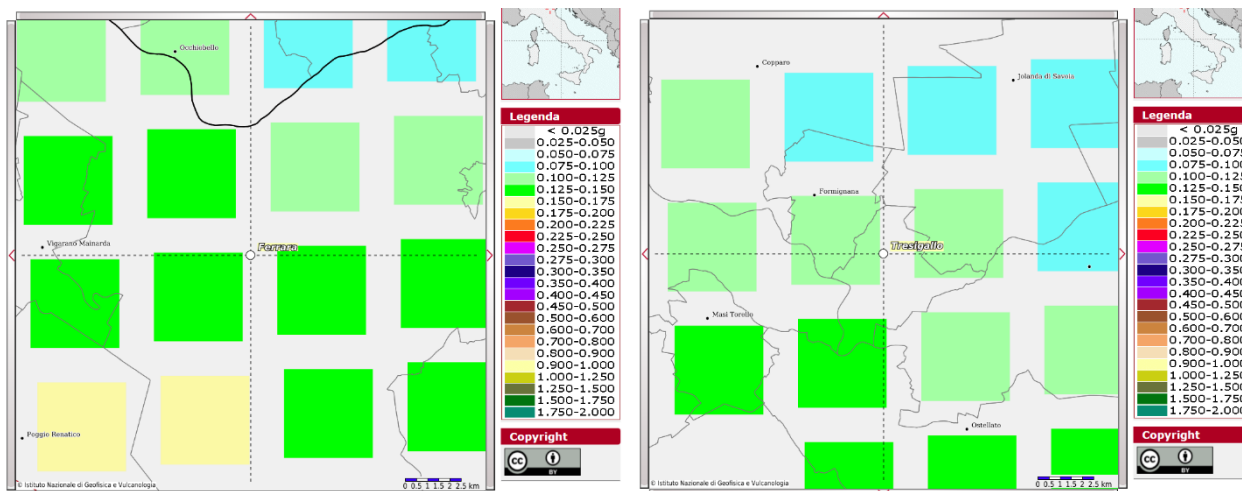
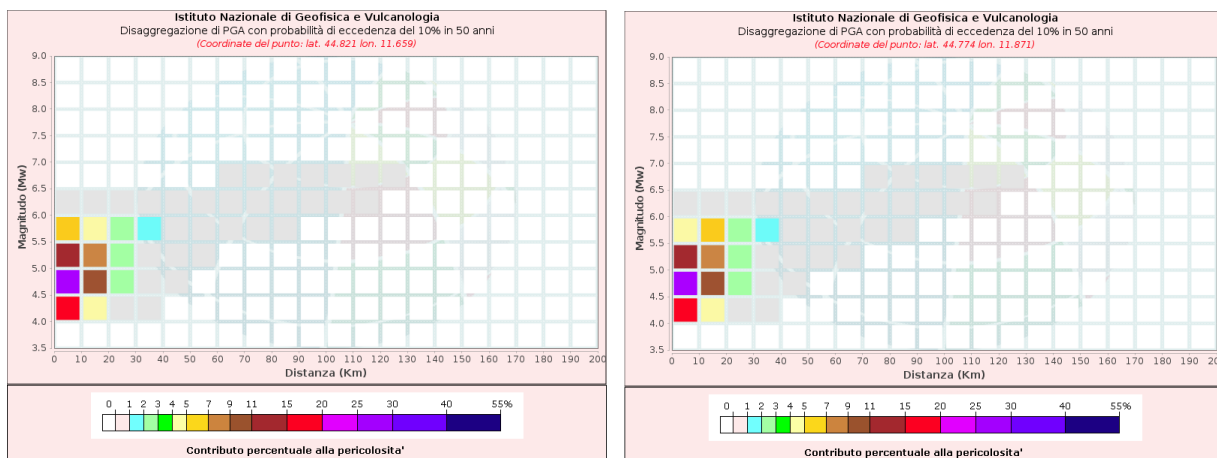


FIGURA 26 – DISAGGREGAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA PER I COMUNI DI FERRARA E TRESIGNANA.



Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.95	10.2	0.531

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.95	10.8	0.526

Per quanto riguarda il Comune di Fiscaglia (nel quale si trova il sostegno di Tieni), esso è ricompreso tra la fascia di accelerazione (max.) di picco orizzontale variabile da 0,075 a 0,125 g. Secondo la mappa interattiva di pericolosità sismica dell'INGV, nel territorio del Comune di Fiscaglia sono attesi eventi sismici di Magnitudo (M) media pari a 4,99 per una distanza dal nodo (Coordinate del punto lat: 44.776, lon: 12.012) pari a 15.90 Km.



FIGURA 27 – MAPPA INTERATTIVA DI PERICOLOSITÀ DI BASE CENTRATA SUL COMUNE DI FISCAGLIA.

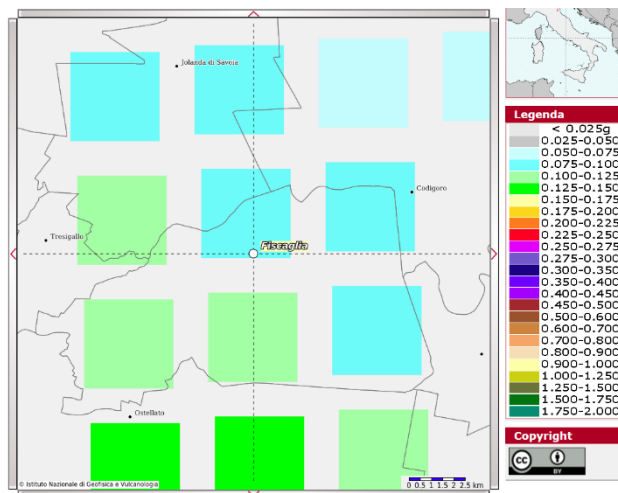
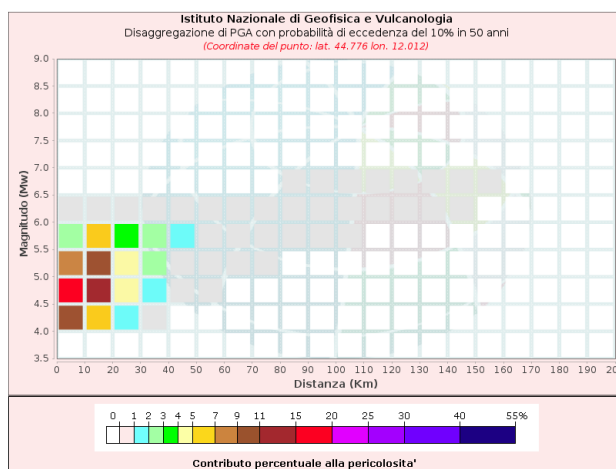


FIGURA 28 – DISAGGREGAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.



Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.99	15.9	0.731

Per quanto riguarda il Comune di Ostellato (nel quale si trova il sostegno di Valle Lepri), esso è ricompreso tra la fascia di accelerazione (max.) di picco orizzontale variabile da 0,100 a 0,150 g. Secondo la mappa interattiva di pericolosità sismica dell'I.NGV, nel territorio del Comune di Ostellato sono attesi eventi sismici di Magnitudo (M) media pari a 4,94 per una distanza dal nodo (Coordinate del punto lat: 44.725, lon: 11.943) pari a 9.68 Km.



FIGURA 29 – MAPPA INTERATTIVA DI PERICOLOSITÀ DI BASE CENTRATA SUL COMUNE DI OSTELLATO.

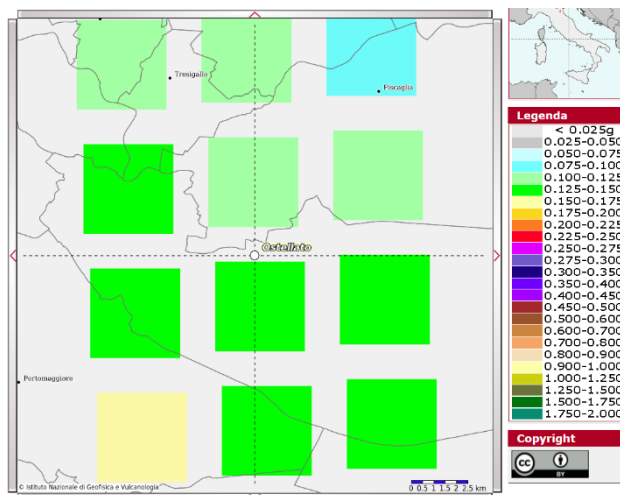
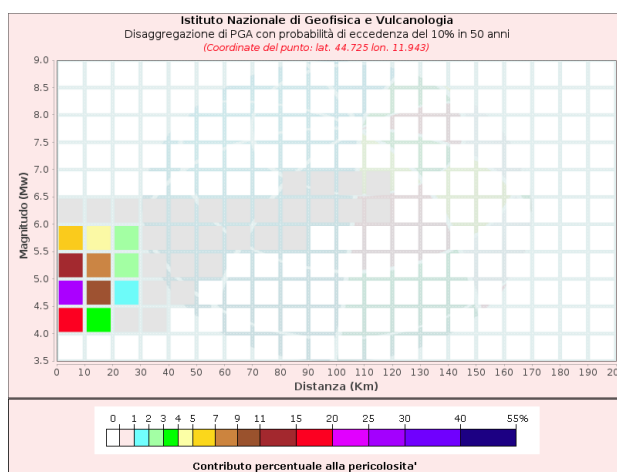


FIGURA 30 – DISAGGREGAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.



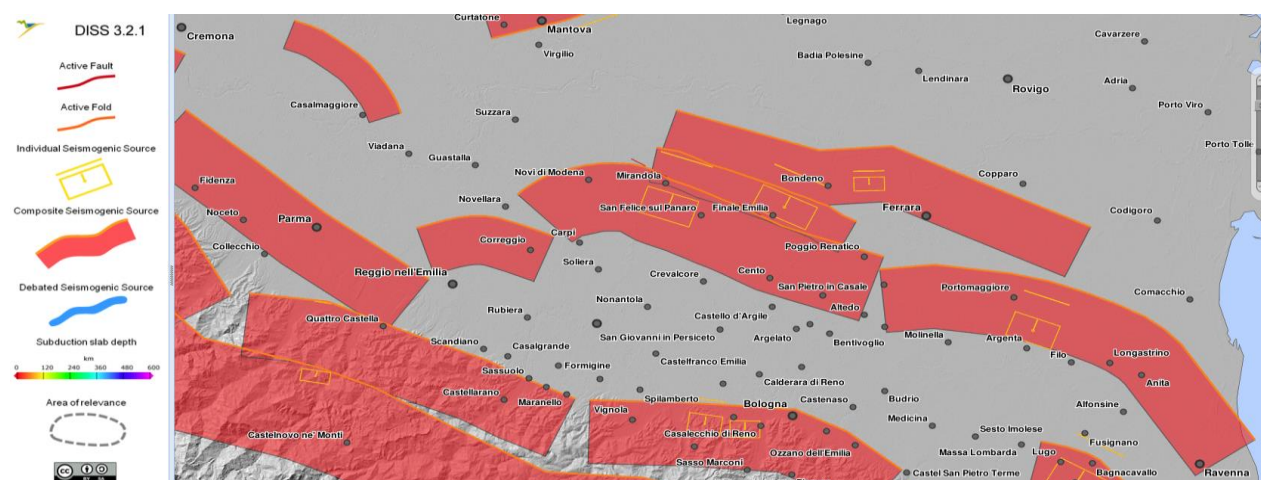
Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.94	9.68	0.501

5.2 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La stima della pericolosità sismica di un territorio dipende principalmente dalle sue caratteristiche geologico strutturali con i relativi cinematismi e aspetto imprescindibile, dalla conoscenza della sua storia sismica intesa come catalogazione dettagliata di tutti gli eventi sismici avvenuti in passato. La pericolosità sismica a livello nazionale è stata definita attraverso lo studio e l'evoluzione delle conoscenze relative alle diverse strutture tettoniche presenti sul territorio italiano responsabili della sismicità, definite come "zone"

o “sorgenti sismogenetiche”. L’ultima zonazione sismogenetica del territorio nazionale è stata prodotta dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ed è definita dalla sigla “ZS9” (Meletti & Valenzise 2004), tale studio rappresenta il più recente riferimento per la valutazione della pericolosità sismica del territorio italiano. Nel dettaglio tale zonazione è stata elaborata sulla base delle più recenti informazioni inerenti ai terremoti ed in particolare alle banche dati relative alle sorgenti sismogenetiche italiane, rappresentate ad esempio dal catalogo CPTI e dal DISS. Le aree di interesse, ad esclusione dell’area in Comune di Comacchio, in riferimento alla suddetta zonazione, rientrano nella “zona sismogenetica 912”, la quale è caratterizzata da un andamento parallelo rispetto all’asse della catena appenninica e deve la sua sismicità ai meccanismi strutturali compressivi che interessano il fronte sepolto più avanzato della catena appenninica. La magnitudo momento massima attribuita a tale zona è pari a 6,14 (Mw). La sismicità locale è generata dall’attività delle faglie compressive che costituiscono il sistema delle “Pieghie Ferraresi” (Pieri e Groppi, 1981), il quale è formato da due dorsali principali (sepolte) che si sviluppano con un arco vergente verso nord in un’area compresa tra Reggio Emilia, la costa adriatica e i territori a ridosso della sinistra idrografica del Po ferrarese (Bigi et al., 1990). All’interno della “Zona 912” sono presenti diverse zone sismogenetiche, la figura di seguito riporta in dettaglio la distribuzione delle sorgenti (ITIS) e zone (ITCS) sismogenetiche prossime all’area di studio (database D.I.S.S. Version 3.2.1).

FIGURA 31 – DISTRIBUZIONE SORGENTI SISMOGENETICHE INDIVIDUALI E COMPOSITE CONTENUTE NEL DATABASE D.I.S.S.



La “storia sismica” più recente, più prossima all’area di studio, risale all’anno 2012 tra il 20 ed il 29 maggio, quando una vasta porzione di Pianura padana compresa tra le Province di Modena, Ferrara, Bologna, Reggio Emilia e Mantova è stata interessata da una sequenza sismica caratterizzata da forti scosse di cui sette con magnitudo locale (ML) maggiore di 5.0, tra cui le principali avvenute rispettivamente il 20 maggio con epicentro tra Mirandola e Finale Emilia ed una magnitudo locale (ML) pari a 5.9 ed il 29 maggio con epicentro compreso tra Mirandola e Medolla e magnitudo locale (ML) pari a 5.8. I maggiori effetti locali osservati sono stati l’amplificazione del moto sismico e fenomeni di liquefazione, diffusi soprattutto in corrispondenza di rami abbandonati dei fiumi appenninici (Reno, Panaro e Secchia) e subordinatamente del Po.



6 INDAGINE MASW

Sono state effettuate n° 3 indagini sismiche MASW, finalizzate alla misura diretta della velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ per la determinazione della categoria sismica di appartenenza dei terreni del sottosuolo.

L'indagine MASW si è svolta in tre fasi: acquisizione delle onde superficiali (ground roll), costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Le onde di superficie sono state generate con una mazza battente (sorgente sismica) da un punto di energizzazione e sono state registrate con 12 geofoni lungo degli stendimenti di 50 m.

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Vs), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Per ottenere un profilo Vs è necessario produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse è stata utilizzata nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi. L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati. Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali. Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (Back Scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni). Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato



comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane. Le onde superficiali riverberate (Back Scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza. La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. È anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N (Signal/Noise). Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo Vs di inversione. Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente o un cannone sismico.

La strumentazione utilizzata per l'esecuzione delle indagini si compone di un sismografo a 12 canali ad elevata sensibilità, 12 geofoni a 4,5 Hz e mazza battente. Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipe di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili. I risultati ottenuti, vengono riportati e discussi successivamente.

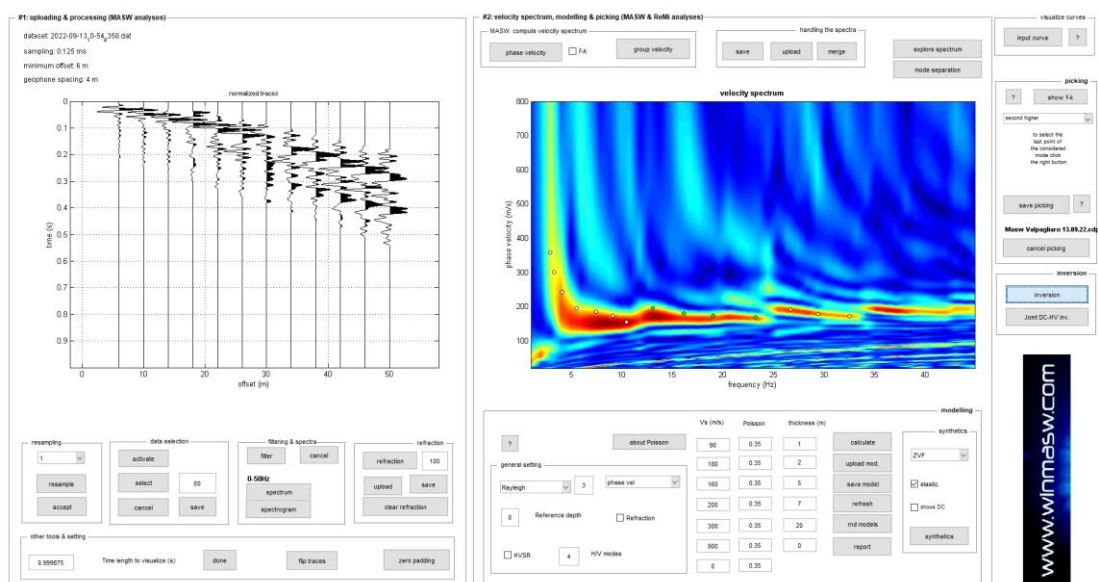


6.1 SOSTEGNO DI VALPAGLIARO

Il modello sismico monodimensionale (V_s -profondità) ricavato costituisce l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche sulla pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). I risultati dell'indagine MASW sono riportati nelle figure seguenti.

Il valore di $V_{s,eq} = V_{s30}$ calcolato è pari a 222 m/s. Il valore determinato consente di attribuire ai terreni di fondazione **categoria di suolo C** (aventi valore V_{seq} compresi tra 180 m/s e 360 m/s).

FIGURA 32 – PICKING DELLA CURVA DI DISPERSIONE





LIFEEL - LIFE19NAT/IT/000851

MISURE URGENTI NEL MEDITERRANEO ORIENTALE PER LA CONSERVAZIONE
A LUNGO TERMINE DELL'ANGUILLA EUROPEA (*ANGUILLA ANGUILLA*)



ACTION A3: PROGETTAZIONE DI PASSAGGI PER ANGUILLE PER RIAPRIRE OLTRE
1.000 KM DI HABITAT PER LA MIGRAZIONE DELLE CECHE VERSO MONTE

FIGURA 33 – PROCESSO DI INVERSIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE

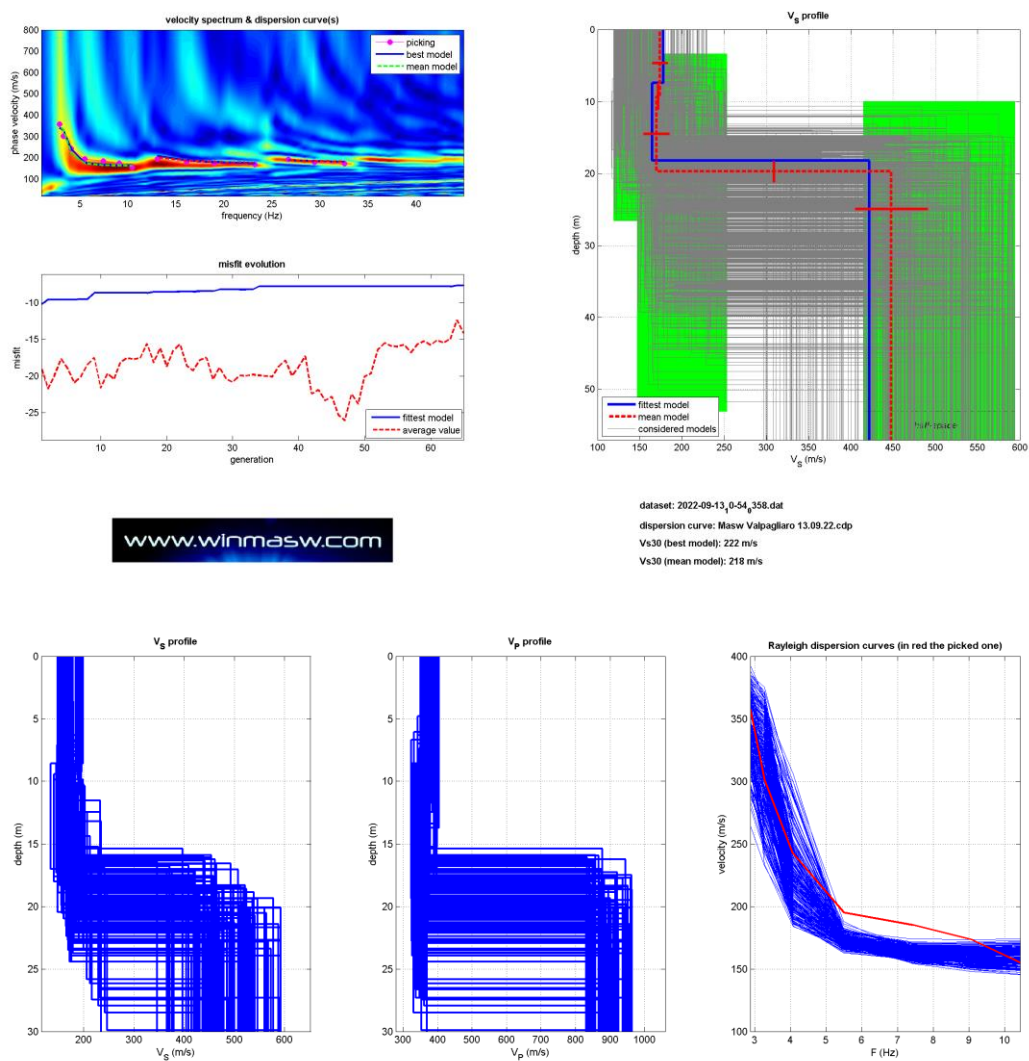
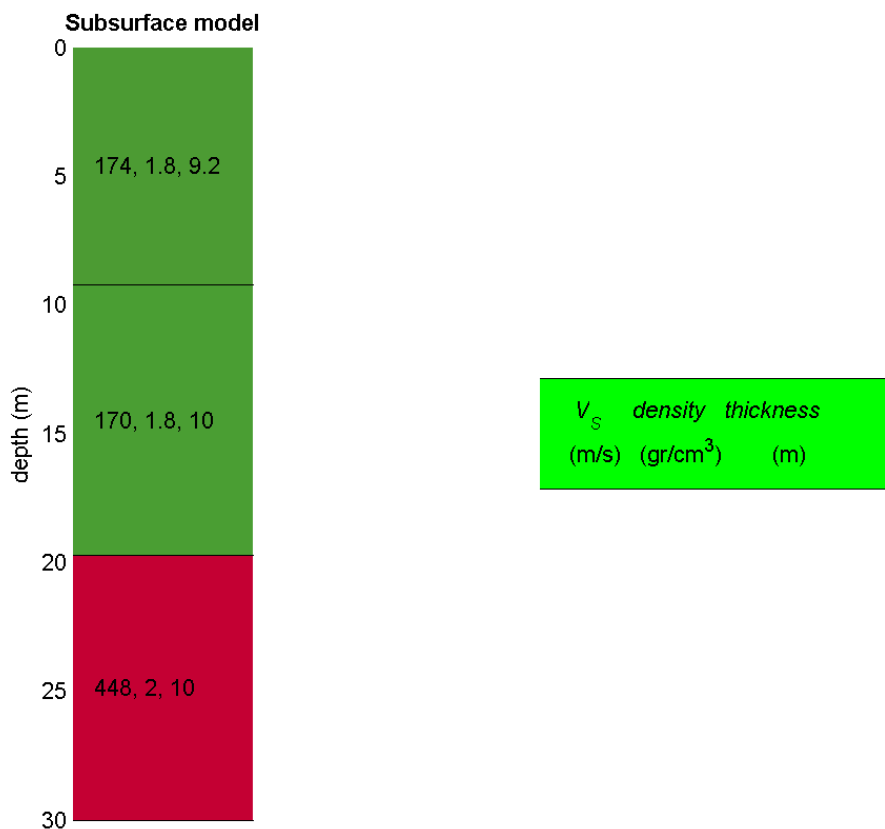




FIGURA 34 – SISMO – STRATIGRAFIA DEL SITO DI VALPAGLIARO





6.2 SOSTEGNO DI TIENI

Il modello sismico monodimensionale (V_s -profondità) ricavato costituisce l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche sulla pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). I risultati dell'indagine MASW sono riportati nelle figure seguenti.

Il valore di $V_{s,eq} = V_{s30}$ calcolato è pari a 189 m/s. Il valore determinato consente di attribuire ai terreni di fondazione categoria di suolo C (aventi valore $V_{s,eq}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s).

FIGURA 35 – PICKING DELLA CURVA DI DISPERSIONE

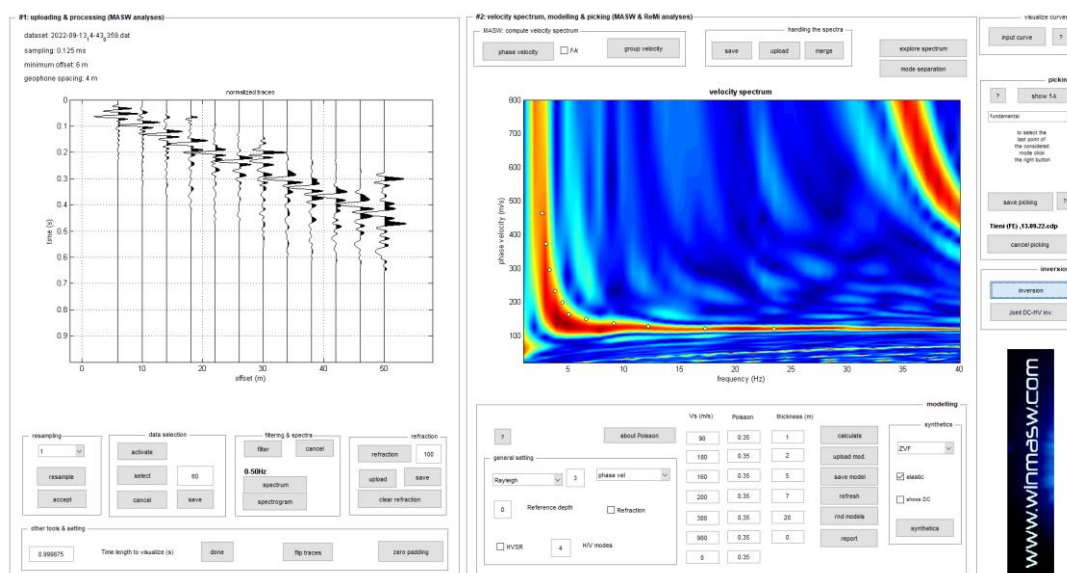
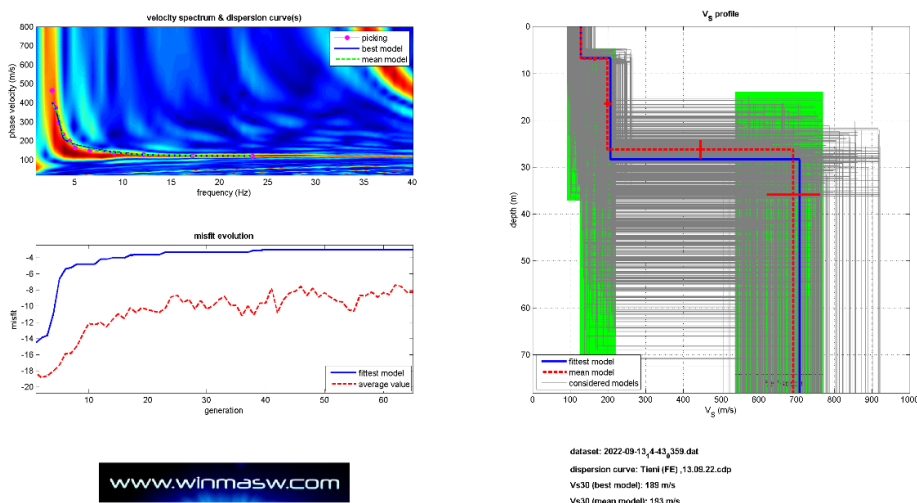


FIGURA 36 – PROCESSO DI INVERSIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE





LIFEEL - LIFE19NAT/IT/000851

MISURE URGENTI NEL MEDITERRANEO ORIENTALE PER LA CONSERVAZIONE
A LUNGO TERMINE DELL'ANGUILLA EUROPEA (*ANGUILLA ANGUILLA*)



ACTION A3: PROGETTAZIONE DI PASSAGGI PER ANGUILLE PER RIAPRIRE OLTRE
1.000 KM DI HABITAT PER LA MIGRAZIONE DELLE CECHE VERSO MONTE

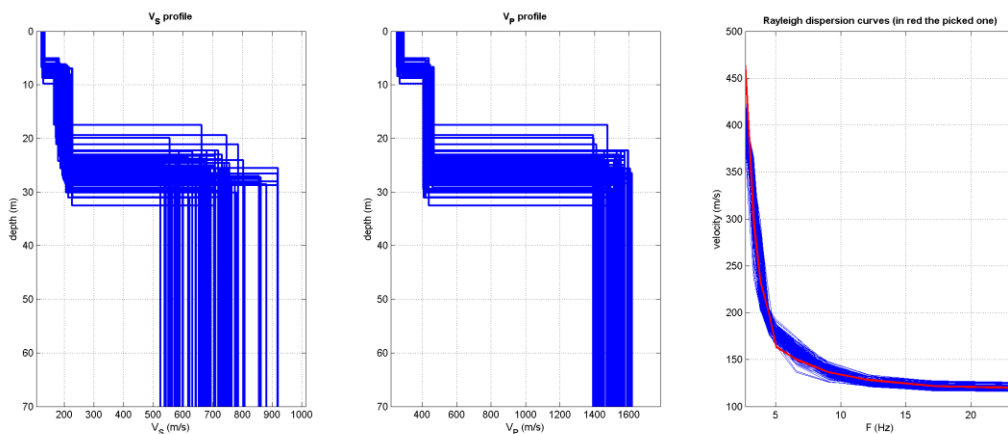
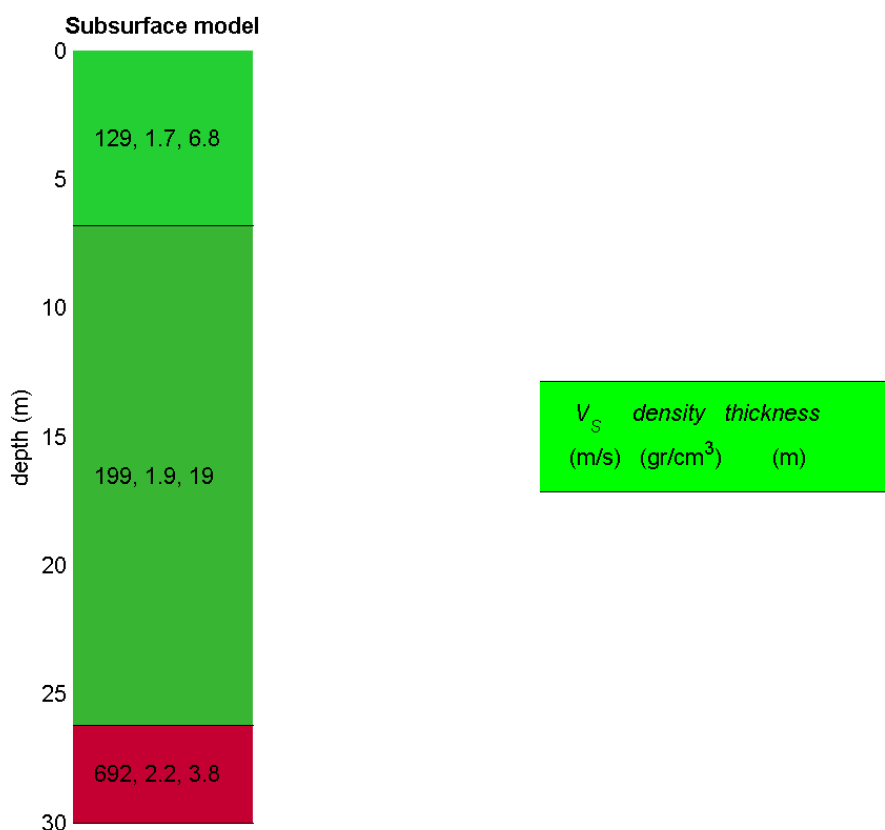


FIGURA 37 – SISMO – STRATIGRAFIA DEL SITO DI TIENI



6.3 SOSTEGNO DI VALLE LEPRI

Il modello sismico monodimensionale (V_s -profondità) ricavato costituisce l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche sulla pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). I risultati dell'indagine MASW sono riportati nelle figure seguenti.

Il valore di $V_{s,eq} = V_{s30}$ calcolato è pari a 219 m/s. Il valore determinato consente di attribuire ai terreni di fondazione categoria di suolo C (aventi valore $V_{s,eq}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s).

FIGURA 38 – PICKING DELLA CURVA DI DISPERSIONE

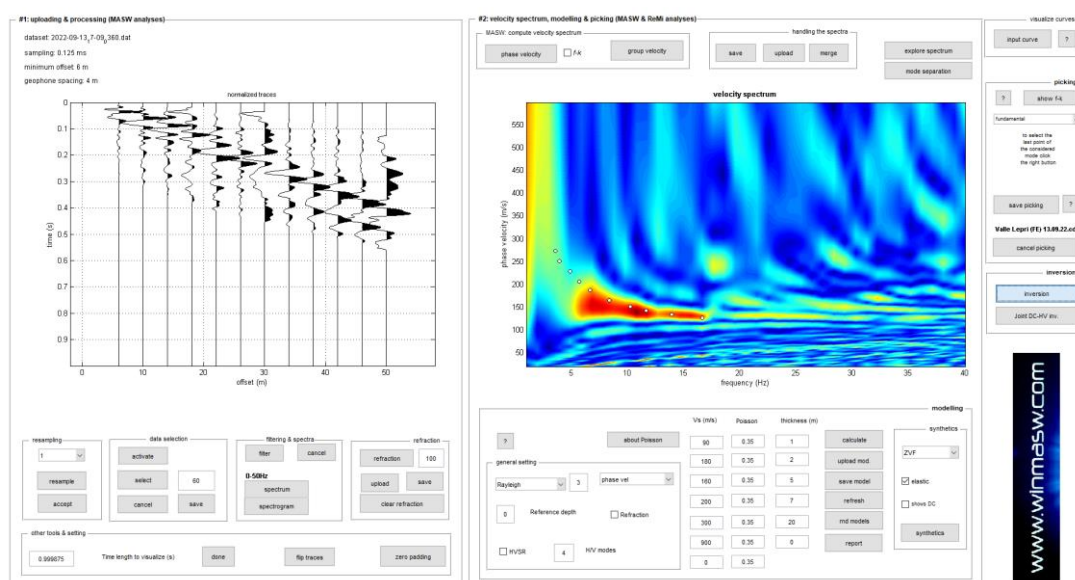
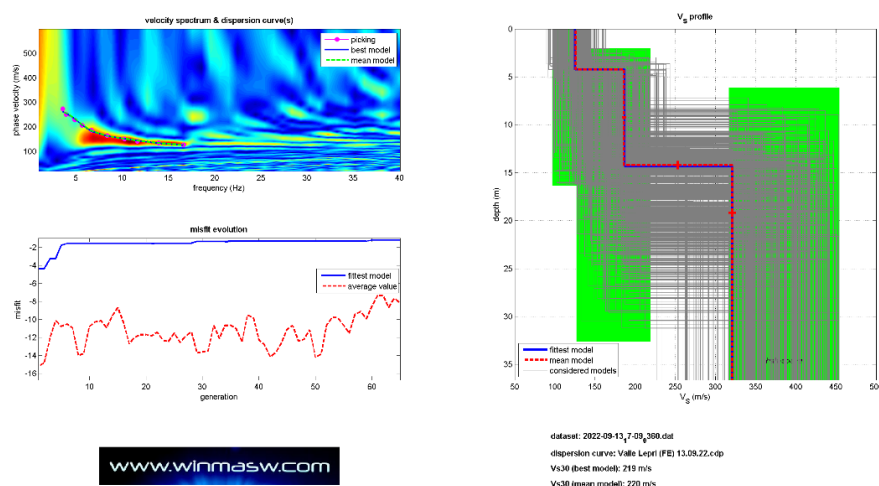


FIGURA 39 – PROCESSO DI INVERSIONE DELLA CURVA DI DISPERSIONE



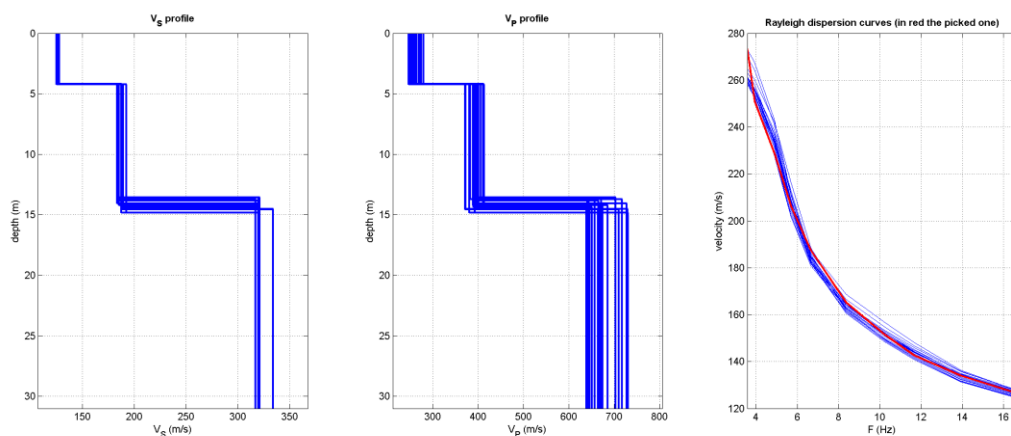
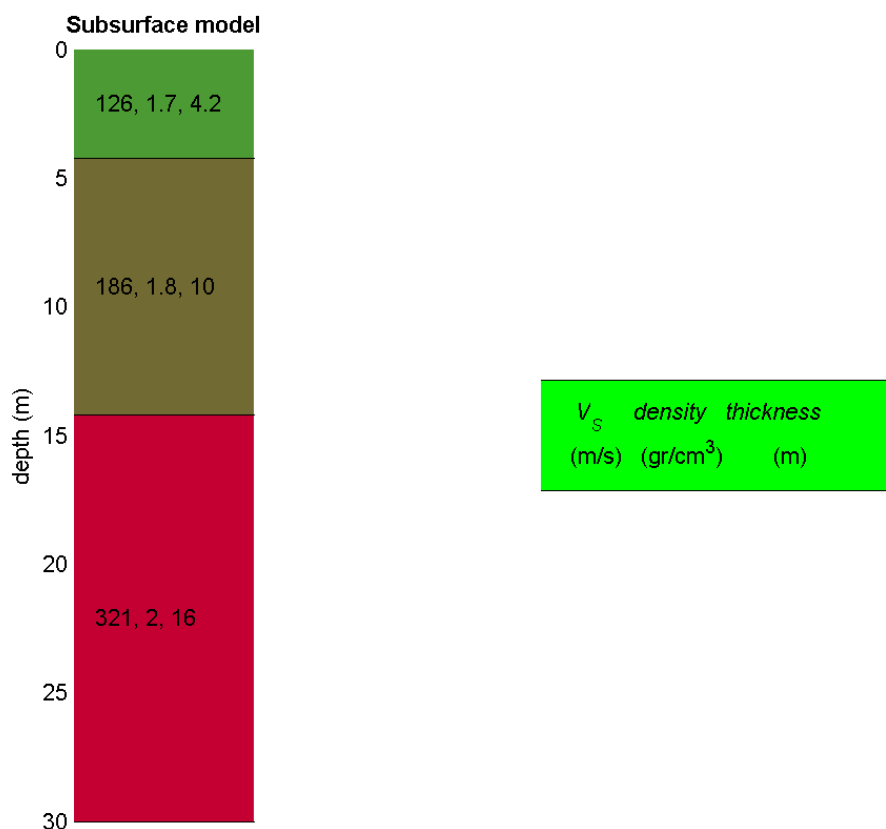


FIGURA 40 – SISMO – STRATIGRAFIA DEL SITO DI VALLE LEPRI





LIFEEL - LIFE19NAT/IT/000851

MISURE URGENTI NEL MEDITERRANEO ORIENTALE PER LA CONSERVAZIONE
A LUNGO TERMINE DELL'ANGUILLA EUROPEA (*ANGUILLA ANGUILLA*)



ACTION A3: PROGETTAZIONE DI PASSAGGI PER ANGUILLE PER RIAPRIRE OLTRE
1.000 KM DI HABITAT PER LA MIGRAZIONE DELLE CECHE VERSO MONTE

FIGURA 41 – STENDIMENTO MASW IN PROSSIMITÀ DEL SITO DI VALLE LEPRI





7 MODELLAZIONE SISMICA

L'azione sismica sulle costruzioni è generata dal moto non uniforme del terreno per effetto della propagazione delle onde sismiche. Il moto sismico eccita la struttura provocandone la risposta dinamica, che va controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese. Per fare ciò risulta indispensabile definire le caratteristiche geo - litologiche e geotecniche dei sottosuoli di fondazione.

La pericolosità sismica è definita nel paragrafo 3.2 del Decreto 17 gennaio 2018 (Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni") in termini di "accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al paragrafo 3.2.2) nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento V_R ".

I dati di input necessari alla definizione degli spettri elastici e di progetto del sito in esame sono:

1. coordinate geografiche del sito
2. vita nominale della struttura
3. classe d'uso e periodo di riferimento
4. topografia
5. categoria di sottosuolo

1 – Coordinate del sito (in ED50)

Area di intervento	Latitudine	Longitudine
Sostegno di Valpagliaro	44.817606	11.856193
Sostegno di Tieni	44.823175	12.040620
Sostegno di Valle Lepri	44.708427	12.095183

2 – Vita nominale della struttura

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere utilizzata per lo scopo al quale è destinata.

A tutte le opere di progetto viene assegnata una vita nominale $V_N = 50$ anni.

TIPI DI COSTRUZIONE	VITA NOMINALE V_N (in anni)
Opere provvisorie, opere provvisionali e strutture in fase costruttiva.	≤ 10
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute e di importanza normale	≥ 50
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≤ 100



3 – Classe d'uso e periodo di riferimento

Le strutture sono poi distinte in classi d'uso a seconda del tipo di affollamento che si prevede ci sarà all'interno della struttura oggetto di analisi. A tutte le strutture è attribuita una classe d'uso II.

Classe I:	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II:	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III:	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV:	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica



Per ciascun tipo di classe d'uso è associato un coefficiente d'uso C_u utile al calcolo del periodo di riferimento per l'azione sismica VR. Le azioni sismiche vengono difatti valutate in relazione ad un periodo di riferimento che si ricava, per ciascuna costruzione, moltiplicando la vita nominale per il coefficiente d'uso secondo la formula di seguito riportata:

$$V_R = V_N \times C_u$$

nella quale i valori di C_u sono riportati di seguito:

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

Nello specifico si osserva che, considerando vita nominale (VN) pari a 50 anni ed una classe d'uso II (coefficiente C_u pari a 1), il periodo di riferimento (VR) è dato da:

$$V_R = 50 \text{ anni}$$

4- Condizioni topografiche

La normativa prende inoltre in considerazione le condizioni topografiche sito specifiche, affermando la necessità di predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale nel caso di condizioni topografiche complesse, mentre per configurazioni superficiali semplici può essere adottata la seguente classificazione. A tutte le aree di intervento viene attribuita la categoria topografica T1.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
Categoria T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
Categoria T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
Categoria T3	Rilievi con larghezza di cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
Categoria T4	Rilievi con larghezza di cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$



5- Definizione della categoria di sottosuolo

Il capitolo 3.2.2 del Decreto 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”, attraverso l’approccio semplificato definisce le categorie di sottosuolo in relazione ai valori della velocità sismica equivalente $V_{s,eq}$ (m/s), relativa alla propagazione delle onde di taglio. Nel caso in cui si tratti di depositi con profondità del substrato H superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio, è definita dal parametro VS_{30} , il quale prende in considerazione i primi 30 m di profondità ($H=30$) al di sotto del piano di posa delle fondazioni o testa dei pali.

Nell’ambito delle campagne geognostiche che verranno eseguite in sede di progettazione esecutiva, dovranno essere eseguite delle indagini sismiche del tipo MASW che permettano di classificare il suolo dal punto di vista sismico, attraverso una delle categorie di seguito proposte:

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA CATEGORIA
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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 di terreni a grana fine 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 180/360 m/s
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine 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.



8 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione si manifesta a carico dei terreni generalmente sabbiosi sciolti, normalmente consolidati immersi in falda, quando in concomitanza di una sollecitazione sismica inducono nel terreno un aumento delle pressioni interstiziali fino ad annullare la resistenza al taglio del terreno ed indurre fenomeni di fluidificazione del terreno stesso.

Secondo le NTC2018, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Valutando gli esiti delle indagini geognostiche si è potuto constatare che il sottosuolo nei tre siti di indagini sono essenzialmente di natura coesiva, limoso-argillosi. Fa eccezione il sito di Valpagliaro, il cui sottosuolo è costituito da litologie sabbiose a partire da una profondità di circa 10 metri dal locale piano campagna.



9 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione geologica e geotecnica è stata redatta a supporto del progetto esecutivo relativo ai tre passaggi per pesci previsti nel bacino del Fiume Po.

Per una caratterizzazione completa del sottosuolo nei diversi siti di intervento sono state eseguite indagini geognostiche ad hoc; nel dettaglio sono state eseguite complessivamente n. 3 indagini penetrometriche e n. 3 indagini sismiche MASW.

Dalle evidenze in cantiere e dagli esiti delle prove geotecniche è stato possibile ricostruire la stratigrafia e fornire la parametrizzazione geotecnica dei terreni oggetto di intervento. Come già illustrato nella relazione geologica preliminare si è trovato riscontro della presenza di terreni di granulometria essenzialmente fine, in prevalenza di natura limoso-argillosa. Solo in Valpagliaro è stato individuato un banco sabbioso a partire da una profondità di circa 10 metri fino alla quota di fine indagine (15 metri).

La categoria di sottosuolo secondo la normativa vigente sulle costruzioni, risulta essere in tutti i siti corrispondente a C ovvero *“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”*.

Se durante gli scavi dovessero essere riconosciuti orizzonti dotati di scarse caratteristiche geotecniche, questi andranno sostituiti con materiale di idonea pezzatura.

Sono inoltre state eseguite le verifiche geotecniche agli SLU con i carichi forniti dal Progettista e sono poi stati calcolati i cedimenti edometrici.

Le verifiche risultano soddisfatte ed i cedimenti di entità trascurabile.

Si ritiene che gli interventi previsti siano compatibili dal punto di vista geologico, geomorfologico e idrogeologico, considerando gli aspetti precedentemente esposti.

Varano Borghi, aprile 2024

Geol. Miriam Toaldo



Geol. Elena Nostrani

