PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

RegioneEmiliaRomagna

CONFERENZA DELLE REGIONI E DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

III Livello di Approfondimento

Relazione Illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Lagosanto (Fe)



Regione:	Soggetto realizzatore	Data:
Regione Emilia Romagna	Dott. Geol.Thomas Veronese Collaboratori: Dott. Geol. Luca Lunghi Dott.ssa Geol. Sara Franciosi Indagini Geofisiche: Teamgeofisica.ceg Cartografia: Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli	Gennaio 2025
Segreteria Regionale per l'ambiente		

dott. Geologo Thomas Veronese
via Roma 10 - 44021 Codigoro Fe

Gruppo di lavoro:

Microzonazione sismica di III livello:
Dott. Geol. Thomas Veronese

Indagini geofisiche e interpretazione dati geofisici
Dott. geol. Nasser Abu Zeid

Indagini geologiche in situ:
Dott. Geol. Thomas Veronese

Cartografia e progetto GIS:
Dott. Geol. Claudia Tomassoli

Collaboratori
Dott. Geol. Sara Franciosi
Dott. Geol. Luca Lunghi

INDICE:

1. INTRODUZIONE 3

1.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO 5

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 7

3. NUOVA PERIMETRAZIONE DELLE AREE IN CUI EFFETTUARE LA MS: AMBITI DI INTERESSE 8

4. ELEMENTI NECESSARI PER LA VALUTAZIONE PIÙ APPROFONDITA DELLA RSL 10

4.1. INDAGINI GEOLOGICHE E MODELLI STRATIGRAFICI 12

4.1.1. ELENCO INDAGINI ESISTENTI E NUOVE INDAGINI 12

4.1.2. MODELLO GEOLOGICO PROFONDO DI RIFERIMENTO 18

4.1.3. AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DELLE INDAGINI 24

4.1.4. AGGIORNAMENTO DELLA CARTA GEOLOGICO TECNICA 26

4.1.5. AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DELLE FREQUENZE 30

4.1.6. AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA 31

4.1.7. AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (Vs) 39

4.2. SEGNALI DI INPUT PER ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE 43

5. ANALISI DELLA RSL PER AMBITI DI STUDIO – MODELLI DI INPUT 51

5.1. MAROZZO IMPIANTI IDROVORI 64

5.2. VALLE OPPIO OSPEDALE DEL DELTA 66

5.3. LAGOSANTO PALADON 68

5.4. LAGOSANTO MUNICIPIO 70

5.5. LAGOSANTO PIAZZA MATTEOTTI 72

5.6. BOSCHETTO CORTE CANTELLI 74

5.7. VACCOLINO AREA PRODUTTIVA 76

6. SINTESI DEI RISULTATI – MODELLI DI OUTPUT 78

6.1. MAROZZO IMPIANTI IDROVORI 78

6.2. VALLE OPPIO OSPEDALE DEL DELTA 80

6.3. LAGOSANTO PALADON 82

6.4. LAGOSANTO MUNICIPIO 84

6.5. LAGOSANTO PIAZZA MATTEOTTI 86

6.6. BOSCHETTO CORTE CANTELLI 88

6.7. VACCOLINO AREA PRODUTTIVA 90

6.8. CALCOLO DEGLI HSM E SINTESI RISULTATI 92

7. CARTE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE 97

7.1. CARTA IN TERMINI DI F.P.G.A. 98

7.2. CARTE IN TERMINI DI F.A. 99

7.3. CARTE IN TERMINI DI F.H. 103

7.4. CARTE DELLA DISTRIBUZIONE SUL TERRITORIO DEI VALORI DI HSM 106

8. ANALISI DELLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE E CALCOLO INDICE DI LIQUEFAZIONE 112

8.1. METODO DI ANALISI 113

8.2. CARTA DELL'INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE 121

ALLEGATO 1 – Sezioni Geologiche

ALLEGATO 2 – Rapporti di prova - Nuove Indagini

ALLEGATO 3 – Report verifica a Liquefazione

1. INTRODUZIONE

Su incarico dell'amministrazione comunale di Lagosanto si redige lo studio di Microzonazione sismica di terzo livello, di cui all'O.C.D.P.C. 293/2015 e D.C.D.P.C. del 14 dicembre 2015 (Determinazione N.R.G. 207 del 27/05/2024 Uff. Urbanistica, Edilizia e Territorio "incarico di redazione dello studio di microzonazione sismica di terzo livello e aggiornamento dell'analisi delle condizioni limiti di emergenza" CIG: B1A8C7E632 e CUP: B12D24000020006).

Le attività di microzonazione sismica nel territorio regionale sono regolate da specifici indirizzi approvati con Delibera della Giunta Regionale 12 aprile 2021, N. 476 Aggiornamento dell"'Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)" di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630"., e dalla Deliberazione della Giunta Regionale 26 aprile 2021, N. 564 integrazione della propria deliberazione n. 476 del 12 aprile 2021 mediante approvazione dell'allegato A, "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Art. 22 e 49, L.R. N. 24/2017)".

In particolare per i comuni caratterizzati da una pericolosità sismica a_g inferiore a 0,125g, come il comune di Lagosanto FE, si fà riferimento alla Delibera Num. 2245 del 27/12/2018 Approvazione dei criteri per la realizzazione di studi di micro zonazione sismica nei comuni caratterizzati da una pericolosità sismica a_g inferiore a 0,125g, in attuazione dell'Art. 8 della L.R. n. 19/2008. Approvazione Allegati A1 e A2.

Questo studio di Microzonazione sismica di terzo livello viene realizzato con i fondi attribuiti con la Delibera della Giunta Regionale n. 260 del 20/02/2024"Approvazione dei criteri per la selezione, l'attribuzione, la concessione e la liquidazione di contributi per studi di microzonazione sismicanei Comuni caratterizzati da pericolosità sismica ag inferiore a 0,125g". Successivamente con Determinazione del Dirigente dell'Area Geologia, Suoli e Sismica della Regione Emilia Romagna, num. 9008 del 07/05/2024 sono stati attribuiti i fondi necessari per lo svolgimento degli studi di MZ di terzo livello al Comune di Lagosanto.

Il lavoro è basato sulla Microzonazione **sismica di 2 livello e analisi della Condizione Limite per l'emergenza (CLE) del comune di Lagosanto validata in data 29 agosto 2023**.

Gli studi di microzonazione sismica hanno l'obiettivo di provare a prevedere le alterazioni che lo scuotimento sismico può indurre in superficie, restituendo informazioni utili per il governo del territorio, per la progettazione, per la pianificazione per l'emergenza e per la ricostruzione post sisma. Nella pianificazione territoriale, in funzione delle varie scale e dei vari livelli di intervento, gli studi di microzonazione sismica sono condotti su quelle aree per le quali il quadro normativo consente o prevede l'uso a scopo edificatorio o per infrastrutture, la loro potenziale trasformazione a tali fini, o ne preveda l'uso ai fini di protezione civile.

Gli studi di microzonazione sismica sono di fondamentale importanza nella pianificazione al fine di:
- orientare la scelta di aree per nuovi insediamenti;
- definire gli interventi ammissibili in una data area;
- programmare le indagini e i livelli di approfondimento;
- stabilire orientamenti e modalità di intervento nelle aree urbanizzate;
- definire priorità di intervento.

Tutto ciò è oggetto degli studi di microzonazione sismica, attraverso i quali è possibile individuare e caratterizzare le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale e le zone soggette a instabilità, quali frane, rotture della superficie per faglie e liquefazioni dinamiche del terreno.

Nella pianificazione d'emergenza, sia di livello comunale che provinciale, gli studi di microzonazione sismica consentono una migliore e consapevole individuazione degli elementi strategici di un piano di emergenza ed in generale delle risorse di protezione civile.

La conoscenza dei possibili effetti locali indotti da un evento sismico su un territorio contribuisce a:
- scegliere aree e strutture di emergenza ed edifici strategici in zone stabili;
- individuare, in caso di collasso, i tratti "critici" delle infrastrutture viarie e di servizio e le opere rilevanti per le quali potrebbero essere necessarie specifiche valutazioni di sicurezza.

Nella fase della ricostruzione la microzonazione sismica:
• contribuisce a scegliere le aree per le abitazioni temporanee;
• fornisce elementi ai tecnici e amministratori, sull'opportunità di ricostruire gli edifici non agibili;
• contribuisce a scegliere nuove aree edificabili.

Nella progettazione di nuove opere o di interventi su opere esistenti, gli studi di microzonazione sismica evidenziano la presenza di fenomeni di possibile amplificazione dello scuotimento legati alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche dell'area e di fenomeni di instabilità e deformazione permanente attivati dal sisma. Gli studi di microzonazione sismica, quindi, possono offrire elementi conoscitivi utili per la progettazione di opere, con differente incisività in funzione del livello di approfondimento e delle caratteristiche delle opere stesse, indirizzando alla scelta delle indagini di dettaglio.

Lo studio di microzonazione sismica è uno strumento conoscitivo dalle diverse potenzialità, che ha costi differenti in funzione del livello di approfondimento che si vuole raggiungere:

PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO:

- Individua le aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini.
- Definisce il tipo di effetti attesi.
- Indica, per ogni area, il livello di approfondimento necessario.
- Descrive le caratteristiche delle unità geologiche del sottosuolo, in termini di litologia, stratigrafia, tettonica e geometria per definire il modello geologico di base per la MS.

SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO:

- Conferma delle condizioni di pericolosità indicate dal precedente livello di approfondimento o eventuale nuova perimetrazione delle aree in cui effettuare la MS.
- Suddivisione dettagliata del territorio in base all'amplificazione attesa.
- Conferma o migliore definizione delle aree, indicate dal livello di approfondimento precedente, in cui si ritengono necessari approfondimenti di terzo livello e indicazione delle indagini e analisi da effettuare.

TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO:

- Conferma delle condizioni di pericolosità indicate dai precedenti livelli di approfondimento ed eventuale nuova perimetrazione delle aree in cui effettuare la MS.
- Valutazione più approfondita della RSL, in termini di amplificazione e/o stima degli indici di rischio, nelle seguenti situazioni:

  a) aree soggette a liquefazione e densificazione;

  b) aree instabili e potenzialmente instabili;

  c) aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti; in tali condizioni sono raccomandate analisi bidimensionali;

  d) aree suscettibili di effetti differenziali (zone di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse, zone di faglia attiva e capace, zone con cavità sepolte).

Questo livello di analisi è finalizzato a valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale delle aree instabili e potenzialmente instabili, di quelle soggette a liquefazione e densificazione sempre ai fini della redazione della carta di microzonazione.

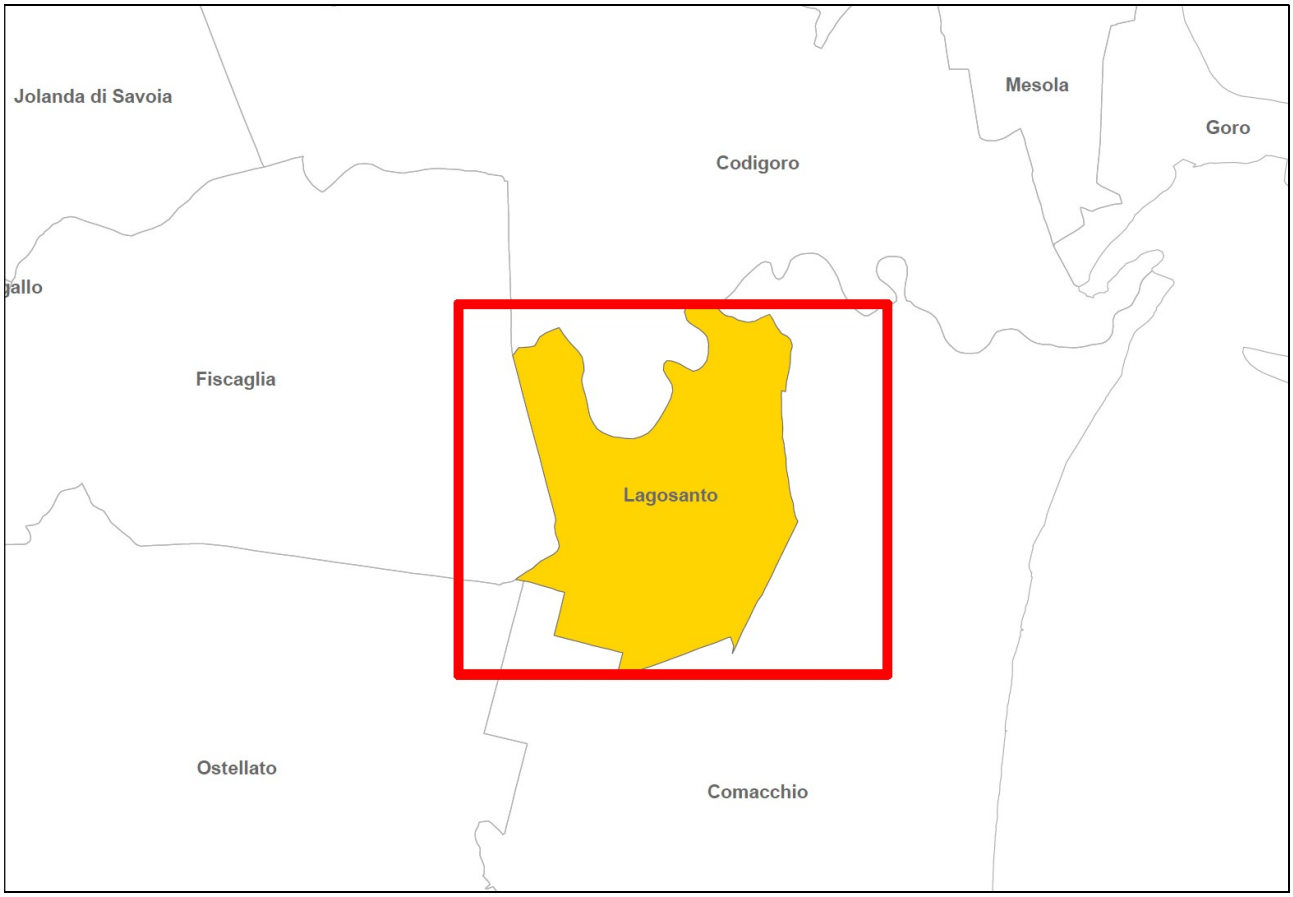
Le modalità tecniche di esecuzione e di applicazione della microzonazione sismica sul territorio italiano sono definite dagli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica", approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome.

1.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il comune di Lagosanto è compreso nella seguente cartografia:

1. - Scala 1: 50.000: Foglio 187 Lagosanto, Foglio 205 Comacchio.
2. - Scala 1: 25.000: Foglio 187 SO, Foglio 187 SE, Foglio 205 NO, Foglio 205 NE.

Il comune di Lagosanto confina a nord con il Comune di Codigoro, ad est con il Comune di Comacchio, a sud con i Comuni di Comacchio e di Ostellato, ad ovest con il comuni di Fiscaglia Comacchio e Codigoro.



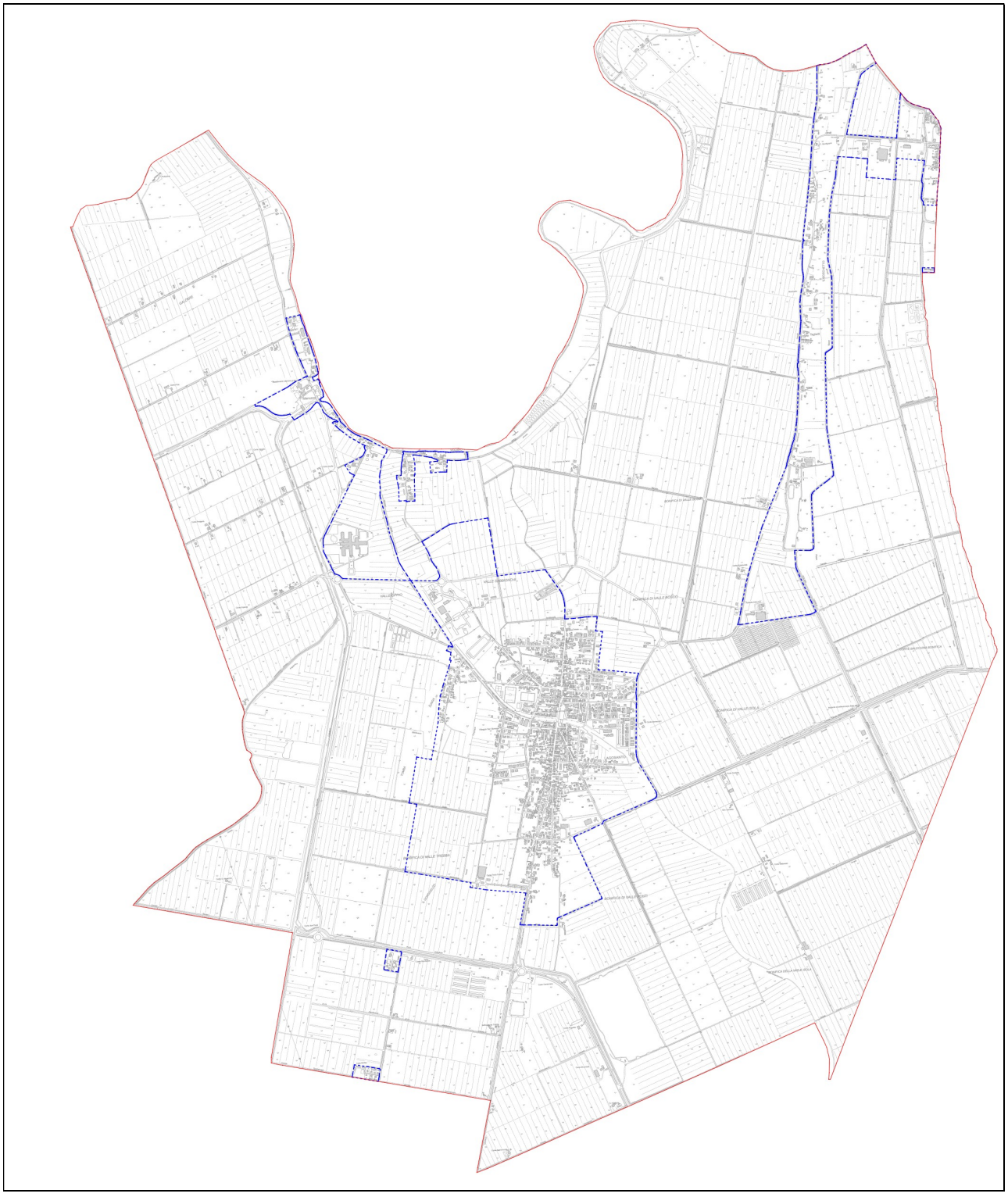


FIGURA 1-1
TERRITORIO COMUNALE DI LAGOSANTO - provincia di Ferrara

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.2", redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015), da qui in avanti "Standard MS 4.2".
- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", approvato dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome (Gruppo di lavoro MS, 2008) e successive modifiche e integrazioni (AA.VV., 2011), da qui in avanti "ICMS".
- Delibera Assemblea Legislativa n°112/2007 della Regione Emilia Romagna "Atto di Indirizzo e coordinamento tecnico" per gli studi di microzonizzazione sismica.
- Deliberazione della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 2193/2015 "Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia - Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'assemblea legislativa 2 Maggio 2007, N. 112.
- Deliberazione della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 630/2019 "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017).
- Deliberazione della Giunta Regionale 12 aprile 2021, N. 476 Aggiornamento dell' "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)" di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630
- Deliberazione della Giunta Regionale 26 aprile 2021, N. 566 "Approvazione dei criteri per l'attribuzione, la concessione e la liquidazione di contributi per studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza nei comuni caratterizzati da una pericolosità sismica a_g inferiore a 0,125g".
- Deliberazione della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 2245/2018 "Approvazione dei criteri per la realizzazione di studi di microzonazione sismica nei comuni caratterizzati da una pericolostià sismica Ag inferiore a 0,125g in attuazione dell'art. 8 della L.R. N. 19/2008, approvazione allegati A1 e A2."
- L.R. 30/10/2008 n. 19 "Norme per la riduzione del Rischio Sismico"
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, suppl. ord. n. 30, che entrano in vigore il 6 marzo 2008.
- Decreto del Ministero e dei Trasporti 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G.U. n. 42 del 20 febbraio 2018, suppl. ord. n. 8.
- Circolare n. 7/2019 del C.S.LL.PP.: Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 Gazzetta Ufficiale n. 35/2019 - 11 febbraio 2019.

3. NUOVA PERIMETRAZIONE DELLE AREE IN CUI EFFETTUARE LA MS: AMBITI DI INTERESSE

La microzonazione sismica (MS) viene richiesta nelle aree urbanizzate, negli agglomerati in territorio rurale di dimensioni significative, nelle aree suscettibili di trasformazioni urbanistiche e lungo le fasce a cavallo delle reti infrastrutturali di nuova previsione. Le aree in cui realizzare la microzonazione sismica sono state fornite dall'amministrazione comunale. Tali perimetri degli ambiti di interesse sui quali verrà realizzata la Microzonazione sismica di III Livello coincidono con quelli presentati negli studi di approfondimento di II livello approvati nell'agosto 2023.



Comune di Lagosanto Prot n. 0006987 del 29-08-2023 Cat 6 Cl. 1

DIREZIONE GENERALE CURA
DEL TERRITORIO E DELL' AMBIENTE
SETTORE DIFESA DEL TERRITORIO

RegioneEmilia-Romagna

AREA GEOLOGIA, SUOLI E SISMICA

IL RESPONSABILE
SERGIO MONTI

TIPO ANNO NUMERO
REG. / /
DEL / /

Al Comune di Lagosanto (FE)
c.a. ing. Simone Monari
Responsabile Settore Urbanistica-Territorio
comune.lagosanto@cert.comune.lagosanto.fe.it

INVIO MEZZO PEC

Oggetto: DGR 566/2021 e DD 16174/2021, certificazione di conformità studio di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza.

Il territorio comunale è stato suddiviso in macro aree pseudomogenee su cui sviluppare specifici studi risposta sismica locale:

Gli ambiti denominati "aree di interesse" sui quali verrà sviluppata la Microzonazione Sismica di terzo livello sono riportate nella **FIGURA 3.1**.

Essendo il territorio comunale di ridotte dimensioni, si è optato per eseguire le analisi in 7 punti di interesse, anche se spesso sono collocati sullo stesso scenario geologico-stratigrafico-geomorfologico.

1. Marozzo – Impianti Idrovori
2. Valle Oppio – Ospedale del Delta
3. Lagosanto – PalaDon.
4. Lagosanto – Municpio
5. Lagosanto – Piazza Matteotti
6. Boschetto – corte Cantelli
7. Vaccolino – area produttiva

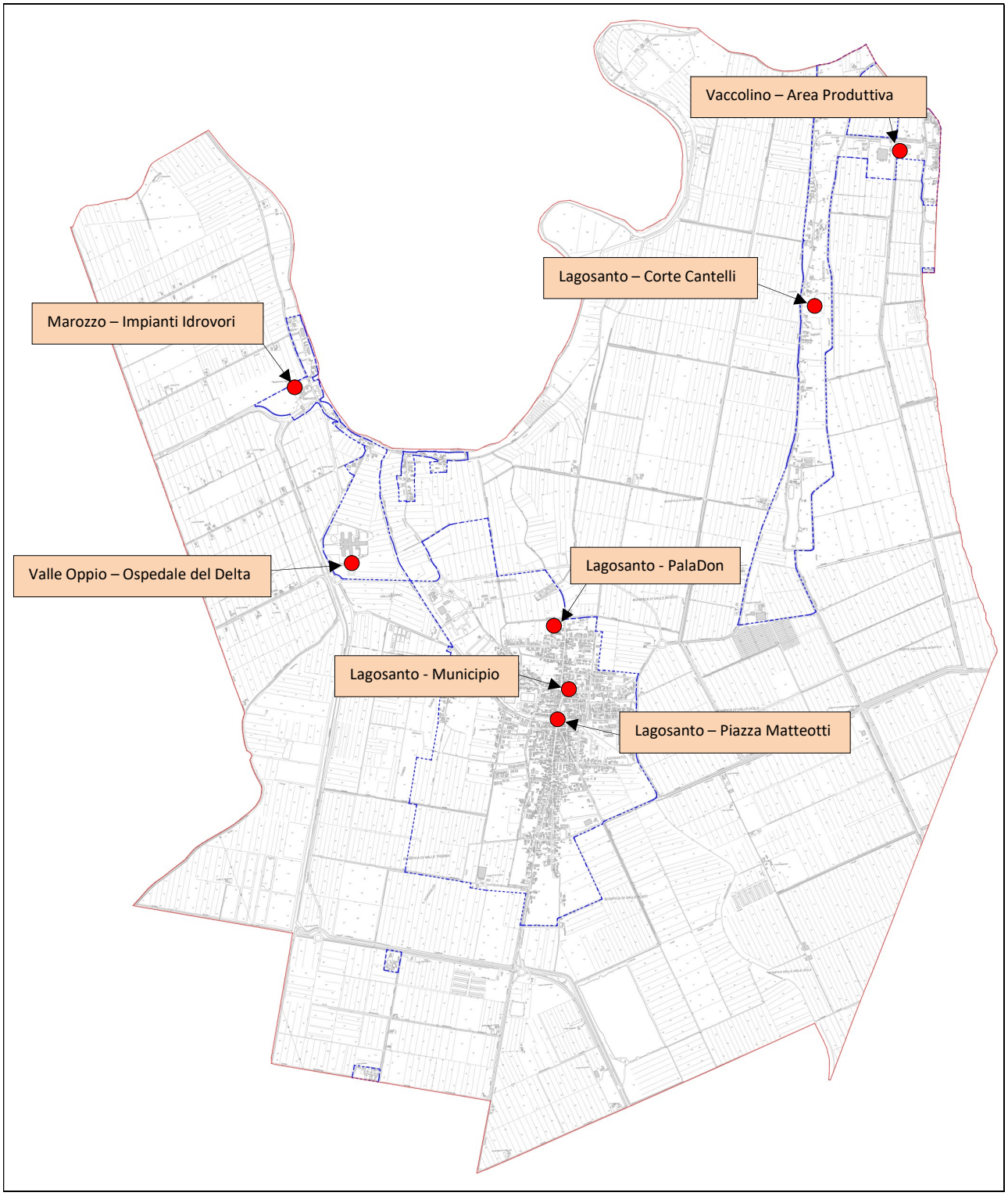


Figura 3-1 *distribuzione degli ambiti di interesse nel territorio comunale e ubicazione delle analisi puntuali di risposta sismica locale*

4. ELEMENTI NECESSARI PER LA VALUTAZIONE PIÙ APPROFONDITA DELLA RSL

La finalità del terzo livello di approfondimento deve confermare o meno, le condizioni di pericolosità indicate dai precedenti livelli di approfondimento.

Questa valutazione deve avvenire mediante uno studio di risposta sismica locale, in modo da pervenire ad una più approfondita determinazione dei fattori di amplificazione, con cui poi procedere alla stima degli indici di rischio, che nel comune di Lagosanto interessano, sulla base dei precedenti livelli di micro zonazione sismica, le aree soggette a liquefazione e densificazione.

Negli studi precedenti era emerso la presenza diffusa dei caratteri predisponenti alla liquefazione delle sabbie, in quanto presenti in affioramento quasi ovunque sabbie limose di battigia sciolte, di deposizione recente, tardo olocenica, sature di acqua di falda, quasi sempre sub affiorante.

Questo livello di analisi è quindi finalizzato a valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale delle aree potenzialmente soggette a liquefazione, andando ad approfondire gli studi sulle cause scatenanti l'effetto di sito della liquefazione delle sabbie sature

Gli ambiti in cui sono presenti criticità geologiche che richiedono il terzo livello di approfondimento erano già state individuate attraverso il primo livello di analisi, nella Carta delle aree suscettibili di effetti locali o delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).

Sono stati scelti 7 punti locali rappresentativi di sette macro aree, caratterizzate da un contesto geomorfologico e geologico tecnico pseudomogeneo, per eseguire dei dettagliati calcoli di analisi di risposta sismica locale, con cui, poi, procedere al calcolo dei vari fattori di amplificazione richiesti in questa studio.

La funzione di amplificazione di un sito fornisce una chiara ed efficace rappresentazione dell'effetto "filtrante" di un deposito di terreno sulle onde sismiche. Essa mette in evidenza in quale campo di frequenze la presenza del terreno può indurre effetti significativi di amplificazione del moto sismico incidente o, viceversa, se tali effetti possano addirittura tradursi in un'attenuazione delle ampiezze in superficie.

La conoscenza della sola funzione di amplificazione non è comunque sufficiente per determinare le caratteristiche del moto sismico alla superficie di un deposito. In termini applicativi, scopo finale di un'analisi di risposta sismica locale è infatti quello di disporre di uno spettro di risposta dell'accelerazione (associato ad un terremoto presunto ed ad un dato fattore di smorzamento strutturale), che includa realisticamente l'effetto di amplificazione del sottosuolo. Ciò premesso la funzione di amplificazione (o meglio la funzione di trasferimento) rappresenta comunque un indispensabile elemento per determinare il moto in superficie. Si riporta in **FIGURA 4.1.** lo schema del processo che porta alla determinazione del moto sismico alla superficie di un deposito di terreno su basamento roccioso, a cui è applicata l'eccitazione sismica rappresentata, anziché da un'onda armonica stazionaria, da un moto irregolare come nel caso di un sisma reale.

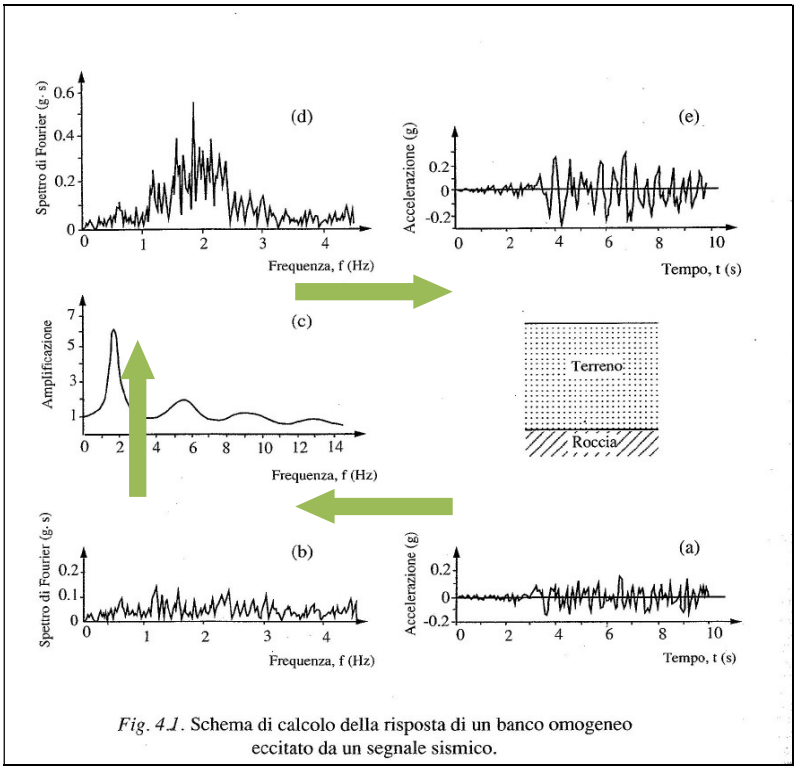


Fig. 4.1. Schema di calcolo della risposta di un banco omogeneo eccitato da un segnale sismico.

Figura 4-1 *schema di calcolo della risposta sismica locale*

Per procedere a questo tipo di studio serve:

a. modello geologico stratigrafico di dettaglio dei primi 30m/40m di terreno;
b. profilo di Vs di dettaglio dei primi 30m/40m;
c. profilo di Vs profondo fino al bedrock sismico;
d. modello geologico stratigrafico di dettaglio fino al bedrock sismico;
e. curve sitospecifiche di decadimento del modulo Go, espresse attraverso il rapporto G/Go, e curve di smorzamento D ricavati da prove di colonna risonante, o prove triassiali cicliche, per i terreni campionati nei primi 30m/40m;
f. curve bibliografiche idonee di Go e D, da attribuire ai terreni profondi fino al bedrock sismico.
g. gruppo di 7 accelerogrammi spettro compatibili per la definizione del moto sismico al bedrock.

I dati da ricercare sono evidenziati nei paragrafi successivi.

4.1. INDAGINI GEOLOGICHE E MODELLI STRATIGRAFICI

Nel territorio comunale di Lagosanto sono presenti numerose tipologie di indagini geognostiche, prese in considerazione ed analizzate, per le finalità del presente lavoro di microzonazione sismica. Esse sono raccolte e archiviate nel database prodotto per la micro zonazione sismica di II livello approvata nel 2023; la loro ubicazione è riportata nella carta delle indagini.

Le diverse indagini presenti sul territorio comunale sono costituite dunque da sondaggi a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo, per l'eventuale perforazione di pozzi sia per acqua che per idrocarburi, da penetrometrie statiche sia a punta meccanica (CPT) sia a punta elettrica con piezocono ed eventualmente con sismocono (CPTU e SCPTU) e da prove geofisiche da superficie con stendimenti sismici (MASW, Re.Mi., ESAC) e prove a stazione singola (HVSR).

Per la redazione del Terzo livello di approfondimento, si è reso necessario eseguire ulteriori indagini ad integrazione di quelle esistenti, per redigere in modo più completo ed efficaci, le analisi della risposta sismica locale.

4.1.1. ELENCO INDAGINI ESISTENTI E NUOVE INDAGINI

Sono state prese in considerazione ed analizzate tutte le indagini geognostiche della Microzonazione sismica di II Livello del comune di Lagosanto, approvata nel 2023; tale banca dati è stata poi implementata con le indagini eseguite dallo scrivente dal 2022 fino ad oggi, all'interno del comune e con le apposite indagini eseguite per questo studio di Microzonazione sismica di III livello.

Nella **Tabella 4.1** che segue è indicato il numero delle indagini reperite per la Microzonazione sismica di II Livello del comune di Lagosanto. Per la loro descrizione si rimanda agli studi di MS di II livello.

CPT	293
CPTU	34
SCPTU	9
SPT	6
Sondaggio a carotaggio continuo	73
Sondaggio a distruzione	15
Pozzi per acqua	5
HVSR	11
S.E.V.	4
Re.Mi.	2
STRATIGRAFIA ZONA MS TEORICA	13

Tabella 4-1 *indagini complessive confluite in banca dati allegate allo studio di MS II livello*

Le nuove indagini reperite presso gli uffici tecnici comunali eseguite sul territorio di Lagosanto e le nuove indagini realizzate dallo scrivente dal 2022 ad oggi sono riportate in **Tabella 4.2**:

INDAGINI REPERITE IN COMUNE DAL 2022 AD OGGI	
CPT	1
SCPTU	1
INDAGINI REALIZZATE DALLO SCRIVENTE DAL 2022 AD OGGI	
CPTU	1

Tabella 4-2 *indagini depositate presso gli uffici tecnici del comune di Lagosanto dal 2022 ad oggi.*

Unendo la banca dati costruita per la microzonasione sismica di II livello nel 2022, con le indagini depositate presso gli uffici tecnici comunali e quelle realizzate dallo scrivente dal 2022 ad oggi e le nuove indagini realizzate specificatamente per gli studi di microzonazione sismica di III livello si ottiene la seguente nuova banca dati (**Tabella 4.3**):

CPT	294
CPTU	35
SCPTU	11
SPT	6
Sondaggio a carotaggio continuo	73
Sondaggio a distruzione	15
Pozzi per acqua	5
HVSR	11
S.E.V.	4
Re.Mi.	2
E.S.A.C.	2
STRATIGRAFIA ZONA MS TEORICA	13
TOTALE	**471**

Tabella 4-3 *N. 471 indagini complessive reperite in banca dati allegate allo studio di MS III livello del 2024*

Dopo aver raccolto e messo a sistema tutte le indagini geologiche presenti nel territorio comunale, per lo studio di Microzonazione sismica di terzo livello, in particolare per poter procedere allo svolgimento dell'Analisi di risposta Sismica Locale (R.S.L.) per le diverse località, è emersa l'opportunità di procedere alla realizzazione di ulteriori indagini, laddove abbiamo ravvisato esserci una certa lacuna di informazioni.

Gli ambiti di interesse sono stati suddivisi in queste porzioni di territorio pseudomogenee per risposta sismica attesa:

- Marozzo Impianti Idrovori
- Valle Oppio Ospedale
- Lagosanto PalaDon
- Lagosanto Municipio
- Lagosanto Piazza Matteotti
- Boschetto Corte Cantelli
- Vaccolino Area Produttiva

Si è reso dunque necessario eseguire una nuova SCPTU presso Corte Cantelli al Boschetto, mentre gli altri siti di valutazione delle R.S.L. erano già stati indagati nel II livello. Poi sono state acquisiti due stendimenti geofisici profondi tipo E.S.A.C. presso Valle Oppio Ospedale e presso Vaccolino area produttiva, in modo da avere i profili profondi di velocità di propagazione delle onde di taglio S rappresentative dei due settori più orientale e più occidentale del comune di Lagosanto.

In **Tabella 4.4** si riportano le prove di nuova realizzazione eseguite per la Microzonazione sismica di terzo livello con il codice di riferimento della prova, la data di esecuzione, le rispettive coordinate geografiche e la località in cui sono state eseguite.

N° indagine	Riferimento	Data	Lat.	Long.	Località
SCPTU1 *U56-24*	038014P465	26/07/2024	4963570	275788	S.P. 21 via del Boschetto, 64-66, Boschetto
ESAC 1	038014P466	27/06/2024	4961900	272261	Via Valle Oppio, Lagosanto
ESAC 2	038014P467	27/06/2024	4964650	276473	S.P. 21 via del Boschetto, Vaccolino

Tabella 4-4 *– Penetrometria SCPTU e prove geofisiche E.S.A.C., WGS84 fuso 33N*

Si riportano di seguito i diagrammi delle resistenze ed i profili di Vs della nuova prova SCPTU eseguita, e delle due ESAC, che si aggiungono a quelle già disponibili (**FIGURA 4.2**, **4.3**, **4.4** e **4.5**).

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA	RIF. PROVA:	CPTU n°:
	U56-24	SCPTU1

COMMITTENTE: Comune di Lagosanto
CANTIERE: via Lagosanto-Vaccolino, Boschetto (Fe)
DATA: 26/07/2024

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 31,00
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,50
PREFORO (m da p.c.): 0,30

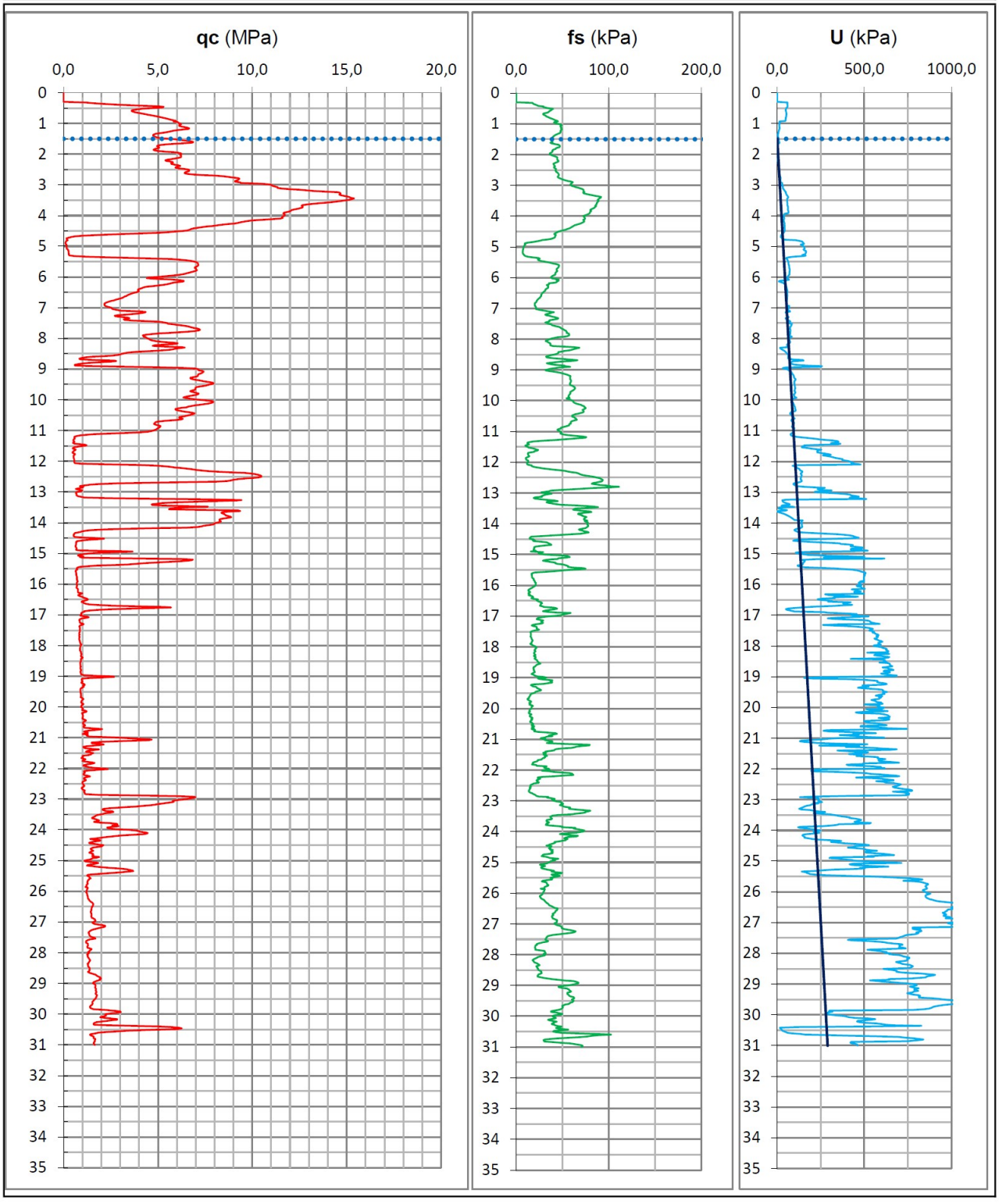


Figura 4-2

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
PROVA DOWN HOLE SCPTU

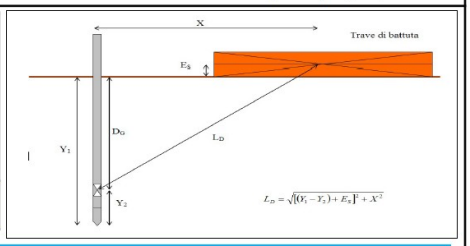
RIF. PROVA:	CPTU n°:
U56-24	SCPTU1

COMMITTENTE: Comune di Lagosanto
CANTIERE: via Lagosanto-Vaccolino, Boschetto (Fe)
DATA: 26/07/2024

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 31,00
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,50
PREFORO (m da p.c.): 0,30

Peso mazza battente:	5Kg
Ricevitore Down Hole:	G1-cpl2IN
Equipaggiamento di registrazione:	D1-SISMI USB
Distanza centro sorgente-verticale X:	0,25 m
Distanza punta-accelerometro Y_2:	0,20 m

Vs_{30}= 192 m/sec Categoria suolo di fondazione = C



Distanza corretta L_D punta elettrica	Tempo di arrivo onda S (millisecondi)	Velocità onde S dello strato (m/sec)
0,000		
0,838		177
1,817	10,242	
		137
2,811	17,513	
		185
3,808	22,902	
		161
4,807	29,098	
		203
5,805	34,016	
		187
6,805	39,356	
		163
7,804	45,492	
		174
8,804	51,229	
		163
9,803	57,377	
		174
10,803	63,115	
		181
11,803	68,652	
		192
12,802	73,858	
		207
13,802	78,688	
		180
14,802	84,246	
		197
15,802	89,334	
		187
16,802	94,672	
		176
17,802	100,345	
		185
18,802	105,738	
		217
19,802	110,346	
		227
20,802	114,754	
		244
21,801	118,852	
		222
22,801	123,361	
		216
23,801	127,988	
		229
24,801	132,357	
		204
25,801	137,265	
		187
26,801	142,603	
		206
27,801	147,451	
		233
28,801	151,749	
		236
29,801	155,989	

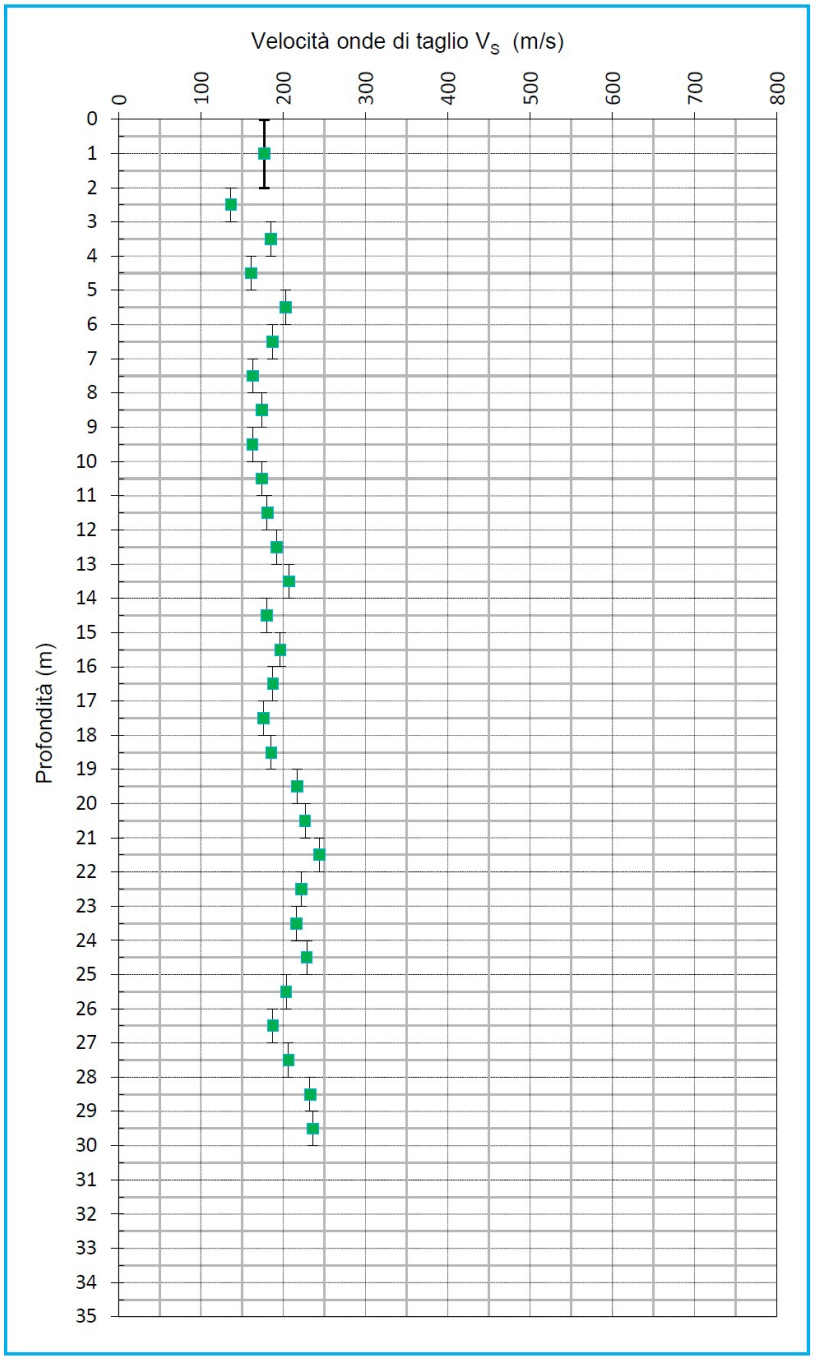


Figura 4-3

Teamgeofisica.ceg (centro elaborazione dati geofisici)

Rif. R 06/2024

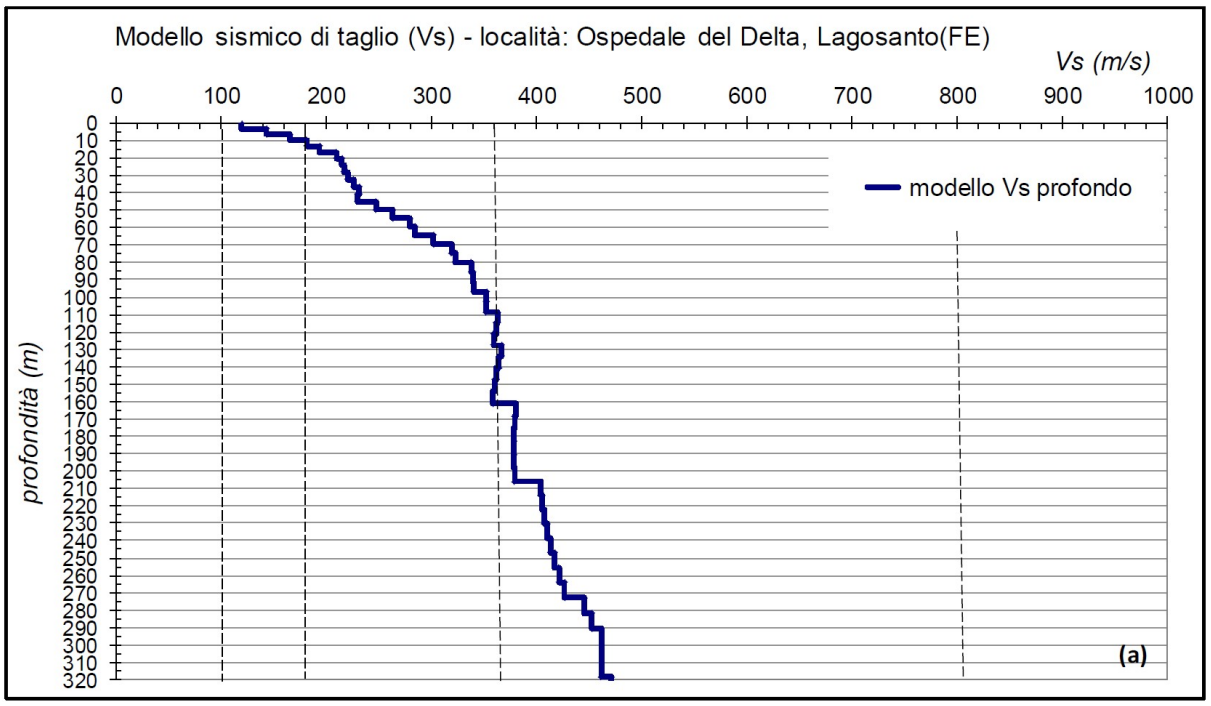


Figura 4a. Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico acquisito nell'area dell'Ospedale del Delta, Lagosanto (FE).

Figura 4-4

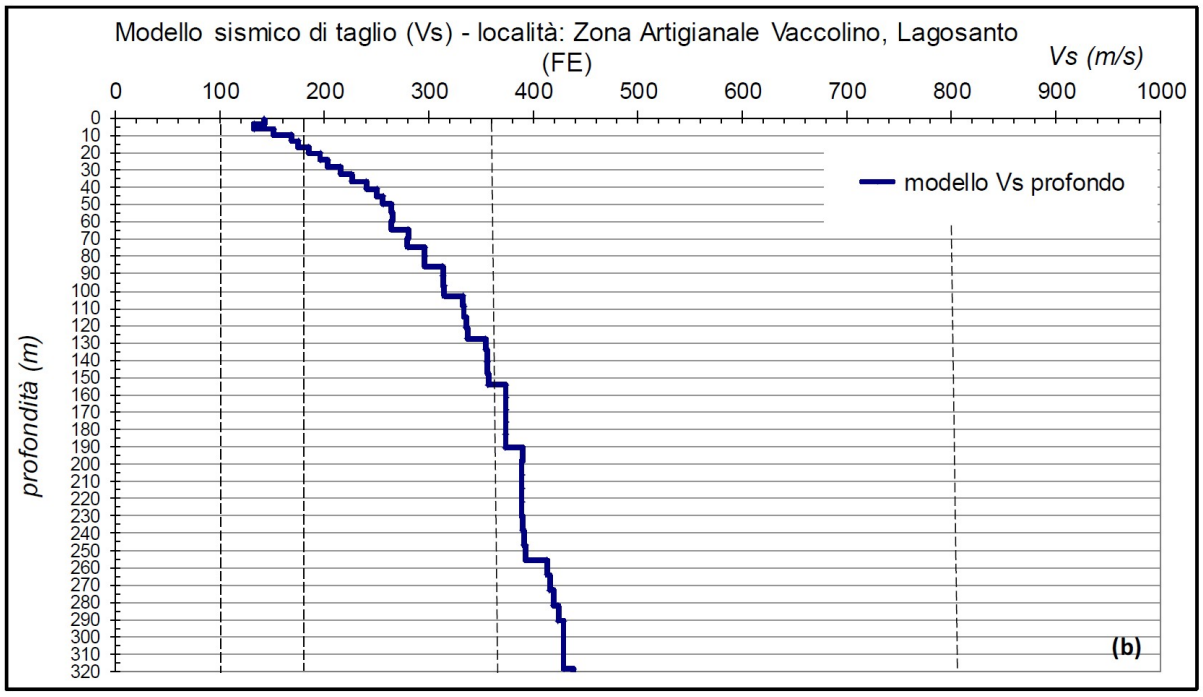


Figura 4b. Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico acquisito in località 'Zona Produttiva di Vaccolino', Lagosanto (FE).

Figura 4-5

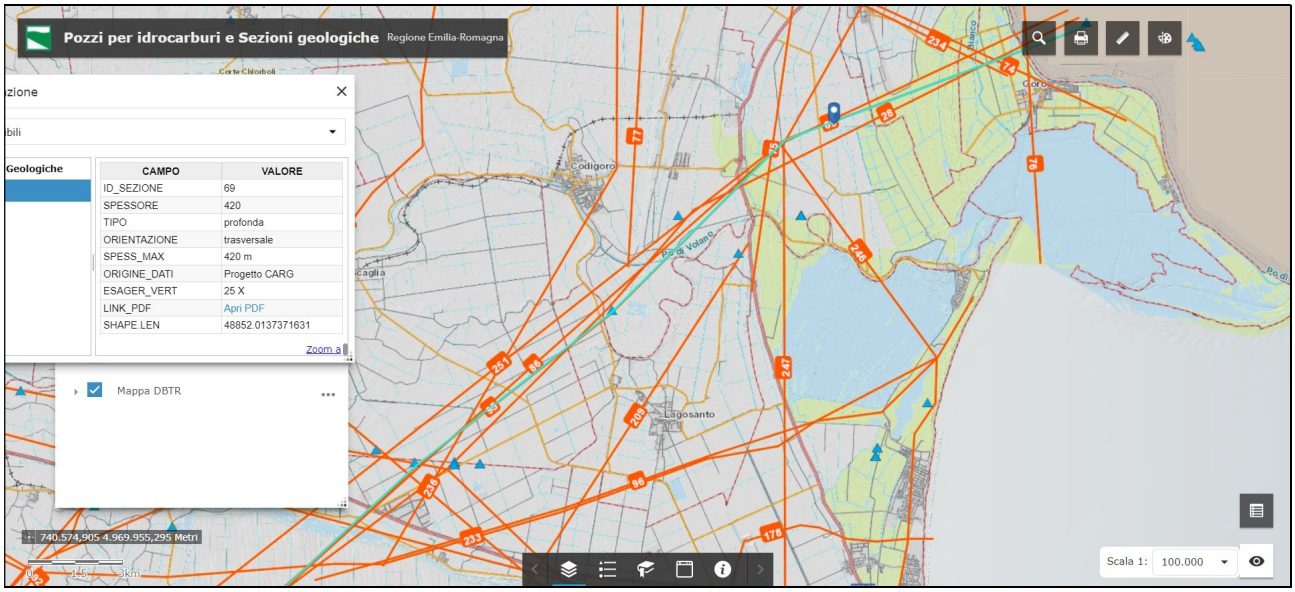
In **FIGURA 4.6** si riporta l'ubicazione delle 7 prove SCPTU complessive utilizzate per le analisi di risposta sismica locale e i 2 profili di Vs profondi (E.S.A.C.).



***Figura 4-6** – Prove SCPTU nel territorio comunale di LAGOSANTO e prove geofisiche E.S.A.C. utilizzate per le RSL*

4.1.2. MODELLO GEOLOGICO PROFONDO DI RIFERIMENTO

Il modello geologico profondo è stato ricostruito principalmente attraverso le sezione geologiche reperite in banca dati regionale. Nelle seguenti **FIGURA 4.6**, **4.7**, **4.8**, **4.9** e **4.10** sono riportate l'ubicazione delle sezioni geologiche analizzate e le sezioni stesse.



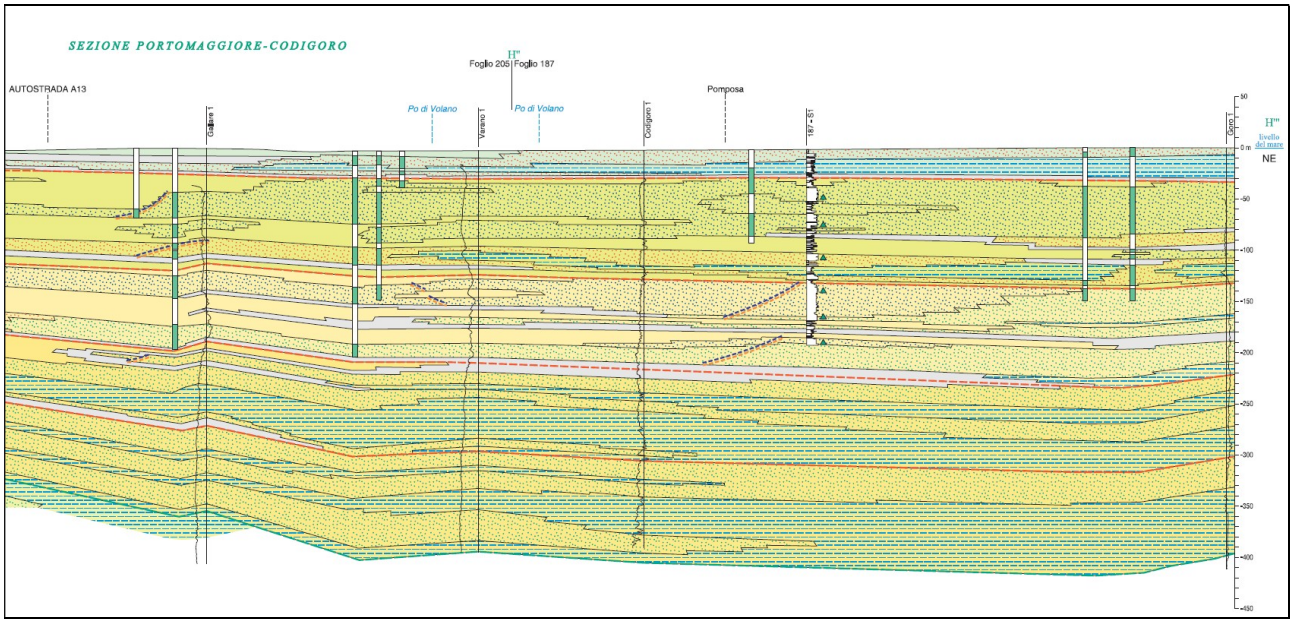
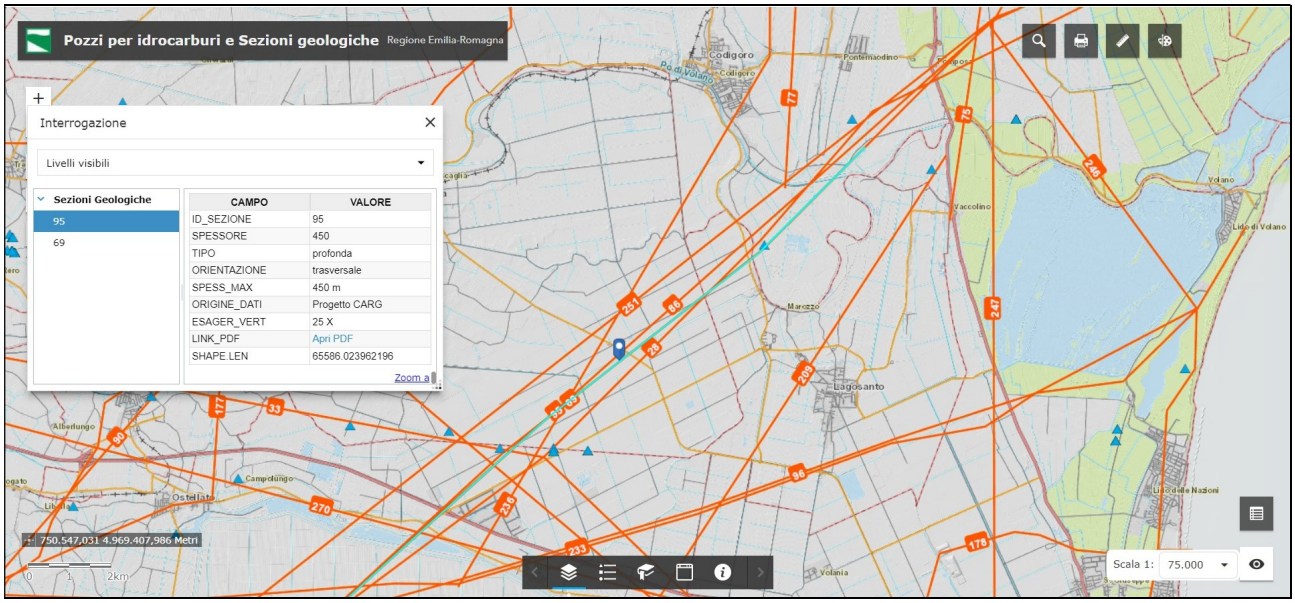


Figura 4-7– *Sezione 069*
https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/servizi-e-strumenti/cartografie-webgis/pozzi-per-idrocarburi-e-sezioni-geologiche-1



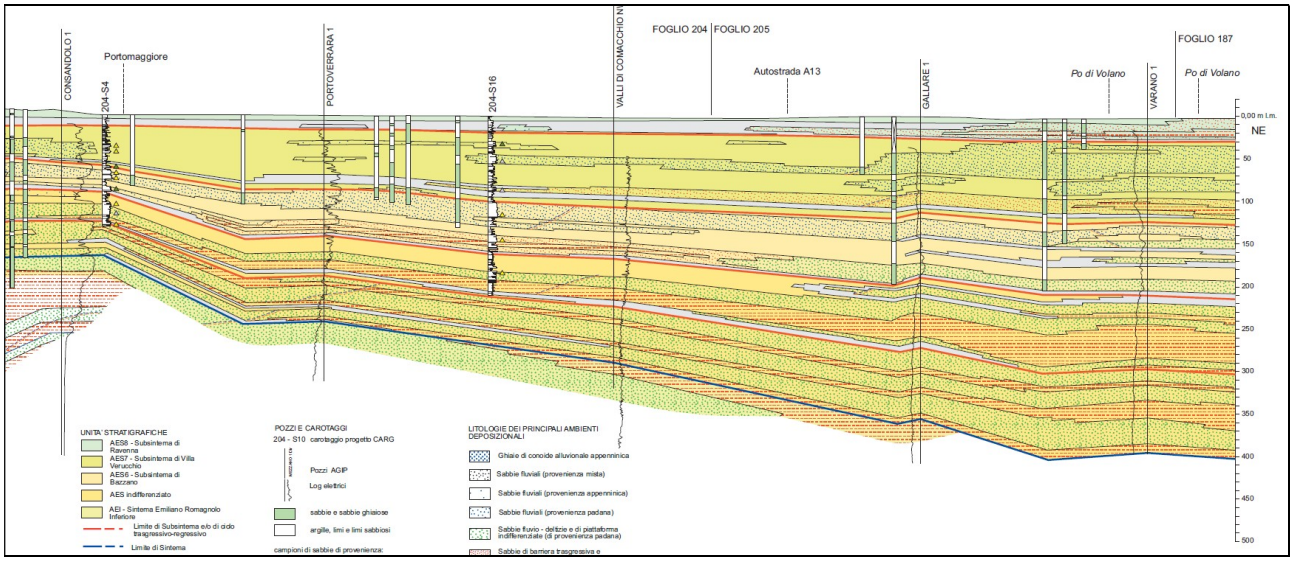


Figura 4-8 – – *Sezione 095*

https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/servizi-e-strumenti/cartografie-webgis/pozzi-per-idrocarburi-e-sezioni-geologiche-1



Figura 4-9 – *Sezione 096*

https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/servizi-e-strumenti/cartografie-webgis/pozzi-per-idrocarburi-e-sezioni-geologiche-1

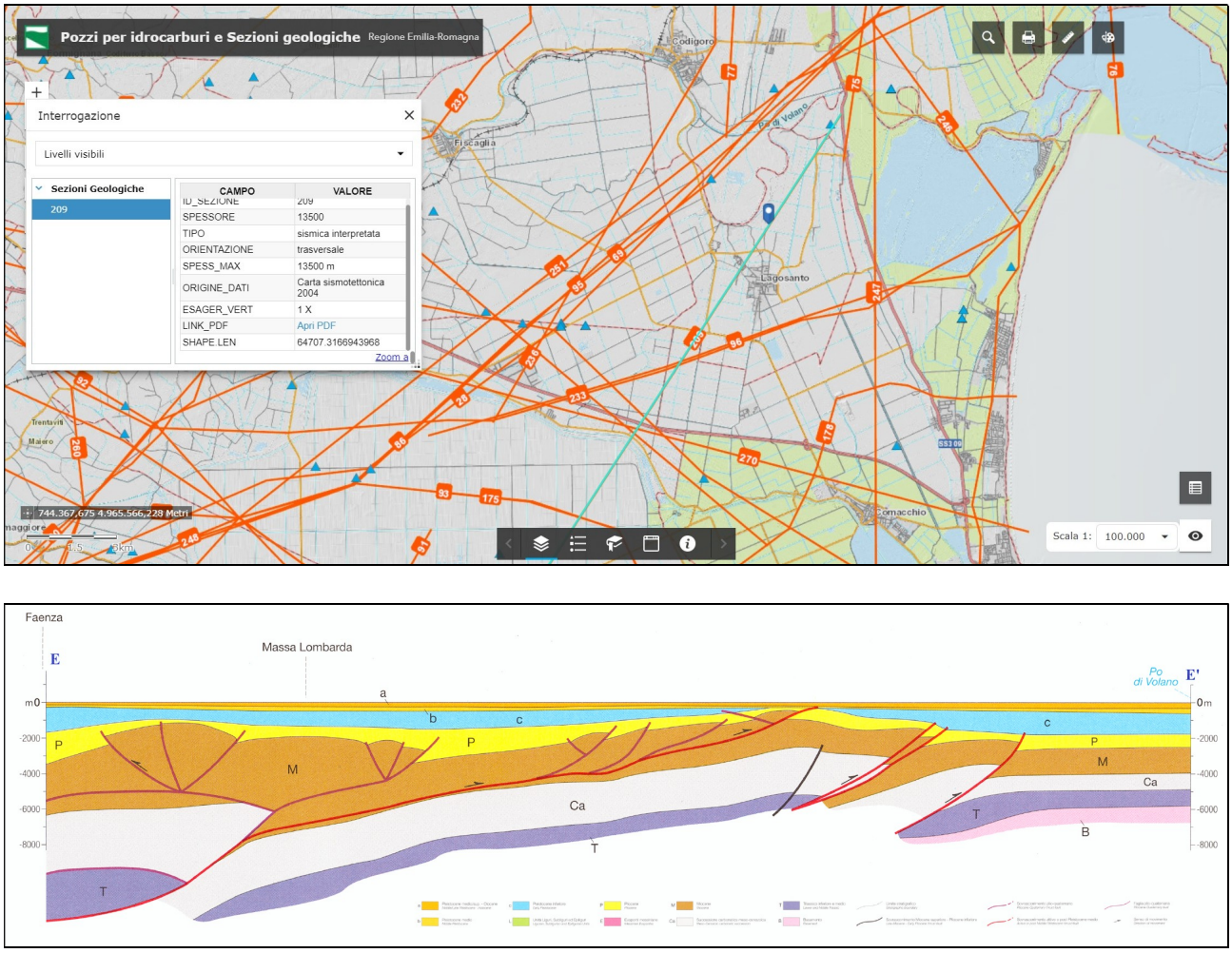
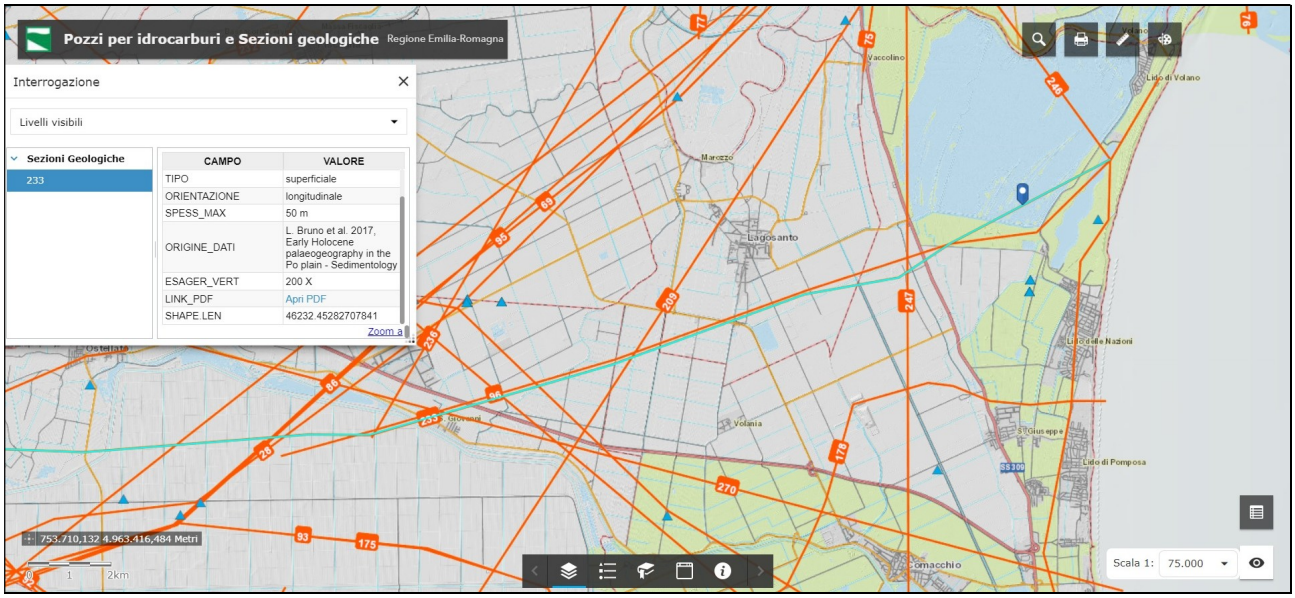


Figura 4-10 – *Prove – Sezione 209*
https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/servizi-e-strumenti/cartografie-webgis/pozzi-per-idrocarburi-e-sezioni-geologiche-1



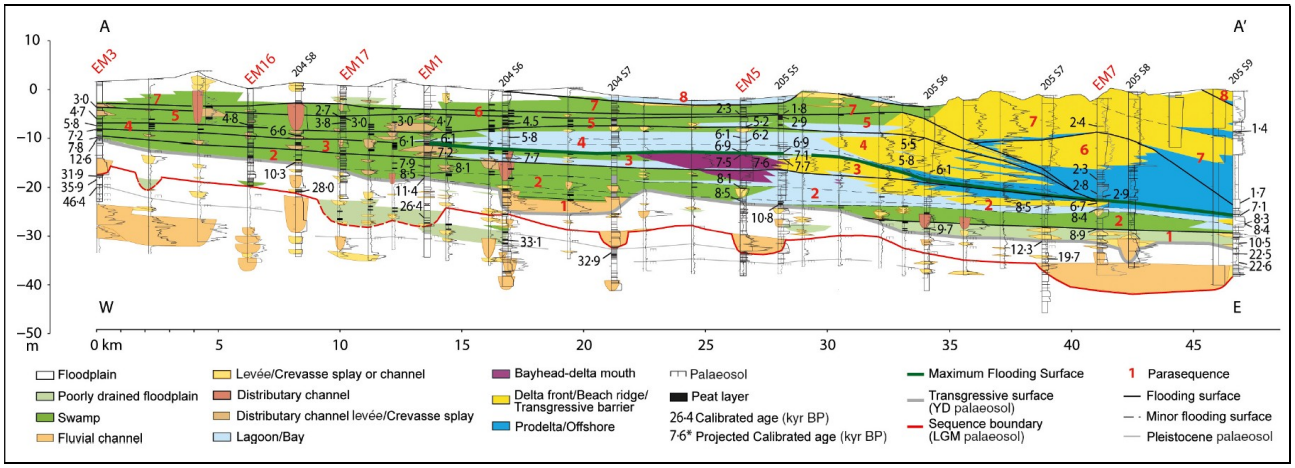


Figura 4-11 – – *Sezione 233*

https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/servizi-e-strumenti/cartografie-webgis/pozzi-per-idrocarburi-e-sezioni-geologiche-1

Il modello assunto per il territorio di Lagosanto è quello della sezione 069. Essa è molto dettagliata e di indubbia utilità. Nella **FIGURA 4.12** è stata ricostruita la datazione dei subsintemi principali fino a circa 400m di profondità.

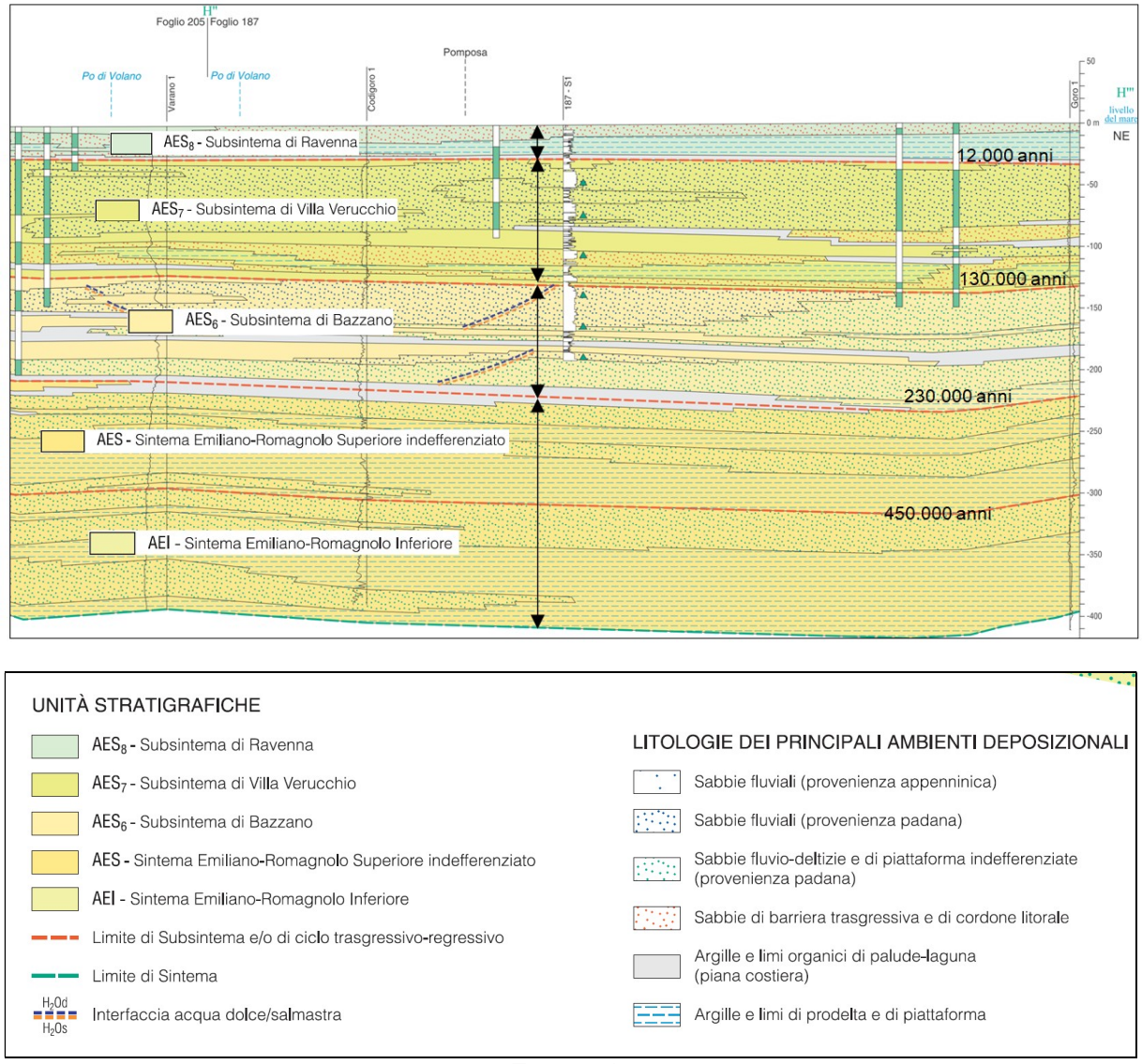


Figura 4-12

Per i dettagli su queste sezioni geologiche si faccia riferimento a quanto contenuto negli studi di MS di II livello.

Sono state consultate e analizzate tutte le colonne stratigrafiche dei sondaggi per ricerca idrocarburi che sono presenti in banca dati, di cui questo territorio è ricco, essendo stato in passato, interessato ad estrazione di gas metano anche da modeste profondità (circa 300m dal p.c.).

4.1.3. AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DELLE INDAGINI

La Carta delle indagini è stata aggiornata e viene riprodotta in scala 1:10.000 ed interessa tutto il territorio comunale; in essa sono ubicate e classificate tutte le indagini contenute nel database creato per questo lavoro con il software MS del Dipartimento di Protezione Civile Nazionale.

In questa carta sono rappresentate tutte le indagini presenti nel territorio comunale di Lagosanto, eseguite fino ad oggi.

Si possiede dunque una discreta conoscenza del territorio comunale soprattutto dei centri abitati dato che la maggior parte delle indagini si concentra in queste aree.

Per ogni indagine realizzata corrisponde una diversa simbologia di rappresentazione, riportata nella legenda della tavola, come richiesto negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica - Versione 4.2.

Le indagini sono state analizzate ed archiviate in una banca dati informatizzata e georeferenziata con sistema WGS84 fuso 33N (come prescritto negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica del Dipartimento nazionale della Protezione Civile) in ambiente GIS ESRI, la cui struttura risponde alle specifiche per gli studi di microzonazione sismica.

Questo consente l'elaborazione degli studi di microzonazione sismica del comune, finalizzata ad una semplificazione e ad una sintesi dei contenuti principali delle caratteristiche geologiche, morfologiche, litostratigrafiche, sismiche e geotecniche e nel contempo ottenere una omogenea rappresentazione dei tematismi da parte dei soggetti realizzatori, facilitandone la lettura ed il confronto dei risultati degli studi di contesti territoriali differenti.

Per l'archiviazione dei dati si è fatto ricorso al software SoftMS versione 4.2, messo a disposizione dal Dipartimento nazionale della Protezione Civile (D.P.C.), attraverso il quale è possibile inserire i dati di tutte le indagini presenti nel territorio ed archiviarle in tabelle costituite da un insieme di record, gerarchicamente organizzate in modo da memorizzare in maniera indipendente le informazioni legate al sito di indagine, alle prove in esso realizzate ed ai parametri tecnici di ognuna di queste.

Tutte le indagini reperite e successivamente analizzate ed archiviate presentano una buona affidabilità e sono ubicate in modo abbastanza uniforme all'interno del comune di Lagosanto offrendo dunque una buona distribuzione e copertura areale del territorio. Per la maggior parte delle indagini, la loro ubicazione è concentrata in modo particolare nei centri abitati con una buona densità di indagini profonde a 30m da p.c. per la caratterizzazione sismica del territorio e la determinazione del valore di Vs_{30}.

In **FIGURA 4.13** è riportata la carta delle Indagini, aggiornata al III livello di approfondimento degli studi di micro zonazione sismica.

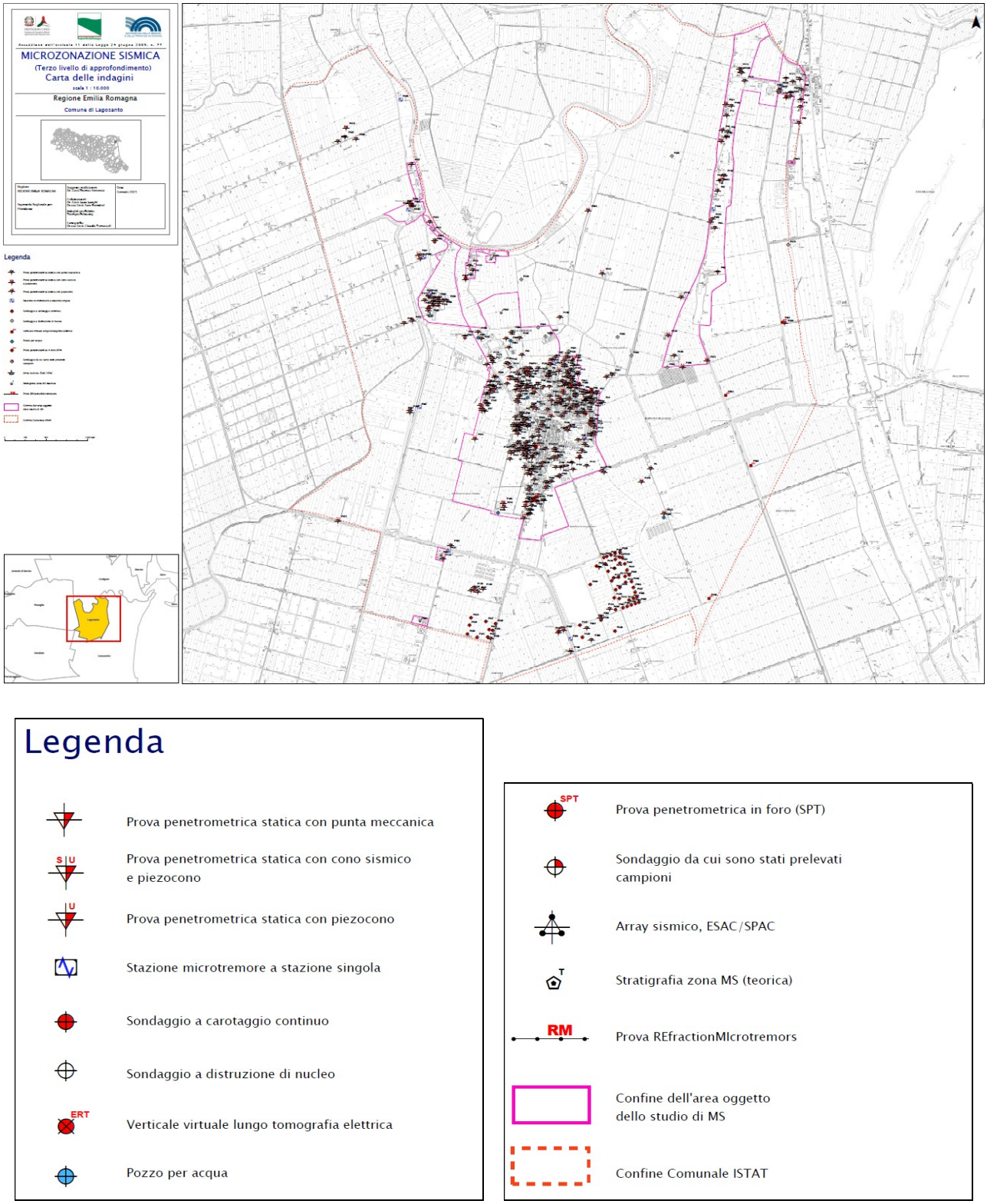


Figura 4-13 –*Carta delle indagini*

4.1.4. AGGIORNAMENTO DELLA CARTA GEOLOGICO TECNICA

La Carta geologico tecnica è stata aggiornata e viene riprodotta in scala 1:10.000. Sono state apportate modeste variazioni di perimetri dovute ad approfondimenti di conoscenze acquisite con le nuove indagini valutate ora per il terzo livello e non presenti al tempo del secondo livello di approfondimento.

Nello specifico per questa carta sono state utilizzate le seguenti litologie dei terreni di copertura e i diversi ambienti genetico-deposizionali in cui si sono depositati, come richiesto negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica - Microzonazione sismica - Versione 4.2.:

LITOLOGIE
- SM: sabbie limose, miscela di sabbia e limo;
- OL: limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità;
- RI: Terreni contenenti resti di attività antropica

AMBIENTI GENETICO-DEPOSIZIONALI
- cl: ambiente costiero, cordone litoraneo;
- pl: ambiente costiero, palude/laguna/stagno/lago costiero
- zz: altro ambiente

Per la carta geologico tecnica, che deve tenere conto della stratigrafia dei primi 3m, si è scelto di fare questa suddivisione:

Premessa: dappertutto ci sono sabbie di battigia, poi esse possono essere subaffioranti o meno, perché cambiano gli spessori dei depositi di laguna o di valle al di sopra delle sabbie di battigia, ribassate dalla subsidenza; quindi la suddivisione che è stata fatta valuta il tetto delle sabbie di battigia; se esso è nel primo 1,5m (da p.c. fino a 1,5m di profondità) si considerano affioranti o subaffioranti e si è nel campo delle SM Cordone Litoraneo. Se invece il tetto delle sabbie è compreso tra -1,5 e -3,0m allora si è nel campo OL (limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità) PL (palude, laguna stagno o lago costiero).

Attraverso questa suddivisione è possibile osservare dalla carta come il territorio comunale di Lagosanto sia così suddiviso:

1) parte dell'ambito dell'abitato di Lagosanto, in modo particolare la porzione sud, e tutta la fascia di Vaccolino e Boschetto sono dominati da sedimenti costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo (**SM**) di ambiente deposizionale costiero del tipo cordone litoraneo (**cl**).

2) dall'abitato di Lagosanto andando verso nord e nord ovest, in corrispondenza dell'ospedale di Valle Oppio e Marozzo, risulta dominato da sedimenti costituiti da limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità (**OL**) di ambiente deposizionale costiero del tipo palustre, palude/laguna/stagno/lago costiero (**pl**).

3) L'abitato di Lagosanto è attraversato da uno storico canale, chiamato Marozzo che appunto nasce nei pressi del Po di Volano e attraversa tutto il territorio comunale di Lagosanto. Questo storico canale è stato tombato e riempito con terreni di riporto e talvolta calcinacci e mattoni per una profondità di circa 3,0/3,5 m (**RI**) di altro ambiente deposizionale (**zz**), poiché di origine antropica.



Figura 4-14 – *Legenda della Carta delle indagini*

Ci si sofferma sulla fascia denominata RIzz "terreni contenenti resti di attività antropica di altra origine".

Si riporta uno stralcio di mappa storica del 1898 e le ortofoto della RAF del periodo della seconda guerra mondiale (1943-1944). E' ben visibile il corso dello storico canale Marozzo, forse un tratto della fossa Augusta che collegava il Porto di Classe con Adria ai tempi dei Romani (**FIGURA4.15**).

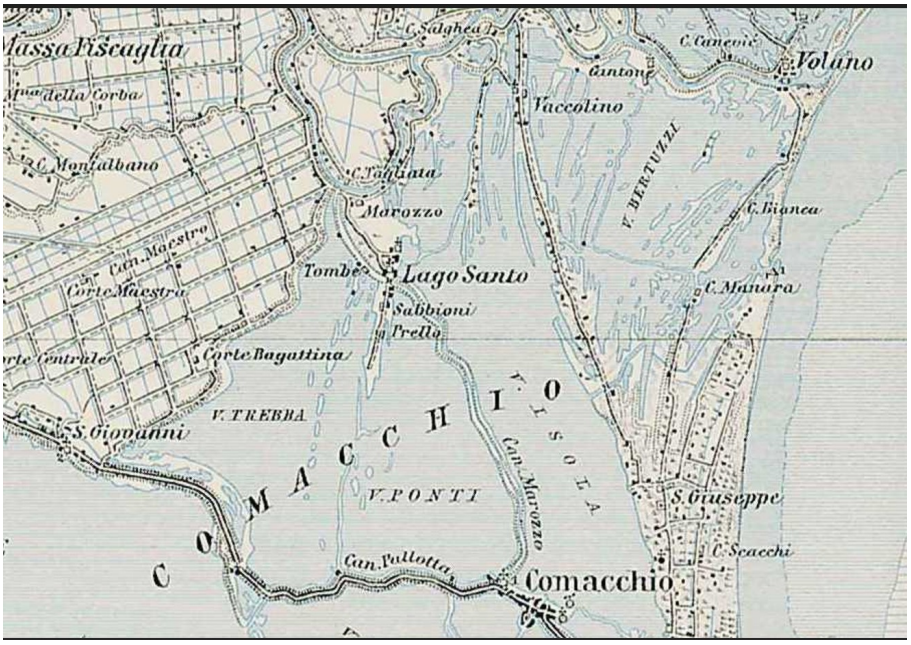






Figura 4-15 – *Mappe storiche ed ortofoto storiche canale Marozzo*

Dopo la seconda guerra mondiale il canale Marozzo, che era stato ampiamente utilizzato fino ad allora per il trasporto delle merci via acqua, viene abbandonato e riempito in diversi tempi con diversi materiali.

Da sempre, nel tratto cittadino di Lagosanto se ne è voluto conservare il tracciato e così sul suo corso sono sorte numerose aree a verde pubblico con arredi urbani. Il tracciato del Canale Marozzo è dunque privo di interessi dal punto di vista urbanistico e non è stato oggetto di studi specifici (anche per la complessità che comporterebbero tali studi). Fatto stà che dal punto di vista geotecnico tutto il tracciato non è affidabile per la possibile presenza di riempimenti antropici eterogenei che possono dare origine a cedimenti differenziali anche semplicemente in campo statico e a maggior ragione in campo dinamico. Se ci si mette che possono anche essere state riversate delle sabbie sciolte in ambiente acquatico, esse possono essere particolarmente soggette a fenomeni di instabilità in condizioni sismiche.

4.1.5. AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DELLE FREQUENZE

La Carta frequenze è riproposta tale e quale a quella prodotta nel II livello di approfondimento, in quanto da allora, non sono state eseguite o reperite nuove indagini HVSR per la misura delle frequenze naturali di oscillazione del terreno in campo libero. La tavola è riproposta in scala 1:10.000.



Figura 4-166 – *Legenda della carta delle frequenze*

4.1.6. AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica è il documento fondamentale per il primo livello di approfondimento;

In questa cartografia sono chiaramente indicate, a scala 1:10.000, le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari.

Quest'area di pianura è caratterizzata ovunque dalla presenza di sabbie oloceniche di battigia di recente deposizione, dallo stato sciolto, con falda freatica sub affiorante, presenti nei primi 20m di spessore di terreno.

Quello che cambia è solo la presenza o meno e/o lo spessore di eventuali coperture di sedimenti coesivi di origine palustre (vallivo) al di sopra del tetto delle sabbie oloceniche.

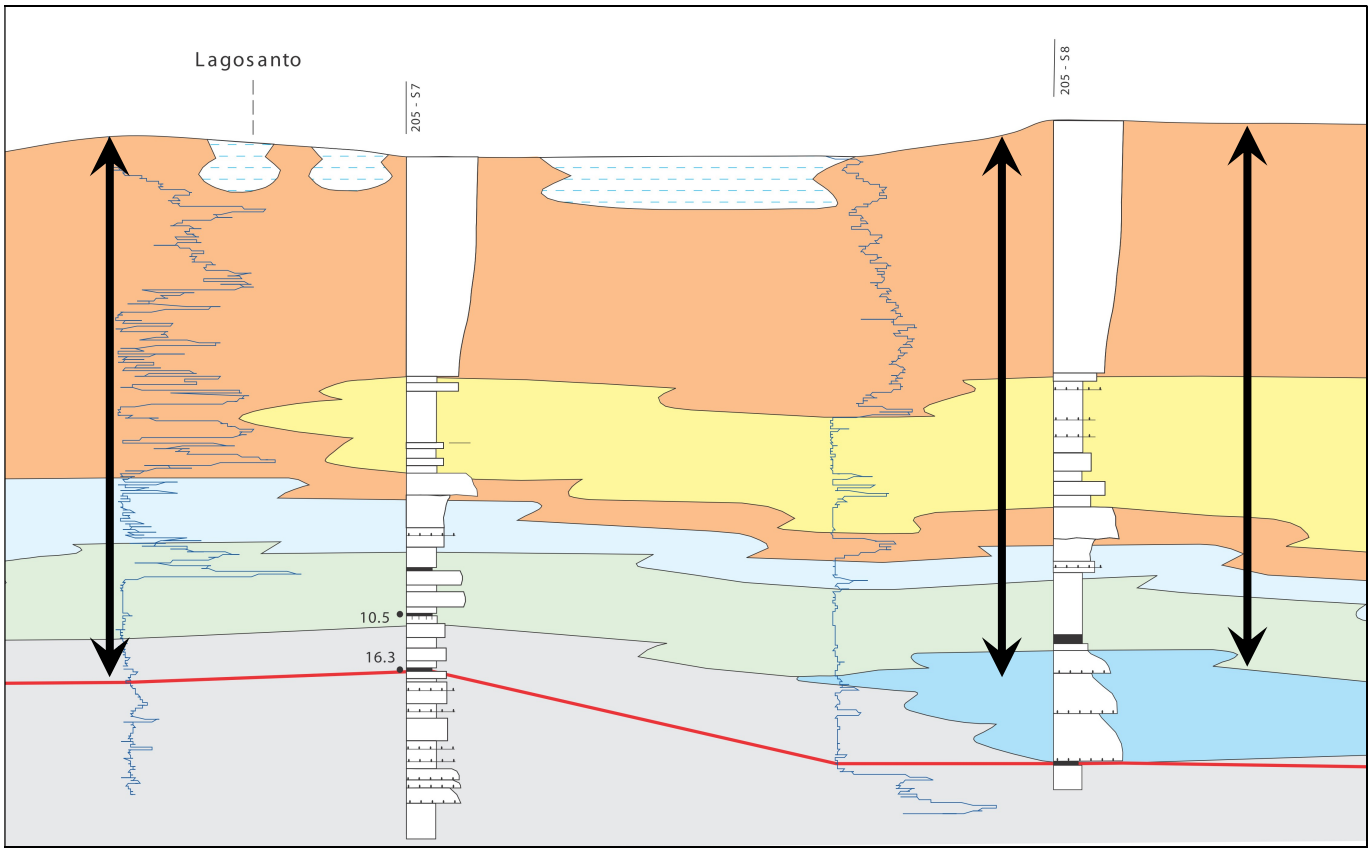
Tutto il territorio è soggetto ad amplificazione stratigrafica, come documentato nella relazione degli studi di microzonazione sismica di I e II livello.

Da tale carta prodotta in precedenza, erano emerse le zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, erano riconducibili a deformazioni permanenti del territorio; causabili da fenomeni di liquefazioni per via della presenza di importanti spessori di terreni granulari saturi nei primi 20 m.

Le MOPS proposte negli studi di I e II livello del 2022, validata in data 11/01/2023, erano le seguenti:

MOPS 2001

Sabbie oloceniche affioranti o sub-affioranti di cordone litorale, con tetto delle sabbie compreso tra piano campagna e -3,0 m da p.c. e con spessore maggiore di 5 m



DEPOSITI DI PIANA ALLUVIONALE

- sabbie e limi di canale, argine e rotta fluviale
- argille e limi di piana inondabile

DEPOSITI PIANA DELTIZIA E LITORALI

- argille e limi ricchi in sostanza organica di laguna e baia interdistributrice
- argille, limi e sabbie di piana costiera
- argille e limi di prodelta e transizione alla piattaforma
- sabbie di cordone litorale (fronte deltizia e piana di sabbia)
- argille e limi ricchi in sostanza organica intercalati a torbe di palude e area interdistributrice

Figura 4-17 - *Mops 2001*

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA	RIF. PROVA:	CPTU n°:
	U57-18	CPTU1

COMMITTENTE: Cavalieri Andrea
CANTIERE: via Borgo Tombe n. 6, Lagosanto (Fe)
DATA: 08/10/2018

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 3,50
PREFORO (m da p.c.): 0,00

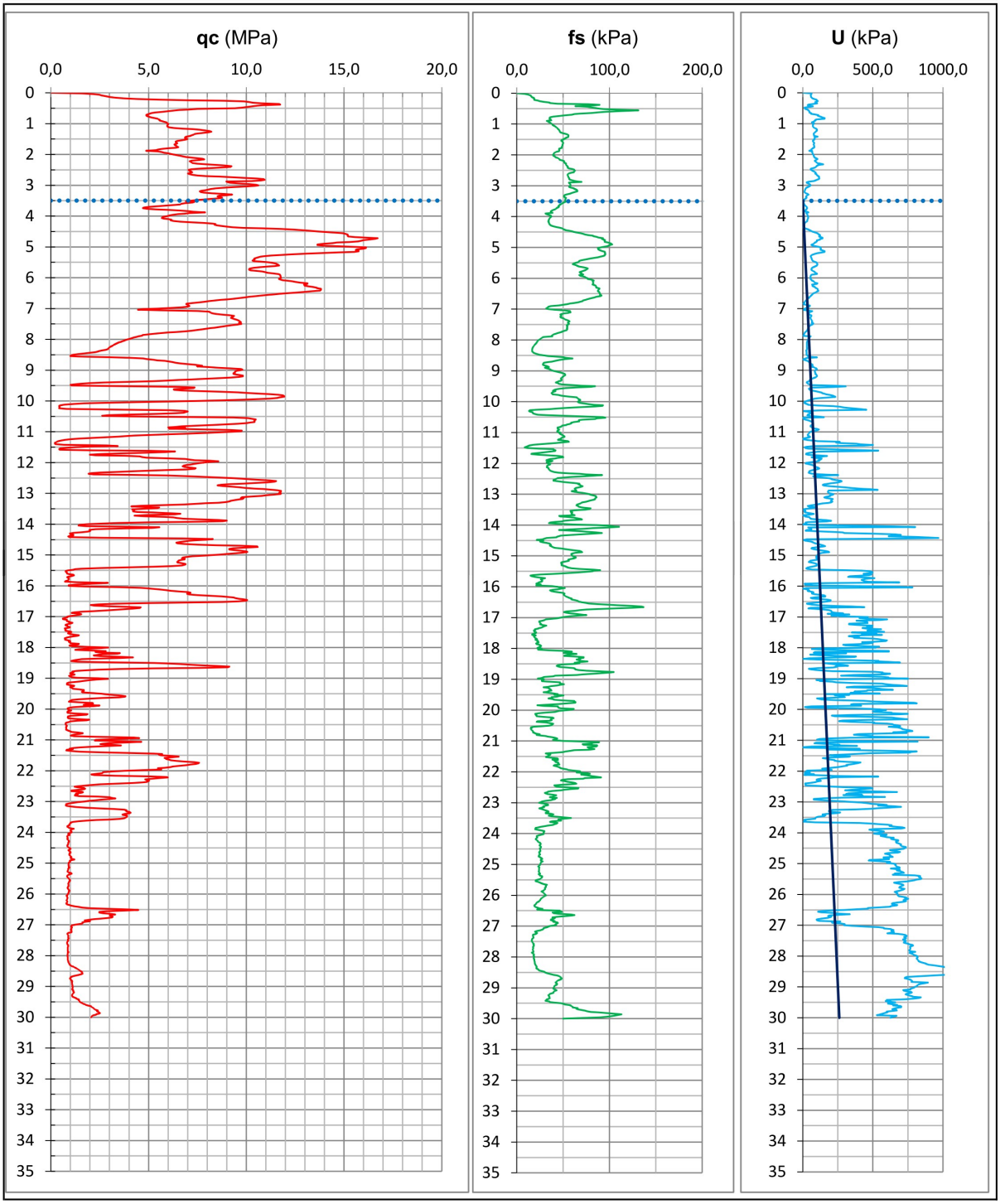
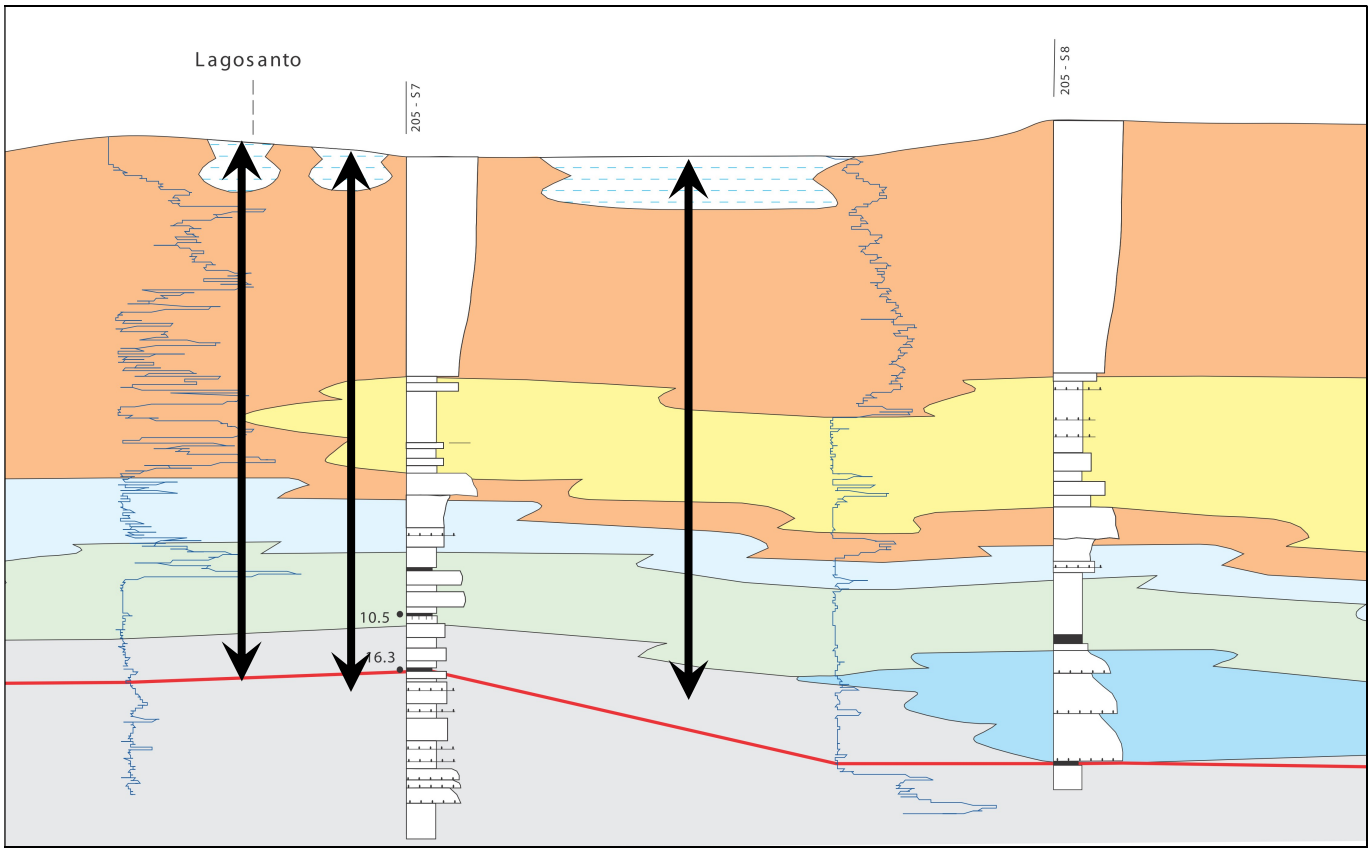


Figura 4-18 - *esempio di penetrometria CPTU riconducibile alla Mops 2001*

MOPS 2002

Sabbie oloceniche di cordone litorale, con tetto compreso tra -3,0 m da p.c. e -6,0 m da p.c. e spessore maggiore di 5 m. Sopra prevalgono sedimenti fangosi talvolta organici di laguna.



DEPOSITI DI PIANA ALLUVIONALE

- sabbie e limi di canale, argine e rotta fluviale
- argille e limi di piana inondabile

DEPOSITI PIANA DELTIZIA E LITORALI

- argille e limi ricchi in sostanza organica di laguna e baia interdistributrice
- argille, limi e sabbie di piana costiera
- argille e limi di prodelta e transizione alla piattaforma
- sabbie di cordone litorale (fronte deltizia e piana di sabbia)
- argille e limi ricchi in sostanza organica intercalati a torbe di palude e area interdistributrice

Figura 4-19 - *Mops 2002*

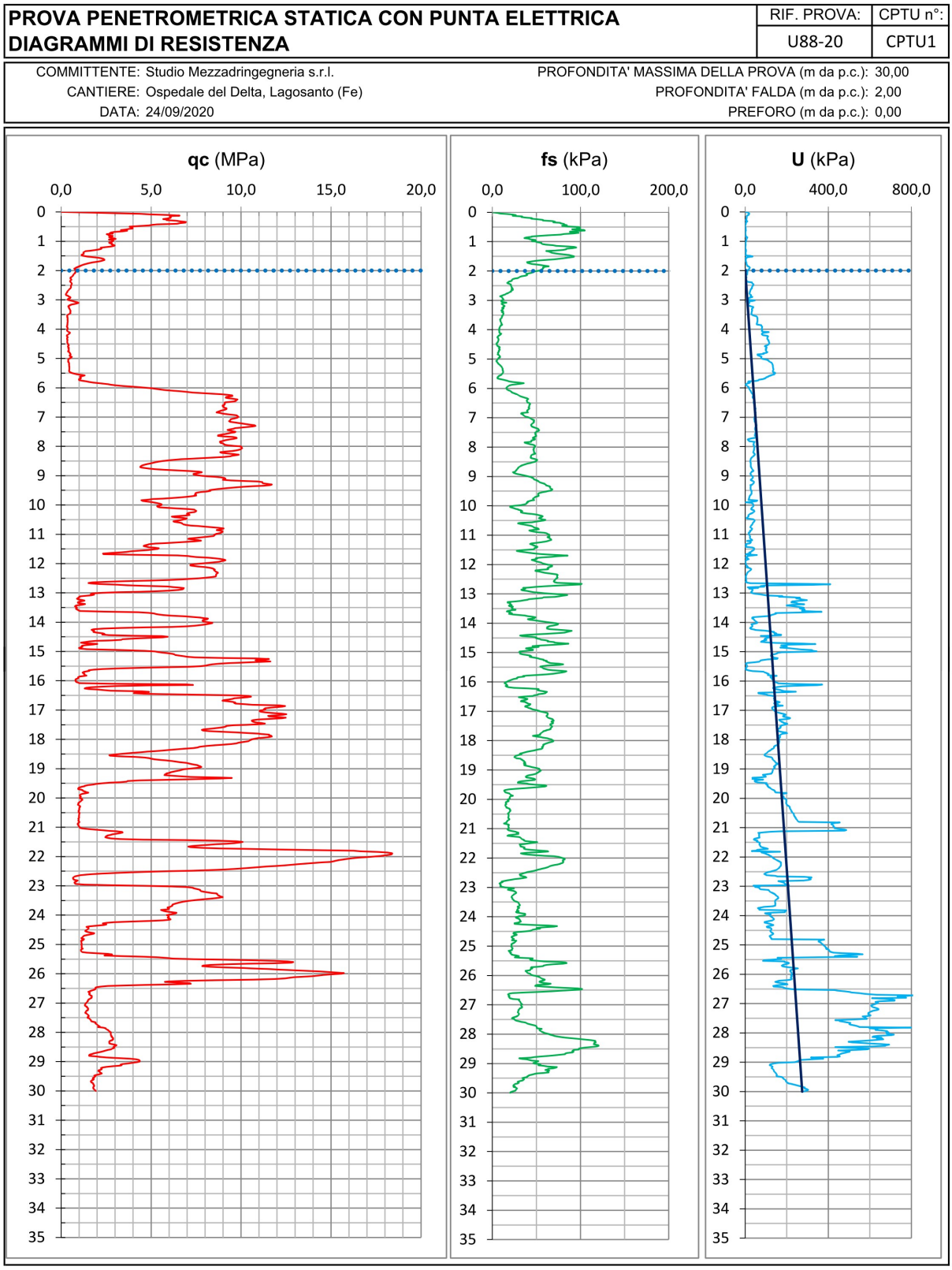


Figura 4-20 - *esempio di penetrometria CPTu riconducibile alla Mops 2002*

Poi vi era la **MOPS 3070**, che di fatto è il tracciato del paleoalveo del canale Marozzo di cui si è scritto nel paragrafo 4.1.4. dedicato all'aggiornamento della Carta geologico-tecnica.

Essa indica una zona di attenzione ZA per sovrapposizione di instabilità differenti, in quanto si sovrappone il rischio di liquefazione con il rischio di cedimenti differenziali (sia in campo statico che dinamico).

In assenza di studi specifici su queste instabilità dentro questa stretta striscia di territorio urbano, ma a vocazione e destinazione d'uso a verde pubblico, si ritiene opportuno mantenere la MOPS 3070 per dare un segno di "allert" su una striscia di territorio che deve essere preservata dalla possibile edificazione per via delle

sue penalizzazioni geotecniche. Ovviamente la preservazione dell'area a mantenere la memoria paesaggistica del tracciato dello storico canale è anche un caposaldo della pianificazione territoriale, a cui difficilmente si potrà rinunciare.

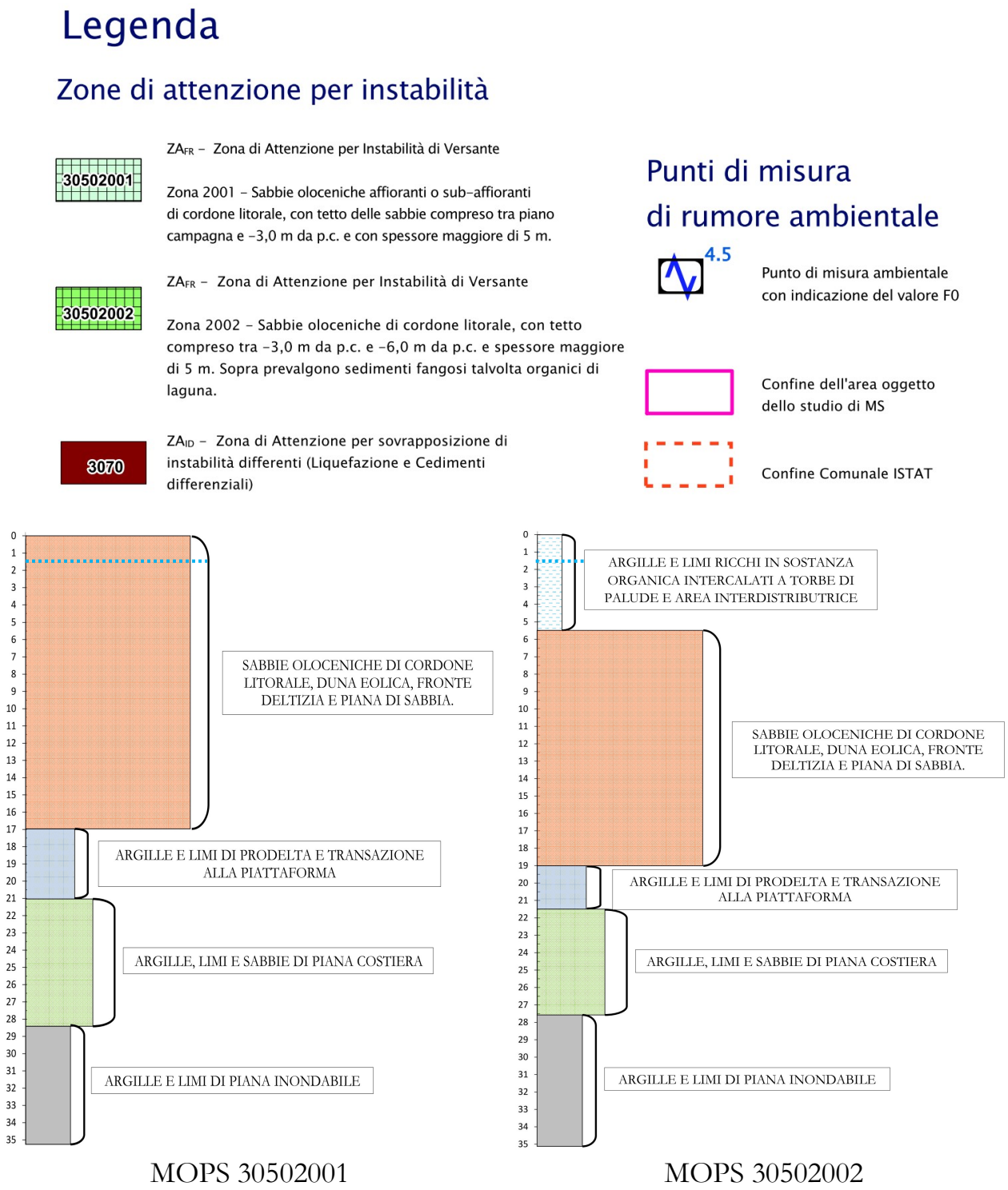
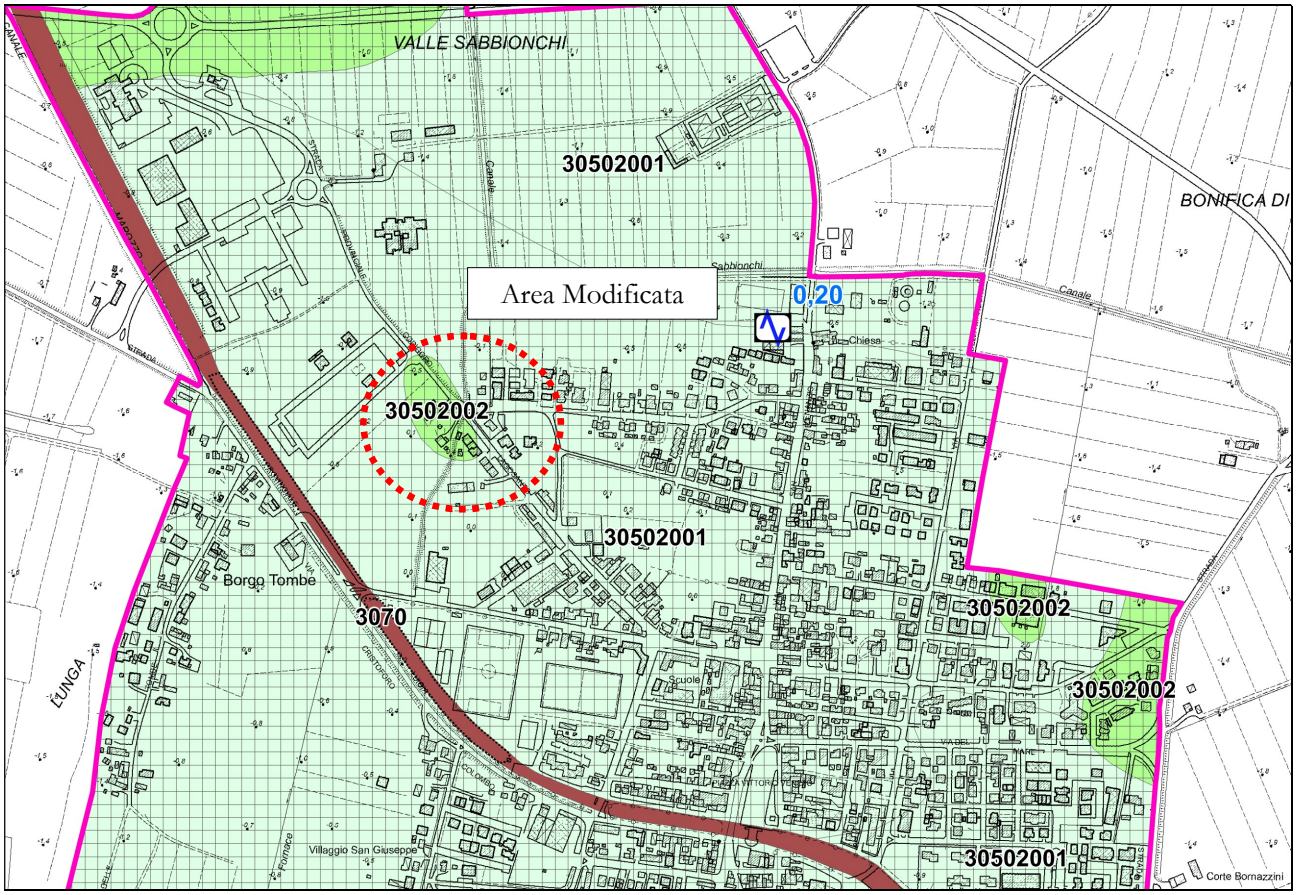


Figura 4-21 - *Legenda MOPS e LOG*

A seguito di nuove indagini eseguite dallo scrivente per opere edilizie commissionate da privati, si è potuto fare una piccola modifica al perimetro di confine tra la MOPS 30502001 e la MOPS 30502002.

Tale modifica viene riportata nel confronto riportato nella cartografia di **FIGURA 4.22**:

MOPS I Livello 2022



MOPS I Livello 2025

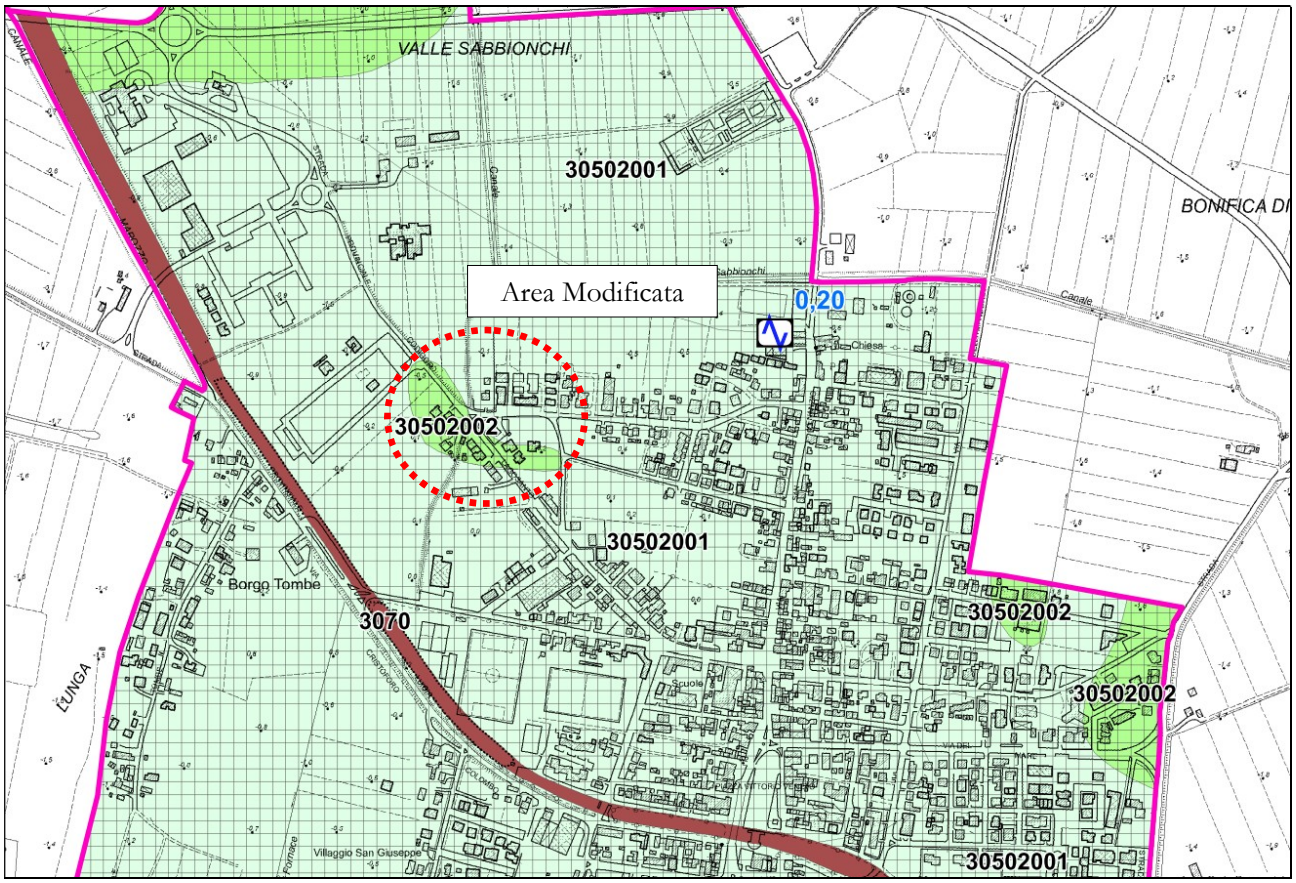


Figura 4-22 - *Stralcio carta della MOPS 2022 modificata con il lavoro del 2025*

Di seguito in **FIGURA 4-23** si riporta il diagramma delle resistenze della prova CPTU U62-23 (P464 codice assegnato nel database) dove si evidenzia una copertura fine di terreni coesivi e palustri di spessore 3,5m, per cui in questo settore si passa alla MOPS 30502002.

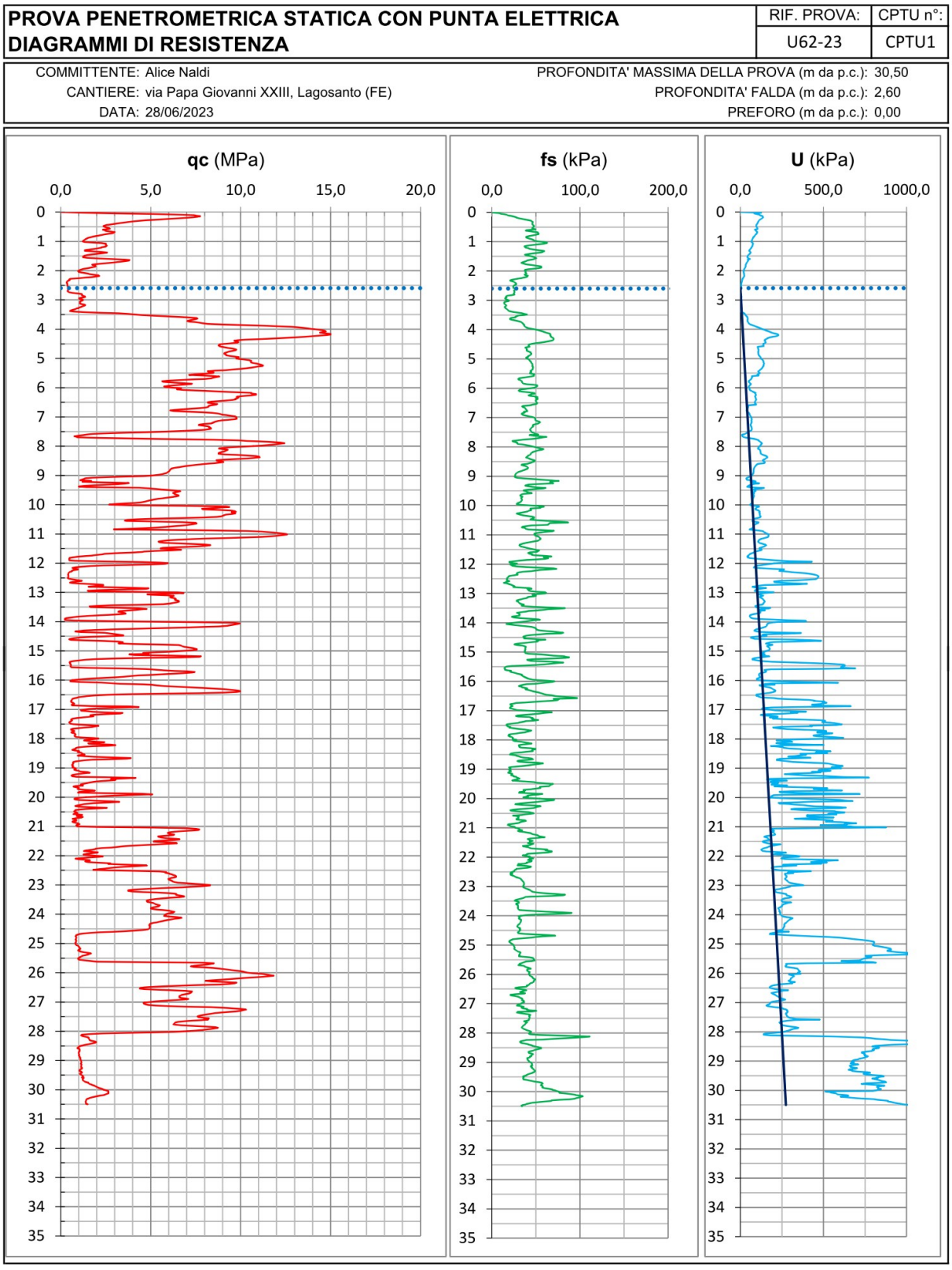


Figura 4-23 *– diagramma delle resistenze della prova che ha consentito la modifica del confine tra la MOPS 30502001 e 30502002.*

4.1.7. AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (Vs)

La Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) è stata aggiornata e viene riprodotta in scala 1:10.000.

Nella carta di microzonazione sismica allegata a questo studio, vengono riportati i valori di Vs30 ricavati attraverso misure dirette tramite prove SCPTU e tramite prove Re.MI. o M.A.S.W., come richiesto dalle linee guida per la loro compilazione dettate dal DPCN.

Sono compresi anche i valori di Vs30 ricavabili dalle due nuove prove geofisiche di superficie ESAC.

Il parametro Vs30 rappresenta la media ponderata dei valori delle velocità dell'onda di taglio "S" nei primi 30 m di sottosuolo indagato, matematicamente espressa da (**Eq. 3.1**):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum hi/vi} \qquad \textbf{Eq. 4-1}$$

dove,

Vs30 : velocità media ponderata delle onde di taglio "S",

hi : spessore dello strato iesimo,

Vi : velocità delle onde di taglio "S" nello strato iesimo.

I valori di Vs30 sono stati calcolati in diversi modi:

- Misure dirette mediante sismocono SCPTU;
- Prove geofisiche

Misure dirette mediante sismocono

La prova consiste nell'inserire sulla punta elettrica della prova penetrometrica statica con punta elettrica dei ricevitori (geofoni) che con opportuna strumentazione e una sorgente di onde in superficie (**FIGURA 4.24**) possono essere misurati, a profondità diverse (SCPTU), fino alla profondità di -30,00 m da p.c., i tempi di arrivo delle onde sismiche fra la superficie (sorgente) ed i ricevitori (in profondità), analogamente a quanto avviene con il metodo geofisico cosiddetto "downhole".

In base ai tempi di arrivo conoscendo la distanza tra la sorgente ed il ricevitore si può calcolare la velocità delle onde sismiche ed in particolare delle onde di taglio (Vs).

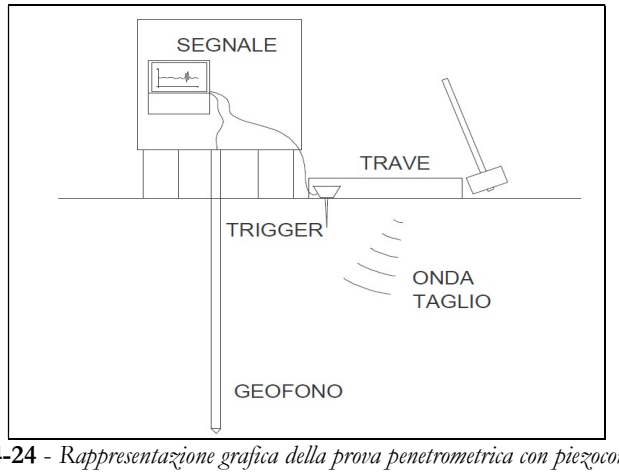


Figura 4-24 - *Rappresentazione grafica della prova penetrometrica con piezocono sismico*

Indagini geofisiche

Le tecniche geofisiche comunemente utilizzate per la determinazione di tale parametro sono essenzialmente di tre tipi:

- prove in foro singolo (Down-Hole) o doppio (Cross-Hole),
- sismica di superficie (rifrazione e riflessione) con energizzazione di onde polarizzate (SH),
- tecniche mediante onde superficiali "R" e "L" (SASW, MASW e Microtremori Re.Mi., SPAC, MSPAC ed ESAC).

Le prime richiedono l'esecuzione di un sondaggio per permettere la determinazione del parametro. Le seconde, più costose, forniscono risultati di elevata qualità ma sono facilmente influenzate da rumori antropici che ne degradano le caratteristiche. Le ultime sono realizzate, ad eccezione della tecnica SASW, con procedure operative simili a quelle impiegate nella sismica a rifrazione.

Le prove geofisiche adottate in questo studio appartengono alla terza categoria e vengono caratterizzate con applicazione della tecnica dei microtremori (Autocorrelazione Spaziale Migliorato "ESAC") che permette di ottenere con minor costo di processo il profilo verticale della velocità media delle onde di taglio "S" e contemporaneamente di raggiungere profondità superiori a 30 m favorendo in alcuni casi il raggiungimento del bedrock sismico - così come definito dalla normativa (Vs>800 m/s) - coadiuvando contemporaneamente l'interpretazione delle eventuali variazioni di rigidità sismica (VS2 x ρ) dei terreni investigati.

Attraverso l'analisi delle onde superficiali "tipo Rayleigh R", che costituiscono un particolare tipo di onde superficiali trasmesse sulla superficie libera di un mezzo omogeneo ed isotropo, si ricava indirettamente la velocità delle onde di taglio "S" secondo l'equazione **Eq 4.2**:

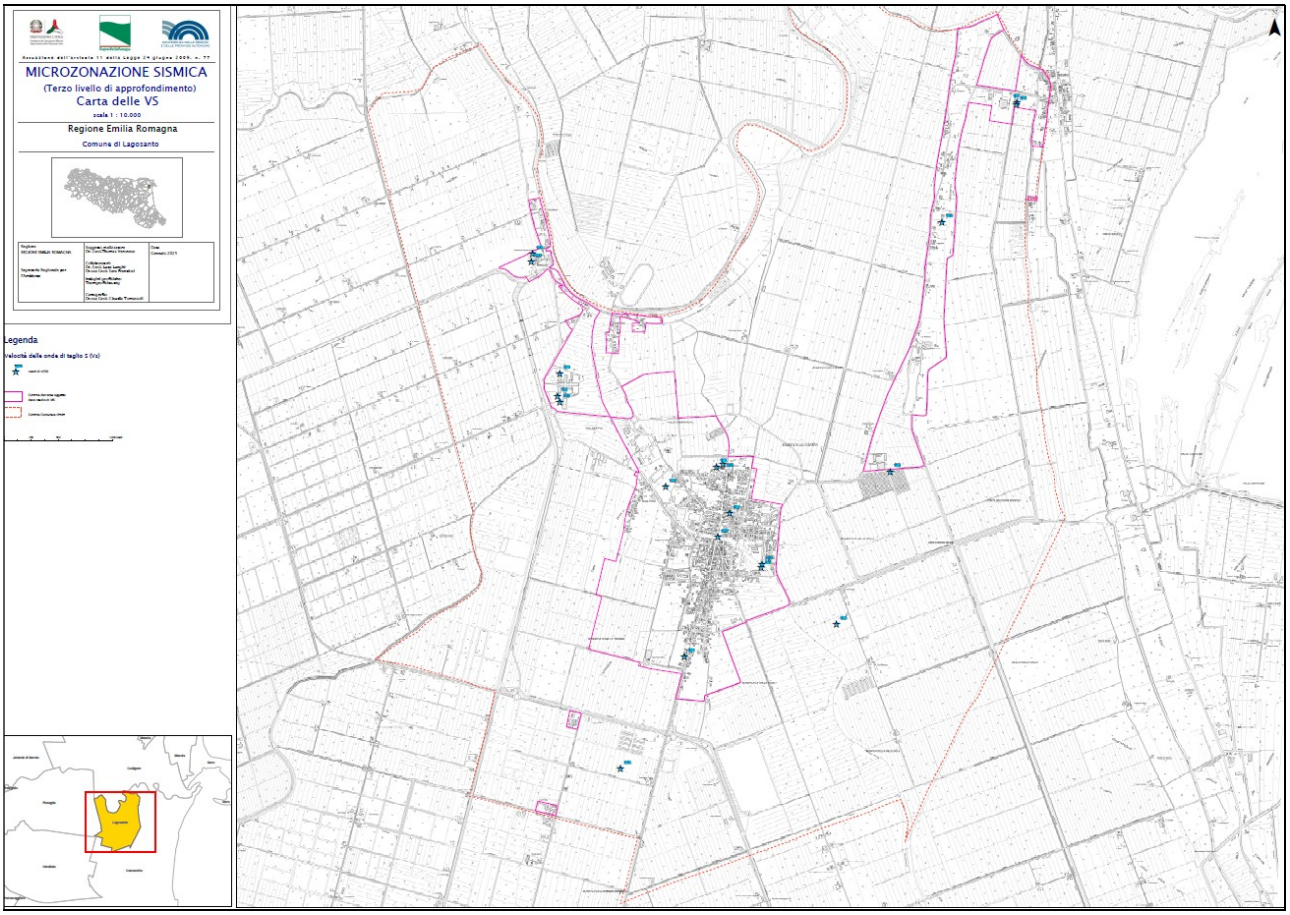
$$V_R = \left(\frac{0.862 + 1.14\upsilon}{1 + \upsilon} \right) \times V_S \qquad \text{Eq. 4-2}$$

Dove:
VR ≅ 0.92 VS

VR: velocità di fase dell'onde Rayleigh
VS:velocità di propagazione dell'onda di taglio
ρ: rapporto di Poisson

L'analisi delle tracce sismiche registrate è consistita nell'applicazione di una trasformata bi-dimensionale di tipo *p-f* (ρ=slowness "1/velocità"-*f*=frequenza "Hz"/McMechan e Yedlin, 1981) che analizza la variazione nel tempo dell'energia di propagazione del segnale sismico lungo tutte le direzioni rispetto alla linea sismica. Il risultato di tale analisi rappresenta il cosiddetto spettro di potenza da cui si ottiene in prima battuta la curva di dispersione sperimentale delle onde "R" e successivamente, attraverso una procedura di modellazione numerica, la determinazione delle velocità delle onde di taglio "S".

Le indagini geofisiche utilizzate per la determinazione dei valori di Vs30 sono caratterizzate da una tecnica chiamata dei microtremori mediante la quale vengono registrate onde passive di sottofondo attraverso uno stendimento di geofoni lineare equidistanziati. Le prove geofisiche realizzate permettono di ottenere con minor costo di processo il profilo verticale della velocità media delle onde di taglio "S" e contemporaneamente di raggiungere profondità superiori a 30 m favorendo in alcuni casi il raggiungimento del bedrock - così come definito dalla normativa (Vs>800 m/s) – e l'interpretazione delle eventuali variazioni di rigidità sismica (VSxρ) dei terreni investigati.



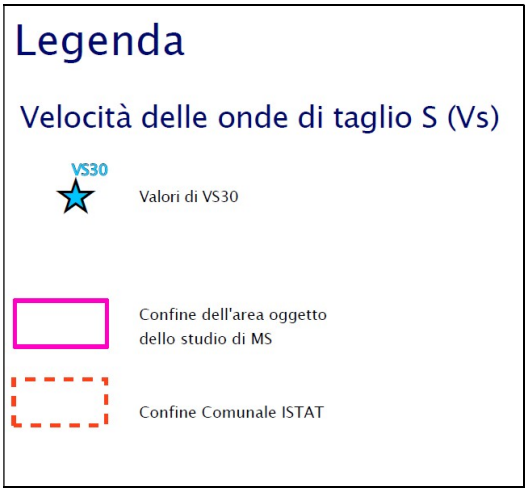


Figura 4-25 - *Carta della Velocità delle Onde di taglio rappresentata con il valore di Vs30 misurati su tutto il territorio di Lagosanto*

Si riporta di seguito anche una carta delle Vs30 che contiene oltre ai valori misurati in sito con indagini specifiche, anche a valori ottenuti per correlazioni con le prove penetrometriche statiche (correlazioni riconosciute dalla geotecnica sismica).

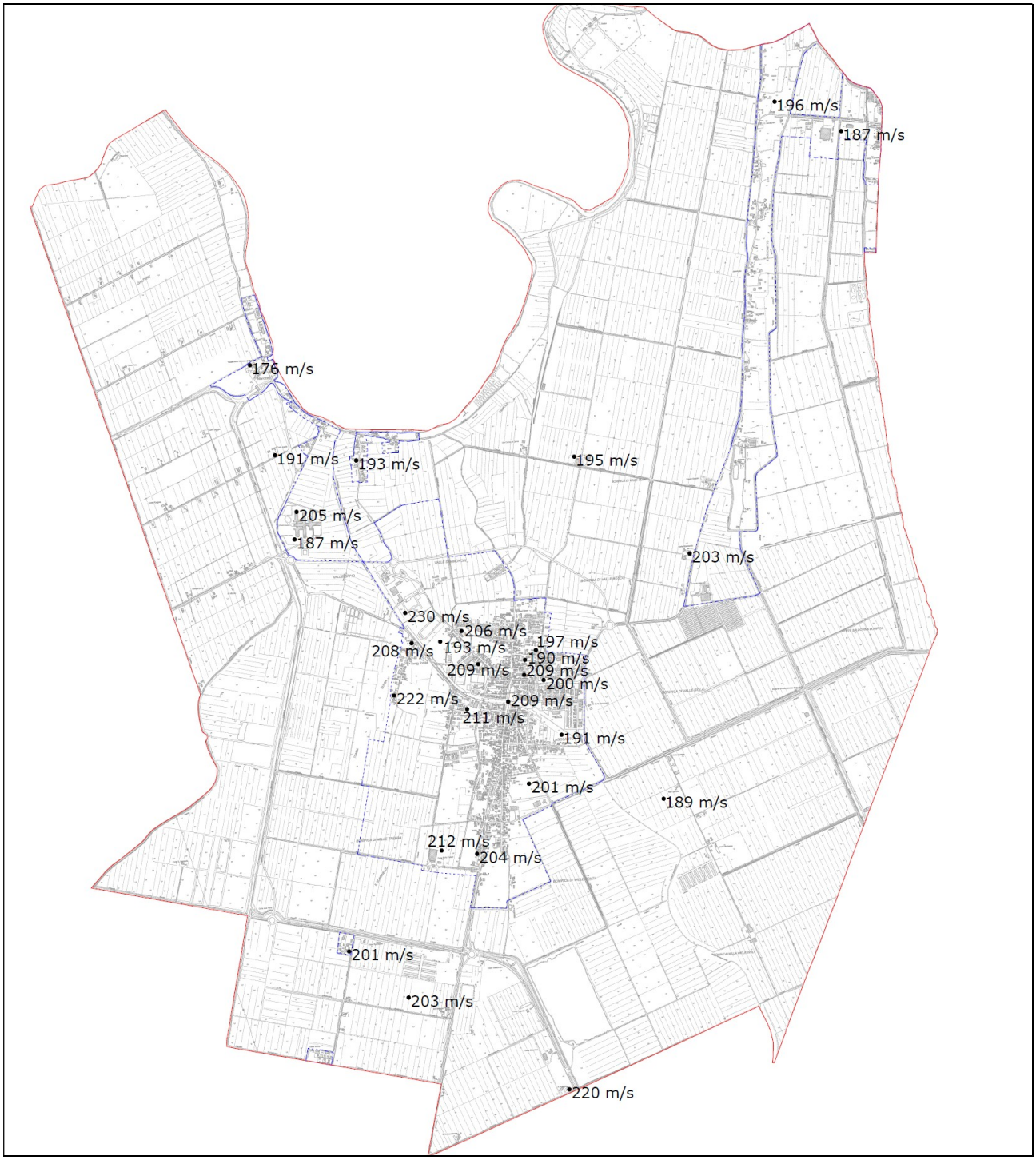


Figura 4-26 - *Carta della Velocità delle Onde di taglio rappresentata con il valore di Vs30 misurati e calcolati su tutto il territorio di Lagosanto*

4.2. SEGNALI DI INPUT PER ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

I segnali di input di riferimento per le analisi di risposta sismica locale sono indicati nell'Allegato A4 degli indirizzi regionali (DGR 476/2021); essi sono scaricabili sul WebGIS: http://egeos-test.eucentre.it/rer/home.html realizzata da EUCENTRE (**FIGURA 4.27**).

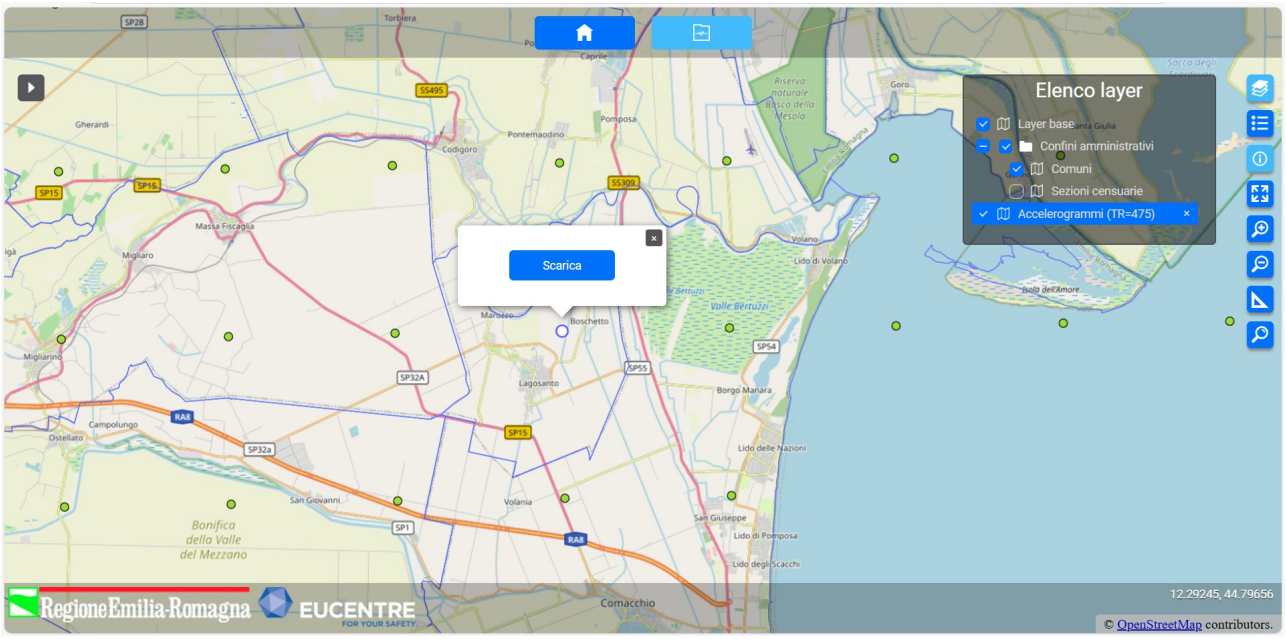


Figura 4-27 *- Mappa dei nodi su cui scaricare i gruppi di 7 accelerogrammi -* ***https://rer.eucentre.it/home.html***

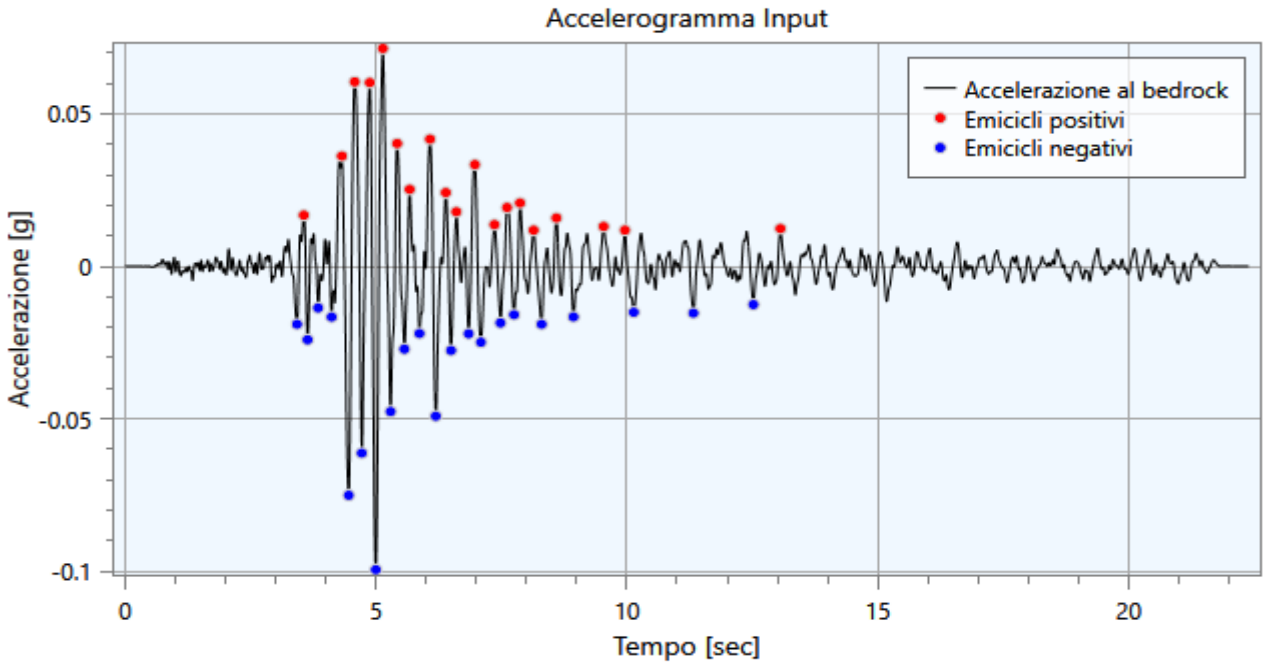
Di seguito si riportano i diagrammi degli accelerogrammi estratti per Lagosanto appartenenti al nodo con ID = 15632, per eventi sismici con tempo di ritorno di 475 anni:

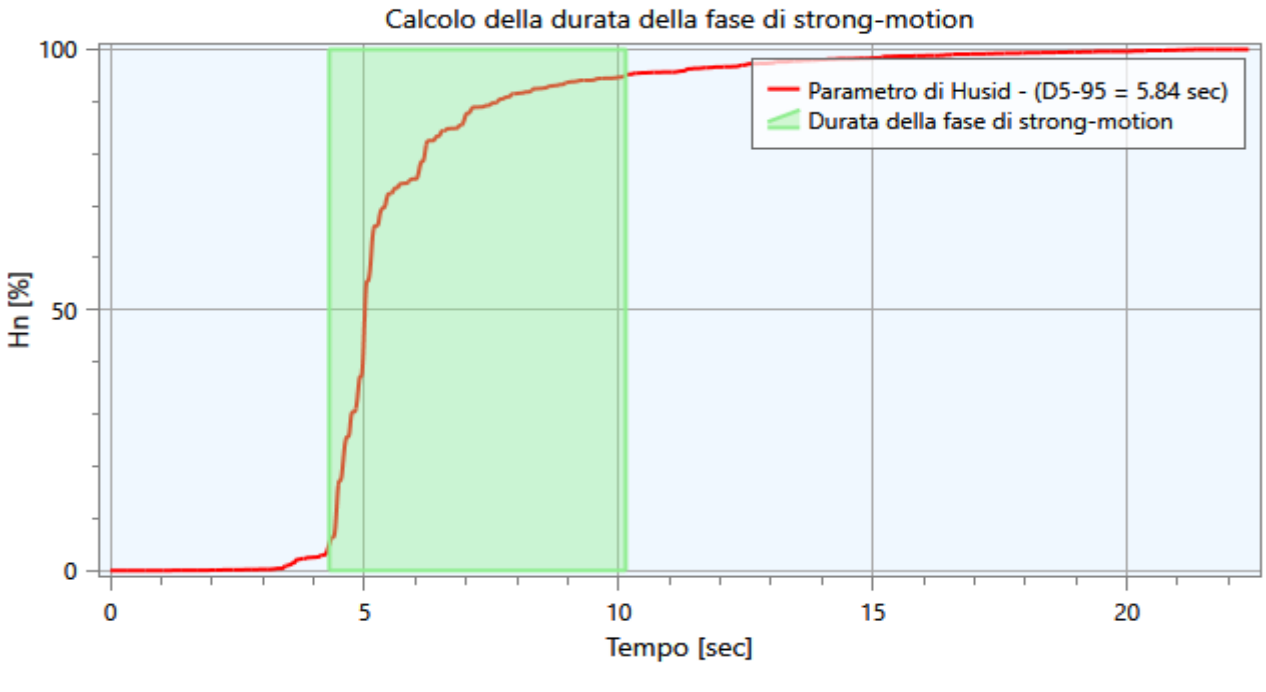
TR475_ID15632

Magnitude (Mw)	Epicentral Distance (km)	Scaling_Factor		Source File_Name
5.80	22.70	1.07	%	ESM EU.HRZ..HNN.D.19790415.144305.C.ACC.ASC
6.69	38.07	0.72	%	NGA RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
6.60	31.00	0.40	%	KiKnet SMNH100010061330.EW2
6.50	57.74	2.13	%	NGA RSN8167_SANSIMEO_DCPP247.AT2
6.60	62.00	1.35	%	KiKnet SAGH050503201053.NS2
6.10	53.70	2.91	%	ESM IT.SUL..HNE.D.20090406.013240.C.ACC.ASC
6.10	97.00	0.81	%	KiKnet MYGH041103280724.EW2

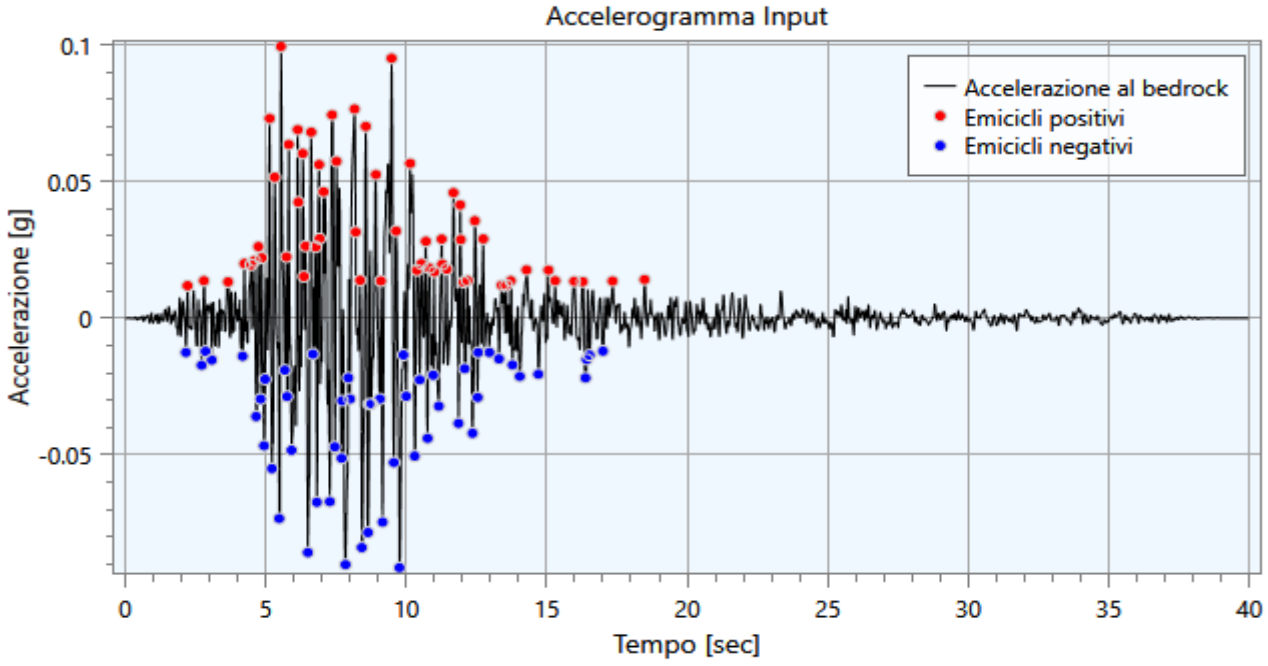
Si fa presente che alcuni dei 7 acceleregrammi presentano tempi di registrazione molto lunghi, per cui per alleggerire il calcolo, sono stati tagliati, mantenendo le fasi di registrazione ove è più significativo la fase di strong-motions., ove cioè è concentrata la maggior parte dell'energia liberata dal sisma. Quelle riportate nelle **FIGURA 4.28** sono già le parti di registrazione selezionata per l'analisi condotta.

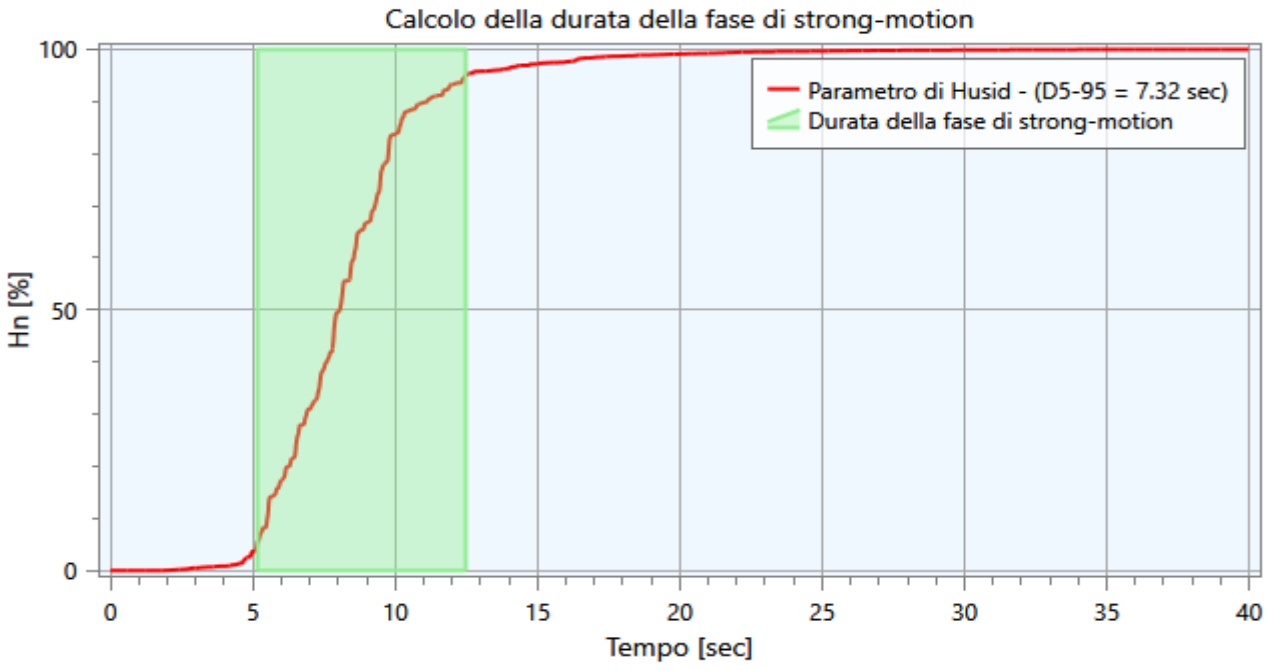
Nome: Acc (1)


Accelerogramma Input
Accelerazione al bedrock
Emicicli positivi
Emicicli negativi
Accelerazione [g]
0.05
0
-0.05
-0.1
0
5
10
15
20
Tempo [sec]

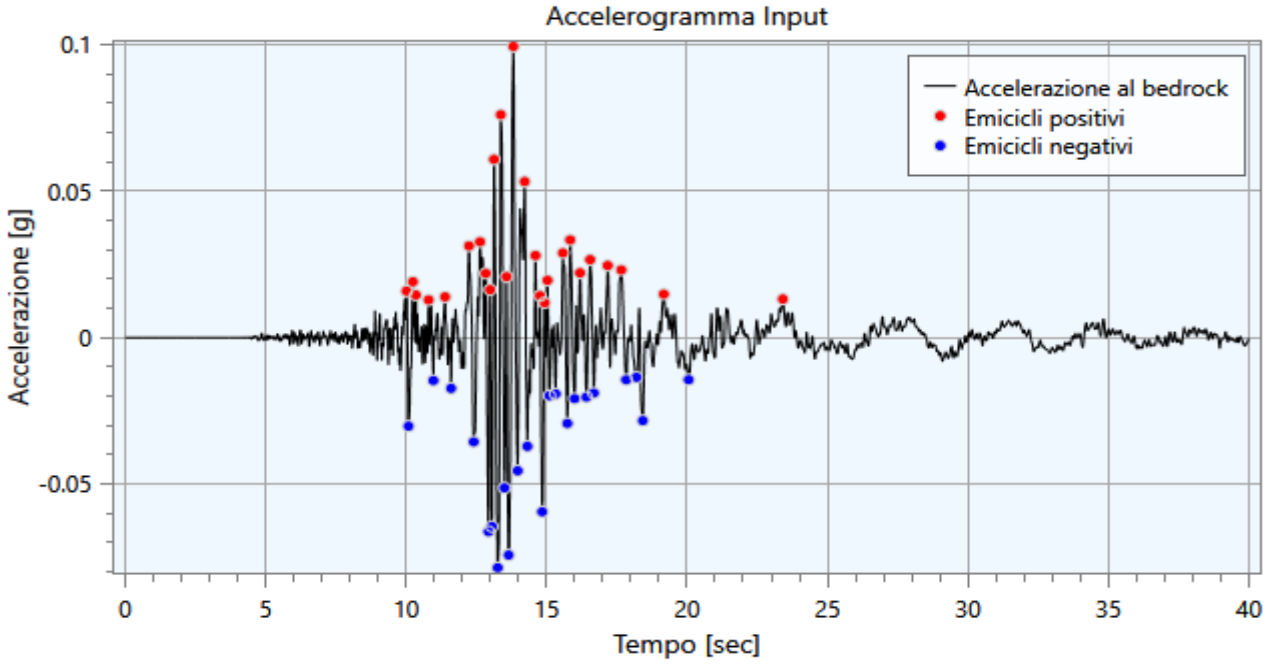

Calcolo della durata della fase di strong-motion
Parametro di Husid - (D5-95 = 5.84 sec)
Durata della fase di strong-motion
Hn [%]
100
50
0
0
5
10
15
20
Tempo [sec]

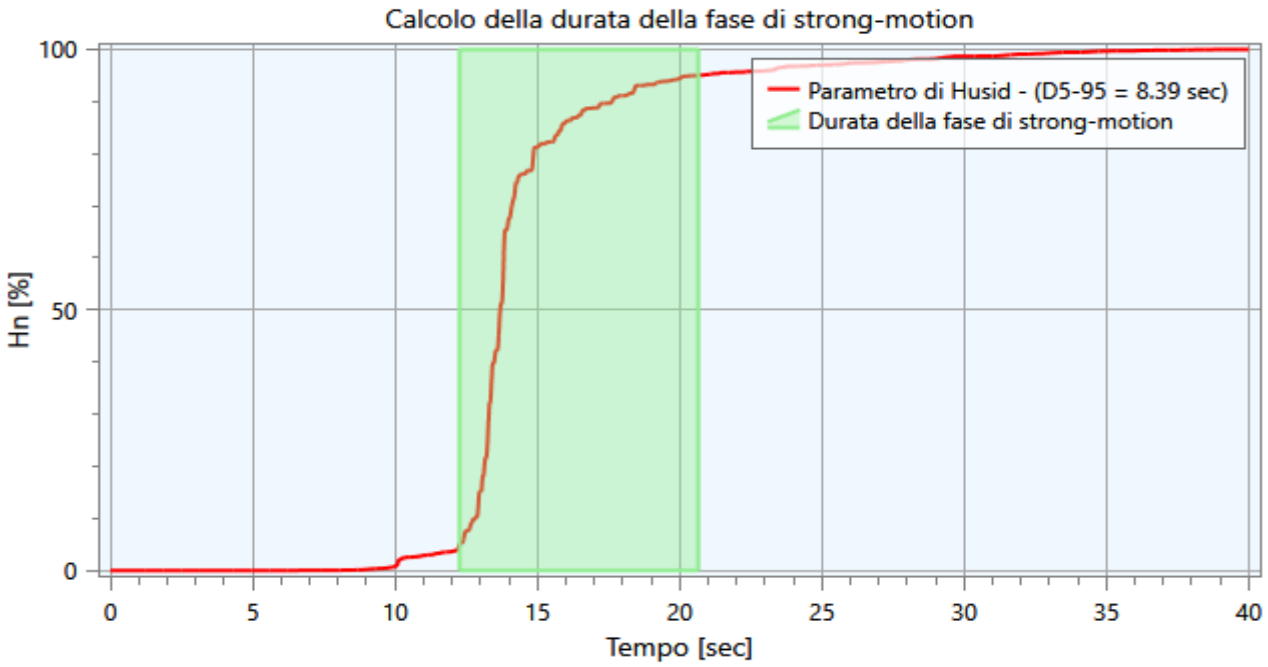
Nome: Acc (2)


Accelerogramma Input
Accelerazione al bedrock
Emicicli positivi
Emicicli negativi
Accelerazione [g]
0.1
0.05
0
-0.05
0
5
10
15
20
25
30
35
40
Tempo [sec]

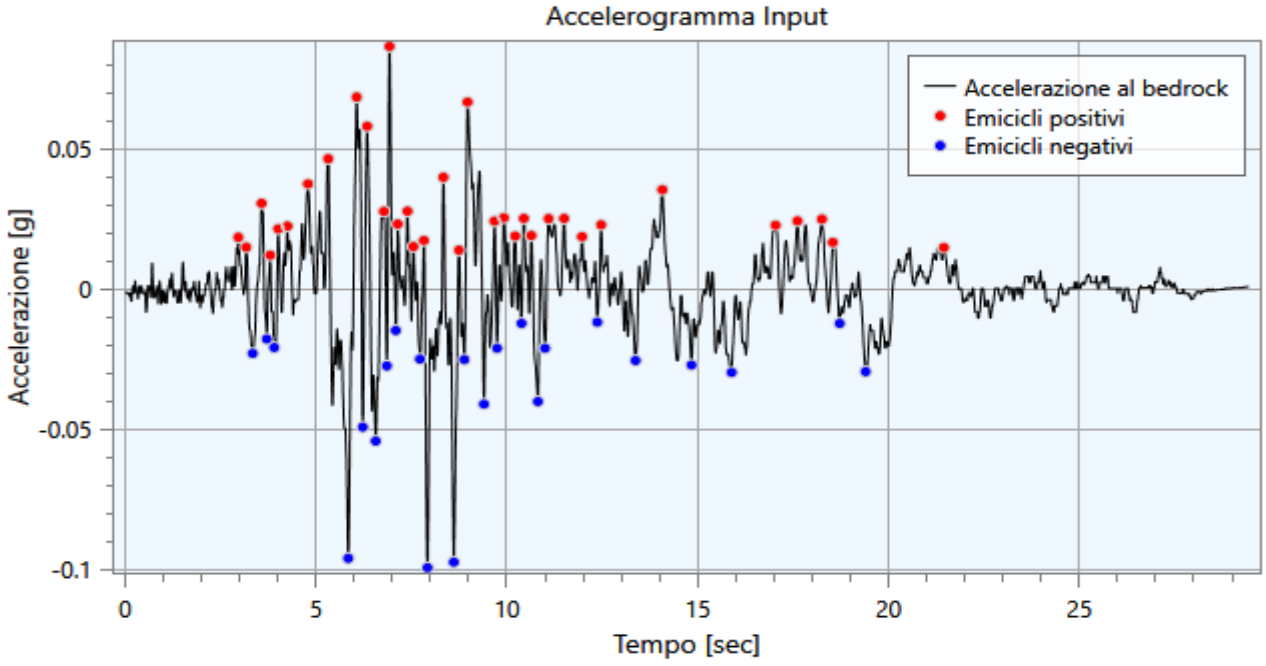

Calcolo della durata della fase di strong-motion
Parametro di Husid - (D5-95 = 7.32 sec)
Durata della fase di strong-motion
Hn [%]
100
50
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
Tempo [sec]

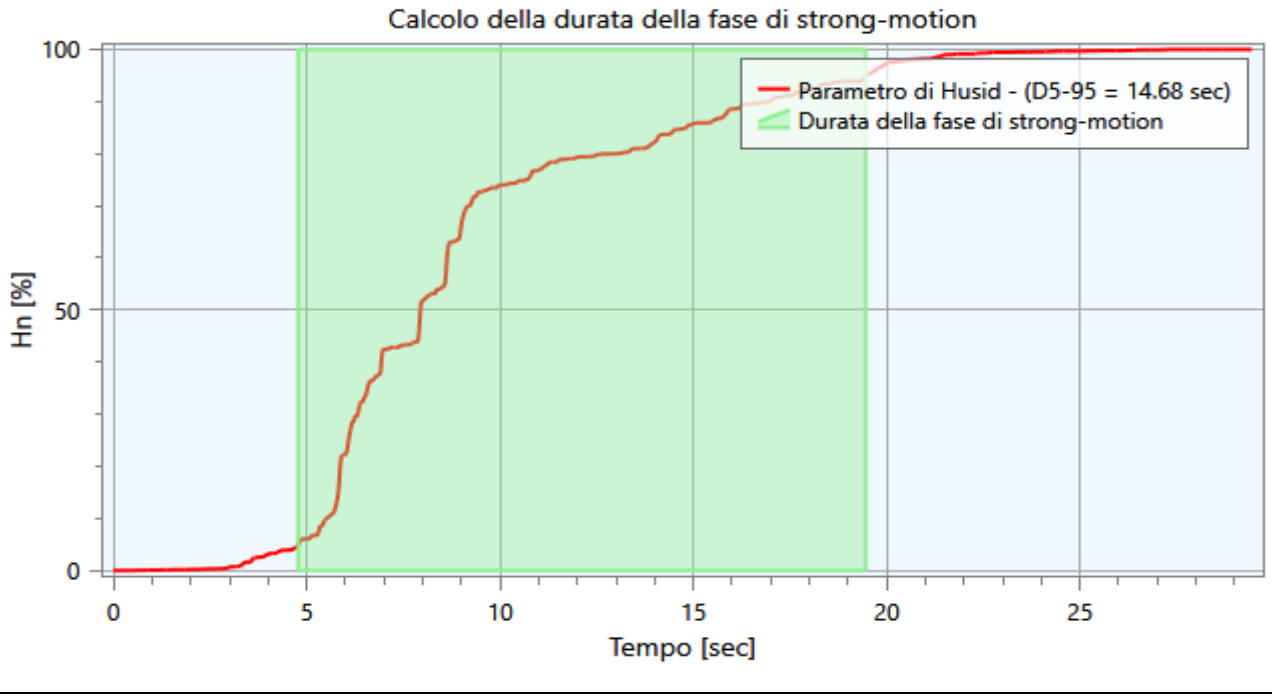
Nome: Acc (3)


Accelerogramma Input
Accelerazione al bedrock
Emicicli positivi
Emicicli negativi
Accelerazione [g]
0.1
0.05
0
-0.05
0
5
10
15
20
25
30
35
40
Tempo [sec]

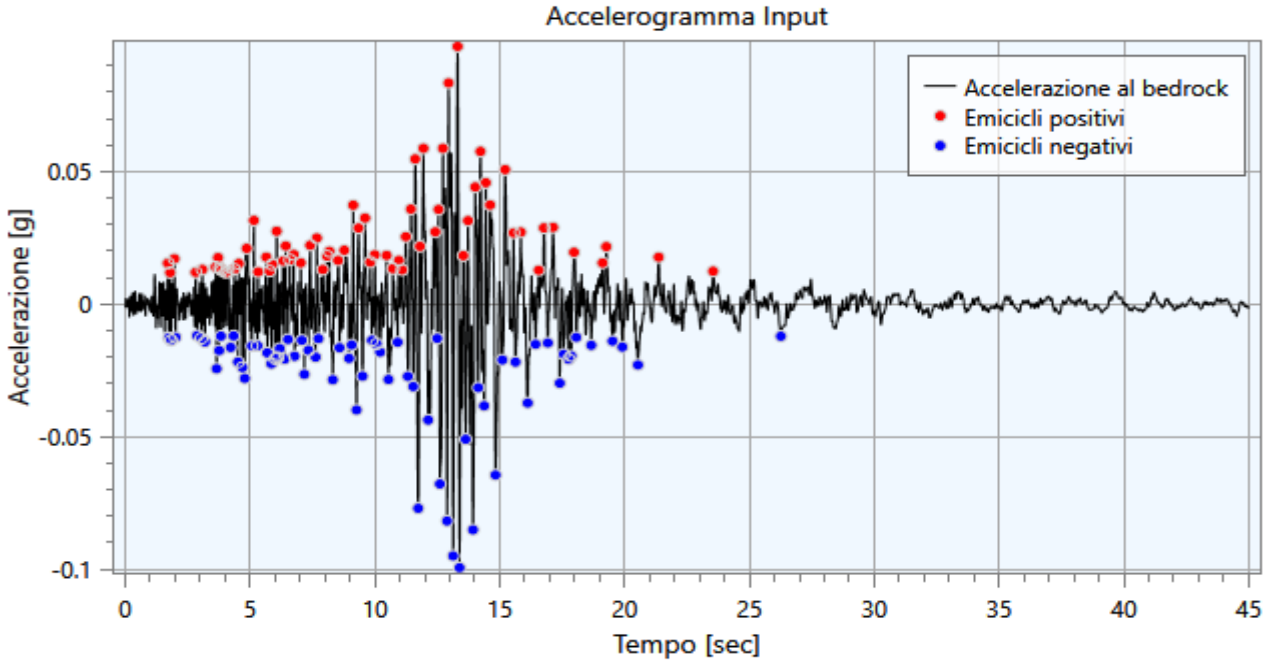

Calcolo della durata della fase di strong-motion
Parametro di Husid - (D5-95 = 8.39 sec)
Durata della fase di strong-motion
Hn [%]
100
50
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
Tempo [sec]

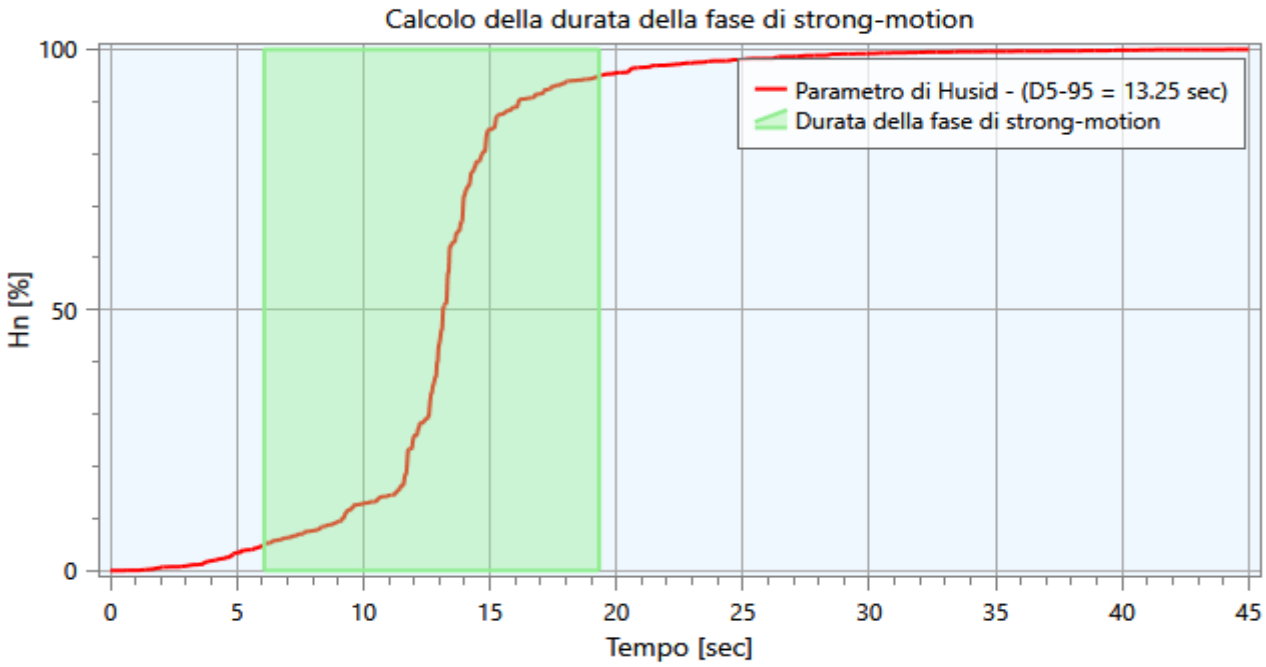
Nome: Acc (4)


Accelerogramma Input
Accelerazione al bedrock
Emicicli positivi
Emicicli negativi
Accelerazione [g]
0.05
0
-0.05
-0.1
0
5
10
15
20
25
Tempo [sec]

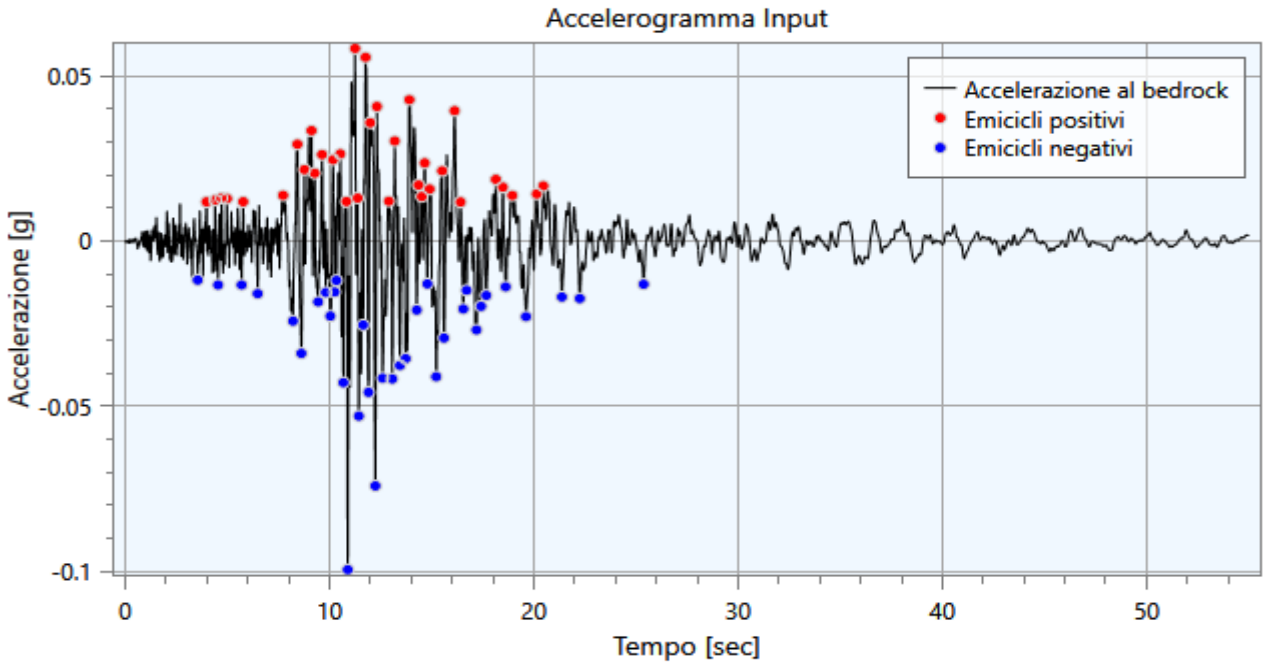

Calcolo della durata della fase di strong-motion
Parametro di Husid - (D5-95 = 14.68 sec)
Durata della fase di strong-motion
Hn [%]
100
50
0
0
5
10
15
20
25
Tempo [sec]

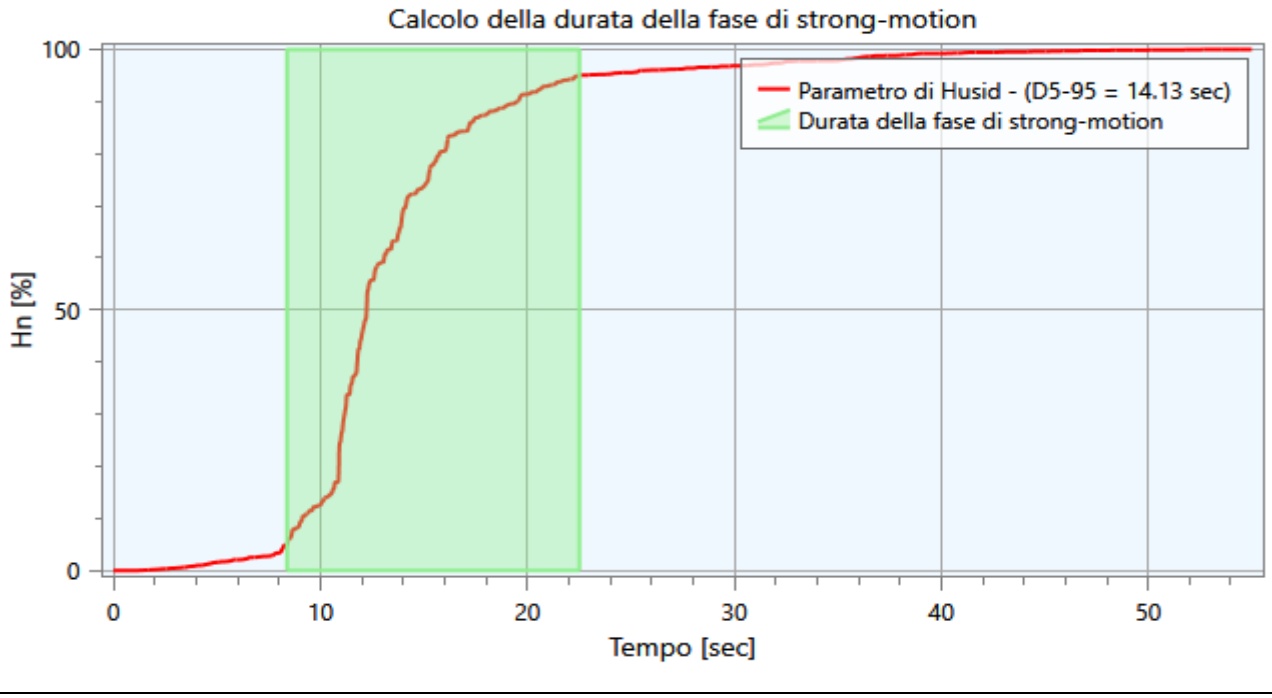
Nome: Acc (5)


Accelerogramma Input
Accelerazione al bedrock
Emicicli positivi
Emicicli negativi
Accelerazione [g]
0.05
0
-0.05
-0.1
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
Tempo [sec]


Calcolo della durata della fase di strong-motion
Parametro di Husid - (D5-95 = 13.25 sec)
Durata della fase di strong-motion
Hn [%]
100
50
0
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
Tempo [sec]

Nome: Acc (6)


Accelerogramma Input
Accelerazione al bedrock
Emicicli positivi
Emicicli negativi
Accelerazione [g]
0.05
0
-0.05
-0.1
0
10
20
30
40
50
Tempo [sec]


Calcolo della durata della fase di strong-motion
Parametro di Husid - (D5-95 = 14.13 sec)
Durata della fase di strong-motion
Hn [%]
100
50
0
0
10
20
30
40
50
Tempo [sec]

Nome: Acc (7)

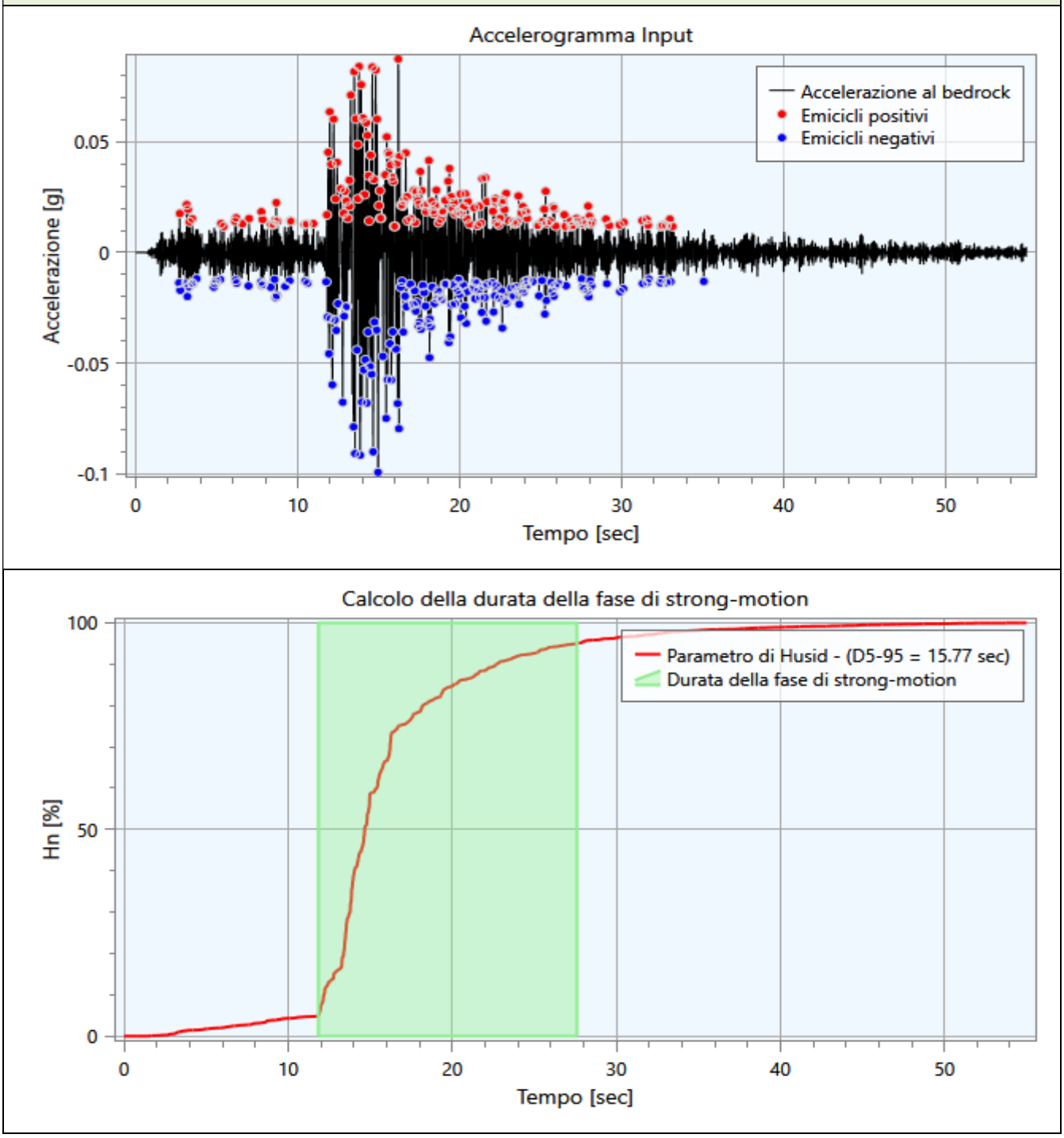


Figura 4-28

5. ANALISI DELLA RSL PER AMBITI DI STUDIO – MODELLI DI INPUT

In questo capitolo si riporta il modello stratigrafico ed il profilo di Vs adottato per ogni ambito di studio. In particolare si riporta la suddivisione in strati pseudomogenei dei primi 30m investigati con il cono sismico, e la suddivisione in strati pseudomogenei della stratigrafia profonda adottata per il rispettivo ambito. Con le indagini ESAC, fatte eseguire alla ditta TeamGeofisica.ceg, del dott. Nasser Abu Zeid, il bedrock sismico non è mai stato raggiunto. Esso è atteso a profondità molto maggiori di 350m.

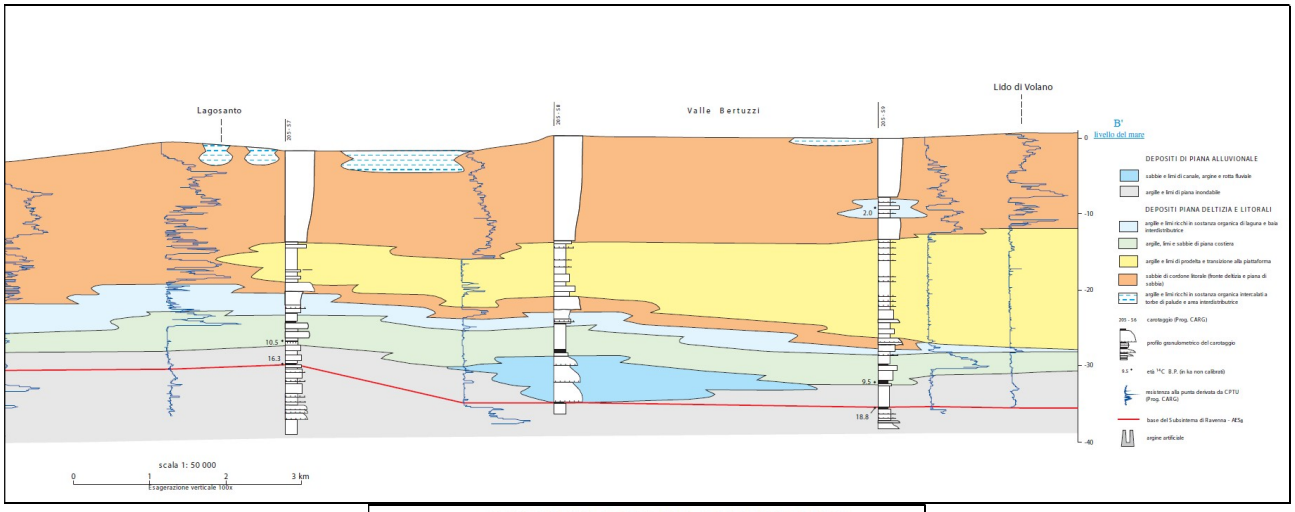
Il software utilizzato per condurre l'analisi di risposta sismica locale, la cui licenza è di proprietà dello scrivente, è LSR-2D versione 5.0.1. (**FIGURA 5.1**)



Figura 5-1 *Software in licenza dello scrivente per gli studi di Risposta Sismica Locale*

L'analisi condotta è di tipo Equivalente Lineare.

I modelli geologici dei primi 30m sono derivati dalle prove SCPTU, che vengono interpretate in funzione del modello geologico tipo, leggibile dalla sezione 074 del progetto CARG (**FIGURA 5.2**).



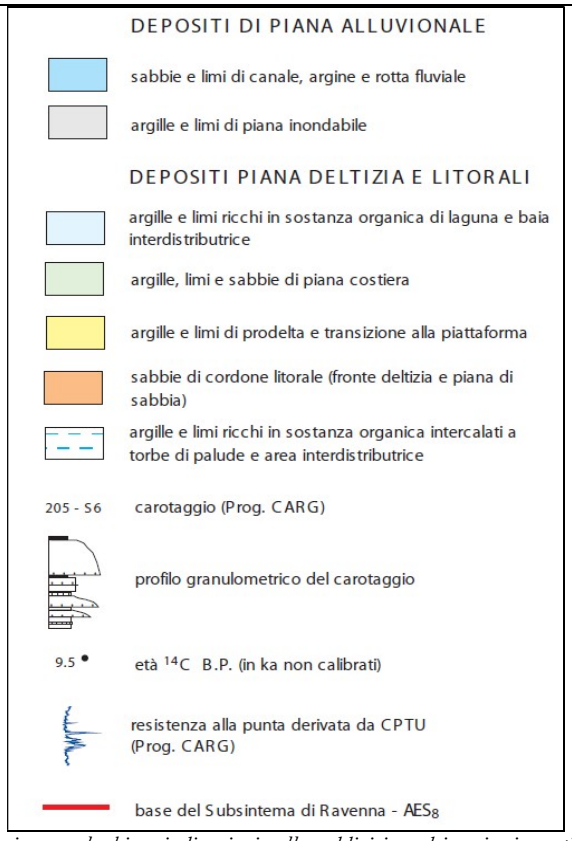


Figura 5-2 *Da questa sezione tipo si ricavano le chiare indicazioni sulle suddivisione dei vari orizzonti geologici incontrati durante l'esecuzione delle prove penetrometriche a punta elettrica, piezocono e sismocono*

Le curve di decadimento del modulo Go e di Dumping utilizzate sono le seguenti:

"***Copertura limoso-argillosa***" riconducibile a sedimenti alluvionali continentali di piana interdistributrice dulcicola.

"***Fanghi molli palustri***" riconducibile a sedimenti alluvionali continenti di piana interdistributrice dulcicola, costituiti da fanghi organici molli depositati in acqua e mai emersi, che non hanno mai subito consolidazione per essiccamento.

"***Sabbie limose di battigia***", sabbie limose di cordone litorale, duna eolica e fronte deltizia.

"***limi argilloso sabbiosi prodelta***" sono depositi eterogenei fittamente stratificati che testimoniano l'avanzamento dei primi depositi deltizi in on lap sui sottostanti depositi marini.

"***Fanghi marini argille limose oloceniche***", depositi marini di mare aperto e di prodelta.

"***Sabbie pleistoceniche***" Sabbie di riempimento di canale fluviale.
"***Argille limose pleistocene continentali***" depositi di piana interdistributrice dulcicola.

E' ovvio che uno studio di risposta sismica locale rigoroso necessiterebbe di indagini di laboratorio sui terreni prelevati nelle verticali indagate, in quanto si tratta di valutare il comportamento geotecnico in campo dinamico di sedimenti in sito, sito specifici. Il costo di queste analisi sarebbe troppo oneroso per l'amministrazione pubblica. In ogni caso la banca dati personale dello scrivente, costruita in anni di studi specifici per opere pubbliche, realizzate nel basso ferrarese, consente di adottare curve di decadimento del modulo Go abbastanza vicine alla realtà, riducendo i margini di errore, che si avrebbero utilizzando le curve bibliografiche riportate nei codici di calcolo, provenienti da esperienze condotte su sedimenti studiati in giro per il mondo.

Nelle **FIGURA 5.3**, **5.4**, **5.5**, **5.6**, **5.7**, **5.8** e **5.9**, si riportano i grafici delle curve utilizzate.

Curva n. 1: Copertura limoso argillosa

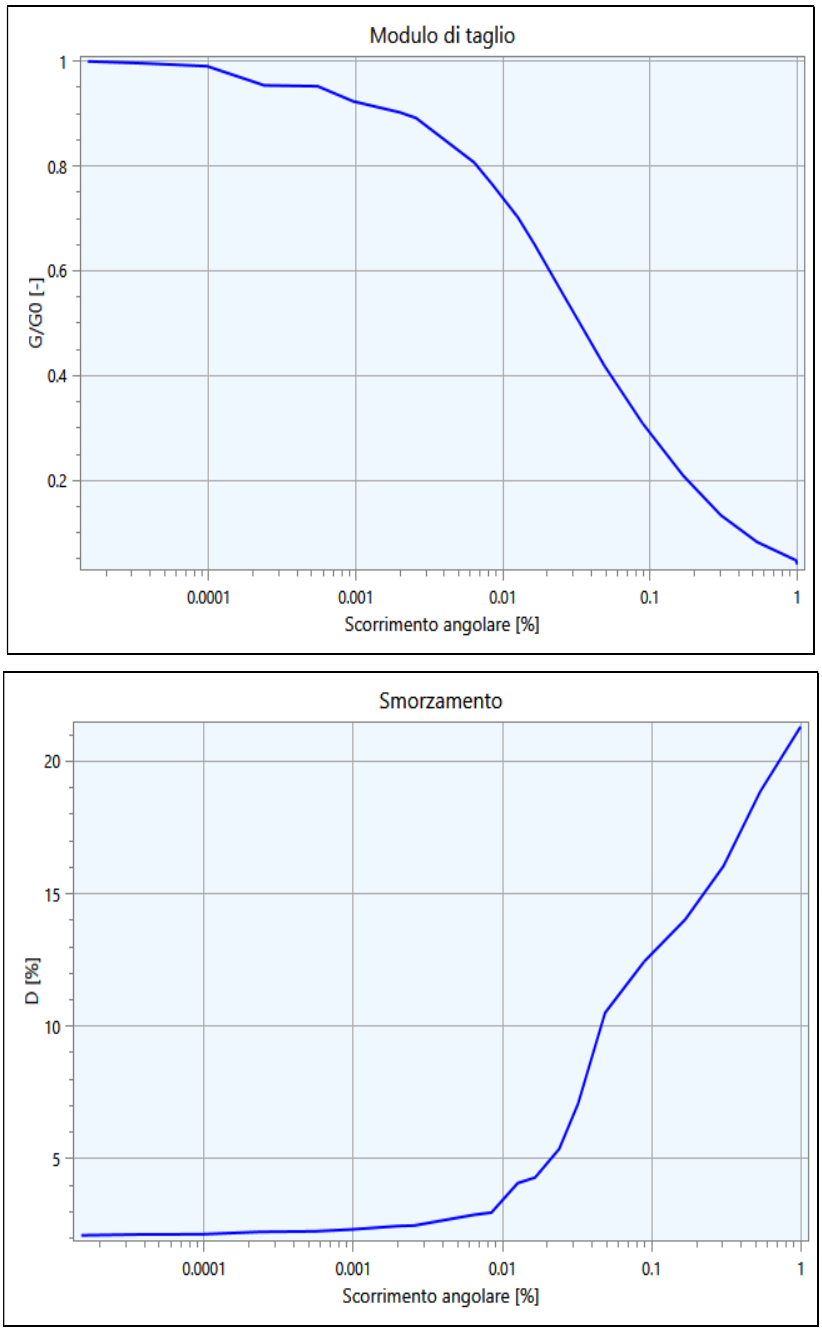


Figura 5-3

Curva n. 2: fanghi molli di palude

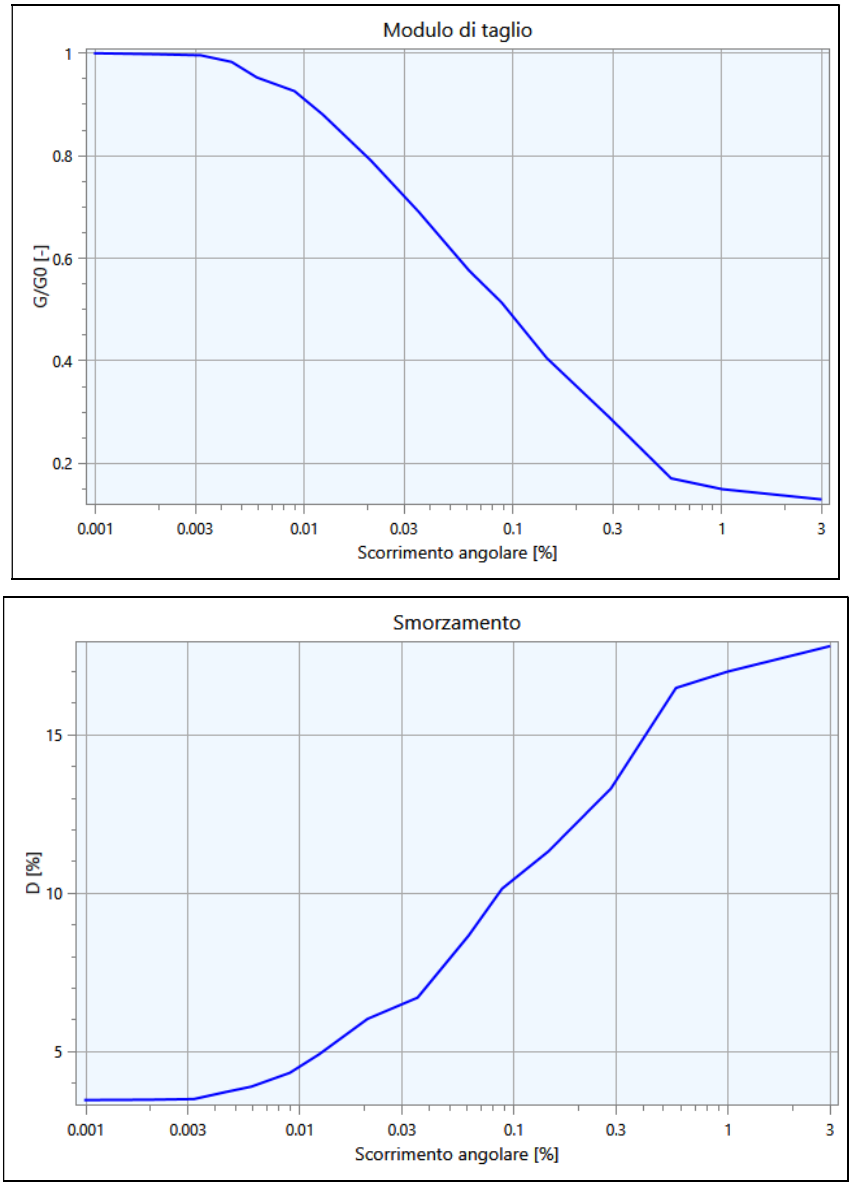


Figura 5-4

Curva n. 3: sabbie limose battigia

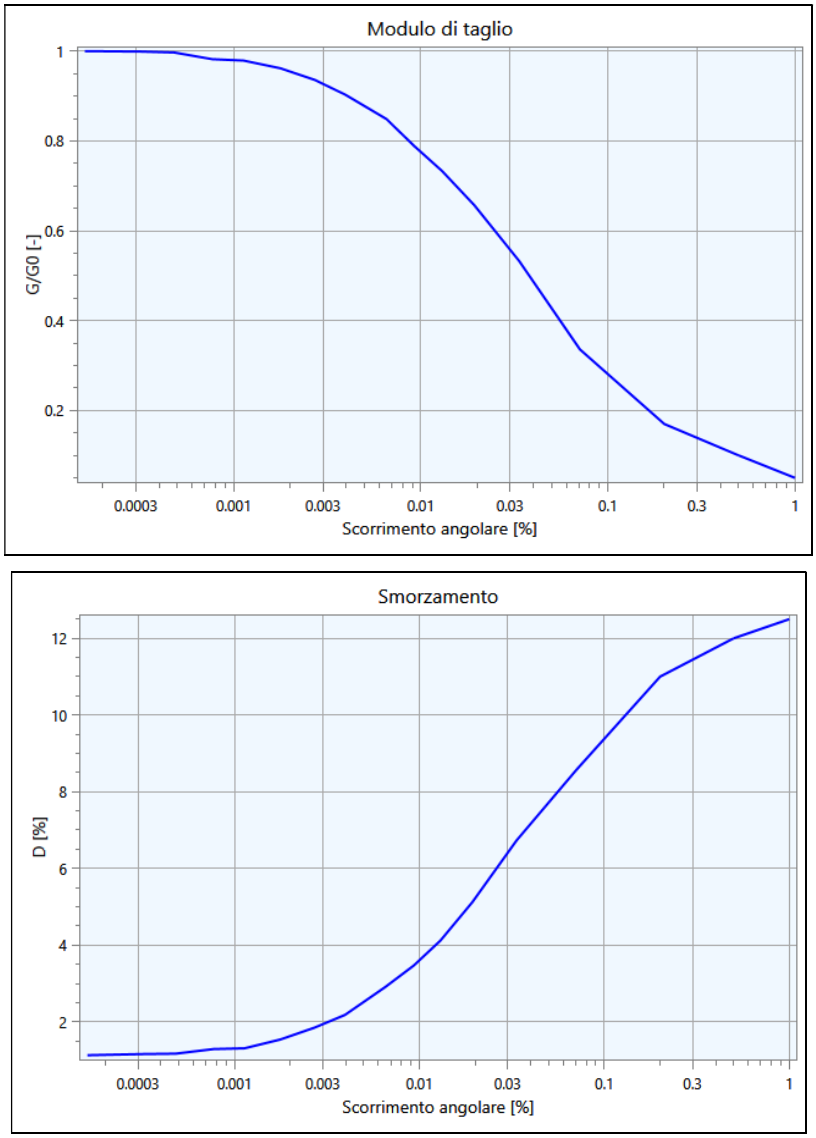


Figura 5-5

Curva n. 4: limi argilloso sabbiosi prodelta

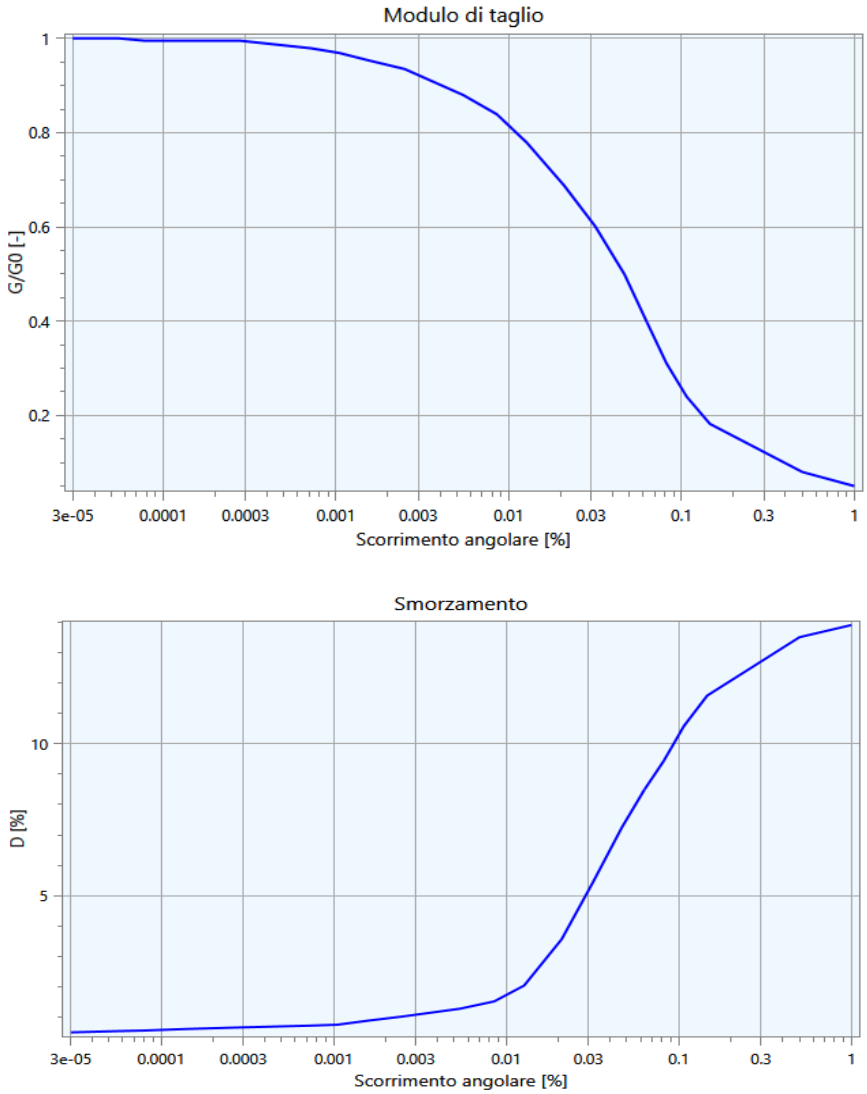
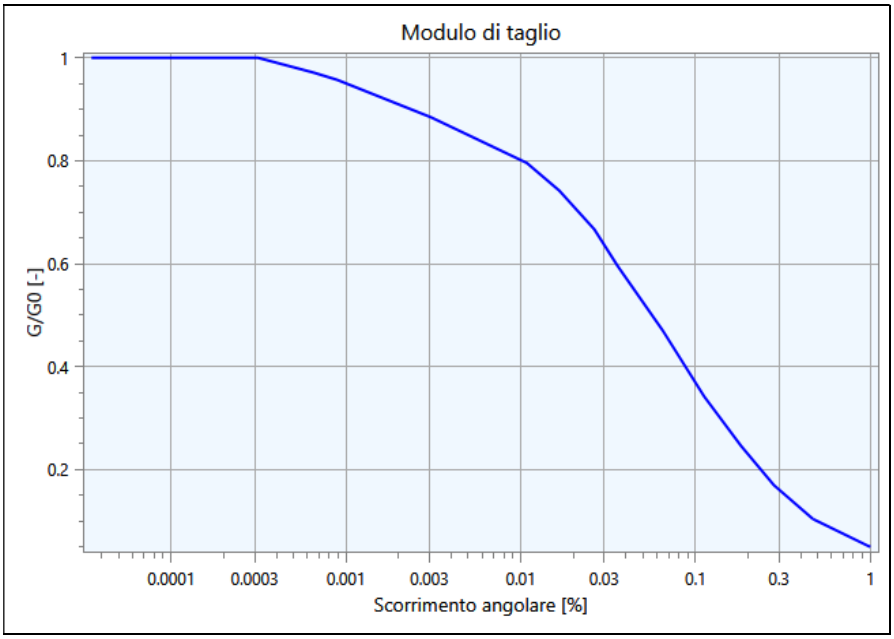


Figura 5-6

Curva n. 5: fanghi marini argille limose oloceniche



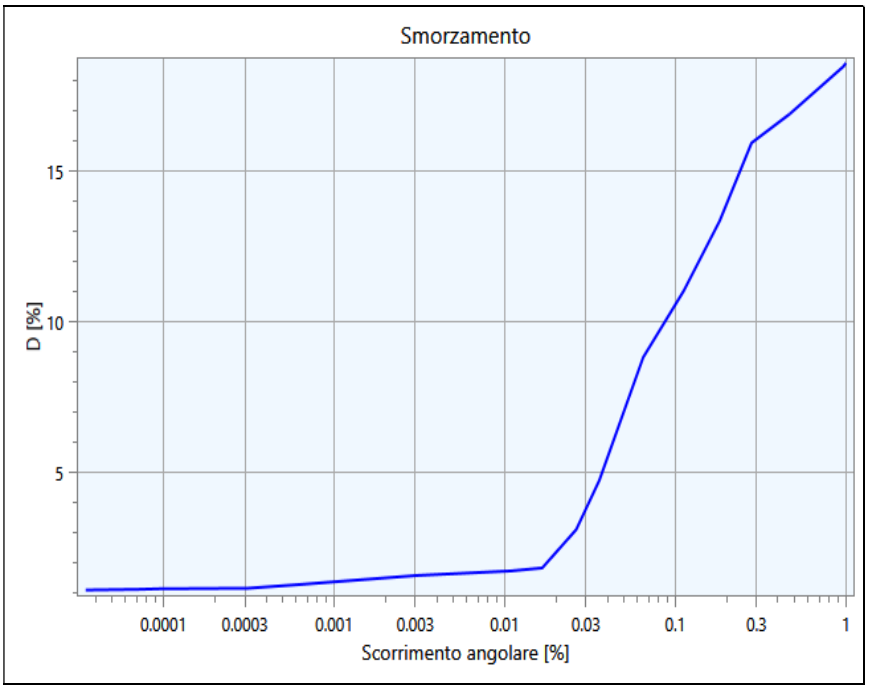


Figura 5-7

Curva n. 6: sabbie pleistoceniche

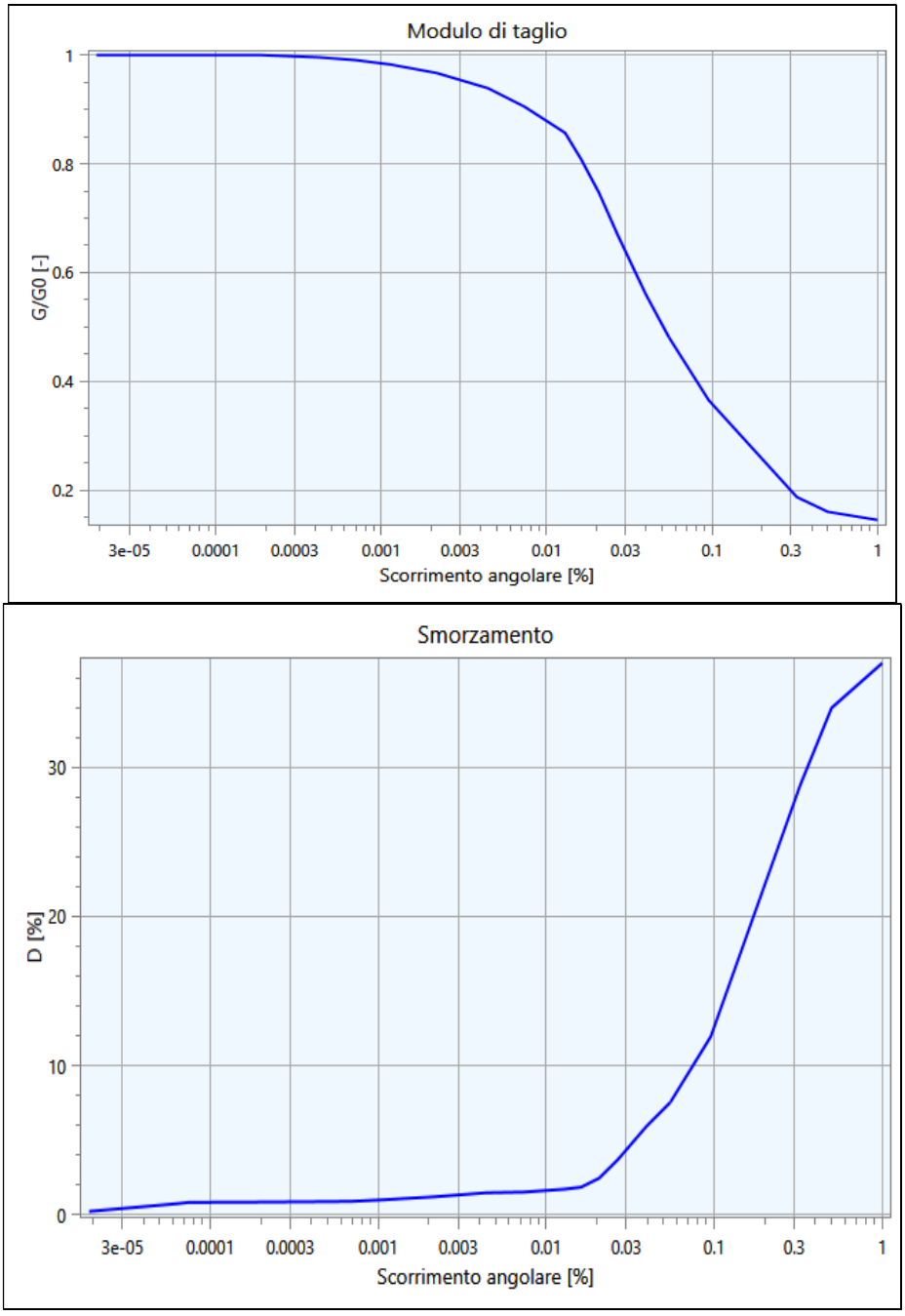


Figura 5-8

Curva n. 7: Argille limose pleistocene continentali

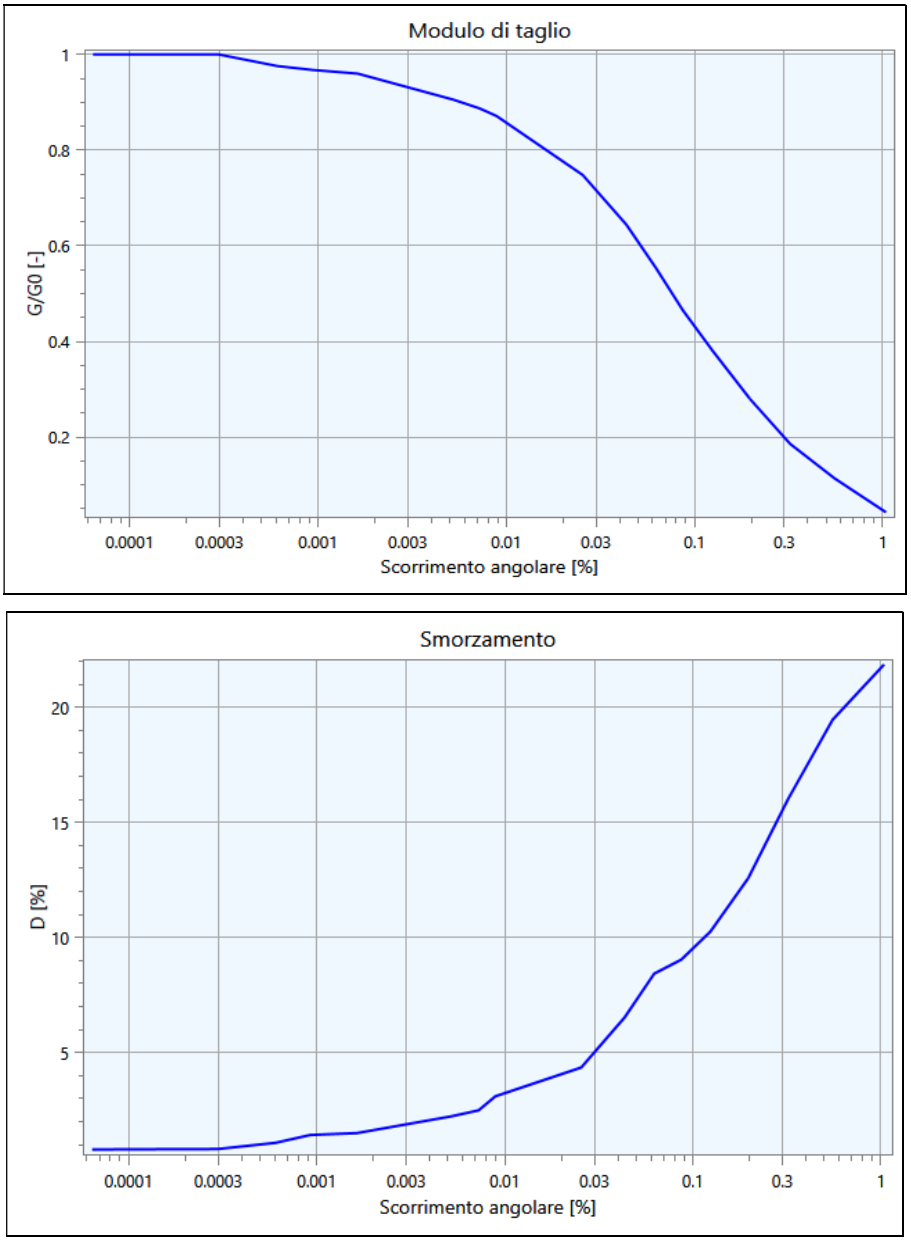


Figura 5-9

Per gli strati profondi granulari si è fatto riferimento alle curve EPRI in funzione dello stato tensionale ovvero della profondità.

Per gli strati coesivi profondi, si dovrebbe quantomeno conoscere il valore dell'indice di plasticità, che è quello che condiziona il decadimento di Go con gli sforzi di taglio g. Non avendo questi dati, si assumono delle curve cautelative con plasticità del 50%. Le curve utilizzate sono riportate in **FIGURA 5.10**, **5.11**, **5.12** e **5.13**.

Curva n. 8: EPRI (93), 120-250 ft

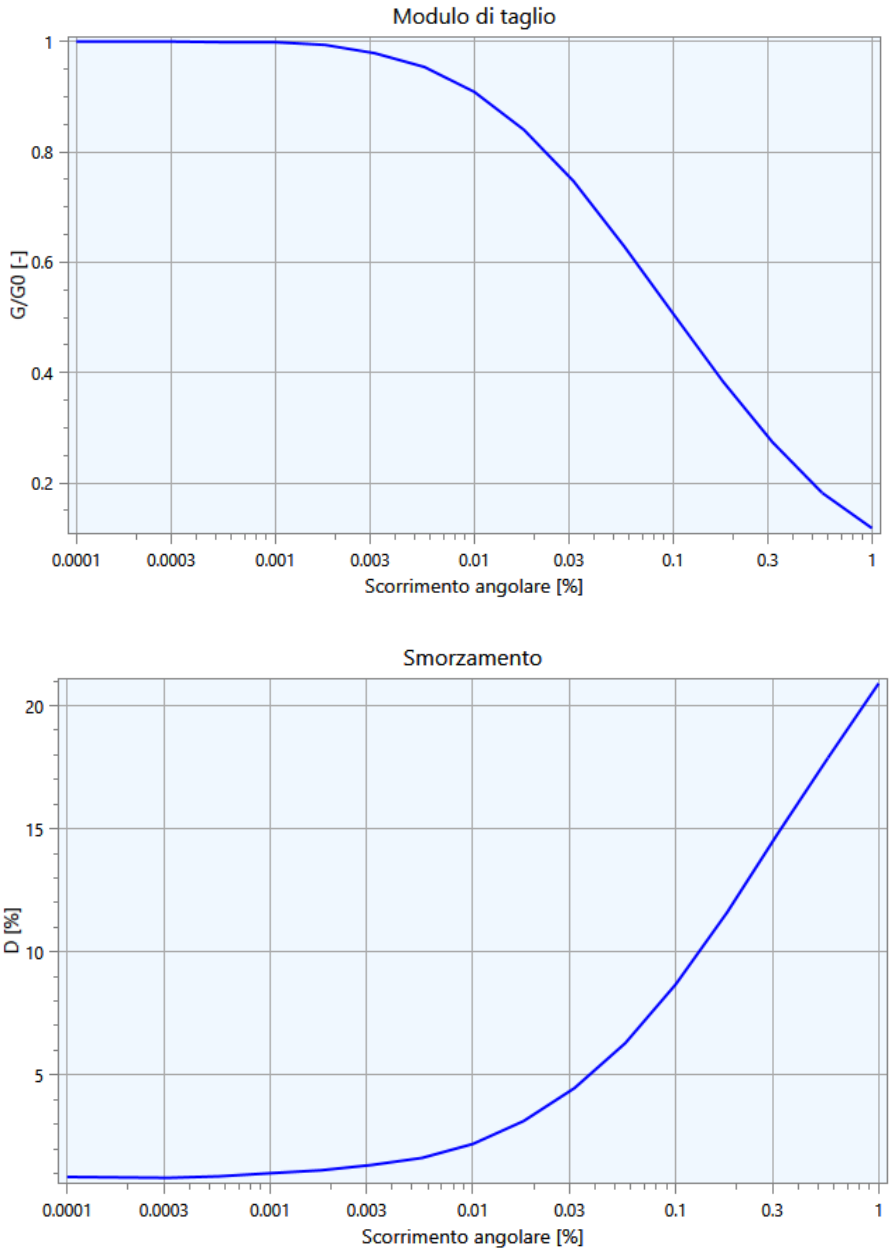


Figura 5-10

Curva n. 9: EPRI (93), 250-500 ft

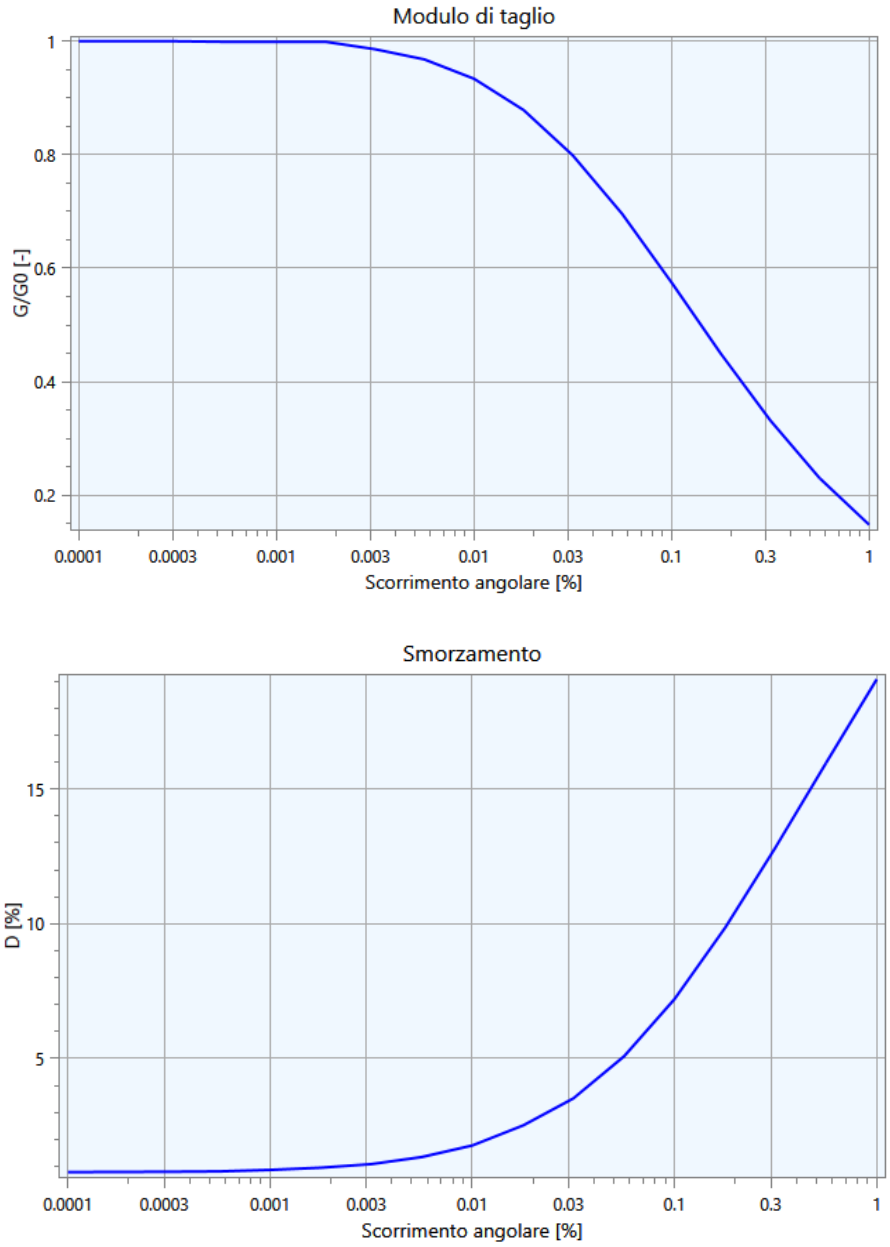


Figura 5-11

Curva n. 10: EPRI (93), PI=50

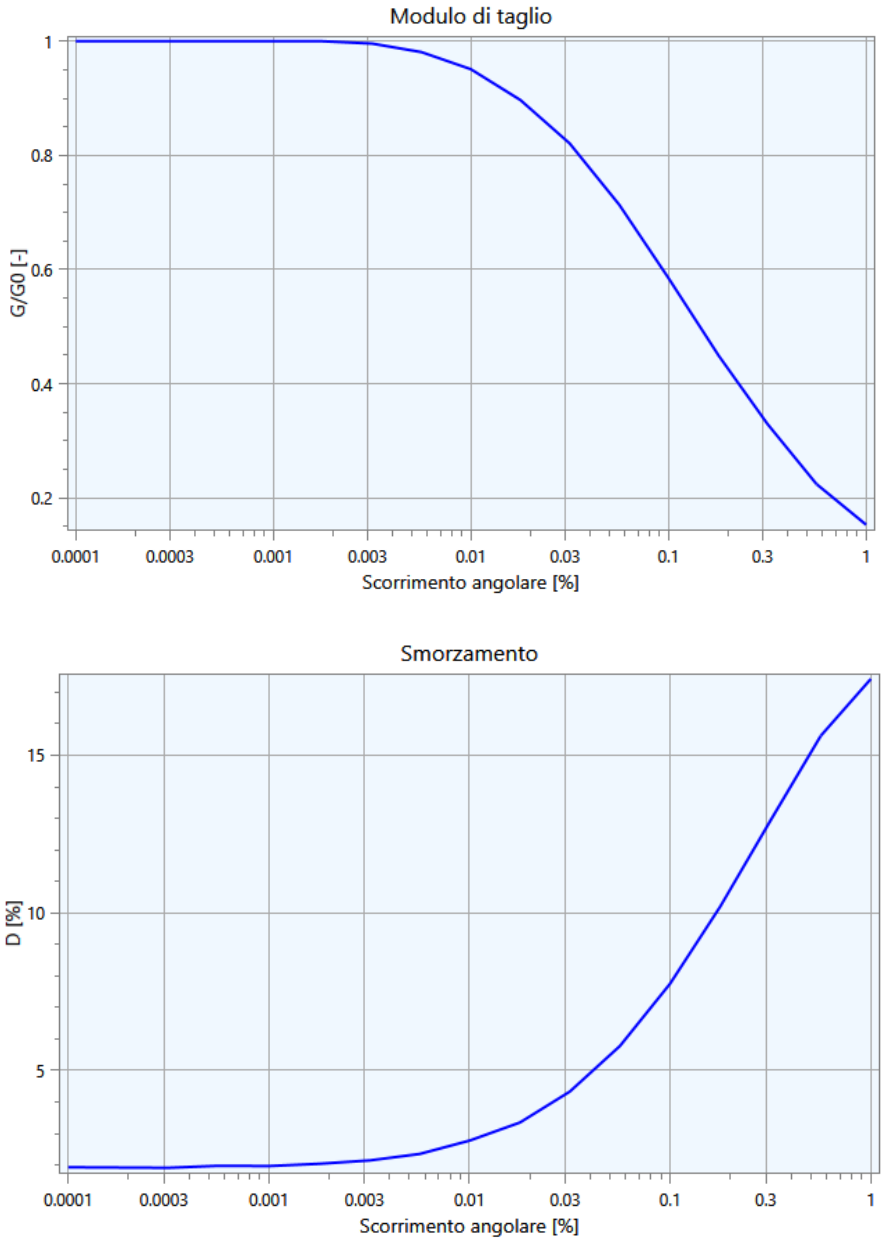


Figura 5-12

Curva n. 11: EPRI (93), 500-1000 ft

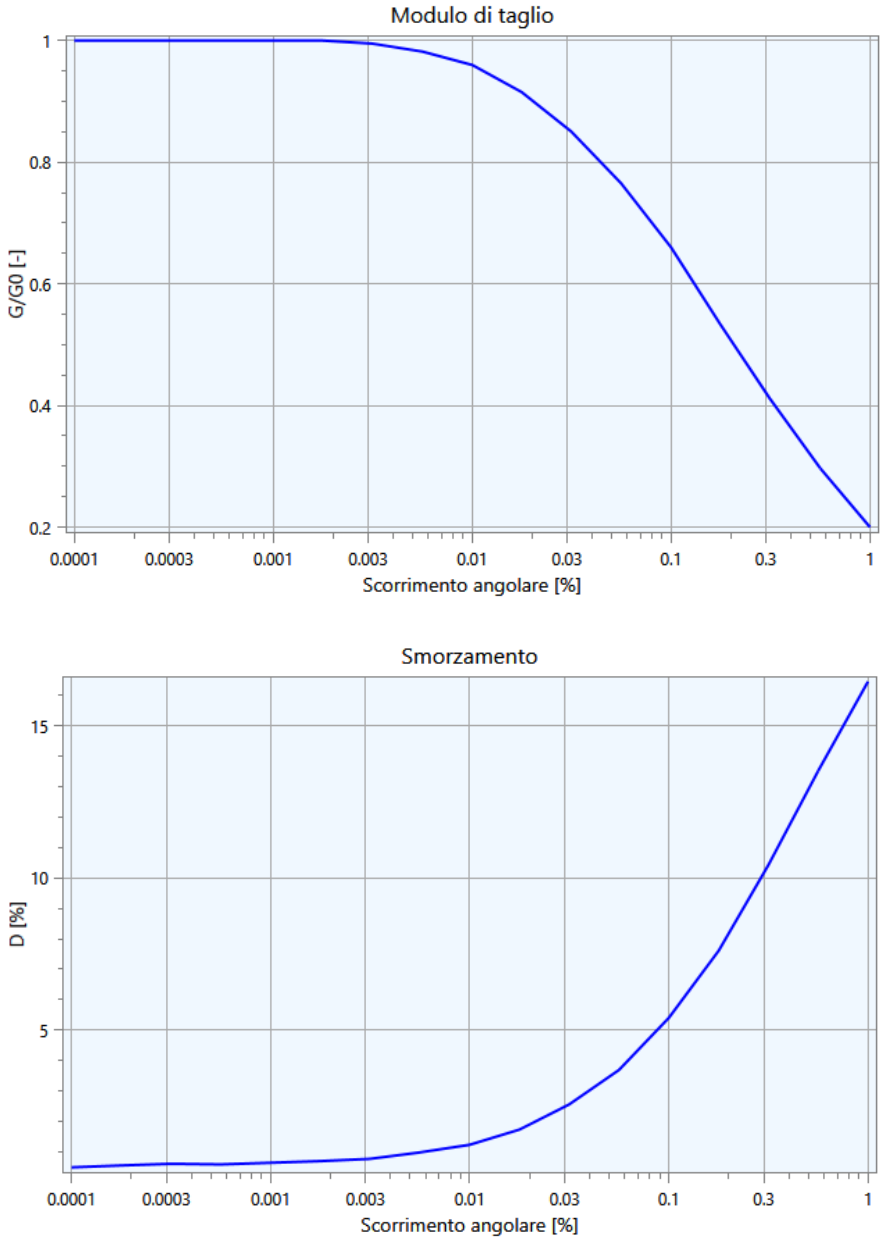
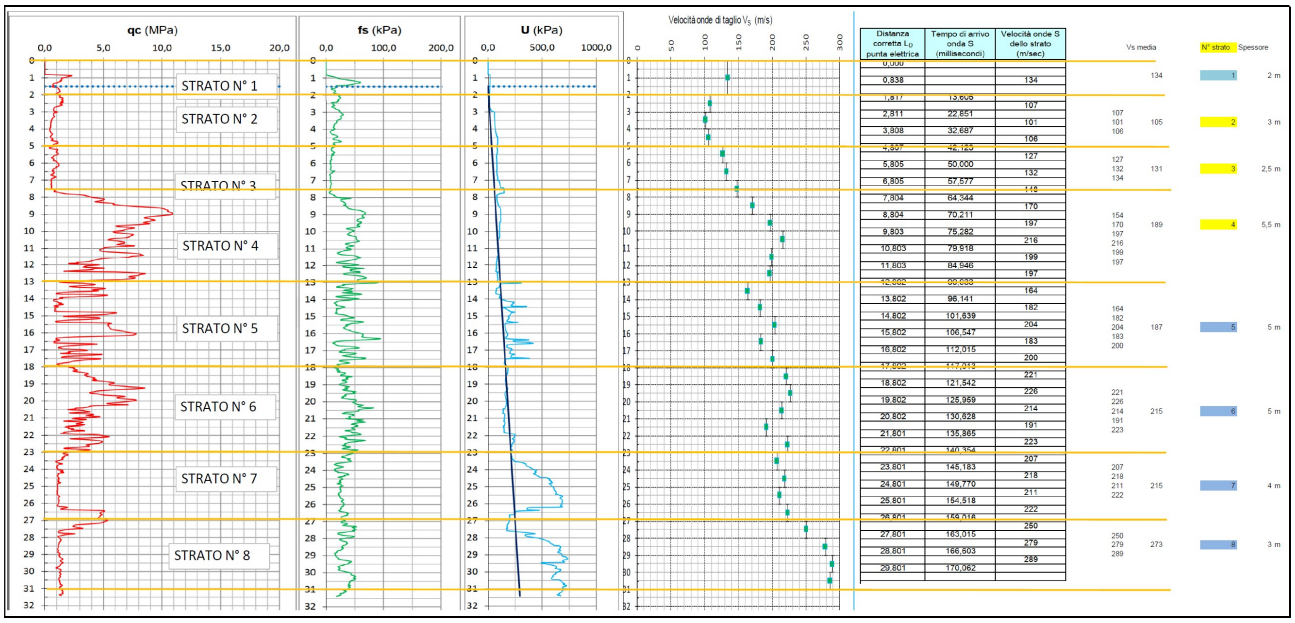


Figura 5-13

Di seguito si riportano i modelli stratigrafici e geofisici di dettaglio dei primi 30m e quelli profondi, per ogni località studiata (**FIGURA 5.14**, **5.15**, **5.16**, **5.17**, **5.18**, **5.19** e **5.20**).

Dopo ogni figura che rappresenta i modelli geologici, si riportano le tabelle estratte dal software con i modelli numerici di input utilizzati per procedere all'analisi di risposta sismica locale (**Tabella 5.1**, **5.2**, **5.3**, **5.4**, **5.5**, **5.6** e **5.7**).

5.1. Marozzo Impianti Idrovori



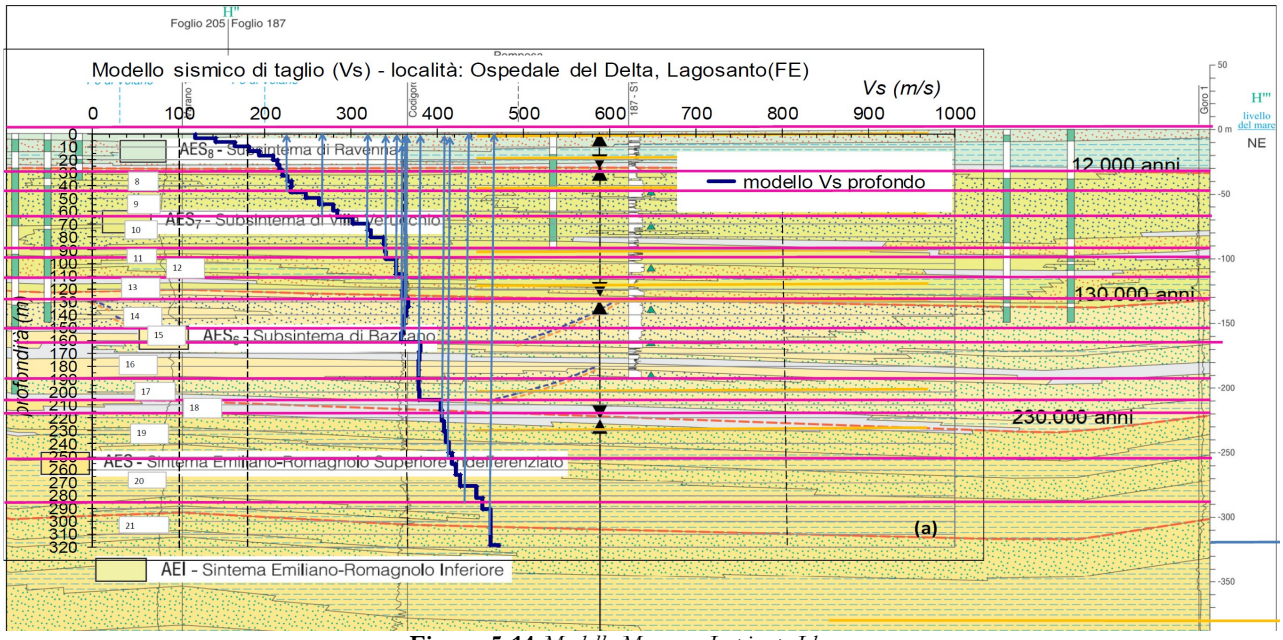


Figura 5-14 *Modello Marozzo Impianto Idrovoro*

Marozzo Impianto Idrovoro – Modello di INPUT

Di seguito i riporta la tabella contenente le caratteristiche meccaniche dei singoli strati:

Strato	Descrizione	S [m]	ϱ [Kg/m³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1)	-	2.00	1850.00	134.00	0.35	Copertura limoso argillosa
Strato (2)	-	3.00	1800.00	105.00	0.35	Argilla Torbosa
Strato (3)	-	2.50	1600.00	131.00	0.35	Argilla Torbosa
Strato (4)	-	5.50	1400.00	189.00	0.35	sabbie limose battigia
Strato (5)	-	5.00	1850.00	187.00	0.35	limi argilloso sabbiosi prodelta
Strato (6)	-	5.00	1900.00	215.00	0.35	sabbie limose battigia
Strato (7)	-	4.00	1850.00	215.00	0.35	fanghi marini
Strato (8)	-	3.00	1900.00	273.00	0.35	Argille limose pleistoceniche
Strato (9)	-	14.00	1900.00	230.00	0.35	EPRI (93), 120-250 ft
Strato (10)	-	20.00	1900.00	265.00	0.35	EPRI (93), 120-250 ft
Strato (11)	-	26.00	1950.00	320.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (12)	-	5.00	1950.00	340.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (13)	-	15.00	2000.00	355.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (14)	-	20.00	2000.00	364.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (15)	-	20.00	2100.00	360.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (16)	-	11.00	2050.00	358.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (17)	-	29.00	2050.00	380.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (18)	-	15.00	2150.00	380.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Strato (19)	-	10.00	2100.00	410.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (20)	-	40.00	2150.00	415.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Strato (21)	-	35.00	2150.00	440.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (22)	-	35.00	2150.00	468.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft

Tabella 5-1 *Caratteristiche meccaniche e geofisiche strati Modello Marozzo Impianto Idrovoro*

5.2. Valle Oppio Ospedale del Delta

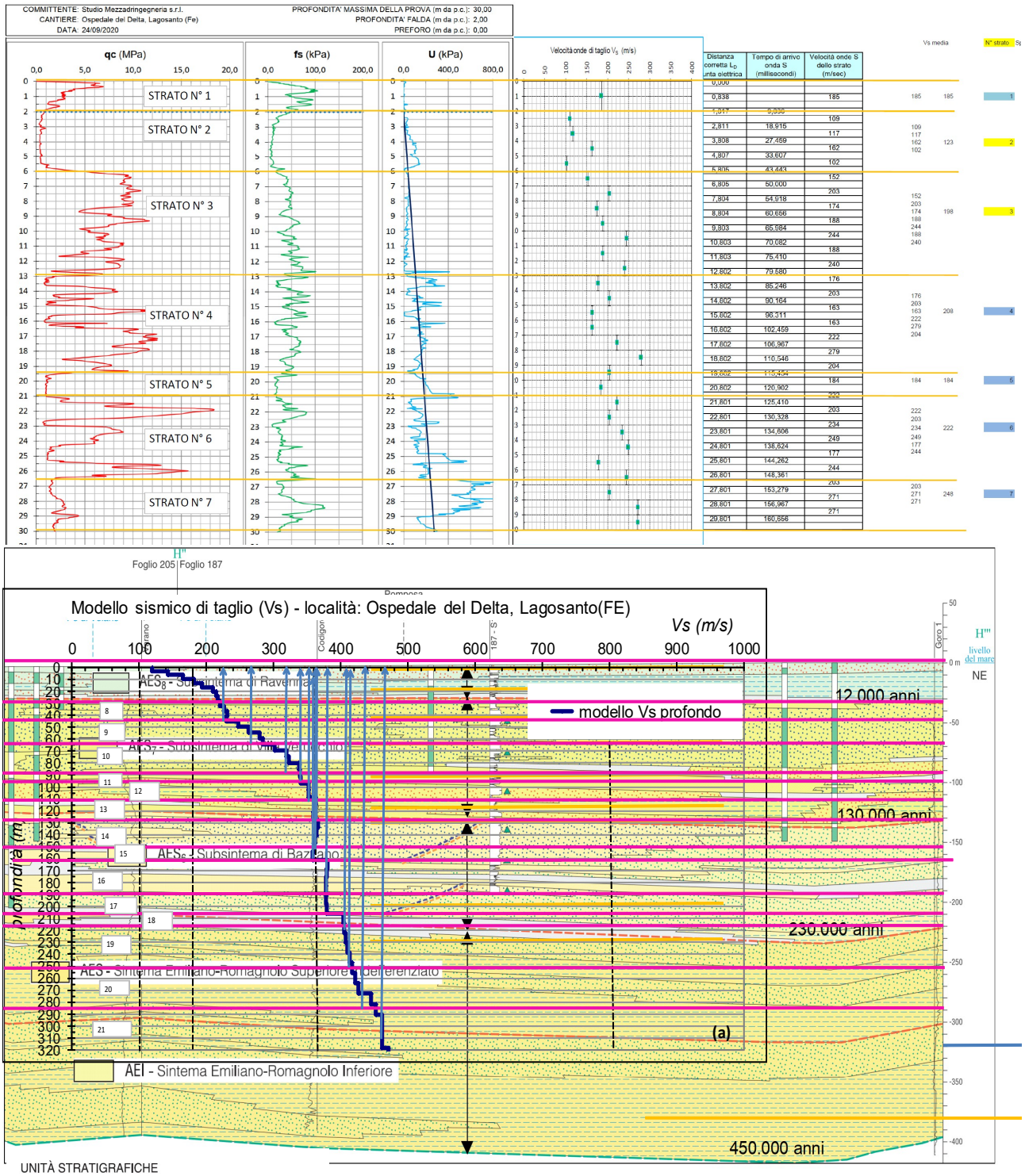


Figura 5-15 *Modello Valle Oppio Ospedale del Delta*

Valle Oppio Ospedale del Delta – Modello di INPUT

Di seguito i riporta la tabella contenente le caratteristiche meccaniche dei singoli strati:

Strato	Descrizione	S [m]	ϱ [Kg/m³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1)	-	2.00	1850.00	185.00	0.40	Copertura limoso argillosa (1)
Strato (2)	-	4.00	1600.00	123.00	0.45	fanghi molli Ariano
Strato (3)	-	7.00	1900.00	198.00	0.35	sabbie limose battigia
Strato (4)	-	6.50	1900.00	208.00	0.35	limi argilloso sabbiosi prodelta
Strato (5)	-	1.50	1850.00	184.00	0.45	fanghi marini
Strato (6)	-	5.50	1900.00	222.00	0.35	sabbie pleistoceniche
Strato (7)	-	3.50	1900.00	248.00	0.45	Argille limose pleistoceniche
Strato (8)	-	14.00	1900.00	230.00	0.35	EPRI (93), 120-250 ft
Strato (9)	-	20.00	1900.00	265.00	0.35	EPRI (93), 120-250 ft
Strato (10)	-	26.00	1950.00	320.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (11)	-	5.00	1950.00	340.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (12)	-	15.00	2000.00	355.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (13)	-	20.00	2000.00	364.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (14)	-	20.00	2100.00	360.00	0.35	EPRI (93), 250-500 ft
Strato (15)	-	11.00	2050.00	358.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (16)	-	29.00	2050.00	380.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (17)	-	15.00	2150.00	380.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Strato (18)	-	10.00	2100.00	410.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (19)	-	40.00	2150.00	415.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft
Strato (20)	-	35.00	2150.00	440.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (21)	-	35.00	2150.00	468.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft

Tabella 5-2 *Caratteristiche meccaniche strati Modello Valle Oppio Ospedale del Delta*

5.3. Lagosanto PalaDon

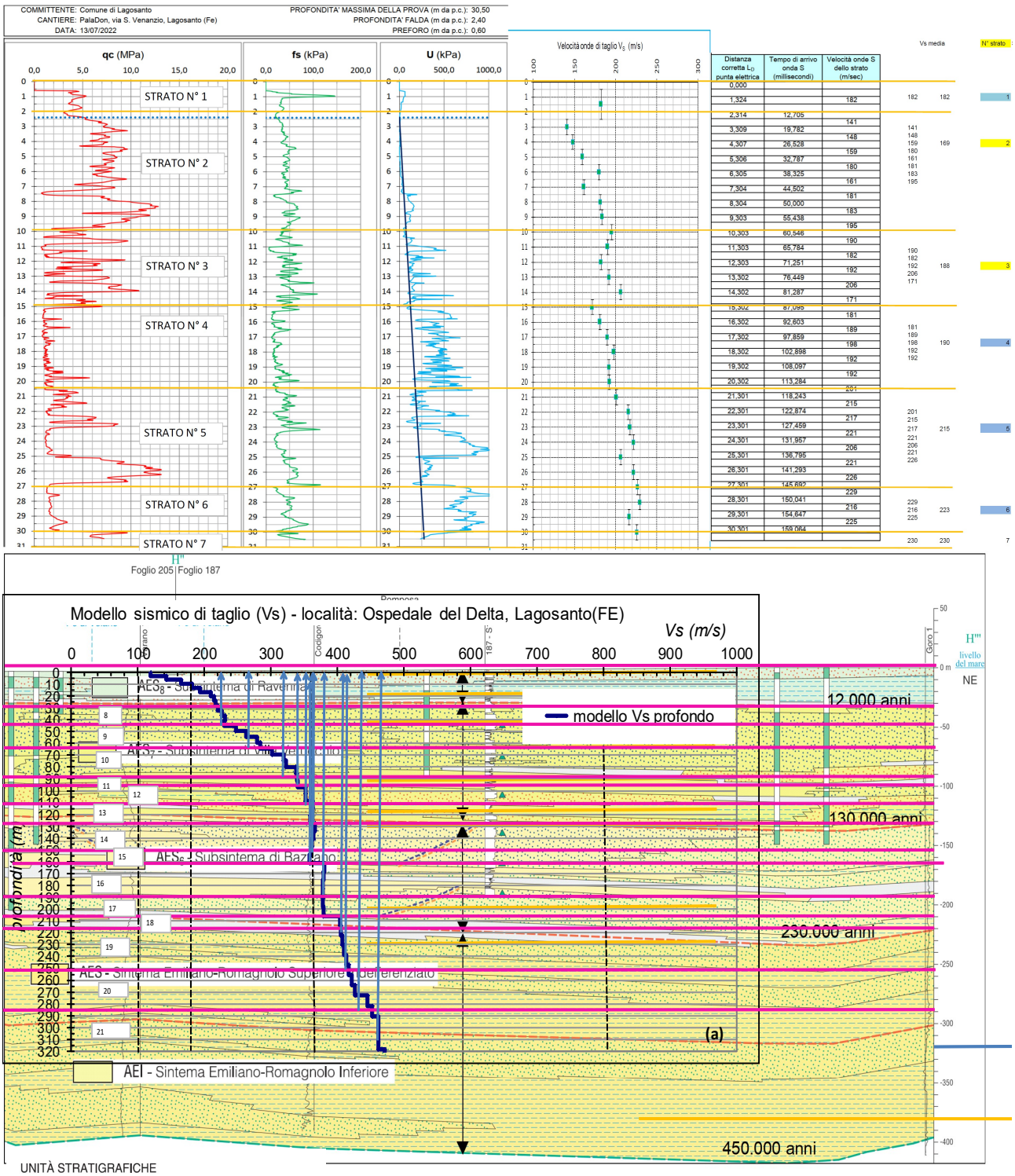


Figura 5-16 *Modello PalaDon Lagosanto*

Lagosanto PalaDon - Modello di INPUT

Di seguito i riporta la tabella contenente le caratteristiche meccaniche dei singoli strati:

STRATO	DESCRIZIONE	S [M]	P [KG/M³]	VS [M/S]	Γ	CURVA DECADIMENTO
STRATO (1)	-	2.00	1800.00	182.00	0.35	COPERTURA LIMOSO ARGILLOSA
STRATO (2)	-	8.00	1850.00	169.00	0.35	SABBIE LIMOSE BATTIGIA
STRATO (3)	-	5.00	1850.00	188.00	0.35	LIMI ARGILLOSO SABBIOSI PRODELTA
STRATO (4)	-	5.00	1800.00	190.00	0.35	FANGHI MARINI
STRATO (5)	-	7.00	1900.00	215.00	0.35	SABBIE LIMOSE BATTIGIA (1)
STRATO (6)	-	3.00	1850.00	223.00	0.35	ARGILLE LIMOSE PLEISTOCENICHE
STRATO (7)	-	5.00	1900.00	230.00	0.35	SABBIE PLEISTOCENICHE
STRATO (8)	-	9.00	1900.00	230.00	0.35	EPRI (93), 120-250 FT
STRATO (9)	-	20.00	1900.00	265.00	0.35	EPRI (93), 120-250 FT
STRATO (10)	-	26.00	1950.00	320.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (11)	-	5.00	1950.00	340.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (12)	-	15.00	2000.00	355.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (13)	-	20.00	2000.00	364.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (14)	-	20.00	2100.00	360.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (15)	-	11.00	2050.00	358.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (16)	-	29.00	2050.00	380.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (17)	-	15.00	2150.00	380.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 FT
STRATO (18)	-	10.00	2100.00	410.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (19)	-	40.00	2150.00	415.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 FT
STRATO (20)	-	35.00	2150.00	440.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (21)	-	35.00	2150.00	468.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 FT

Tabella 5-3 *Caratteristiche meccaniche strati Modello Lagosanto PalaDon*

5.4. Lagosanto Municipio

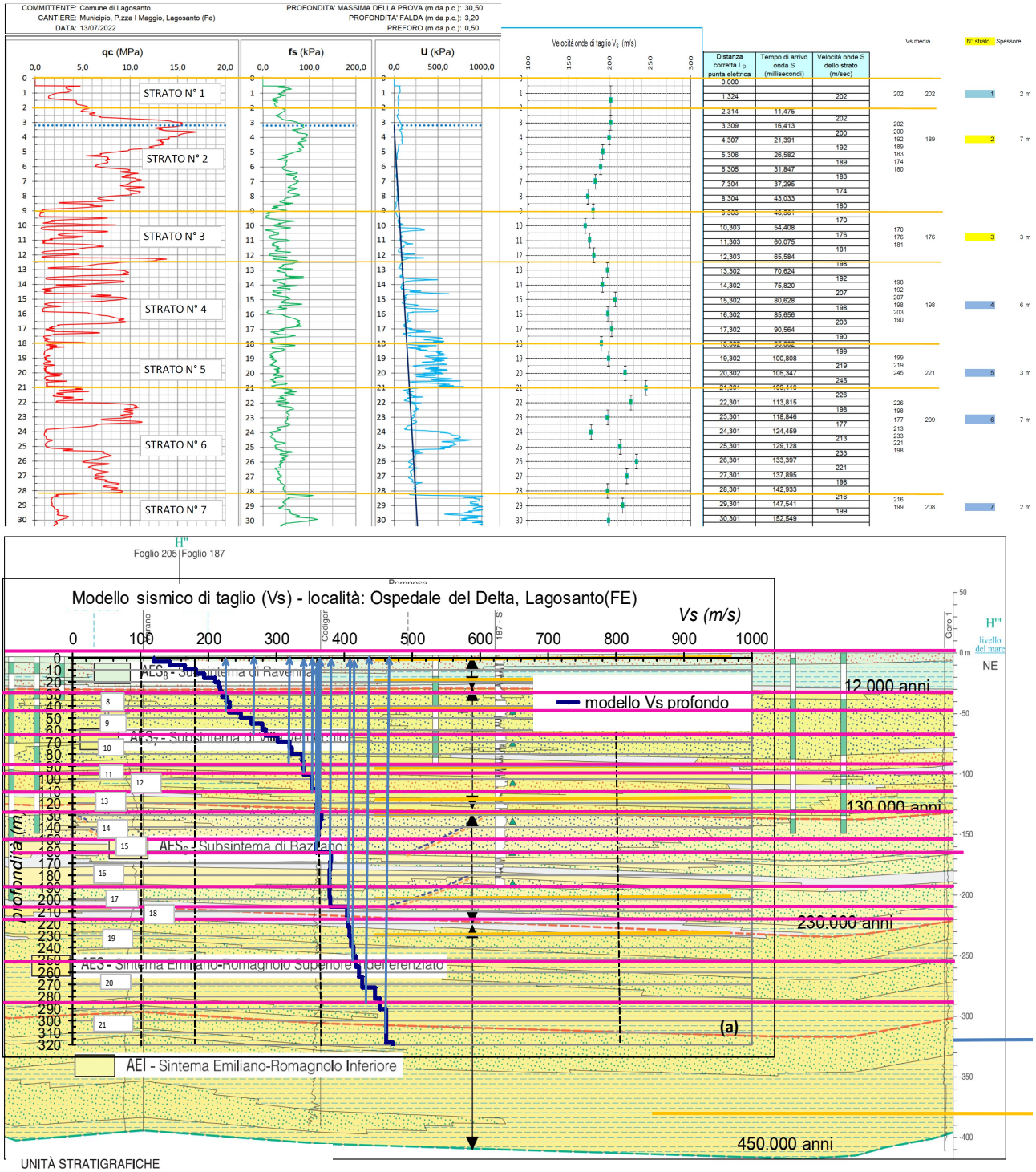


Figura 5-17 *Modello Lagosanto Municipio*

Lagosanto Municipio – modello di INPUT

Di seguito i riporta la tabella contenente le caratteristiche meccaniche dei singoli strati:

STRATO	DESCRIZIONE	S [M]	P [KG/M³]	VS [M/S]	Γ	CURVA DECADIMENTO
STRATO (1)	-	2.00	1800.00	202.00	0.35	COPERTURA LIMOSO ARGILLOSA
STRATO (2)	-	7.00	1900.00	189.00	0.35	SABBIE LIMOSE BATTIGIA
STRATO (3)	-	3.00	1850.00	176.00	0.35	LIMI ARGILLOSO SABBIOSI PRODELTA
STRATO (4)	-	6.00	1900.00	198.00	0.35	LIMI ARGILLOSO SABBIOSI PRODELTA
STRATO (5)	-	3.00	1800.00	221.00	0.35	FANGHI MARINI
STRATO (6)	-	7.00	1900.00	209.00	0.35	SABBIE PLEISTOCENICHE
STRATO (7)	-	2.00	1900.00	208.00	0.35	ARGILLE LIMOSE PLEISTOCENICHE
STRATO (8)	-	14.00	1900.00	230.00	0.35	EPRI (93), 120-250 FT
STRATO (9)	-	20.00	1900.00	265.00	0.35	EPRI (93), 120-250 FT
STRATO (10)	-	26.00	1950.00	320.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (11)	-	5.00	1950.00	340.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (12)	-	15.00	2000.00	355.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (13)	-	20.00	2000.00	364.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (14)	-	20.00	2100.00	360.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (15)	-	11.00	2050.00	358.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (16)	-	29.00	2050.00	380.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (17)	-	15.00	2150.00	380.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 FT
STRATO (18)	-	10.00	2100.00	410.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (19)	-	40.00	2150.00	415.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 FT
STRATO (20)	-	35.00	2150.00	440.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (21)	-	35.00	2150.00	468.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 FT

Tabella 5-4 *Caratteristiche meccaniche strati Modello Lagosanto Municipio*

5.5. Lagosanto Piazza Matteotti

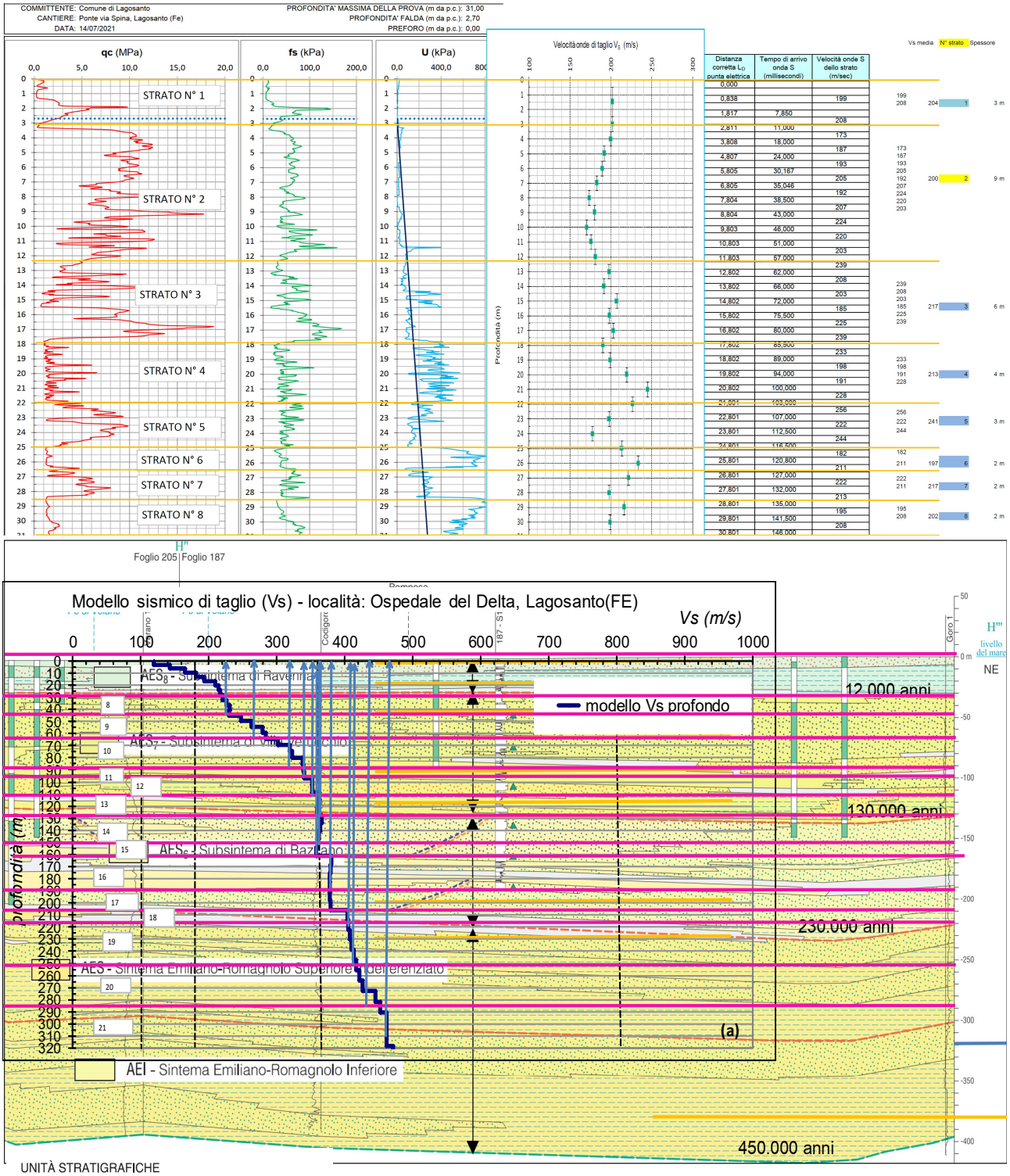


Figura 5-18 *Modello Lagosanto Piazza Matteotti Ponte Canale Marozzo*

Lagosanto Piazza Matteotti Ponte Canale Marozzo- modello di INPUT

Di seguito i riporta la tabella contenente le caratteristiche meccaniche dei singoli strati:

STRATO	DESCRIZIONE	S [M]	P [KG/M³]	VS [M/S]	Γ	CURVA DECADIMENTO
STRATO (1)	-	3.00	1700.00	204.00	0.35	COPERTURA LIMOSO ARGILLOSA
STRATO (2)	-	9.00	1900.00	200.00	0.35	SABBIE LIMOSE BATTIGIA (1)
STRATO (3)	-	6.00	1850.00	217.00	0.35	LIMI ARGILLOSO SABBIOSI PRODELTA
STRATO (4)	-	4.00	1800.00	213.00	0.35	FANGHI MARINI
STRATO (5)	-	3.00	1900.00	241.00	0.35	SABBIE PLEISTOCENICHE
STRATO (6)	-	2.00	1850.00	197.00	0.35	ARGILLE LIMOSE PLEISTOCENICHE
STRATO (7)	-	2.00	1900.00	217.00	0.35	SABBIE PLEISTOCENICHE
STRATO (8)	-	7.00	1900.00	202.00	0.35	ARGILLE LIMOSE PLEISTOCENICHE
STRATO (9)	-	9.00	1900.00	230.00	0.35	EPRI (93), 120-250 FT
STRATO (10)	-	20.00	1900.00	265.00	0.35	EPRI (93), 120-250 FT
STRATO (11)	-	26.00	1950.00	320.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (12)	-	5.00	1950.00	340.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (13)	-	15.00	2000.00	355.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (14)	-	20.00	2000.00	364.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (15)	-	20.00	2100.00	360.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (16)	-	11.00	2050.00	358.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (17)	-	29.00	2050.00	380.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (18)	-	15.00	2150.00	380.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 FT
STRATO (19)	-	10.00	2100.00	410.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (20)	-	40.00	2150.00	415.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 FT
STRATO (21)	-	35.00	2150.00	440.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (22)	-	35.00	2150.00	468.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 FT

Tabella 5-5 *Caratteristiche meccaniche strati Modello Lagosanto Piazza Matteotti – Ponte Canale Marozzo*

5.6. Boschetto Corte Cantelli

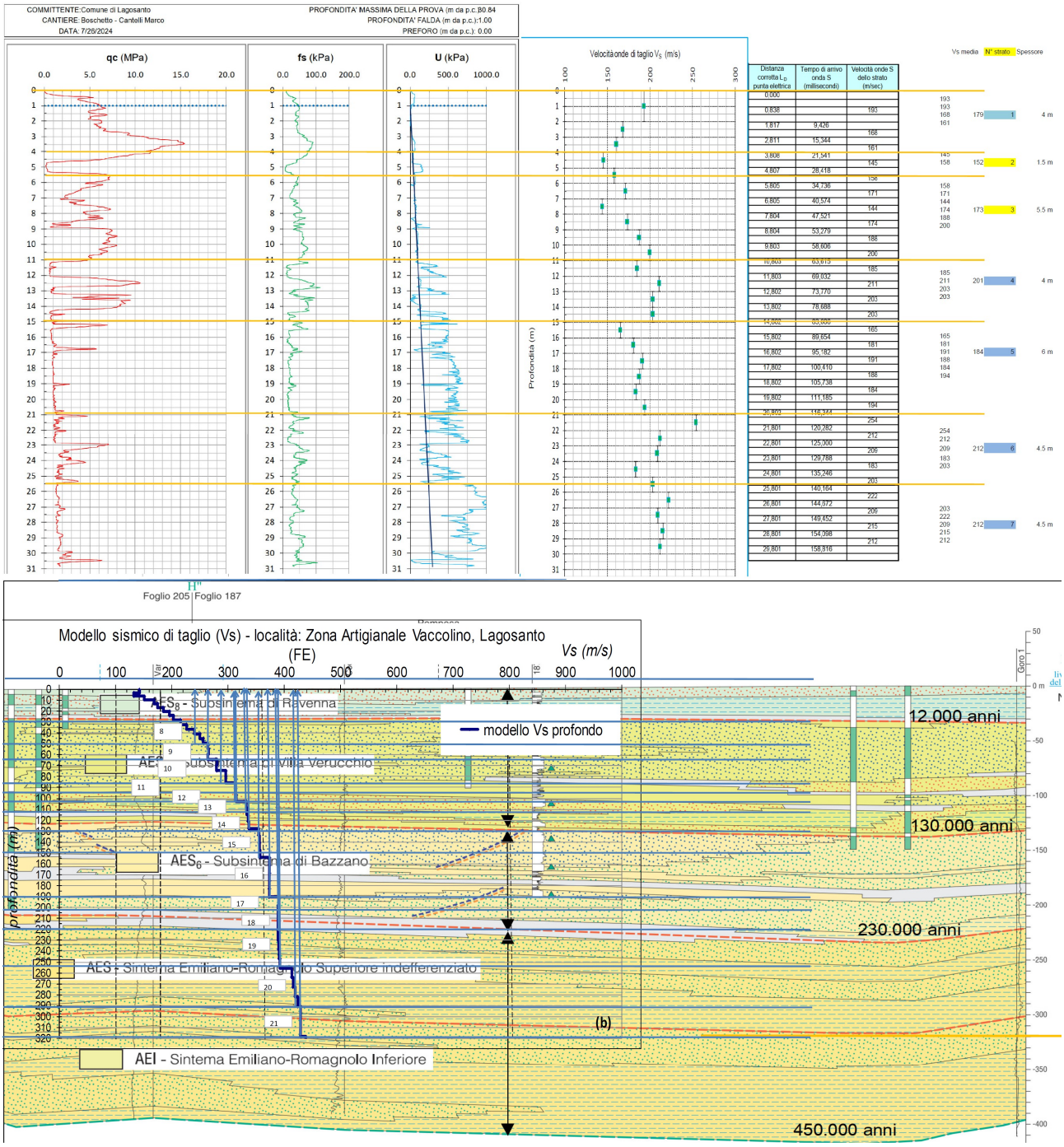


Figura 5-19 *Modello Boschetto Corte Cantelli*

Boschetto Corte Cantelli Modello di INPUT

Di seguito i riporta la tabella contenente le caratteristiche meccaniche dei singoli strati:

STRATO	DESCRIZIONE	S [M]	P [KG/M³]	VS [M/S]	Γ	CURVA DECADIMENTO
STRATO (1)	-	4.00	1850.00	179.00	0.35	SABBIE LIMOSE BATTIGIA
STRATO (2)	-	1.50	1600.00	152.00	0.35	ARGILLA TORBOSA
STRATO (3)	-	5.50	1800.00	173.00	0.35	SABBIE LIMOSE BATTIGIA (1)
STRATO (4)	-	4.00	1850.00	201.00	0.35	LIMI ARGILLOSO SABBIOSI PRODELTA
STRATO (5)	-	6.00	1750.00	184.00	0.35	FANGHI MARINI
STRATO (6)	-	4.50	1850.00	212.00	0.35	SABBIE PLEISTOCENICHE
STRATO (7)	-	4.50	1850.00	212.00	0.35	ARGILLE LIMOSE PLEISTOCENICHE (1)
STRATO (8)	-	20.00	1900.00	240.00	0.35	EPRI (93), 120-250 FT
STRATO (9)	-	15.00	1900.00	264.00	0.35	EPRI (93), 120-250 FT
STRATO (10)	-	21.00	1900.00	288.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (11)	-	9.00	1950.00	310.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (12)	-	8.00	2000.00	312.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (13)	-	9.00	2050.00	328.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (14)	-	18.00	2050.00	332.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (15)	-	20.00	2100.00	358.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (16)	-	40.00	2050.00	370.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (17)	-	12.00	2150.00	384.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 FT
STRATO (18)	-	18.00	2100.00	382.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (19)	-	34.00	2150.00	390.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 FT
STRATO (20)	-	36.00	2150.00	418.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (21)	-	30.00	2150.00	424.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 FT

Tabella 5-6 *Caratteristiche meccaniche strati Modello Boschetto Corte Cantelli*

5.7. Vaccolino area Produttiva

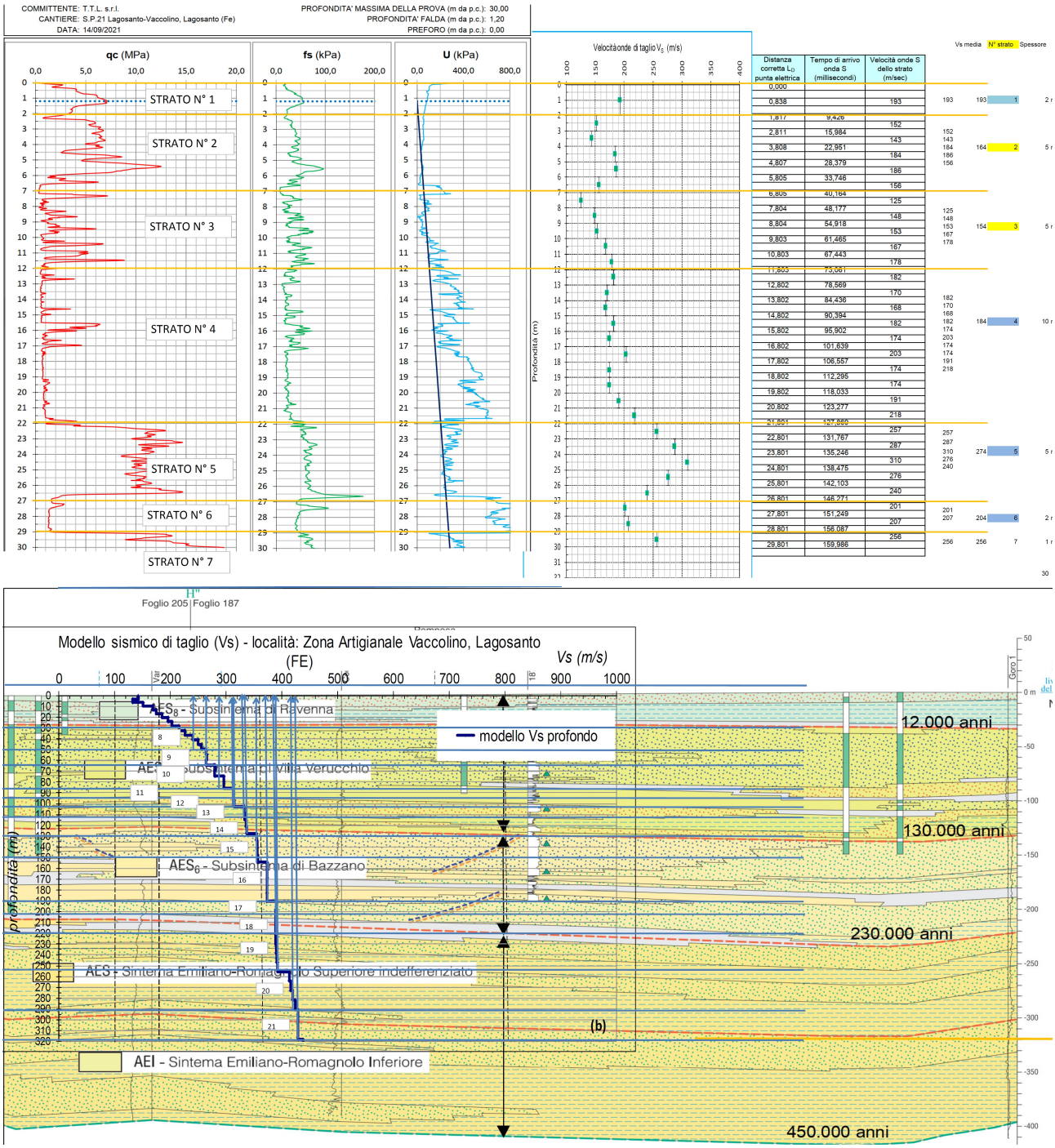


Figura 5-20 *Modello Vaccolino Area Produttiva*

Vaccolino Area Produttiva - Modello di INPUT

Di seguito i riporta la tabella contenente le caratteristiche meccaniche dei singoli strati:

STRATO	DESCRIZIONE	S [M]	P [KG/M³]	VS [M/S]	Γ	CURVA DECADIMENTO
STRATO (1)	-	2.00	1850.00	193.00	0.35	SABBIE LIMOSE BATTIGIA
STRATO (2)	-	5.00	1800.00	164.00	0.35	SABBIE LIMOSE BATTIGIA (1)
STRATO (3)	-	5.00	1850.00	154.00	0.35	LIMI ARGILLOSO SABBIOSI PRODELTA (1)
STRATO (4)	-	10.00	1750.00	184.00	0.35	FANGHI MARINI
STRATO (5)	-	5.00	2000.00	274.00	0.35	SABBIE PLEISTOCENICHE
STRATO (6)	-	2.00	1900.00	212.00	0.35	ARGILLE LIMOSE PLEISTOCENICHE
STRATO (7)	-	6.00	2000.00	256.00	0.35	SABBIE PLEISTOCENICHE
STRATO (8)	-	20.00	1900.00	240.00	0.35	EPRI (93), 120-250 FT
STRATO (9)	-	15.00	1900.00	264.00	0.35	EPRI (93), 120-250 FT
STRATO (10)	-	21.00	1900.00	288.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (11)	-	9.00	1950.00	310.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (12)	-	8.00	2000.00	312.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (13)	-	9.00	2050.00	328.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (14)	-	18.00	2050.00	332.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (15)	-	20.00	2100.00	358.00	0.35	EPRI (93), 250-500 FT
STRATO (16)	-	40.00	2050.00	370.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (17)	-	12.00	2150.00	384.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 FT
STRATO (18)	-	18.00	2100.00	382.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (19)	-	34.00	2150.00	390.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 FT
STRATO (20)	-	36.00	2150.00	418.00	0.35	EPRI (93), PI=50
STRATO (21)	-	30.00	2150.00	424.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 FT

Tabella 5-7 *Caratteristiche meccaniche strati Modello Vaccolino Area Produttiva*

6. SINTESI DEI RISULTATI – MODELLI DI OUTPUT

Di seguito si riportano le figure con rappresentati lo spettro medio di Input e lo spettro medio di Output per ogni località. Seguono i risultati dei calcoli del fattori di amplificazione nei diversi periodi previsti dalla normativa per le accelerazioni spettrali FA, per la PGA/PGAo, e per l'Intensità di Housner SI/SIo.

6.1. Marozzo Impianti Idrovori

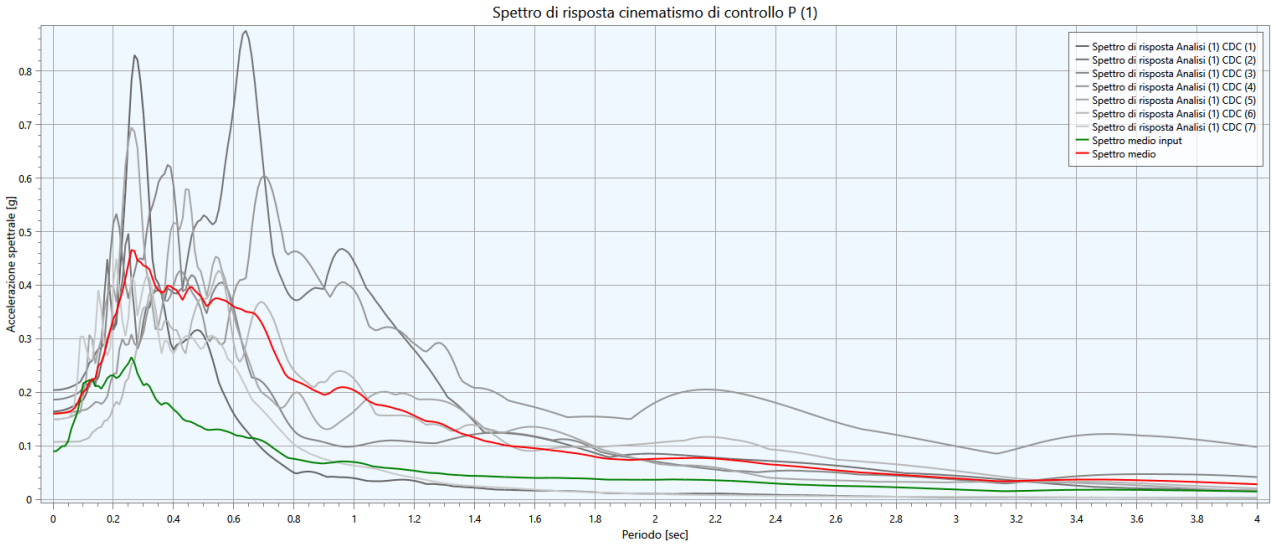
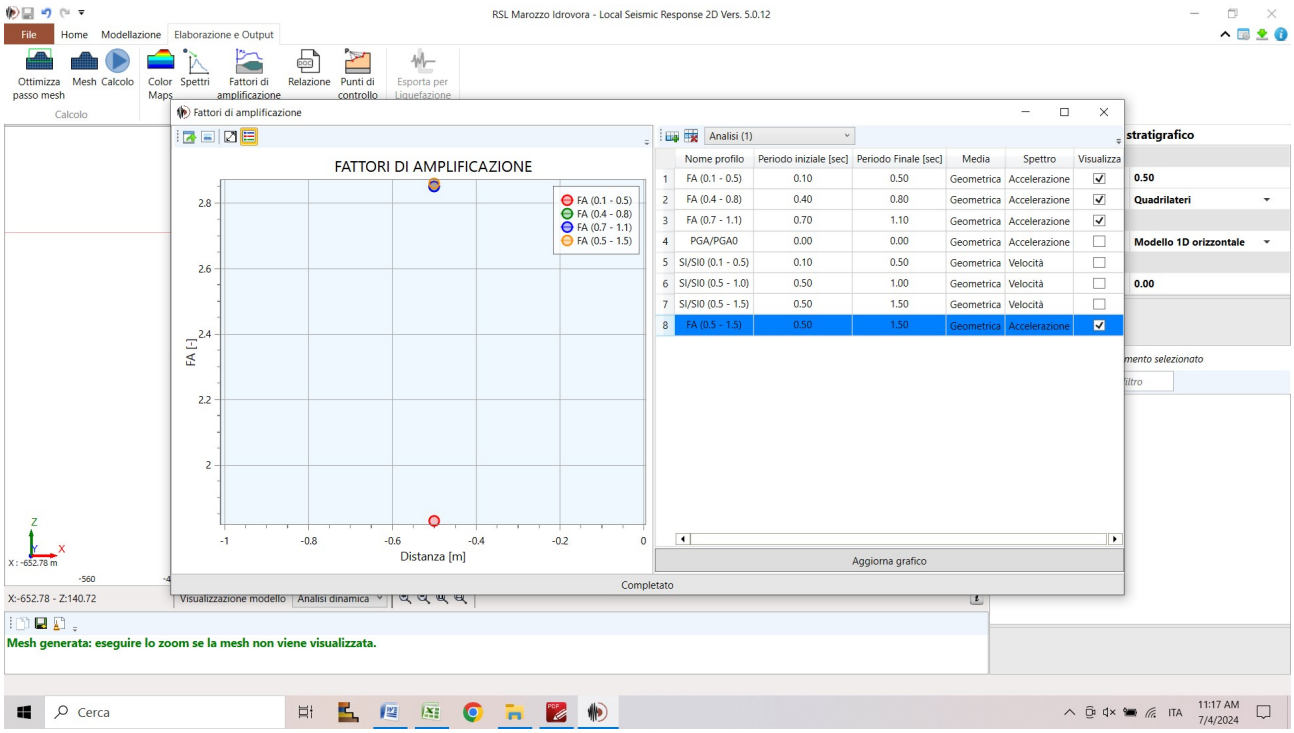
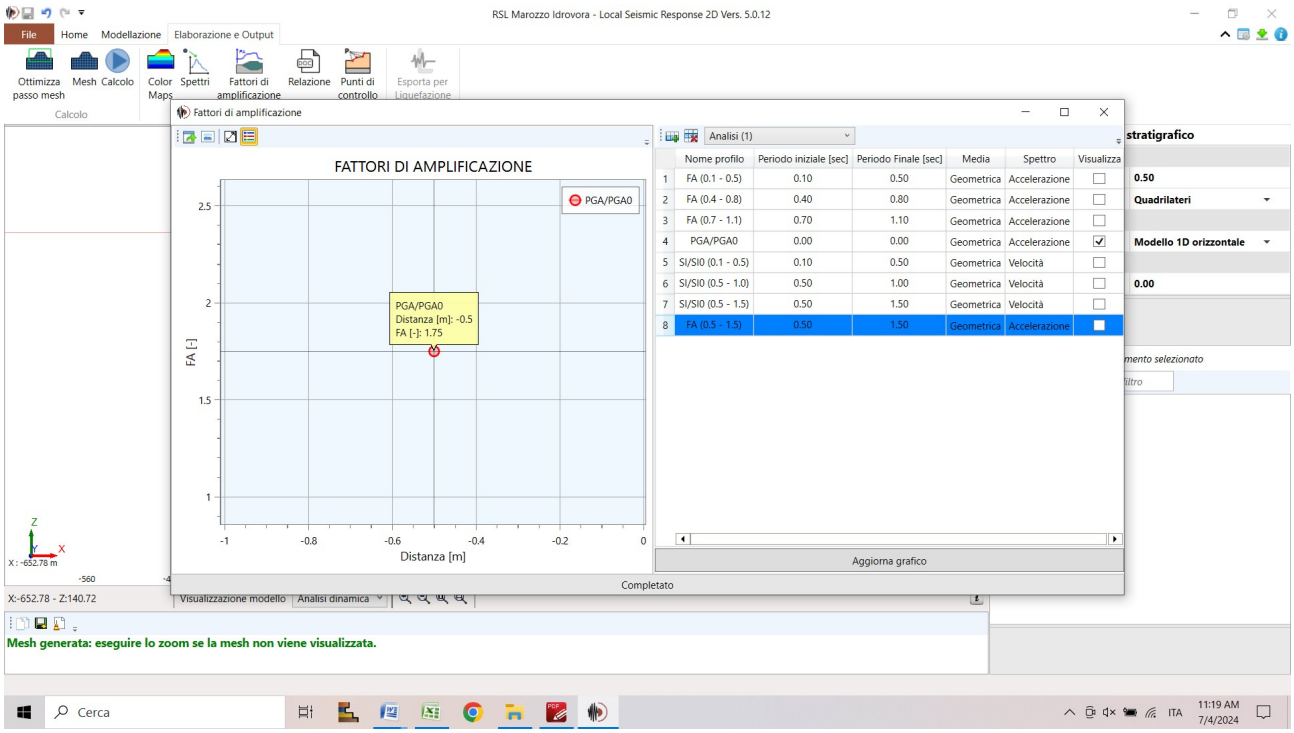


Figura 6-1 *Marozzo Impianti Idrovori spettro medio di input e output*



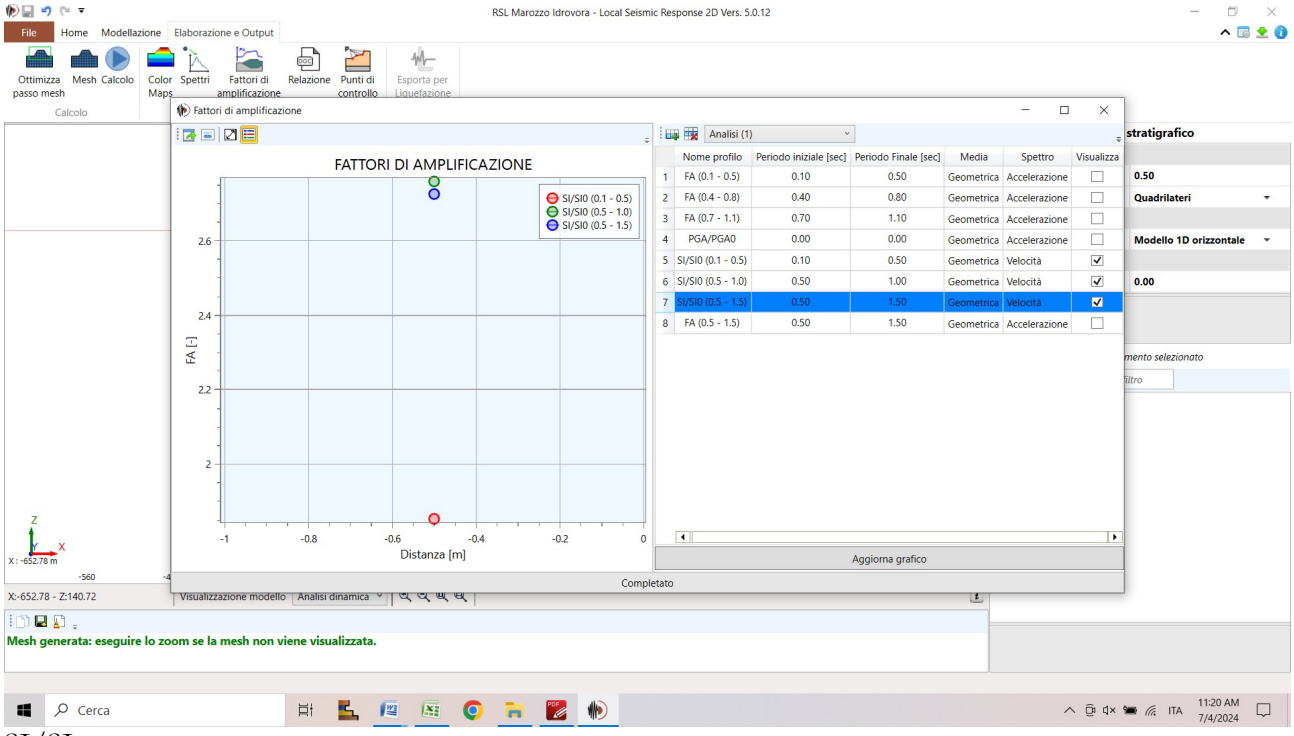
FA	
0,1-0,5	1,83
0,4-0,8	2,85
0,7-1,1	2,85
0,5-1,5	2,86

Figura 6-2 *Marozzo Impianti idrovori*



PGA/PGA0=1,75

Figura 6-3 *Marozzo Impianti idrovori*



SI/SI_0	
0,1-0,5	1,85
0,5-1,0	2,76
0,5-1,5	2,73

Figura 6-4 *Marozzo Impianti idrovori*

6.2. Valle Oppio Ospedale del Delta

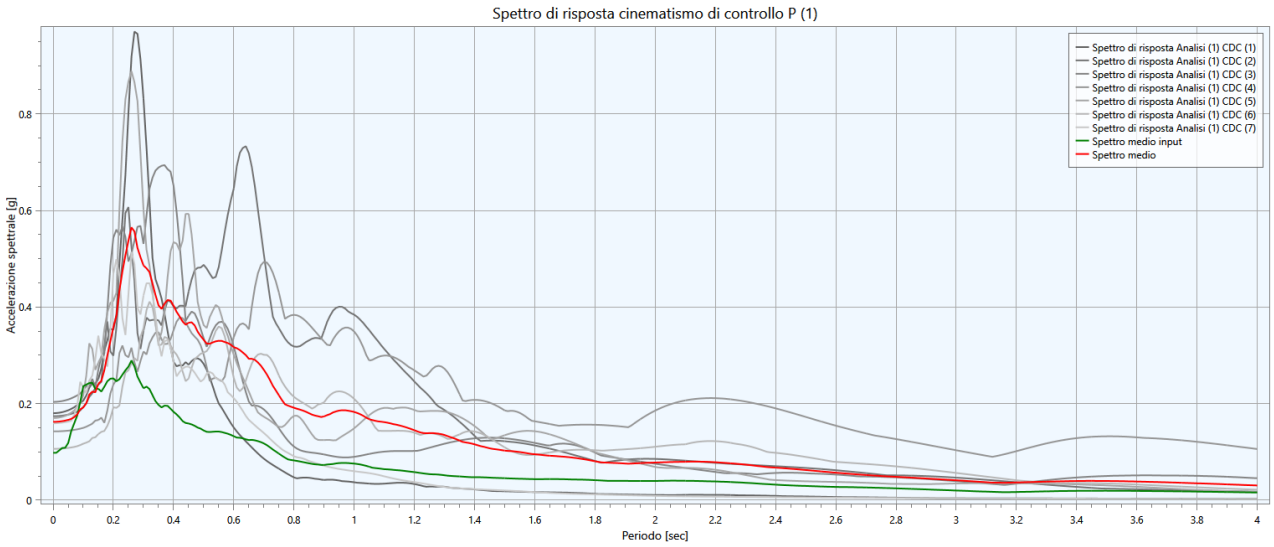
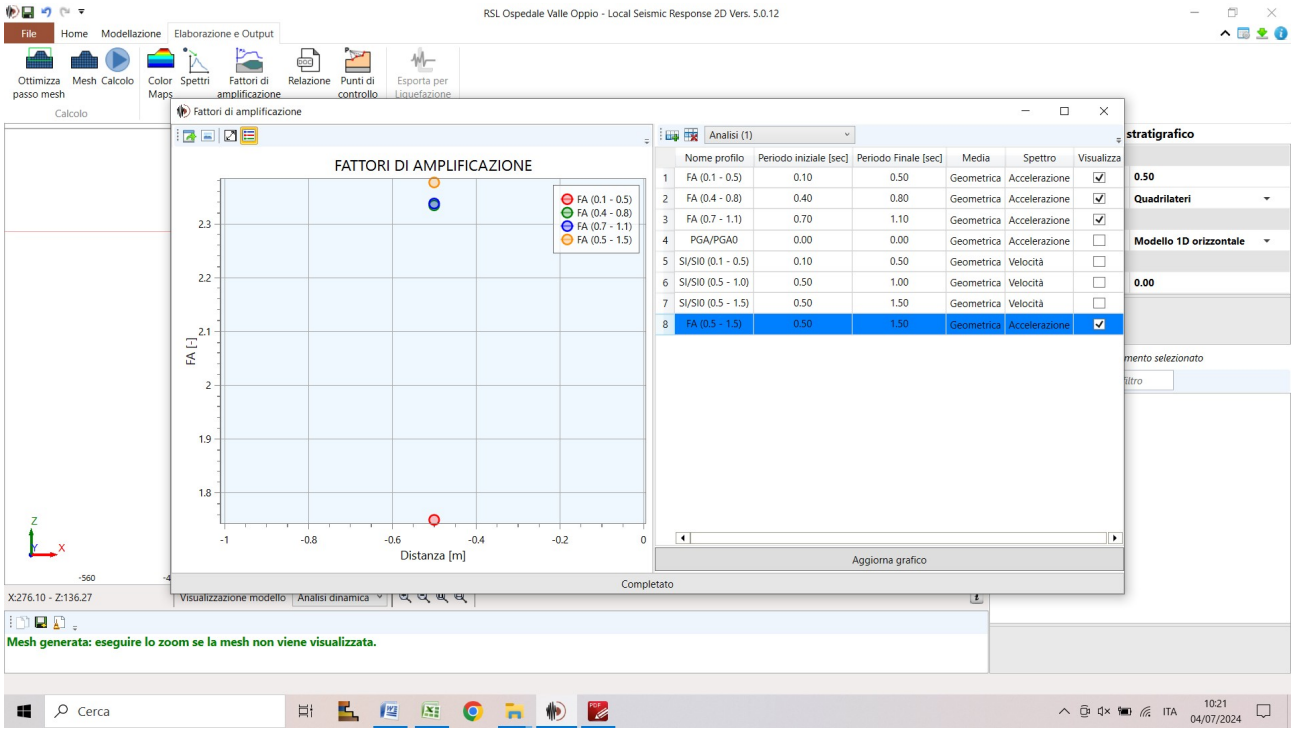
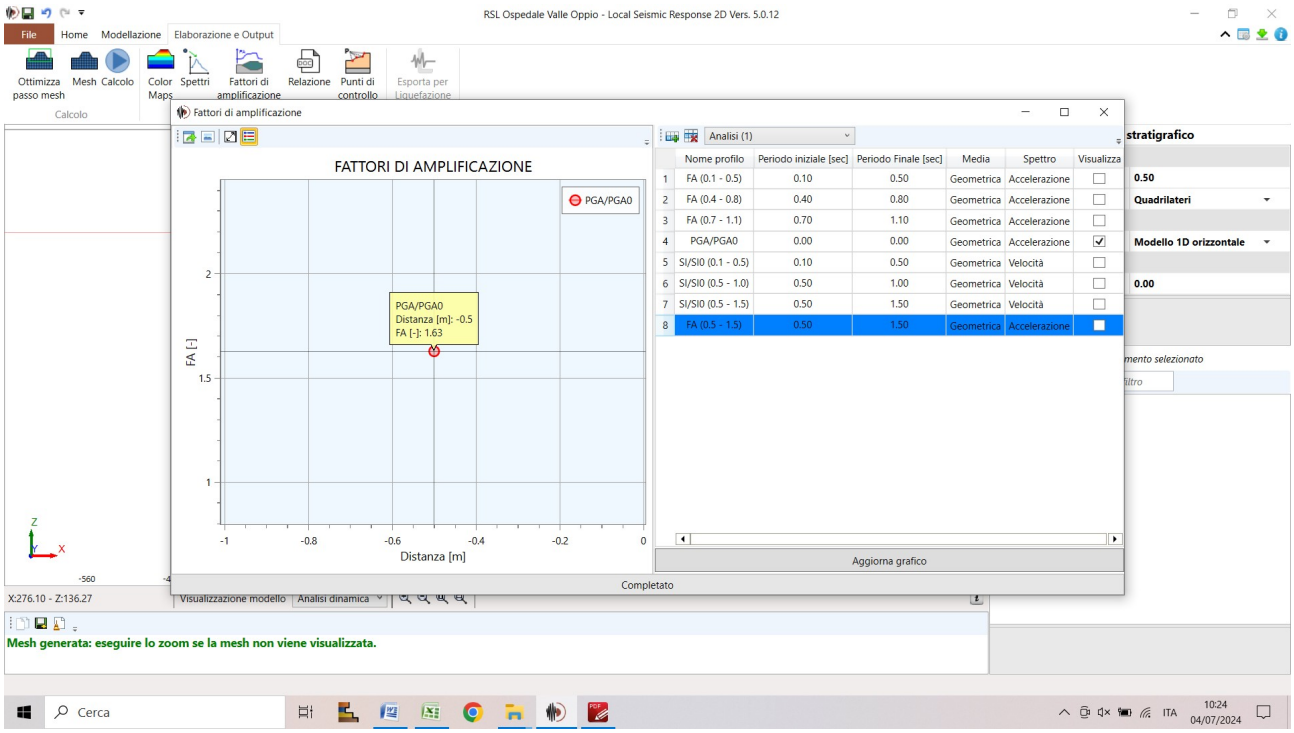


Figura 6-5 *Valle Oppio Ospedale del Delta*



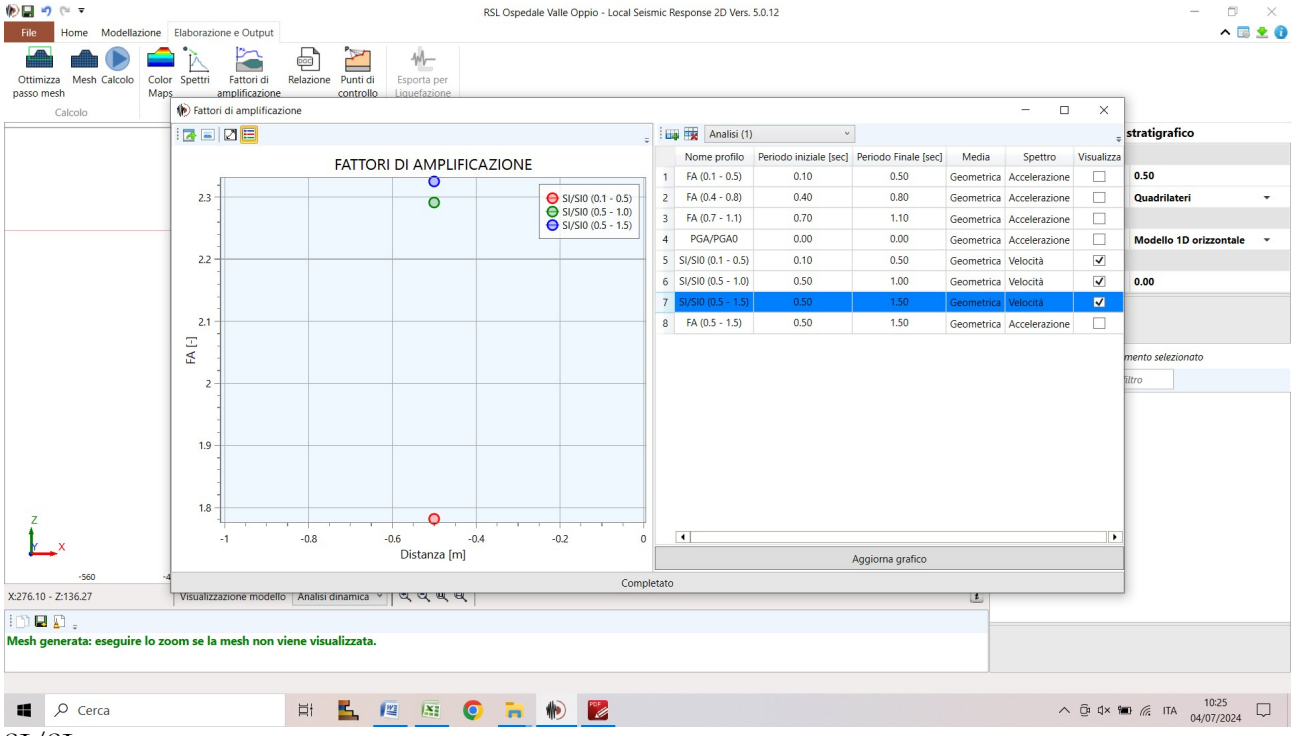
FA	
0,1-0,5	1,75
0,4-0,8	2,33
0,7-1,1	2,34
0,5-1,5	2,38

Figura 6-6 *Valle Oppio Ospedale del Delta*



PGA/PGA0=1,63

Figura 6-7 *Valle Oppio Ospedale del Delta*



SI/SI_0	
0,1-0,5	1,78
0,5-1,0	2,29
0,5-1,5	2,33

Figura 6-8 *Valle Oppio Ospedale del Delta*

6.3. Lagosanto PalaDon

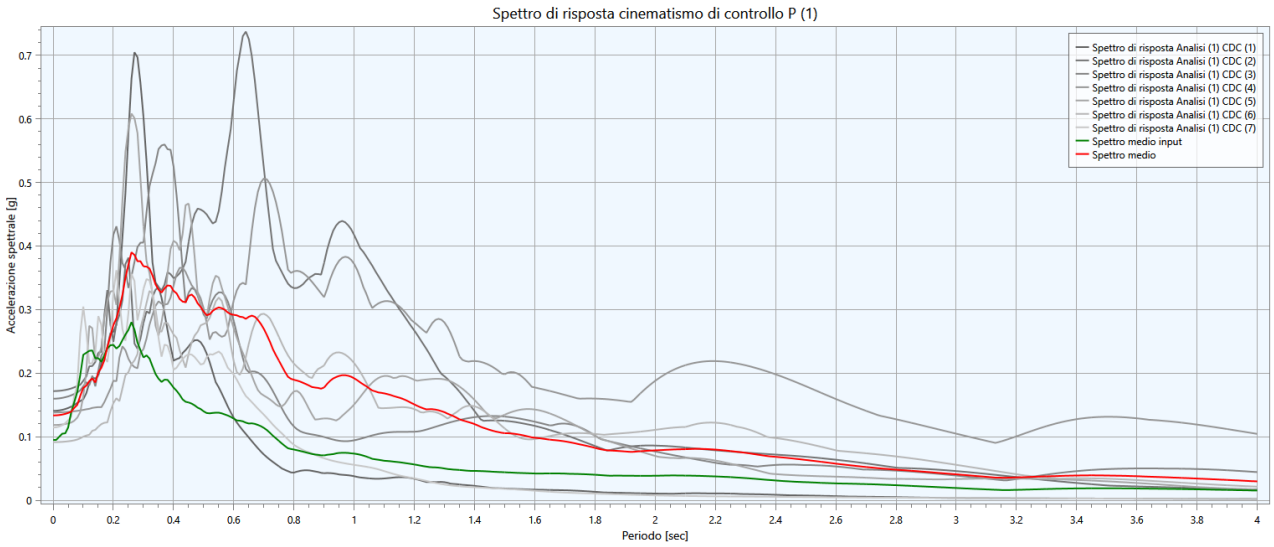
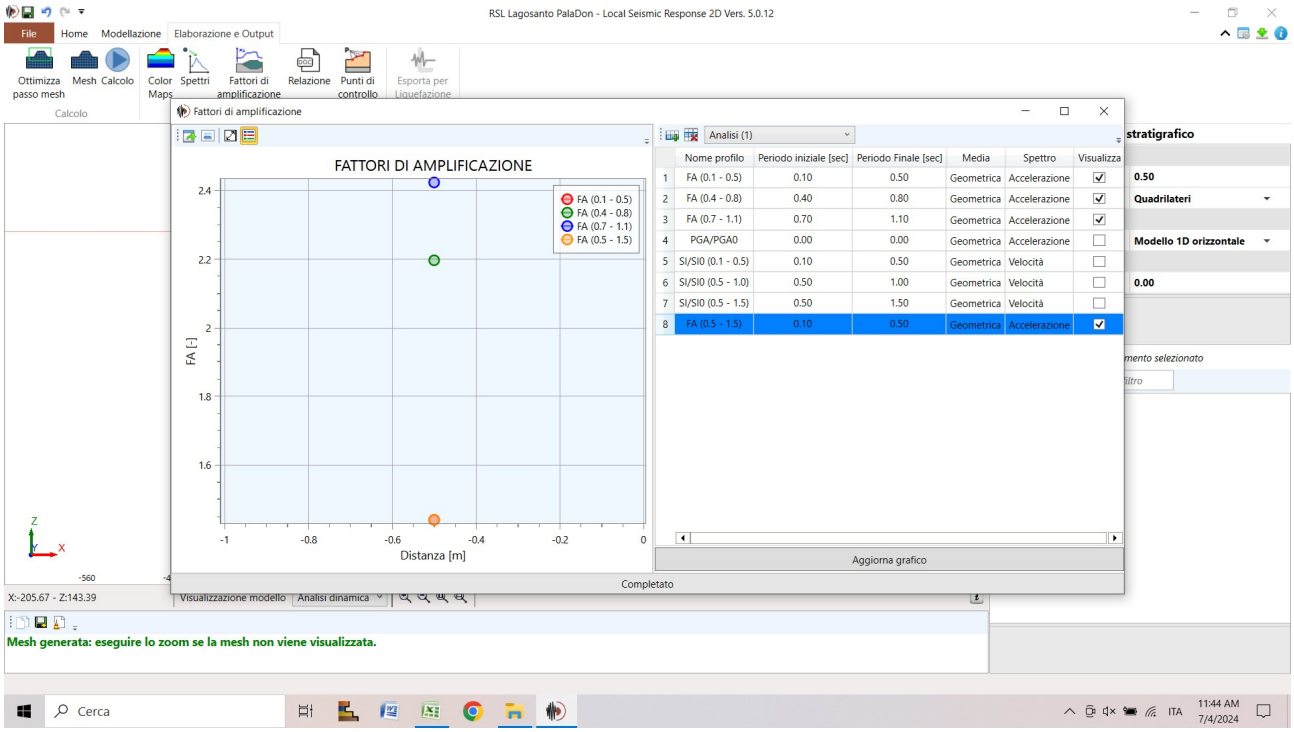
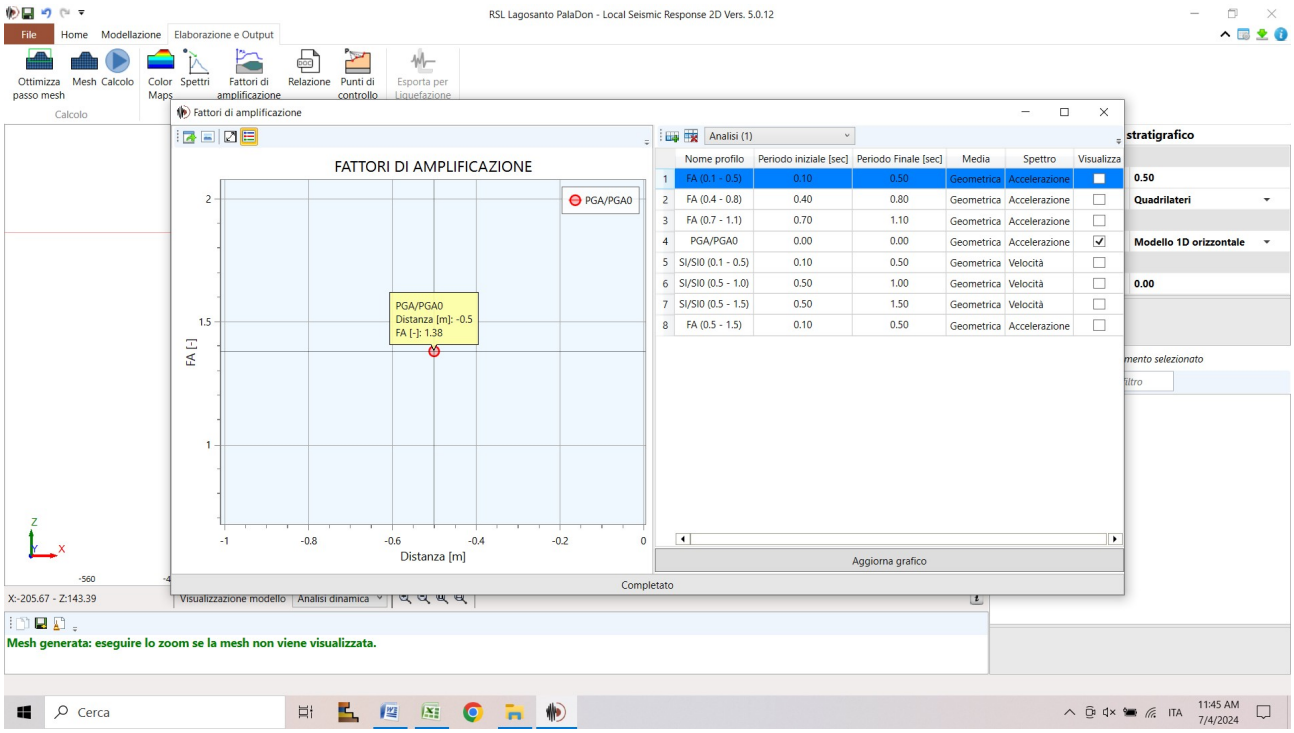


Figura 6-9 *Lagosanto PalaDon*



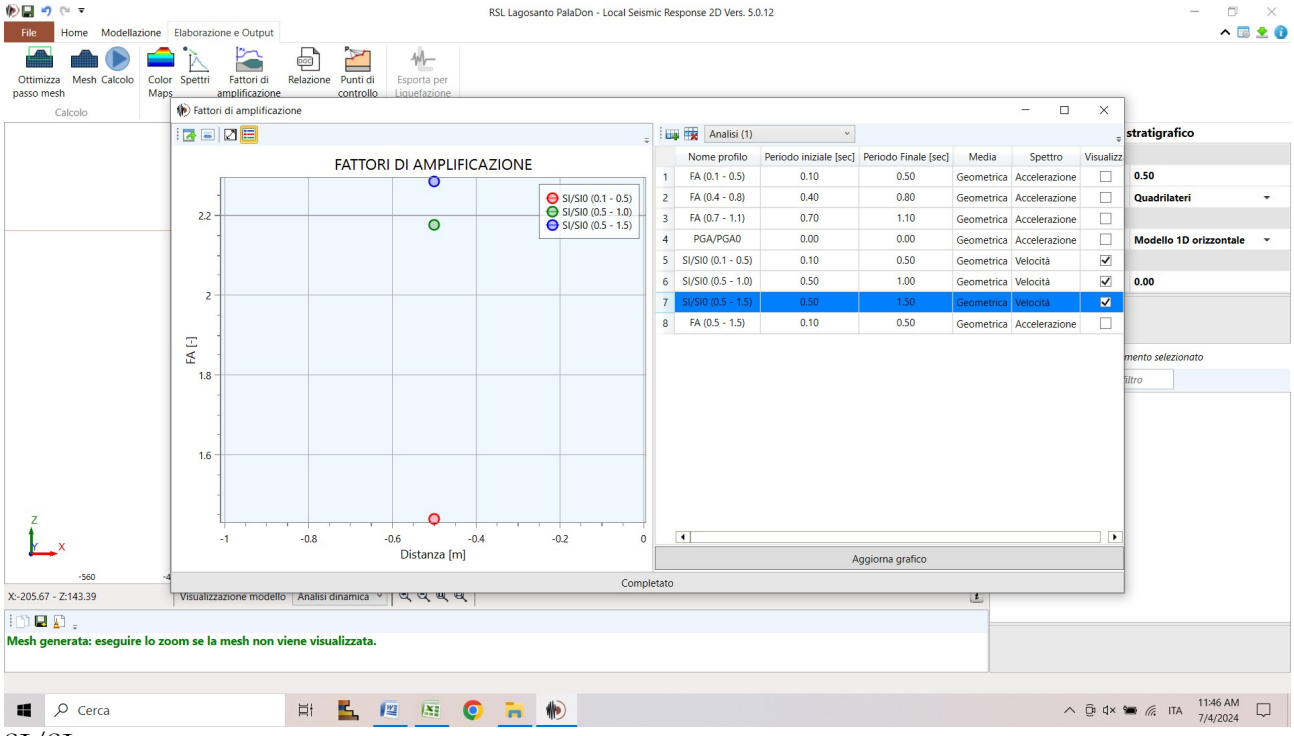
FA	
0,1-0,5	1,44
0,4-0,8	2,20
0,7-1,1	2,42
0,5-1,5	1,44

Figura 6-10 *Lagosanto PalaDon*



PGA/PGA0=1,38

Figura 6-11 *Lagosanto PalaDon*



SI/SI_0	
0,1-0,5	1,44
0,5-1,0	2,18
0,5-1,5	2,29

Figura 6-12 *Lagosanto PalaDon*

6.4. Lagosanto Municipio

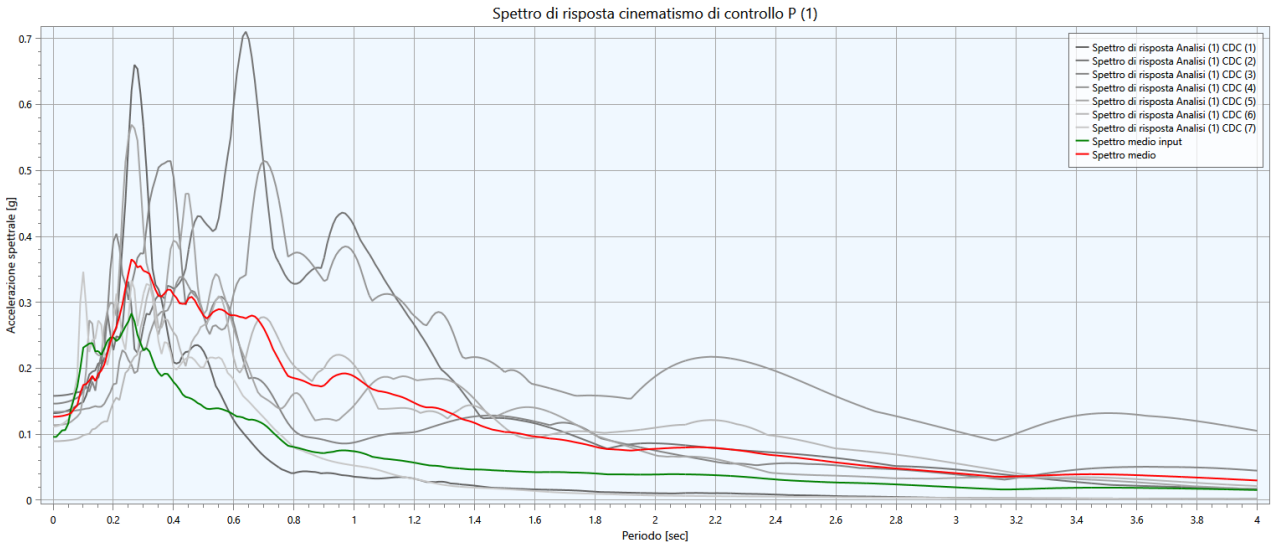
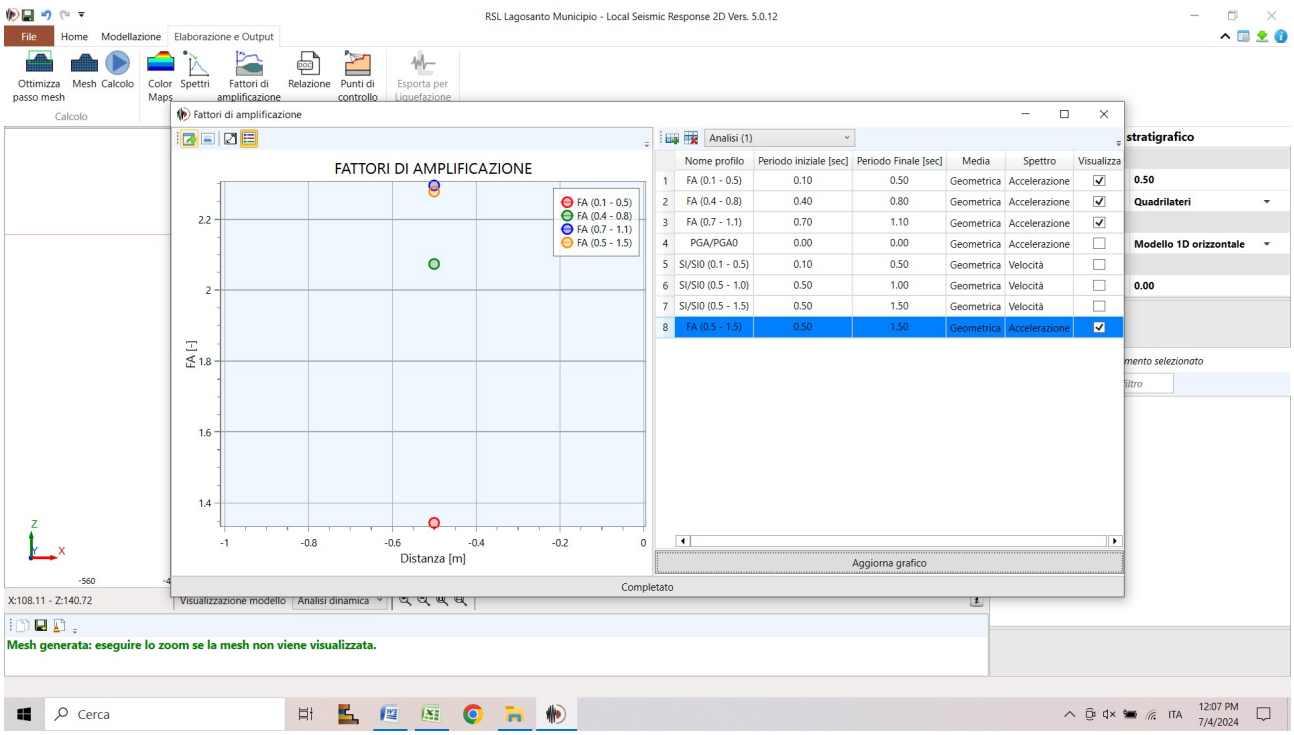
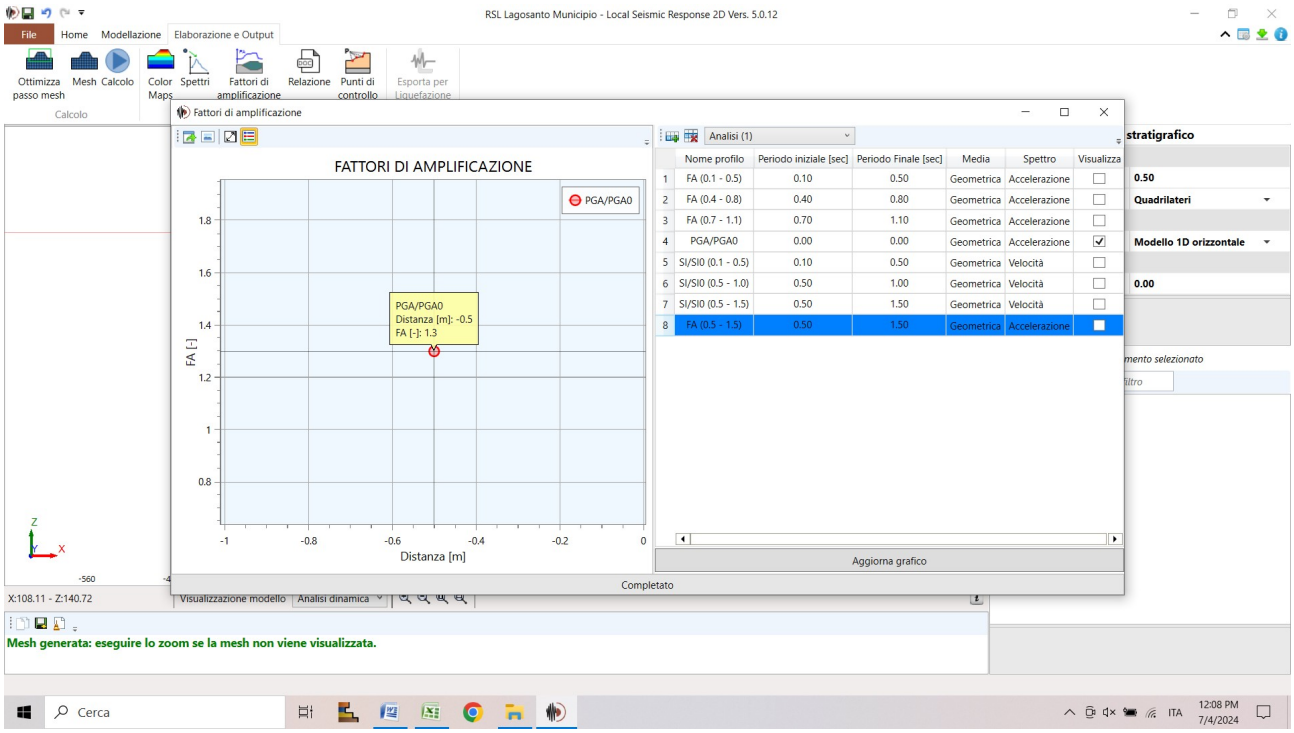


Figura 6-13 *Lagosanto Municipio*



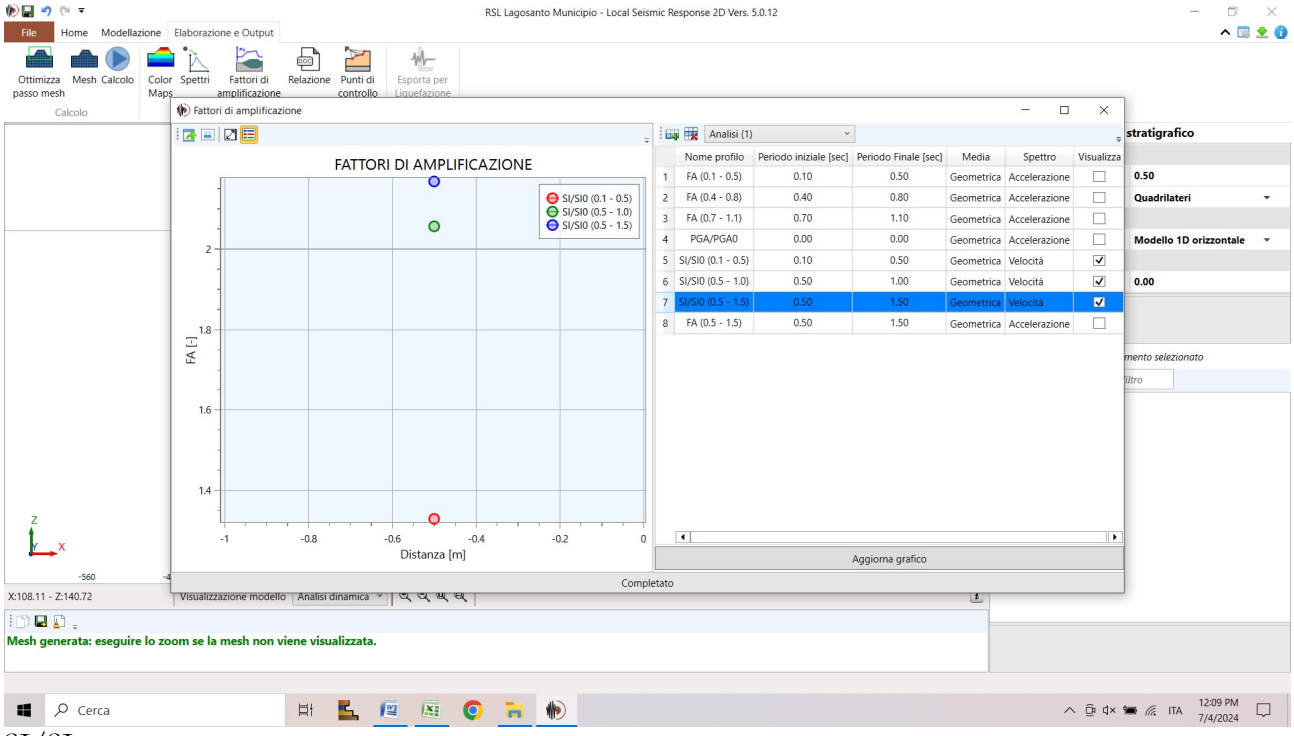
FA	
0,1-0,5	1,34
0,4-0,8	2,07
0,7-1,1	2,30
0,5-1,5	2,28

Figura 6-14 *Lagosanto Municipio*



PGA/PGA0=1,30

Figura 6-15 *Lagosanto Municipio*



SI/SI_0	
0,1-0,5	1,33
0,5-1,0	2,06
0,5-1,5	2,17

Figura 6-16 *Lagosanto Municipio*

6.5. Lagosanto Piazza Matteotti

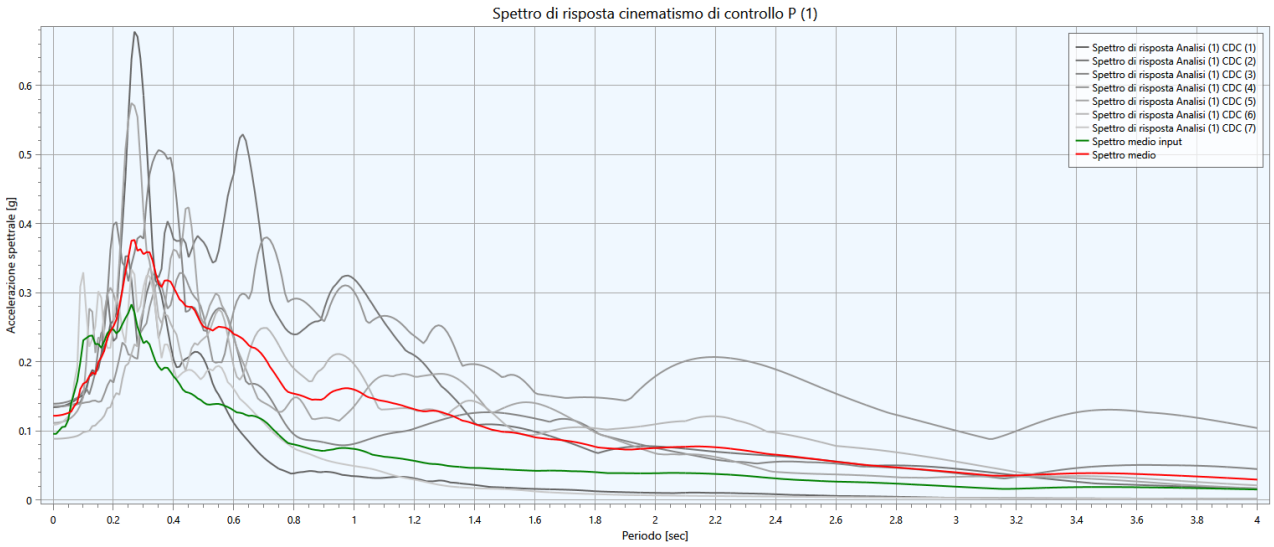
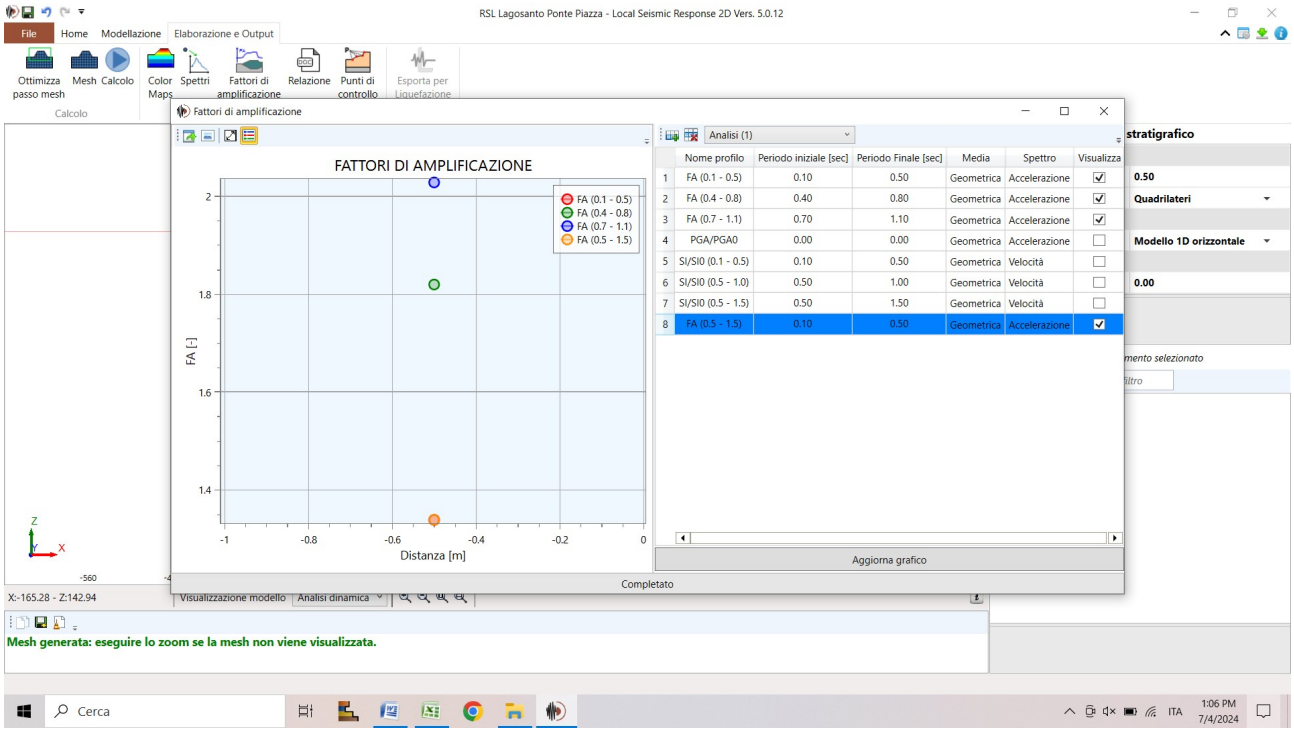
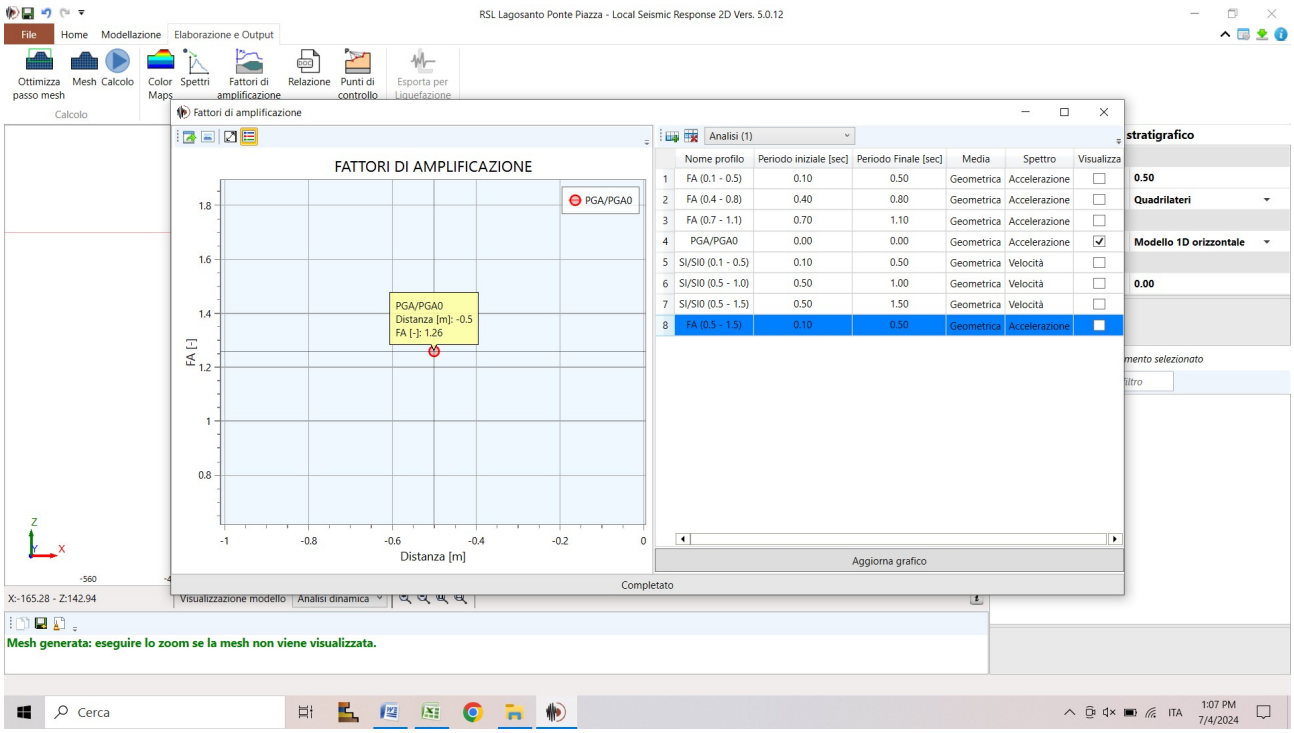


Figura 6-17 *Lagosanto Piazza Matteotti*



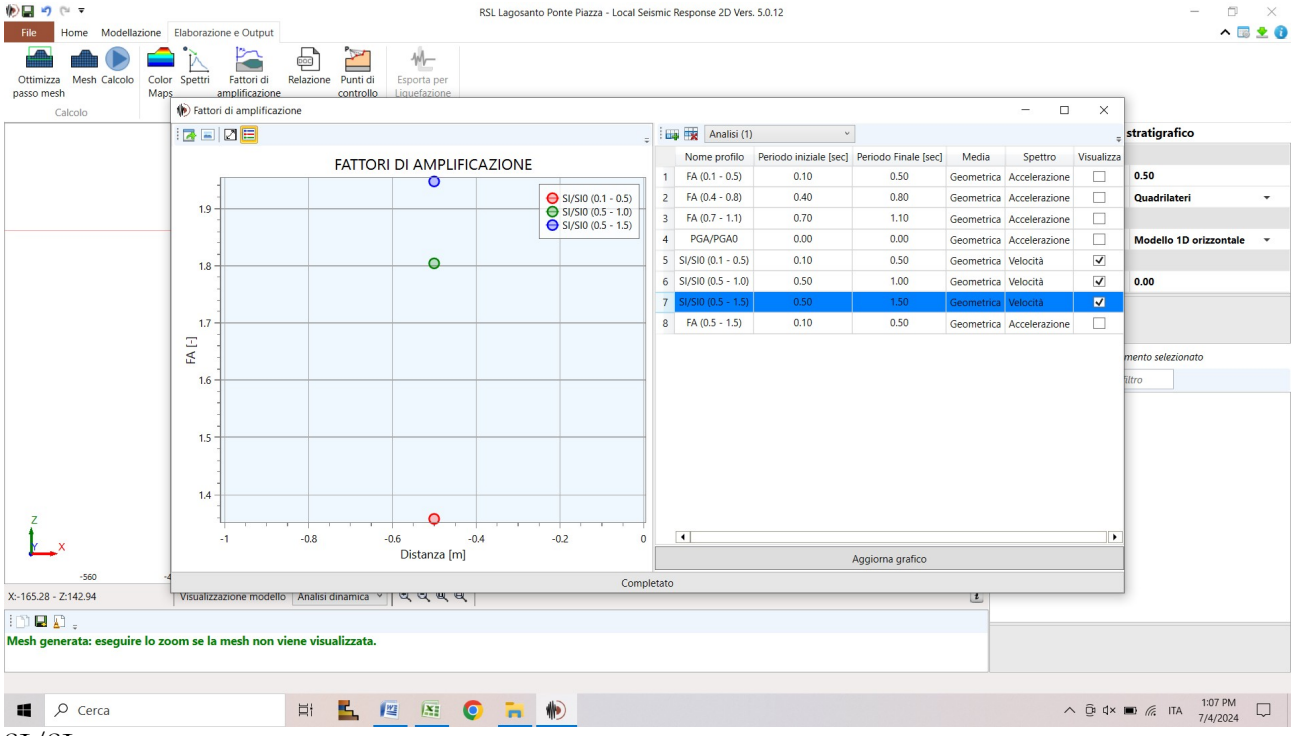
FA	
0,1-0,5	1,34
0,4-0,8	1,82
0,7-1,1	2,03
0,5-1,5	1,34

Figura 6-18 *Lagosanto Piazza Matteotti*



PGA/PGA0=1,26

Figura 6-19 *Lagosanto Piazza Matteotti*



SI/SI_0	
0,1-0,5	1,36
0,5-1,0	1,80
0,5-1,5	1,95

Figura 6-20 *Lagosanto Piazza Matteotti*

6.6. Boschetto Corte Cantelli

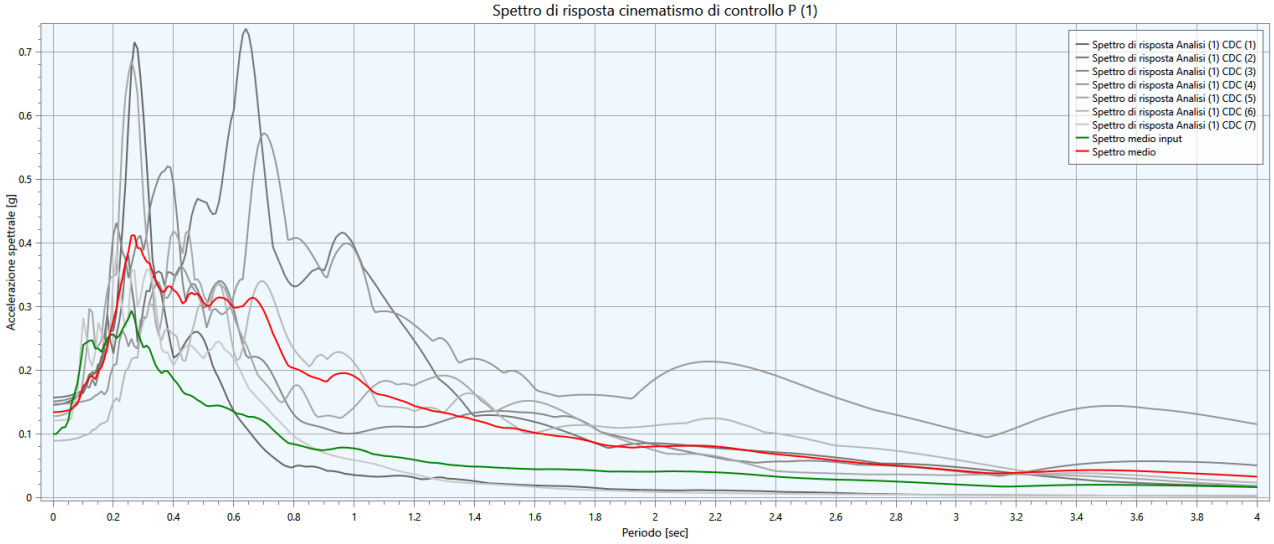
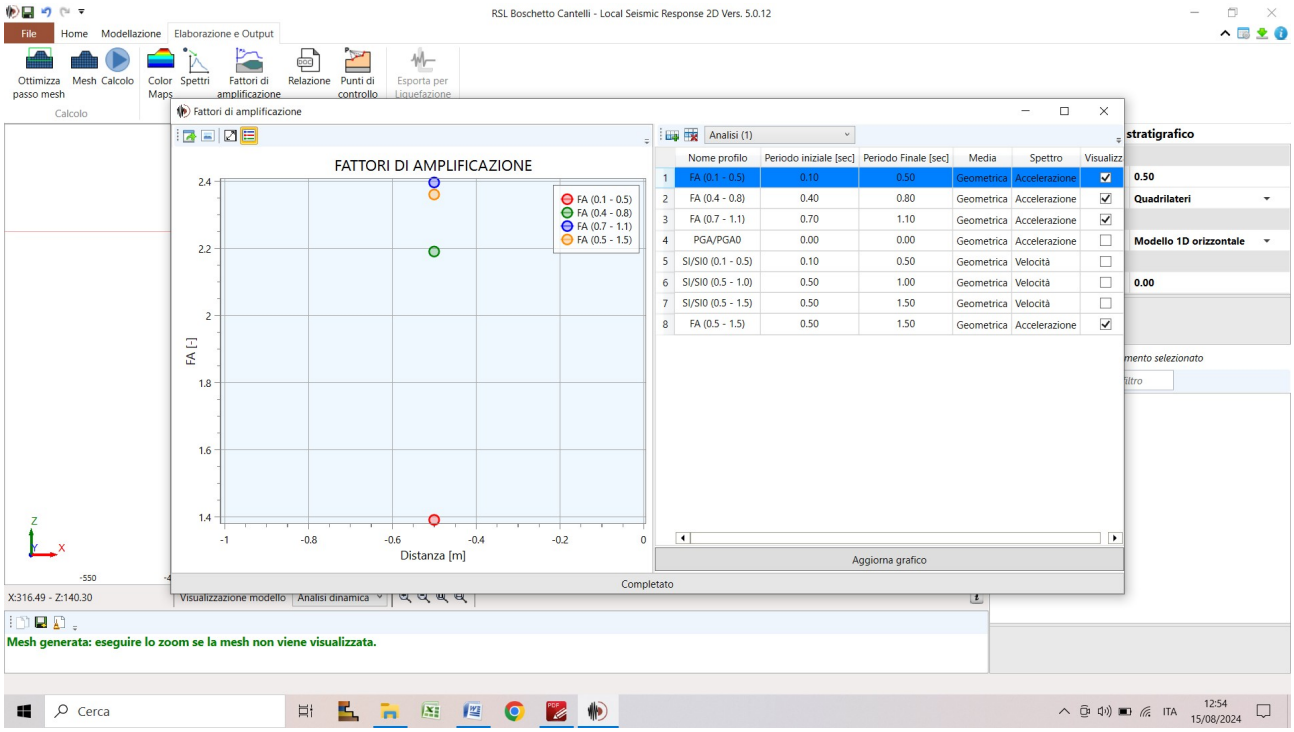
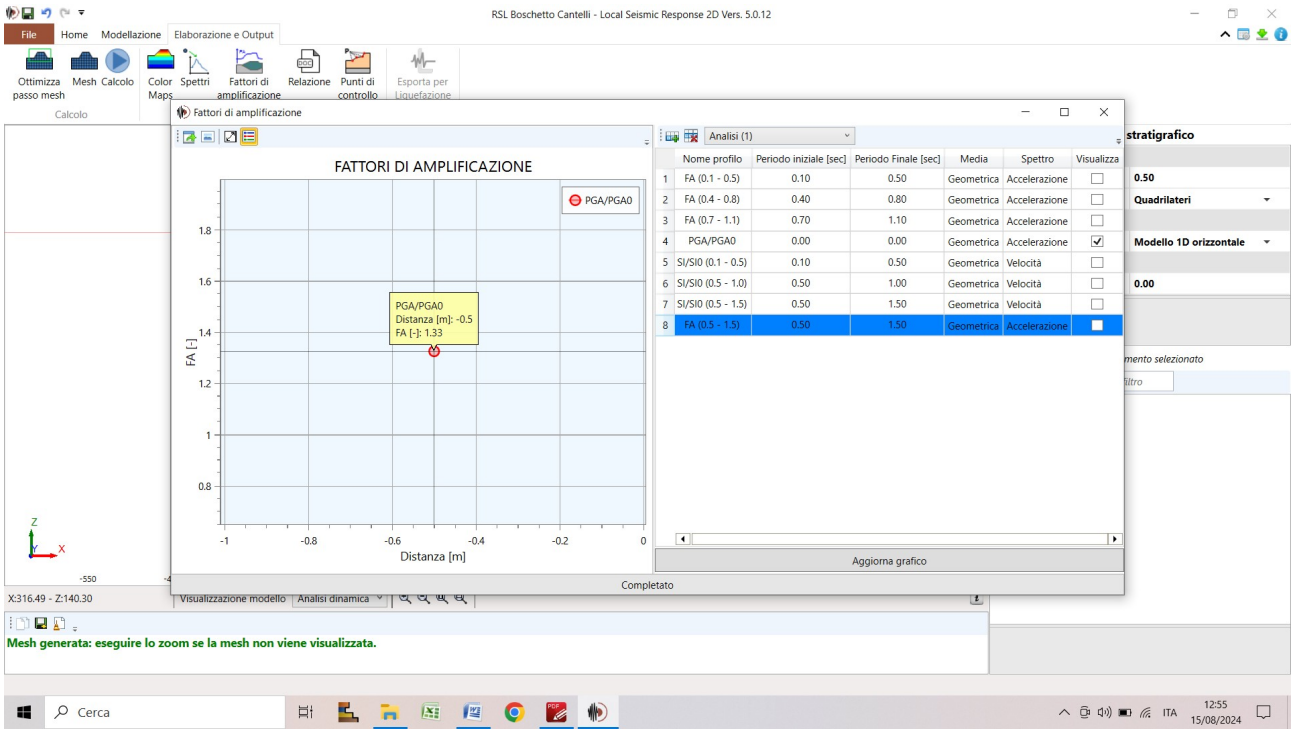


Figura 6-21 *Boschetto Corte Cantelli*



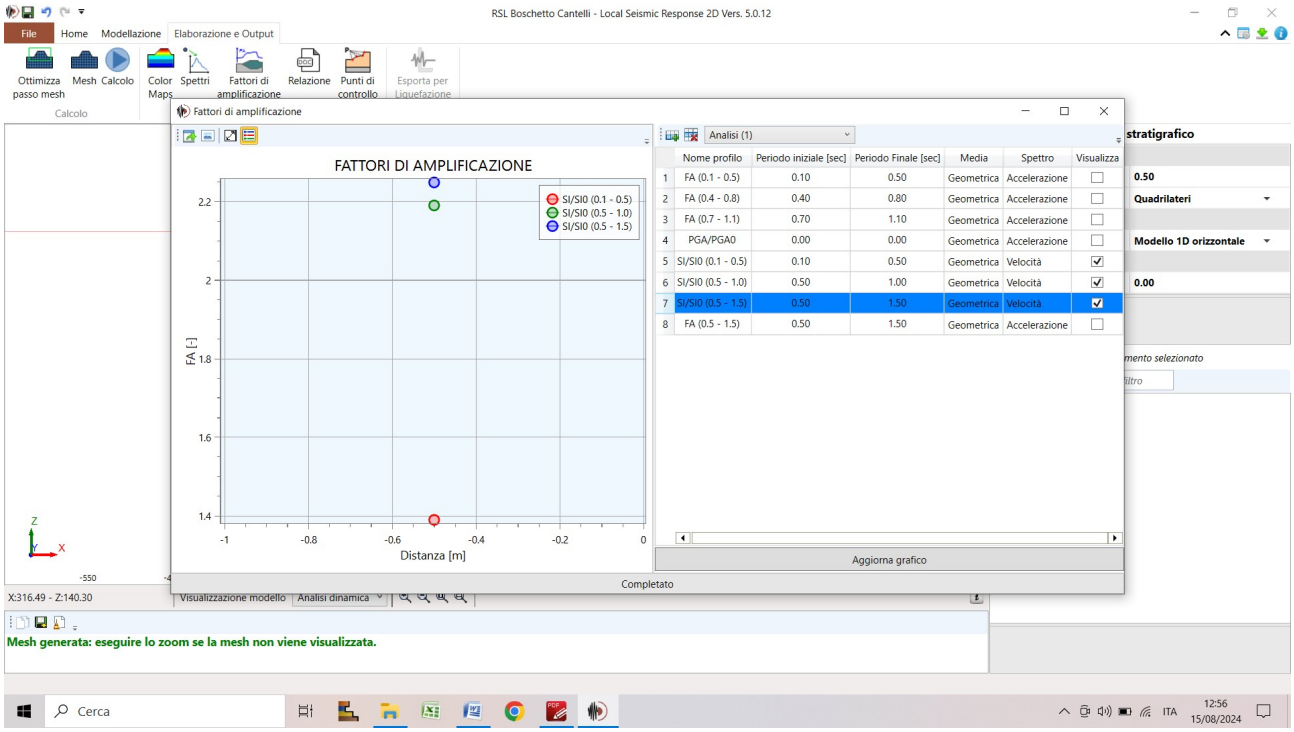
FA	
0,1-0,5	1,39
0,4-0,8	2,19
0,7-1,1	2,40
0,5-1,5	2,36

Figura 6-22 *Boschetto Corte Cantelli*



PGA/PGA0=1,33

Figura 6-23 *Boschetto Corte Cantelli*



SI/SI_0	
0,1-0,5	1,39
0,5-1,0	2,19
0,5-1,5	2,25

Figura 6-24 *Boschetto Corte Cantelli*

6.7. Vaccolino Area Produttiva

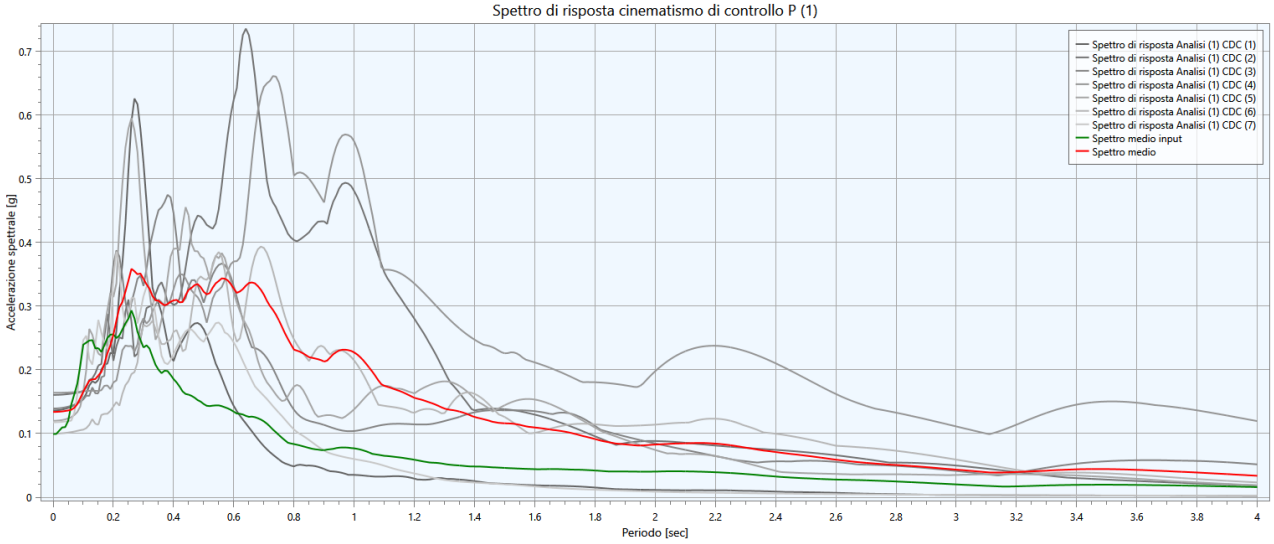
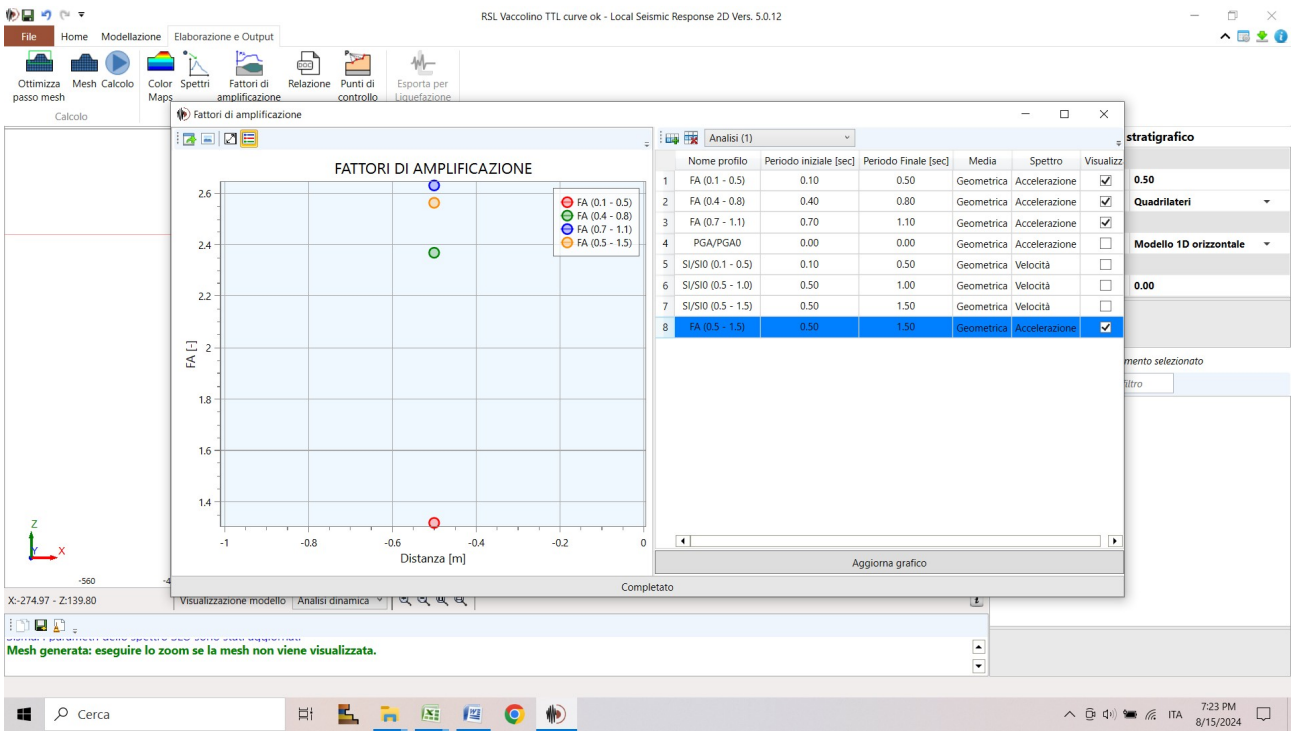
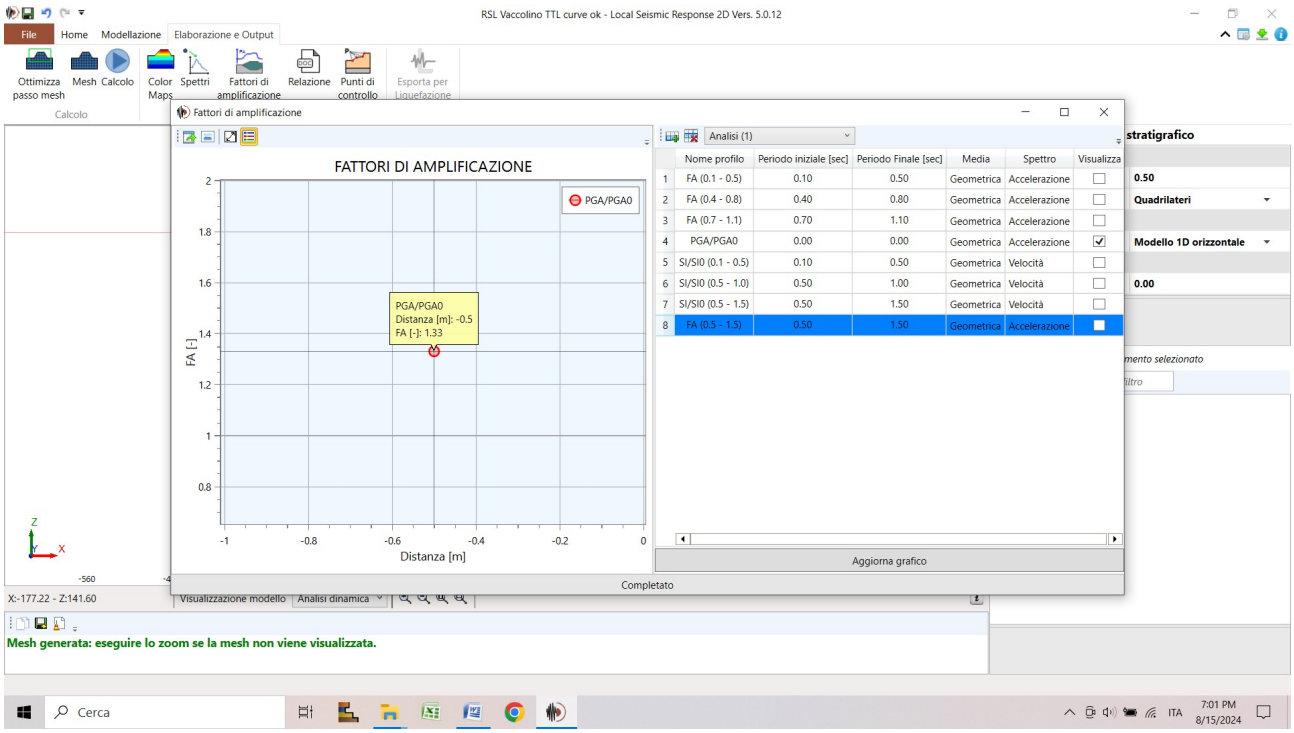


Figura 6-25 *Vaccolino Area Produttiva*



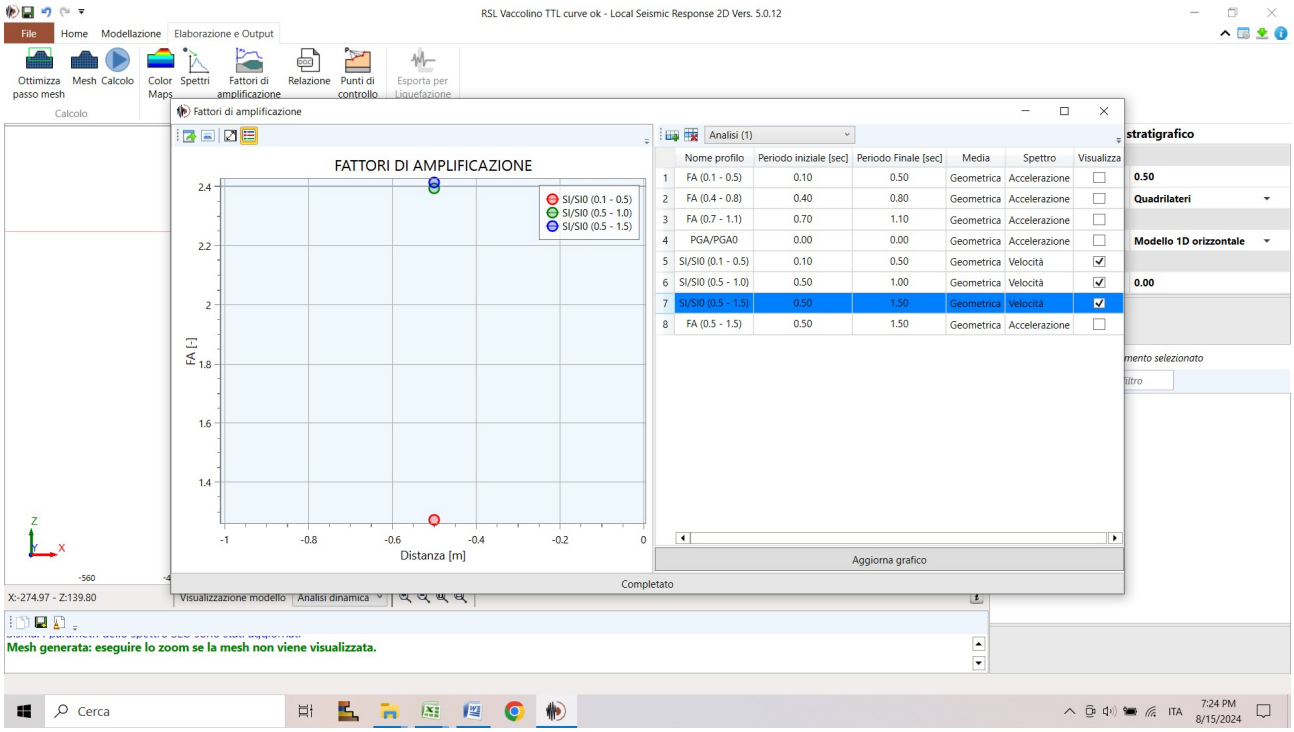
FA	
0,1-0,5	1,32
0,4-0,8	2,37
0,7-1,1	2,63
0,5-1,5	2,56

Figura 6-26 *Vaccolino Area Produttiva*



PGA/PGA0=1,33

Figura 6-27 *Vaccolino Area Produttiva*



SI/SI_0	
0,1-0,5	1,27
0,5-1,0	2,39
0,5-1,5	2,41

Figura 6-28 *Vaccolino Area Produttiva*

6.8. CALCOLO DEGLI HSM E SINTESI RISULTATI

Una volta calcolati gli spettri in accelerazione di output della RSL, si procede al calcolo degli HSM, eseguendo l'integrale delle curve spettrali nei rispettivi periodi richiesti dalla normativa. Per l'esecuzione del calcolo è stato prodotto dallo scrivente un apposito foglio di calcolo Excel.

I risultati sono riassunti nella seguente tabella di sintesi:

	ΔT (sec)	Marozzo Impianti Idrovori	Valle Oppio Ospedale del Delta	Lagosanto PalaDon	Lagosanto Municipio	Lagosanto Ponte Piazza Matteotti	Boschetto Corte Cantelli	Vaccolino Area Produttiva
FA SA1	0.1-0.5	1.83	1.75	1.44	1.34	1.34	1.39	1.32
FA SA2	0.4-0.8	2.85	2.33	2.2	2.07	1.82	2.19	2.37
FA SA3	0.7-1.1	2.85	2.34	2.42	2.3	2.03	2.4	2.63
FA SA4	0.5-1.5	2.86	2.38	1.44	2.28	1.34	2.36	2.56
PGA/PGAo		1.75	1.63	1.38	1.3	1.26	1.33	1.33
PGAo		0.09	0.098	0.095	0.096	0.096	0.082	0.080
PGA		0.158	0.160	0.131	0.125	0.121	0.109	0.106
SI1	0.1-0.5	1.85	1.78	1.44	1.33	1.36	1.39	1.27
SI2	0.5-1.0	2.76	2.29	2.18	2.06	1.8	2.19	2.39
SI3	0.5-1.5	2.73	2.33	2.29	2.17	1.95	2.25	2.41
Hsm	0.1-0.5	0.365g	0.385g	0.305g	0.287g	0.286g	0.308g	0.290g
Hsm	0.4-0.8	0.340g	0.302g	0.280g	0.268g	0.232g	0.291g	0.314g
Hsm	0.7-1.1	0.215g	0.189g	0.193g	0.189g	0.158g	0.199g	0.232g
Hsm	0.5-1.5	0.212g	0.190g	0.190g	0.185g	0.159g	0.194g	0.216g

Tabella 6-1 – *Tabella riassuntiva dei risultati del calcolo dei diversi fattori di amplificazione e della distribuzione dei valori di HSM per i diversi intervalli di periodo previsti dalla normativa*

Di seguito si riportano le fasi di calcolo, per ogni località.

MAROZZO IMPIANTI IDROVORI

HSM

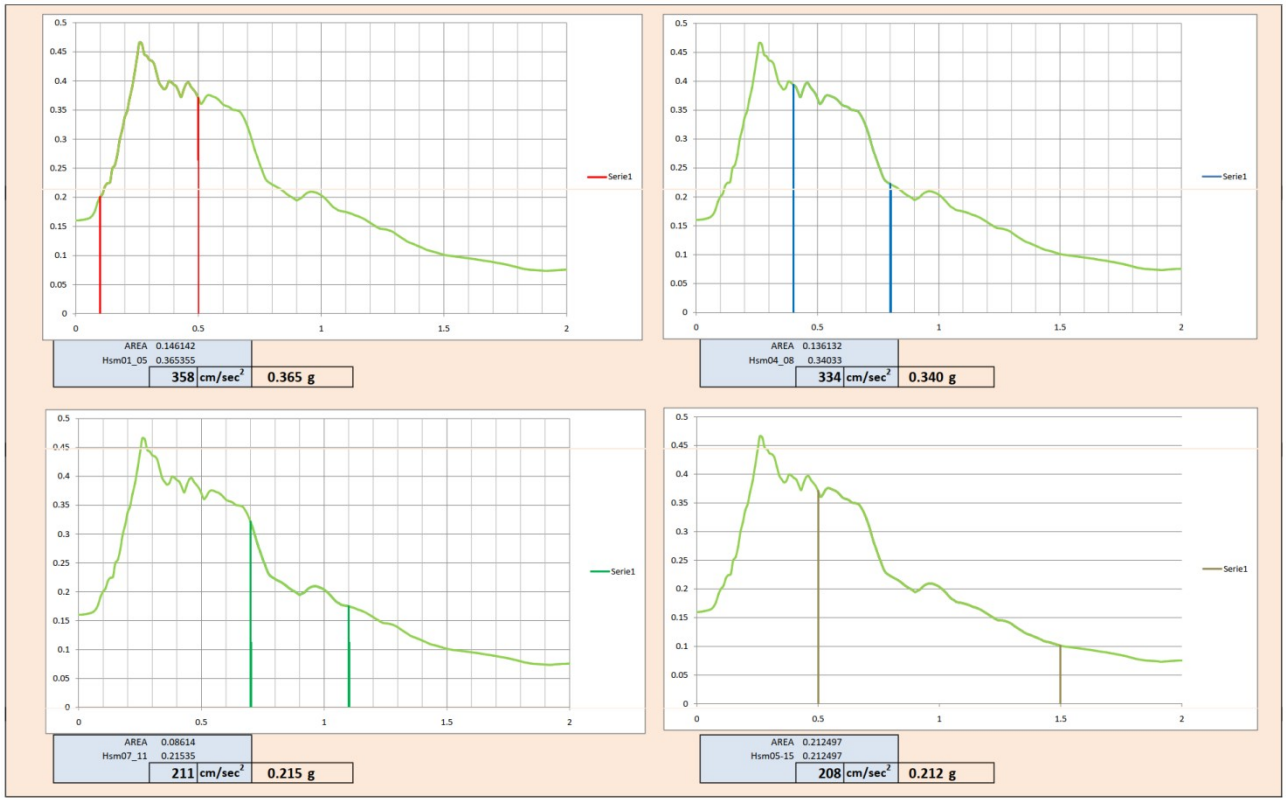


Figura 6-29 MAROZZO IMPIANTO IDROVORO

VALLE OPPIO OSPEDALE DEL DELTA

HSM

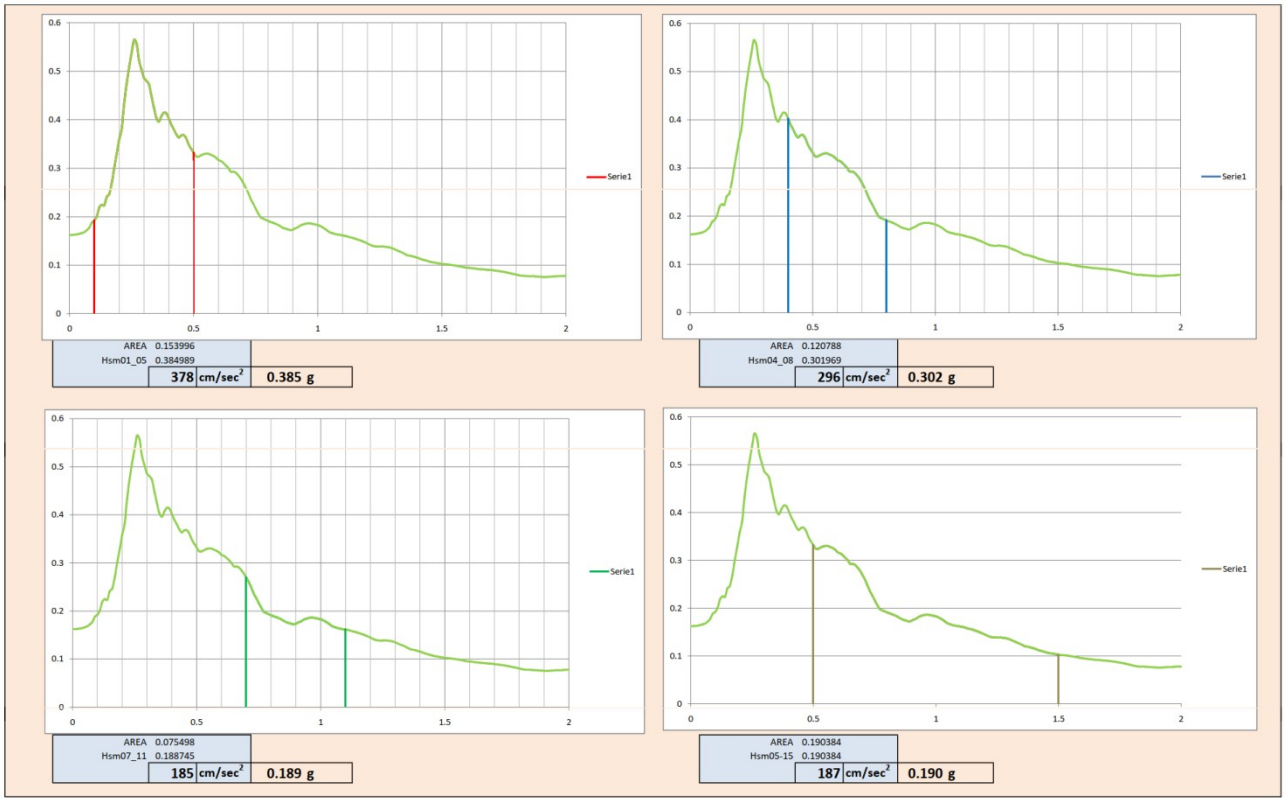


Figura 6-30 VALLE OPPIO OSPEDALE DEL DELTA

LAGOSANTO PALADON

HSM

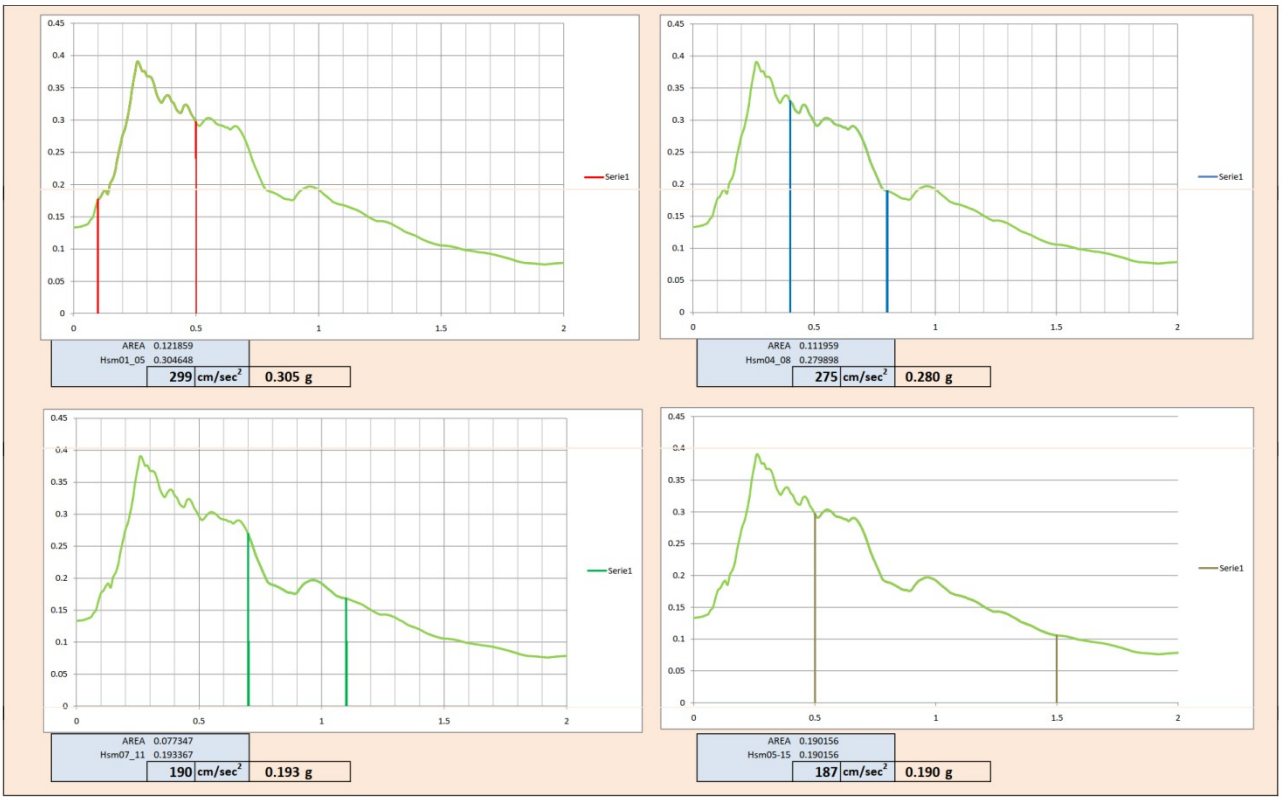


Figura 6-31 LAGOSANTO PALADON

LAGOSANTO MUNICIPIO

HSM

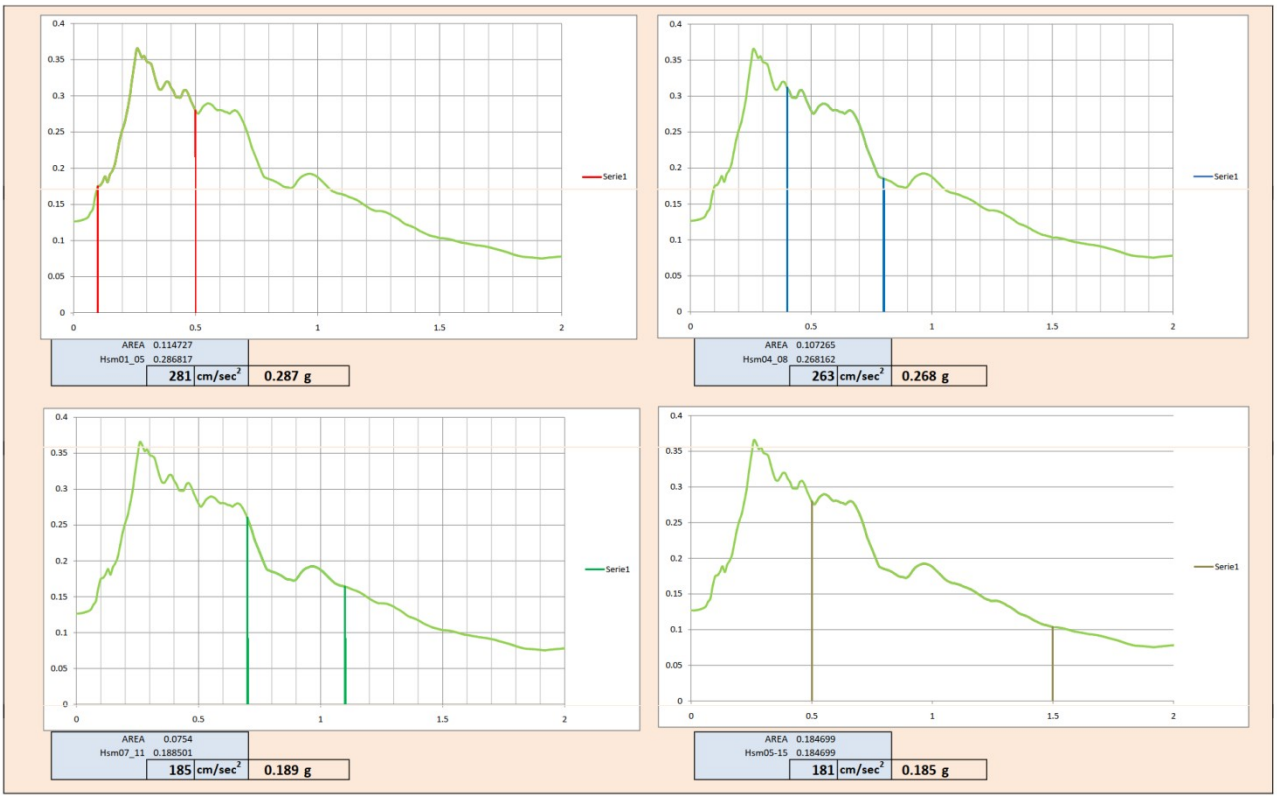


Figura 6-32 LAGOSANTO MUNICIPIO

LAGOSANTO PIAZZA MATTEOTTI

HSM

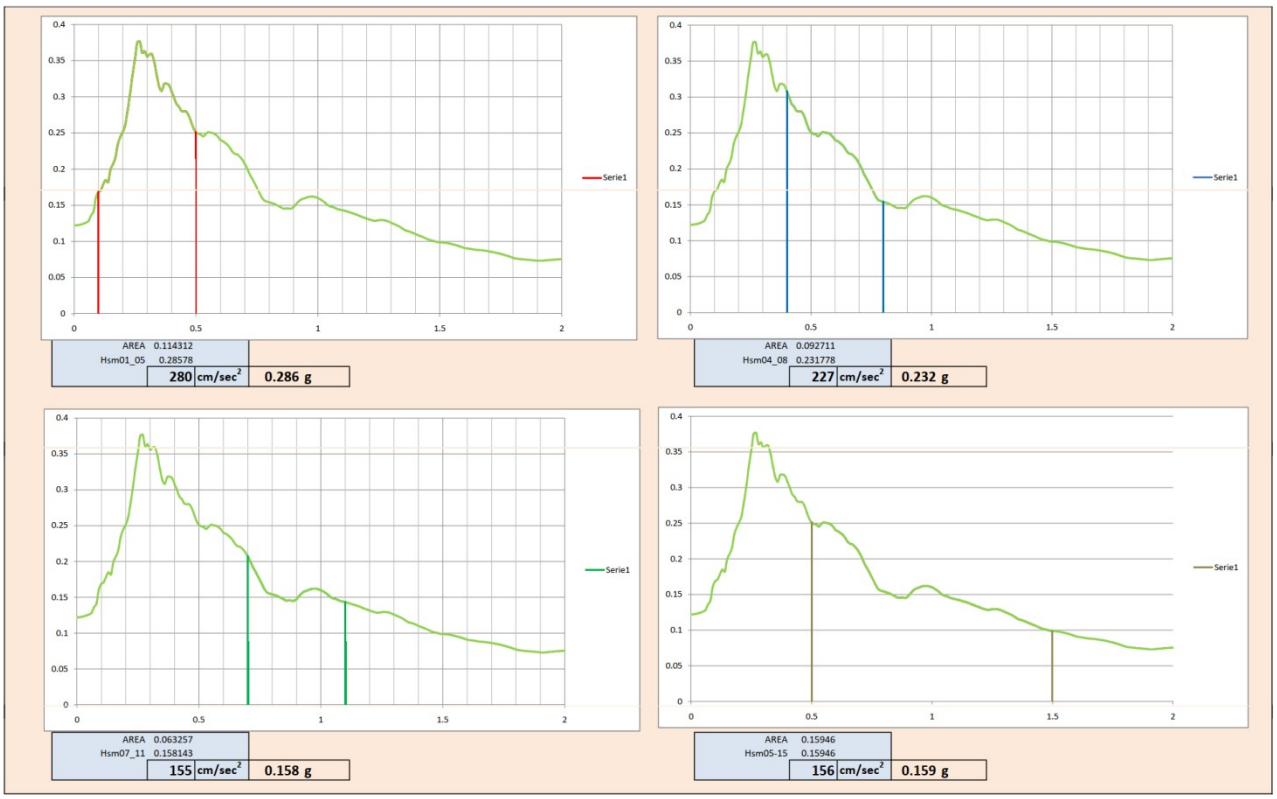


Figura 6-33 LAGOSANTO PIAZZA MATTEOTTI

BOSCHETTO CORTE CANTELLI

HSM

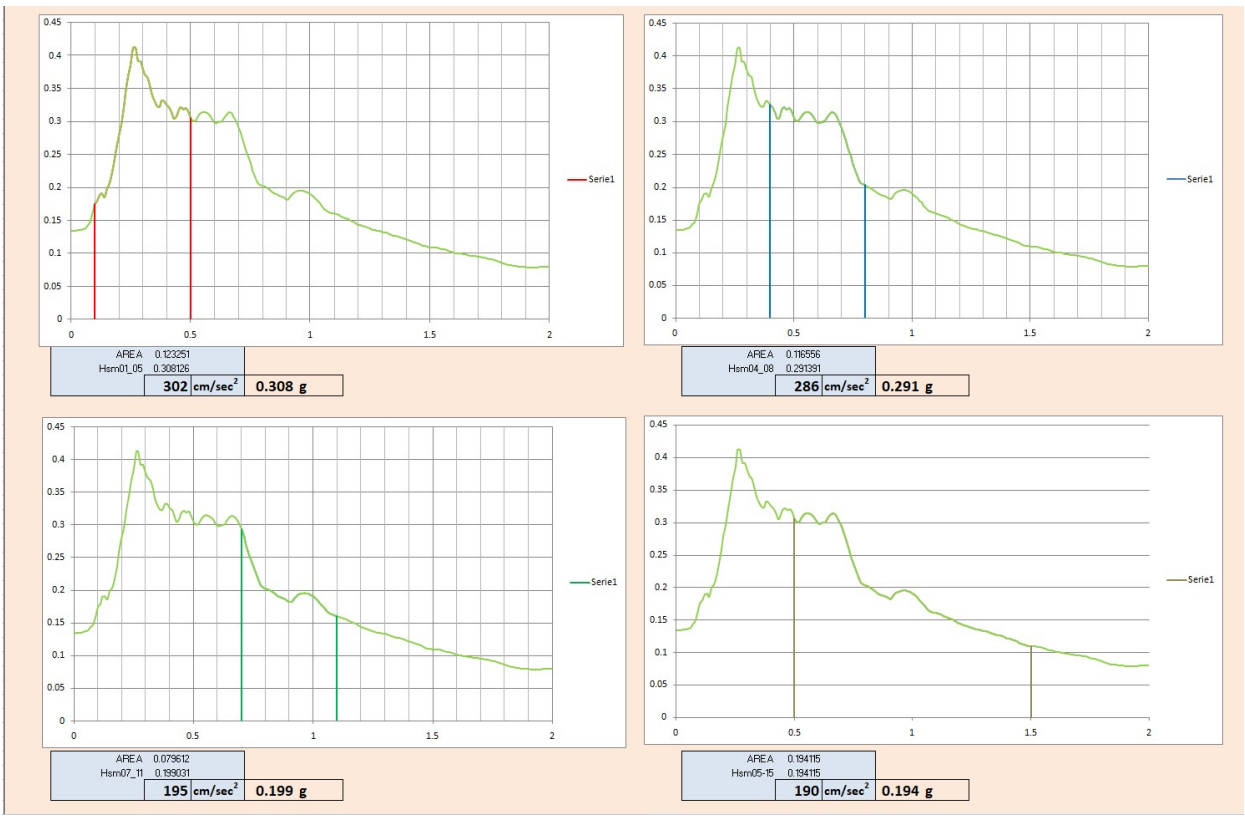


Figura 6-34 BOSCHETTO CORTE CANTELLI

VACCOLINO AREA PRODUTTIVA

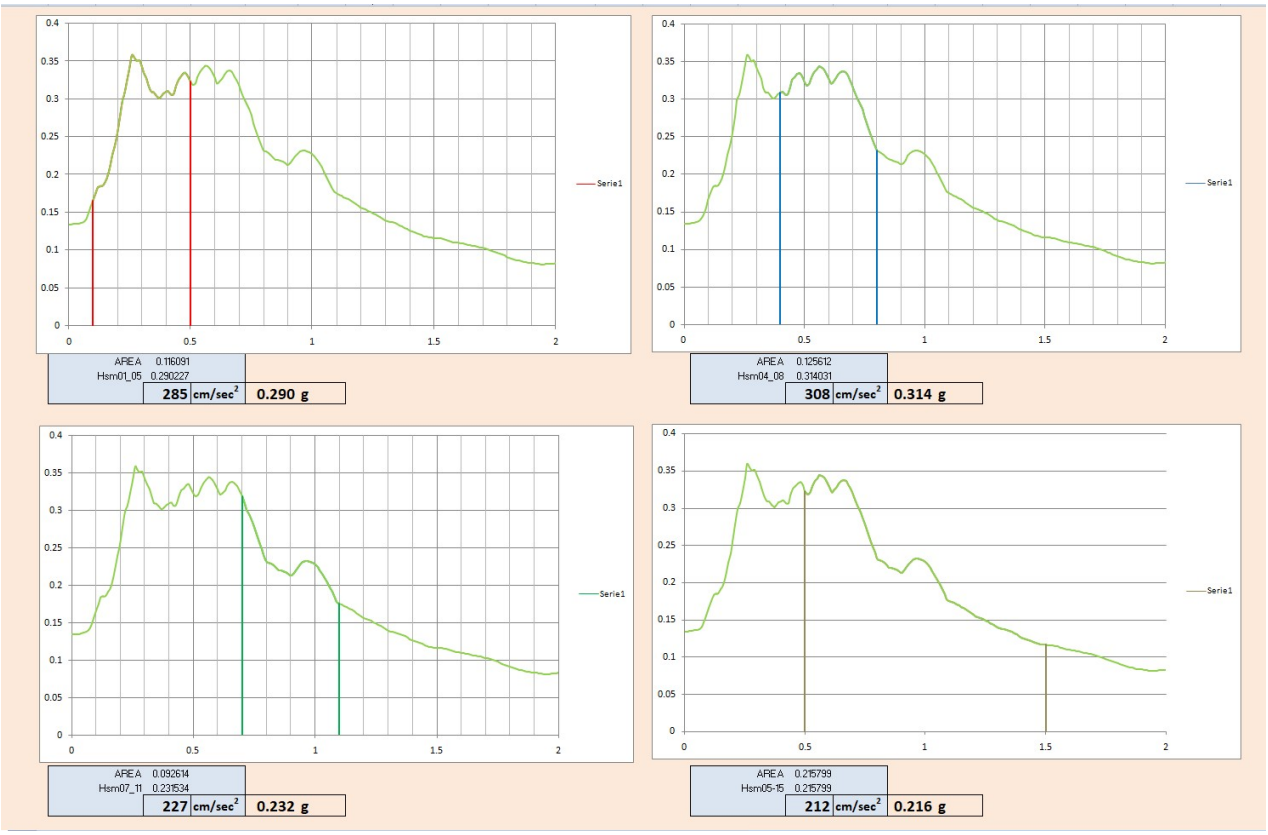


Figura 6-35 VACCOLINO AREA PRODUTTIVA

7. CARTE DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Attraverso le analisi di risposta sismica locale RSL eseguite per le varie località, vengono forniti gli spettri di risposta sismica riferiti a tali aree, per un periodo di ritorno di 475 anni con smorzamento pari al 5% ed è stato possibile realizzare le carte di amplificazione in termini di F_{PGA}, $FH_{0,1-0,5s}$, $FH_{0,5-1,0s}$, $FH_{0,5-1,5s}$, $FA_{0,1-0,5s}$, $FA_{0,4-0,8s}$, $FA_{0,7-1,1s}$ e $FA_{0,5-1,5s}$, e le mappe di scuotimento atteso in termini di H_{SM}, $H_{0,4-0,8s}$, $H_{0.7-1,1s}$ e H 0,5-1,5s .

Le Carte di microzonazione sismica sono state realizzate attraverso i valori calcolati da RSL per ogni Località del comune e vengono riprodotte in scala 1:10.000 e sono focalizzate sulle sole aree di interesse per il PUG, oggetto dello studio di microzonazione sismica di III Livello.

In queste carte vengono quantificati i fattori di amplificazione sismica che quel territorio provoca al moto sismico, per via della sua condizione stratigrafica.

Dove sussistono le condizioni per cui si possano avere effetti di sito (presenza dei fattori predisponenti), non necessariamente si possono verificare effetti connessi al rischio sismico, se non ci sono eventi sismici di intensità sufficiente (presenza dei fattori scatenanti). Per questo è importante in questi territori a bassa sismicità comprendere comunque gli effetti di amplificazione sismica, per stabilire se possono o meno indurre fenomeni di instabilità. Queste carte sono fondamentali negli studi di Microzonazione sismica.

Per la valutazione del fattore di amplificazione sismica è stato predisposto uno studio di risposta sismica locale RSL per ogni località del comune.

Il risultato di tale studio è riportato in **Tabella 7.1**.

	ΔT (sec)	Marozzo Impianti Idrovori	Valle Oppio Ospedale del Delta	Lagosanto PalaDon	Lagosanto Municipio	Lagosanto Ponte Piazza Matteotti	Boschetto Corte Cantelli	Vaccolino Area Produttiva
FA SA1	0.1-0.5	1.83	1.75	1.44	1.34	1.34	1.39	1.32
FA SA2	0.4-0.8	2.85	2.33	2.2	2.07	1.82	2.19	2.37
FA SA3	0.7-1.1	2.85	2.34	2.42	2.3	2.03	2.4	2.63
FA SA4	0.5-1.5	2.86	2.38	1.44	2.28	1.34	2.36	2.56
PGA/PGAo		1.75	1.63	1.38	1.3	1.26	1.33	1.33
PGAo		0.09	0.098	0.095	0.096	0.096	0.082	0.080
PGA		0.158	0.160	0.131	0.125	0.121	0.109	0.106
SI1	0.1-0.5	1.85	1.78	1.44	1.33	1.36	1.39	1.27
SI2	0.5-1.0	2.76	2.29	2.18	2.06	1.8	2.19	2.39
SI3	0.5-1.5	2.73	2.33	2.29	2.17	1.95	2.25	2.41
Hsm	0.1-0.5	0.365g	0.385g	0.305g	0.287g	0.286g	0.308g	0.290g
Hsm	0.4-0.8	0.340g	0.302g	0.280g	0.268g	0.232g	0.291g	0.314g
Hsm	0.7-1.1	0.215g	0.189g	0.193g	0.189g	0.158g	0.199g	0.232g
Hsm	0.5-1.5	0.212g	0.190g	0.190g	0.185g	0.159g	0.194g	0.216g

Tabella 7-1 – *Fattori di Amplificazione e valori di HSM*

7.1. CARTA IN TERMINI DI F.P.G.A.

Si riporta in **Tabella 7.2** la sintesi dei risultati ottenuti attraverso lo studio di risposta sismica locale RSL per ogni località del comune, per i fattori di amplificazione P.G.A..

	ΔT (sec)	Marozzo Impianti Idrovori	Valle Oppio Ospedale del Delta	Lagosanto PalaDon	Lagosanto Municipio	Lagosanto Ponte Piazza Matteotti	Boschetto Corte Cantelli	Vaccolino Area Produttiva
PGA/PGAo		1.75	1.63	1.38	1.3	1.26	1.33	1.33
PGAo		0.09	0.098	0.095	0.096	0.096	0.082	0.080
PGA		0.158	0.160	0.131	0.125	0.121	0.109	0.106

Tabella 7-2

Si riporta la legenda delle carte dei fattori di amplificazione in termini di P.G.A..



7.2. CARTE IN TERMINI DI F.A.

Si riporta in **Tabella 7.3** la sintesi dei risultati ottenuti attraverso lo studio di risposta sismica locale RSL per ogni località del comune, per i fattori di amplificazione S.A..

	ΔT (sec)	Marozzo Impianti Idrovori	Valle Oppio Ospedale del Delta	Lagosanto PalaDon	Lagosanto Municipio	Lagosanto Ponte Piazza Matteotti	Boschetto Corte Cantelli	Vaccolino Area Produttiva
FA SA1	0.1-0.5	1.83	1.75	1.44	1.34	1.34	1.39	1.32
FA SA2	0.4-0.8	2.85	2.33	2.2	2.07	1.82	2.19	2.37
FA SA3	0.7-1.1	2.85	2.34	2.42	2.3	2.03	2.4	2.63
FA SA4	0.5-1.5	2.86	2.38	1.44	2.28	1.34	2.36	2.56

Tabella 7-3

Si riporta la legenda delle carte dei fattori di amplificazione in termini di S.A. per i diversi intervalli di periodo.



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

RegioneEmiliaRomagna

CONFERENZA DELLE REGIONI
E DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della Legge 24 giugno 2009. n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

(Terzo livello di approfondimento)

Carta SA2 – 0,4s≤T≤0,8s

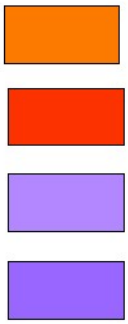
scala 1 : 10.000

Regione Emilia Romagna

Comune di Lagosanto

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (Livello 3)



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

RegioneEmiliaRomagna

CONFERENZA DELLE REGIONI
E DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della Legge 24 giugno 2009. n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

(Terzo livello di approfondimento)

Carta SA3 – 0,7s≤T≤1,1s

scala 1 : 10.000

Regione Emilia Romagna
Comune di Lagosanto

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (Livello 3)

FA = 1.9 – 2.0

FA = 2.3 – 2.4

FA = 2.5 – 3.0

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

RegioneEmiliaRomagna

CONFERENZA DELLE REGIONI E DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della Legge 24 giugno 2009. n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

(Terzo livello di approfondimento)

Carta SA4 – 0,5s≤T≤1,5s

scala 1 : 10.000

Regione Emilia Romagna

Comune di Lagosanto

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (Livello 3)

FA = 1.3 –1.4

FA = 2.3 – 2.4

FA = 2.5 – 3.0

7.3. CARTE IN TERMINI DI F.H.

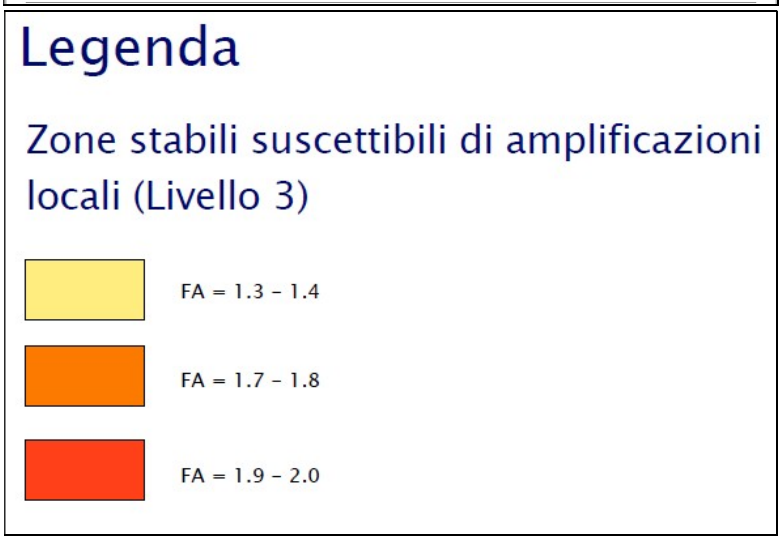
Si riporta in **Tabella 7.4** la sintesi dei risultati ottenuti attraverso lo studio di risposta sismica locale RSL per ogni località del comune, per i fattori di amplificazione S.I..

	ΔT (sec)	Marozzo Impianti Idrovori	Valle Oppio Ospedale del Delta	Lagosanto PalaDon	Lagosanto Municipio	Lagosanto Ponte Piazza Matteotti	Boschetto Corte Cantelli	Vaccolino Area Produttiva
SI1	0.1-0.5	1.85	1.78	1.44	1.33	1.36	1.39	1.27
SI2	0.5-1.0	2.76	2.29	2.18	2.06	1.8	2.19	2.39
SI3	0.5-1.5	2.73	2.33	2.29	2.17	1.95	2.25	2.41

Tabella 7-4

Si riporta la legenda delle carte dei fattori di amplificazione in termini di S.I..





PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Regione Emilia Romagna

CONFERENZA DELLE REGIONI
E DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

(Terzo livello di approfondimento)

Carta SI2 – 0,5s≤T≤1,0s

scala 1 : 10.000

Regione Emilia Romagna

Comune di Lagosanto

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (Livello 3)

- FA = 1.7 – 1.8
- FA = 2.1 – 2.2
- FA = 2.3 – 2.4
- FA = 2.5 – 3.0

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

RegioneEmiliaRomagna

CONFERENZA DELLE REGIONI
E DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della Legge 24 giugno 2009. n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

(Terzo livello di approfondimento)

Carta SI3 – 1,0s≤T≤1,5s

scala 1 : 10.000

Regione Emilia Romagna

Comune di Lagosanto

Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (Livello 3)

- FA = 1.9 – 2.0
- FA = 2.1 – 2.2
- FA = 2.3 – 2.4
- FA = 2.5 – 3.0

7.4. CARTE DELLA DISTRIBUZIONE SUL TERRITORIO DEI VALORI DI HSM

Le mappe di microzonazione sismica rappresentano il rischio sismico locale attraverso fattori di amplificazione, vale a dire valori relativi, e le mappe di rischio sismico di riferimento non considerano gli effetti locali che possono derivare da condizioni geologiche e morfologiche locali. Per l'implementazione di politiche per ridurre il rischio sismico, le autorità responsabili della gestione del territorio hanno bisogno di mappe realistiche di pericolosità sismica comparabili su scala nazionale. Grazie ai dati disponibili sulla geologia e al rischio sismico e alle procedure indicate dalle linee guida regionali e nazionali, è possibile produrre, in modo rapido ed economico, mappe del rischio sismico del sito su qualsiasi scala. L'uso del parametro H_{SM} per questa mappatura consente di considerare sia il rischio sismico di riferimento sia gli effetti locali e rende i risultati finali comparabili su scala nazionale; pertanto, consente una classificazione realistica del pericolo sismico applicabile a tutte le scale.

In **FIGURA 7.1** si riporta lo schema per la mappatura del rischio sismico del sito secondo le linee guida italiane per la microzonazione sismica (SM Working Gruppo, 2015; CTMS, 2017c), adottato nella DGR 630/2019.

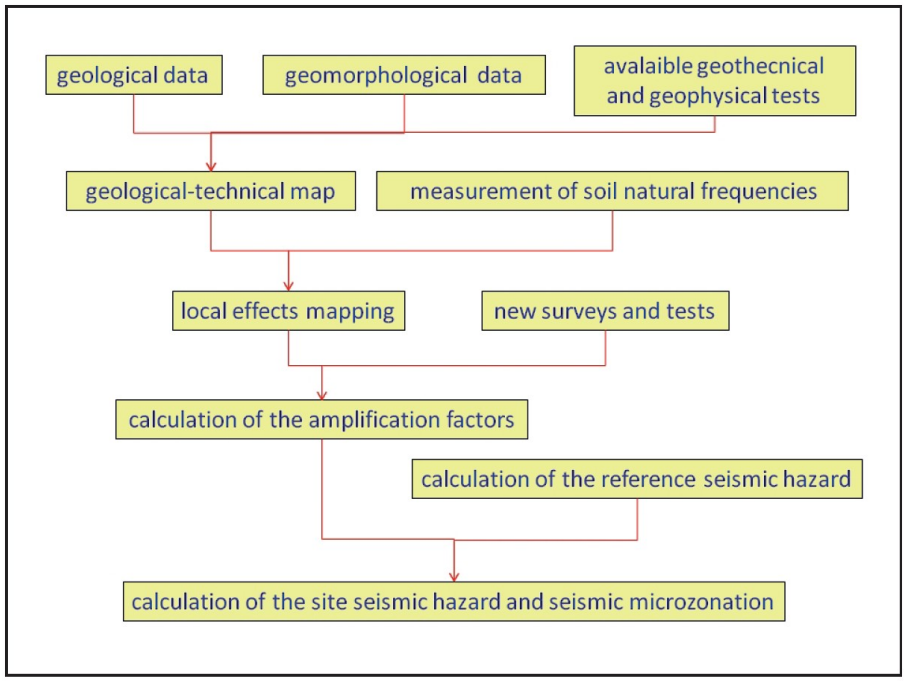


Figura 7-1 - *Schema per la mappatura del rischio sismico del sito secondo le linee guida italiane per la microzonazione sismica (SM Working Gruppo, 2015; CTMS, 2017c)*

Con l'introduzione del parametro H_{SM} si è scelto di sviluppare mappe che tenessero in conto del rischio sismico derivato dalla interazione tra il moto sismico e la presenza di edifici con determinati modo di vibrare. L'intervallo compreso tra 0,1sec e 0,5sec risulta essere il più significativo possibile per la realtà edilizia della Regione Emilia Romagna (**FIGURA 7.2**), ma la norma prevede che nel III livello di approfondimento il parametro di H_{SM} venga calcolato anche per l'intervallo di periodo 0,4sec-0,8 sec, 0,7sec-1,1sec e 0,5sec-1,5sec.

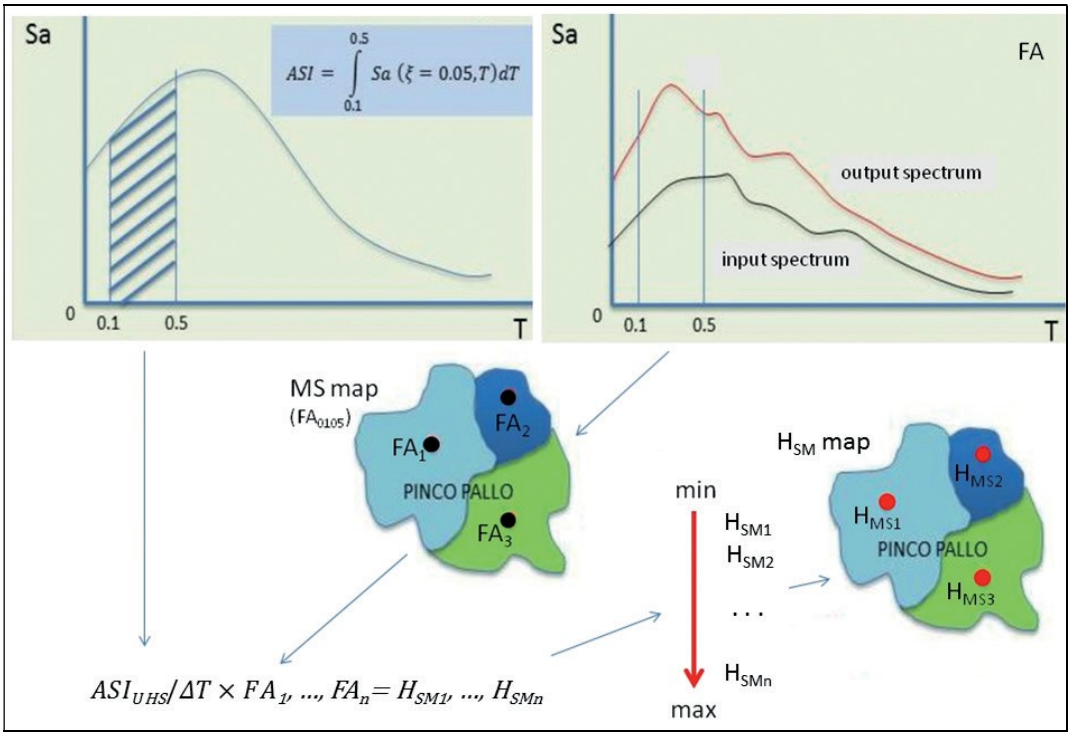


Figura 7-2 *- Schema per il calcolo del parametro HSM e mappatura HSM*

Non ci sono, sulla normativa regionale, delle classi di rischio in cui suddividere il territorio. Una ipotesi è stata proposta da Naso et Alii (giugno 2019):

" Il parametro H_{SM} può essere discretizzato in classi in modo semiquantitativo, relativo al livello di scuotimento, il potenziale danno agli edifici e l'intensità strumentale. Le possibili soglie delle classi per i valori H_{SM} proposti da Naso et Alii (2019) possono variare da "basso-molto basso", "moderato-basso", Pericolo sismico da "moderato", "alto", a "molto alto". In **Tabella 7.5** si riporta la recente proposta di classificazione.

Table 1 - Possible thresholds for H_{SM} and others physical parameters.

seismic hazard	low-very low	moderate-low	moderate	high	very high
H_{SM} (cm/s^2)	≤ 180	180 < H_{SM} ≤ 340	340 < H_{SM} ≤ 650	650 < H_{SM} ≤ 1240	> 1240
potential damage	none - very light	very light - moderate	moderate - heavy	heavy	very heavy
instrumental intensity	≤ VI	VII	VIII	IX	≥ X

Tabella 7-5 *Possibili soglie delle classi per i valori H_{SM}*

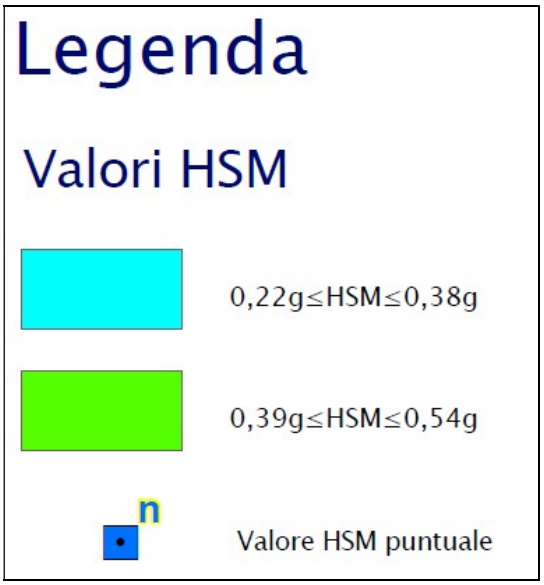
Nel territorio comunale di Lagosanto le fasce individuate appartengono quasi esclusivamente alla fascia di rischio sismico "moderato-basso"; si distingue la parte nord occidentale del territorio comunale ove per periodi bassi la classe di rischio è "moderata". Negli alti periodi a Lagosanto Piazza Matteotti il rischio è "basso-molto basso".

	ΔT (sec)	Marozzo Impianti Idrovori	Valle Oppio Ospedale del Delta	Lagosanto PalaDon	Lagosanto Municipio	Lagosanto Ponte Piazza Matteotti	Boschetto Corte Cantelli	Vaccolino Area Produttiva
Hsm	0.1-0.5	0.365g	0.385g	0.305g	0.287g	0.286g	0.308g	0.290g
Hsm	0.4-0.8	0.340g	0.302g	0.280g	0.268g	0.232g	0.291g	0.314g
Hsm	0.7-1.1	0.215g	0.189g	0.193g	0.189g	0.158g	0.199g	0.232g
Hsm	0.5-1.5	0.212g	0.190g	0.190g	0.185g	0.159g	0.194g	0.216g

Tabella 7-6 – *Sintesi dei risultati con classi di appartenenza dello scuotimento, potenziale danno agli edifici e intensità strumentale macrosismica attesa. I potenziali danni attesi agli edifici sono da nessuno, molto leggeri, o moderati.*

La legenda della carta H_{SM} presenta una gradazione di colori differenti per ogni intervallo espresso in cm/s^2, forniti dalla Regione Emilia Romagna. Nella stessa carta vengono indicati i valori puntuali di HSM calcolati attraverso analisi di risposta sismica locale R.S.L. per ogni ambito.





PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

RegioneEmiliaRomagna

CONFERENZA DELLE REGIONI
E DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della Legge 24 giugno 2009. n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

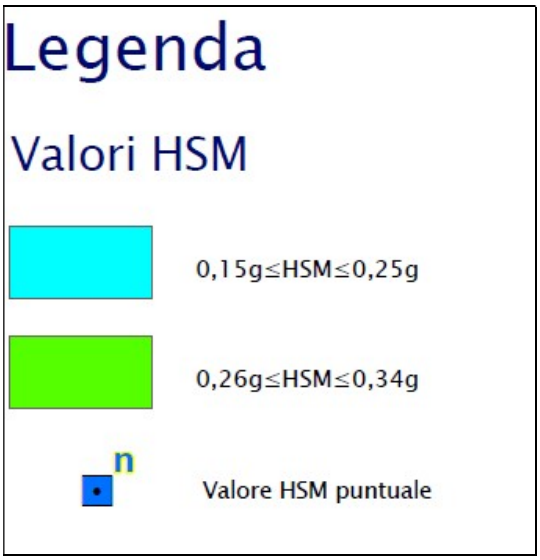
(Terzo livello di approfondimento)

Carta della distribuzione sul territorio dei valori di HSM (0.4–0.8 s)

scala 1 : 10.000

Regione Emilia Romagna

Comune di Lagosanto



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Regione Emilia Romagna

CONFERENZA DELLE REGIONI
E DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della Legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

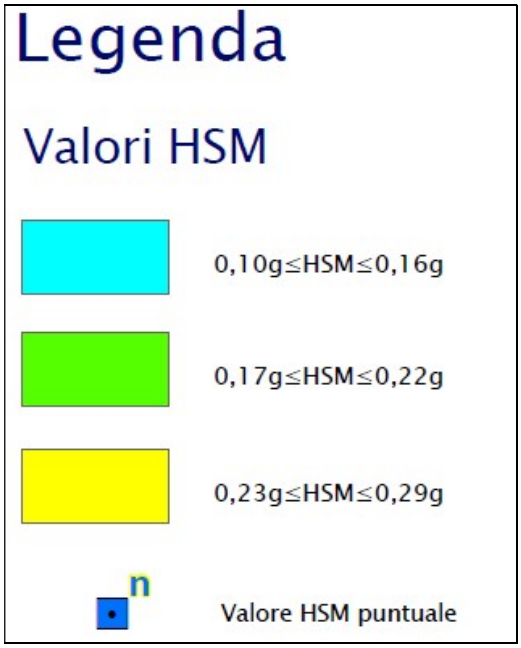
(Terzo livello di approfondimento)

Carta della distribuzione sul territorio dei valori di HSM (0.7–1.1 s)

scala 1 : 10.000

Regione Emilia Romagna

Comune di Lagosanto





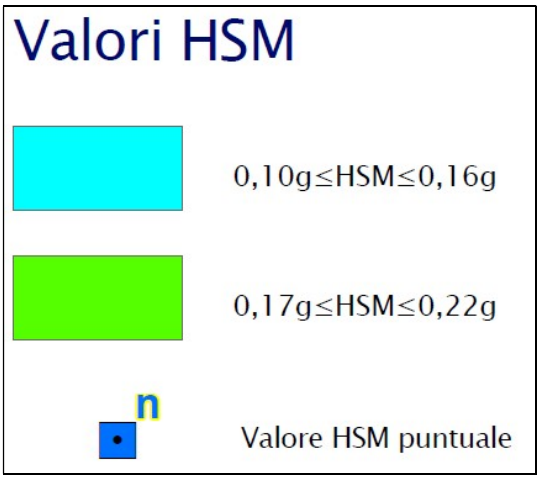


Figura 7-3 *Legenda della mappa di distribuzione dei valori di Hsm per i diversi intervalli di periodo richiesti dalla DGR 476/2021*

8. ANALISI DELLA LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE E CALCOLO INDICE DI LIQUEFAZIONE

Durante gli studi precedenti era stata evidenziata nel primo livello di approfondimento la presenza dei caratteri predisponenti la liquefazione delle sabbie, in quanto era stato mappato su tutto il territorio il perimetro ove erano presenti le sabbie sciolte oloceniche sature di acqua di falda, presenti nei primi 20m di spessore. Erano sostanzialmente le sabbie limose di battigia che hanno segnato l'avanzamento dei depositi deltizi dei rami di foce del fiume Po, a costruire le nuove linee di costa durante la fase trasgressive postflandriane. Quindi era stata dimostrata la diffusa presenza di depositi potenzialmente liquefacibili di sabbie limose.

Nel secondo livello di approfondimento era emerso che tutta l'area comunale era soggetta ad amplificazione sismica stratigrafica, e si era fatto ricorso agli abachi regionali per determinare i vari fattori di amplificazione attesi. Anche in questo caso si confermava la necessità di proporre delle MOPS in cui vi erano i retini dell'instabilità per la potenziale liquefazione dei depositi sabbioso limosi.

Si rimandava dunque al terzo livello di approfondimento il compito di valutare numericamente e analiticamente quanto potesse essere effettivamente pericolosa la potenziale liquefazione dei depositi sabbiosi, facendo ricorso ad una più attenta definizione dei fattori di amplificazione da determinare mediante analisi di risposta sismica locale. Una volta definite le azioni sismiche, ovvero le cause scatenanti, si è proceduto a valutare le resistenze dei depositi sabbiosi presenti nel territorio comunale di Lagosanto, alle sollecitazioni di taglio cicliche indotte dal terremoto di progetto, convenzionalmente scelto per un tempo di ritorno di 475 anni.

Quello che ne è emerso è che le cause scatenanti la liquefazione delle sabbie, non sono sufficienti ad innescare liquefazione, ed il territorio può essere considerato tutto stabile, se sollecitato ad eventi sismici convenzionali con tempo di ritorno di 475 anni.

Questo era abbastanza atteso, in quanto non vi è memoria storica documentata che testimoni l'accadimento di questo fenomeno in questa porzione di pianura. Inoltre il comune di Lagosanto si colloca sulla monoclinale padano veneta, al di fuori delle zone sismo genetiche, le quali possono solo provocare risentimenti sismici capaci di danni leggeri (si rimanda alla relazione degli studi di microzonazione sismica di II livello).

Di seguito verrà descritto il metodo analitico utilizzato per verificare la liquefazione delle sabbie ed i riferimenti normativi a cui si è attenuti.

8.1. METODO DI ANALISI

Per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione vanno impiegate le procedure che nell'Ingegneria Geotecnica Sismica vengono denominati 'metodi semplificati'. Tali metodi sono basati su prove geotecniche quali le CPTU (penetrometrie a punta elettrica con piezocono) e attraverso i dati ottenuti di CSR e CRR si procede poi a valutare, ad ogni quota z del deposito, compresa nei primi 20 m, il coefficiente di sicurezza rispetto alla possibilità di liquefazione:

$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7.5;\sigma'_v=1atm}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

Equazione 8-1

dove:

$CRR_{M=7.5;\sigma'_v=1atm} = \frac{\tau_{ult}}{\sigma'_{v0}}$ è il rapporto di resistenza ciclica, ovvero la resistenza normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale σ'_{v0}, per terremoto di magnitudo M = 7.5 e pressione efficace di riferimento σ'_v = 1atm;

MSF è il fattore di scala della magnitudo che è funzione, oltre che dal valore della magnitudo dell'azione sismica di riferimento, anche del metodo di stima di CRR;

K_σ è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata;

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \cdot \frac{a_{max\,s}}{g} \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

Equazione 8-2

è il rapporto di tensione ciclica, ovvero la tensione di taglio ciclica media indotta dall'azione sismica di riferimento, normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale σ'_{v0}, ove $a_{max\,s}$ è il picco di accelerazione al piano campagna, g è l'accelerazione di gravità, σ_{v0} e σ'_{v0} sono le tensioni verticali rispettivamente totale e efficace alla profondità considerata, ed r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica per effetto della deformabilità del terreno che può essere stimato con relazioni empiriche associate ai diversi metodi di stima di CRR (e di MSF). Il valore della tensione tangenziale media τ_{media} = 0.65 τ_{max} al variare della profondità può essere più precisamente determinato con analisi di risposta sismica locale.

Tra i metodi semplificati basati sui risultati di prove CPTe/CPTu è particolarmente raccomandato dalle delibere regionali il recente metodo di *Boulanger e Idriss, 2014*.

Lo scrivente tende a non utilizzarlo nella pratica professionale, poiché, oltre ad utilizzare le prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono, esso necessiterebbe di analisi dettagliate sulla granulometrie dei depositi sabbiosi incontrati. Il metodo infatti necessita della determinazione di un fattore di correzione per il contenuto in fine C_{FC}, senza il quale si fanno valutazioni che possono apparire fin troppo cautelative. Nel territorio comunale di Lagosanto la pericolosità di base è così bassa, che anche utilizzando questo metodo, senza il C_{FC}, non porta a sovrastime di una instabilità che non è attesa.

Si riporta di seguito lo stralcio della DGR 630/2019 con la sequenza logica del calcolo (**FIGURA 8.1**, **8.2** e **8.3**).

A2.2 Metodo basato sui risultati di prove CPTe/CPTu (Boulanger e Idriss, 2014)

Tutti i metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione che utilizzano i risultati di prove penetrometriche statiche sono calibrati sull'apparecchiatura a punta elettrica (CPTe/CPTu).
L'uso di tali metodi con i risultati di prove CPT a punta meccanica può condurre ad una sovrastima della resistenza CRR e quindi del fattore di sicurezza.

1. $q_{c1N} = C_N \cdot \frac{q_c}{p_a}$

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}}\right)^m \leq 1.7$$

$$m = 1.338 - 0.249 \cdot (q_{c1Ncs})^{0.264} \quad \text{con } 21 \leq q_{c1Ncs} \leq 254$$

(q_{c1Ncs} è definito al punto 2 e m è determinato per via iterativa; p_a è la pressione atmosferica)

2. $q_{c1Ncs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$

$$\Delta q_{c1N} = \left(11.9 + \frac{q_{c1N}}{14.6}\right) \cdot \exp\left[1.63 - \frac{9.7}{FC+2} - \left(\frac{15.7}{FC+2}\right)^2\right]$$

FC è il contenuto di fine espresso in %. In assenza di dati specifici per il sito, FC può essere stimato con l'espressione empirica[2]:

$FC = 80\ I_c - 137$

in cui I_c è l'indice di classificazione del terreno da prova CPT proposto da Robertson (1990):

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q_n - 3.47)^2}$$

con

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} \cdot 100$$

$$Q_n = \left(\frac{q_c - \sigma_{v0}}{p_a}\right) \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}}\right)^m$$

3. $CRR = exp\left[\frac{q_{c1Ncs}}{113} + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{1000}\right)^2 - \left(\frac{q_{c1Ncs}}{140}\right)^3 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{137}\right)^4 - 2.80\right]$

4. $MSF = 1 + (MSF\left[8.64exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 1.325\right]_{max}$

$MSF\left(\frac{q_{c1Ncs}}{180}\right)^3_{max}$

[2] L'espressione deriva dalla seguente correlazione tra I_c e FC proposta da Boulanger e Idriss (2014):
Ic = [(FC+137)/80]-C_{FC} dove (-C_{FC}) è l'errore che, per il set di dati utilizzato dagli Autori, presenta media nulla e deviazione standard 0.29.
Qualora si disponga di dati specifici per il sito, il parametro C_{FC} può essere appositamente calibrato mantenendo la stessa forma funzionale (lineare) della suddetta correlazione, o forme funzionali differenti.
In mancanza di dati specifici per il sito, è lecito invece determinare FC dalla curva di regressione media ottenuta da Boulanger e Idriss (2014), ovvero assumere nella suddetta correlazione C_{FC}=0.

5

Figura 8-1

$$5.\ K_\sigma = 1 - C_\sigma \cdot ln\left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right) \leq 1.0$$

$$C_\sigma = \frac{1}{37.3 - 8.27(q_{c1Ncs})^{0.264}} \leq 0.3$$

$$6.\ CSR = 0.65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

$$r_d = exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \cdot sen\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \cdot sen\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$

$$7.\ F_L = \frac{CRR_{M=7.5;\sigma'v=1atm}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

Nelle equazioni precedenti M è la magnitudo momento del terremoto di riferimento.

La curva CRR – q_{c1Ncs} è mostrata in Figura 2b.

Figura 8-2

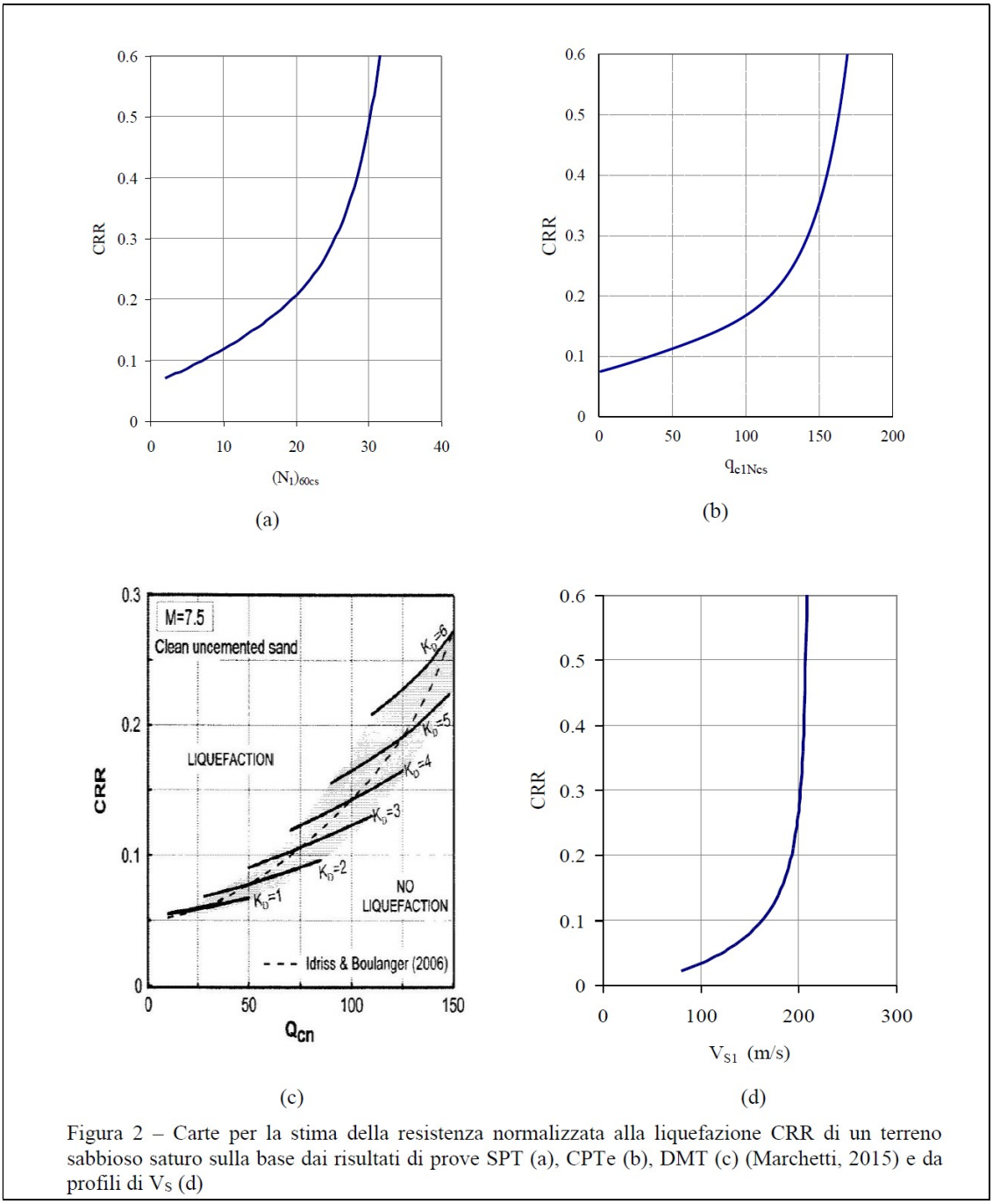


Figura 2 – Carte per la stima della resistenza normalizzata alla liquefazione CRR di un terreno sabbioso saturo sulla base dai risultati di prove SPT (a), CPTe (b), DMT (c) (Marchetti, 2015) e da profili di V_S (d)

Figura 8-3

L'indice del potenziale di liquefazione, I_L, è definito dalla seguente relazione (**FIGURA 8.4**):

Liquefaction Potential Index (LPI) calculation procedure

Calculation of the Liquefaction Potential Index (LPI) is used to interpret the liquefaction assessment calculations in terms of severity over depth. The calculation procedure is based on the methology developed by Iwasaki (1982) and is adopted by AFPS.

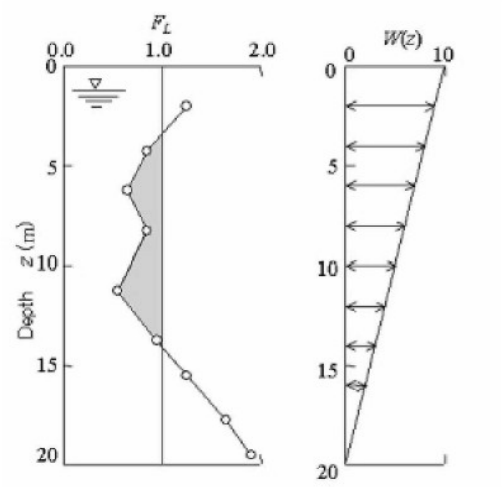
To estimate the severity of liquefaction extent at a given site, LPI is calculated based on the following equation:

$$\mathbf{LPI} = \int_0^{20} (10 - 0{,}5z) \times F_L \times dz$$

where:
F_L = 1 - F.S. when F.S. less than 1
F_L = 0 when F.S. greater than 1
z depth of measurment in meters

Values of LPI range between zero (0) when no test point is characterized as liquefiable and 100 when all points are characterized as susceptible to liquefaction. Iwasaki proposed four (4) discrete categories based on the numeric value of LPI:

- LPI = 0 : Liquefaction risk is very low
- 0 < LPI <= 5 : Liquefaction risk is low
- 5 < LPI <= 15 : Liquefaction risk is high
- LPI > 15 : Liquefaction risk is very high



Graphical presentation of the LPI calculation procedure

CLiq v.3.0.3.4 - CPT Liquefaction Assessment Software

Figura 8-4

Mentre per Iwasaki (1982) il calcolo tiene conto degli strati ove FL<=1, con Sonmnez (2003) si tiene conto degli strati ove FL<=1,2.

Altra particolarità del metodo si Somnez è che per valori di FL compresi tra 1,2 e 0,95 la funzione variabile F(z) si discosta da quella di Iwasaki, e per Sonmez è:

$F(z) = 0$ per $F_L \geq 1.2$
$F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L)$ per $1.2 > F_L \geq 0.95$
$F(z) = 1 - F_L$ per $F_L \leq 0.95$

Il metodo di Boulanger & Idriss 2014, a rigore, andrebbe utilizzato nel modo di seguito esposto. La pubblicazione originale degli autori indica che il contenuto in fine và stimato con questa formula**(FIGURA 8.5)**:

For the present study, the relationship for estimating FC was developed by first regressing I_c against FC using the combined data sets in Figure 2.10 to obtain the least-squares fit,

$$I_C = \frac{(FC + 137)}{80} + \varepsilon \qquad (2.29)$$

where ε = an error term, which was found to have a mean of 0 and a standard deviation of 0.29 and be unbiased against FC. This equation can then be inverted to provide the following form for estimating FC,

$$FC = 80(I_C + C_{FC}) - 137$$
$$0\% \leq FC \leq 100\% \qquad (2.30)$$

where C_{FC} is a fitting parameter that can be adjusted based on site-specific data when available. The sign convention for C_{FC} is set opposite to that for the error term ε in Equation 2.29 so that a positive C_{FC} corresponds to a larger estimate of FC. The regression of I_c against FC was preferred over regressing FC directly against I_c because this is a calibration or inverse regression problem (e.g., Draper and Smith 1998). This expression with C_{FC} = 0.0, -0.29, and 0.29 (i.e., +/- an amount equal to the standard deviation in the general correlation) is shown in Figure 2.11. The curves envelope approximately 2/3 of the data points, as expected. The term C_{FC} can be calibrated to site specific data by regressing I_c against FC using the equation,

$$I_C = \frac{(FC + 137)}{80} - C_{FC} \qquad (2.31)$$

Figura 8-5

La DGR 630/2019 riporta la formula per la stima del contenuto in fine, in modo parziale (**FIGURA 8.6**):

FC è il contenuto di fine espresso in %. In assenza di determinazione sperimentale di laboratorio FC può essere stimato con l'espressione empirica:

$FC = 80\ I_c - 137$

in cui Ic è l'indice di classificazione del terreno da prova CPT proposto da Robertson (1990):

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q_n - 3.47)^2}$$

Figura 8-6

Nelle note a fondo pagina è indicato (**FIGURA 8.7**):

[2] L'espressione deriva dalla seguente correlazione tra I_c e FC proposta da Boulanger e Idriss (2014):
$Ic = [(FC+137)/80]-C_{FC}$ dove $(-C_{FC})$ è l'errore che, per il set di dati utilizzato dagli Autori, presenta media nulla e deviazione standard 0.29.
Qualora si disponga di dati specifici per il sito, il parametro C_{FC} può essere appositamente calibrato mantenendo la stessa forma funzionale (lineare) della suddetta correlazione, o forme funzionali differenti.
In mancanza di dati specifici per il sito, è lecito invece determinare FC dalla curva di regressione media ottenuta da Boulanger e Idriss (2014), ovvero assumere nella suddetta correlazione $C_{FC}=0$.

Figura 8-7

L'importanza di stimare il fattore di correzione del contenuto in fine C_{FC} sembra fondamentale per gli autori, al fine di utilizzare il loro metodo, Boulanger & Idriss 2014.

La stima del C_{FC} può essere fatta solo attraverso prelievo di campioni con misura in laboratorio del contenuto in fine reale, per cui in assenza di questo parametro, se si usa la sola prova penetrometrica statica per stimare il contenuto in fine, si perviene a risultati estremamente cautelativi per non dire molto penalizzanti.

Per il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione è stato utilizzato il software di calcolo dal nome C-Liq, versione 3.3.3.2. (**FIGURA 8.8**).



Figura 8-8

Questo software è in grado di elaborare le prove penetrometriche statiche a punta elettrica e con i relativi dati di imput è in grado di calcolare il fattore di sicurezza alla liquefazione e tutto ciò che concerne questo rischio.

Quindi utilizzando solo le penetrometrie CPTU, senza analisi granulometriche, si adotta un comportamento cautelativo.

La sintesi dei risultati è riportata nella **Tabella 8.1**. Il territorio comunale si conferma essere sostanzialmente stabile rispetto all'effetto di sito della liquefazione delle sabbie.

Potenziale Liquefazione I_{PL}	Classificazione
$I_{PL} = 0$	Non liquefacibile
$0 < I_{PL} \leq 2$	Basso
$2 < I_{PL} \leq 5$	Moderato
$5 < I_{PL} \leq 15$	Alto
$I_{PL} \geq 15$	Molto Alto

					Fs=1,2
					CFC=0,0
1. Marozzo		pga	falda	falda da utilizzare	IPL I&B 2014
U66-22	P224	0.16	1.50	1.50	0.21
2. Ospedale del Delta		pga	falda	falda	IPL I&B 2014
U90-19	P212	0.16	3.00	2.00	0.06
U88-20	P214	0.16	2.00	2.00	1.29
205020U508	P370	0.16	2.00	2.00	0.19
3. Paladon		pga	falda	falda	IPL I&B 2014
U94-22_2	P448	0.13	2.40	2.00	0.03
U10-17	P203	0.13	2.40	2.00	0.04
U108-15_1	P198	0.13	2.80	2.00	0.02
U108-15_2	P199	0.13	2.80	2.00	0.00
U62-23	P464	0.13	2.60	2.00	0.00
U116-20	P215	0.13	1.90	1.90	0.28
U57-18	P208	0.13	3.50	2.00	0.02
4. Municipio		pga	falda	falda	IPL I&B 2014
U45-22	P223	0.12	2.30	2.00	0.00
U72-16	P200	0.12	2.40	2.00	0.00
U70-19	P211	0.12	2.80	2.00	0.00
U49-12	P191	0.12	2.00	2.00	0.00
U94-22_1	P447	0.12	3.20	2.00	0.00
U26-20	P216	0.12	2.40	2.00	0.00
5. Ponte Piazza Vittorio Veneto		pga	falda	falda	IPL I&B 2014
U110-21	P219	0.12	2.70	2.00	0.00
U46-20	P217	0.12	2.40	2.00	0.00
U73-13	P194	0.12	1.20	1.20	0.10
205020U513	P374	0.12	1.50	1.50	0.00
U41-17	P204	0.12	1.60	1.60	0.00
U78-14	P197	0.12	2.00	2.00	0.03
U54-19_1	P209	0.12	1.10	1.10	0.00
U54-19_2	P210	0.12	1.10	1.10	0.01
205020U517	P377	0.12	1.50	1.50	0.03
U25-20	P218	0.12	1.00	1.00	0.09
205020U514	P375	0.12	1.50	1.50	0.00
U57-14	P196	0.12	2.50	2.00	0.01
205060U503	P297	0.12	2.00	2.00	0.00
205020U512	P373	0.12	2.00	2.00	0.00
6. Boschetto		pga	falda	falda	IPL I&B 2014
U56-24	P465	0.11	1.50	1.50	0.00
205020U515	P376	0.11	2.00	2.00	0.00
205020U506	P369	0.11	2.00	2.00	0.00
205030U508	P380	0.11	2.00	2.00	0.00
205020U510	P372	0.11	1.20	1.20	0.00
U24-21	P220	0.11	1.20	1.20	0.00
U09-19	P213	0.11	2.30	2.00	0.00
7. Vaccolino		pga	falda	falda	IPL I&B 2014
U131-21	P222	0.11	1.20	1.20	0.00
U34-21	P221	0.11	2.40	2.00	0.00

Tabella 8-1 *IPL – Indice del potenziale di liquefazione*
(Calcolato con la metodologia Boulanger & Idriss 2014 con C.F.C.=0)

8.2. CARTA DELL'INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Le Carte di microzonazione sismica di III Livello – Indice del potenziale di Liquefazione IPL sono calcolate utilizzando il metodo Boulanger & Idriss 2014 e vengono riprodotte in scala 1:10.000, interessando le aree di interesse concordate con l'amministrazione comunale.

Le carte dell'indice del potenziale di liquefazione sono state realizzate attraverso tutte le prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU), sia bibliografiche estrapolate dall'archivio della regione Emilia Romagna sia realizzate dallo scrivente, presenti sul territorio comunale di Lagosanto. Ad ogni punto d'indagine realizzato sul territorio corrisponde un diverso colore in funzione del valore del potenziale di liquefazione stimato con il calcolo; inoltre per ogni indagine presente sul territorio comunale viene riportato il valore puntuale di I_{PL} (**FIGURA 8.9**)



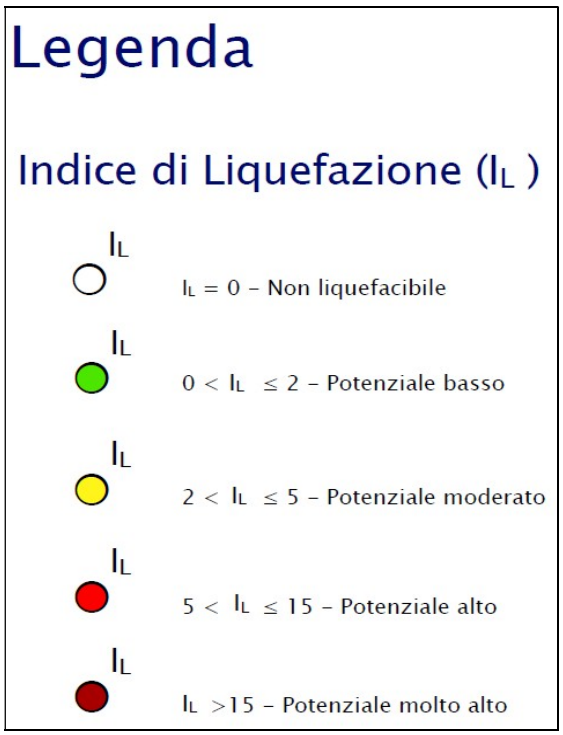


Figura 8-9 *Legenda carta dell'Indice del Potenziale di Liquefazione*

L'indice del potenziale di liquefazione è un valore adimensionale che parte da 0 ed esprime il grado di pericolosità dovuto a liquefazione delle sabbie in caso di sisma. Sulla base dei valori di questo indice si esprime una diversa classificazione del potenziale di liquefazione (**Tabella 8.2**).

Indice del Potenziale di Liquefazione I_L	**Classificazione D.G.R. 2245 del 2018**	**Colori nella carta**
0,00	*Rischio di liquefazione nullo*	*Verde scuro*
0,00 ≤ 2,00	*Rischio di liquefazione basso*	*Verde chiaro*
2,00 ≤ 5,00		*Giallo*
5,00 ≤ 15,00	*Rischio di liquefazione elevato*	*Arancione*
≥15,00	*Rischio di liquefazione estremamente elevato*	*Rosso scuro*

Tabella 8-2 - *Classificazione dell'indice del potenziale di liquefazione*

Per il calcolo dell'indice di liquefazione sono stati considerati gli esiti degli studi di III livello, ove sono stati determinati i fattori di amplificazione, riportati in **Tabella 8.3**.

	ΔT (sec)	Marozzo Impianti Idrovori	Valle Oppio Ospedale del Delta	Lagosanto PalaDon	Lagosanto Municipio	Lagosanto Ponte Piazza Matteotti	Boschetto Corte Cantelli	Vaccolino Area Produttiva
PGA/PGAo		1.75	1.63	1.38	1.3	1.26	1.33	1.33
PGAo		0.09	0.098	0.095	0.096	0.096	0.082	0.080
PGA		0.158	0.160	0.131	0.125	0.121	0.109	0.106

Tabella 8-3

La Magnitudo di progetto, come da studi di II Livello, è stata considerata pari a Mw=5,30. Il livello freatico di tutte le indagini realizzate è stato adeguato a -2m dal p.c. ove compariva nei certificati di prova a profondità maggiori, mentre per profondità minori di -2m indicati nei certificati è stata inserito il valore da certificato di prova.

Nella Carta dell'indice di liquefazione (Boulanger & Idriss 2014 senza fattore di correzione C_{FC}) si rileva che il territorio comunale di Lagosanto è caratterizzato da un indice di liquefazione "**nullo**" o "**basso**".

Ha fatto eccezione solo la prova U66-22 (archiviata come P224), posta a nord ovest del territorio comunale, ove i fattori di amplificazione derivati dalla RSL (Marozzo impianto idrovoro) hanno dato i massimi di tutto il territorio; in questo caso utilizzando la PGA di superficie della zona, applicando il fattore rd che tiene conto della sola profondità, per calcolare la curva di CSR7,5, si è ottenuto un IPL=2,06 (**FIGURA 8-10**). Ma se si utilizza la curva SRP (stress ratio profile), che tiene conto della PGA ad ogni profondità nei primi 20m, in funzione del comportamento geotecnico in campo dinamico dei vari strati di terreno, al fine di disegnare la curva CSR7,5 allora il valore di IPL scende a 0,21 (**FIGURA 8-11**), allineandosi a quelli di tutto il resto del territorio comunale.

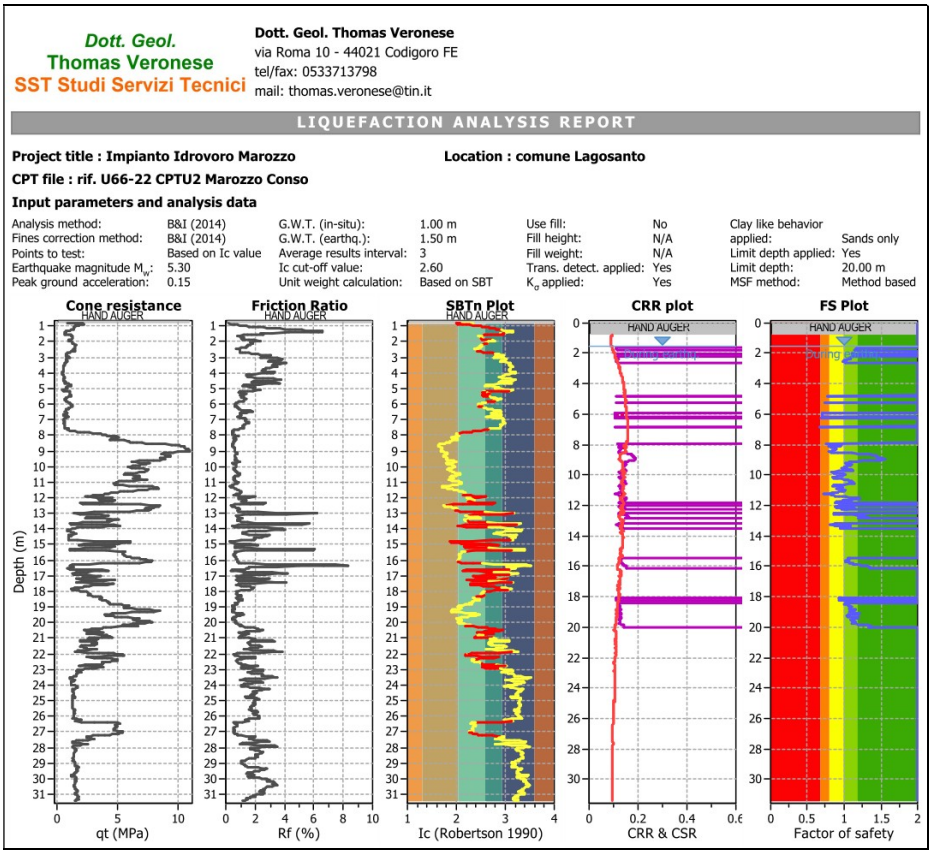


Figura 8-10 *"Analisi che non tiene conto del profilo di PGA calcolato con la RSL, ma tiene conto solo del valore di PGA in superficie, e per rappresentare la CSR7,5 ricorre al semplice fattore geometrico rd."*

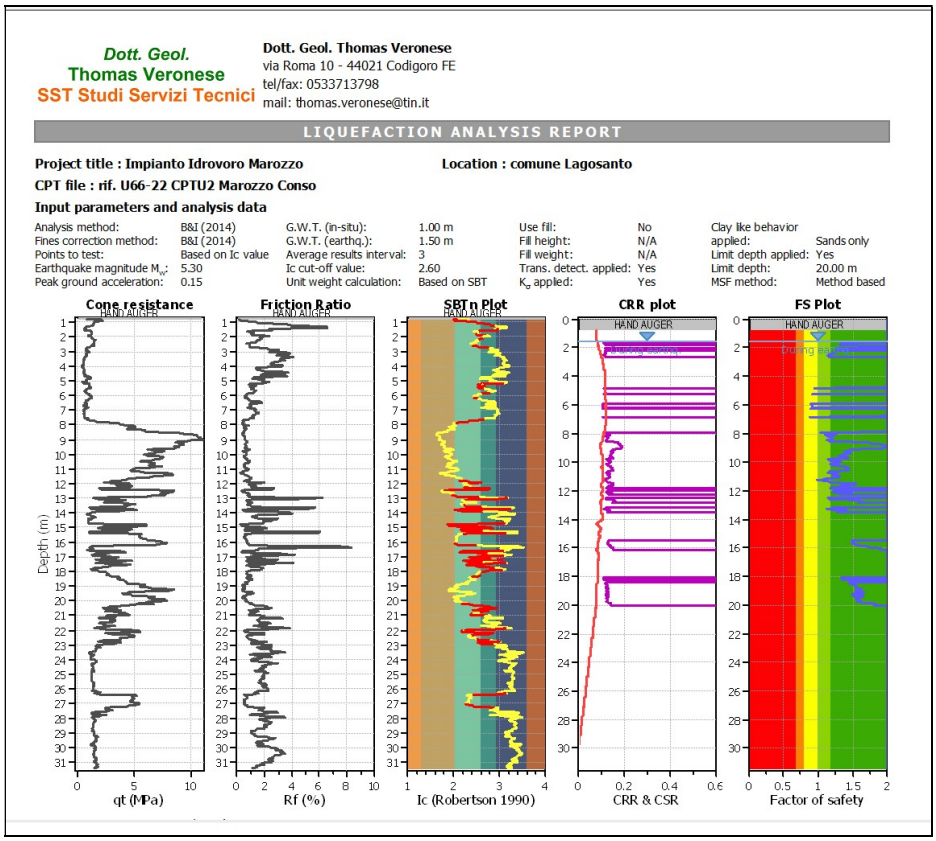


Figura 8-11 *"Analisi che tiene conto del profilo di PGA calcolato con la RSL, per disegnare la curva CRR7,5"*

È ovvio che se avvengono terremoti con energie e quindi tempi di ritorno più alti rispetto a quelli convenzionali per gli studi di microzonazione sismica, oppure se avvengono nel giro di pochi minuti, più sismi importanti, che provocano una somma delle relative sovrapressioni neutre interstiziali indotte, qui ci sono tutti i caratteri predisponenti per l'effetto di sito della liquefazione.

Comunque nella progettazione come nella pianificazione territoriale occorre scegliere delle soglie di eventi per cui progettare in modo sostenibile per la comunità, sarebbe bello e utile progettare opere ordinarie che resistono ad eventi estremi, ma non sarebbe sostenibile economicamente e socialmente.

Gli studi di microzonazione sismica sono un elemento fondamentale del quadro conoscitivo preliminare alla pianificazione territoriale.

Codigoro, lì 28/01/2025

Dott. Geol. Thomas Veronese