Studio di Geologia Applicata
Dott. **Franco Bulgarelli**
✉ - Via del Gavardello n° 73 (Arezzo)
☎ - 0575/912745
E-mail: francobulgarelli64@gmail.com

COMUNE DI RAPOLANO TERME

PROVINCIA DI SIENA

Progetto: Piano di Recupero con contestuale variante al Piano Operativo.

Località: Rapolano Terme, Via San Sebastiano e Via P. Togliatti.

Committente: ARCO Soc. Coop. - Consorzio Arezzo Costruzioni.

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DI FATTIBILITA'

1 - Premessa

L'area interessata dall'intervento è situata Tra Via San Sebastiano e Via Togliatti all'interno del centro abitato di Rapolano Terme.

Si fa presente che, negli elaborati cartografici di supporto al PAI e al PGRA, non risulta la presenza di movimenti gravitativi in atto o di aree soggette a fenomeni di alluvionamento.

Nella cartografia di supporto al vigente piano strutturale alla zona sono state attribuite le seguenti classi di pericolosità:

- geologica media (G.2);
- idraulica irrilevante (I.1);
- sismica locale media (S.2).

Con la presente si riferisce dell'indagine geologico-tecnica di fattibilità condotta per un congruo intorno dell'area interessata dall'intervento.

2 - Cartografia tematica

È stata predisposta, così come previsto dalla vigente normativa, la seguente cartografia in scala 1:5.000:

A) Carta Geologica

L'unità stratigrafica affiorante, denominata "Ghiaie, sabbie e limi di terrazzo fluviale", appartiene cronologicamente al Pleistocene.

Questa è caratterizzata da una successione irregolare di materiali sciolti a consistenza e grado di addensamento variabili in dipendenza del contenuto naturale d'acqua e della litologia prevalente.

La presenza e la circolazione idrica in questi depositi è subordinata alle caratteristiche granulometriche dei diversi tipi di sedimenti (permeabilità primaria per porosità).

B) Carta Geomorfologica

Sull'intera area in esame, del tutto pianeggiante, si escludono fenomeni morfogenetici gravitativi.

Il drenaggio superficiale è regolato dalla naturale acclività, dalla rete fognante, dai fossi campestri e dalle canalette al margine della viabilità esistente.

C) Carta Idrogeologica

La presenza e la circolazione idrica nei depositi della formazione geologica affiorante dipendono dalle caratteristiche granulometriche dei sedimenti (permeabilità primaria per porosità).

Dalla natura dei sedimenti che costituiscono la formazione geologica affiorante risulta una permeabilità della stessa media.

D) Carta del Piano di Bacino del F. Arno (PAI-PGRA)

L'area interessata dal Piano Attuativo, come confermato anche dalla cartografia di supporto al vigente strumento urbanistico, non risulta essere interessata da processi geomorfologici (PAI) o da fenomeni di alluvionamento (PGRA).

E) Carta dei sondaggi e dei dati di base

Per determinare la situazione litostratigrafica per i primi metri nel sottosuolo e la pericolosità sismica del sito, tenuto conto della situazione geologica rilevata, si è preso in considerazione quanto acquisito mediante uno studio eseguito tramite un profilo sismico a rifrazione in onde P, una tomografia elettrica 3D, un masw e un rilievo tromometrico.

L'attrezzatura impiegata e l'elaborazione dei dati ottenuti con l'indagine effettuata, dalla "Galileo Geofisica" di Arezzo, vengono descritti nel rapporto tecnico in appendice.

Quanto acquisito con le misurazioni delle velocità di propagazione delle onde di compressione (Vp) ha consentito di evidenziare nel sottosuolo la presenza sull'area in esame di tre livelli caratteristici.

Sismostrato	Vp (m/s)	
A (p.c. ÷ 0,5/1,2 m)	< 887	materiali sciolti
B (0,5/1,2 ÷ 6,0/7,0 m)	< 1951	litoide stratificato e/o fratturato

C (6,0/7,0 m ⇒)	> 1951	litoide integro

In funzione dei risultati dell'indagine geofisica svolta viene attribuita la categoria di sottosuolo "B".

F) Carta Geologico-Tecnica

La carta di supporto al vigente Strumento Urbanistico è stata prodotta, a seguito degli studi di microzonazione simica, ed elaborata anche da un esame di maggior dettaglio della Carta Geologica e di quella Geomorfologica, tenendo conto di tutti i dati litologici, stratigrafici e litotecnici acquisiti.

La litologia dei terreni è stata descritta tramite standard di rappresentazione e archiviazione informatica di cui al sistema di classificazione "Unified Soil Classification System" (leggermente modificato, ASTM, 1985).

Nel lotto in esame è stata individuata la seguente classe:

- "CL-tf"; Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di terrazzo fluviale.

G) Carta delle MOPS

In base ai risultati delle indagini svolte l'area è classificabile come zona stabile suscettibile di amplificazioni sismica.

Più in particolare le coperture, costituite da livelli stratificati di materiali sciolti, sovrastano, con spessore variabili nelle diverse zone, il substrato sismico.

H) Carta della Pericolosità

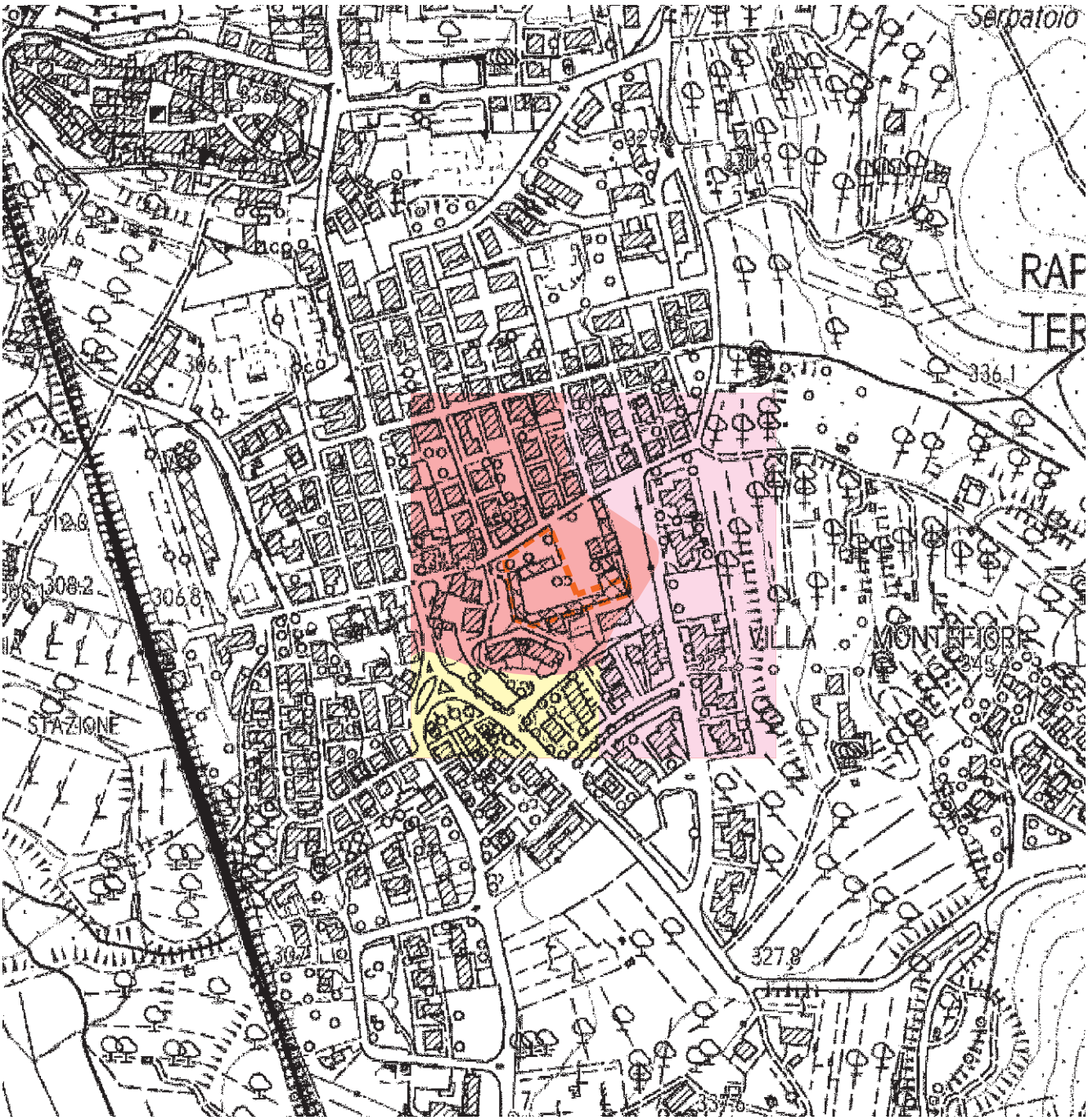
Geologica: Quanto rilevato ha consentito di assegnare all'area, nel suo complesso, un grado di pericolosità geologica media "G2" che corrisponde ad una situazione in cui sono assenti processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciturali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di movimenti di massa.

Idraulica si attribuisce una pericolosità da alluvioni irrilevante in quanto il lotto non risulta interessato o a rischio da fenomeni di alluvionamento con tempi di ritorno inferiori a 200 anni.

Sismica: area suscettibile di amplificazione locali per contrasto di impedenza sismica.

Dott. Geol. Franco Bulgarelli

Arezzo, 26 giugno 2026



CARTA GEOLOGICA 1:5.000

Detriti di versante (Olocene)

Ghiaie, sabbie e limi di terrazzi fluviali (Pleistocene)

Sabbie e arenarie gialle (Pliocene)

Area interessata dall'intervento

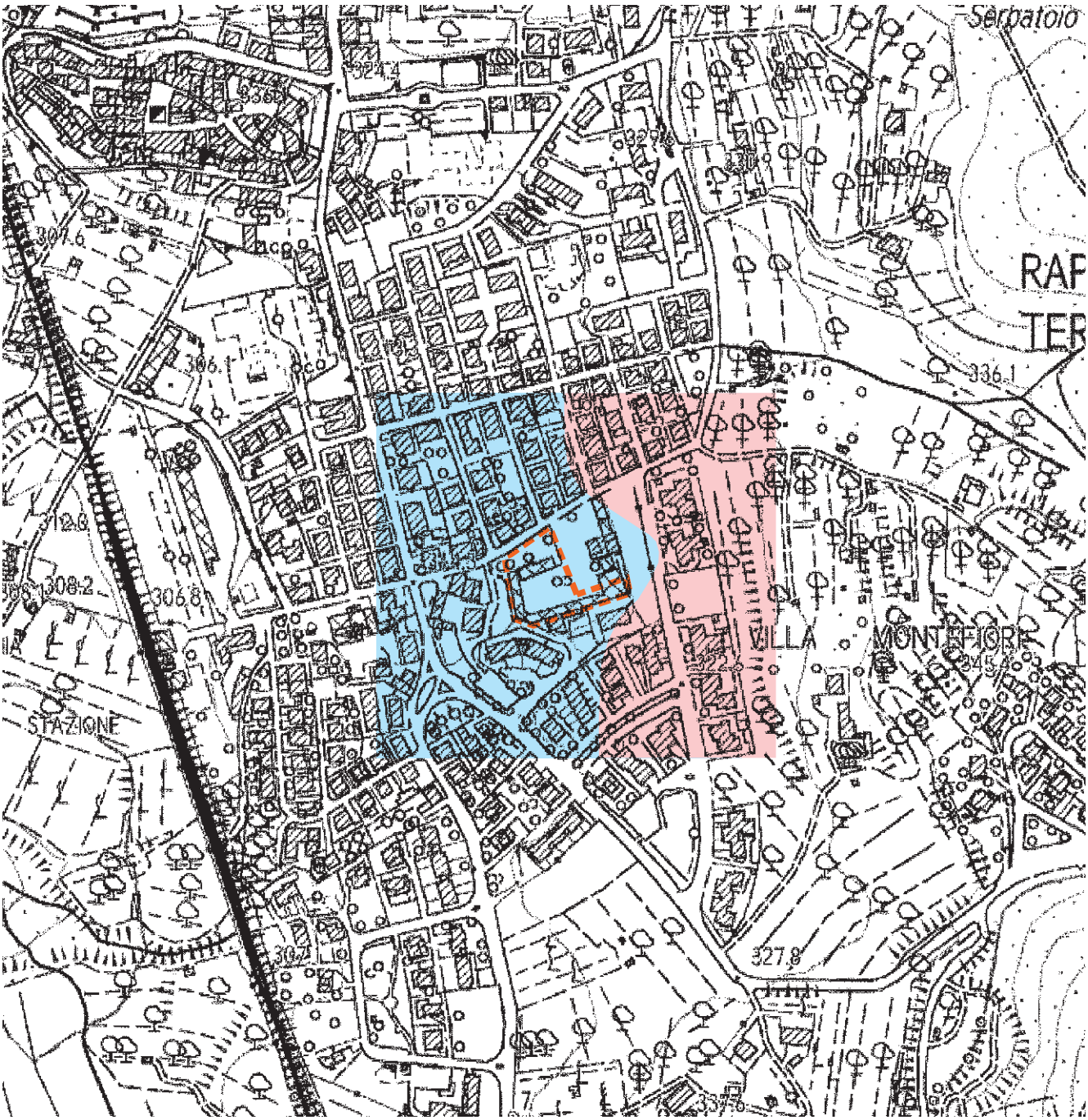


CARTA GEOMORFOLOGICA 1:5.000

Deposito di versante

Rocce incoerenti disomogenee

Area interessata dall'intervento



CARTA IDROGEOLOGICA 1:5.000

Acquifero poroso: presenza e circolazione idrica legata alle caratteristiche granulometriche dei sedimenti.

- media
- molto elevata

Area interessata dall'intervento



PIANO DI BACINO DEL FIUME ARNO - stralcio Assetto Idrogeologico
PAI (aspetti geomorfologici) -
PGRA (piano gestione del rischio alluvioni) 1:5.000

Area interessata dall'intervento



CARTA DEI SONDAGGI E DEI DATI DI BASE 1:10.000

Stendimento per indagine sismica a rifrazione/masw

Stendimento per tomografia elettrica 3D

Area interessata dall'intervento

GALILEO GEOFISICA – Piazza Giotto 8, AR
Dott. Simone Secci – Dott. Lorenzo Batti

PROVINCIA DI SIENA
COMUNE DI RAPOLANO TERME

“STUDIO TRAMITE RIFRAZIONE ONDE P, TOMOGRAFIA ELETTRICA 3D, MASW ED H/V IN VIA DELL’ARTIGIANATO A RAPOLANO TERME”

RELAZIONE GEOFISICA

PREMESSA

Lo scopo dello studio è stato quello di capire le caratteristiche di un terreno che sarà interessato dalla demolizione e ricostruzione di un edificio.

Per determinare le caratteristiche litostratigrafiche del terreno si è eseguito un masw, una rifrazione in P, una tomografia elettrica 3d ed un rilievo tromometrico.

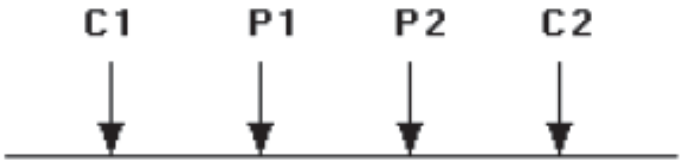


GEOELETTRICA

I metodi di geoelettrica si propongono di caratterizzare il sottosuolo in termini di resistività apparente. Il sottosuolo può essere schematizzato in prima approssimazione come una serie di strati piani e paralleli, ognuno caratterizzato da un proprio valore di resistenza al passaggio della corrente elettrica. Il valore della resistenza che l'ennesimo strato dell'unità di volume del materiale offre al passaggio della corrente elettrica, è ottenibile o misurando direttamente la resistività di un campione del materiale, oppure generando un campo elettrico le cui linee di forza partono dalla superficie del terreno. In tutti gli strati fino all'n-esimo, la resistività apparente si ottiene dalla relazione:

$$\rho_a = \frac{V}{J} \times K$$

Questo valore è riferito alla profondità dello strato n-esimo, ma è influenzato anche dai valori di profondità e resistività degli strati precedenti. Il coefficiente K tiene conto della geometria elettrodica, mentre il rapporto V/I definisce la resistenza del terreno interposto tra gli elettrodi. In un sottosuolo caratterizzato da uno strato di spessore indefinito, la resistività apparente coincide con quella reale dello strato. Infatti La resistività è la resistenza che un volume unitario di materiale offre al passaggio della
Generalmente un dispositivo per misure di resistività del terreno è costituito da un quadripolo i cui gli elettrodi sono posti su quattro punti della superficie del suolo, e le cui disposizioni geometriche sono illustrate in figura 3.4. A partire dai dati acquisiti in termini di resistività apparente, è possibile ottenere un modello della distribuzione delle resistività reali in profondità, mediante l'uso di programmi di inversione creati allo scopo.



schema esemplificativo di un dispositivo elettrico, con due elettrodi di potenziale (P1 e P2) e due elettrodi di corrente (C1 e C2).

Sono state sviluppate tecniche 1D, 2D e 3D, che differiscono per la dimensionalità del modello ottenibile.

Principi

Per descrivere il fenomeno della conduzione elettrica si fa riferimento alla prima legge di Ohm, la quale stabilisce che il rapporto tra la differenza di potenziale (ΔV) esistente tra due punti di un conduttore e l'intensità di corrente (I) che in esso fluisce è costante:

$$\frac{\Delta V}{I} = \cos t$$

A questa costante è dato il nome di resistenza elettrica:

$$\frac{\Delta V}{I} = R$$

La seconda legge di Ohm dichiara che, a parità di ogni altra condizione, la resistenza elettrica di un conduttore è direttamente proporzionale alla sua lunghezza (L)ed inversamente proporzionale alla sua sezione (A):

$$R = \rho \times \frac{L}{A}$$

in cui la costante di proporzionalità ρ è definita resistività o anche resistenza elettrica dell'unità di volume.
Dalla combinazione delle due si ottiene:

$$\Delta V = \rho \times \frac{I}{A} \times L$$

Tecniche 1D

Le tecniche 1D si avvalgono dell'utilizzo di quattro elettrodi di metallo impolarizzabile, piantati nel terreno; due servono per l'iniezione di una corrente alternata a bassa frequenza in onda quadra, assimilabile ad una corrente continua, e due si usano per misurare la differenza di potenziale prodotta.

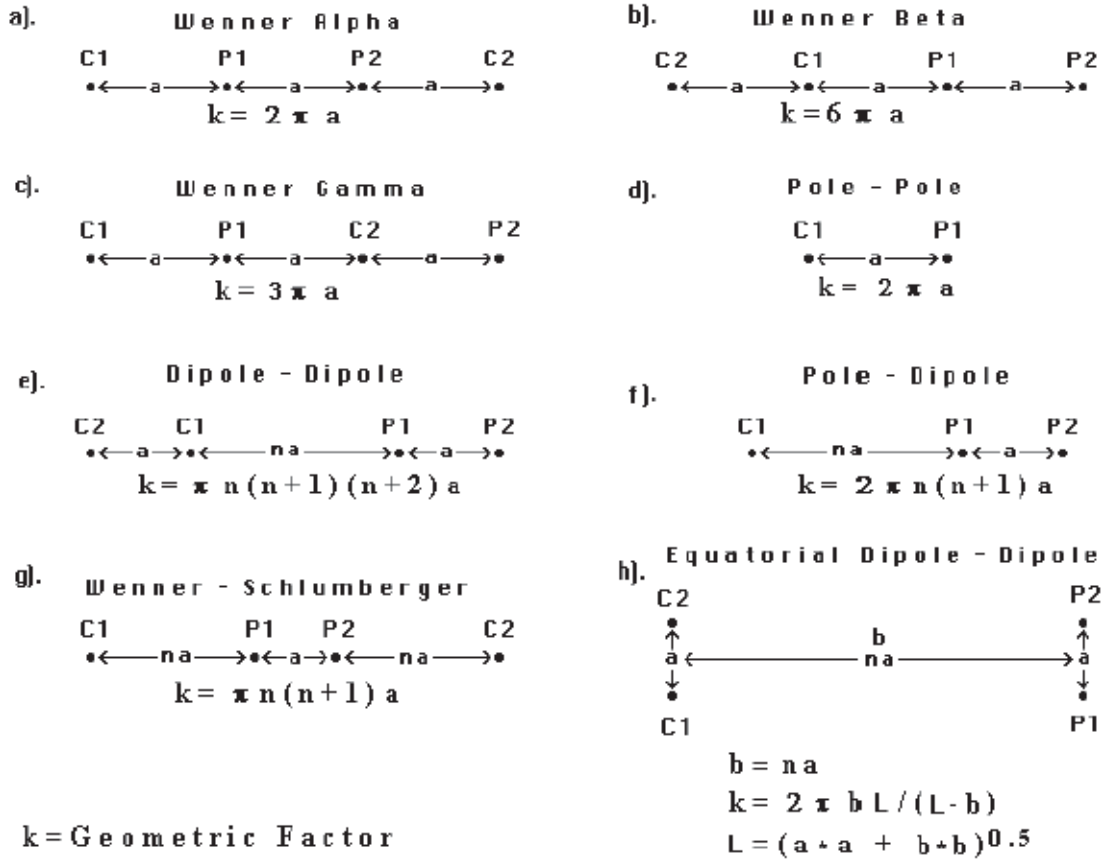


Figura 3.4 – Possibili disposizioni elettroniche.

La disposizione elettrodica più antica è la Schlumgerger, in cui il punto centrale dell'array rimane fisso, e la distanza interelettrodica viene progressivamente incrementata, per ottenere informazioni a profondità maggiori. Un grosso limite del metodo risiede nella sua esclusiva validità in caso di strati piano-paralleli, ed in assenza di eteropie o discontinuità laterali.
Nella disposizione tipo Wenner la spaziatura tra gli elettrodi resta fissa, ma l'intero array è traslato lungo il profilo di indagine. Sebbene sia così possible investigare e rilevare variazioni laterali di resistività, non è altrettanto facile rilevare variazioni in profondità.

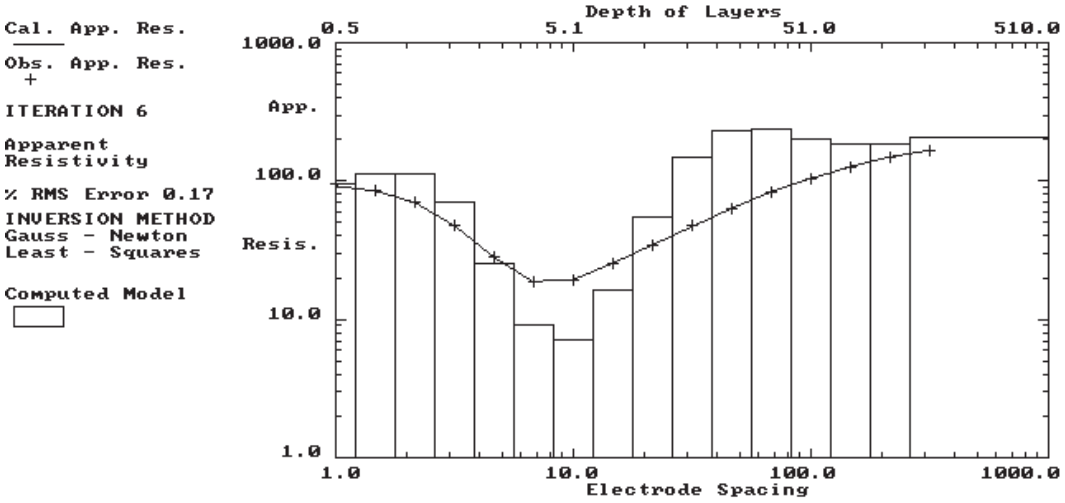


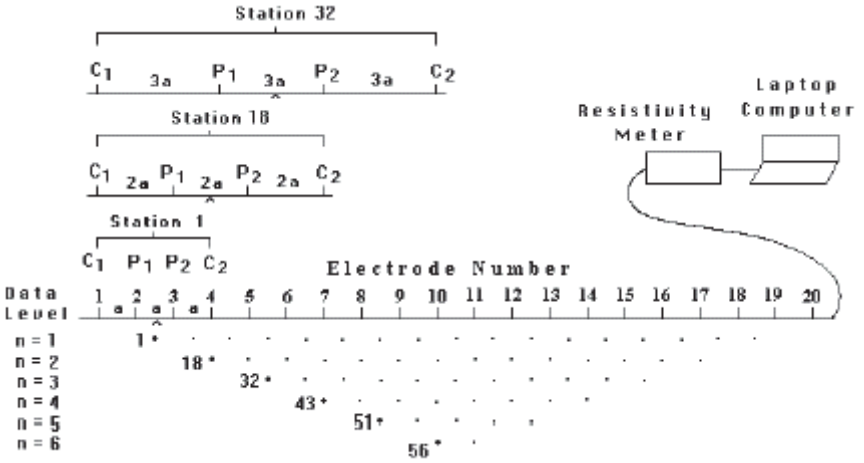
Figura 3.5 - Tipico modello 1-D usato per l'interpretazione dei dati di resistività, qui ottenuti con un array di tipo Wenner.

L'interpretazione dei dati da profili elettrici è in gran parte qualitativa essendo molto frequenti eteropie laterali, spesso erroneamente confuse con cambiamenti verticali di resistività. Ecco quindi che i metodi tradizionali danno risultati poco attendibili nel caso in cui la geologia locale sia complessa. Tuttavia, malgrado ciò, fornisce buoni risultati laddove il contesto geologico è approssimabile ad un modello unidimensionale, permettendo inoltre un semplice trasporto ed utilizzo della versatile strumentazione.

Tecniche 2D

Le tecniche 2D sono oggi largamente utilizzate, dato lo sviluppo di strumenti multielettrodici e di veloci software di inversione dei dati.
In un modello 2D la resistività può variare sia verticalmente che orizzontalmente, ma non perpendicolarmente al profilo, assunzione ragionevole per profili attraverso corpi geologici allungati. Benché una prospezione 3D sia più accurata, quelle 2D rappresentano un buon compromesso tra accuratezza e tempi e costi della prospezione.
Infatti tipicamente, mentre un profilo di resistività 1D comprende circa 10/20 letture, un 2D 100/1000 ed un 3D arriva fino a 10^6 misure.
La tomografia elettrica in 2D viene effettuata mediante un grande numero di elettrodi (25 on più), connessi ad un cavo. Sistematicamente ed alternativamente, quattro elettrodi vengono

attivati dal processore dello strumento, due come energizzatori e due come misuratori di potenziale, secondo la sequenza e la disposizione programmate dall'operatore.

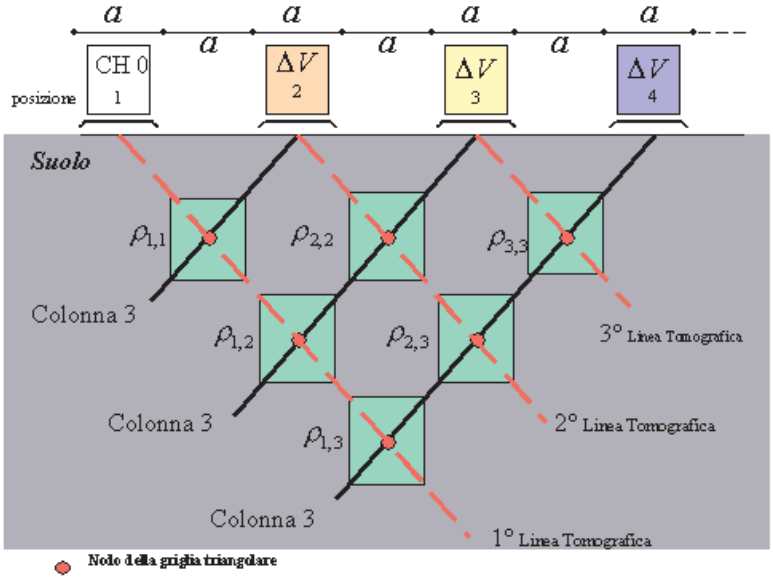


- Disposizione di 20 elettrodi attaccati ad un cavo a distanze costanti, e connessi ad un'unità elettronica di attivazione e ad un computer portatile. La geometria è di tipo wenner, con spaziatura "a".

Ad esempio, avendo scelto un array composto da 20 elettrodi e volendo effettuare misure secondo una disposizione wenner, inizialmente lo strumento misurerà attivando lungo il cavo 4 elettrodi alla volta a distanza 1a, inviando corrente dai due esterni e misurando il potenziale tramite i due centrali. Ripeterà poi la medesima operazione per distanze interelettrodiche di 2a, 3a, 4a, 5a, fino al limite massimo consentito dai 20 elettrodi, di spaziatura 6a.
Si nota che all'aumentare della spaziatura decresce il numero di misure di potenziale possibili, perciò il numero di misure effettuabili lungo lo stesso array dipende fortemente dalla geometria.
La misura di potenziale ottenuta è relativa ad un punto nel sottosuolo (DATA POINT), che giace orizzontalmente in corrispondenza del punto medio del set di elettrodi utilizzati, e la cui profondità dipende dalla spaziatura utilizzata. Ad esempio per una geometria dipolo-dipolo (fig.3.7) il data point giace a metà tra il dipolo di corrente e quello di potenziale.
Al data point viene associato un volume di terreno, in modo da discretizzare l'intero volume di indagine tramite un insieme di volumi elementari, creando una griglia. Le resistività di ogni data point, quindi di ogni volume elementare, si ottengono con misure successive di potenziale al variare della distanza elettrodica, e sono date dalla formula:

$$\rho_{i,j} = \frac{\Delta V_{j+1}}{I_i} \times na \times \pi(n+1)(n+2)$$

in cui i e j sono le posizioni rispettivamente del dipolo energizzante del dipolo di potenziale.

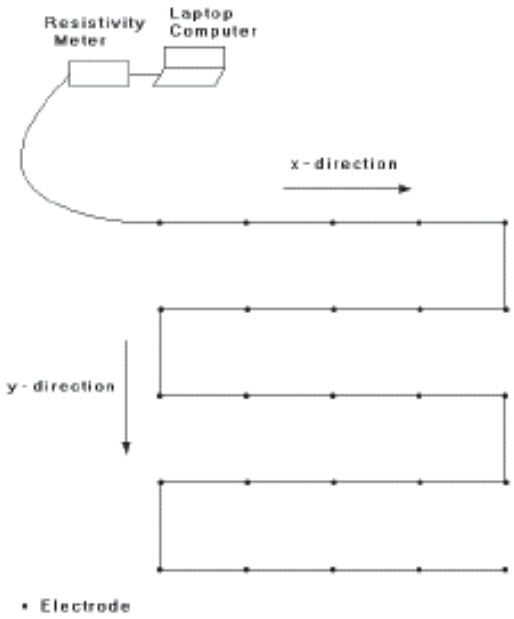


Esecuzione di un profilo di tomografia con geometria dipolo-dipolo e posizione relativa agli elettrodi dei data point e delle linee tomografiche.

Essendo nota l'intensità di corrente inviata al sottosuolo, la misura di potenziale è presto tramutata in termini di resistività apparente, e plottata in una sezione xy di 'pseudoresistività', ancora però molto approssimativa rispetto alla reale distribuzione di resistività del sottosuolo, ed oltretutto variabile in funzione del tipo di array.

Tecniche 3D

Le tecniche 3D forniscono risultati più accurati, array impiegati più frequentemente sono il polo-polo, il polo-dipolo ed il dipolo-dipolo in quanto garantiscono una maggiore copertura vicino ai bordi della griglia di misura, generalmente quadrata, con stessa distanza elettrodica nelle direzioni x ed y. Per mappare corpi allungati è possibile usare griglie rettangolari, con differenti spaziature elettrodiche.



Possibile disposizione elettrodica per una tomografia 3D a 25 elettrodi.

Array dipolo-dipolo

Si usa solamente con griglie più grandi di 12x12 a causa della scarsa copertura ai lati. Il problema principale è la piccola intensità del segnale, inconveniente che può essere superato incrementando la spaziatura a tra le coppie di elettrodi nel momento in cui si aumenta la distanza tra i dipoli per investigare maggiori profondità.

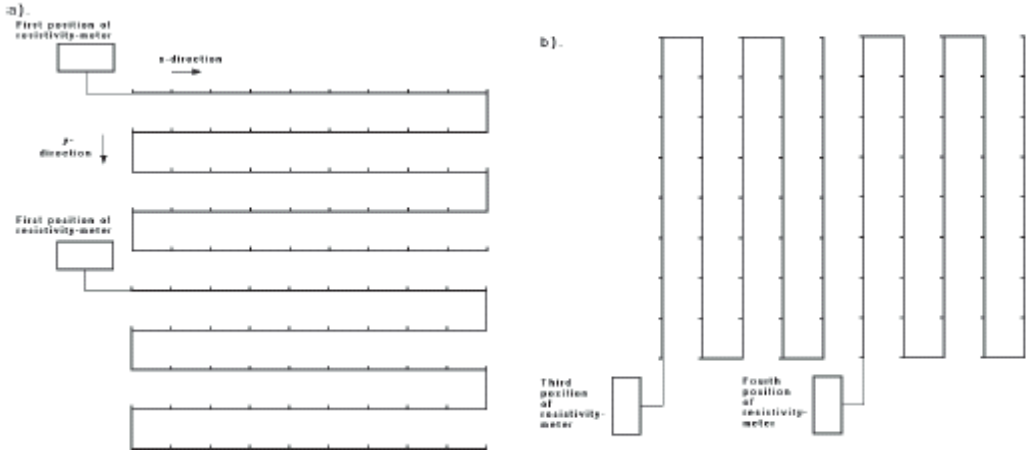


Figura 3.20 – Tomografia 3D usando il metodo "roll-along" lungo una griglia 10x10 con 50 elettrodi, effettuando misure con una giglia 10x5 in quattro fasi successive.

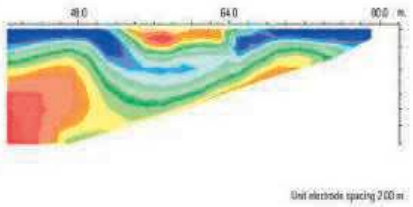
Inversione dei dati

Per l'inversione dei dati il sottosuolo viene suddiviso in diversi livelli in profondità, ognuno dei quali è diviso in blocchi rettangolari. Mediante un programma di inversione, si tenta di determinare la resistività di ogni blocco tale da riprodurre le resistività apparenti misurate sul campo. A seconda della risoluzione desiderata, le dimensioni dei blocchi possono essere dimezzate sia verticalmente che orizzontalmente, ma poiché la risoluzione diminuisce all'aumentare della profondità, la suddivisione dei blocchi è soddisfacente solo per i due livelli superiori. Ma questa operazione aumenta i tempi di elaborazione.

MANGUSTA SYSTEM MC 48/96E

Multichannel Electrical Imaging Systems





Unit electrode spacing 2.00 m

CPU	Cortex M4, clock 72MHz
Analog to Digital Converter	24 bit 32 kHz sampling rate
Number of injected current channels	1 channel
Number of potential channels	contemporarily the maximum number of channels will be read allowed by the electrode spread (multiplexed inputs)
Maximum output voltage / current	Power range 800Vdc 3000mA
Typical reading resolution of potential	+/- 30nV
Resistivity Accuracy	0,2 %
Precision	0,2 %
Linearity	0,005 %
Frequency response	0 to 300 Hz
Measurement cycles	Composed of 2 – 10 square waves whose timing parameters can be completely configured by the end user
Cycle time	1,5 to 16 sec.
Number of data samples	1 to 2000 for every square wave
Default cycle	Last cycle
Digital nulling of SP	Yes
Automatic choice of electrode spread	Schumberger, Wenner, Dipole Dipole,Pole Pole,Gradient,user defined
Automatic calculation of geometric factor K	A function of the electrode spread
Apparent Resistivity Rho	Automatic Calculation and Display of the data
Induced Polarization (IP)	Yes
Input Voltage	+/- 10V
Storage	No internal storage , data are sent to the PC
Resistivity Accuracy	0,2 %
Type of scale	mV (MN) mA (AB)
Input impedance	> 100Mohm
Temperature	-20° +70° operating / -30° +80° storage
IP Grade	51
Size	355 x 300 x 140 mm (B x L x H)
Weight	5 Kg

SOFTWARE USATO PER L'ACQUISIZIONE, L'ELABORAZIONE E LA RAPPRESENTAZIONE DEI DATI.

Ambrogeo Mangusta-Ambrogeo acquisizione dati elettrica e sismica
Geogis office-Stonex-Rappresentazione, conversione dati G.P.S.

Res 2d-inv-Geotomo-tomografia elettrica 2d
View lab 3d-Geostudi Astier-Tomografia elettrica 2d e 3d

Winsim 11.1-Wgeosoft-Sismica a rifrazione
Visual Sunt-Wgeosoft-Sismica a riflessione
Rayfract-IR-Tomografia sismica 2d

Front end-Geogiga-processing dati sismic
Reflector-Geogiga-Sismica a riflessione
DW tomo 3d 2d refractor-tomografia sismica 2d, 3d sismica a rifrazione-Geogiga
Ip2win-modelli 1d
Res1dinv-geotomo-modelli 1d

Surfer 19-Golden Software-Rappresentazione dati 2d
Voxler-Golden software-rappresentazione dati 3d

TRATTAMENTO DATI ELETTRICA 3d

GEOMETRIA DEL RILIEVO

Si è cercato di coprire l'impronta dell'edificio, gli elettrodi (24) sono stati posizionati in maniera irregolare, soprattutto perché in alcune aree era affiorante detrito o roccia.



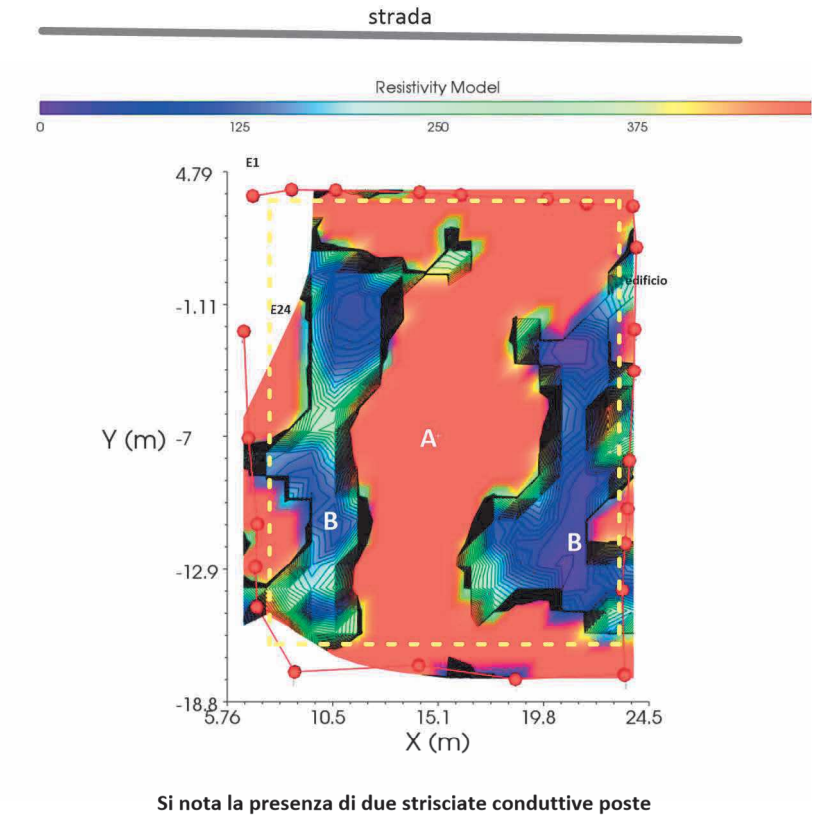
Dopo aver eseguito una taratura con un Wenner siamo passati ad eseguire un polo-dipolo.

RISULTATI OTTENUTI

Il volume sembra caratterizzato dalla costante presenza di valori della resistività molto alti, presenti grossomodo su tutto il volume fino a circa 7-9 metri dal P.C.

A quel punto compaiono resistività più basse.

Sull'area d'imposta del fabbricato esistente sono state riscontrate due anomalie parallele che diminuiscono di intensità dopo il primo metro di profondità.



Si nota la presenza di due strisciate conduttive poste circa al centro dell' edificio

-0.5/1 metro dal p.c

A=livelli resistivi
B=livelli conduttivi

RILIEVI SISMICI

SOFTWARE USATO PER LA VISUALIZZIONE, L'ACQUISIZIONE, IL FILTRAGGIO E L'ELABORAZIONE DEI DATI

Acquisizione dei dati

AMROGEO

Elaborazione e filtraggio

Visual Sunt 20	*Wgeosoft-filtraggio dati (sismica a riflessione)*
Seismic Unix	*Software libero-filtraggio dati (sismica a riflessione)*
WinMasw Accademy	*Eliosoft-elaborazione Masw-Remi-H/V-Attenuazione*
Grilla	*Tromino-H/V*
Geopsy	*Software Libero-H/V*
Winsism 11.2	*Wgeosoft-sismica a rifrazione*
Rayfract	*Inteligent re source-sismica a rifrazione*
Front end	*Geogiga-trattamento dati*
Reflector	*Geogiga-Sismica a riflessione*
Dw tomo 3d	*Geogiga tomografia sismica 3d*
Res 2d inv	*Tomografia elettrica*
Tomolab	*Geostudi Astier-Tomografia elettrica 3d*

Modelli 1 D e rischio sismimico

Deep Soil	*software libero-Risposta di sito modellazione 1D*
Rexel	*software libero-risposta di sito-terremoto di progetto*
Shake 2000	*Geo Motions-risposta di sito –modellazione 1D –liquefazione ecc.*
Ciclic 1D	*software libero-liquefazione*
Lsr 2d	*Risposta sismica 2D*

TUTTI I SOFTWARE COMMERCIALI IN NOSTRO POSSESSO SONO ORIGINALI E DOTATI DI ORIGINALE LICENZA

SISMICA A RIFRAZIONE
CENNI TEORICI

La metodologia della sismica a rifrazione consiste nel produrre delle onde sismiche nel terreno tramite una energizzazione (scoppio), tale energia può essere generata tramite un grave che percuote il terreno (martello o peso), oppure tramite lo scoppio di una carica esplosiva.
In particolare la sismica a rifrazione studia il comportamento dell'onda rifratta.
Tale onda, viaggiando all'interfaccia fra due mezzi a differente velocità, manda in superficie una serie di segnali (vibrazioni) che vengono registrati da degli accellerometri (geofoni).
Tali geofoni, posti ad un'equidistanza nota l'uno dall'altro vanno a formare la stesa sismica.
L'indagine procede energizzando in posizioni note.
Il segnale così registrato viene convogliata ad una scheda di conversione A/D, e quindi registrato e conservato in memoria.
L'acquisizione dei dati da parte del sismografo parte quando un particolare circuito ("trigger") viene attivato dall'energizzazione nel terreno.
Per ogni registrazione viene registrato un segnale, costituito da una traccia per ciascun geofono, riconoscendo su ciascuna traccia il primo arrivo dell'onda rifratta si genera una retta, detta dromocrona, dall'inclinazione della quale si può risalire alla velocità ed alla geometria (interpolando più dromocrone) dei rifrattori.
Le metodologie di interpretazioni dei dati vanno dalle più semplici (metodo delle intercette) che richiedono solo 2 scoppi per profilo, al metodo del reciproco (Hokins 1957) e del reciproco generalizzato (G.R.M. Palmer 1980) che richiedono 5-7 scoppi per profilo, fino alle tecniche tomografiche, che richiedono almeno 7 scoppi per stendimento.
Le basi su cui si fonda ogni tecnica sono differenti, così come è crescente la complessità dell'elaborazione, tant'è che i G.R.M e soprattutto le tecniche tomografiche sarebbero improponibili senza l'ausilio di computer.
L'elaborazione che restituisce ogni tecnica risulta via via più completa e dettagliata, fino ad arrivare a una mappatura di discontinuità molto articolate ottenibile con le più moderne tecniche tomografiche.

PRINCIPALI LIMITI DELLA TECNICA SISMICA RIFRAZIONE

Il limite principale della sismica a rifrazione sta nel fatto che tale tecnica presuppone un incremento costante della velocità andando in profondità.
Se, ad esempio, abbiamo un modello in cui sotto uno strato continuo di argilla dura abbiamo della sabbia molle, ed al disotto di questa roccia, il passaggio fra argilla e sabbia non produce rifrazione, ed il modello che ricostruirò sarà un modello di terreno errato.
Per questo le indagini sismiche andranno sempre accoppiate, soprattutto in situazioni dove inversioni di velocità sono frequenti (ad esempio i depositi quaternari) ad indagini geotecniche dirette.
Tali inconvenienti sono stati parzialmente risolti dalle tecniche tomografiche, dove tramite il "ray tracing" è possibile stabilire il percorso del raggio sismico ed individuare zone (sempre che siano limitate ad una parte interna allo stendimento) dove è avvenuta un'inversione di velocità, caratterizzate da un'assenza di copertura dei medesimi.

STRUMENTAZIONE USATA

Ambrogeo 2010 su
Numero dei canali 12
A/D conversione 24 bit
Geofoni da 14 hz verticali

SISTEMI DI ENERGIZZAZIONE

Generazione di onde P:
Martello

GEOMETRIA DEI RILIEVI

AA' = distanza intergeofonica 2 m per un totale di 24 metri, 6 energizzazioni.

METODOLOGIE USATE PER L'ANALISI DEI DATI

I dati sono stati acquisiti e trattati in campagna tramite software Ambrogeo.
In particolare, dove necessario si è implementato il segnale tramite sommatoria delle misure.
Si è proceduto ad eseguire sei stack per misura, tre per lato di battuta con inversione di polarità.
I dati sono poi stati trattati tramite software "Winsism 11.3" della Wgeosoft, Seismic unix, Rayfract della Intelligent Resource inc.

RILIEVI TROMOMETRICI

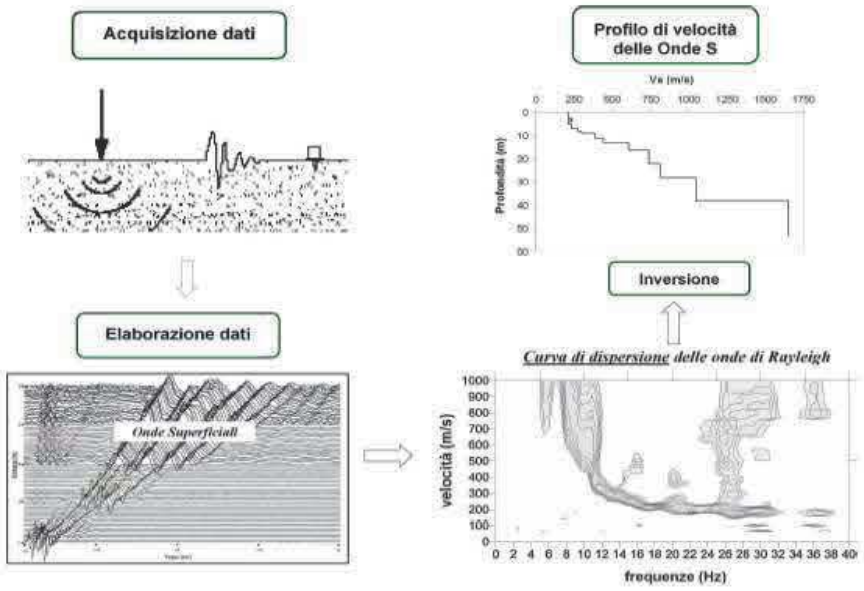
Tromino Micromed



Number of channels	3+1 analog
Amplifiers	all channels with differential inputs
Noise	< 0.5 µV r.m.s. @128 Hz sampling
Input impedance	10^6 Ohm
Frequency range	DC - 360 Hz
Sampling frequency	16384 Hz per channel
Oversampling frequency	32x, 64x, 128x
A/D conversion	≥24 bit equivalent
Max analog input	51.2 mV (781 nV/digit)

CENNI TEORICI
MASW

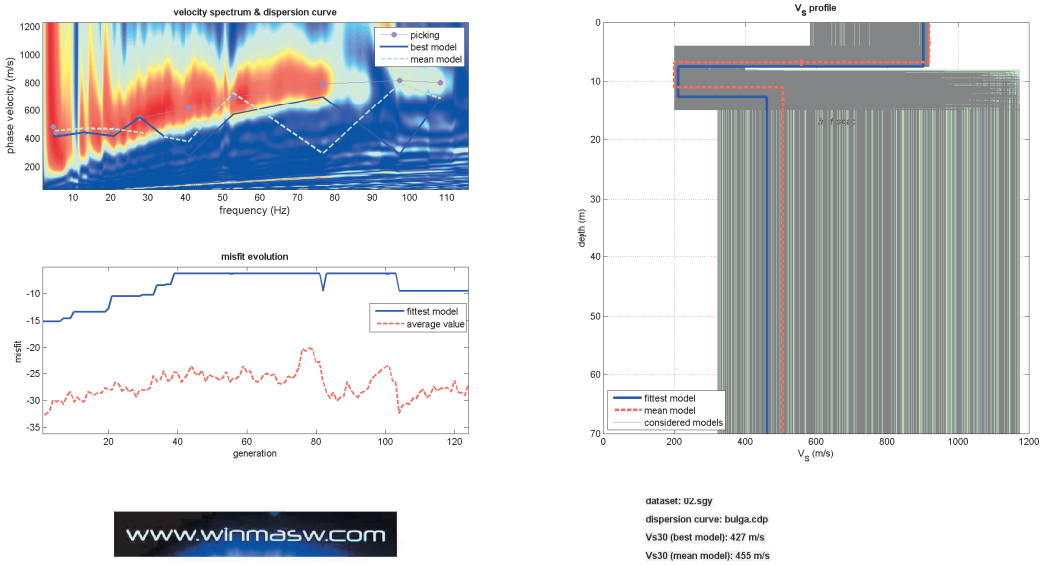
La conoscenza dell'andamento nel primo sottosuolo della velocità di propagazione delle onde di taglio è, come noto, importante negli studi di microzonazione sismica dedicati alla stima di possibili effetti di sito, capaci di amplificare il moto del terreno durante un terremoto.
Negli ultimi anni hanno avuto ampio sviluppo tecniche geofisiche basate sull'analisi della propagazione delle onde superficiali ed, in particolare, delle onde di Rayleigh. Le proprietà dispersive di tali onde in mezzi stratificati, nonché la stretta relazione esistente tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, consentono di risalire al profilo di velocità delle onde S.
Il metodo di indagine attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è basato su un artificiale energizzazione sismica del suolo e sull.analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al.,1999).
Nel metodo di indagine passivo si registra il rumore di fondo.



La curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Tali valori di velocità sono intimamente legati alle proprietà meccaniche del mezzo in cui l'onda si propaga (velocità delle onde S, delle onde P e densità). Tuttavia, diversi studi hanno in realtà messo in evidenza che la velocità delle onde P e la densità sono parametri di second'ordine rispetto alle onde S nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh. Quindi, dato che le onde superficiali campionano una porzione di

sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda e che la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato, la forma di questa curva è essenzialmente condizionata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con al profondità delle velocità delle onde S. Pertanto, utilizzando appositi formalismi è possibile stabilire una relazione (analiticamente complessa ma diretta) fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. Tale relazione consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.
L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curva di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S – profondità".

MASW



Mean model

Vs (m/s): 919, 200, 507
Thickness (m): 6.8, 4.2
Density (gr/cm3) (approximate values): 2.32 1.92 2.09
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 1960 77 537

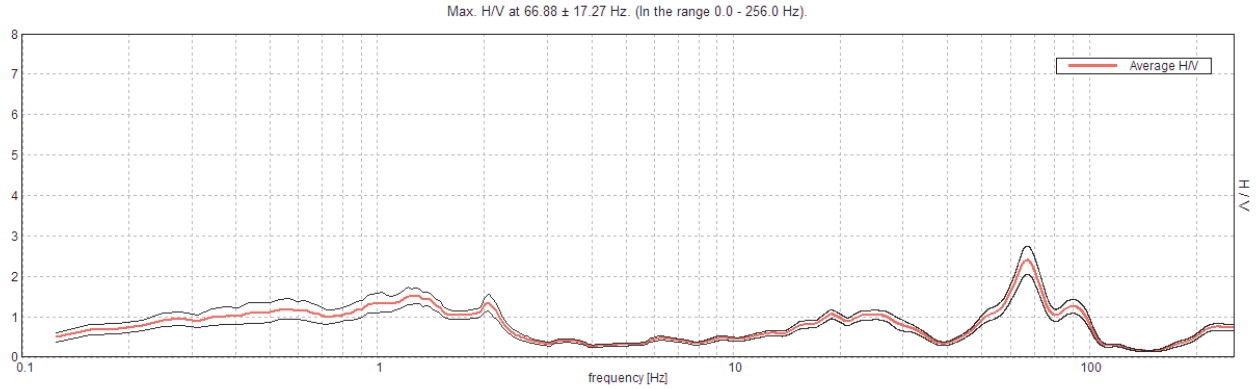
Vs30 (m/s): 455

H/V

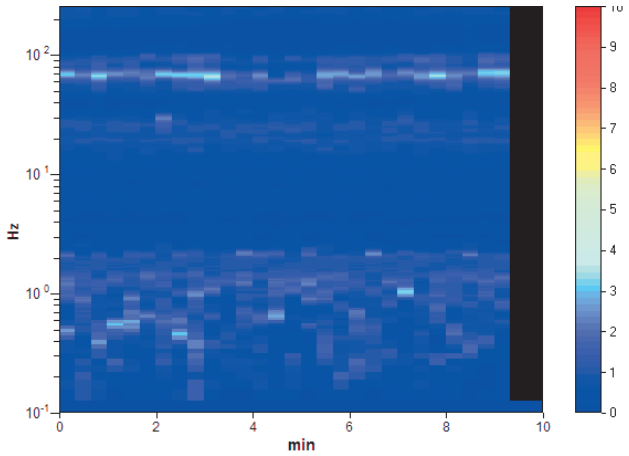
Strumento: TRZ-0135/01-11
Formato dati: 16 byte
Fondo scala [mV]: n.a.
Inizio registrazione: 19/04/00 12:48:54 Fine registrazione: 19/04/00 12:58:54
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h10'00''. Analisi effettuata sull'intera traccia.
Freq. campionamento: 512 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

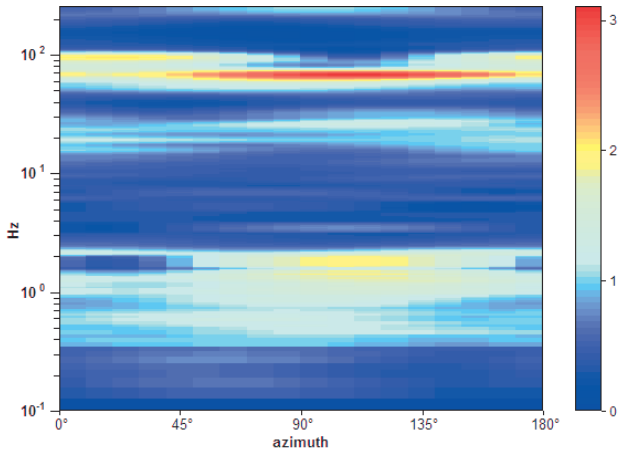
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



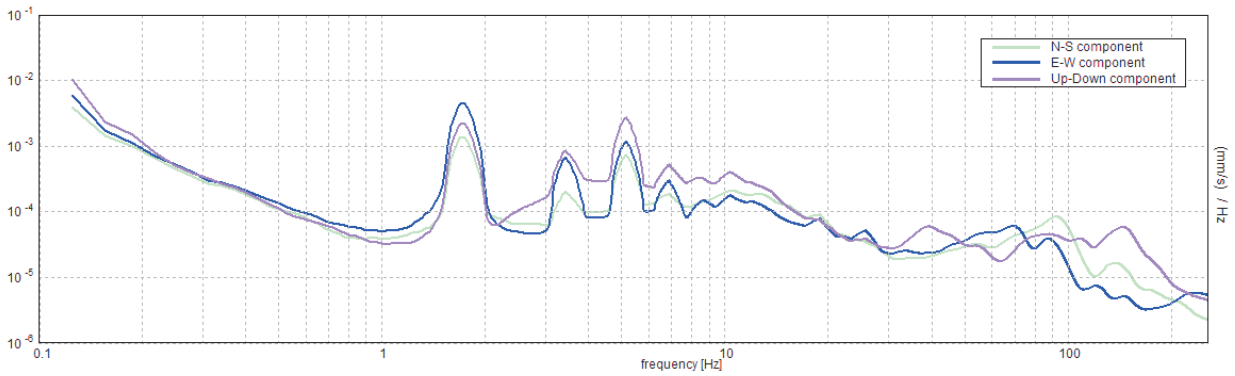
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



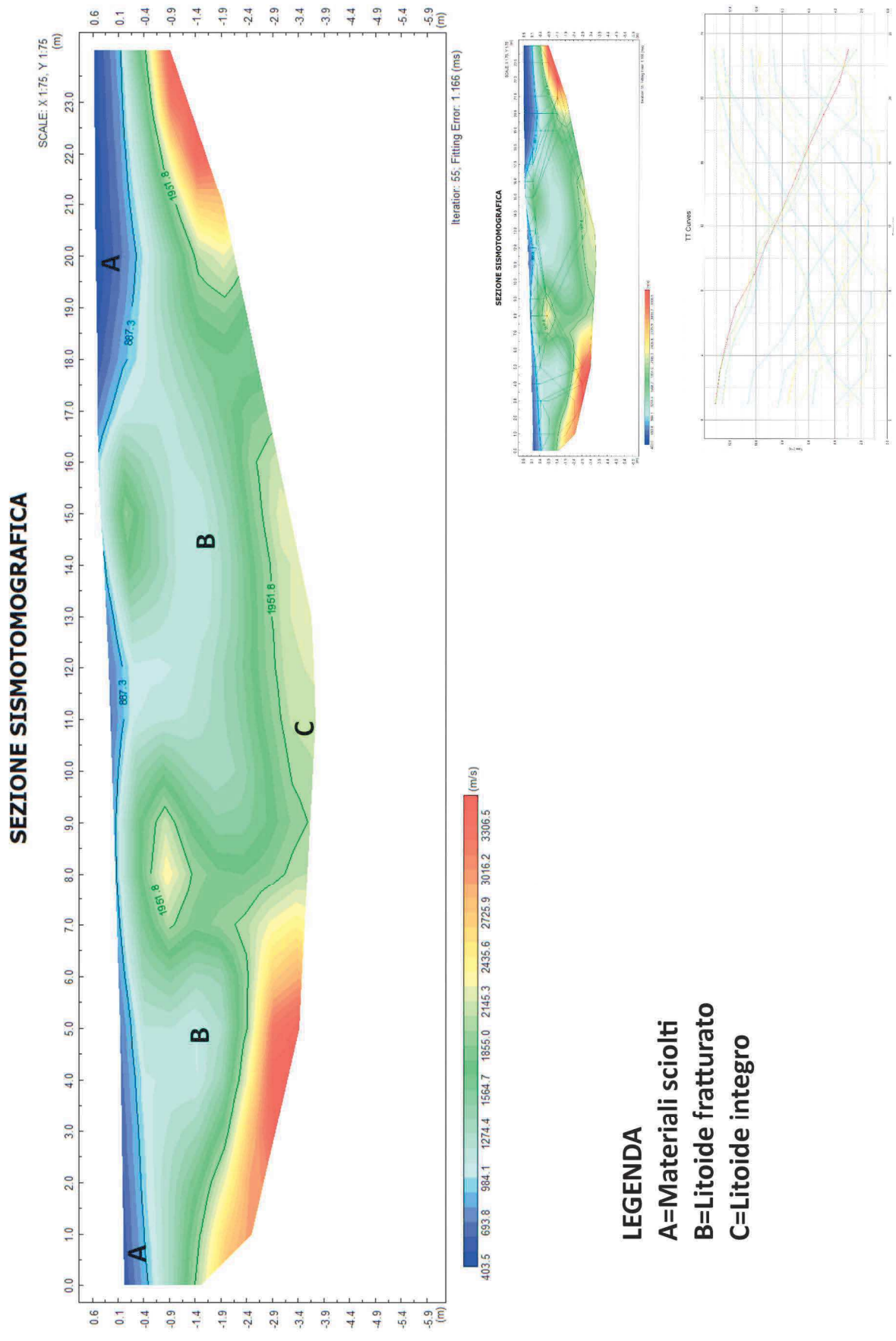
[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 66.88 ± 17.27 Hz (nell'intervallo 0.0 - 256.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	66.88 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	40125.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz	Superato 0 volte su 3211	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	56.375 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	76.844 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.40 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.25825| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	17.27054 < 3.34375		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.347 < 1.58	OK	

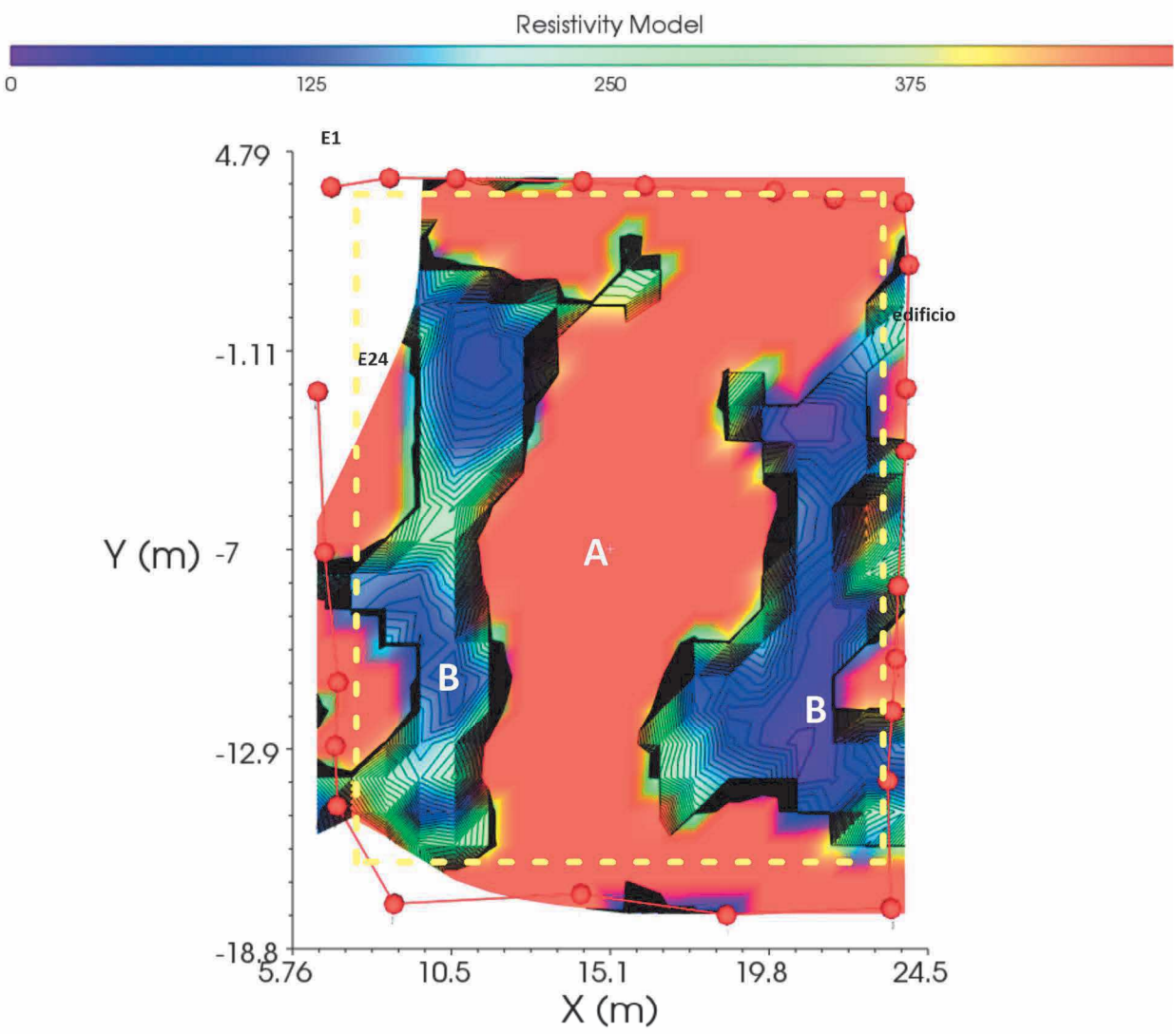
L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20


SEZIONE SISMOTOMOGRAFICA
SCALE: X 1.75, Y 1.75
Iteration: 55, Fitting Error: 1.166 (ms)
A
B
C
887.3
1951.8
403.5 693.8 984.1 1274.4 1564.7 1855.0 2145.3 2435.6 2725.9 3016.2 3306.5 (m/s)
SEZIONE SISMOTOMOGRAFICA
TT Curves
LEGENDA
A=Materiali sciolti
B=Litoide fratturato
C=Litoide integro

TAVOLE ELETTRICA 3d

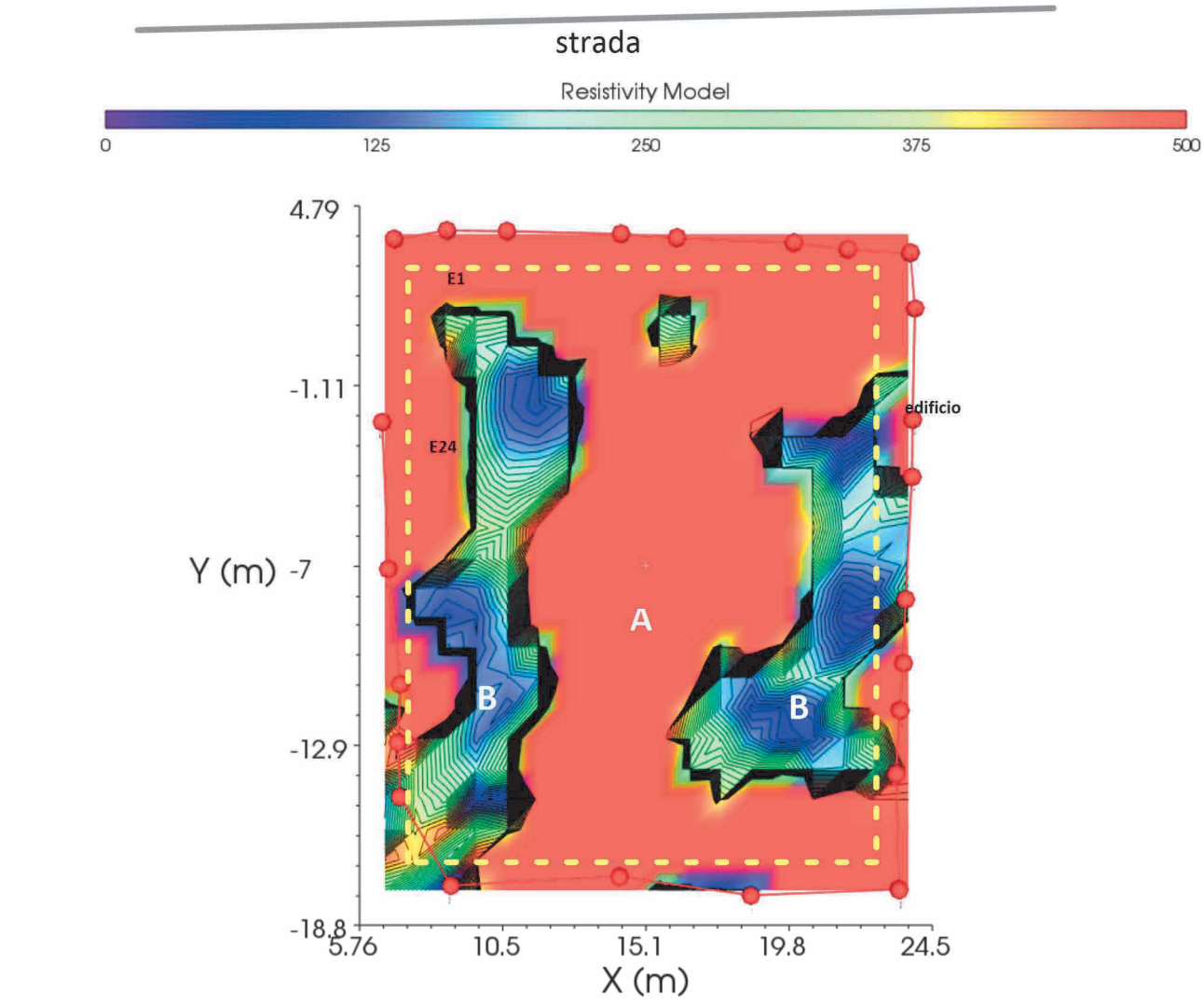
strada



Si nota la presenza di due strisciate conduttive poste circa al centro dell' edificio

-0.5/1 metro dal p.c

A=livelli resistivi
B=livelli conduttivi

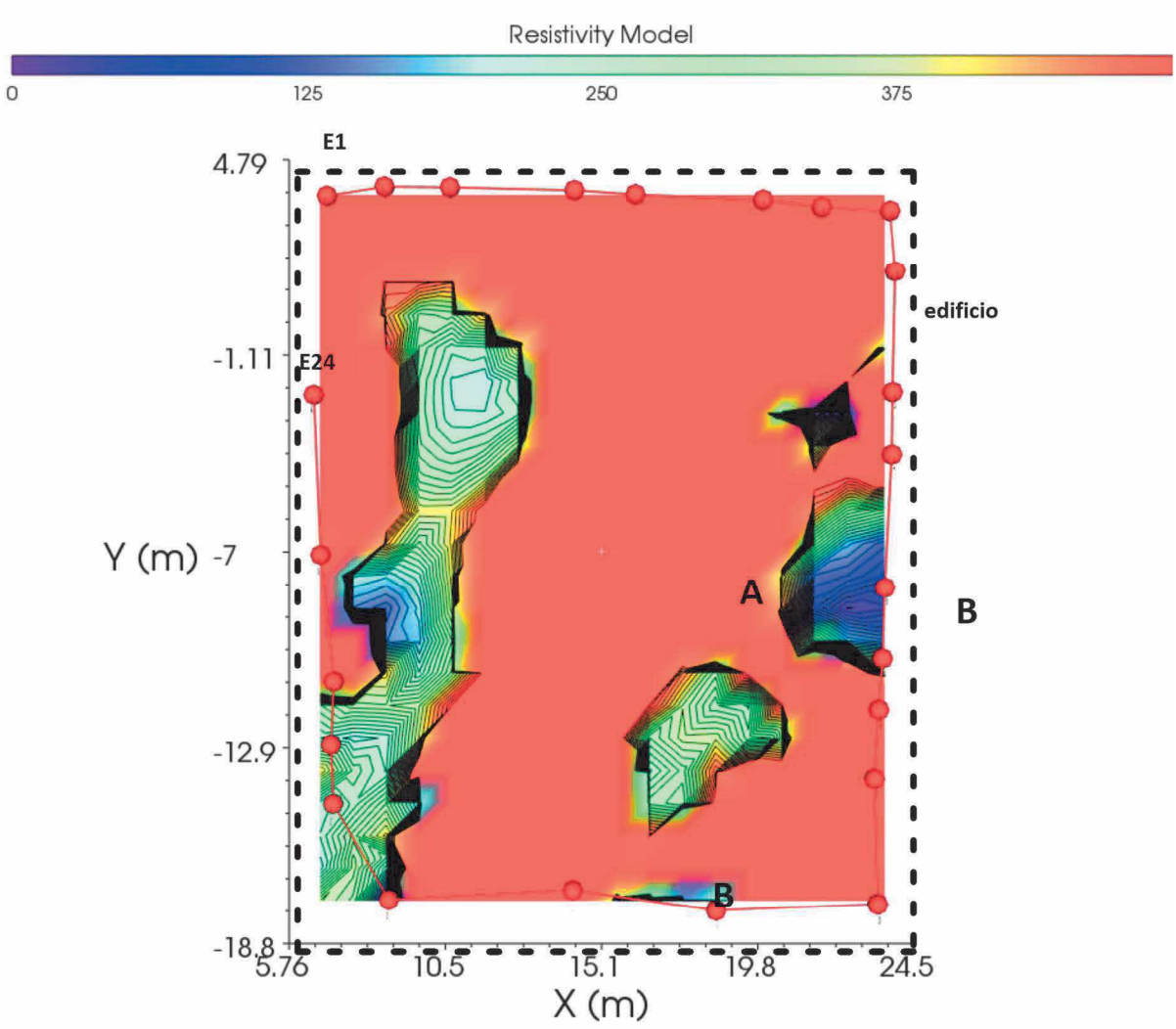


Pesristono le anomalie negative ma perdono di intensità

-1.5/2 metri dal p.c

A=livelli resistivi
B=livelli conduttivi

strada

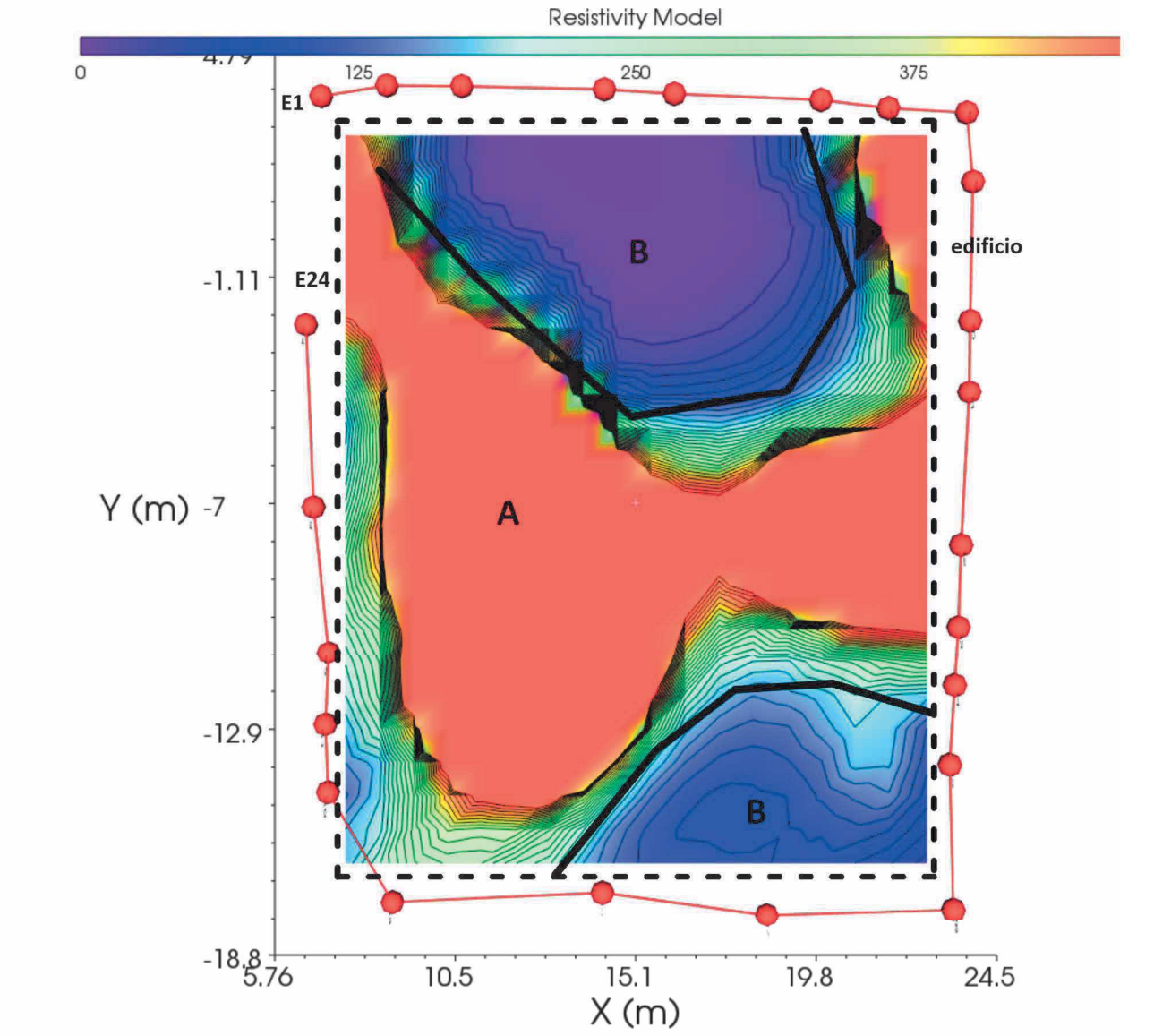


Si nota una preminenza dei livelli conduttivi

A=livelli resistivi
B=livelli conduttivi

-2/3 metri dal p.c

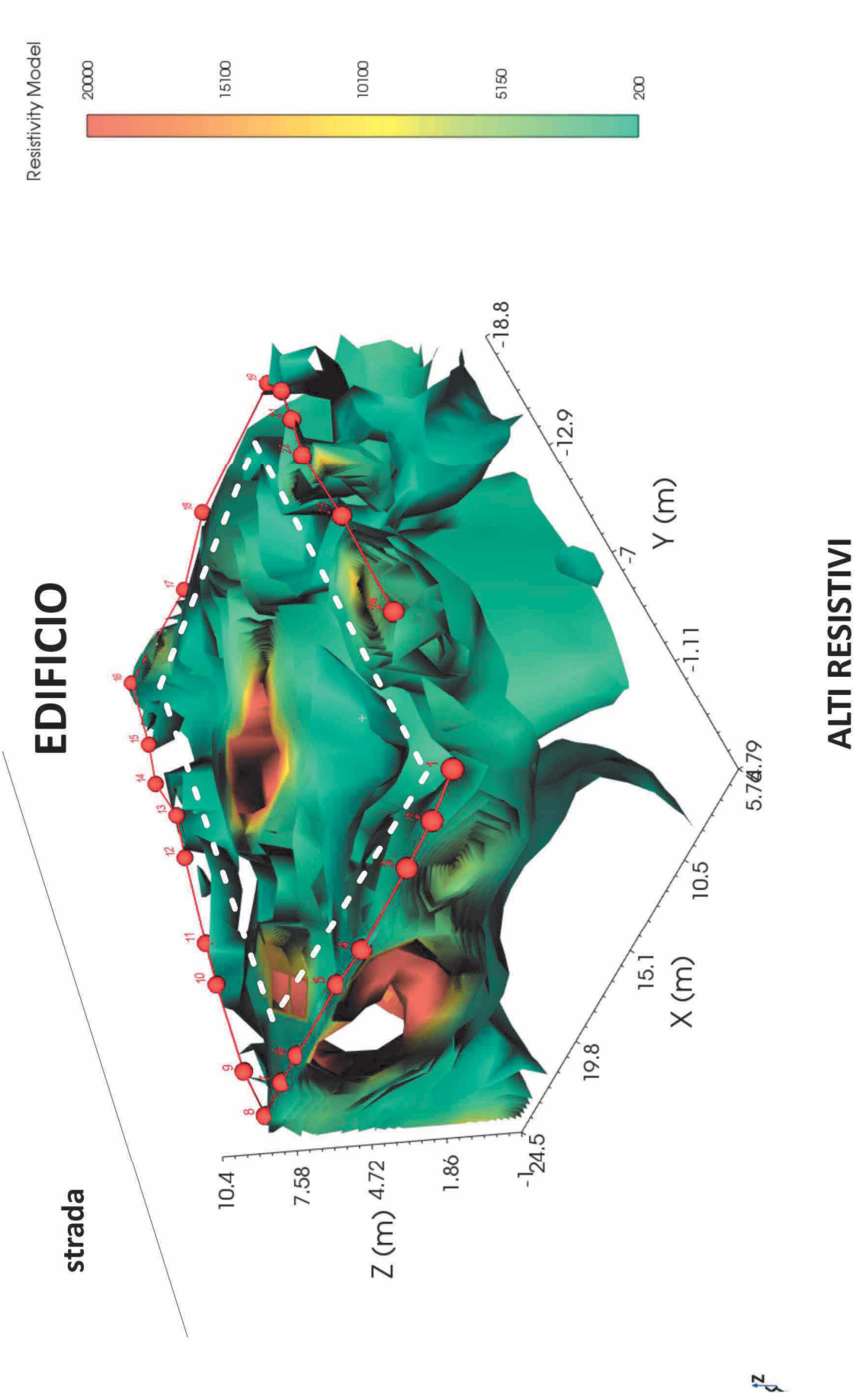
strada

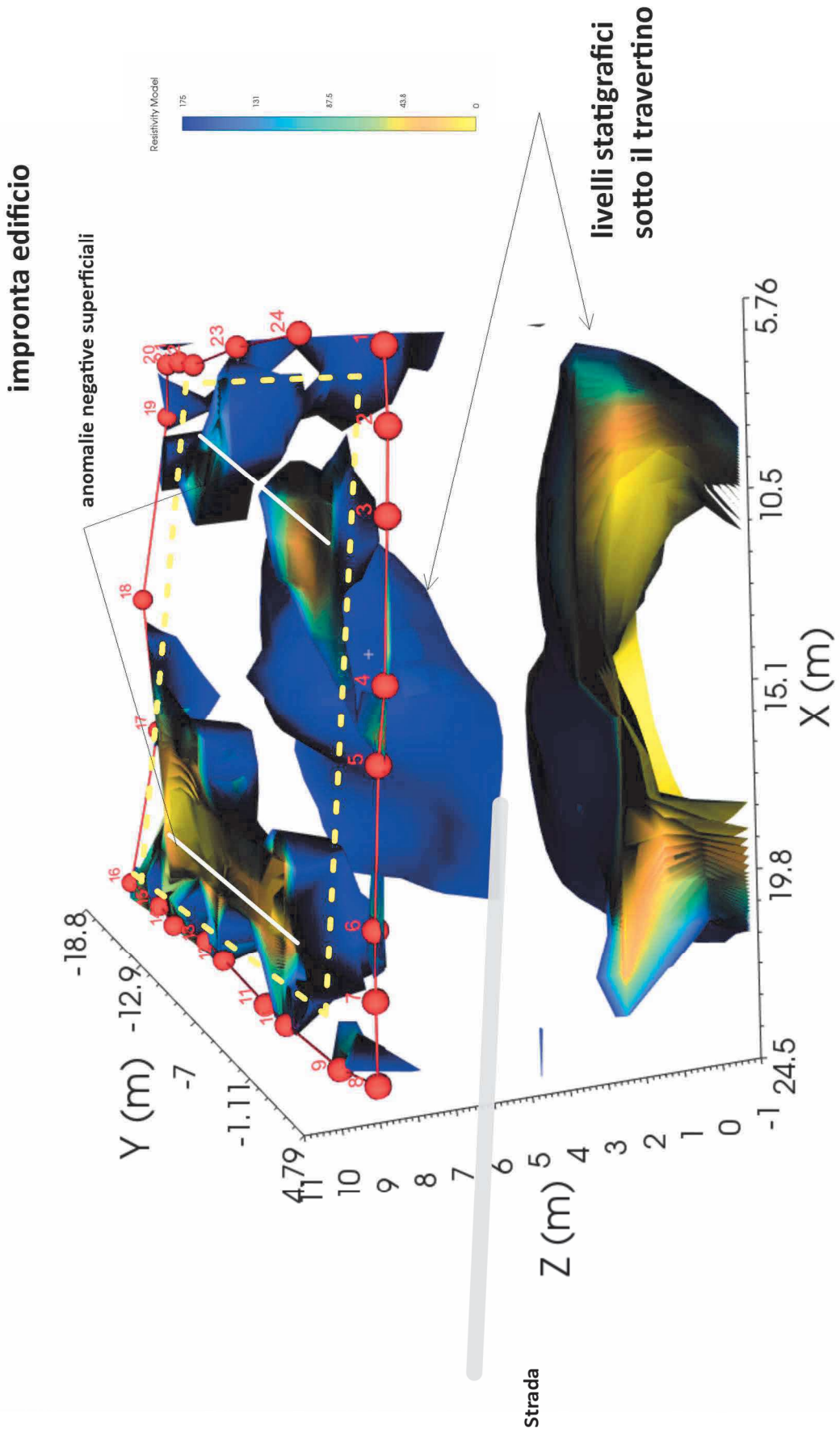


la lente di travertino tende a sfumare nel sottostante livello di sedimenti

A=livelli resistivi
B=livelli conduttivi

-8,2 metri dal p.c


Resistivity Model
20000
15100
10100
5150
200
EDIFICIO
strada
ALTI RESISTIVI
Z (m)
10.4
7.58
4.72
1.86
-1
X (m)
24.5
19.8
15.1
10.5
5.76
Y (m)
-18.8
-12.9
-7
-1.11
4.79



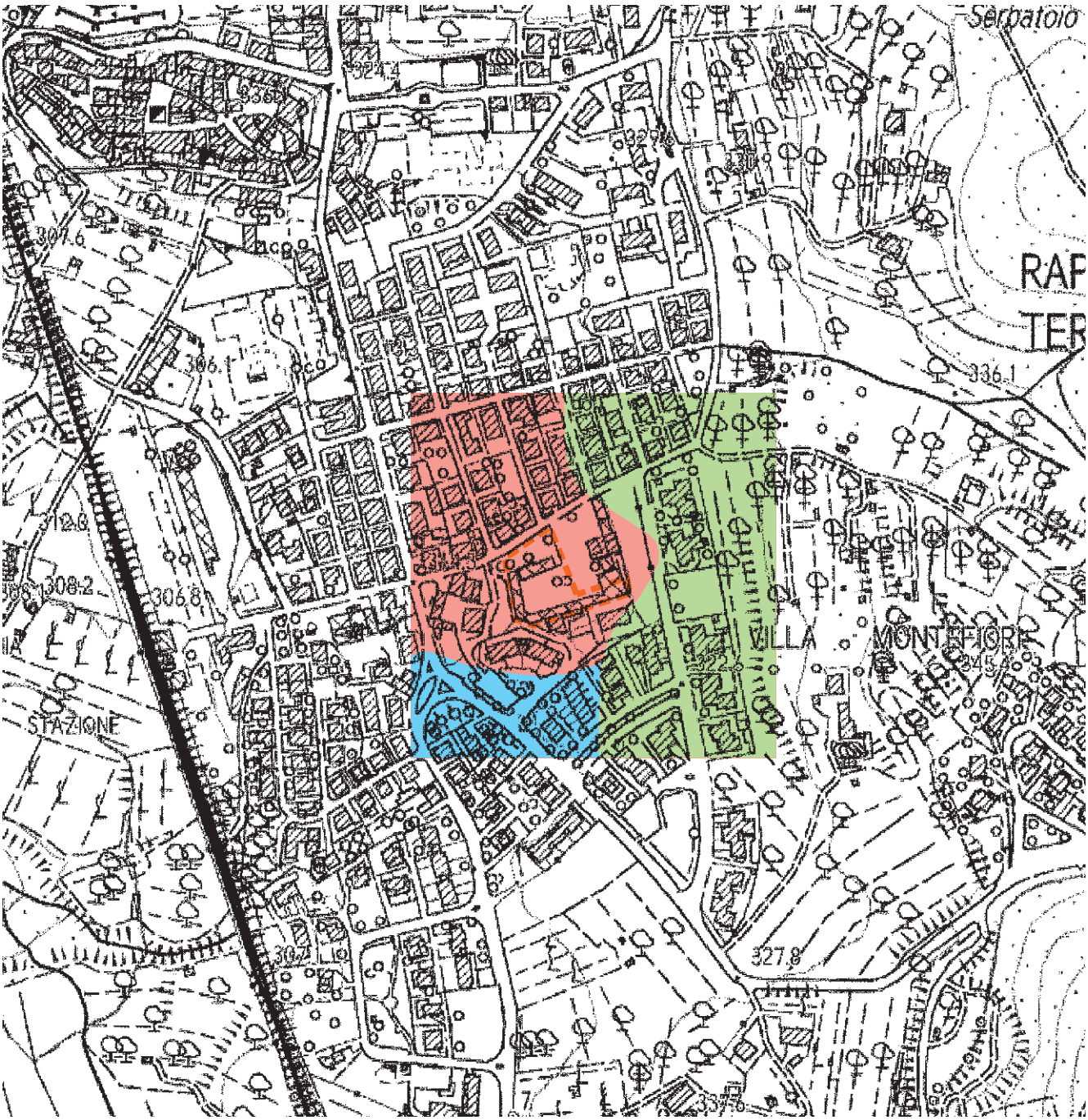
BASSI RESISTIVI-0-150 ohm/metro

CONSIDERAZIONI GENERALI

Sia la sismica che il masw hanno rivelato che, sull'impronta dell'edificio, sono presenti livelli superficiali molto veloci, sia in P che in Sh che sono caratteristici di terreni molto compatti.
Tale velocità sembra diminuire andando verso il basso, tanto che la sismica si chiude a soli 3 mt dal p.c. ed il masw ha una curva di dispersione a dir poco insolita (interpretazione molto incerta).
Per quanto riguarda le fondazioni del fabbricato esistente, non siamo in grado di distinguere il cemento dal travertino, ma si vede che all'interno dell'edificio ci sono, in superficie, 2 anomalie di resistività parallele.

AREZZO 12-04-2019 ***GALILEO GEOFISICA***





CARTA GEOLOGICO-TECNICA PER MICROZONAZIONE SISMICA 1:5.000

Terreni di copertura

GM ec - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbie e limo di eluvi/colluvi

CL tf - Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di terrazzo fluviale

GR cl - Granulare cementato

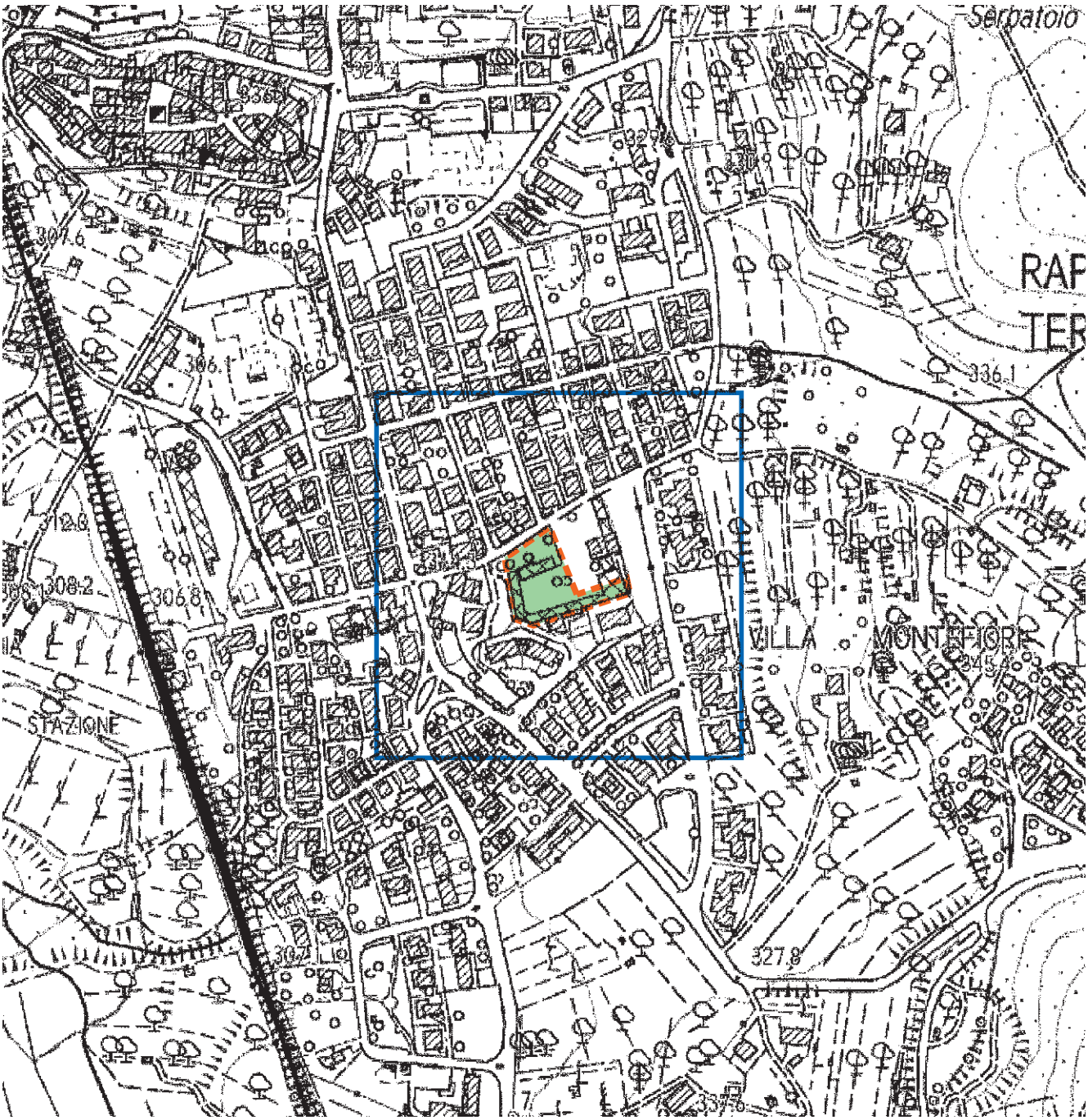
Area interessata dall'intervento



CARTA DELLE MICROZONE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS) 1:5.000

Zona stabile suscettibile di amplificazione sismica

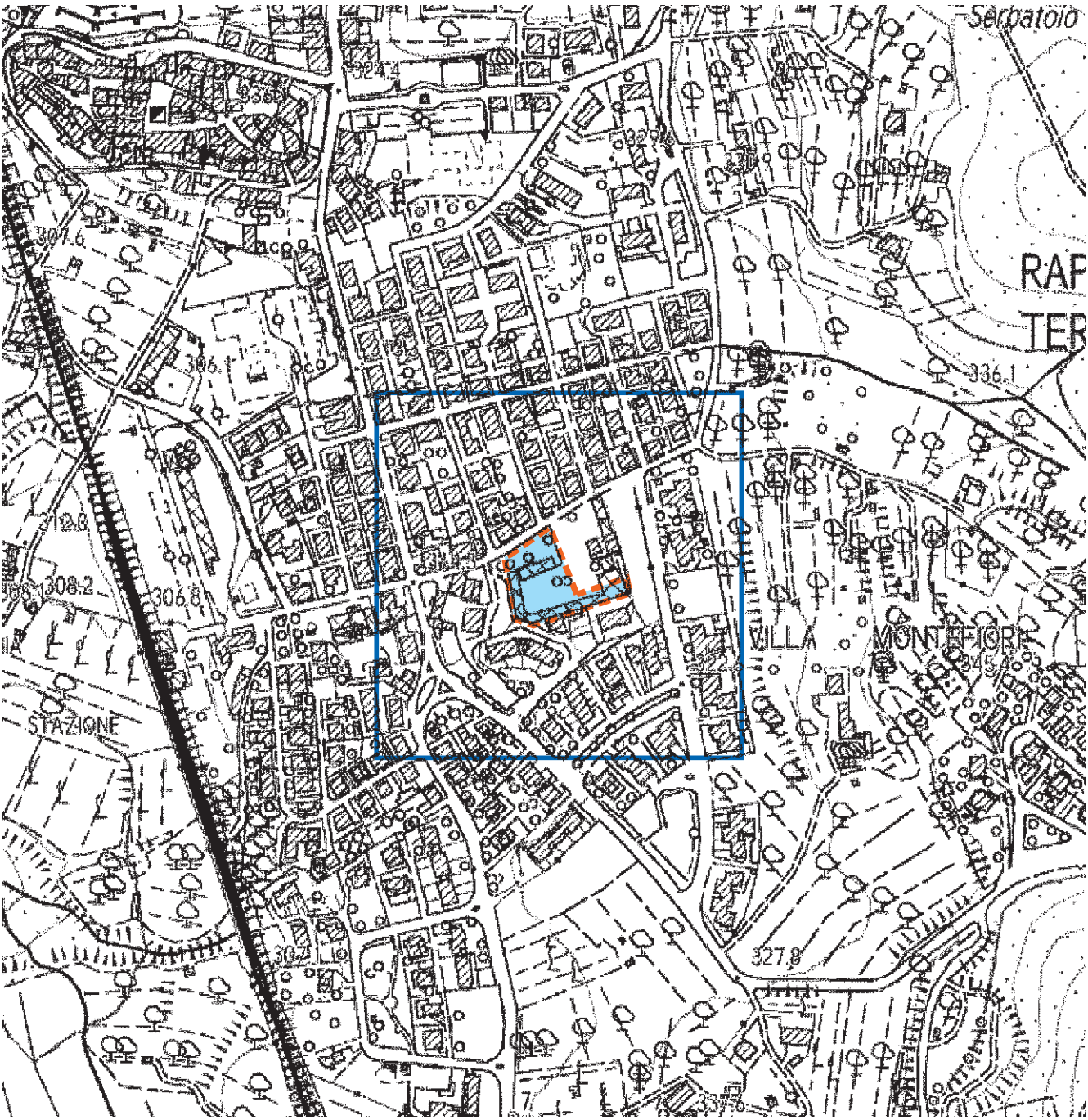
- 2011
- 2012
- 2013
- 2014
- 2016
- Area interessata dall'intervento



CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA 1:5.000

PERICOLOSITA' MEDIA: area in cui dalla valutazione degli elementi geomorfologici, litologici, giaciturali risulta una bassa propensione al dissesto.

Area interessata dall'intervento



CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA 1:5.000

I.1, irrilevante

Area interessata dall'intervento



CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA 1:5.000

S.2, media - area suscettibile di amplificazione locali per contrasto di impedenza sismica

Area interessata dall'intervento