



**REGIONE TOSCANA**  
DIREZIONE DIFESA DEL SUOLO E PROTEZIONE CIVILE  
SETTORE GENIO CIVILE VALDARNO SUPERIORE

**Mitigazione del rischio idraulico per l'abitato di Firenze.  
Sistemazione delle difese idrauliche esistenti nel  
tratto dalla Nave a Rovezzano al Ponte S.Trinita.**

**PROGETTO PRELIMINARE**

DIRIGENTE RESPONSABILE DEL CONTRATTO  
Ing. Gennarino Costabile

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
Ing. Simone Nepi

UFFICIO DI PROGETTAZIONE

PROGETTISTI

Geol Pierluigi BALLERINI  
Ing. Francesca BARZAGLI  
Geom. Francesco DEL VECCHIO  
Geom. Luigi DI PACO  
Geom. Gianluca GIOINO  
Ing. Andrea NAVARRIA  
Ing. Valentina NENCINI  
Ing. Alessio PAOLETTI

ADEMPIMENTI AMMINISTRATIVI

Riccardo ROCCI  
Sandra Gigli

OGGETTO ELABORATO

**10 INDAGINI GEOFISICHE**

AGOSTO 2021

Firenze - Via San Gallo, 34/A - 50129 - Tel. 055/4622711





UNENISO 9001:2008  
Certificato n° 50 100 8442

PROSEZIONI GEOFISICHE PER L'ESPLORAZIONE,  
LO STUDIO E LA CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO

**GEORISORSE**  
ITALIA

COMUNE DI FIRENZE  
PROVINCIA DI FIRENZE

INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER  
LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA  
SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO  
ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE

Committente:



REGIONE TOSCANA

GENIO CIVILE VALDARNO SUPERIORE

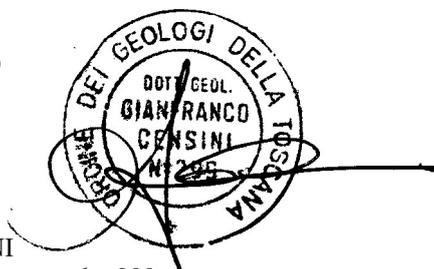
CIG: 8327312B3E  
CUP: D16B20000760002

Direzione indagine geologica:  
Dott. Geol. PIERLUIGI BALLERINI

RAPPORTO TECNICO  
ARCHIVIO 2484/20

Rapporto tecnico di:  
GIANFRANCO CENSINI

Iscritto all'Ordine dei Geologi della Toscana al n.299  
Platinum member of European Association of Geoscientists and Engineers  
Geophysical Division al n.M1987-093



Sinalunga, Novembre 2020

GEORISORSE ITALIA di G. Censini & C. s.a.s  
Via E. Fermi, 8 – 53048 SINALUNGA (SI)  
Tel. 0577.67.99.73 – Fax 0577.63.20.96

[www.georisorse.it](http://www.georisorse.it) – [info@georisorse.it](mailto:info@georisorse.it) - [georisorse.italia@pec.it](mailto:georisorse.italia@pec.it)



## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. INDAGINI ESEGUITE.....</b>	<b>4</b>
<b>3. DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELLE INDAGINI .....</b>	<b>6</b>
3.1- INDAGINI GEOFISICHE.....	6
3.1.1 – SISMICA A RIFRAZIONE CON ELABORAZIONE TOMOGRAFICA.....	6
3.1.1.1 - ACQUISIZIONE DATI.....	6
3.1.1.2 - ELABORAZIONE DATI .....	10
PICKING.....	10
ELABORAZIONE TOMOGRAFICA .....	15
3.1.2 INDAGINE SISMICA PUNTUALE (SPV=Sonic seismic Pulse Velocity).....	19
3.1.3 – DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA GEORADAR.....	20
3.1.3.1 - ACQUISIZIONE DATI GEORADAR.....	24
<b>4. INTERPRETAZIONE DEI DATI .....</b>	<b>25</b>
4.1 RISULTATI DALLE INDAGINI GEOFISICHE .....	25
4.1.1 <i>rISULTATI OTTENUTI DALLE INDAGINI SISMICHE</i> .....	25
4.1.2 <i>RISULTATI OTTENUTI DALL'ESPLORAZIONE GEORADAR</i> .....	28
ELABORAZIONE BIDIMENSIONALE.....	28
ELABORAZIONE TRIDIMENSIONALE.....	31
<b>5. INDAGINI DIRETTE SUGGERITE .....</b>	<b>34</b>
<b>6. CONCLUSIONI.....</b>	<b>39</b>

ALLEGATI:

N°10 TAVOLE ALLEGATE (FORMATO A1)

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



## 1. PREMESSA

Nei mesi compresi tra Luglio e Settembre 2020, GEORISORSE ITALIA sas, per conto della “Regione Toscana – Genio Civile Valdarno Superiore” e sotto la direzione di indagine geologica del Dott. Geol. Pierluigi Ballerini, ha eseguito una campagna d’indagini geofisiche mediante metodologie sismica ad onde P (eseguita con diverse modalità) e la tecnica Georadar, o GPR (Ground Penetrating Radar).

L’area d’indagine è collocata in destra idrografica del Fiume Arno, in due aree distinte. La prima è collocata presso i muraglioni di Lungarno degli Acciaiuoli (compresa tra Ponte Trinità e Ponte Vecchio) e la seconda presso i muraglioni di Lungarno delle Grazie (tra Ponte delle Grazie e Piazza dei Cavalleggeri).

Di seguito si riporta l’immagine estratta da Google Maps, con evidenziate le due aree d’indagine.



Gli interventi eseguiti nella presente indagine si sono resi necessari al fine di avere un quadro geologico/geofisico dei terreni presenti al di sotto dei muraglioni di Lungarno degli Acciaiuoli e di Lungarno delle Grazie, di valutare le caratteristiche e

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------

 <p>REGIONE TOSCANA GENIO CIVILE VALDARNO SUPERIORE</p>	<p>INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE</p>	 <p>Rapporto n. 2484/20 Pag. 3</p>
---	---	--

lo stato di compattezza/consistenza dei muraglioni stessi, nonché indicare la presenza di eventuali situazioni anomale al loro interno.

In particolare sono state eseguite indagini finalizzate alla esplorazione dei terreni di fondazione dei muraglioni stessi, ma, per evitare interferenze con le opere di fondazione esistenti, sono state effettuate in alveo, in adiacenza alla riva del Fiume.

Le indagini specifiche sui Muraglioni sono state eseguite su un tratto di 220 m del Lungarno degli Acciaiuoli e su un tratto di 200m del Lungarno delle Grazie. In ognuno sono state eseguite 3 tomografie sismiche trasversali per ricostruire la struttura del muraglione, della sua base di appoggio e della situazione retrostante il muraglione stesso.

Lungo i tratti in questione, inoltre, sono state eseguite misure sismiche puntuali (SPV= Sonic seismic Pulse Velocity) ed indagini Georadar con antenna ad 800MHz lungo linee verticali (dal basso verso l'alto del muraglione) ed orizzontali (a differenze altezze da terra).

L'Ubicazione delle aree in cui sono state eseguite le indagini in oggetto è riportata nella **Tavola 00**. Maggiori dettagli sulla posizione delle varie indagini e sulle modalità operative vengono dati nei capitoli specifici.

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------

 <p>REGIONE TOSCANA GENIO CIVILE VALDARNO SUPERIORE</p>	<p>INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE</p>	 <p>Rapporto n. 2484/20 Pag. 4</p>
---	---	--

## 2. INDAGINI ESEGUITE

Come previsto dall'incarico, le attività di indagine hanno comportato le seguenti operazioni:

### INDAGINI SISMICHE:

- N. 3 PROFILI con onde P eseguiti sul letto del fiume Arno, in prossimità della sponda in destra idrografica acquisiti con 24 idrofoni a cadenza di 5 m (lunghezza di 115 m, ciascuno) PR-1 (Lungarno Acciaiuoli), PR-2 (Lungarno Diaz), PR3 (Lungarno delle Grazie);
- N. 6 PROFILI IN PARETE ad onde P eseguiti verticalmente sul muraglione, partendo dalla prossimità del Fiume Arno fino alla soprastante sede stradale del Lungarno, eseguiti, ognuno, con 24 geofoni a cadenza di 0.5 m (lunghezza di 11.5 m, ciascuno) SL-1\_SL-2\_SL-3 (Lungarno Acciaiuoli) SL-4\_SL-5\_SL-6 (Lungarno delle Grazie).
- N. 440 PUNTI RILIEVO SISMICO SONICO effettuato sulla verticale del muraglione con dispositivo a due sensori posti a distanza fissa di 60 cm. Le misure sono state eseguite ogni 2 metri nell'asse orizzontale su due livelli paralleli e distanti 1 metro. I risultati coincidono con due mappe delle velocità sismiche, una per il muraglione di Lungarno Acciaiuoli (220 punti di misura) e l'altra per il muraglione di Lungarno delle Grazie (200 punti di misura).

### INDAGINI GEORADAR:

I due muraglioni di Lungarno Acciaiuoli e di Lungarno delle Grazie sono stati indagati con profili georadar secondo le due direzioni, una verticale, dalla base del muro fino alla sommità e una orizzontale ad altezze comprese tra 1.2-2.2 metri dal piede del muro. Nel complesso sono stati realizzati 1758 metri di profili così distinti:

“Lungarno Acciaiuoli”

- N°100 profili verticali con antenna da 800 MHz ogni 2 metri (312.2m)
- N°31 profili con antenna da 800 MHz ogni 0.5 metri (601.6m)

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------

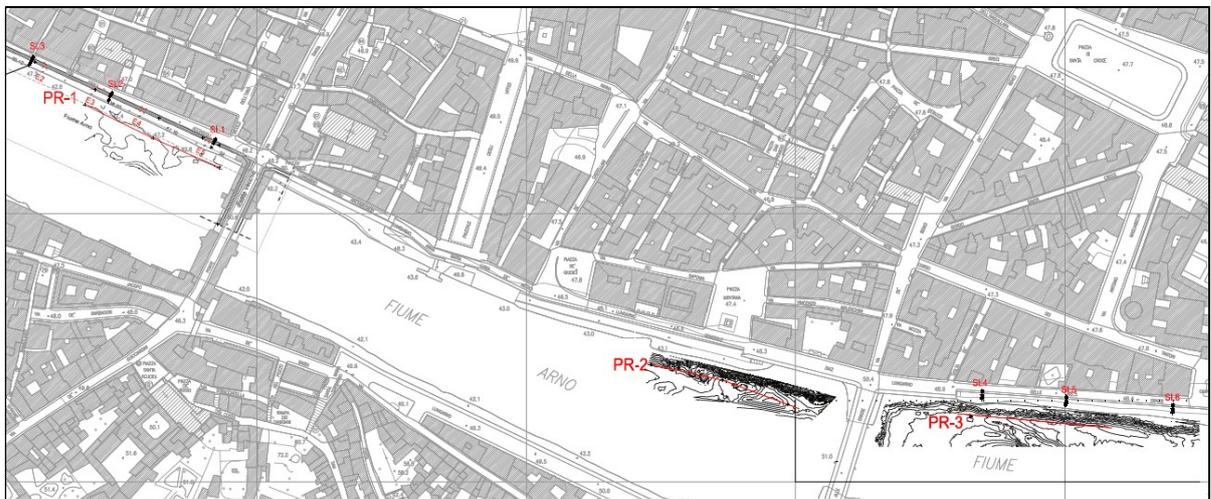


### “ Lungarno delle Grazie”

- N°101 profili verticali con antenna da 800 MHz ogni 2 metri (389.2m)
- N°27 profili con antenna da 800 MHz ogni 0.5 metri (455.1 m)

Di seguito si riportano alcuni stralci dei vari piani di posizione sia della indagini sismiche che di quelle con georadar (si vedano anche **Tavola-00** e **Tavola-04**).

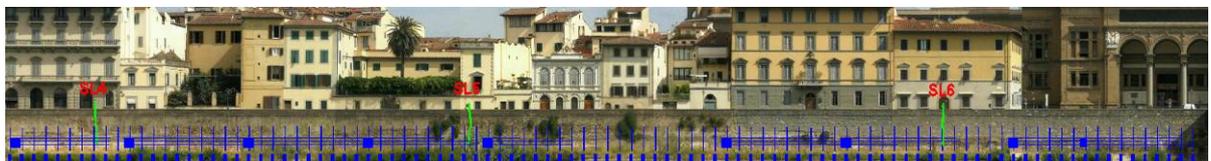
### Indagini sismiche



Indagini georadar Lungarno Acciaiuoli



Indagini georadar Lungarno delle Grazie



I risultati ottenuti con la presente indagine vengono descritti in questo rapporto ed illustrati nelle n.10 Tavole allegare in formato A1.

Data: Novembre 2020	2484-Muragliono dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------

 <p>REGIONE TOSCANA GENIO CIVILE VALDARNO SUPERIORE</p>	<p>INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE</p>	 <p>Rapporto n. 2484/20 Pag. 6</p>
---	---	--

### 3. DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELLE INDAGINI

#### 3.1- INDAGINI GEOFISICHE

Le indagini geofisiche, sia di tipo “sismico” che georadar, sono state eseguite con lo scopo di caratterizzare i muraglioni e i relativi terreni di appoggio nelle due aree interessate.

Nello specifico l'indagine sismica a rifrazione con elaborazione tomografica rappresenta un valido aiuto nella caratterizzazione dei terreni e dei manufatti in termini di compattezza. L'indagine Georadar, invece, permette una identificazione puntuale delle anomalie eventualmente presenti all'interno della struttura muraria.

##### 3.1.1 – SISMICA A RIFRAZIONE CON ELABORAZIONE TOMOGRAFICA

###### 3.1.1.1 - ACQUISIZIONE DATI

I profili sismici si eseguono disponendo sul terreno una serie di sensori (geofoni), ad intervallo costante, che poi vengono collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare. Nel presente caso, oltre ai classici sensori (geofoni) utilizzati per realizzare i profili SL-1-2-3-4-5-6 che hanno interessato i muraglioni, si sono utilizzate anche due catene di idrofoni (sensori da acqua) per realizzare i profili PR-1-2-3.

Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive in corrispondenza di punti prestabiliti lungo i profili: nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger).

Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con campionamento ad intervallo costante e predeterminato, dei segnali ricevuti dai sensori.

Nella presente indagine è stato utilizzato il sismografo digitale DAQLink III della “Seismic Source” in configurazione da 24 canali

Per i profili eseguiti sui muraglioni, come sistema di energizzazione è stata utilizzata un mazzetta da 3 Kg battente su una piastra in materiale sintetico, mentre per i profili eseguiti in acqua in prossimità delle sponde del Fiume Arno è stato

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



utilizzato un “cannoncino” idraulico per generare lo scoppio. La dinamica di campionamento digitale a 24 bit del sismografo e l’energia utilizzata per i vari punti di tiro hanno consentito una buona qualità delle registrazioni lungo tutti i profili in entrambi i casi.

Di seguito si riportano alcune immagini che illustrano le varie fasi d’acquisizione di campagna.

### Acquisizione della sismica verticale



### Acquisizione della sismica verticale

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



REGIONE TOSCANA

GENIO CIVILE  
VALDARNO SUPERIORE

INDAGINI GEOFISICHE  
MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO  
DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA  
SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO  
ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE



Rapporto n. 2484/20

Pag. 8



**Geofoni in parete**

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



REGIONE TOSCANA

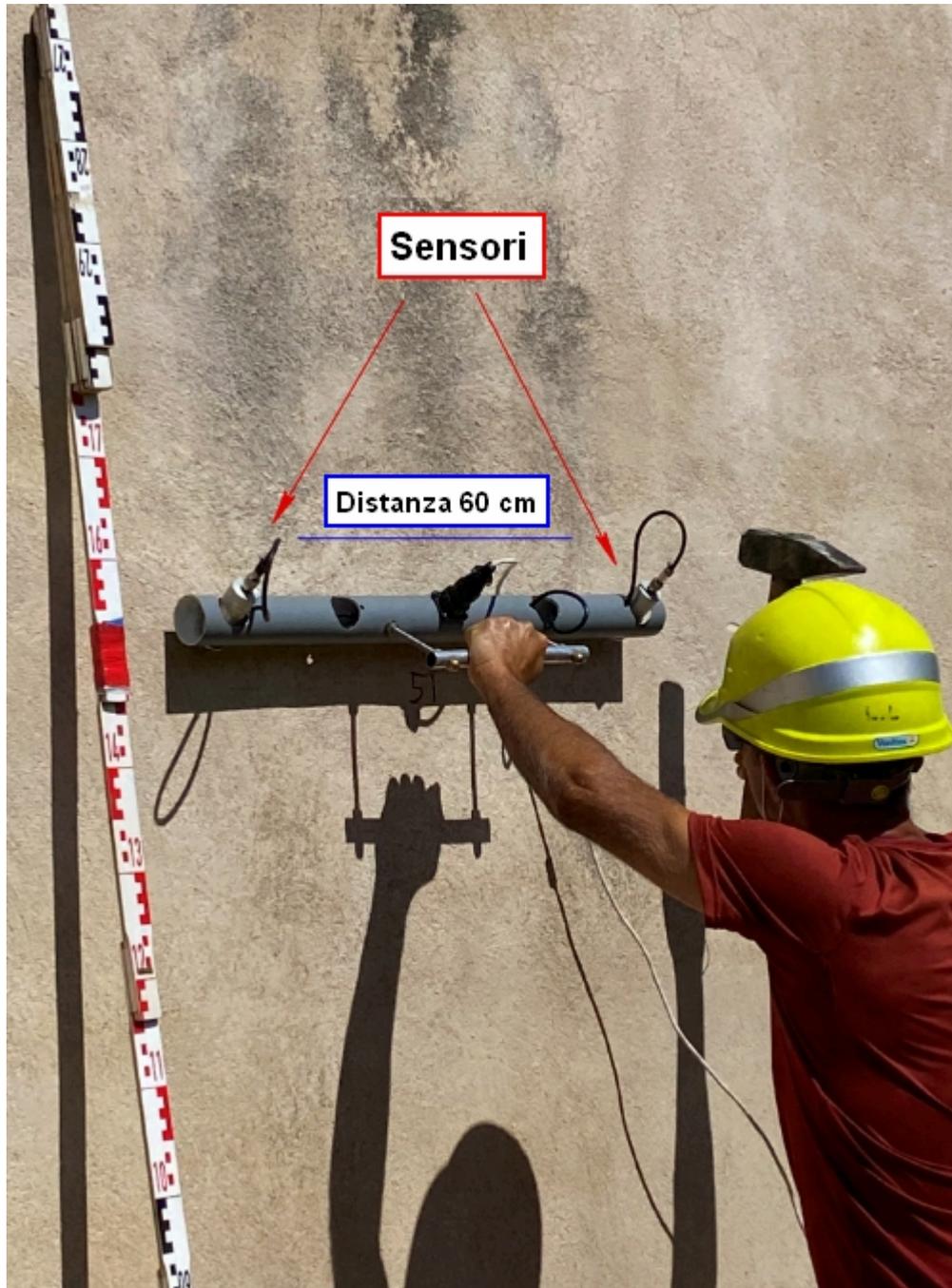
GENIO CIVILE  
VALDARNO SUPERIORE

INDAGINI GEOFISICHE  
MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO  
DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA  
SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO  
ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE



Rapporto n. 2484/20  
Pag. 9

### Acquisizione SPV



Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



### 3.1.1.2 - ELABORAZIONE DATI

#### PICKING

La determinazione degli istanti di primo arrivo è stata effettuata mediante l'ausilio del software Reflexw versione 7.0 che permette la visualizzazione ed eventuale miglioramento del segnale mediante tecniche di filtraggio digitale.

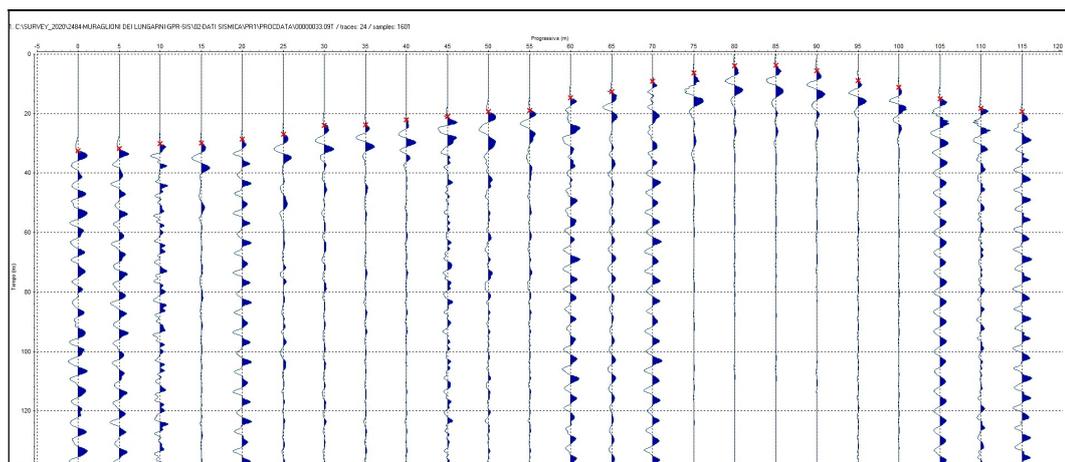
In genere si è proceduto alla regolarizzazione della scala di ampiezza della traccia, al filtraggio di rumori ad alta frequenza e/o a bassa frequenza oltre alla eliminazione di componenti monotoni a 50 Hz derivanti da linee elettriche presenti nelle vicinanze.

Queste operazioni hanno portato a notevoli miglioramenti dei sismogrammi acquisiti. Nelle pagine seguenti vengono riportate delle immagini relative ai risultati dopo tali elaborazioni, dove viene indicato il punto selezionato come istante di primo arrivo delle vibrazioni per ciascuna traccia.

Questa selezione è stata effettuata manualmente con l'ausilio della funzione "PHASE FOLLOWER" di Reflexw che, laddove i segnali sono chiari, porta alla individuazione dello stesso segnale selezionato nelle tracce successive a quella in cui è stato individuato con chiarezza.

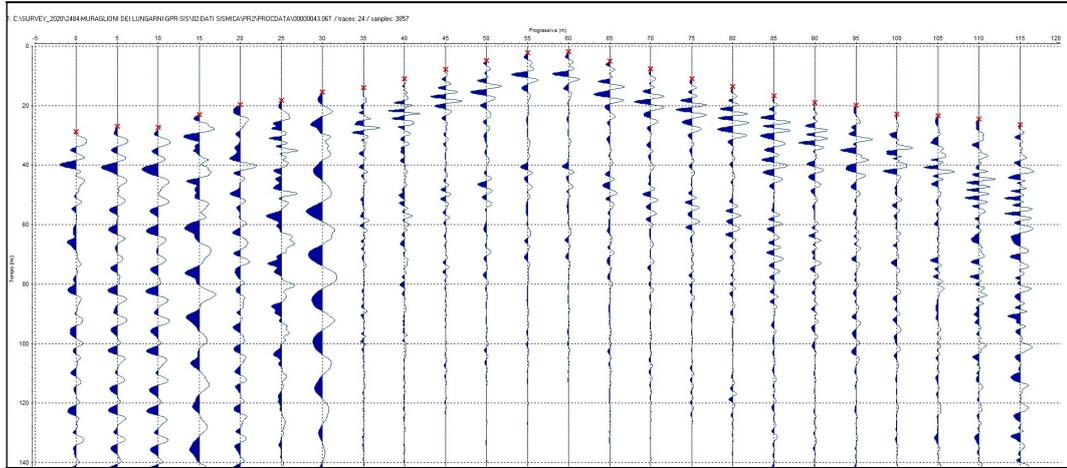
Nelle pagine seguenti si riportano alcune immagini d'esempio del picking eseguito sia nei profili sul letto del fiume che sui profili in parete.

Profilo PR-1 alla progressiva 82 (m)

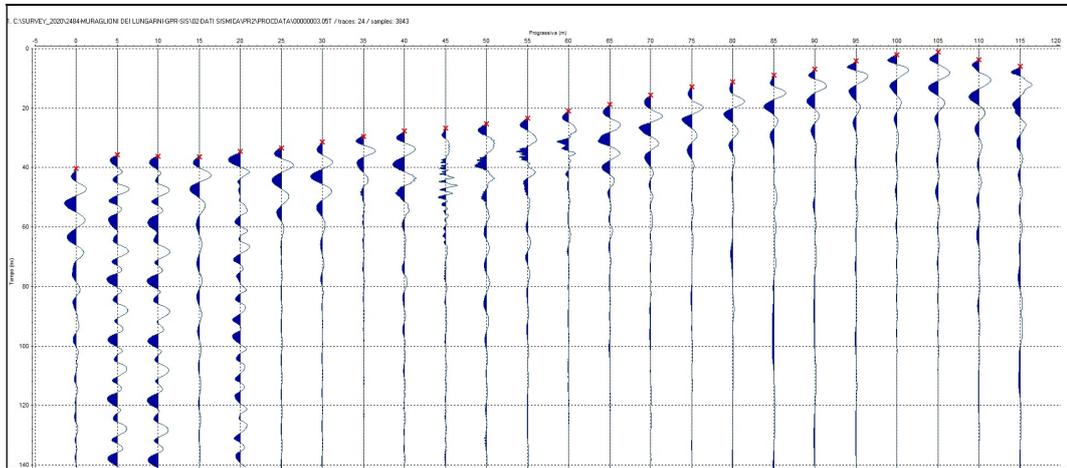


Profilo PR-2 alla progressiva 57.5 (m)

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



Profilo PR-2 alla progressiva 103 (m)



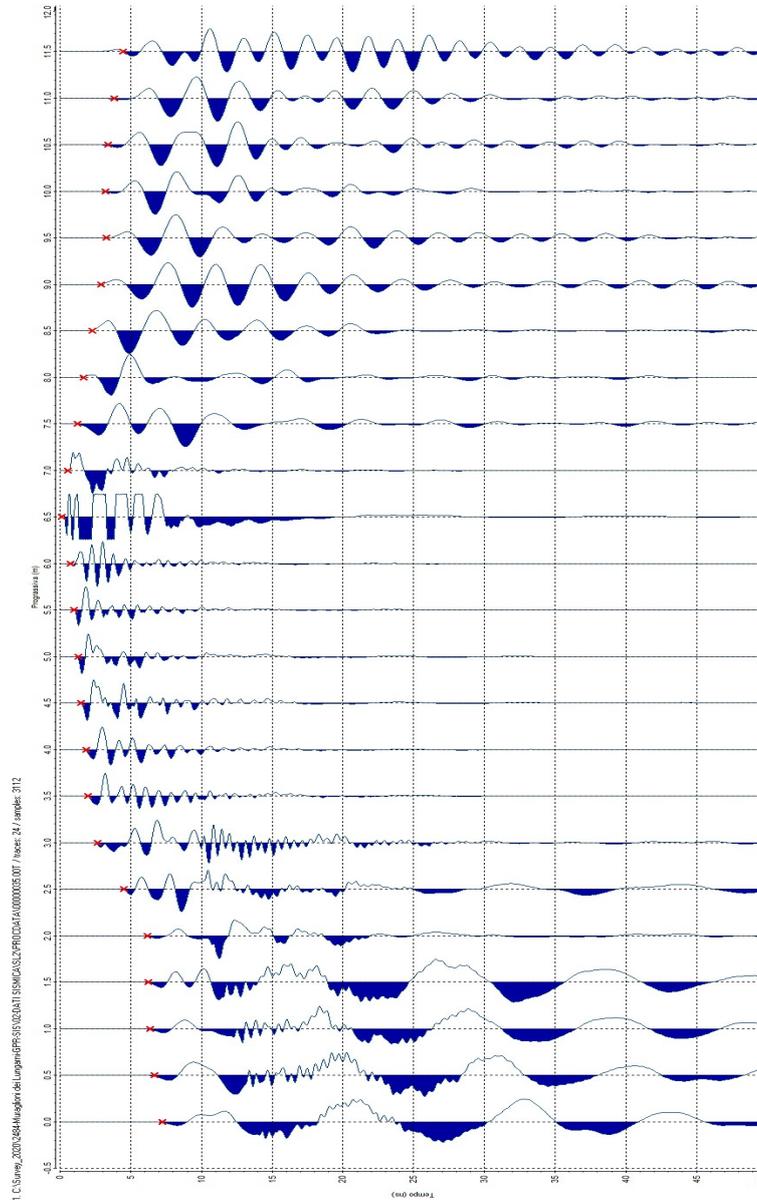
Profilo PR-3 alla progressiva 107 (m)



Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------

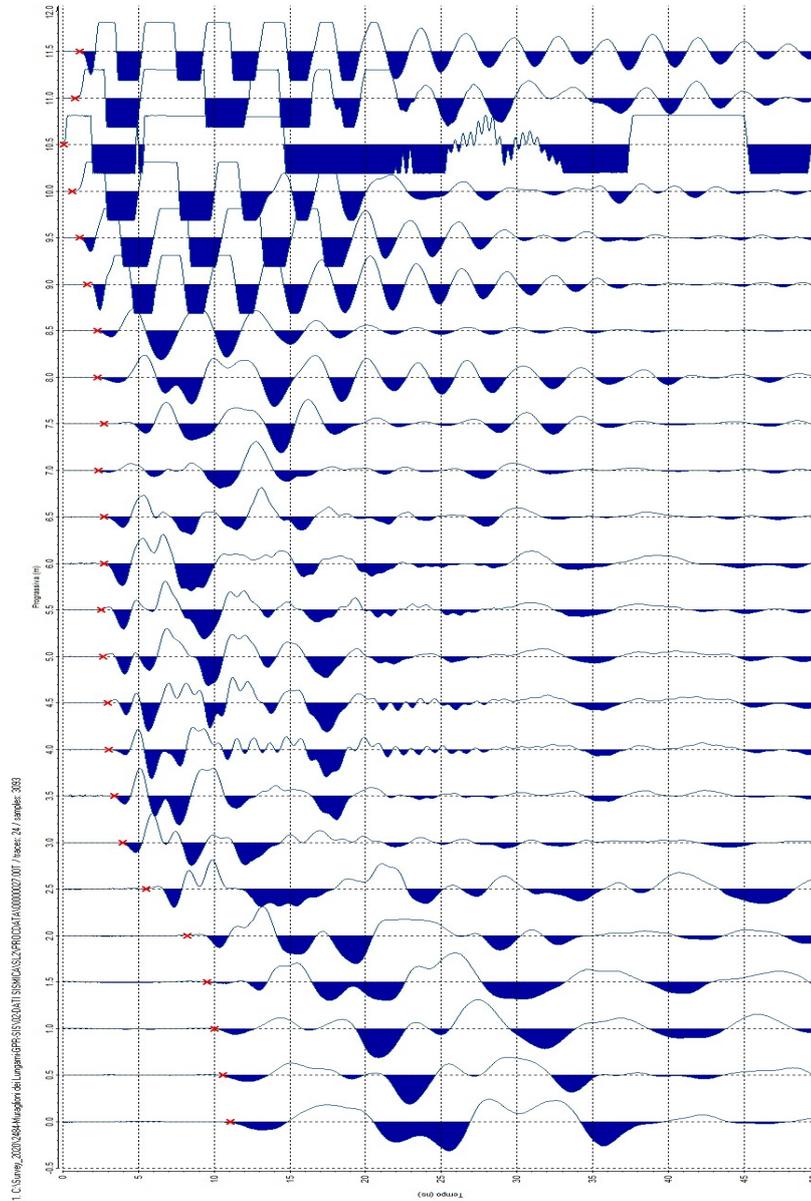


### Profilo SL2 tiro al geofono 14



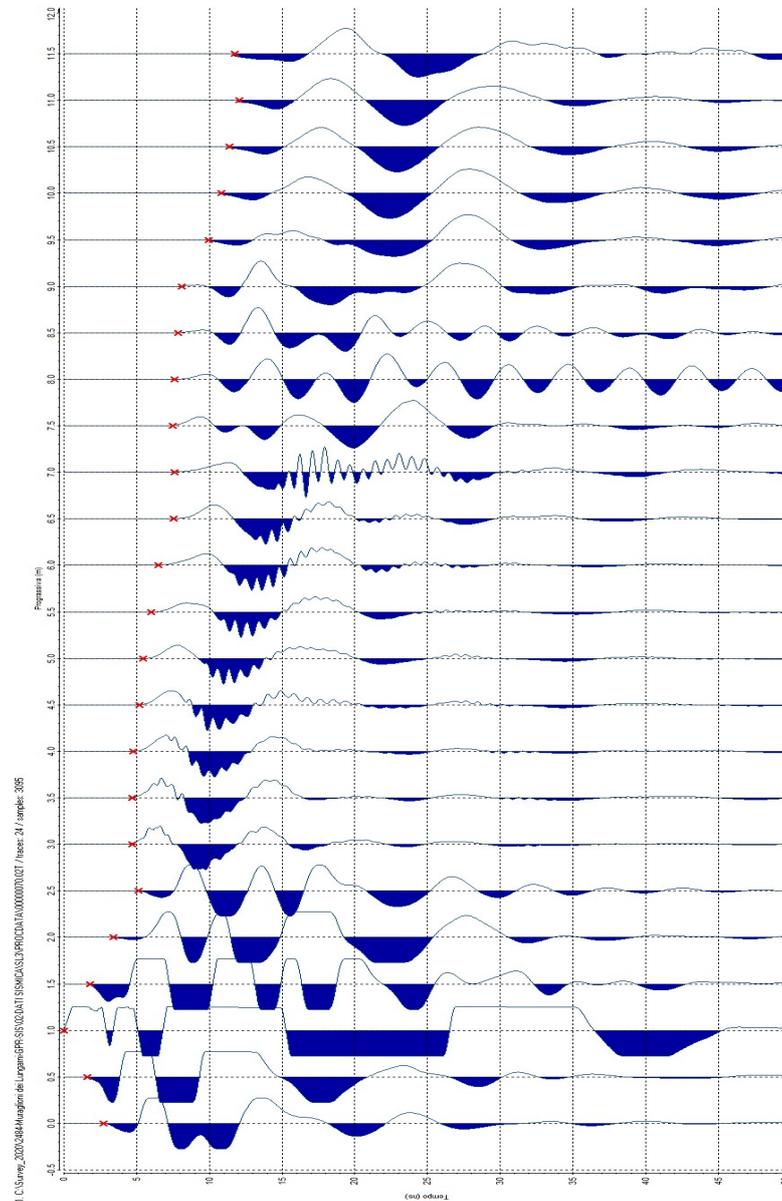


### Profilo SL2 tiro al geofono 22





### Profilo SL3 tiro al geofono 3



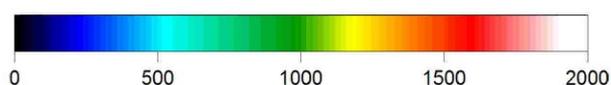
Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------

## ELABORAZIONE TOMOGRAFICA

Partendo dai dati del picking è stata effettuata l'elaborazione tomografica con il software RAYFRACCT che parte da un modello iniziale generato con la tecnica Deltat-V. Successivamente viene effettuata l'inversione iterativa del modello con la tecnica WET (Wavepath Eikonal Traveltime tomography processing) che analizza la propagazione dei vari fronti d'onda generati nei punti di tiro fino ad ogni geofono.

Il modello stratigrafico ottenuto come insieme di elementi caratterizzati da una specifica velocità viene quindi rappresentato mediante il contour a linee di isovelocità. La colorazione dei vari elementi secondo una scala cromatica riferita ad una predefinita sequenza di velocità facilita l'immediata visione dei risultati.

Nel caso specifico le tomografie ottenute, allegate nelle **Tavole 02-03-04-05-06-07**, vengono rappresentate mediante curve isovelocità ad intervallo di 200 m/sec ed una scala cromatica (vedi immagine sottostante) che va dal blu scuro per i valori bassi passando poi al celeste, poi al verde, poi al giallo poi al rosso ed infine al bianco per i valori massimi pari e superiori a 2.000 nella zona in esame.

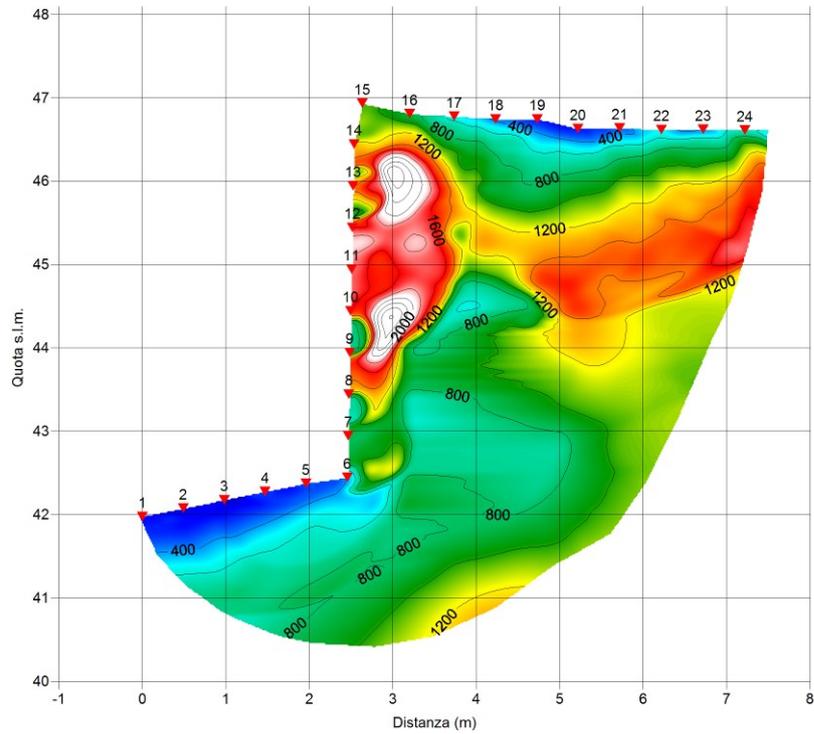


Nelle figure seguenti si riportano i risultati ottenuti per i profili SL1-SL2-SL3-SL4-SL5-SL6, ad onde P (indagini non in scala):

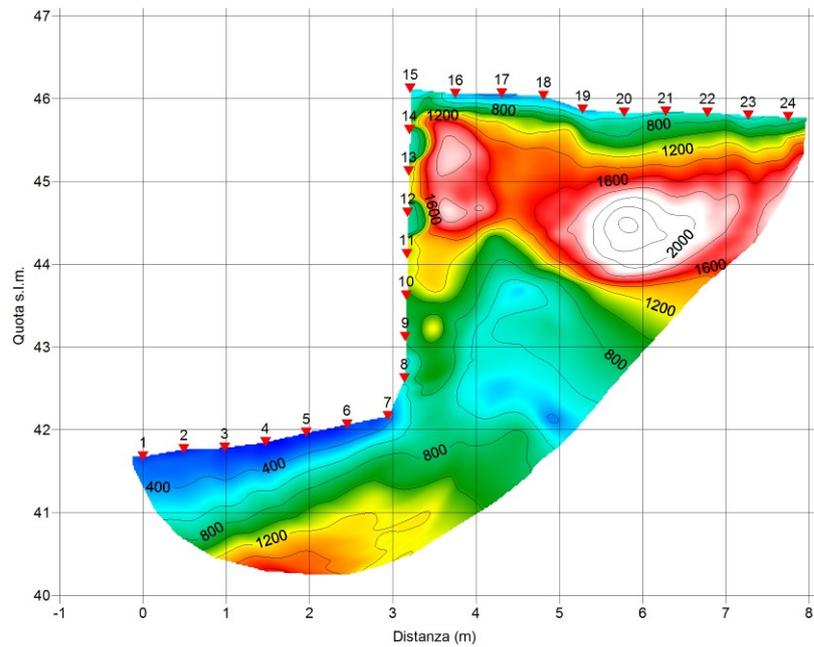
Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



### Tomografia SL1

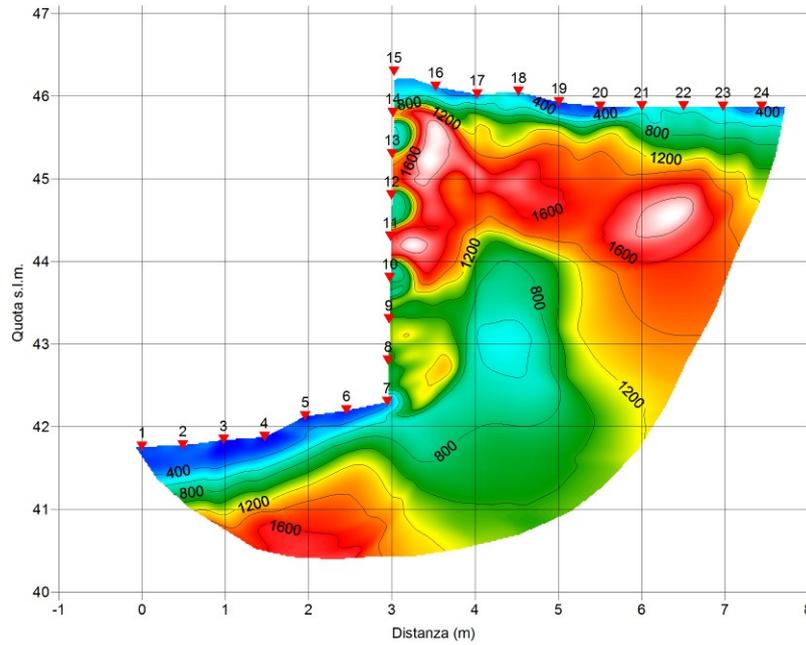


### Tomografia SL2

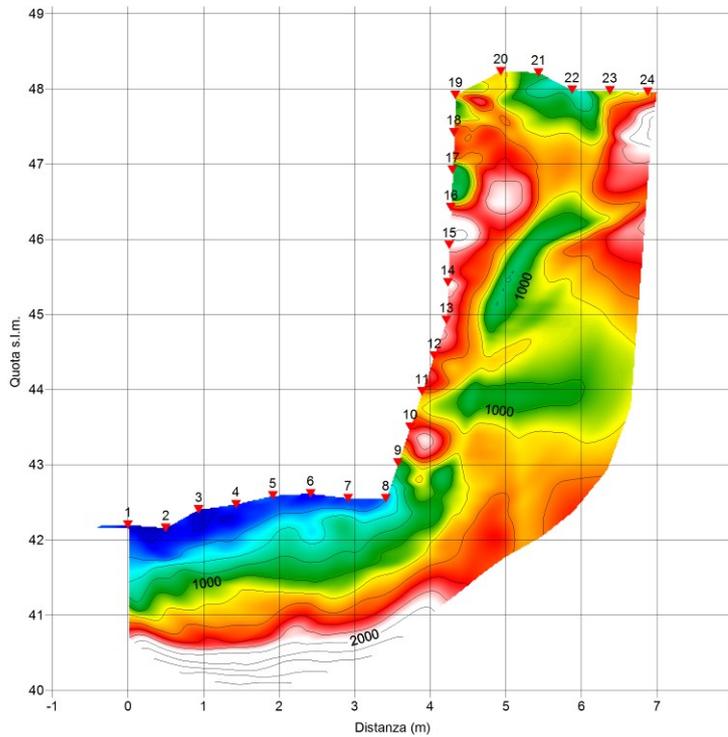


### Tomografia SL3

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------

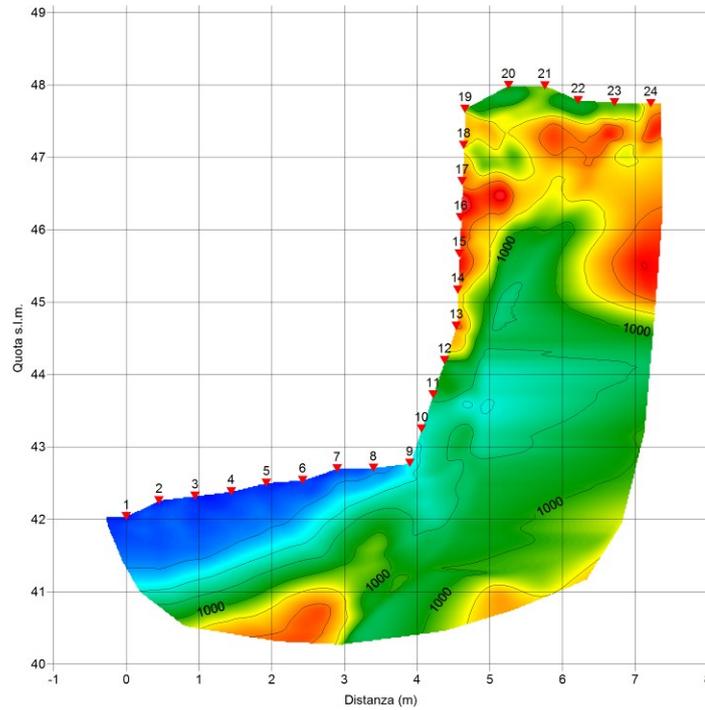


Tomografia SL4

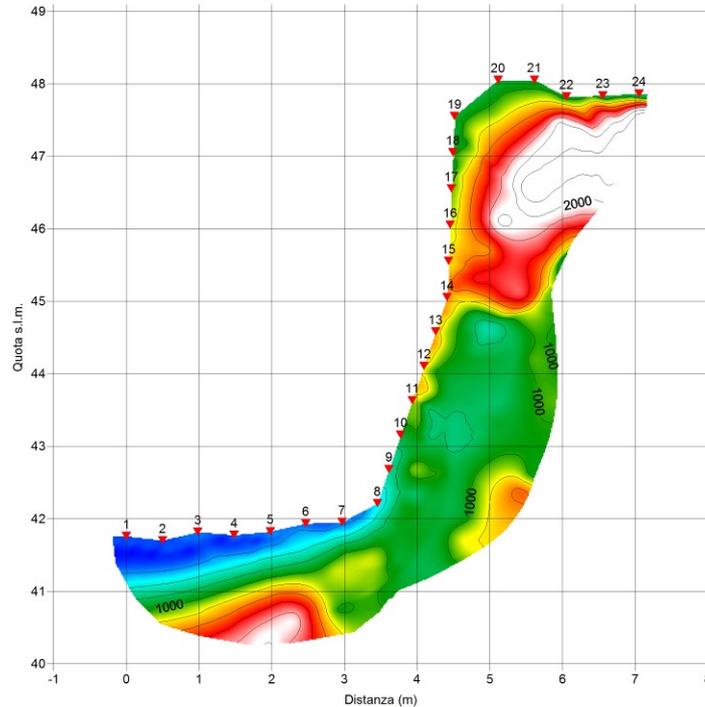


Tomografia SL5

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



Tomografia SL6



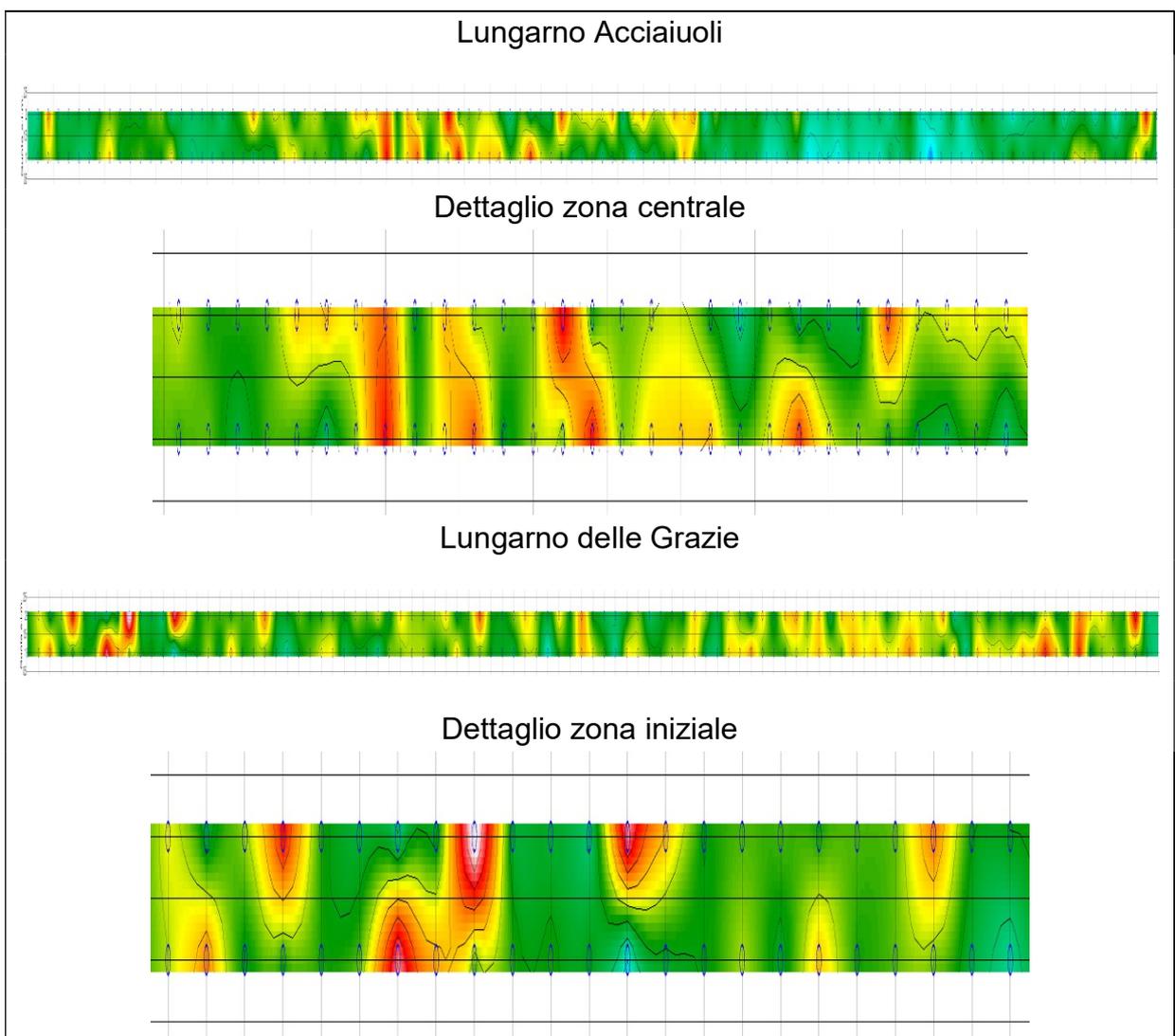
Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



### 3.1.2 INDAGINE SISMICA PUNTUALE (SPV=SONIC SEISMIC PULSE VELOCITY)

Per quanto riguarda i punti acquisiti con il rilievo sonico effettuati sulla verticale dei muraglioni sia di Lungarno Acciaiuoli che di Lungarno delle Grazie, è stato possibile creare, con le velocità sismiche, due mappe distinte per ogni muraglione. Lo scopo era quello di indagare la consistenza dell'opera muraria, mediante impulsi sismici a frequenza "sonica".

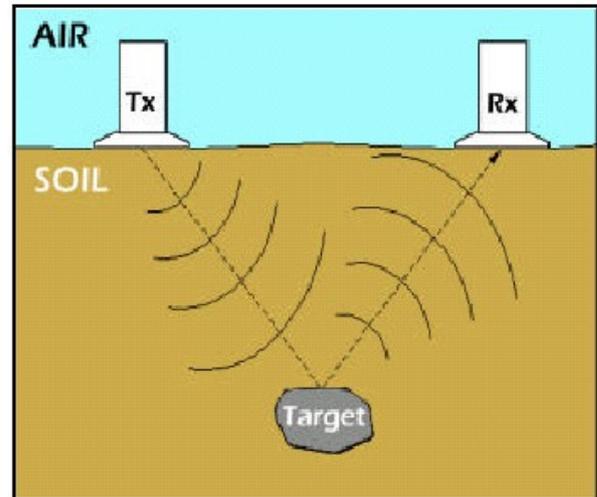
Di seguito le immagini riguardanti le mappe, in scala adattata alla pagina e ingrandita la scala verticale per esigenze visive.



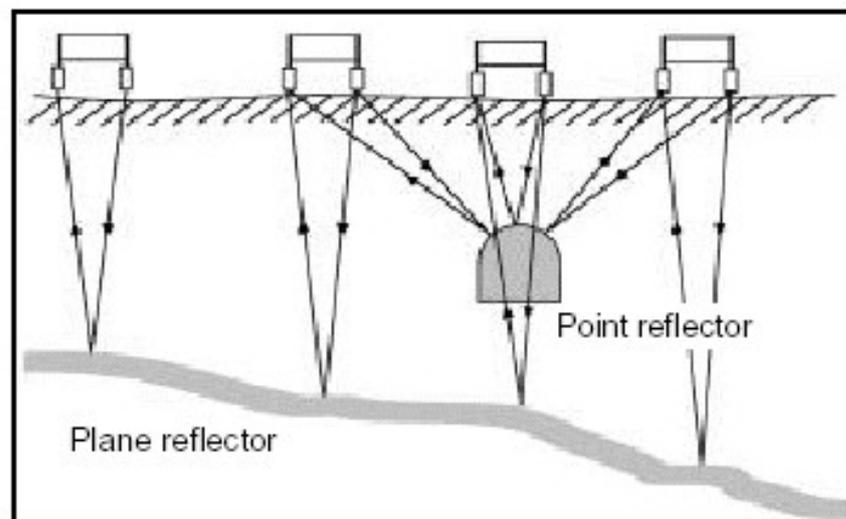


### 3.1.3 – DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA GEORADAR

L'esplorazione geofisica del sottosuolo mediante il metodo GEORADAR (Radar Geologico) o GPR (Ground Penetrating Radar) si basa sulla acquisizione di segnali elettromagnetici ad altissima frequenza che vengono generati da un apposito sistema (Tx), riflessi da superfici di discontinuità fisica e captati da un'altra antenna (Rx).

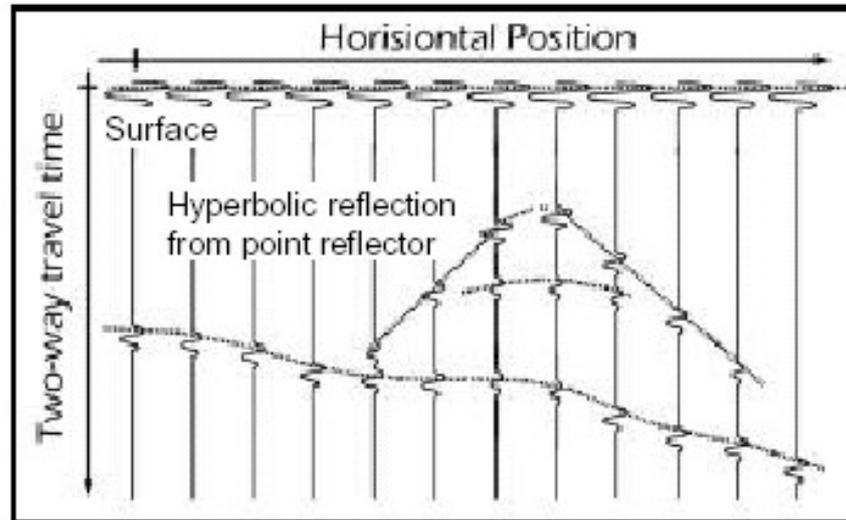


Lo spostamento del dispositivo sulla superficie porta a registrare riflessioni dagli oggetti sepolti anche quando questi non sono sulla verticale del dispositivo.

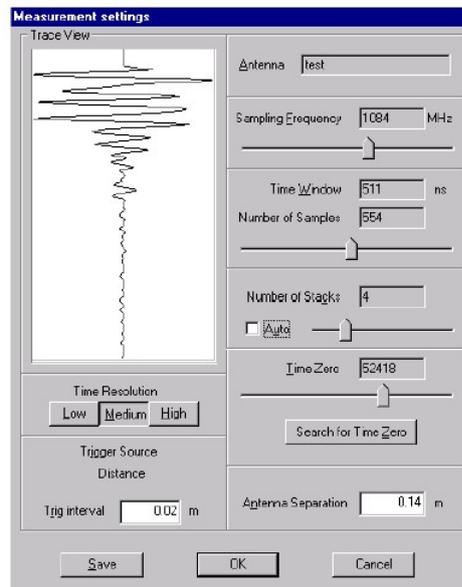


Quindi, da un determinato punto riflettente si avranno segnali disposti secondo linee iperboliche che identificano, con il loro culmine, il punto centrale dell'oggetto anomalo.

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



Tuttavia i segnali ricevuti da un dispositivo simile non sono immediatamente comprensibili, ma necessitano di particolari elaborazioni finalizzate alla enfattizzazione dei segnali di interesse ed alla attenuazione di quelli legati a disturbi o riflessioni multiple dello stesso segnale. Nella figura seguente si riporta il segnale ricevuto da una antenna e campionato in forma digitale ad una elevatissima frequenza in un determinato intervallo di tempo.



La velocità di propagazione di questi segnali, pur diversa in funzione delle proprietà fisiche dei materiali, è generalmente molto elevata, dell'ordine di

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------

 <p>REGIONE TOSCANA GENIO CIVILE VALDARNO SUPERIORE</p>	<p>INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE</p>	 <p>Rapporto n. 2484/20 Pag. 22</p>
---	---	---

grandezza di quella della luce, pertanto i tempi di acquisizione di impulsi riflessi da discontinuità poste a pochi metri dalla antenna emittente sono estremamente piccoli ed i sistemi di acquisizione sono particolarmente sofisticati.

La profondità di penetrazione degli impulsi RADAR all'interno di un materiale è strettamente legata alle caratteristiche del mezzo, per cui non può essere stimata senza avere informazioni sulla conducibilità e sulla costante dielettrica dello stesso: materiali molto conduttivi o saturi in acqua limitano fortemente la penetrazione del segnale, mentre materiali resistivi ed asciutti rappresentano, invece, contesti in cui la profondità di indagine è molto elevata.

Un ulteriore elemento che influisce sulla profondità di indagine è la frequenza del segnale RADAR che per le indagini geologiche può variare da circa 20-40 MHz fino a 300-800 MHz; frequenze superiori sono destinate ad impieghi in settori delle costruzioni o dell'ingegneria civile. Questa frequenza influisce in modo inverso sulla profondità di indagine, frequenze basse penetrano molto, frequenze alte penetrano poco. Per contro la diminuzione della frequenza e, di conseguenza l'aumento della lunghezza d'onda del segnale, portano ad una minore capacità di risoluzione: oggetti di pochi decimetri sono difficilmente rilevabili con segnali che hanno una lunghezza d'onda di qualche metro.

I dati che vengono acquisiti e memorizzati in specifici files vengono successivamente elaborati per arrivare ad una restituzione del segnale che permetta di seguire le distorsioni delle riflessioni delle onde, interpretarne la causa e posizionare la causa nel materiale preso in esame.

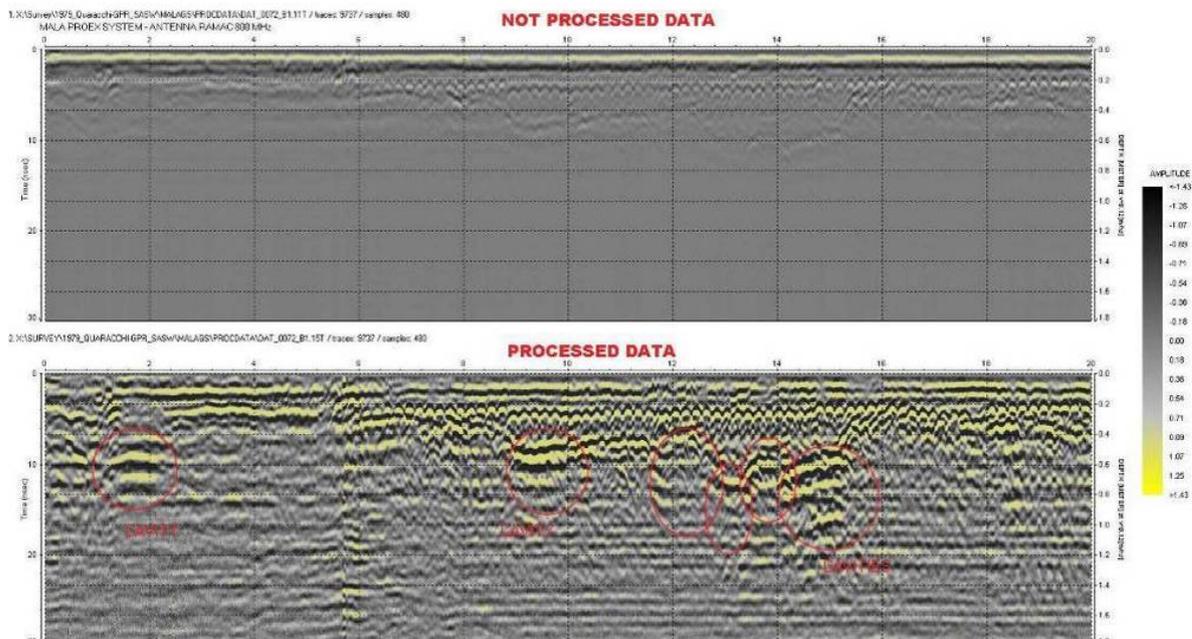
Nella figura seguente si riporta, a titolo d'esempio, un radargramma in cui si può notare il passaggio dal dato originale fino a quello utilizzato per la restituzione. La presenza di zone anomale appare molto più chiara a seguito da un processo di recupero dell'ampiezza del segnale mediante una amplificazione variabile con il tempo trascorso dall'istante di invio del segnale stesso e con una funzione di attenuazione delle basse frequenze, che possono portare ad andamenti diversi da

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



punto a punto del profilo. Nel risultato di questi processi di elaborazione numerica, il segnale appare molto più nitido e si possono individuare molte anomalie a differenti profondità altrimenti non evidenti nel dato iniziale.

Il radargramma acquisito, senza processi di elaborazione, è riportato nella parte alta della figura seguente:



Il radargramma processato con una funzione di recupero del segnale (Energy decay), di attenuazioni di oscillazioni a bassa frequenza (Dewow), è riportato nella parte bassa. In quest'ultimo si possono chiaramente individuare anomalie riferibili a discontinuità interpretate come cavità.

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



### 3.1.3.1 - ACQUISIZIONE DATI GEORADAR

Relativamente alla fase di acquisizione dati, le operazioni sono state eseguite lungo i due muraglioni di Lungarno Acciaiuoli e di Lungarno delle Grazie. I dati sono stati acquisiti mediante il sistema MALA-GS RAMAC PRO-EX con antenne da 800 MHz per un totale di circa 1758 metri di indagini GPR. Lo scopo era quello di conoscere la struttura dei muraglioni di Lungarno.

Di seguito, un'immagine in fase di acquisizione che documenta il dispositivo utilizzato e i vari componenti di cui è costituito.



Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



## 4. INTERPRETAZIONE DEI DATI

### 4.1 RISULTATI DALLE INDAGINI GEOFISICHE.

#### 4.1.1 RISULTATI OTTENUTI DALLE INDAGINI SISMICHE

I tre profili sismici acquisiti nell'alveo del fiume Arno, hanno permesso di raggiungere la profondità di indagine di circa 25 metri dal p.c..

L'elaborazione dei dati ha portato alla realizzazione di n.3 sezioni interpretative, riportate nella **Tavola 01**. Di seguito la legenda utilizzata in fase di interpretazione:

SEZIONE INTERPRETATIVA	
	Sedimenti non consolidati
	Alluvioni compatte o parte fratturata ed alterata della formazione in situ (Formazione della Pietraforte ?)
	Substrato sismico litoide (Formazione della Pietraforte ?)

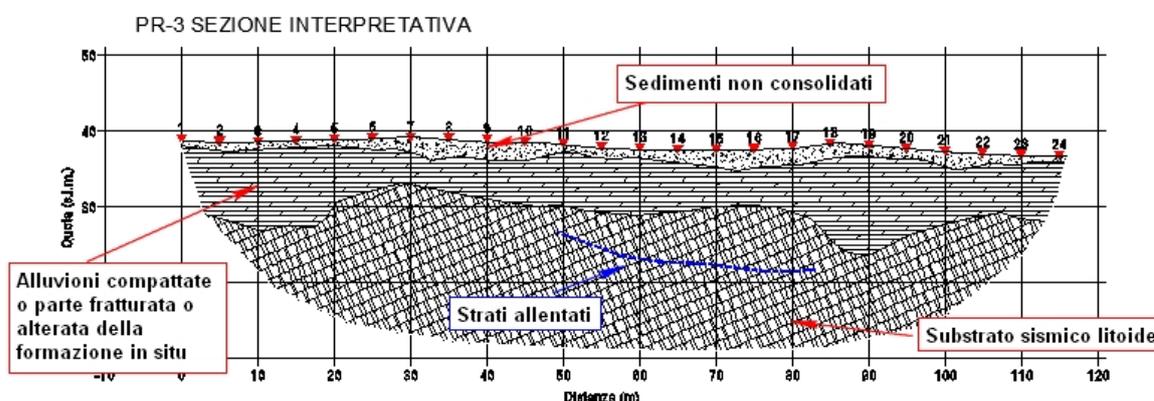
Il primo strato è stato interpretato come sedimenti non consolidati e si presenta con spessori massimi di circa 2 metri nel profilo PR1 e nel Profilo PR3, mentre nel profilo PR2 raggiunge spessori minori di circa 1 metro dal p.c.. Per quanto riguarda le velocità sismiche di questo sismo strato, esse raggiungono valori massimi di 1.500-1.600 m/sec per le onde P.

Il secondo strato, è stato associato a alluvioni compatte o parte fratturata della formazione in situ. Gli spessori sono molto variabili. Nel profilo PR1 gli spessori variano da circa 3 metri fino a raggiungere spessori di circa 6/7 metri. Nel profilo PR2, gli spessori variano da 5 a 7 metri, mentre nel profilo PR3 si passa da spessori di circa 4 metri fino a raggiungere valori di circa 13 metri. Dal punto di vista

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



delle velocità sismiche, si ritiene che il limite inferiore di questo strato sia collocabile, nelle tomografie, intorno alle isovelocità di circa 2.000-2.200 m/sec per le onde P.



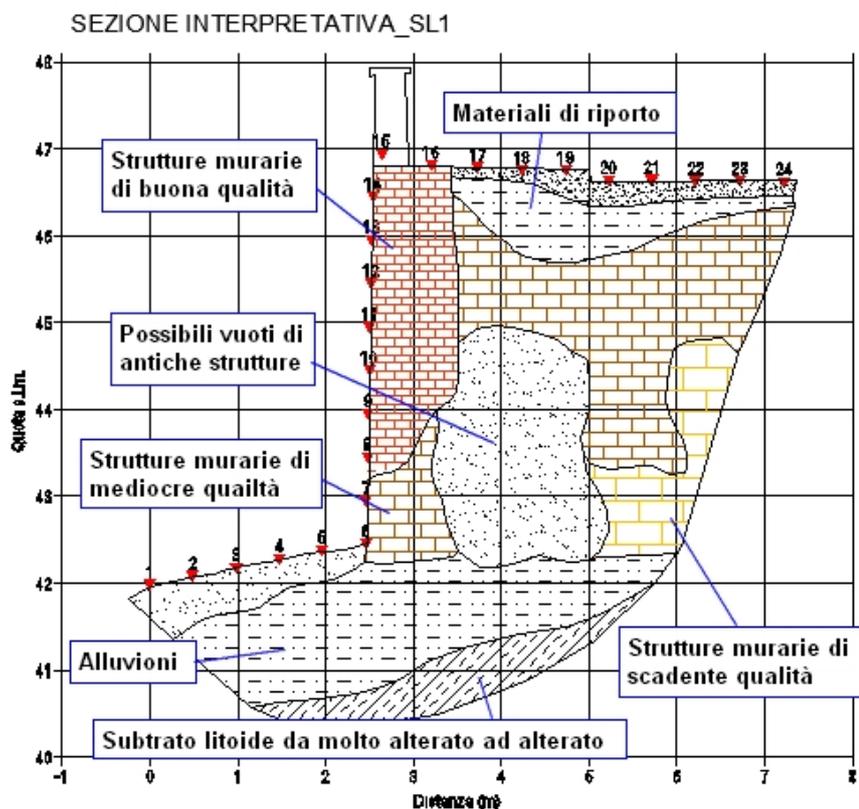
I terreni caratterizzati da velocità sismiche superiori, sono stati attribuiti al substrato sismico litoide in condizioni di una maggiore compattezza e con velocità sismiche superiori ai 2.200 m/sec. All'interno di questo terzo strato sono stati evidenziate alcune situazioni che suggeriscono la presenza di strati allentati o intercalazioni di livelli siltitici o argillitici tra le bancate delle arenarie calcaree della Pietraforte.

I risultati ottenuti dalle misure sismiche puntuali eseguite sulla faccia a vista del muro sono riportati nelle Tavole da 02 a 07 mediante una banda che con una specifica scala cromatica ne evidenzia le variazioni. Il risultato evidenzia modeste variazioni nel range che va da circa 1000 m/sec per le zone più allentate fino a circa 2.000 per quelle più compatte.

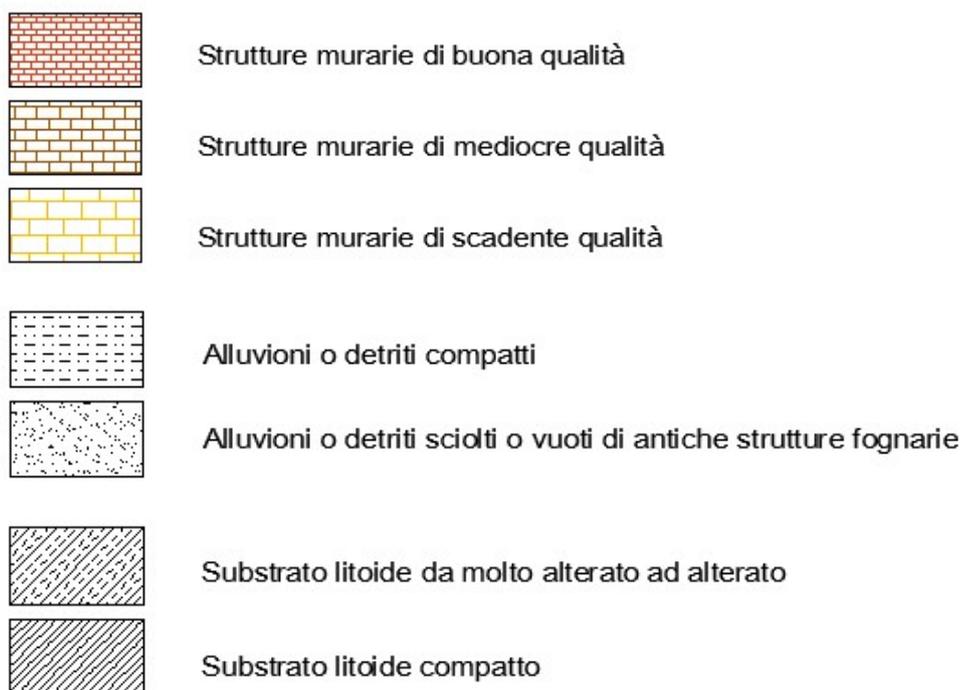
Per quanto riguarda l'elaborazione delle tomografie sismiche verticali, (SL1-SL2-SL3-SL4-SL5-SL6) eseguite nei muraglioni, precisamente dal piede del muro fino alla strada soprastante, ha portato alla realizzazione di 6 sezioni interpretative, riportate nelle **Tavole 02-03-04-05-06-07**, dove è stato possibile distinguere la qualità della struttura muraria, la presenza di alluvioni più o meno compatte e per finire la presenza di un substrato litoide alla base del muraglione.

Di seguito, come esempio, la sezione interpretativa della tomografia sismica verticale del profilo SL1 riportata anche nella **Tavola 04** allegata al Rapporto.

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



La Legenda descrittiva di questa sezione e di quelle relative alle altre tomografia sismiche verticali viene di seguito riportata.



Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------

 <p>REGIONE TOSCANA GENIO CIVILE VALDARNO SUPERIORE</p>	<p>INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE</p>	 <p>Rapporto n. 2484/20 Pag. 28</p>
---	---	---

#### 4.1.2 RISULTATI OTTENUTI DALL'ESPLORAZIONE GEORADAR

L'ubicazione dei profili acquisiti nei muraglioni del Lungarno Acciaiuoli è riportata nelle **Tavole 02-03-04** in scala di dettaglio (1:100), mentre nella **Tavola 08**, di Sintesi, è stata restituita l'ubicazione in scala (1:250) per avere un quadro più ampio dei risultati. La stessa procedura è stata svolta anche per quanto riguarda l'ubicazione dei profili acquisiti nei muraglioni del Lungarno delle Grazie, riportata in scala di dettaglio (1:100) nelle **Tavole 05-06-07**, e nella Sintesi, in **Tavola 9** in scala più ampia (1:250).

L'elaborazione dei dati è stata svolta sia in forma bidimensionale che tridimensionale. Di seguito vengono spiegate in modo dettagliato le due elaborazioni.

#### ELABORAZIONE BIDIMENSIONALE

L'elaborazione bidimensionale consiste nell'analizzare i segnali elettromagnetici registrati nei singoli profili lineari fino ad una certa profondità dal p.c.. Le interpretazioni derivanti dall'analisi dei radargrammi registrati in forma bidimensionale, sono allegate di seguito. Vengono riportati alcuni esempi eseguiti con antenna da 800 MHz, con indicato:

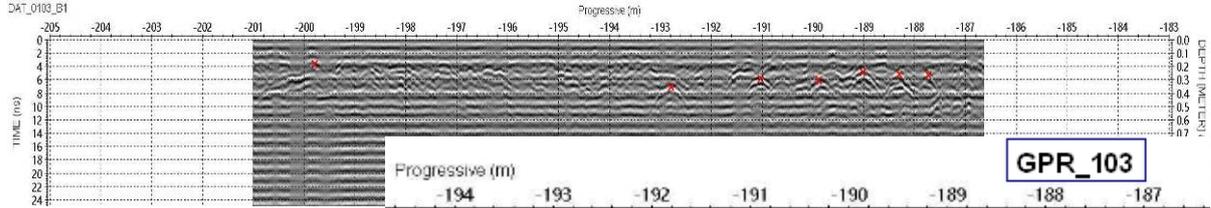
- Progressiva metrica, riferita all'inizio del profilo (Progressive m);
- Scala dei tempi di registrazione (Time ns);
- Profondità di esplorazione raggiunta, calcolata con una velocità media di propagazione del segnale elettromagnetico pari a 0.1 m/ns (Profondità dal p.c. m).
- Anomalie segnate con il simbolo "x" di rosso.

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



### RADARGRAMMI ORIZZONTALI DEL LUNGARNO ACCIAIUOLI

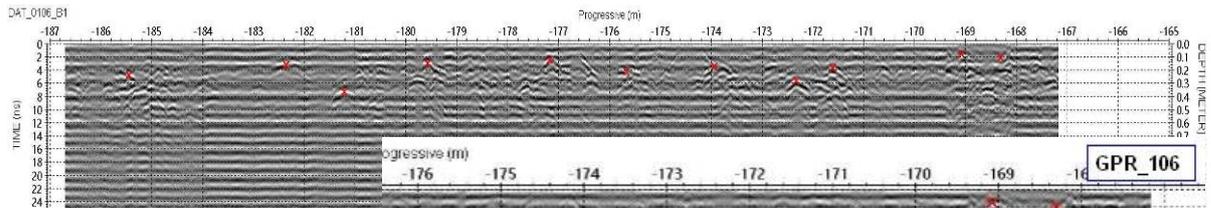
**GPR\_103**



IN DETTAGLIO

Anomalie puntuali

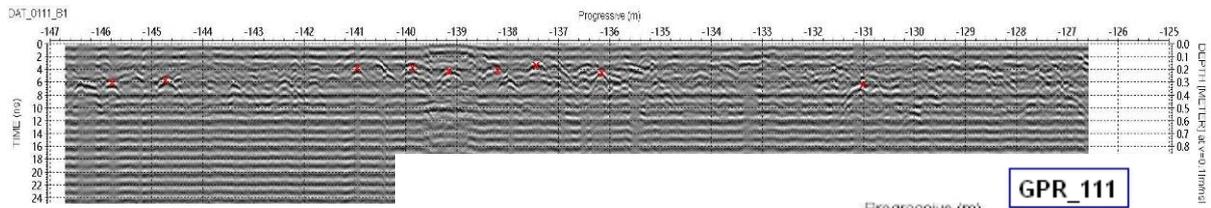
**GPR\_106**



IN DETTAGLIO

Anomalie puntuali

**GPR\_111**



IN DETTAGLIO

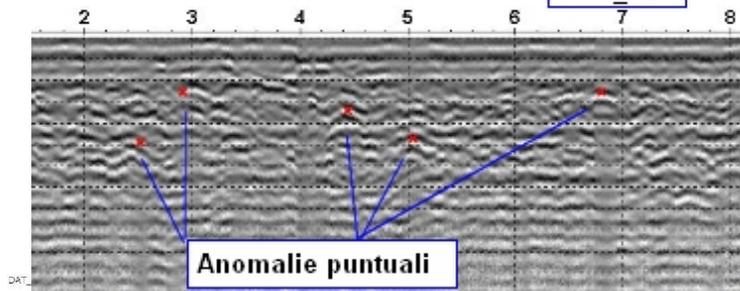
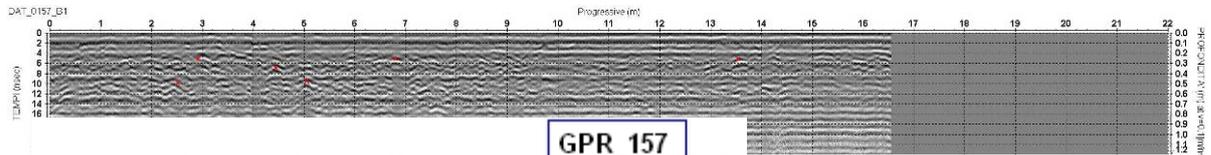
Anomalie puntuali

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------

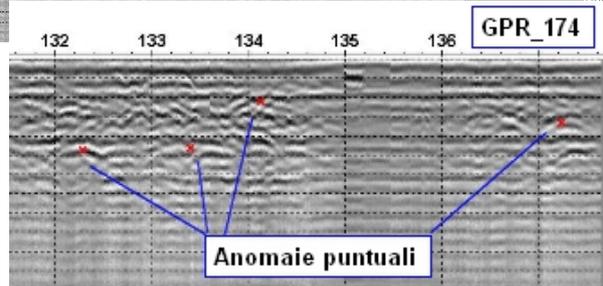
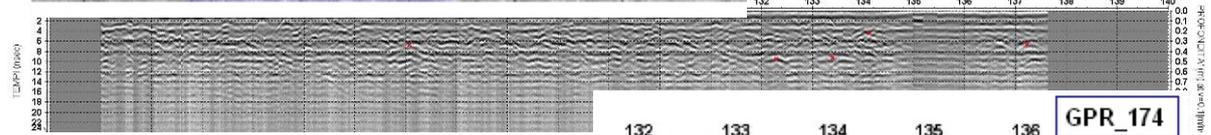


### RADARGRAMMI ORIZZONTALI DEL LUNGARNO DELLE GRAZIE

**GPR\_157**

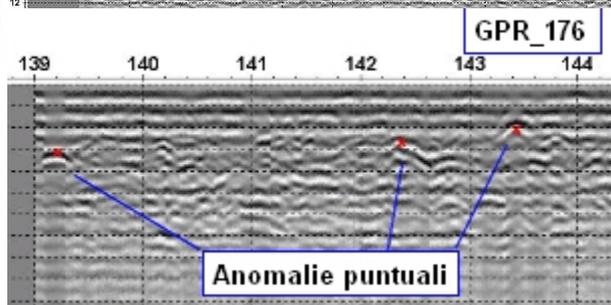
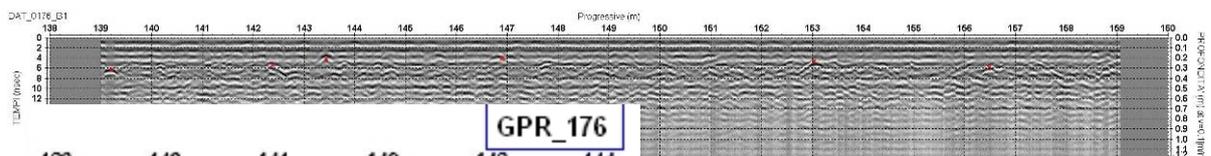


IN DETTAGLIO



IN DETTAGLIO

**PR\_176**



IN DETTAGLIO

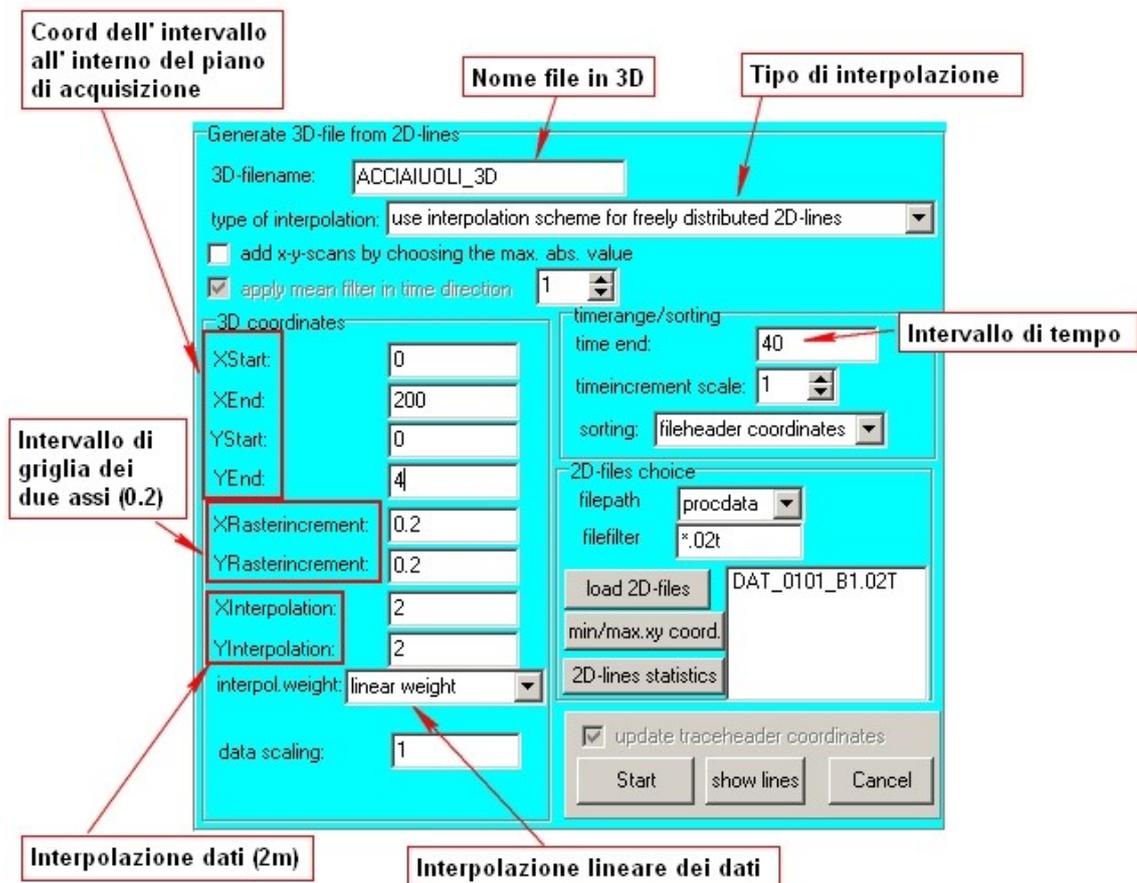
Le immagini dei radargrammi sono ricostruite con una scala di grigio in funzione dell'ampiezza del segnale riflesso che evidenzia l'intensità e la geometria delle riflessioni dell'onda elettromagnetica.

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



## ELABORAZIONE TRIDIMENSIONALE

L'elaborazione tridimensionale, in particolare, consiste nel creare un file di dati 3D costituito da linee 2D, dalla cui rappresentazione cui si possono ricavare delle immagini tomografiche che evidenziano un andamento areale a differenti profondità dal p.c. Di seguito uno schema per spiegare in modo dettagliato il passaggio da una serie files 2D ad un unico file in 3D.



In particolare le "Coordinate dell'intervallo all'interno del piano di acquisizione" definiscono i limiti entro cui si vuol elaborare il modello 3D. Queste possono essere sia coordinate di un sistema arbitrario oppure coordinate metriche di un qualunque sistema ufficiale (UTM, Gauss-Boaga o Catastali). Nell'elaborazione possono essere inclusi anche profili che oltrepassano i limiti definiti dalle coordinate suddette, ma, ovviamente, il sistema prenderà in considerazione solo i tratti all'interno dell'area selezionata.

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------

 <p>REGIONE TOSCANA GENIO CIVILE VALDARNO SUPERIORE</p>	<p>INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE</p>	 <p>Rapporto n. 2484/20 Pag. 32</p>
---	---	---

Il sistema potrà elaborare dati acquisiti secondo linee liberamente ubicate sul terreno purché, per ogni scansione memorizzata, siano state preventivamente associate le rispettive coordinate delle antenne trasmittente e ricevente.

I dati acquisiti verranno interpolati per creare tracce georadar anche nelle zone intermedie ai profili effettivamente esplorati, ciò in base a criteri matematici di interpolazione lineare con peso inversamente proporzionale alla distanza o al quadrato della distanza (Interpol. weight).

La maglia delle tracce calcolate è definito dalla dimensioni della griglia (XRasterincrement; Yrasterincrement) in metri, In questo caso 20cm di lato.

La creazione delle tracce interpolate ai nodi della griglia suddetta verrà effettuata considerando tutte le tracce che si trovano all'interno del rettangolo definito da XInterpolation ed YInterpolation, sempre i metri. In questo caso 2m.

Il file che contiene i dati del modello 3D, (3D-filename) quindi verrà creato entro il limite di tempo di massima registrazione definito da "time end" in nanosecondi, con intervalli di tempo (Slices) definito da "timeincrement scale" in termini di multipli dell'intervallo di campionamento utilizzato in fase di acquisizione dati.

Infine, questo file potrà essere utilizzato per la restituzione di sezioni orizzontali a profondità costante, in cui gli andamenti anomali riscontrati lungo i vari profili saranno correlati in termini di ampiezza del segnale riflesso. Pertanto anche zone di particolare assorbimento del segnale, dovute a contesti di terreni di riporto o di particolare riflessione del segnale, quali zone con oggetti o reti metalliche (gabbioni ad esempio) potranno essere messi in evidenza in maniera più chiara, mentre nella semplice analisi 2D ciò potrebbe risultare difficoltoso. Viceversa, anomalie singole dovute ad oggetti semplici come tubazioni o sottoservizi in genere, vuoti o pietre singole, possono risultare più evidenti nella analisi dei radargrammi 2D.

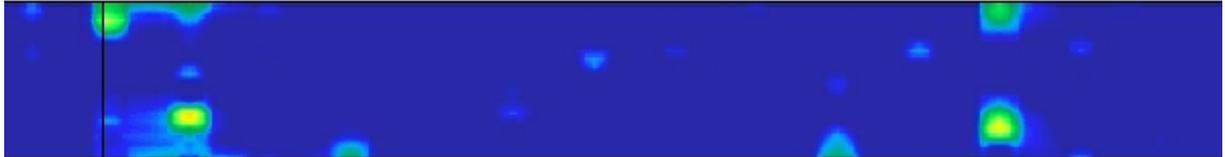
Come è evidente nel caso dell'esempio di seguito, zone di anomalia sono presenti a determinate profondità e possono scomparire ad altre, quindi si possono definire anomalie puntuali. In altri casi l'anomalia può persistere a differenti profondità e possono corrispondere a zone estese o anomalie diffuse nella struttura muraria stessa.

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------

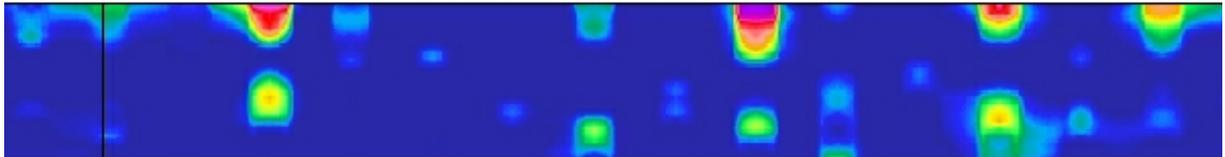


Il grid di riferimento, in questo caso, è relativo ad un sistema di coordinate arbitrariamente definito e consistente nella progressiva metrica a partire da un punto noto e dall'altezza dalla base del muro.

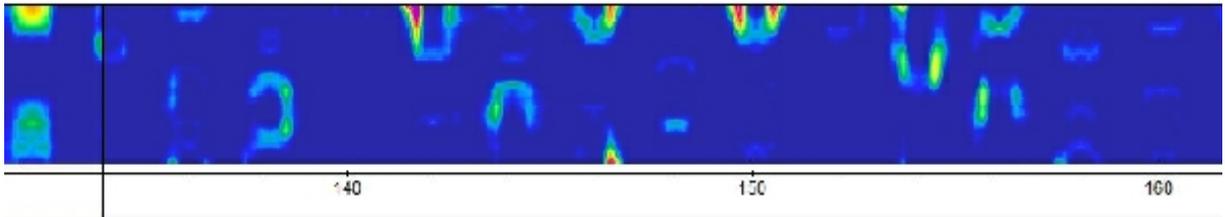
Tomografia 3D a profondità di 0.40 m



Tomografia 3D a profondità di 0.70 m



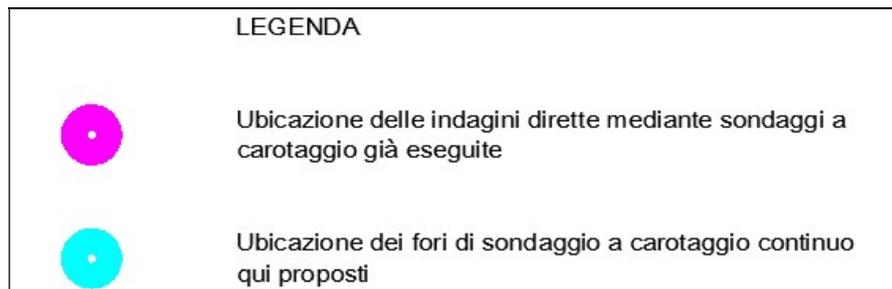
Tomografia 3D a profondità di 1.00 m



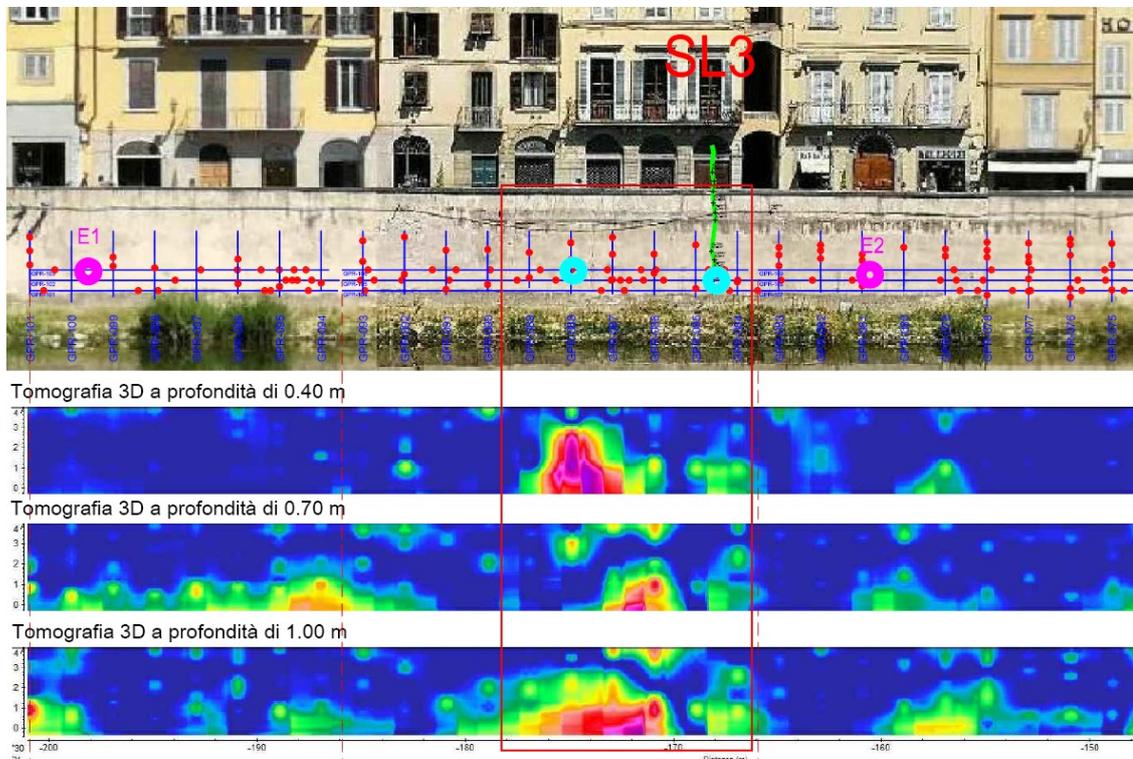


## 5. INDAGINI DIRETTE SUGGERITE

Sulla base dei risultati ottenuti vengono, infine, suggerite alcune posizioni dove effettuare verifiche dirette mediante nuovi sondaggi a carotaggio continuo. In particolare nelle **Tavola 08 e 09 (SINTESI DEI RISULTATI)** sono state ubicate queste posizioni insieme a quelle dei sondaggi a carotaggio già eseguite. Di seguito la legenda che ne indica l'ubicazione per le due serie di perforazioni



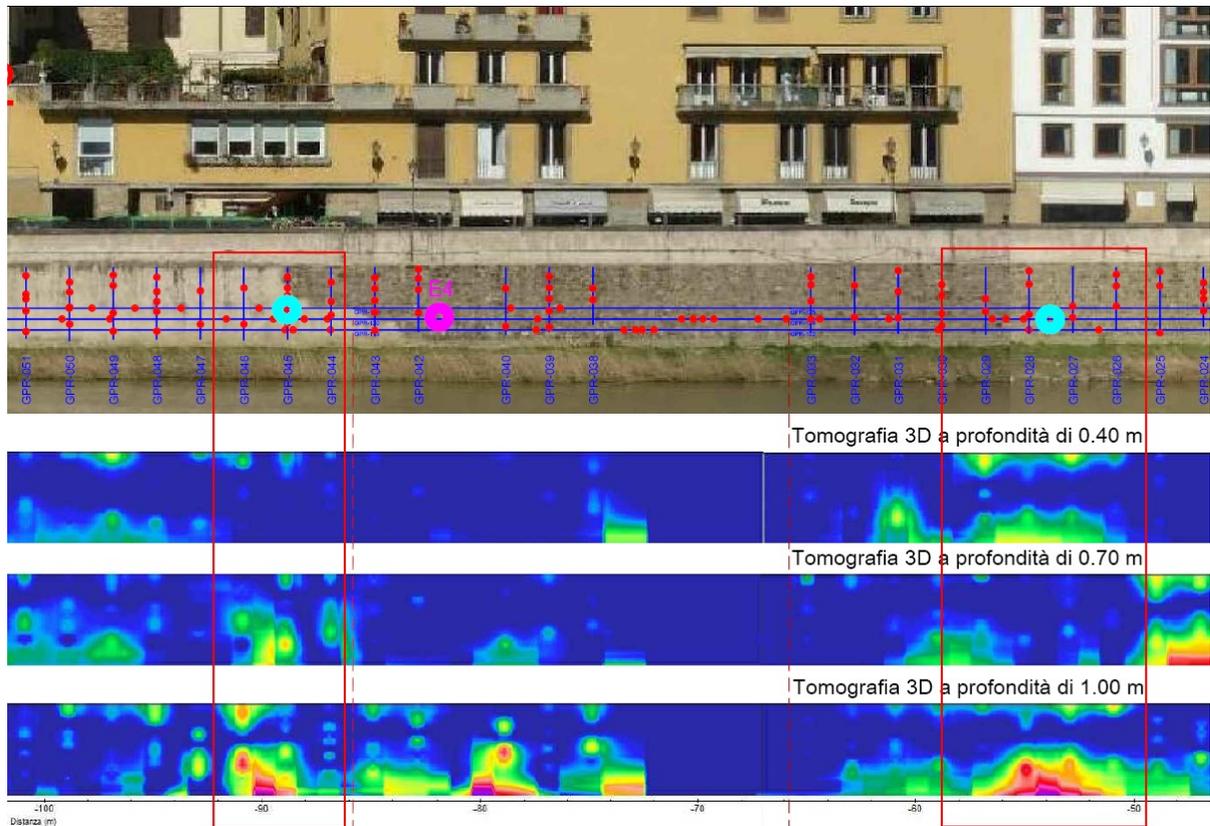
In particolare per il Lungarno degli Acciaiuoli le zone in cui si suggeriscono indagini dirette sono ubicate tra le progressive -170 e -180 (m da Ponte Vecchio) dove si concentrano numerose anomalie Georadar fino a circa 1.00m dalla faccia a vista del Muraglione. (vedi figura seguente)



Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



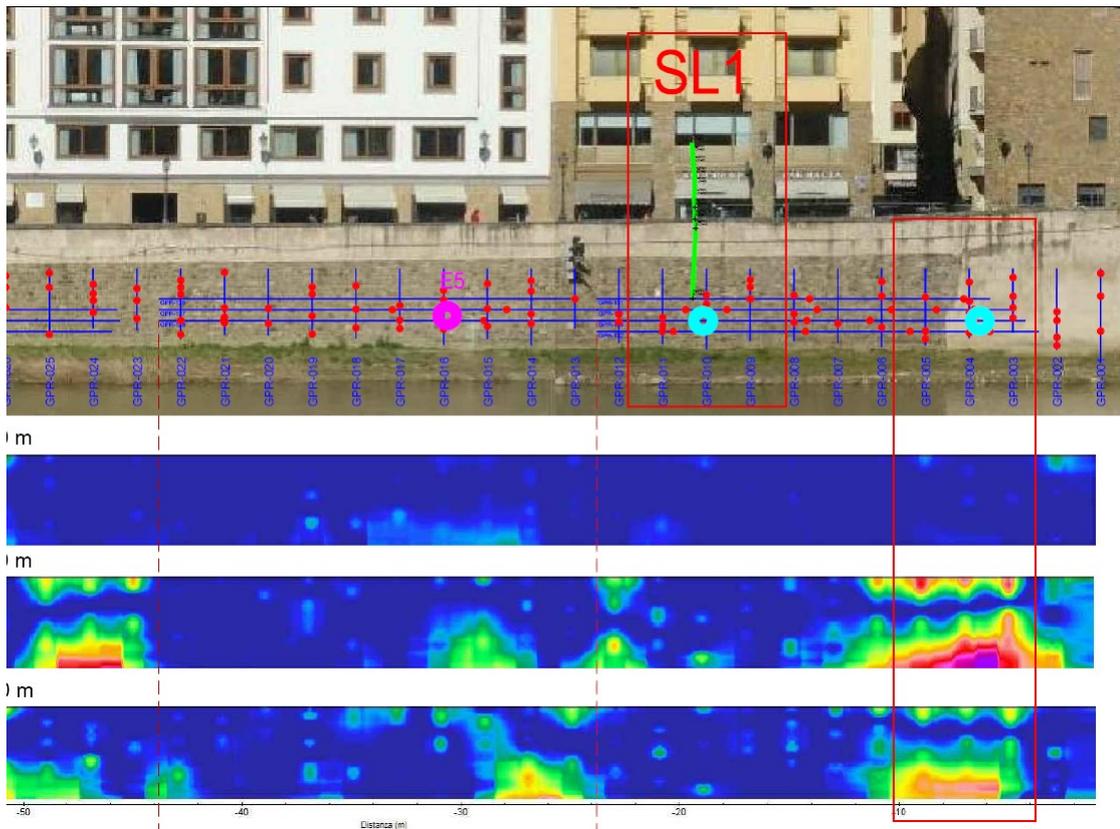
Altre due posizioni di indagine vengono suggerite al termine del tratto ricostruito dopo l'alluvione del 1966 (circa progressiva -90) e nella zona centrale di questo tratto (circa -54m). Vedi figura seguente.



Le ultime due posizioni di indagine diretta che vengono suggerite in questo tratto di Lungarno sono in prossimità di Ponte Vecchio, una esattamente all'inizio del tratto ricostruito, dove sono evidenti anche nella superficie del muro alcune lesioni che suggeriscono fenomeni di assestamento differenziale tra parte più antica e parte ricostruita. In questa zona vi sono marcate anomalie georadar alla base del muro.

L'altra postazione di verifica è ubicata in corrispondenza della zona anomala indicata dalla tomografia sismica SL1 che ha evidenziato, alle spalle del muro, una zona di marcato allentamento. Vedi figura di pagina seguente.

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------

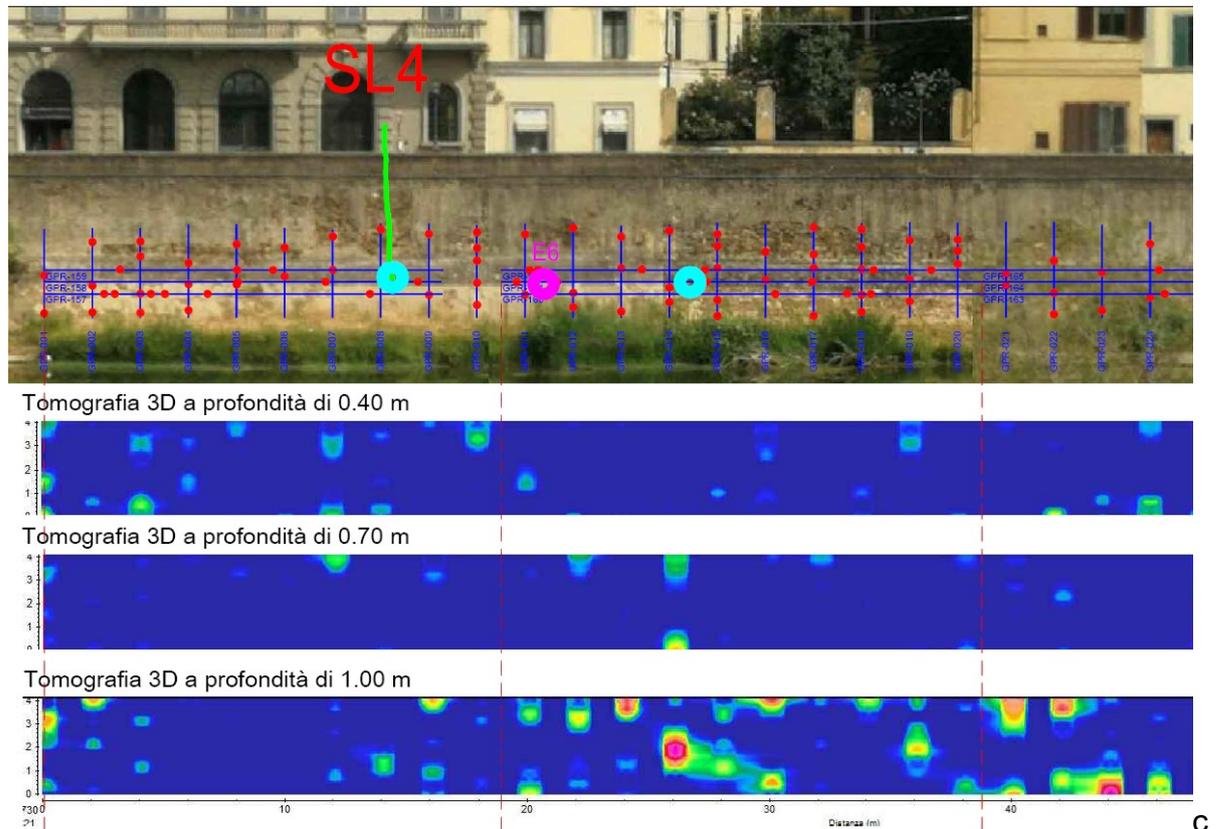


Nella porzione del muraglione del Lungarno delle Grazie, le zone in cui si suggeriscono interventi di verifica diretta sono distribuite quasi in maniera omogenea lungo tutto il tratto esplorato. Solo nel caso del tratto iniziale vi sono due punti di verifica relativamente vicini.

Uno è in corrispondenza della tomografia sismica SL4 che ha evidenziato una sostanziale omogeneità della muratura, con una parte di allentamento abbastanza continua a meno di un metro dalla faccia a vista del muro dalla base fino quasi alla sommità.

La seconda postazione è ubicata pochi metri più a monte della precedente e dovrebbe fornire indicazioni su alcune anomalie Georadar che si concentrano in questa zona, sebbene l'elaborazione 3D non abbia messo in evidenza niente di particolarmente rilevante. (vedi figura seguente)

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



Procedendo verso monte altri due punti di verifica sono stati ubicati ancora in corrispondenza delle tomografie Sismiche SL5 ed SL6 dove la parte del muro più prossima alla faccia a vista è risultata caratterizzata da velocità sismica molto bassa, soprattutto nella parti a quote inferiori.

Altri due punti di verifica sono stati ubicati in zone caratterizzate da anomalie georadar per le quali non si possono, allo stato attuale, fare ipotesi interpretative, quindi le verifiche dirette potranno aiutare a darne una spiegazione.

Vedi figure seguenti.

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



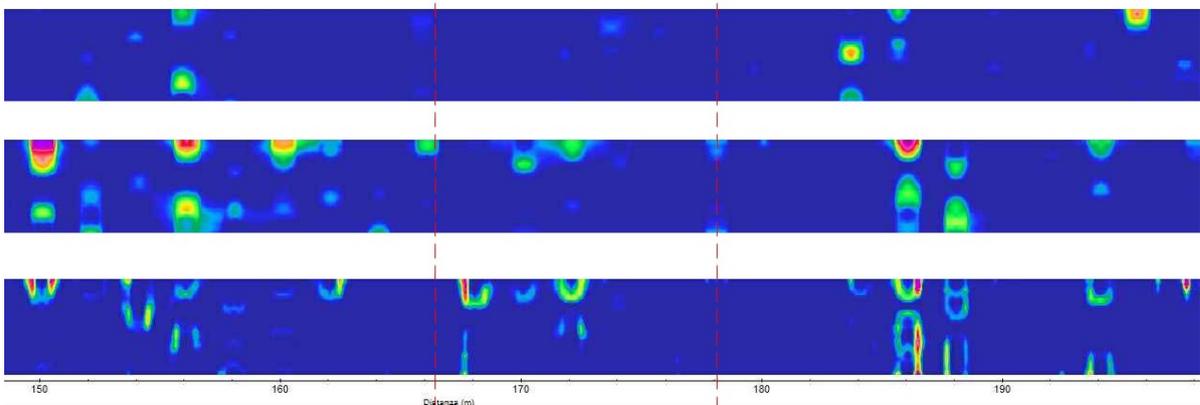
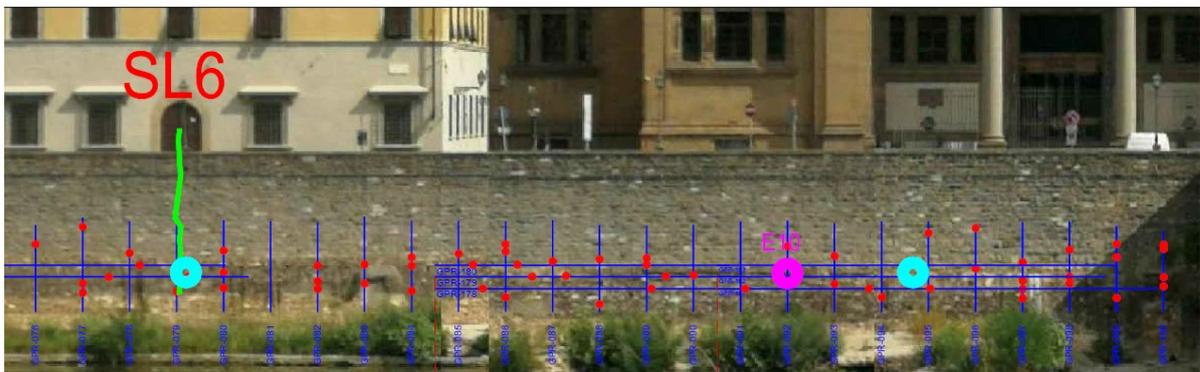
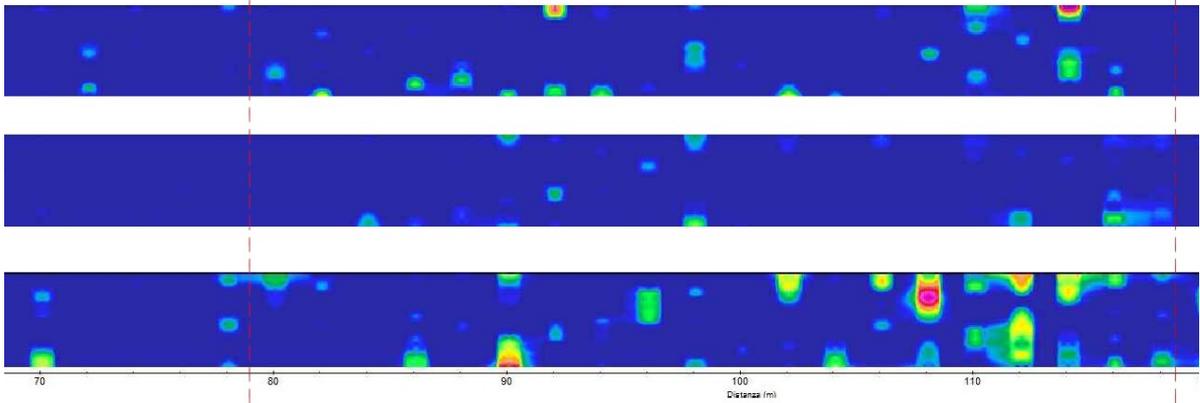
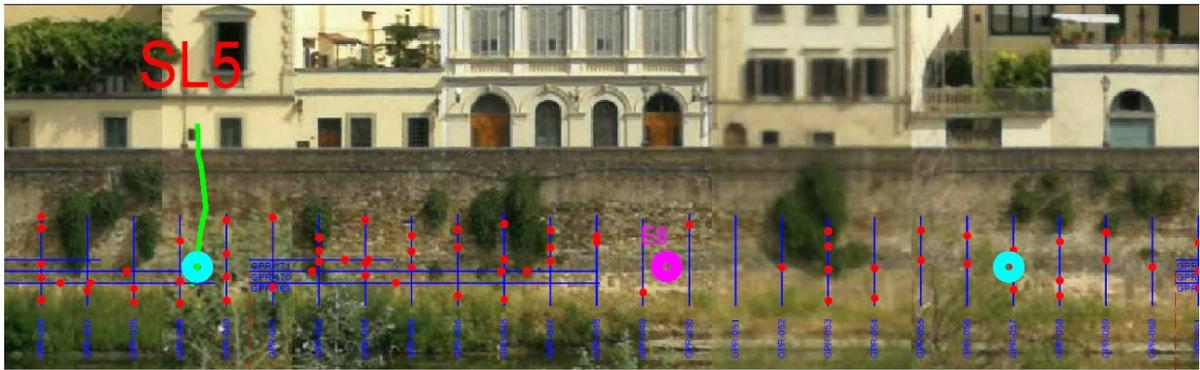
REGIONE TOSCANA

GENIO CIVILE  
VALDARNO SUPERIORE

INDAGINI GEOFISICHE  
MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO  
DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA  
SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO  
ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE



Rapporto n. 2484/20  
Pag. 38



Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------

## 6. CONCLUSIONI

In questo rapporto tecnico sono stati descritti i risultati ottenuti da una serie di indagini geofisiche finalizzate alla caratterizzazione della consistenza delle strutture murarie dei Muraglioni dei Lungarni Acciaiuoli e delle Grazie, entrambi in destra idrografica del Fiume Arno, entro il tratto che attraversa la Città di Firenze.

Oltre allo studio delle parti in elevazione e delle zone retrostanti l'indagine ha interessato anche la formazione sottostante che è caratterizzata sia da alluvioni compatte, sia dalla formazione litoide della Pietraforte.

Relativamente alle indagini eseguite sulle strutture murarie è emerso, in entrambe le zone, anche se con evidenza differente, che le parti più basse, prossime al Fiume, presentano caratteristiche geo-meccaniche, mediamente, più scadenti. Ciò è dovuto, con ogni probabilità, al fatto che, in molti casi, si tratta di opere più antiche su cui sono state appoggiate opere rifatte in tempi più recenti, anche successivamente ad eventi calamitosi, come l'alluvione del 1966.

Le varie metodologie applicate hanno permesso di mettere in evidenza alcune situazioni anomale. Queste sono state indicate con adeguate simbologie nelle Tavole di Sintesi relative ai due tratti esplorati e, sulle stesse, sono state indicate le posizioni di 12 sondaggi diretti che permetteranno una sicura caratterizzazione del materiale che costituisce queste strutture, con particolare riguardo ai punti ritenuti anomali.

Come prima indicato, le aree che sono state selezionate per le verifiche successive sono state individuate sulla base delle varie anomalie messe in evidenza sia dalle indagini sismiche tomografiche che da quelle georadar.

Va, tuttavia, sottolineato che non sono emerse zone più o meno estese con caratteristiche significativamente diverse dalla media e tali da poter concentrare l'attenzione su un punto particolare.

Tuttavia, i due muraglioni che sono stati studiati sembrano presentare caratteristiche tra loro differenti, soprattutto in termini di riflessioni dei segnali Georadar: nella zone del Lungarno Acciaiuoli sono molto più frequenti anomalie

Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------



singole, puntuali, forse legate alle modalità costruttive, o alle varie fasi di riparazione e ricostruzione di alcune parti (vedi ad esempio radargramma GPR103).

Nel muraglione del Lungarno delle Grazie, invece, si ha una maggiore omogeneità costruttiva sebbene vi siano anche qui, numerosi segnali di riflessioni anomale puntuali che, in parte, potranno essere chiarite solo dalle verifiche dirette che sono in programma.

In questo tratto le verifiche sono state concentrate in corrispondenza delle zone investigate con le tomografie sismiche poiché è emersa una discreta differenza tra i risultati della Tomografia SL4 e le altre due ubicate più a monte (SL5 ed SL6). Le verifiche in programma potranno contribuire ad una migliore spiegazione di questa differenza.

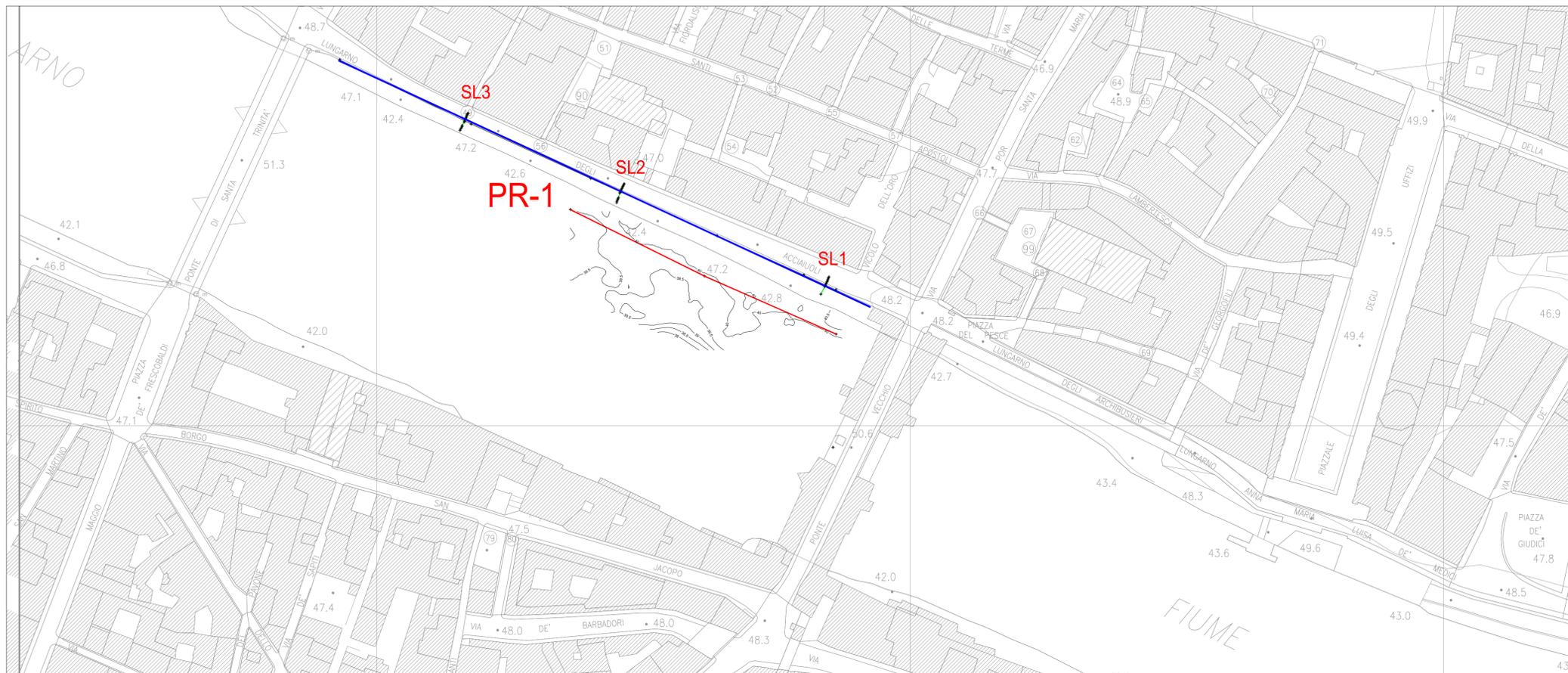
Dott. Gianfranco Censini – Geologo/Geofisico

Sinalunga, Novembre 2020



Data: Novembre 2020	2484-Muraglioni dei Lungarni-SIS-GPR- 23112020.doc	Realizzato: FV	Approvato: GfC	Rev. 00
------------------------	---	-------------------	-------------------	------------

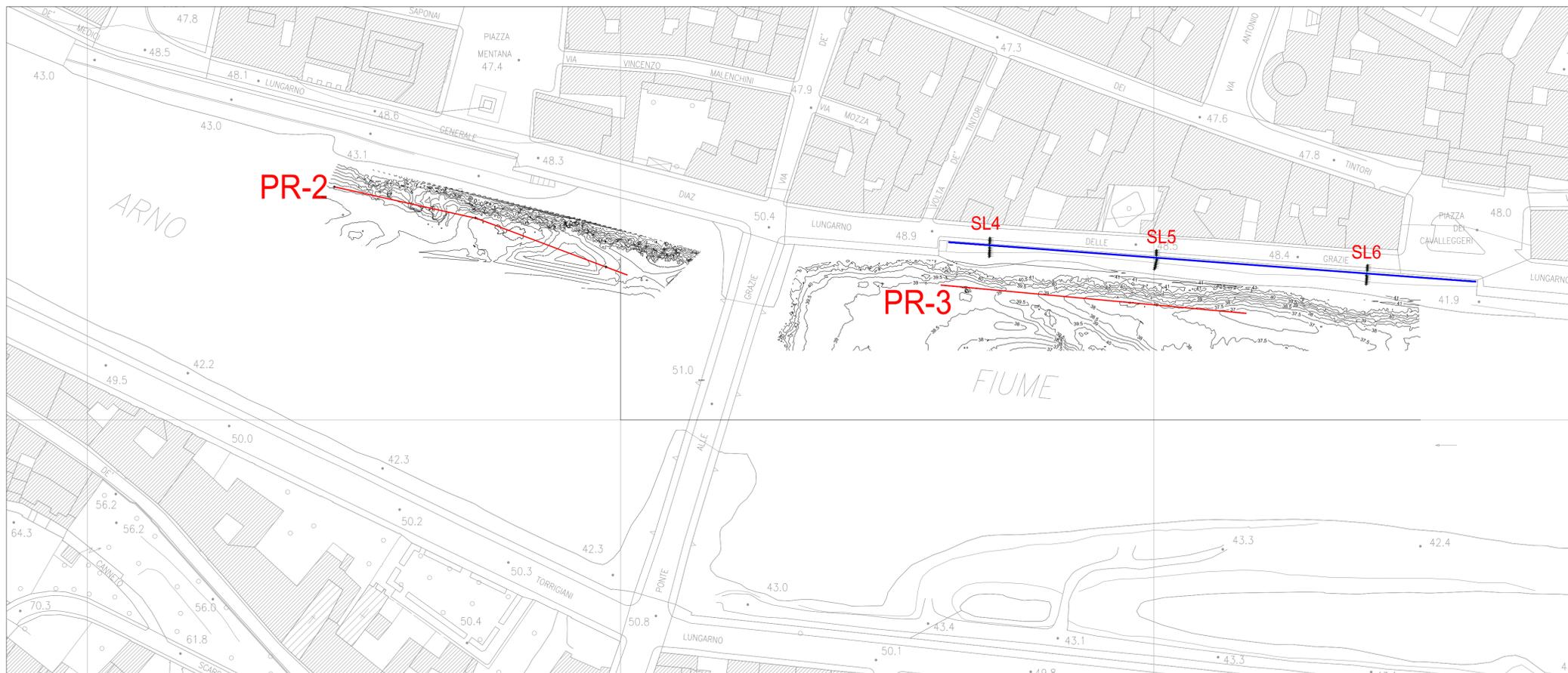
LUNGARNO DEGLI ACCIAIUOLI (scala 1:1.000)



LEGGENDA

-  Isopse del letto del Fiume Arno da rilievi "Multi-beam" eseguiti recentemente
-  Profili sismici tomografici eseguiti in alveo
-  Tomografie sismiche trasversali ai muraglioni eseguite dal livello del Fiume fino al centro strada dei Lungarni
-  Tratti dei muraglioni esplorati con la tecnica del GEORADAR e della SIMICA and onde dirette puntuali

LUNGARNO GENERALE DIAZ E LUNGARNO DELLE GRAZIE (scala 1:1.000)

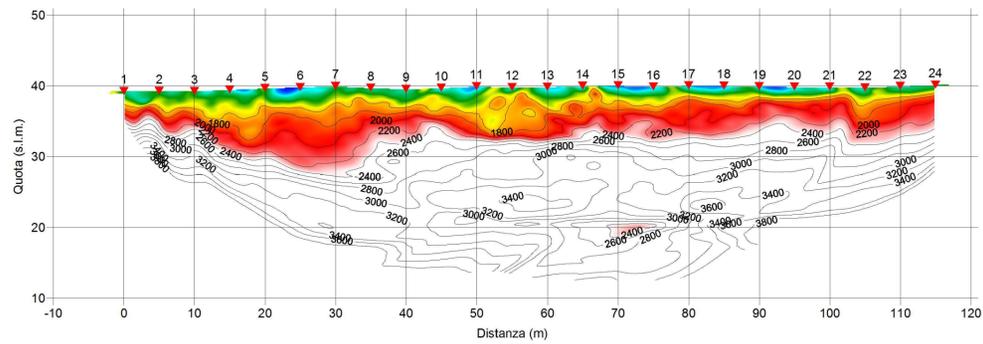


Revisione:	Descrizione:	Data:	Firma:
0,00	Prima edizione:	2020-10-20	ca
PRECISIONE:	COMMITTENTE:	 <b>REGIONE TOSCANA</b> Genio Civile Valdarno Superiore	
Distanze: metri			
Quote: metri			
Profondità: metri			
Data:	COMUNE DI FIRENZE - PROVINCIA DI FIRENZE		
Archivio:	INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE - FIRENZE		
Tavolo 00 (A1)	UBICAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE		
Scala 1:1.000			

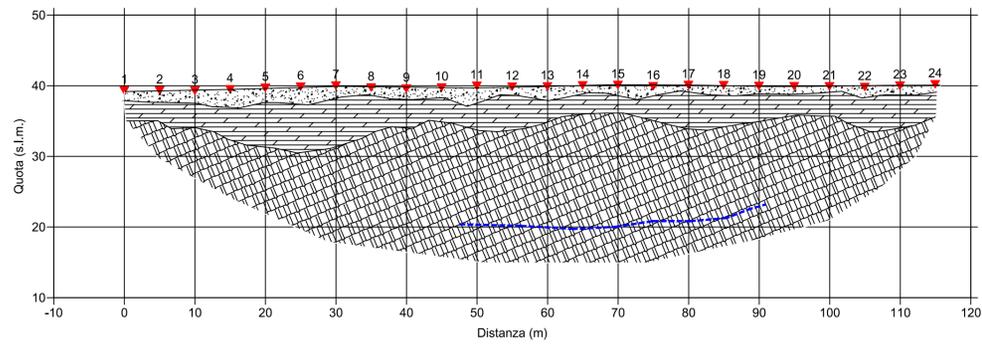
DIREZIONE INDAGINE GEOFISICA: Dr Geol. GIANFRANCO CENSINI

All rights reserved

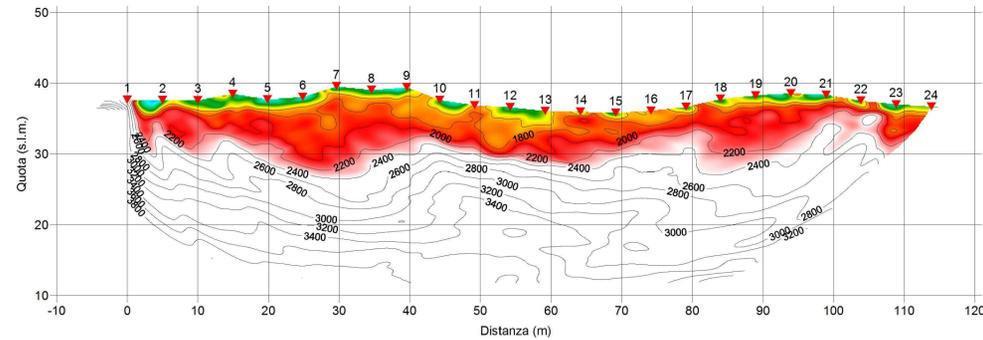
PR-1 LUNGARNO DEGLI ACCIAIUOLI



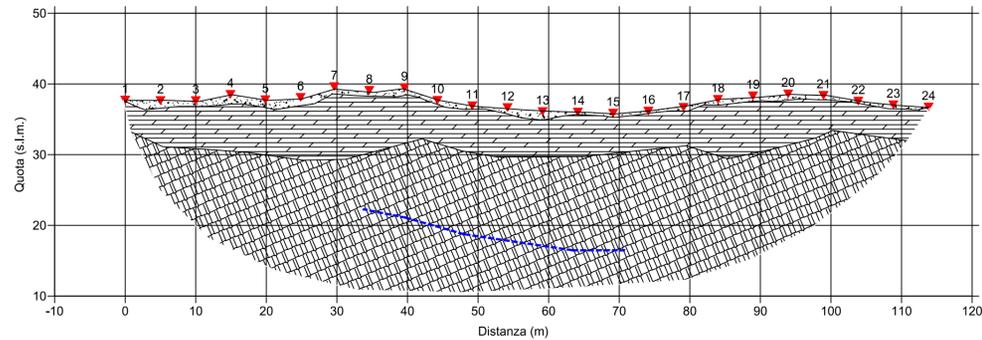
PR-1 SEZIONE INTERPRETATIVA



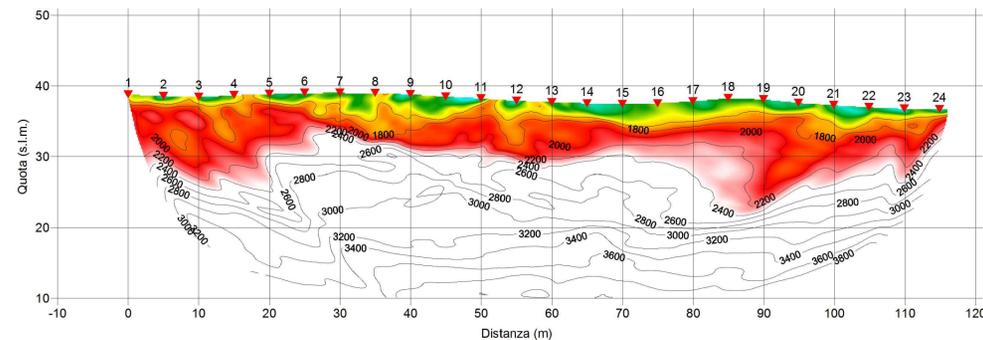
PR-2 LUNGARNO A. DIAZ



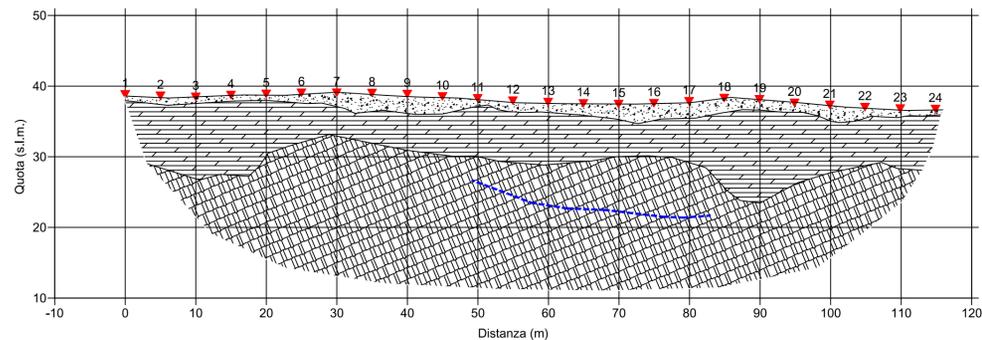
PR-2 SEZIONE INTERPRETATIVA



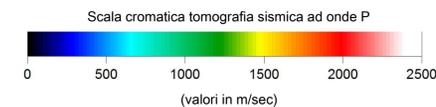
PR-3 LUNGARNO DELLE GRAZIE



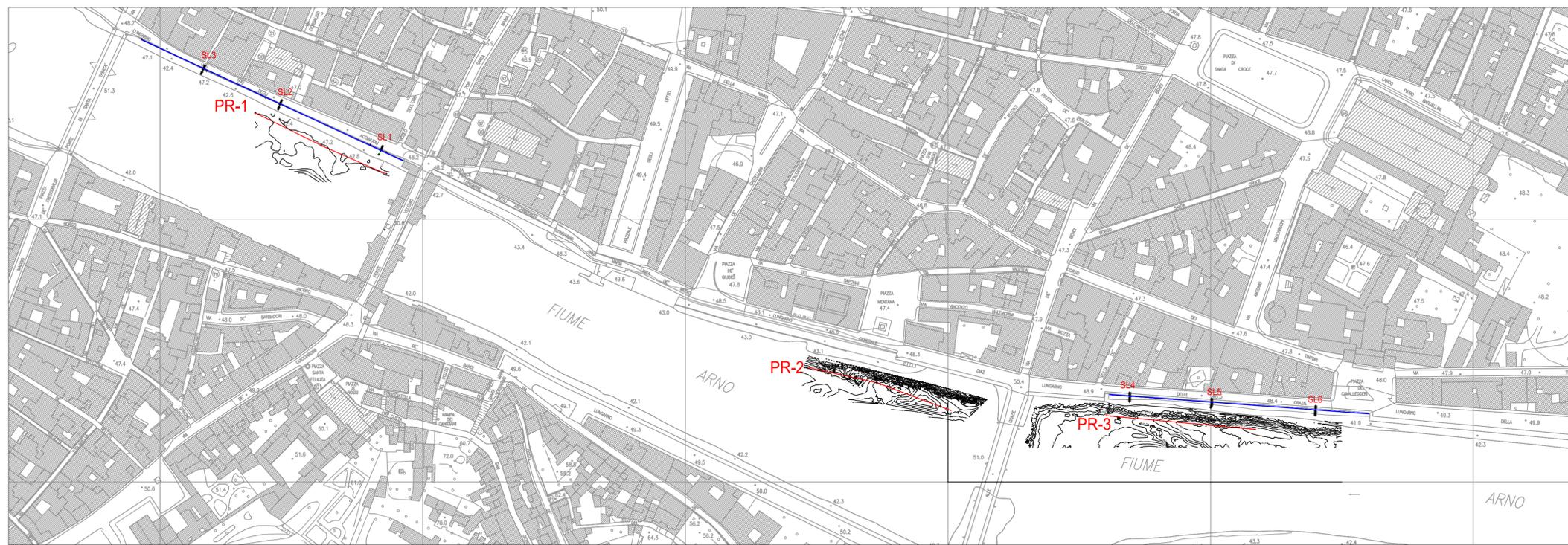
PR-3 SEZIONE INTERPRETATIVA



PR-2 Ubicazione profili sismici sull'alveo



AREA DI INDAGINE (scala 1:2.000)

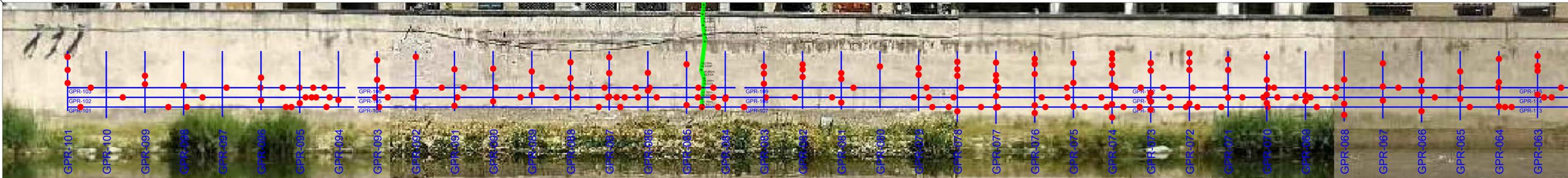


SEZIONE INTERPRETATIVA

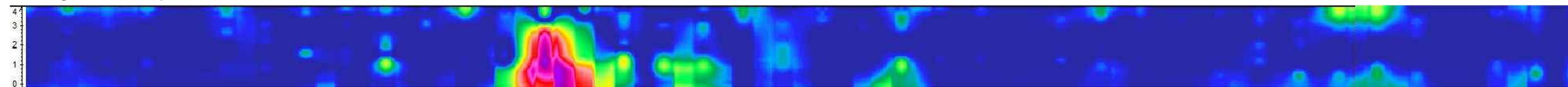
- Sedimenti non consolidati
- Alluvioni compatte o parte fratturata ed alterata della formazione in situ (Formazione della Pietraforte ?)
- Substrato sismico litoido (Formazione della Pietraforte ?)
- Strati allentanti all'interno del Substrato sismico

Revisione:	Descrizione:	Data:	Firma:
0.00	Prima edizione:	2020-10-20	ca
PRECISIONE:	COMMITTENTE:	REGIONE TOSCANA Genio Civile Valdarno Superiore	
Distanze: metri			
Quote: metri			
Profondità: metri		COMUNE DI FIRENZE - PROVINCIA DI FIRENZE	
Data:	INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE - FIRENZE		
Ottobre 2020 Archivio: 2484/20	TOMOGRAFIE SISIMICHE NELL'ALVEO PARALLELE AI MURAGLIONI LUNGARNO		
DIREZIONE INDAGINE GEOFISICA: Dr Geol. GIANFRANCO CENSINI			

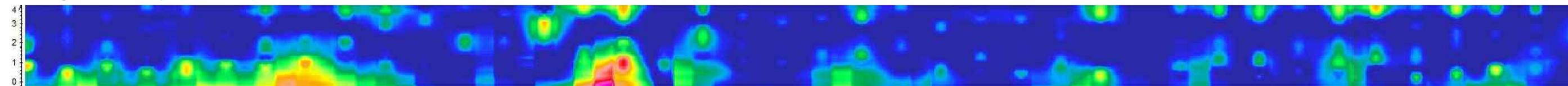
All right reserved



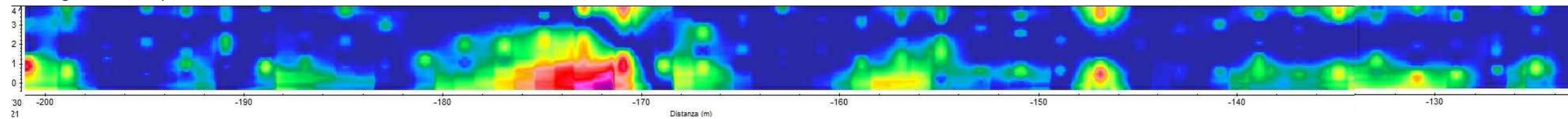
Tomografia 3D a profondità di 0.40 m



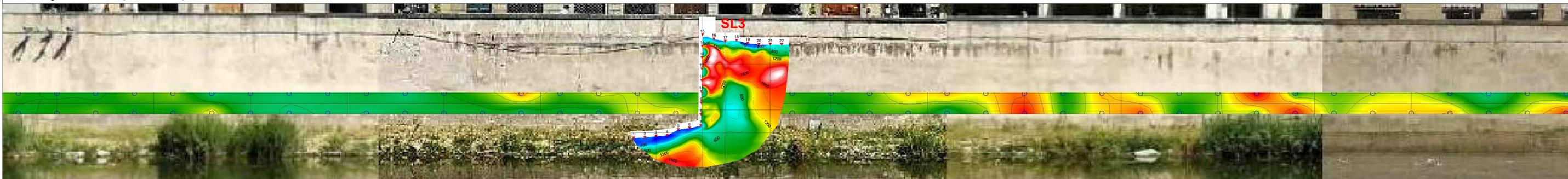
Tomografia 3D a profondità di 0.70 m



Tomografia 3D a profondità di 1.00 m



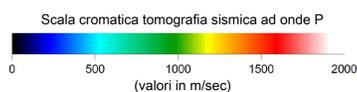
Tomografia sismica (Scala 1:100)



**LEGENDA**

— GPR-122 Ubicazione profili GPR e relativa nomenclatura (la sigla indica il punto di inizio del profilo)

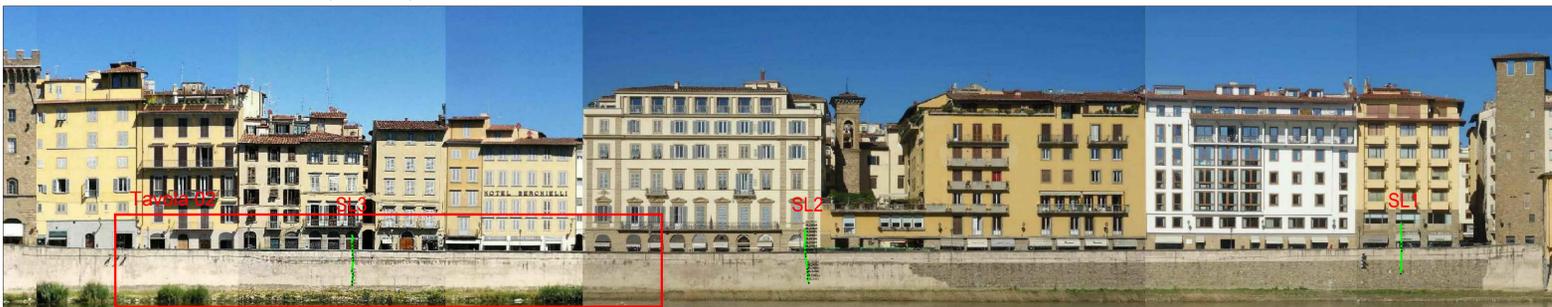
• Anomalia puntuale individuata dal radargramma



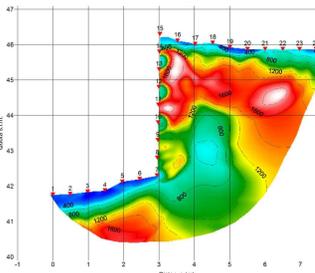
**LEGENDA STRATIGRAFICA:**

	Strutture murarie di buona qualità		Alluvioni o detriti compatti		Substrato litoide da molto alterato ad alterato
	Strutture murarie di mediocre qualità		Alluvioni o detriti sciolti o vuoti di antiche strutture fognarie		Substrato litoide compatto
	Strutture murarie di scadente qualità				

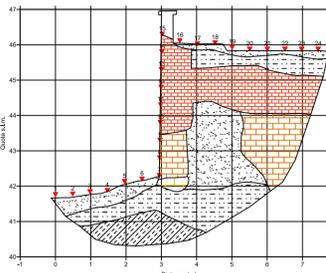
INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INDAGINE (Scala 1:500)



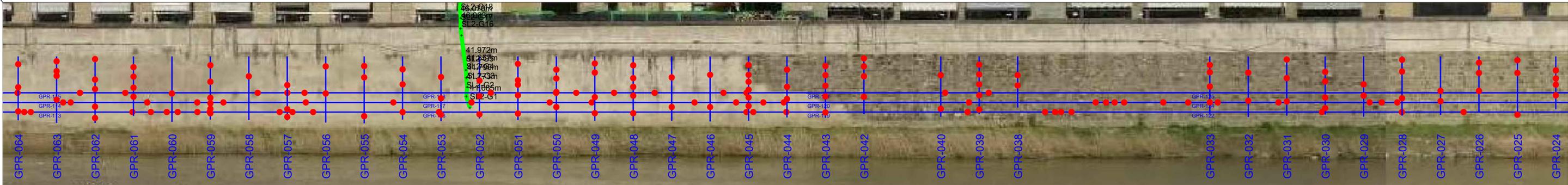
TOMOGRAFIA SISMICA\_SL3



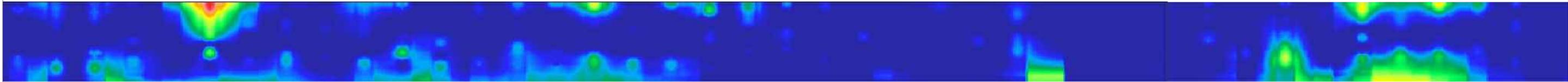
SEZIONE INTERPRETATIVA\_SL3



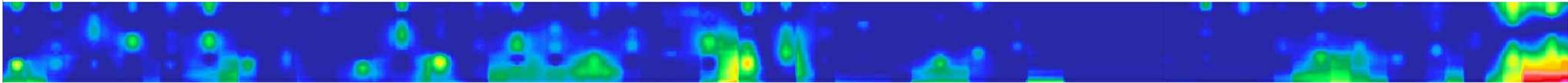
Revisione:	Descrizione:	Data:	Firma:
0.00	Prima edizione:	2020-10-20	ca
PRECISIONE:	COMMITTENTE:	REGIONE TOSCANA - Genio Civile Valdarno Superiore	
Distanze: metri	Quote: metri	COMUNE DI FIRENZE - PROVINCIA DI FIRENZE	
Profondità: metri	Data:	Ottobre 2020	
Archivio:	INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE - FIRENZE		
Tavola 03 (A1)	INDAGINI GEOFISICHE LUNGARNO DEGLI ACCIAIUOLI - LATO PONTE SANTA TRINITA'		
Scala 1:100	DIREZIONE INDAGINE GEOFISICA: Dr. Geol. GIANFRANCO CENSINI		



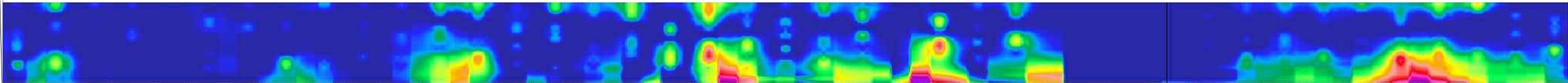
Tomografia 3D a profondità di 0.40 m



Tomografia 3D a profondità di 0.70 m

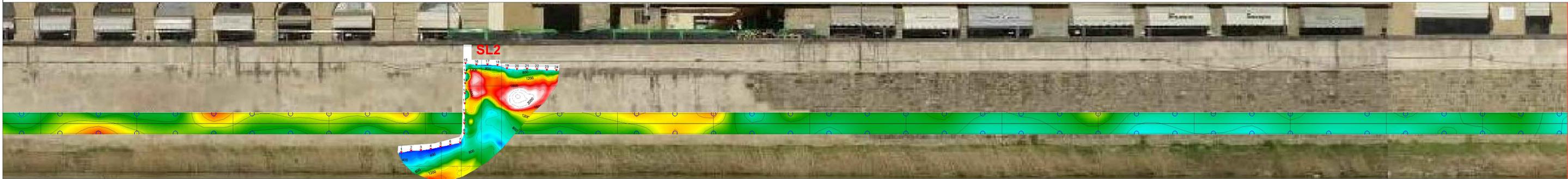


Tomografia 3D a profondità di 1.00 m

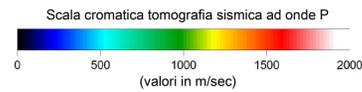


-120 -110 -100 -90 -80 -70 -60 -50  
 Distanza (m)

Tomografia sismica (Scala 1:100)



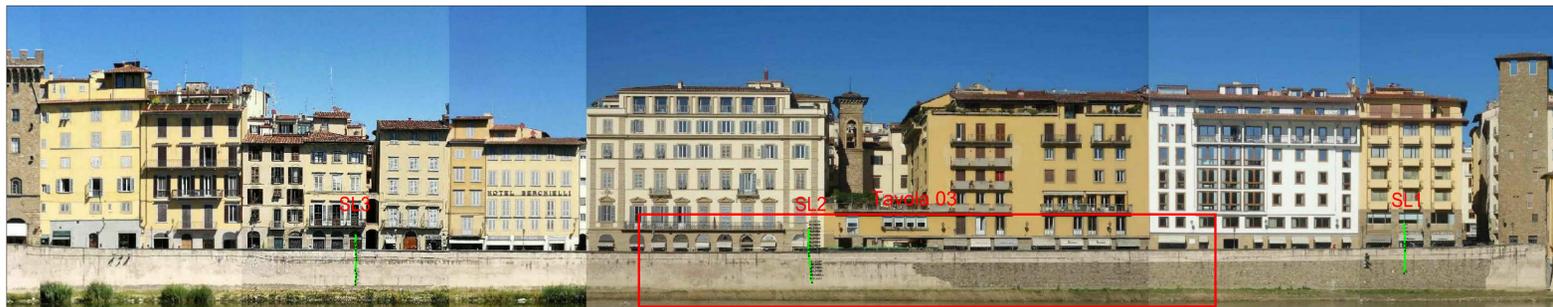
**LEGENDA**  
 GPR-122 Ubicazione profili GPR e relativa nomenclatura (la sigla indica il punto di inizio del profilo)  
 ● Anomalia puntuale individuata dal radargramma



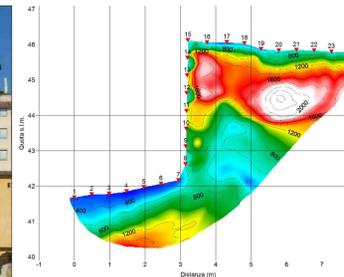
LEGENDA STRATIGRAFICA:

- Strutture murarie di buona qualità
- Alluvioni o detriti compatti
- Substrato litoide da molto alterato ad alterato
- Strutture murarie di mediocre qualità
- Alluvioni o detriti sciolti o vuoti di antiche strutture fognarie
- Substrato litoide compatto
- Strutture murarie di scadente qualità

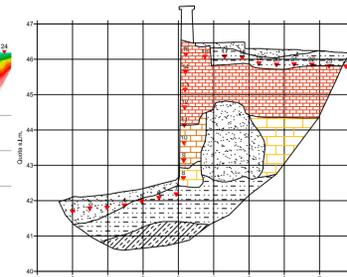
INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INDAGINE (Scala 1:500)



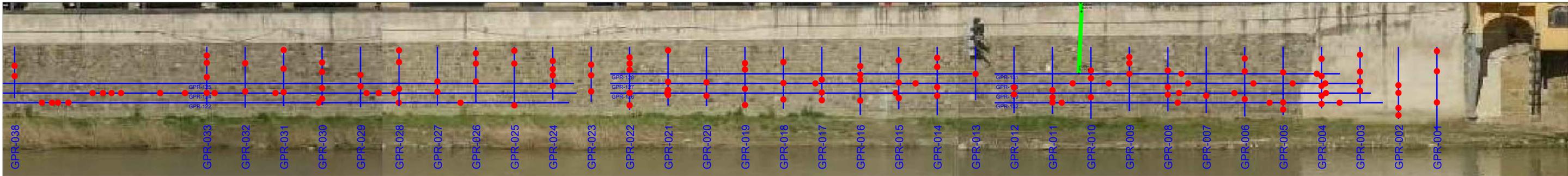
TOMOGRAFIA SISMICA\_SL2



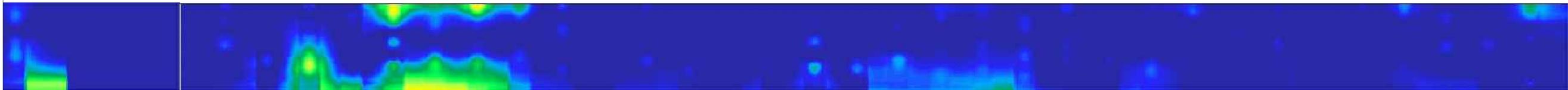
SEZIONE INTERPRETATIVA\_SL2



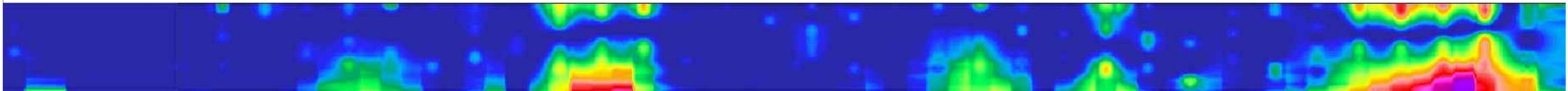
Revisione:	Descrizione:	Data:	Firma:
0.00	Prima edizione:	2020-10-20	ca
PRECISIONE:	COMMITTENTE:	REGIONE TOSCANA Genio Civile Valdarno Superiore	
Distanze: metri			
Quote: metri			
Profondità: metri		Data: Ottobre 2020 COMUNE DI FIRENZE - PROVINCIA DI FIRENZE	
Archivio: 2484/20	INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE - FIRENZE		
Tavola 03 (A1) Scala 1:100	INDAGINI GEOFISICHE LUNGARNO DEGLI ACCIAIUOLI - ZONA CENTRALE		
DIREZIONE INDAGINE GEOFISICA: Dr Geol. GIANFRANCO CENSINI			
 Via E. Fermi, 8 53048 SINALUNGA (SI) - ITALY Tel +39 0577 67 99 73 - Fax +39 0577 63 20 96 <a href="http://www.georisorse.it">http://www.georisorse.it</a>			



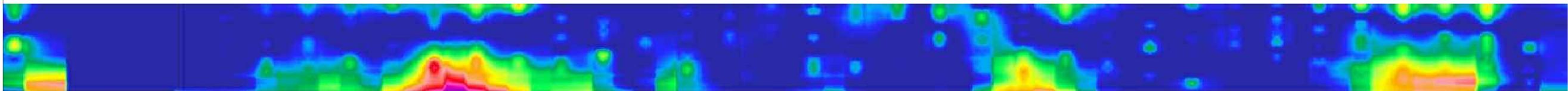
Tomografia 3D a profondità di 0.40 m



Tomografia 3D a profondità di 0.70 m



Tomografia 3D a profondità di 1.00 m

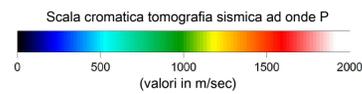


-70 -60 -50 -40 -30 -20 -10  
Distanza (m)

Tomografia sismica (Scala 1:100)



**LEGENDA**  
 Ubicazione profili GPR e relativa nomenclatura (la sigla indica il punto di inizio del profilo)  
 Anomalia puntuale individuata dal radargramma



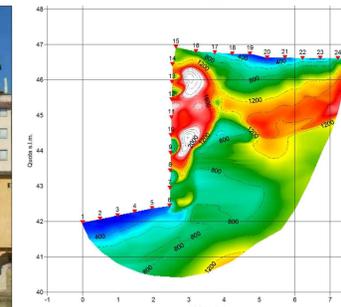
LEGENDA STRATIGRAFICA:

- Strutture murarie di buona qualità
- Strutture murarie di mediocre qualità
- Strutture murarie di scadente qualità
- Alluvioni o detriti compatti
- Alluvioni o detriti sciolti o vuoti di antiche strutture fognarie
- Substrato litoide da molto alterato ad alterato
- Substrato litoide compatto

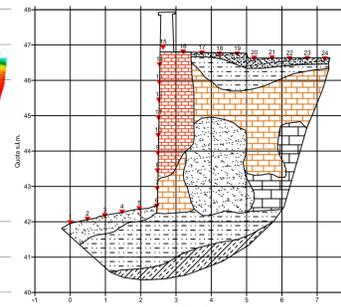
INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INDAGINE (Scala 1:500)



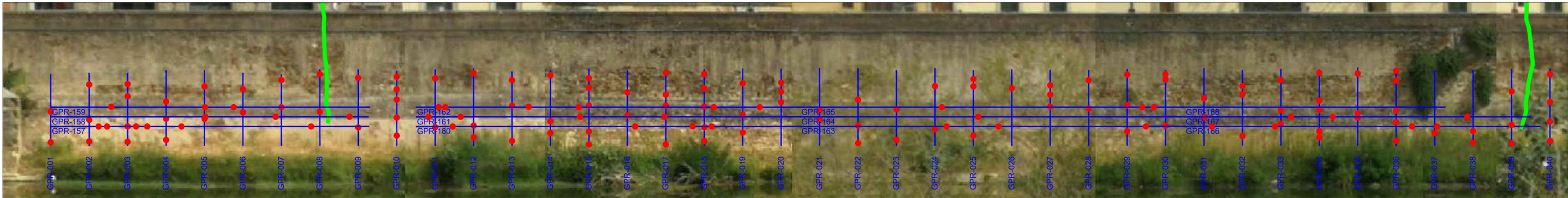
TOMOGRAFIA SISMICA\_SL1



SEZIONE INTERPRETATIVA\_SL1



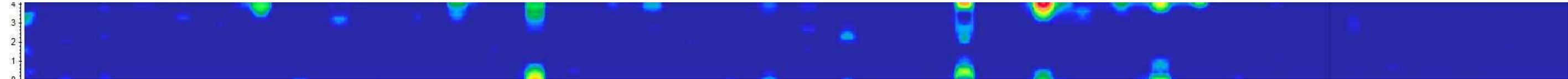
Revisione:	Descrizione:	Data:	Firma:
0.00	Prima edizione:	2020-10-20	ca
PRECISIONE:	COMMITTENTE:	REGIONE TOSCANA - Genio Civile Valdarno Superiore	
Distanze: metri			
Quote: metri			
Profondità: metri		COMUNE DI FIRENZE - PROVINCIA DI FIRENZE	
Data: Ottobre 2020	INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE - FIRENZE		
Archivio: 2484/20	INDAGINI GEOFISICHE LUNGARNO DEGLI ACCIAIUOLI - LATO PONTE VECCHIO		
Tavola 04 (A1) Scala 1:100	DIREZIONE INDAGINE GEOFISICA: Dr Geol. GIANFRANCO CENSINI		
Via E. Fermi, 8 53048 SINALUNGA (SI) - ITALY Tel +39 0577 67 99 73 - Fax +39 0577 63 20 96 <a href="http://www.georisorse.it">http://www.georisorse.it</a>			



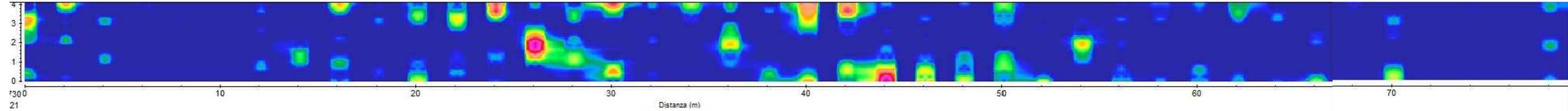
Tomografia 3D a profondità di 0.40 m



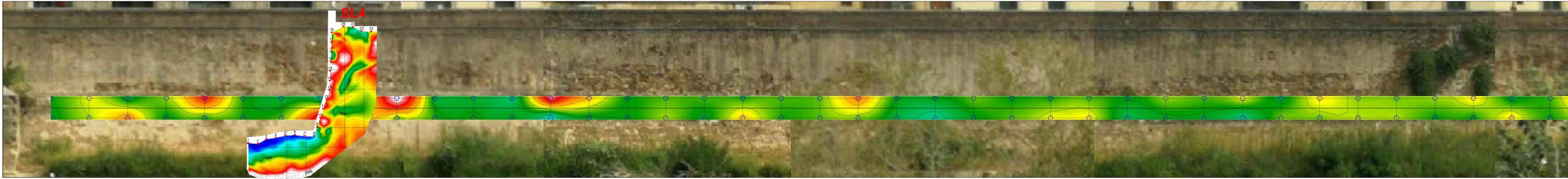
Tomografia 3D a profondità di 0.70 m



Tomografia 3D a profondità di 1.00 m

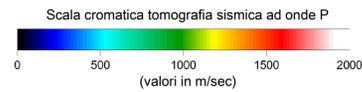


Tomografia sismica (Scala 1:100)



LEGENDA

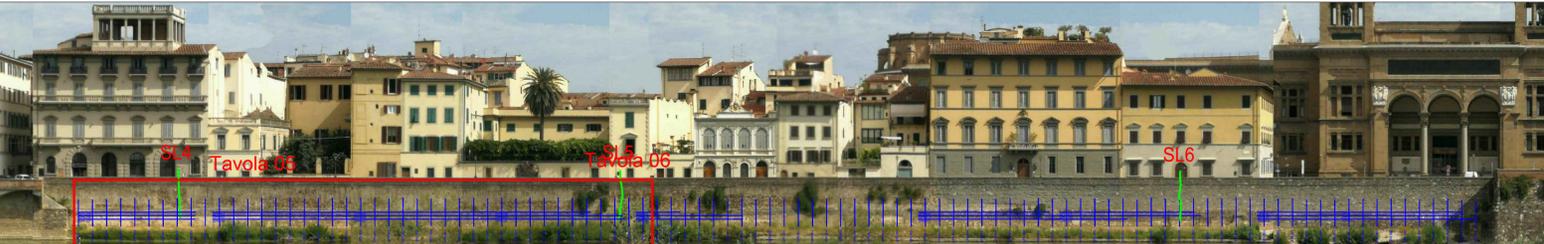
- Ubicazione profili GPR e relativa nomenclatura (la sigla indica il punto di inizio del profilo)
- Anomalia puntuale individuata dal radargramma



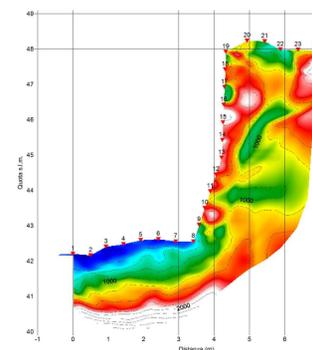
LEGENDA STRATIGRAFICA:

- Strutture murarie di buona qualità
- Strutture murarie di mediocre qualità
- Strutture murarie di scadente qualità
- Alluvioni o detriti compatti
- Alluvioni o detriti sciolti o vuoti di antiche strutture fognarie
- Substrato litoide da molto alterato ad alterato
- Substrato litoide compatto

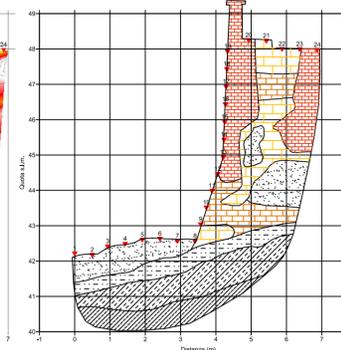
INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INDAGINE (Scala 1:500)



TOMOGRAFIA SISMICA\_SL4



SEZIONE INTERPRETATIVA\_SL4



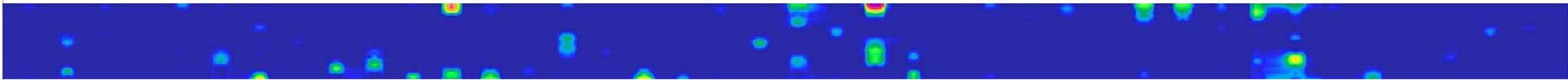
Revisione:	Descrizione:	Data:	Firma:
0.00	Prima edizione:	2020-10-20	ca
PRECISIONE:	COMMITTENTE:	REGIONE TOSCANA - Genio Civile Valdarno Superiore	
Distanze: metri			
Quote: metri			
Profondità: metri		COMUNE DI FIRENZE - PROVINCIA DI FIRENZE	
Data:	INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIOLI E LUNGARNO LE GRAZIE - FIRENZE		
Ottobre 2020			
Archivio:	INDAGINI GEOFISICHE LUNGARNO DELLE GRAZIE - LATO PONTE LE GRAZIE		
2484/20			
Tavola 05 (A1)	DIREZIONE INDAGINE GEOFISICA: Dr Geol. GIANFRANCO CENSINI		
Scala 1:100			
Via E. Fermi, 8 53048 SINALUNGA (SI) - ITALY Tel +39.0577.67.99.73 - Fax +39.0577.63.20.96 <a href="http://www.georisorse.it">http://www.georisorse.it</a>			

Profili Georadar orizzontali (Scala 1:100)



Profili Georadar verticali (Scala 1:100)

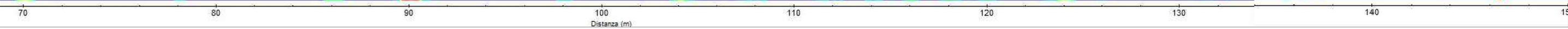
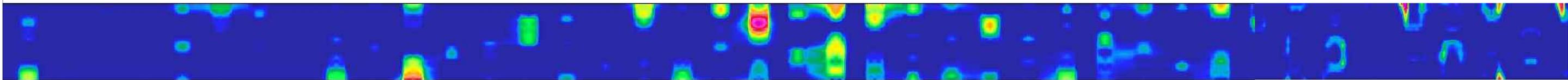
Tomografia 3D a profondità di 0.40 m



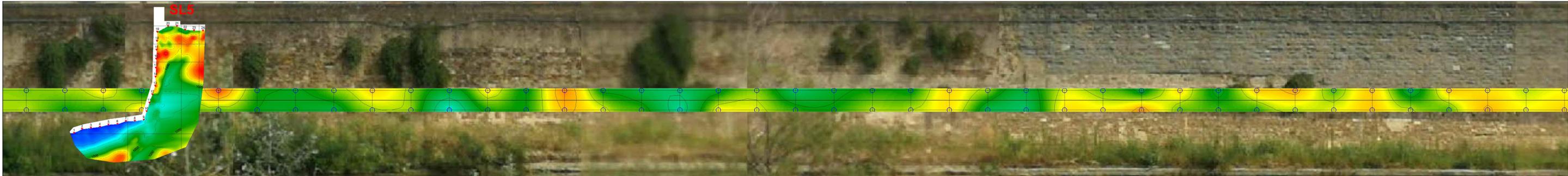
Tomografia 3D a profondità di 0.70 m



Tomografia 3D a profondità di 1.00 m



Tomografia sismica (Scala 1:100)

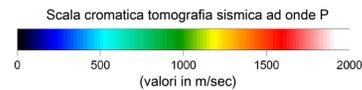


LEGENDA

GPR-122 Ubicazione profili GPR e relativa nomenclatura (la sigla indica il punto di inizio del profilo)



Anomalia puntuale individuata dal radargramma



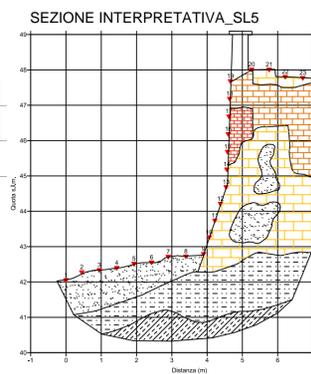
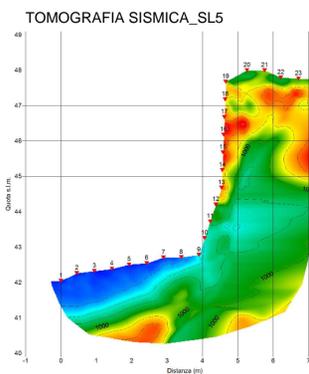
LEGENDA STRATIGRAFICA:

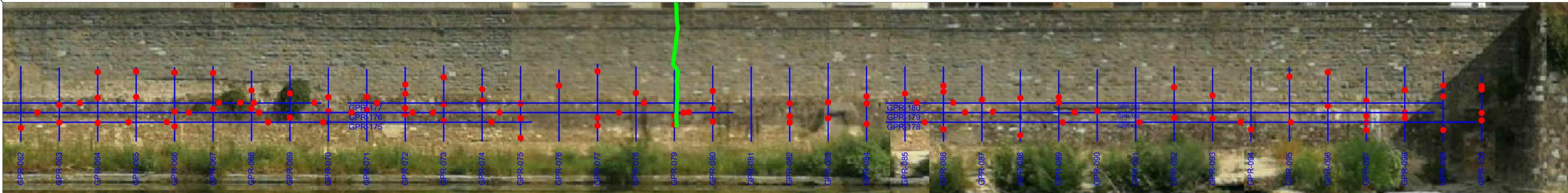
- Strutture murarie di buona qualità
- Strutture murarie di mediocre qualità
- Strutture murarie di scadente qualità
- Alluvioni o detriti compatti
- Alluvioni o detriti sciolti o vuoti di antiche strutture fognarie
- Substrato litoido da molto alterato ad alterato
- Substrato litoido compatto

Revisione:	Descrizione:	Data:	Firma:
0.00	Prima edizione:	2020-10-20	ca

PRECISIONE:	COMMITTENTE:
Distanze: metri	REGIONE TOSCANA Genio Civile Valdarno Superiore
Quote: metri	
Profondità: metri	
Data:	COMUNE DI FIRENZE - PROVINCIA DI FIRENZE
Archivio:	INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE - FIRENZE
Tavola 06 (A1) Scala 1:100	INDAGINI GEOFISICHE LUNGARNO DELLE GRAZIE - ZONA CENTRALE
DIREZIONE INDAGINE GEOFISICA: Dr Geol. GIANFRANCO CENSINI	

INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INDAGINE (Scala 1:500)

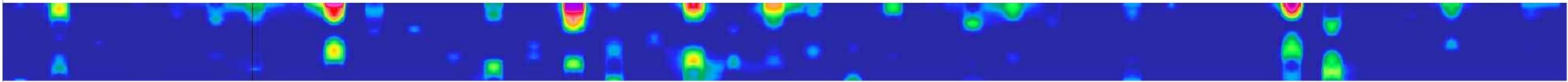




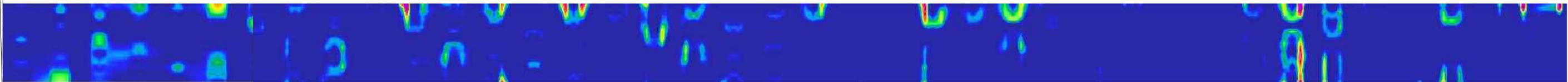
Tomografia 3D a profondità di 0.40 m



Tomografia 3D a profondità di 0.70 m

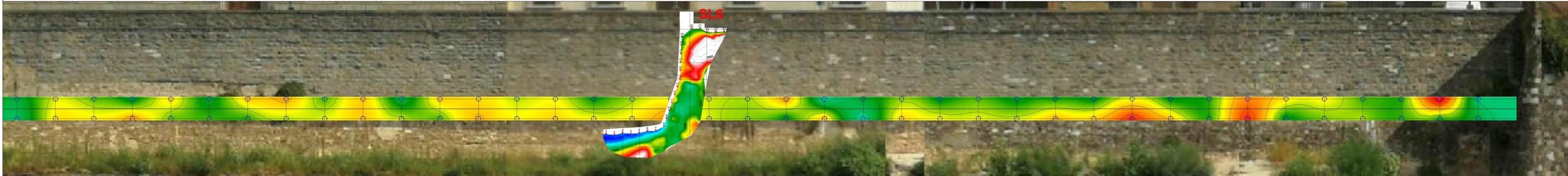


Tomografia 3D a profondità di 1.00 m



130 140 150 160 170 180 190 200  
Distanza (m)

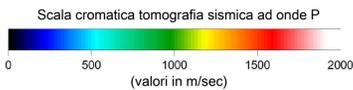
Tomografia sismica (Scala 1:100)



LEGENDA

GPR-122 Ubicazione profili GPR e relativa nomenclatura (la sigla indica il punto di inizio del profilo)

Anomalia puntuale individuata dal radargramma



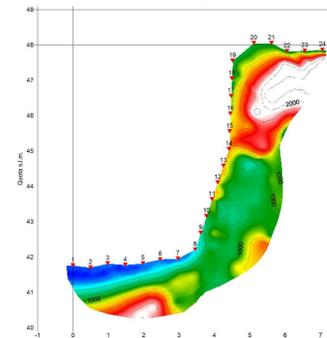
LEGENDA STRATIGRAFICA:

- Strutture murarie di buona qualità
- Strutture murarie di mediocre qualità
- Strutture murarie di scadente qualità
- Alluvioni o detriti compatti
- Alluvioni o detriti sciolti o vuoti di antiche strutture fognarie
- Substrato litoide da molto alterato ad alterato
- Substrato litoide compatto

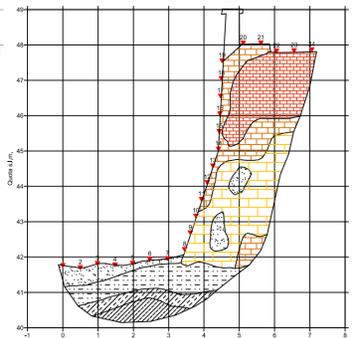
INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INDAGINE (Scala 1:500)



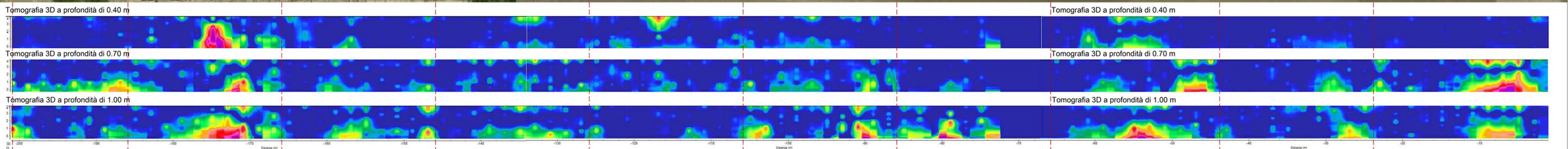
TOMOGRAFIA SISMICA\_SL6



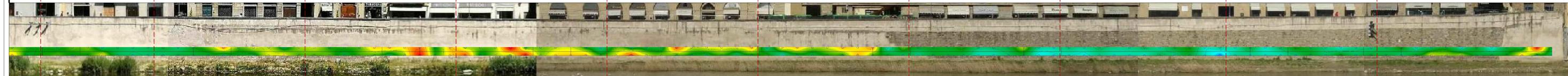
SEZIONE INTERPRETATIVA\_SL6



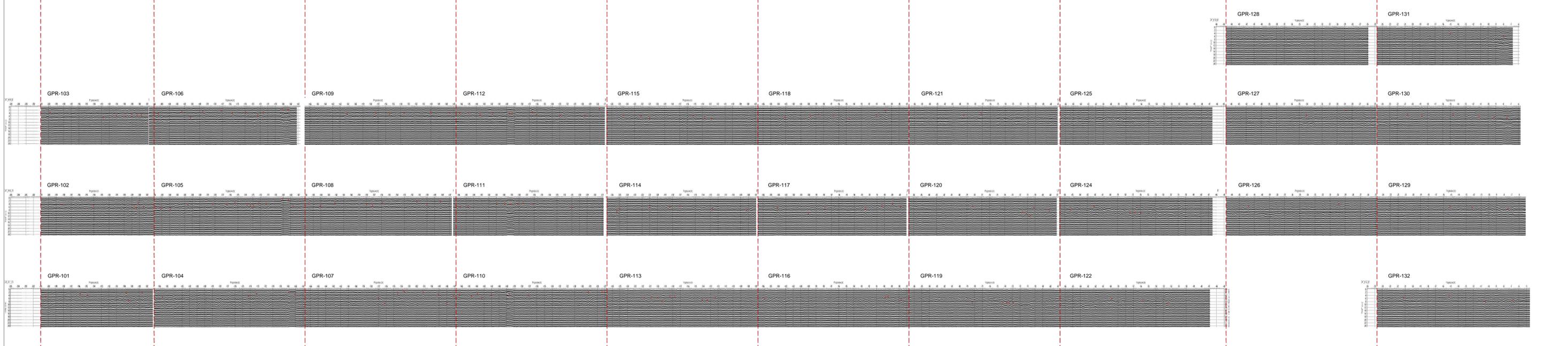
Revisione:	Descrizione:	Data:	Firma:
0,00	Prima edizione:	2020-10-20	ca
PRECISIONE:	COMMITTENTE:	REGIONE TOSCANA - Genio Civile Valdarno Superiore	
Distanze: metri	COMUNE DI FIRENZE - PROVINCIA DI FIRENZE		
Quote: metri			
Profondità: metri	Archivio: 2484/20 INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE - FIRENZE		
Tavola 07 (A1) Scala 1:100 INDAGINI GEOFISICHE LUNGARNO DELLE GRAZIE - LATO BIBLIOTECA NAZIONALE		DIREZIONE INDAGINE GEOFISICA: Dr Geol. GIANFRANCO CENSINI	
All right reserved <b>GEORISORSE</b> PROSPERITÀ GEOFISICHE PER L'ESPLORAZIONE LA STUDIO E LA CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO Via E. Fermi, 8 53048 SINALUNGA (SI) - ITALY Tel +39 0577 67 99 73 - Fax +39 0577 63 20 96 <a href="http://www.georisorse.it">http://www.georisorse.it</a>			



Tomografia sismica (Scala 1:250)



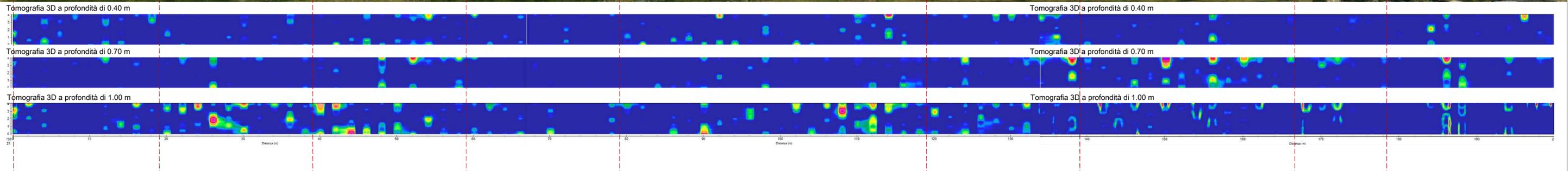
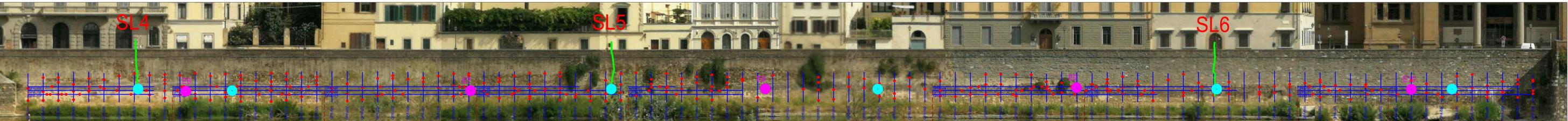
Radargrammi orizzontali (scala orizzontale 1:250, scala verticale 1:125)



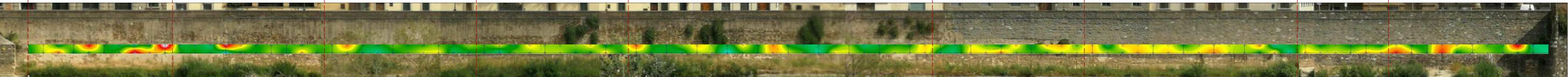
LEGENDA

- Ubicazione delle indagini dirette mediante sondaggi a carotaggio già eseguite
- Ubicazione dei fori di sondaggio a carotaggio continuo qui proposti

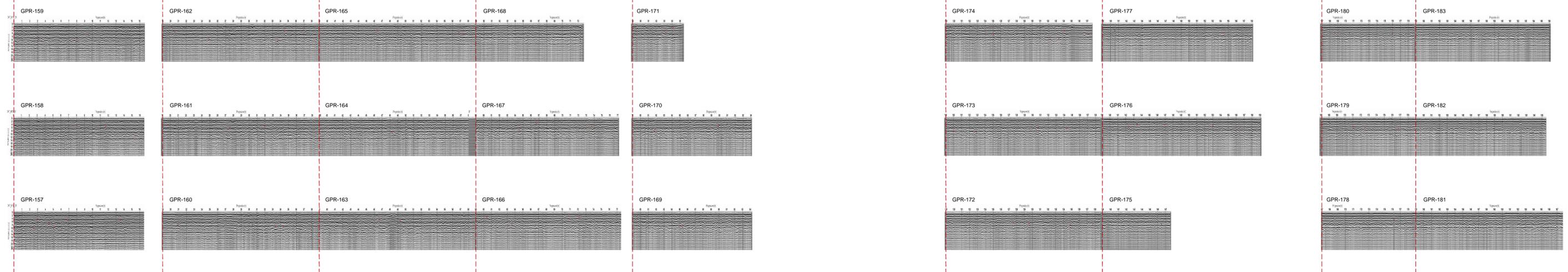
Revisione:	Descrizione:	Data:	Firma:
0,00	Prima edizione:	2020-10-20	ca
PRECISIONE:	COMMITTENTE:	<b>REGIONE TOSCANA</b> Genio Civile Valdarno Superiore	
Distanze: metri			
Quote: metri			
Profondità: metri			
Data:	COMUNE DI FIRENZE - PROVINCIA DI FIRENZE		
Archivio:	INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE - FIRENZE		
Tavolo 08 (A1)	SINTESI		
Scala 1:250	UBICAZIONE DEI SONDAGGI PROPOSTI PER IL LUNGARNO DEGLI ACCIAIUOLI		
DIREZIONE INDAGINE GEOFISICA: Dr Geol. GIANFRANCO CENSINI			



Tomografia sismica (Scala 1:250)



Radargrammi orizzontali (scala orizzontale 1:250, scala verticale 1:125)



LEGENDA

- Ubicazione delle indagini dirette mediante sondaggi a carotaggio già eseguite
- Ubicazione dei fori di sondaggio a carotaggio continuo qui proposti

Revisione:	Descrizione:	Data:	Firma:
0,00	Prima edizione:	2020-10-20	ca
PRECISIONE:	COMMITTENTE:	REGIONE TOSCANA - Genio Civile Valdarno Superiore	
Distanze: metri			
Quote: metri			
Profondità: metri			
Data:	COMUNE DI FIRENZE - PROVINCIA DI FIRENZE		
Ottobre 2020 Archivio: 2484/20	INDAGINI GEOFISICHE MULTIMETODOLOGICHE PER LO STUDIO DELLA FORMAZIONE E DELLA STRUTTURA SOTTOSTANTE I MURAGLIONI DI LUNGARNO ACCIAIUOLI E LUNGARNO LE GRAZIE - FIRENZE		
Tavola 09 (A1) Scala 1:250	SINTESI UBICAZIONE DEI SONDAGGI PROPOSTI PER IL LUNGARNO LE GRAZIE		
DIREZIONE INDAGINE GEOFISICA: Dr Geol. GIANFRANCO CENSINI			
GEORISORSE PROSPERITÀ GEOFISICA PER L'ESPLORAZIONE LA STUDIO E LA CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO Via E. Fermi, 8 53048 SINALUNGA (SI) - ITALY Tel +39.0577.67.99.73 - Fax +39.0577.63.20.96 <a href="http://www.georisorse.it">http://www.georisorse.it</a>			

All rights reserved