



COMUNE DI GENOVA

DIRIGENTE RESPONSABILE:

arch. Luca Patrone

**RESPONSABILE UNICO DEL
PROCEDIMENTO:**

arch. Mirco Grassi

**PROGETTAZIONE
ARCHITETTONICA:**

Capogruppo

Migliore+Servetto Architects

arch. Ico Migliore

arch. Mara Servetto

arch. Paolo Andrea Raffetto

arch. Nicola Valentino Canessa

arch. Maddalena Piccini

**PROGETTAZIONE
STRUTTURALE:**

Studio P.R.D

ing. Giovanni Damonte

ing. Alessandro Romelli

**PROGETTAZIONE
IMPIANTISTICA:**

ing. Luca Pizzorni

DIAGNOSI ENERGETICA:

ing. Alberto Messico

**PROGETTAZIONE
MULTIMEDIALE:**

Inglobe Thecnologyes s.r.l.

COMUNE DI GENOVA

AREA DELLE RISORSE TECNICO OPERATIVE

DIREZIONE PROGETTAZIONE

AREA DEI SERVIZI ALLA COMUNITÀ - DIREZIONE BENI E
ATTIVITÀ CULTURALI

INTERVENTO OPERA:

MUSEO DELLA CITTÀ DI GENOVA - GENOA CITY MUSEUM

Municipio I-centro EST

Quartiere Centro Storico

CUP (B39G19000220002)

MOGE (20335)

LIVELLO DI PROGETTAZIONE:

DEFINITIVO

CONTENUTO DEGLI ELABORATI:

REALZIONE INDAGINI GEOFISICHE

DATA:

06 OTTOBRE 2020

TAVOLA N°:

003

SCALA:

-

CODICE ELABORATO:

LGB D ST RE 003
REV01

REDATTO:

CONTROLLATO:

VERIFICATO:

APPROVATO:

filename: 2020.10.06_Loggia Banchi_indagini.indd

I disegni e le informazioni in essi contenute sono proprietà esclusiva del comune di Genova e non possono essere modificati, riprodotti, resi pubblici o utilizzati per usi differenti da quelli per cui sono stati redatti, salvo autorizzazione scritta.

Spett.le

COMUNE DI GENOVA
Via Garibaldi 9, Palazzo Tursi
16124 Genova

La Morra, 28/10/2020

COMUNE DI GENOVA



PROSPEZIONI GEOFISICHE ALL'INTERNO DELLA LOGGIA DEI BANCHI



Sommario

PREMESSA.....	3
CENNI SULLE METODOLOGIE UTILIZZATE	3
<i>Prospezione Sismica Passiva (HVSr)</i>	3
<i>Prospezione Georadar</i>	4
PROSPEZIONE HVSr	5
<i>Metodologia di indagine</i>	5
PROSPEZIONE GEORADAR	7
<i>Metodologia di indagine</i>	7
<i>Processing dei dati</i>	10
RISULTATI OTTENUTI	12
<i>Prospezione HVSr</i>	12
<i>Prospezione Georadar</i>	15

PREMESSA

Nella giornata del 16/10/2020 è stata eseguita una serie di indagini geofisiche all'interno della Loggia dei Banchi, edificio storico situato in Piazza Banchi nel Centro Storico del Comune di Genova (GE). Lo scopo dell'indagine è stato sia quello ricavare, mediante misurazioni di sismica passiva HVSR, informazioni sulla stratigrafia del sottosuolo, sia quello di individuare, mediante prospezione georadar, l'eventuale presenza in profondità di strutture o vuoti, che possano in qualche modo compromettere il buon esito dei lavori di ristrutturazione in progetto.

CENNI SULLE METODOLOGIE UTILIZZATE

Prospezione Sismica Passiva (HVSR)

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti.

La forma di un'onda sismica registrata in un sito da uno strumento dipende:

1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s ,
2. dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda),
3. dalla risposta dello strumento.

Possiamo esprimere questo concetto come:

segnale registrazione al sito x = sorgente * effetti di percorso * funzione trasferimento strumento

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

La relazione che si applica per il calcolo della profondità delle superfici con i maggiori contrasti di impedenza è la seguente:

$$T_s = 2\pi / \omega = 4H / V_s \quad (1)$$

dove:

- T_s = periodo della vibrazione (s)
- ω = frequenza misurata (rad)
- H = profondità del sismostrato (m)
- V_s = velocità delle onde di taglio (m/s)

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si è potuto ricavare il valore di frequenza caratteristica di ogni punto di misura.

Prospezione Georadar

Il metodo georadar (GPR) si basa sulla proprietà dei materiali di essere attraversati onde elettromagnetiche ad alta frequenza, e misura il tempo di andata e ritorno di tali onde quando esse vengono riflesse da una superficie di discontinuità elettromagnetica nel sottosuolo. L'indagine si basa sull'immissione di brevi impulsi elettromagnetici ad alta frequenza, ripetuti con continuità ed emessi da un'antenna posta al di sopra della superficie da indagare. Quando l'impulso elettromagnetico, nel propagarsi in profondità, incontra una superficie che separa due mezzi aventi costante dielettrica differente (come ad esempio un oggetto sepolto nel sottosuolo), una parte dell'energia incidente viene riflessa ed una parte prosegue nel secondo mezzo. Le onde riflesse dalla superficie di discontinuità ritornano in superficie e vengono rilevate dall'antenna ricevente, mentre la parte di energia trasmessa procede oltre, avanzando in profondità e rendendosi disponibile per altre riflessioni su eventuali discontinuità più profonde. Facendo avanzare l'antenna lungo degli allineamenti prefissati, e analizzando il segnale riflesso in profondità, è così possibile ottenere informazioni riguardo la presenza di oggetti, cavità e orizzonti stratigrafici presenti nel sottosuolo.

La banda di frequenze utilizzate può variare tra 25 e oltre 3000 Mhz; la scelta entro tale intervallo di possibilità dipende dal dettaglio che si vuole ottenere e dalla profondità da indagare, in quanto la frequenza è direttamente proporzionale al potere risolutivo mentre la profondità di indagine diminuisce con l'aumentare

della frequenza a causa del maggiore assorbimento del segnale. Il risultato finale di una scansione radar è costituito da una serie di segnali nel dominio del tempo che costituiscono il radargramma, e definiscono la successione degli orizzonti e dei target con caratteri elettromagnetici diversi attraversati dal segnale emesso dall'antenna, e la loro posizione verticale, dipendente dalle velocità di propagazione delle onde nei materiali attraversati.

Le operazioni di campagna che costituiscono la prospezione georadar prevedono la realizzazione di una sequenza di allineamenti longitudinali e trasversali secondo una griglia di acquisizione definita dall'utente.

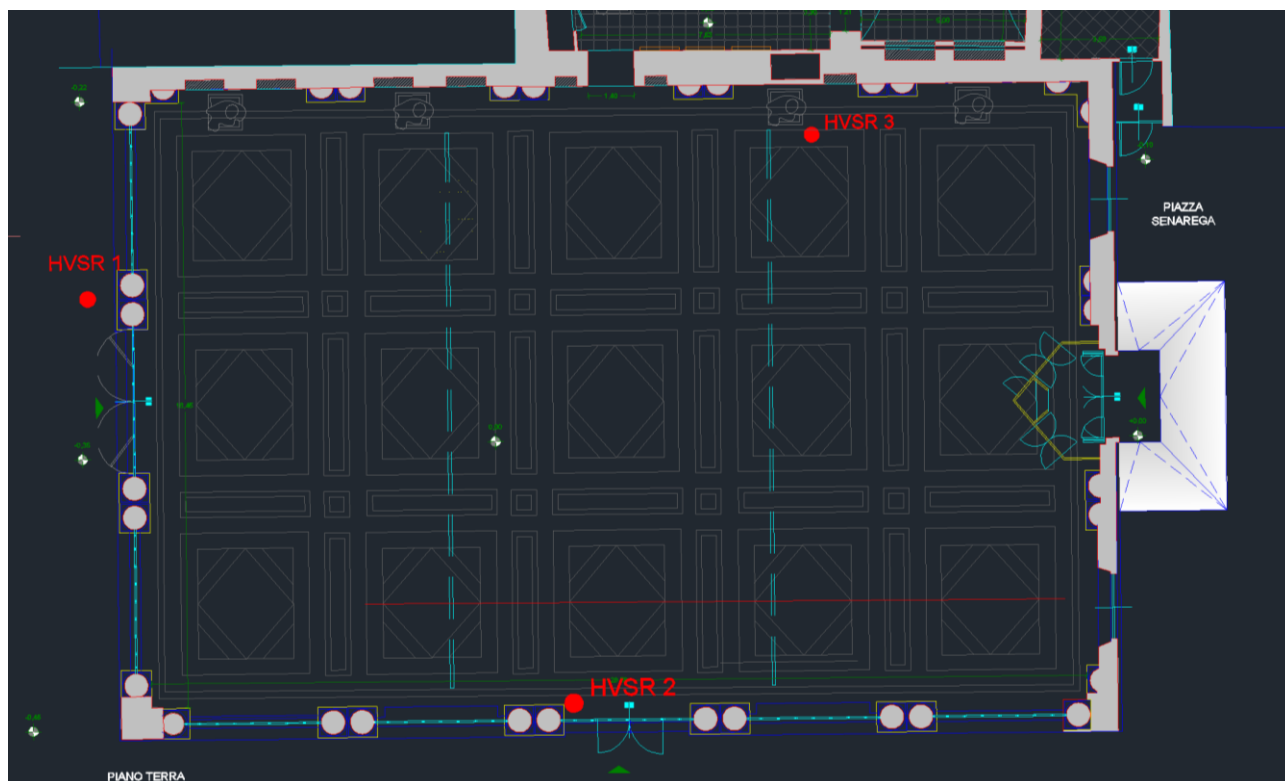
I radargrammi registrati dal georadar si riferiscono al segnale proveniente dal sottosuolo posto immediatamente al di sotto dello strumento. Analizzando così il segnale proveniente dai vari allineamenti tra loro adiacenti è possibile verificare se le riflessioni dovute ad eventuali corpi presenti nel sottosuolo si diffondono nello spazio secondo una determinata direzione (ad es. tubazioni, archi o murature), o se sono dovute ad oggetti puntuali (tombini o altri oggetti di piccole dimensioni).

PROSPEZIONE HVSR

Metodologia di indagine

Per la registrazione passiva del segnale sismico con metodologia HVSR è stato impiegato un sismografo SARA SR-04 composto da 3 geofoni orientati secondo i 3 assi cartesiani XYZ. Lo strumento appoggiato sulla pavimentazione, e opportunamente orientato verso Nord, è stato lasciato a registrare il rumore ambientale eseguendo misurazioni con finestra temporale di 20 minuti.

In totale sono state eseguite 3 registrazioni: una ai piedi dell'edificio sulla parte esterna, e due all'interno del salone. La posizione delle prove è riassunta nella seguente immagine.



Immagini delle prove HVSr eseguite

PROSPEZIONE GEORADAR

Metodologia di indagine

L'indagine è stata eseguita mediante l'impiego di un georadar IDS modello RIS K2-MF, dotato di encoder digitale in grado di inviare al software di campagna la progressiva di avanzamento delle antenne lungo gli allineamenti.

Vista la relativa regolarità della superficie su cui è stato fatto scorrere lo strumento, si è deciso di impiegare l'array completo di antenne combinate a 600-200 MHz, consentendo così di ottenere fino a 6 canali simultanei e di coprire pertanto, con una sola passata, una superficie di larghezza pari a 1,6 m.



Georadar IDS all'interno del salone della Loggia dei Banchi

Configurazione Hardware utilizzata:

- Array di antenne ad alta frequenza (600 MHz) e bassa frequenza (200 MHz) collegate alla centralina di acquisizione e registrazione (DAD) dati per mezzo di un apposito cavo di trasmissione dati.
- Encoder digitale di posizione per la misura delle coordinate dei dati acquisiti;
- Unità di acquisizione e controllo georadar costituita da un Toughbook Panasonic CF-19;
- Scheda DAD IDS- K2, montata su struttura mobile in grado di seguire i movimenti dell'antenna
- Alimentazione radar con batteria a 12V;

Configurazione Software utilizzata:

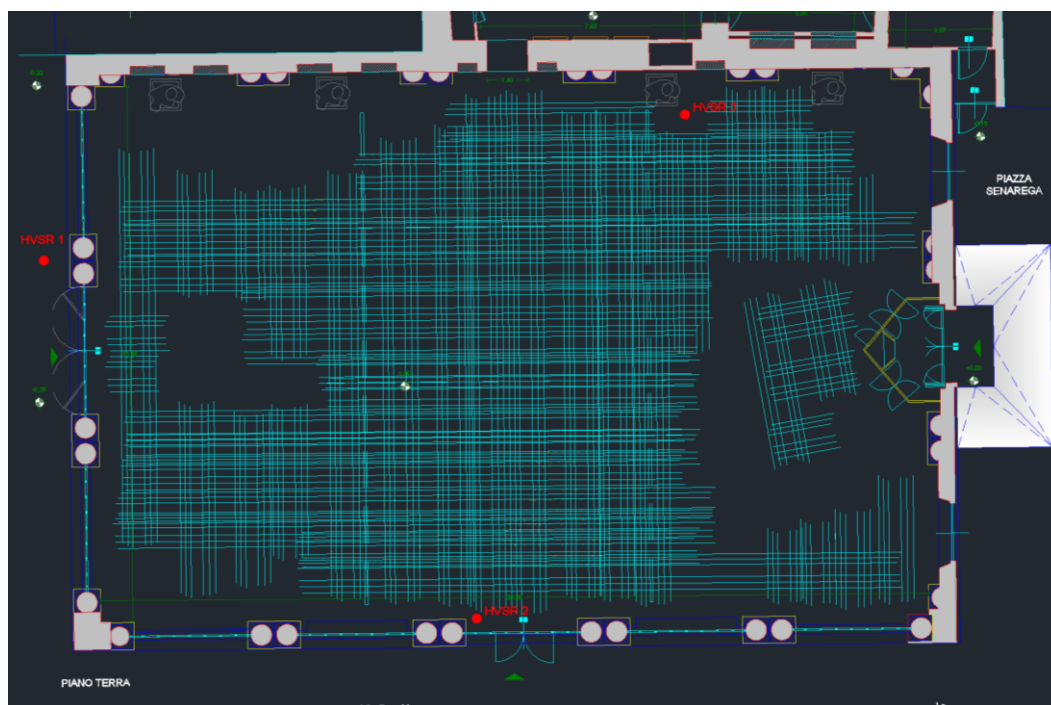
- software di acquisizione dati di campagna: IDS K2.
- Software di filtraggio, elaborazione, rappresentazione 3D e tomografica: IDS GRED.
- Software AutoCad 3D con plugin IDS per restituzione dati radar in 3D.

La fase di acquisizione dei dati è stata preceduta da una serie di operazioni finalizzate all'ottimizzazione della risposta strumentale. Le tarature effettuate hanno permesso di impostare efficacemente il guadagno dello strumento in modo tale da evitare fenomeni di saturazione del segnale.

Il campionamento del segnale è stato impostato su 512 samples/scan mentre il tempo di riflessione A/R è stato configurato su un fondo scala massimo di **98 ns**, in modo da raggiungere una profondità di investigazione teorica di circa 4,5 metri.

Da un punto di vista organizzativo la prospezione è stata eseguita all'interno della loggia, su una superficie complessiva di circa 450 m².

Per motivi di praticità, le scansioni longitudinali e trasversali, sono state eseguite servendosi della trama disegnata sulla pavimentazione, che per via della sua regolarità è stata utile per permettere al georadar di seguire durante le scansioni delle traiettorie il più rettilinee possibile.



Rappresentazione in pianta di tutte le scansioni eseguite (in azzurro)

Purtroppo l'eccessiva presenza di materiale accatastato ai lati del salone della Loggia non ha consentito allo strumento di coprire l'intera superficie. In alcuni casi infatti le scansioni si sono dovute interrompere prima per l'impossibilità da parte dello strumento di poter avanzare ulteriormente. Non è stato pertanto possibile analizzare il sottosuolo relativo alla porzione occupata dal suddetto materiale.

All'interno del salone, al momento della prospezione erano presenti anche due strutture in cartongesso. Una più piccola in prossimità dell'ingresso dalla parte di Piazza Banchi, e una più grande confinante con l'ingresso dalla parte opposta del salone, che affaccia su Piazza Senarega. La porzione interna a quest'ultima è stata analizzata a parte, eseguendo scansioni apposite e organizzate secondo un apposito sistema di assi cartesiani.

Per quanto riguarda invece la struttura più piccola, per problemi logistici legati all'ingombro dello strumento, non è stato possibile analizzare il sottosuolo al di sotto di essa. Non è stato pertanto possibile verificare qui la presenza o meno di riflessioni nel sottosuolo potenzialmente di interesse.

Contemporaneamente all'utilizzo del georadar ci si è servito anche di un cercatubi Geomax EziCat i550 come ulteriore analisi per la ricerca di sottoservizi al di sotto della pavimentazione del salone. Sono stati pertanto analizzati dapprima i radargrammi in tempo reale sul monitor del computer nel corso dell'acquisizione dei dati georadar. Una volta individuate sui radargrammi le riflessioni potenzialmente riconducibili a sottoservizi, ci si è serviti del cercatubi per confermare o meno la loro effettiva presenza.



Localizzatore cercatubi Geomax EziCat i550

Processing dei dati

La fase di acquisizione dei dati è stata preceduta da una serie di operazioni finalizzate all'ottimizzazione della risposta strumentale. Le tarature effettuate hanno permesso di trasformare il segnale dei tempi, tramite l'adozione di un modello teorico di velocità, in profondità.

Il processo d'elaborazione ha avuto come risultato la ricostruzione di modelli bi-dimensionali, che hanno consentito di rilevare tutti i corpi sepolti presenti nel sottosuolo.

Al fine di poter migliorare il segnale acquisito, i radargrammi sono stati processati secondo la seguente sequenza:

- *Correzione T0 e Background Removal;*

- *Analisi di velocità;*

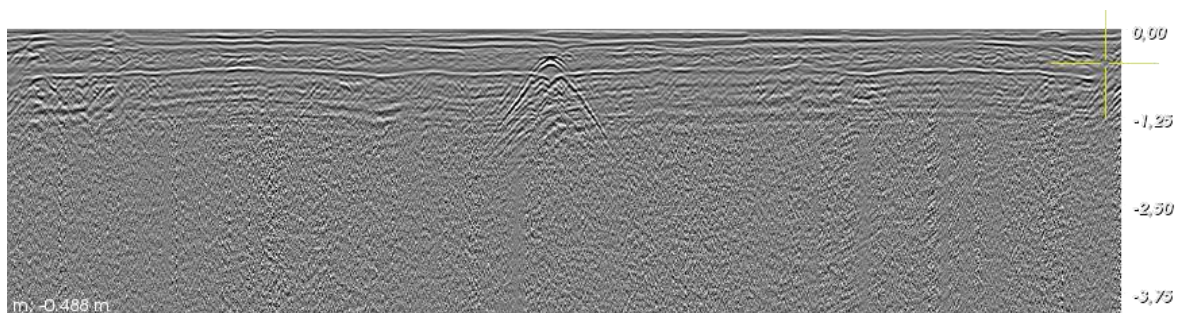
- *Deconvoluzione;*

- *Migrazione.*

In particolare la *correzione T0* ha permesso d'individuare con esattezza l'inizio della penetrazione nel terreno del segnale radar, l'*analisi di velocità* ha consentito di definire la velocità di propagazione delle onde radar nel terreno al fine di calcolare con esattezza la profondità delle riflessioni/diffrazioni, la *deconvoluzione* ha permesso di eliminare le riflessioni multiple, mentre con la *migrazione* si sono eliminate le iperboli di riflessione, riducendo le anomalie lineari trasversali alle direzioni di scansione, ad elementi puntuali e avvicinando le "forme" di riflessione radar alle geometrie reali degli elementi riflettenti; in tal modo, grazie ai vari passi di elaborazione, si è cercato di ridurre, quanto più possibile, le immagini dei segnali radar risultanti dalle riflessioni/diffrazioni provocati dagli oggetti sepolti alle loro reali forme e posizioni.

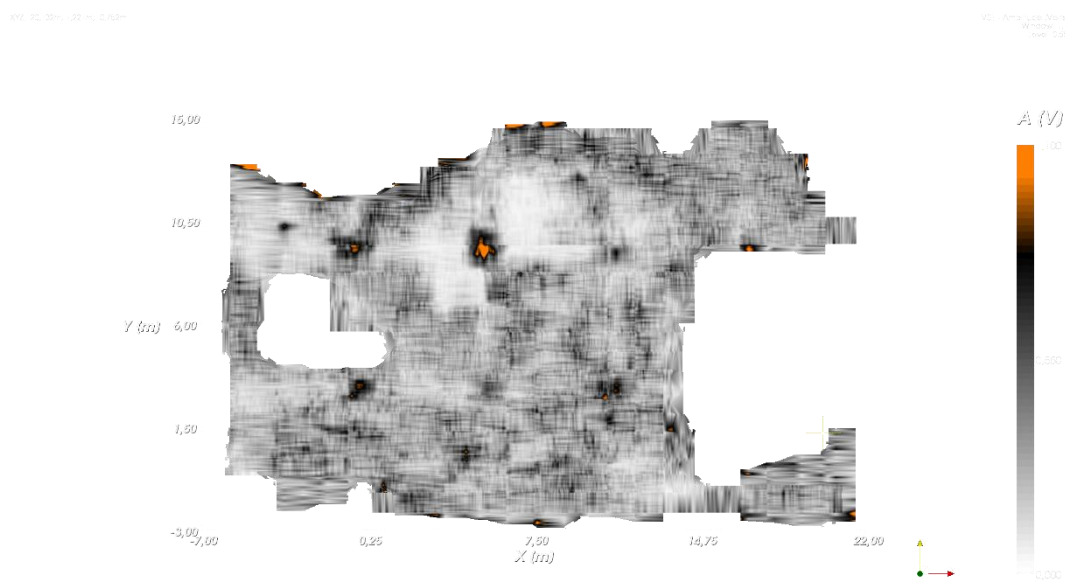
All'interno del sistema d'elaborazione IDS-GRED, è stato possibile analizzare i dati sotto molteplici modalità di analisi, quali:

- **Radargrammi** Sezioni radar relative a ciascun canale, in cui si ha la direzione di avanzamento della scansione sull'asse X, e la profondità sull'asse Y



Esempio di Radargramma longitudinale a 600 MHz

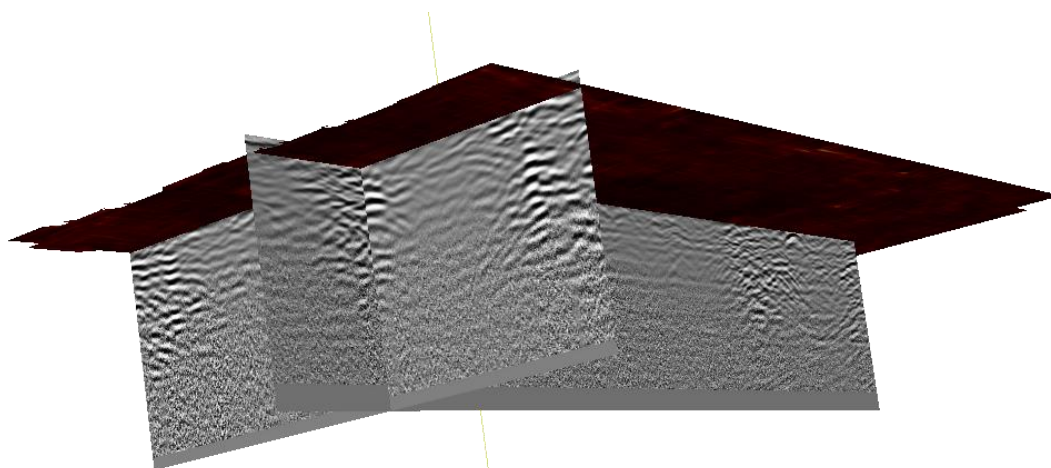
- **Sezioni tomografiche** Sono sezioni planimetriche (viste dall'alto) che consentono una visione in pianta del segnale radar ottenuto dall'incrocio di tutti i dati registrati alle varie profondità. Le mappe tomografiche sono di ausilio per ottimizzare la capacità di individuazione degli elementi di interesse.



Esempio di tomografia georadar relativa all'interno della loggia

- **Visione 3D**

E' possibile eseguire la visualizzazione in 3D dei radargrammi longitudinali (X), trasversali (Y) e dall'alto verso il basso (Z), assieme ai vari target (volumi interrati, vuoti, ecc.)



Esempio di visione in 3D dei dati longitudinali e trasversali acquisiti

Il prodotto finale, all'interno del quale vengono riportati gli eventuali oggetti rinvenuti dall'indagine, viene fornito sotto forma di rilievo AutoCad 3D ove sono indicati:

- il reticolo spaziale (linee azzurre) delle scansioni georadar longitudinali e trasversali
- i target localizzati con le profondità di riferimento.

RISULTATI OTTENUTI

Prospezione HVSR

Le prove HVSR sono state realizzate analizzando le tracce di registrazione, con lunghezza pari a 20 minuti, e ricostruendo il profilo Vs sulla base del grafico dei rapporti spettrali H/V così elaborati. I dati sono stati tarati sulla base di sondaggi e ulteriori prove geofisiche eseguite nelle immediate vicinanze del sito in esame.

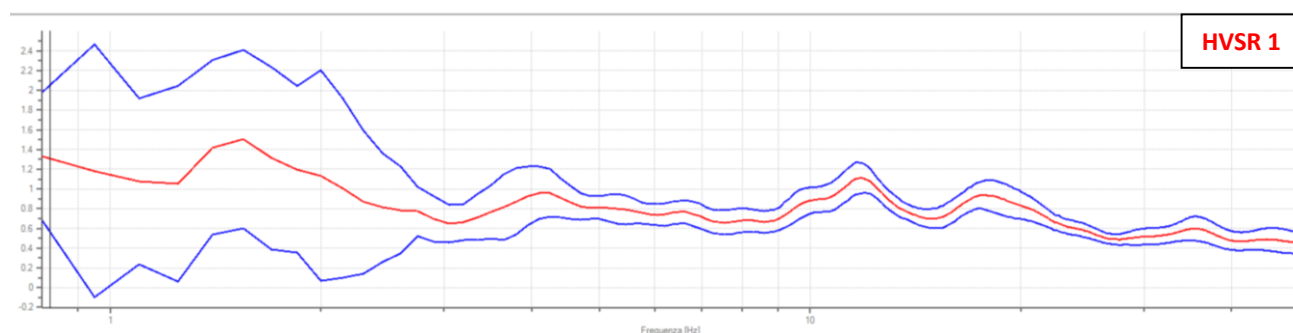
L'analisi così condotta ha riportato la presenza di terreno di riporto fino a circa 1,5 m di profondità, dotato di velocità Vs pari a circa 105 m/s. Progredendo con la profondità si osserva la presenza, fino a circa 5-6 metri,

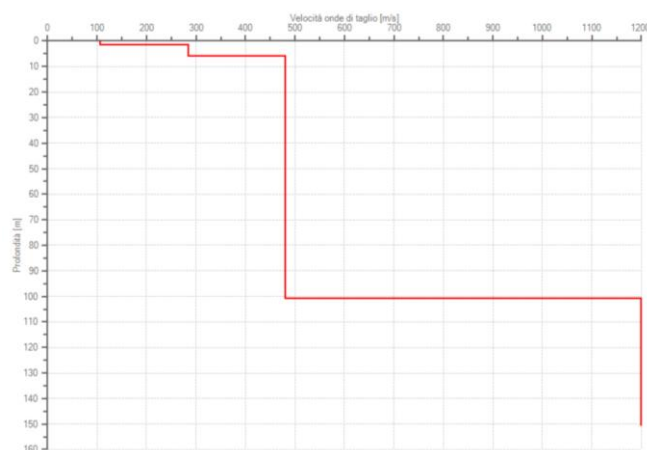
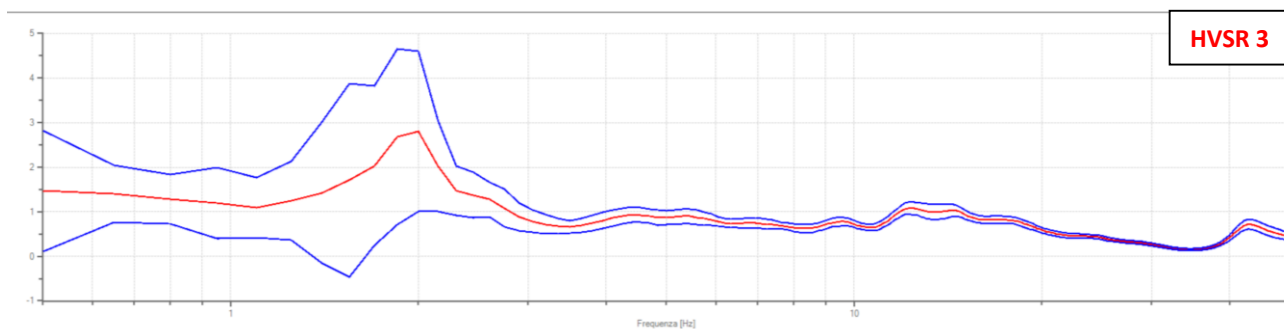
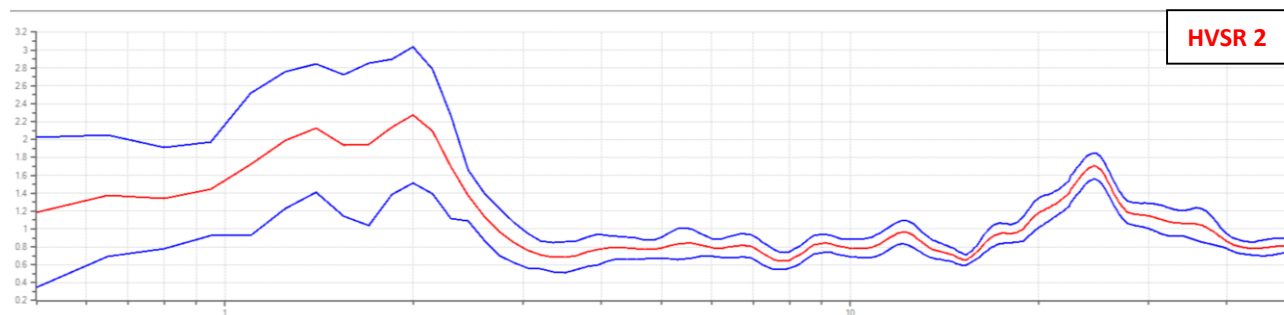
di un terreno che, stando alla stratigrafia ottenuta da un sondaggio eseguito nel 1997 in Piazza Banchi, risulta costituito da materiali lapidei (prevalentemente calcarei) immersi in una matrice sabbiosa. Per tale orizzonte stratigrafico le prove HVSR qui registrate hanno riportato una velocità V_s pari a 285 m/s. Al di sotto di tale orizzonte inizia un livello argilloso-limoso molto consistente, dotato di una velocità V_s pari a 480 m/s, costituito dalla formazione geologica nota in letteratura col nome di “Marne di Piccapietra” (o Argille di Ortovero, come vengono chiamate nella riviera di ponente), che sono costituite da argilliti e limi depositi durante la trasgressione marina verificatasi durante il Pliocene. Procedendo ulteriormente in profondità, a circa 100 metri dal p.c. si incontra il substrato roccioso, costituito dal flysch del Monte Antola, dotato di Velocità V_s superiori a 800 m/s. Il picco sulla curva HVSR, relativo al contatto marne/substrato si verifica a un livello di frequenza leggermente inferiore nella prova eseguita all'esterno. Mentre all'interno del salone, tale contatto stratigrafico genera un picco a circa 2 Hz, nella prova eseguita all'esterno, sul lato di Piazza Banchi, lo stesso picco viene registrato ad una frequenza leggermente inferiore, pari a circa 1,5 Hz. Tale differenza risulta tuttavia del tutto giustificata, in quanto è indice del fatto che, procedendo verso mare, la profondità del substrato aumenti progressivamente. E questo approfondimento si registra sulla prova HVSR con un abbassamento della frequenza relativa al contatto stratigrafico in questione.

Osservando le curve HVSR si registrano anche picchi a frequenze maggiori. Se ne registra uno particolarmente forte a 25 Hz nella prova n°2, e uno addirittura a 43 Hz nella prova n°3. Tali picchi non risultano tuttavia significativi in quanto sono da imputarsi ad anomalie superficiali, legati ad artefatti antropici o a delle disomogeneità nel terreno di riporto superficiale, che verranno meglio analizzate con la prova georadar.

Per le prove analizzate, il contatto marne/substrato è risultato quello che ha fornito il picco di maggiore ampiezza. Si può pertanto affermare che la frequenza di risonanza del terreno posto al di sotto dell'edificio, risulta pari a circa 2 Hz.

Di seguito sono riportate le curve HVSR ricavate dalle prove eseguite, nonché la stratigrafia media complessiva ricavata dalle prove eseguite.





Dai valori di V_s così ottenuti è stato inoltre possibile ricavare, mediante equazioni empiriche, una stima del carico ammissibile q_{amm} per ciascuno strato riconosciuto (ad eccezione del substrato roccioso) mediante l'equazione proposta da Keceli (2012)

Questi valori vengono riassunti nella seguente tabella:

	z max	vs	Qamm (kN/m2)
Riporti	1,5	106	41,83478
Elementi lapidei in matrice sabbiosa	6	285	144,0327
Marne di Piccapietra	100	480	321,2829
Substrato Roccioso	oo	1200	/

Sulla base dei valori di V_s ricavati dalle prove eseguite è stato anche possibile ricavare il valore di V_{seq} , che per il sito in esame è pari a 375 m/s, il che fa rientrare l'area oggetto di studi, secondo le NTC 2018, nella categoria di sottosuolo di tipo B (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*)

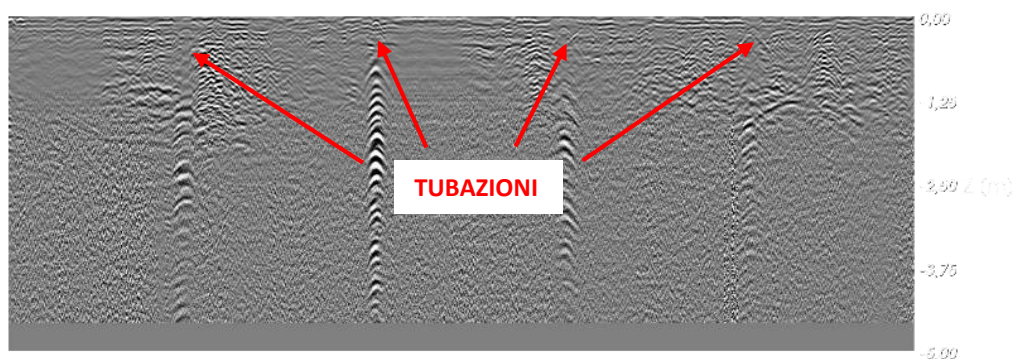
Prospezione Georadar

Dopo aver processato e filtrato le scansioni relative alla superficie indagata, si è passati all'analisi del segnale radar, che è avvenuta sia mediante l'ausilio del metodo tomografico, sia analizzando i singoli radargrammi longitudinali e trasversali ottenuti.

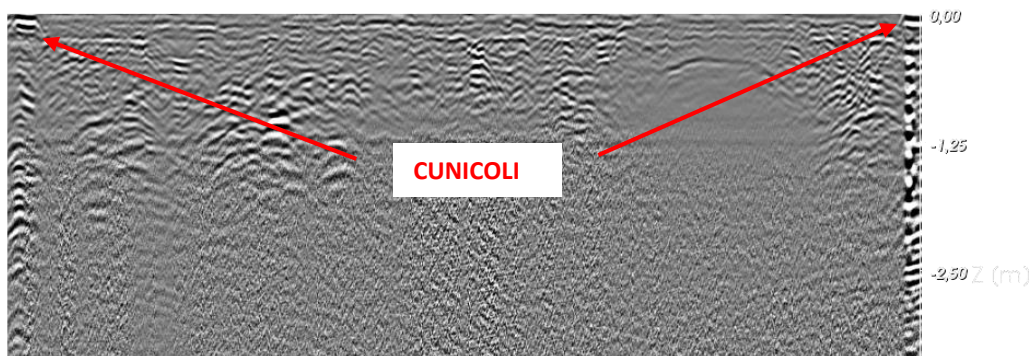
Dall'analisi dei dati è stato così possibile procedere al posizionamento di tutte le riflessioni e anomalie in genere rilevate dal georadar

Le principali evidenze scaturite dalla prospezione eseguita sono le seguenti:

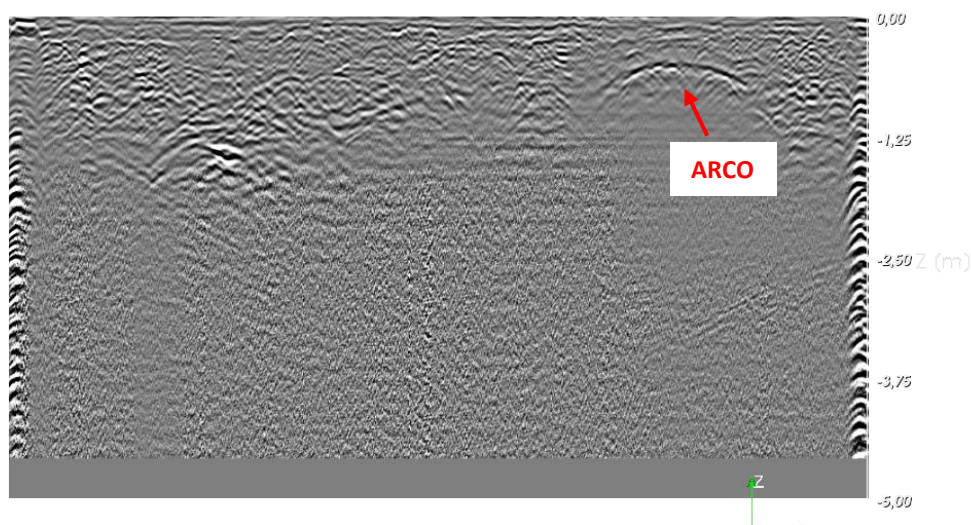
- Quattro cavi della linea elettrica, ortogonali al lato lungo della Loggia, che uniscono i pozzetti presenti sulla pavimentazione del salone.



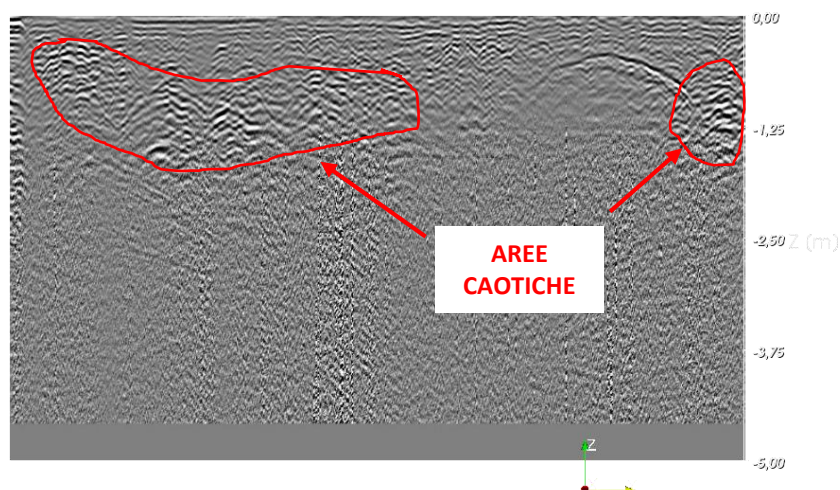
- Sui 4 lati del salone è presente una riflessione riconducibile ad un probabile cunicolo, utilizzato per il passaggio di ulteriori cavi e sottoservizi di altro genere.



- In vari punti lungo il salone si osserva la presenza di una serie di parti di sottosuolo particolarmente riflettenti riconducibili presumibilmente a porzioni, relative al terreno di riporto superficiale, maggiormente rimaneggiate, o comunque caratterizzate dalla presenza di un maggior numero di ciottoli e materiale di grossa pezzatura, che di conseguenza fa aumentare anche l'indice dei vuoti. Tutte queste porzioni, individuate già a partire dal primo metro di profondità, sono state riportate all'interno del file dwg in allegato.



- Sul lato Nord, e sul lato Est del salone sono state rilevate due riflessioni piuttosto evidenti. Tali riflessioni presentano una morfologia a parabola piuttosto ampia, che si sviluppano a partire da circa 40 cm di profondità per quanto riguarda quella parallela al lato Nord, e a partire da 120 cm di profondità per quanto riguarda quella parallela al lato Est. Tali riflessioni potrebbero essere riconducibili a delle volte sepolte



I risultati ottenuti dalla prospezione sono riassunti nel file dwg in allegato.

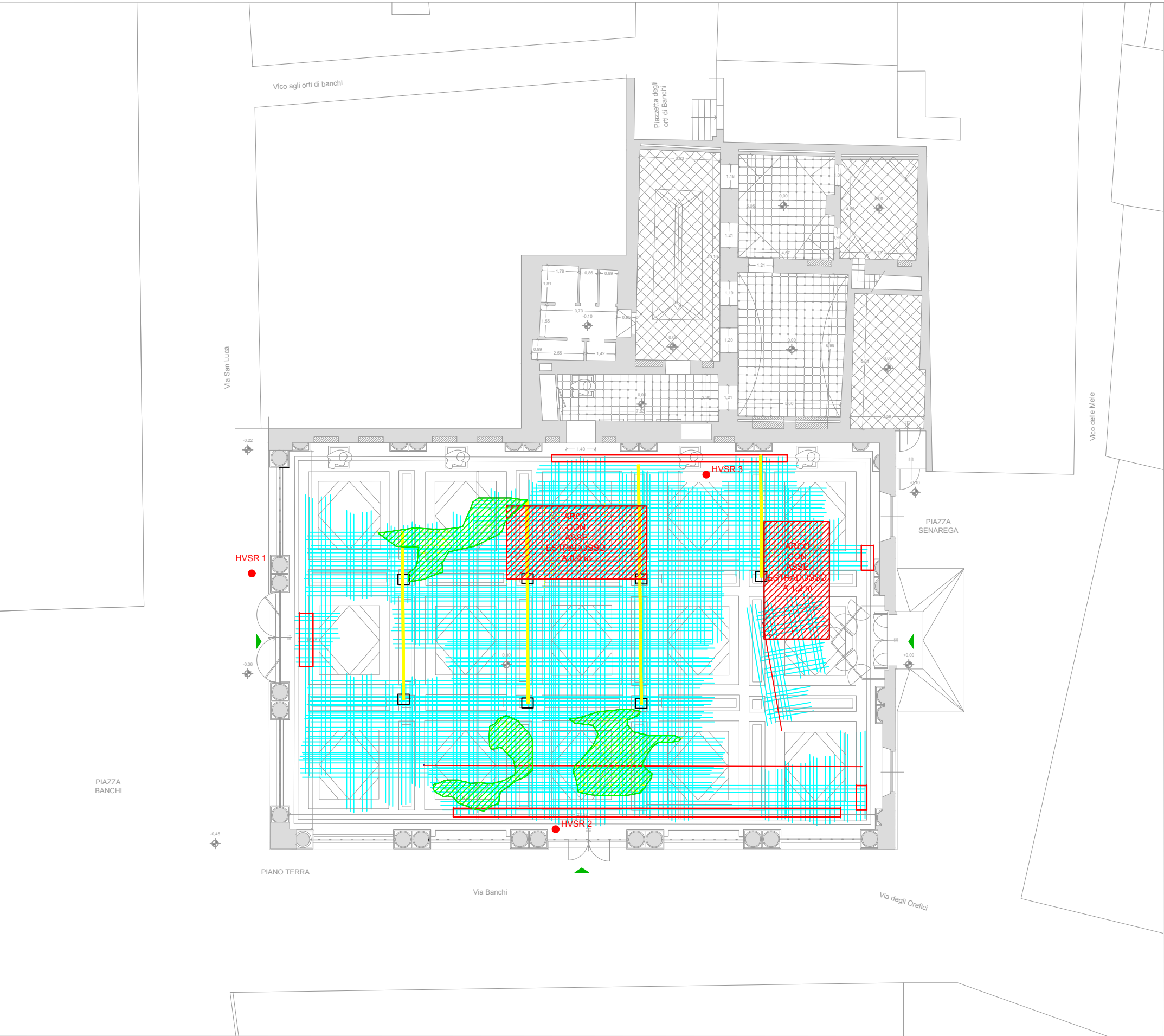
Resto a disposizione per qualunque chiarimento o quant'altro occorresse

Il Tecnico

Dott. Geol. Marco Benedetto

Marco Benedetto





LEGENDA

Tubazioni

Tombini

Allineamenti Georadar

Area in cui entro il primo metro di profondità si osserva la presenza di un segnale fortemente caotico, indice di un probabile aumento locale dell'indice dei vuoti

Cunicolo sui quattro lati del salone

Volte sepolte

(0.56)

Profondità in metri a cui sono stati individuate le riflessioni

STUDIO DOTT. GEOL. MARCO BENEDETTO
Borgata Garassini 70
12064 La Morra (CN)
Tel: +393926967182
URL: <http://www.geocnd.it/>
email: marco.ben86@gmail.com

COMMITTENTE:

Comune di Genova
Via Garibaldi 9, Palazzo Tursi
16124 Genova

28.10.2020

RISULTATI PROSPERZIONE GEORADAR
LOGGIA DEI BANCHI - COMUNE DI GENOVA