

Indagini diagnostiche sugli ambienti interrati di Palazzo Carpegna

GIORGIO SFORZA

La campagna d'indagine, effettuata dalla società Essebi s.r.l. [1] è stata condotta su due livelli di Palazzo Carpegna. Al piano interrato sono state effettuate indagini parzialmente invasive sulle strutture portanti verticali (indagini endoscopiche sulle murature). Al piano strada, sono state effettuate indagini non invasive (georadar e tomografia elettrica) concentrate nel cortile interno e in alcuni locali coperti.

Per ciascuna tecnica di indagine sono di seguito descritti i principi generali su cui si basa la metodologia e la strumentazione adottata, la definizione delle diverse aree/punti oggetto di indagine, i risultati della misura.

INDAGINE ENDOSCOPICA

Metodologia

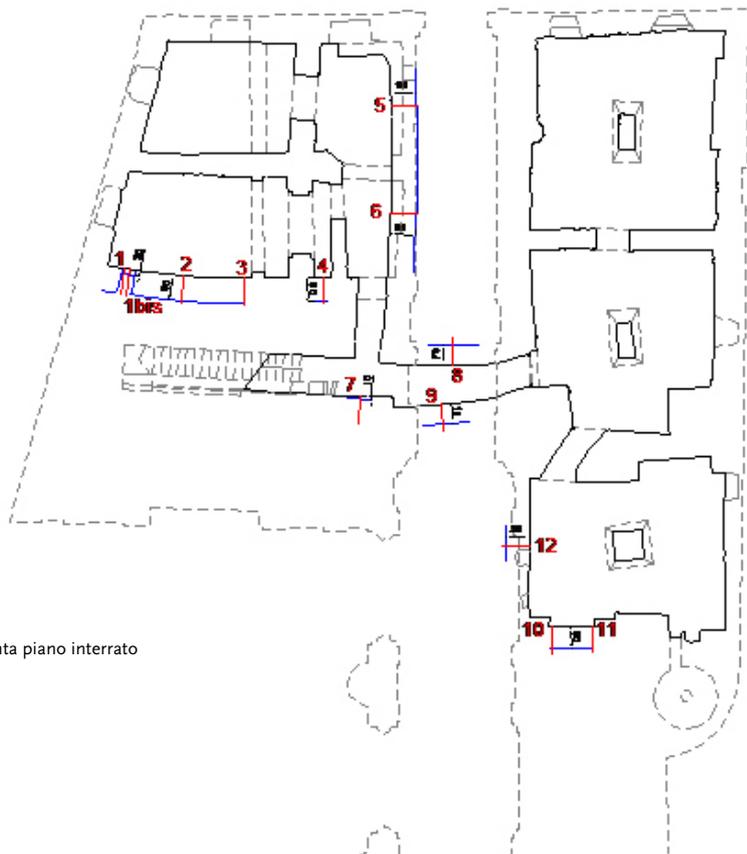
L'indagine endoscopica è una tecnica parzialmente invasiva a carattere qualitativo che permette, attraverso la visione di immagini ad alta risoluzione e campo stretto delle pareti di un foro, di ottenere informazioni circa il manufatto ove il foro stesso risiede. In un foro realizzato appositamente, o già presente nel manufatto, viene introdotta la telecamera solidarizzata all'interfaccia di visione tramite braccio snodato di lunghezza adeguata (da 60 a 150 cm). Il diametro del foro è solitamente contenuto tra i 5 ed i 20 mm, disponendo oggi di telecamere digitali di dimensioni millimetriche [2], a visione ottica o a mezzo di guida a fibra ottica.

Definizione dei punti oggetto di indagine

Per la definizione della tipologia e tessitura delle murature in oggetto, sono state praticate dodici ispezioni visive con endoscopio nei locali al piano interrato, e più precisamente sui maschi murari che da detti locali confinano con il presunto terrapieno sottostante l'edificio stesso. Sono stati quindi realizzati altrettanti fori di diametro pari a 22 mm e profondità massima pari a 100 cm allo scopo di introdurre la sonda dell'endoscopio, per effettuare riprese e condurre valutazioni sulla tipologia dei materiali e la tecnologia realizzativa delle mura. È stato altresì possibile valutare, oltre lo spessore dei muri, la presenza di indizi che possano ricondurre alla sussistenza di vani nascosti, attualmente inagibili o tombati con riempimenti di terra e detriti.

Lo strumento (fibroendoscopio) è costituito da un fascio centrale di fibre ottiche coerenti, a cui coassialmente è montato un altro fascio di fibre ottiche. In questo modo il fascio centrale trasporta l'immagine da una estremità (obiettivo) all'altra (oculare). Le fibre che formano l'anello esterno sono invece utilizzate per illuminare la zona indagata.

piazza dell'Accademia di San Luca



pianta piano interrato

*Endoscopio a tubo flessibile con guida a fibra ottica.
Nella pianta del piano interrato sono riportate le posizioni dei punti di indagine e lo spessore della muratura.*

*Sotto
Immagini endoscopiche delle murature indagate.*

Risultati indagine endoscopica

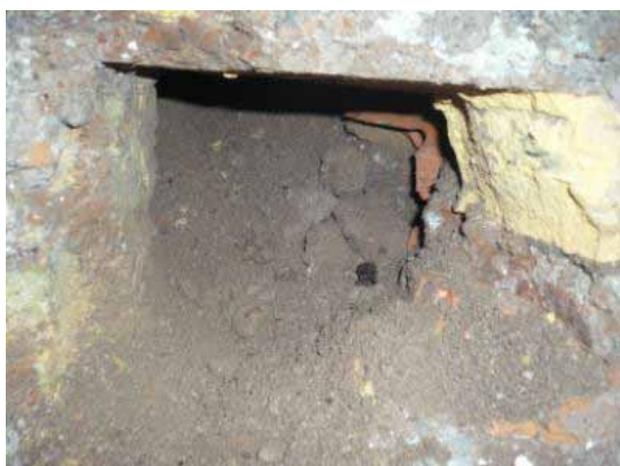
Le due immagini che seguono sono significative dei punti indagati. Le visioni endoscopiche, a causa della forte umidità dei muri, non forniscono una chiara visibilità della struttura delle murature indagate, ma da esse è possibile rilevare il passaggio tra muratura e retrostante terrapieno.



Da detta indagine è emerso che tutte le pareti indagate, ad eccezione del punto 1, presentano uno spessore variabile compreso tra 70 e 90 cm al di là delle quali è sempre presente un terrapieno. Non è stato pertanto possibile giungere a una valutazione certa circa l'esistenza o meno di locali preesistenti, successivamente tombati.

Solo dall'endoscopia relativa al punto 1, risulta evidente un vano porta chiuso (visibile anche dall'interno del locale d'interesse), con una parete di limitato spessore (20 cm), al di là della quale è presente un riempimento in materiale grossolano di evidente natura di riporto. Per detto punto, al fine di verificare al meglio quanto rilevabile con l'endoscopio, è stato asportato un mattone ed approfondito il saggio in maniera visiva diretta, come mostrato nelle immagini che seguono.

Tale zona mostra una evidente difformità in termini di spessore limitato della muratura e caratteristiche del terreno.



*A sinistra
Saggio punto 1.*



*A destra
Materiali di risulta da saggio punto 1.*

INDAGINE CON GEORADAR

Metodologia

Il radar, RADio Detection And Ranging, nel significato più generale è costituito da una apparecchiatura che permette di rilevare la posizione di un oggetto dal confronto tra un segnale di riferimento emesso da un trasmettitore e quello riflesso dall'oggetto stesso (target o bersaglio). Per tale scopo vengono utilizzate onde elettromagnetiche di frequenza normalmente compresa tra qualche centinaio di MHz e alcune decine di GHz.

Il Georadar (Ground Poking Radar) è un tipico radar ad impulsi perfezionato per prospezioni nel sottosuolo, ed è costituito da uno o più trasmettitori (antenne) che operano sia in emissione che in ricezione dei segnali. Parte dell'energia elettromagnetica irradiata, se incontra un'interfaccia tra materiali con differenti proprietà dielettriche, viene riflessa verso il piano campagna, sede delle antenne di emissione. In ricezione alla strumentazione pervengono treni di differenti onde. Vengono captate dalla strumentazione le onde di interesse, ovvero quelle riflesse dalle superfici di discontinuità del sottosuolo (condutture, tubazioni, cavità, variazioni geolitologiche, strutture sepolte), ed

anche le onde che subiscono fenomeni misti di rifrazione e riflessione (lateral wave), dette anche multiple. La strumentazione misura il tempo trascorso tra la trasmissione dell'onda e la risposta captata dall'antenna ricevente [3].

Si evidenzia come eventuali non rilevazioni di strutture, anomalie ecc. presenti nel sottosuolo, rispetto allo standard, possano essere dovute a diversi fattori fra i quali:

La presenza di materiali di copertura a granulometria sottile o comunque con presenza di una discreta matrice sottile.

La presenza di acqua anche capillare che impedisce al segnale elettromagnetico di penetrare in profondità;

La presenza di corpi conduttori o strutture inglobanti corpi conduttori che provocano fenomeni di riflessione e rifrazione.

La prospezione sul terreno comporta generalmente una impostazione topografica preliminare, che permetta l'esecuzione di profili tra loro paralleli (longitudinali) e di altri profili ortogonali ai primi (trasversali).

Per l'acquisizione relativa alle indagini condotte è stata impiegata una strumentazione georadar a due canali, in configurazione monocanale. Dopo alcune prove di taratura con alcune antenne a varia frequenza (900 – 500 – 300 Hz) si è optato per l'utilizzo di un'antenna da 500 MHz, che offriva il miglior rapporto segnale/ profondità.

Aree oggetto di indagine

Sono stati eseguiti una serie di profili radar longitudinali e trasversali in cinque zone poste al piano terra del palazzo, individuate compatibilmente con la situazione imposta dalla logistica e dalla cantierabilità dell'intervento. Le prospezioni hanno interessato il corridoio d'ingresso (zona A), una lunga sala posta alla sinistra del corridoio d'ingresso (zona B), il giardino (zona C), il pianerottolo rialzato dell'ingresso del personale (zona D), il corridoio della biblioteca (zona E).

Descrizione dei risultati

L'elaborazione dei dati campali è avvenuta in due fasi distinte:

trattamento dei dati grezzi (raw data);

individuazione dei segnali (target) attribuibili a strutture e stima delle loro profondità.

La prima fase ha riguardato il trattamento dei dati di acquisizione tramite una serie di filtri dei segnali registrati che hanno permesso di eliminare la componente continua introdotta in fase di acquisizione dallo strumento e la normalizzazione delle tracce rispetto al valore massimo.

La seconda fase ha interessato l'interpretazione dei dati con l'individuazione dei target distribuiti lungo ogni singola passata, intesa come scansione longitudinale lungo l'area di interesse, e la loro progressiva metrica rispetto allo zero di riferimento. I target, così identificati, sono stati quindi trasferiti e indicati con opportuna simbologia alle progressive corrispondenti, sulle tracce dei profili.

I risultati delle indagini eseguite sono illustrati nei grafici della pagina seguente, caratterizzati dall'aver in ascissa la progressiva longitudinale di



Sopra
Localizzazione delle zone di
indagini Georadar.

Sotto
Pratica esecuzione delle indagini –
zona A

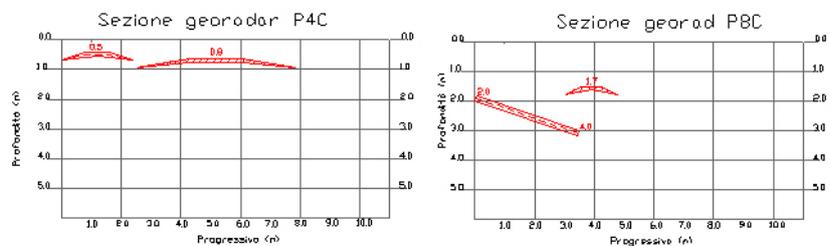


scansione ed in ordinata la profondità di penetrazione. In essi risultano spazialmente rappresentati i target in profili presunti, dedotti dagli echi rilevati.

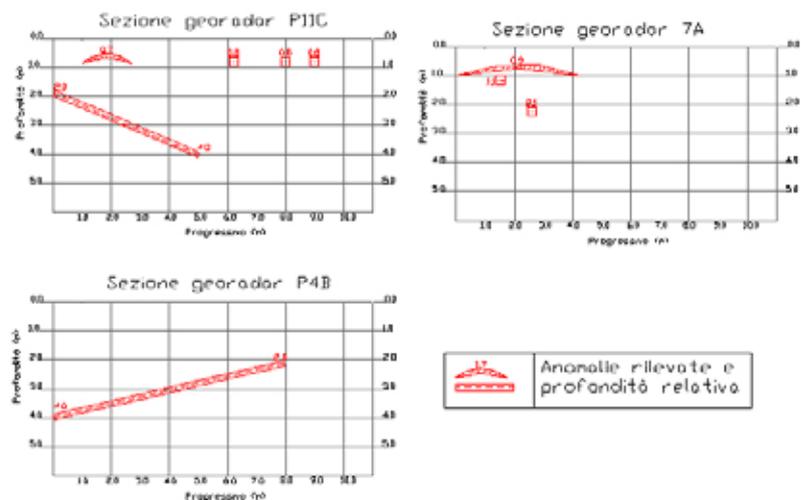
In generale l'indagine ha mostrato una buona risoluzione. In alcuni casi, però, sono stati rilevati una serie di fenomeni di rifrazione e riflessione che hanno comportato l'obliterazione e/o la deformazione dei segnali con conseguente perdita di definizione. Queste fenomeni potrebbero avere in alcuni casi determinato l'impossibilità di rilevare del tutto o con continuità le anomalie strutturali individuate tra tracce di profili contigui. I target comunque individuati e riportati nelle due immagini che seguono, a titolo di esempio, per alcune delle zone di misura sono stati distinti in:

anomalie certe, legate ad echi ben delineati, derivanti da presenza di strutture più o meno estese;

anomalie incerte, legate ad echi parziali o deformati, derivanti dalla presumibile presenza di strutture estese e fenomeni di interferenza.

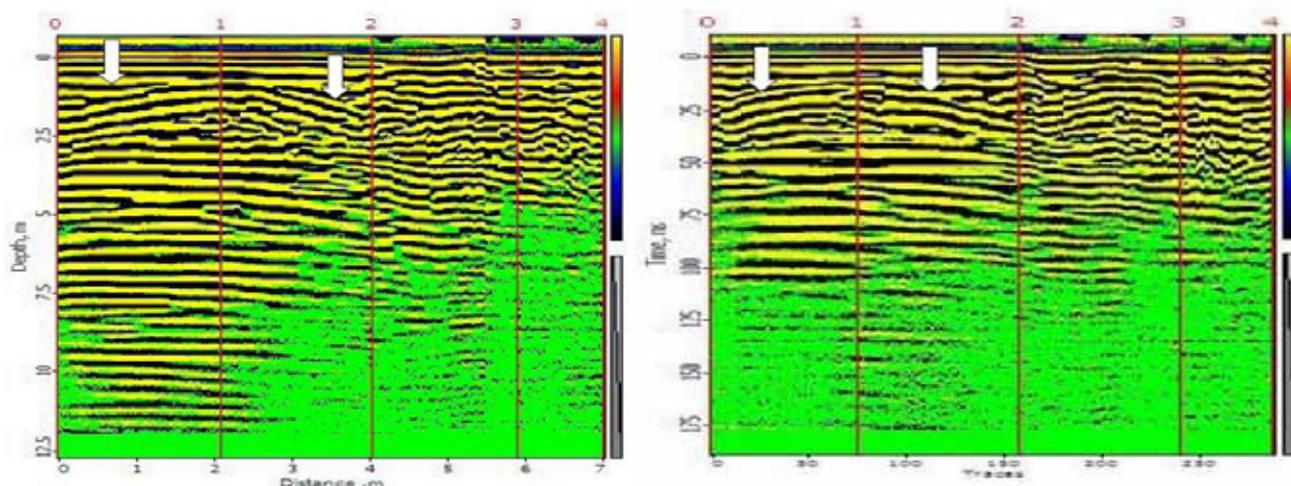


Per quanto attiene in generale alla profondità degli echi rilevati, la cui stima, a titolo di esempio, è riportata, per alcuni di essi, queste sono sempre relative all'eventuale estradosso della strutture, e l'oscillazione stimata è dovuta alla fascia dei valori di permittività attribuita aprioristicamente al sottosuolo.



Zona A

È costituita dal corridoio di ingresso del palazzo. L'indagine è stata eseguita mediante 4 profili longitudinali paralleli e 9 profili trasversali ortogonali ai profili longitudinali.



Tracciati georadar zona P7A e P8A.

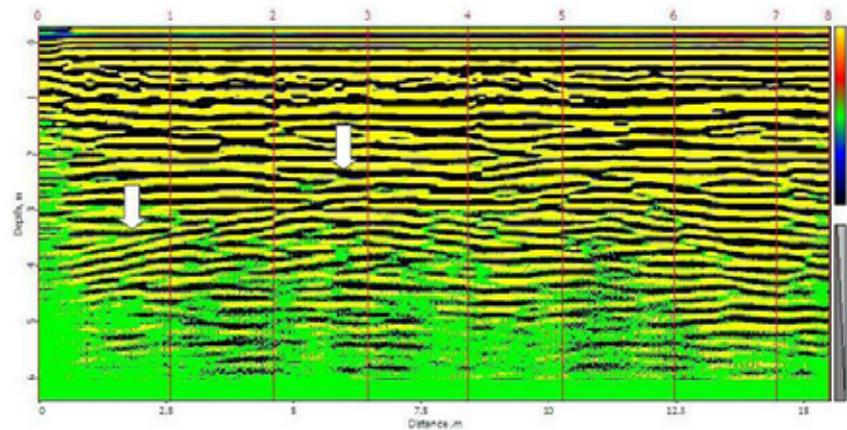
Procedendo dal portone, in corrispondenza dell'ingresso del palazzo, sono state rilevate una serie di ampie riflessioni situate nella parte iniziale dei profili longitudinali P1A, P2A, P3A, progressive da 1,0 – 5,0 metri, presumibilmente riconducibili a elementi strutturali. Una serie di echi fortemente deformati individuano una zona di anomalia tra le progressive 11,0 – 14,0 metri dei profili P1A, P3A, P4A, situate comunque in corrispondenza di un corridoio sotterraneo noto. Una riflessione più profonda, di apparente natura strutturale, è individuabile nel profilo trasversale P6A progressive 0,0 – 2,0 metri, ma non ha trovato però conferma nel tratto corrispondente dei profili longitudinali P1A e P2A.

Sono poi presenti una serie di riflessioni paraboliche (indicati con frecce nei tracciati riportati nelle figg. 13 e 14), prossime alla superficie, molto nette ed evidenti, presumibilmente riferibili ad elementi strutturali, in corrispondenza dei profili trasversali P7A e P8A, delle quali si ha un parziale riscontro, seppur come segnale incerto e disturbato, nel tratto corrispondente dei profili longitudinali P1A e P2A progressive 30,0 – 35,0 m.

Zona B

È costituita da una lunga sala posta alla sinistra del corridoi d'ingresso. L'indagine è stata eseguita mediante 4 profili longitudinali paralleli e 4 profili trasversali ortogonali ai longitudinali. In questa zona non sono state rilevate riflessioni di forma iperbolica, ma è stato rilevato un segnale profondo lineare (come mostrato nella figura seguente), praticamente costante per tutti i quattro profili longitudinali P1B, P2B, P3B e P4B, tra le progressive 0,5 ÷ 8,0 m, delineante in prima approssimazione un piano discretamente inclinato, alla luce delle conoscenze attuali di non di chiara interpretazione.

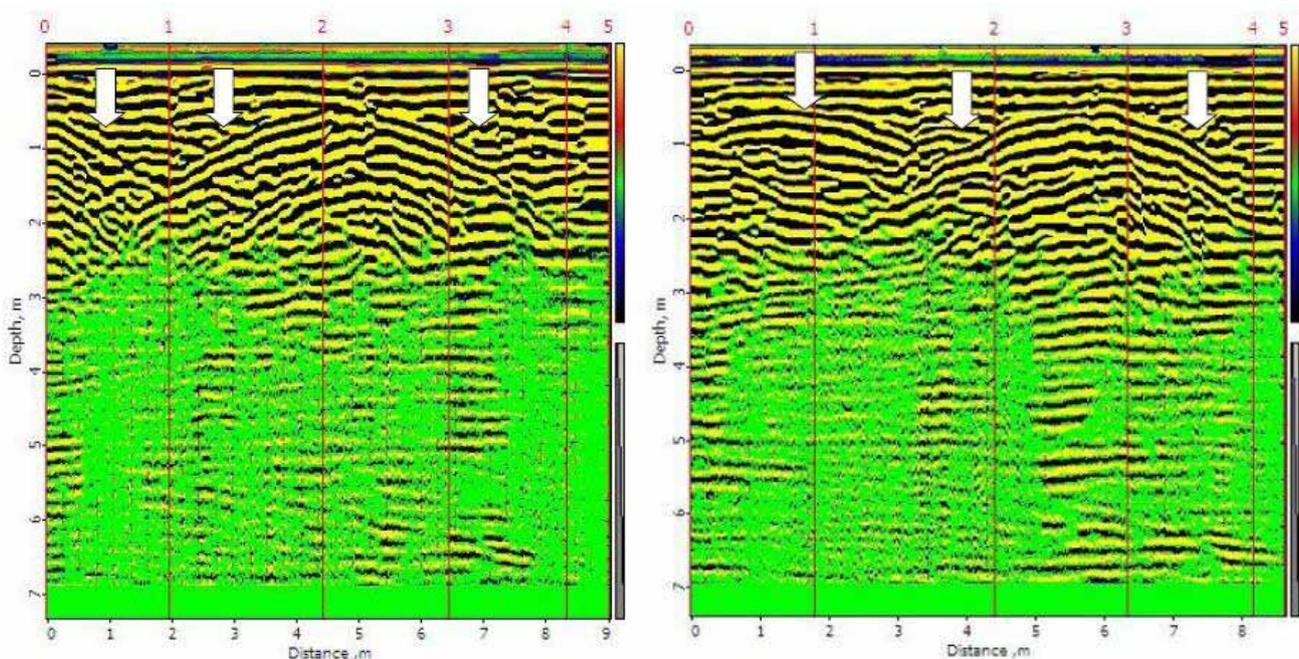
Tracciato georadar zona P1B.

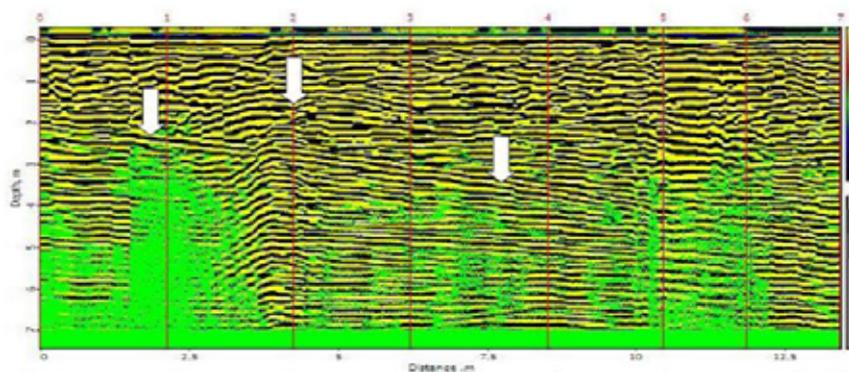


Zona C

È costituita dal giardino del palazzo. L'indagine è stata eseguita mediante 7 profili longitudinali paralleli e 4 profili trasversali. La presenza di ostacoli di varia natura, una grande fontana, vasi, auto in sosta, non ha permesso la realizzazione di una maglia regolare d'indagine. In questa zona sono state comunque rilevate alcune aree di un certo interesse. In particolare nei profili longitudinali P2C, P4C e parzialmente P3C sono presenti evidenti riflessioni, costituite da ampie iperboli, prossime alla superficie, legate presumibilmente ad elementi di origine strutturale come mostrato nelle che seguono. Nei profili trasversali P8C, P9C, P10C e P11C è presente, all'incirca allineata, una riflessione iperbolica posta a media profondità, legata o ad un elemento di natura strutturale o ad una grossa tubazione o condotta. Inoltre in tutti i profili da P8C a P11C, compare anche un'eco apparentemente riferibile ad una o più superfici inclinate presumibilmente riconducibili a variazioni nella natura del sottosuolo.

Tracciato georadar zona P2C e P4C.





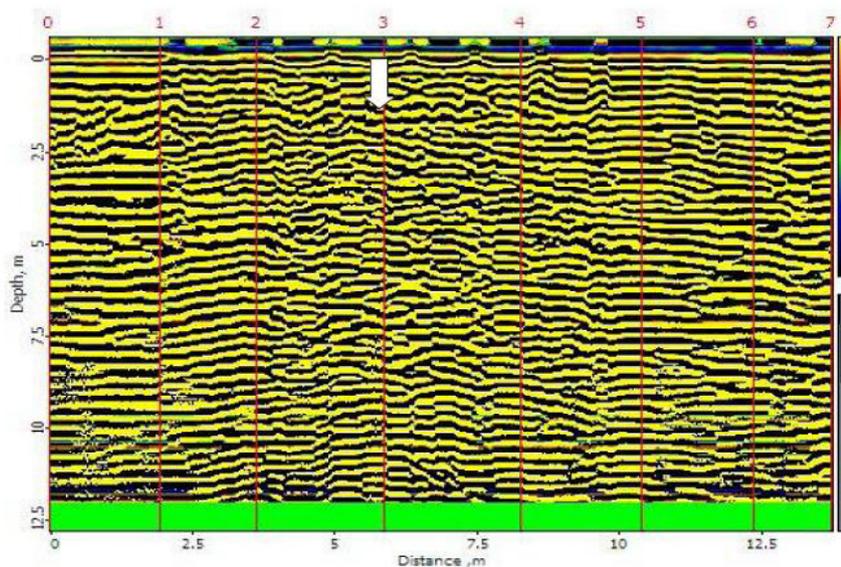
Tracciato georadar zona P8C.

Zona D

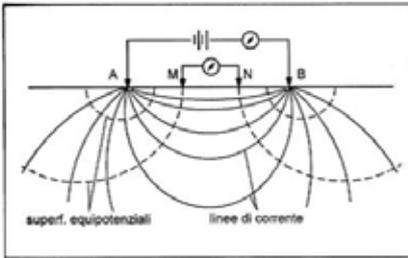
È costituita dal pianerottolo dell'ingresso alla scala del personale. Visto lo spazio esiguo, limitato anche dalla presenza di una statua, l'indagine è stata realizzata con due profili incrociati, che però non hanno fornito indicazioni utili, e sono inoltre stati parzialmente influenzati dalla presenza del vano ascensore.

Zona E

È costituita dal breve corridoio di accesso alla biblioteca del palazzo, interessato, per tutta la parete sinistra, da uno scaffale metallico, che ha provocato un discreto disturbo. Nel corridoio è stato realizzato un solo profilo longitudinale P1E, che ha rilevato unicamente tra le progressive 4,0 - 5,0 m, la presenza di un'area con discreto disturbo di difficile interpretazione, ma non ha evidenziato anomalie significative come mostrato nella figura seguente.



Tracciato georadar zona P1E.



Disposizione spaziale dei punti di misura in configurazione bidimensionale.

INDAGINE ELETTRICA TOMOGRAFICA

Metodologia

L'indagine elettrica tomografica è un tipo di indagine non invasiva che sfrutta le proprietà dielettriche dei materiali per individuare zone a densità diversa, al di sotto del piano di campagna, di superfici comunque estese [4]. Tale indagine è stata condotta allo scopo di evitare l'esecuzione di indagini dirette (scavi, pozzetti esplorativi, sondaggi, ecc.) in assenza di un effettivo "target". È quindi ora possibile, in base ai risultati ottenuti, ridurre l'eventuale numero di indagini dirette volte alla ricerca di eventuali ambienti sconosciuti situati nel piano interrato. La tomografia elettrica (ERT) 2D in virtù dei fenomeni fisici che ad essa sottostanno, ha permesso di misurare la resistività elettrica dei terreni e ricostruire un modello elettro-stratigrafico del terreno, utile per monitorare e descrivere eventuali eterogeneità evidenti (anomalie elettro-stratigrafiche) rispetto alla stratigrafia caratteristica della zona di studio. La resistività elettrica è infatti un parametro indipendente dalle caratteristiche geometriche della formazione litologica cui si riferisce ed è definito come la resistenza elettrica per unità di volume.

Mediante l'utilizzo di appropriate strumentazioni, si immette corrente elettrica nel terreno e si esegue una successione di misure in superficie attraverso una serie di elettrodi (o piattine) opportunamente posizionati e infissi negli strati superficiali di terreno. L'apparecchiatura per la misura della resistività è mostrata indicativamente in figura e comprende:

un sistema per l'immissione di corrente nel terreno;

una serie di elettrodi (minimo quattro: A e B elettrodi di corrente, M e N elettrodi di potenziale);

georesistivimetro per la misura dell'intensità di corrente immessa nel terreno mediante gli elettrodi A e B e della differenza di potenziale tra i due elettrodi M e N.

La tomografia elettrica 2D viene di solito condotta facendo ricorso ad un alto numero di elettrodi, 24 o più, connessi al sistema di acquisizione per mezzo di appositi cavi multi-core [5]. In tal senso si utilizza un'unità elettronica di acquisizione alla quale sono connessi dei cavi multi-core al fine di selezionare, di volta in volta, gli elettrodi da utilizzare per ogni misurazione e di registrarne i dati di resistività acquisiti.

Le sezioni geoelettriche 2D sono realizzate misurando i valori del campo elettrico in corrispondenza di un allineamento di elettrodi di misura equispaziati. Le sezioni geoelettriche forniscono, quindi, un profilo verticale del terreno, mediante una molteplicità di valori di resistività apparente, riportabili su una maglia regolare di punti di misura. La resistività apparente è definita come rapporto fra differenza di potenziale al dipolo di misura e corrente immessa al dipolo di corrente, rapporto che viene moltiplicato per un opportuno fattore geometrico in funzione dalla posizione reciproca degli elettrodi. L'acquisizione, la gestione e la memorizzazione dei dati viene condotta automaticamente da un georesistivimetro. La disposizione spaziale dei punti di misura dipende dalle geometrie di acquisizione come riportato schematicamente nella figura a sinistra.

Ciascuno dei punti riportati in figura individua una specifica coppia di misure di resistività del sottosuolo. I dati di resistività apparente sono quindi elaborati in modo da ricostruire i valori reali di resistività attraverso una inversione numerica 2D.



Esempio di disposizione spaziale 2D delle acquisizioni nel sottosuolo.

Proprietà elettriche del suolo ed interpretazione dei valori di resistività

La resistività del mezzo investigato è controllata principalmente dai seguenti fattori:

grado di saturazione dei pori,
 porosità,
 salinità del fluido, se presente nei pori,
 temperatura,
 eventuale presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, ecc.),
 presenza di argilla,
 presenza di minerali particolari (ad esempio le miche),
 grado di compattazione.

La relazione empirica valida per suoli aventi scarsa componente argillosa (sabbie, ghiaie, ecc), è data da:

$$\rho_s = \rho_f a \Phi^{-nS-m}$$

dove:

ρ_s : resistività (ohm*m) del suolo parzialmente saturo di fluido,
 ρ_f : resistività (ohm*m) del fluido presente nei pori,
 S: frazione del volume di pori occupata dal fluido,
 m: coefficiente di saturazione (solitamente assunto essere pari a 2),
 a: costante empirica, detta di Winsaur (tipico per sabbia : 0.62)
 n: coefficiente empirico, detto di "tortuosità" (tipico per sabbia: 2.15),
 Φ : porosità del suolo .

Nella tabella alla pagina seguente si riporta una stima di intervalli di resistività che permettono di associare un possibile litotipo ai valori ricostruiti nelle tomografie eseguite [6-7]. Gli intervalli indicati forniscono una stima influenzata dall'associazione a diversa percentuale di litotipi o sedimenti a diversa granulometria. È inoltre da tenere in considerazione il principio di equivalenza secondo il quale, ad esempio, uno strato conduttore avente spessore di 500m ed una resistività di 1 Ohm*m è equivalente ad un altro con spessore di 1000m e resistività di 2 Ohm*m.

Strumentazione utilizzata

La strumentazione adottata si compone di un georesistivometro MAE A6000E (prodotto dalla Molisana Apparecchiature Elettroniche, Italia). La potenza di 60 Watt del generatore interno può essere incrementata fino a 600 Watt con l'utilizzo di un generatore esterno opzionale. La registrazione e il salvataggio dei dati avviene sull'hard disk interno e/o su memoria USB. L'unità è totalmente computerizzata e tutte le funzioni sono scelte da menu attraverso il touch screen integrato nel monitor. Il display LCD da 10,4" Tft a colori permette la rappresentazione sia numerica che grafica dei dati acquisiti.

Tabella con valori tipici di resistività di alcune rocce e sedimenti.

| Roccia / Sedimento | Resistività (Ohm*m) | Roccia / Sedimento | Resistività (Ohm*m) |
|--|---------------------|--------------------------|---------------------|
| Acqua di mare | 0.18 ÷ 0.24 | Calcari, Dolomie | 70 ÷ 10000 |
| Acqua di falda | 10 ÷ 30 | CalcariMarnosi | 50 ÷ 300 |
| Acqua di fiume | 20 ÷ 60 | Arenarie | 30 ÷ 2000 |
| Acqua di sorgente | 50 ÷ 100 | ArenarieQuarzose | 300 ÷ 10000 |
| Torba e argilla | 8 - 20 | Cineriti e TufiVulcanici | 10 ÷ 100 |
| Suolo di Copernura | 150 ÷ 900 | Lave | 300 ÷ 15000 |
| Sabbie e Ghiaieasciutte | 1000 ÷ 6000 | Gneiss e Granitilaterati | 100 ÷ 1000 |
| Sabbie di acqua dolce e ghiaie imbibite | 50 ÷ 500 | Gneiss e Granitiintegri | 1000 ÷ 10000 |
| Sabbie e Ghiaie imbibite di acqua salata | 0.5 ÷ 5 | Marne | 20 ÷ 60 |
| Argilla | 1 ÷ 100 | Gessi | 4000 ÷ 12000 |

Aree oggetto di indagine

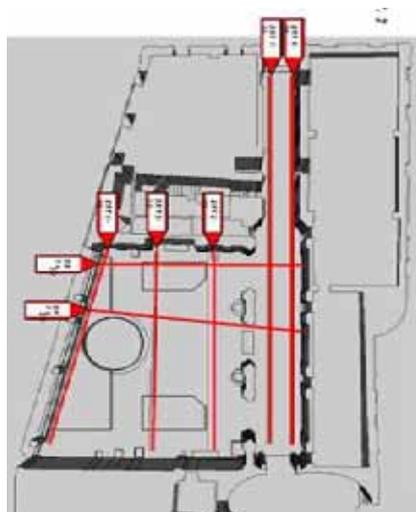
Due sono state le fasi di conduzione delle indagini:

consultazione di materiale bibliografico e cartografico disponibile per l'area in esame;

esecuzione di n.7 indagini elettriche tomografiche (ERT) 2D disposte in modo da ottenere un modello tridimensionale dell'area.

Nella figura a sinistra sono riportate le ubicazioni delle indagini geofisiche eseguite. L'indagine geofisica condotta è stata programmata cercando un compromesso tra la necessità di investigazione delle zone di interesse, la profondità massima da esplorare e la risoluzione spaziale del metodo. Il rilievo è stato condotto mediante l'esecuzione di n.7 profili tomografici elettrici lineari 2D, con geometrie di acquisizione e spaziatura elettroica tale da consentire una profondità d'indagine compresa tra i 3 e i 6,20 m dall'attuale piano campagna.

Le attività di acquisizione dati sono consistite nella misura dei valori di potenziale e di corrente, necessari per il calcolo della resistività elettrica del sottosuolo. Queste misure sono state successivamente elaborate ed interpretate per ottenere una mappatura della resistività sotto forma di immagini tomografiche bidimensionali e tridimensionali.



Ubicazione indagini geofisiche eseguite.

Descrizione dei risultati

I risultati sono stati ottenuti attraverso inversione completa 2D e/o dei dati acquisiti in campo e la visualizzazione grafica delle misure di campagna è stata effettuata con l'ausilio di software capaci di ricostruire la distribuzione di resistività reale in due dimensioni:

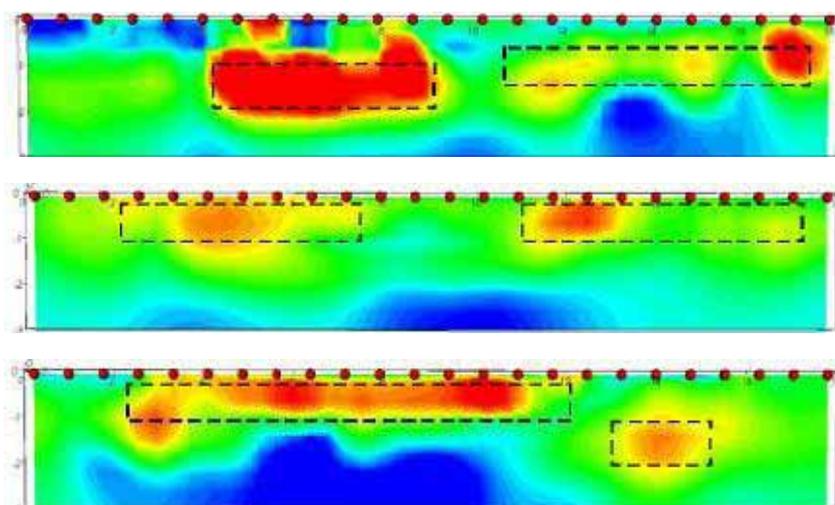
il programma RES2DINV/RES3DINV (prodotto dalla Geotomo Software Sdn. Bhd.) basato sul metodo di minimi quadrati con vincolo armonico [8], [9];

il programma ERTLab™ (prodotto dalla Multi-Phase Technologies LLC e dalla Geostusi Aster Srl) che utilizza il metodo degli elementi finiti [10].

La visualizzazione grafica è stata ottenuta mediante il programma ERTLabViewer™ e/o RES2DINV/RES3DINV.

Nelle figure che seguono sono riportate le modellizzazioni e le visualizzazioni 2D 3D delle aree oggetto di studio. Per una loro lettura quantitativa si faccia riferimento alla colormap nella immagine a destra che associa le gradazioni di colore alle variazioni di resistività all'interno della zona investigata.

Profili elettrici tomografici relativi alle prime tre progressive ERT.

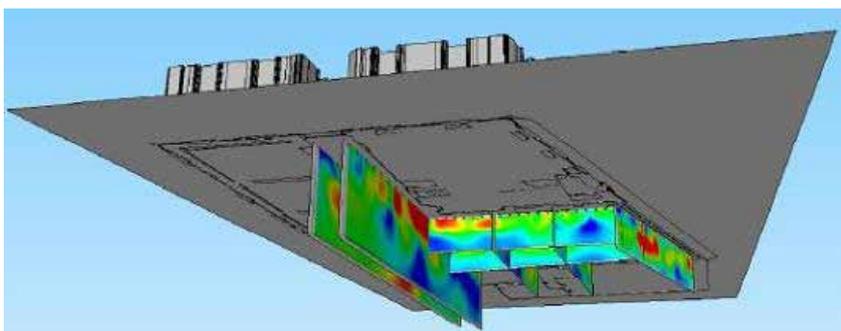


Colormap con scala quantitativa dei valori di resistività.

*A sinistra
Andamento delle resistività sotto le stese
ERT1, ERT2 e ERT3.*

*In basso
Pseudo modello 3D.*

Nella figura sottostante è riportato l'assemblaggio delle sette ERT bidimensionali a costituire un pseudo modello 3D.

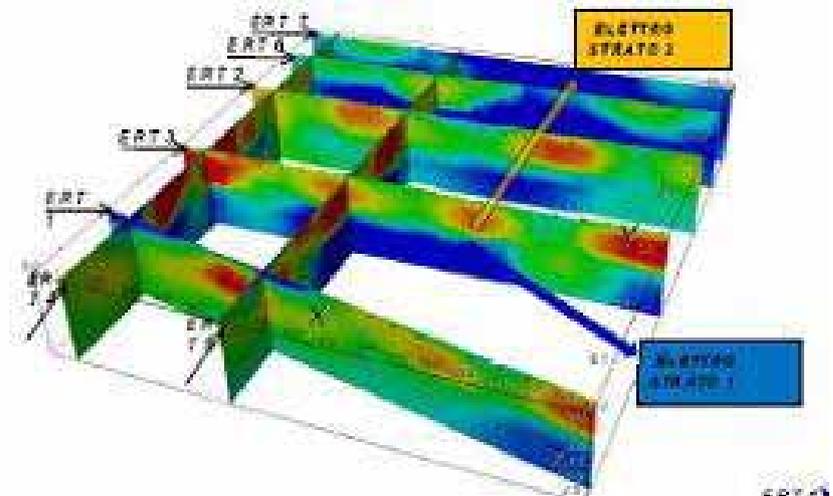


L'elaborazione permette di distinguere i seguenti elettro-strati:

Elettro-strato 1 da 20 ohm*m a 150 ohm*m circa: fascia a bassa resistività attribuibile ad una litologia di base costituita da depositi alluvionali quaternari.

Elettro-strato 2 da 150 ohm*m a 1000 ohm*m circa: fascia a medio/alta resistività il cui range di valori è riconducibile a materiali compatti di tipo antropico.

Tali elettrostrati sono meglio evidenti nella successiva immagine assonometrica.



BIBLIOGRAFIA

- [1] Sforza G., *Relazione tecnica Essebi s.r.l.* (2012).
- [2] Brunetti G., *Lezioni di Tecniche di Indagine non Distruttive e Monitoraggio* (2007).
- [3] Alsup S.A., Simmons G., "Ground penetrating radar", Salem, NH, Auburn Press, pp. 61 (1984).
- [4] MC Neill, "Use of Electromagnetic Methods for Groundwater Studies" 1, Review and Tutorial, Geotechnical and Environmental Geophysics. Ed. By Stanley H Ward, society of exploration Geophysicists, Tulsa, Oklahoma, 147-190 (1994).
- [5] Griffiths e Barker, "Two dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology" J. Appl. Geophys., 29: 211-226. (1993).
- [6] Hamill A., Bell F.G., *Acque Sotterranee*, Dario Flaccovio Editore (1992).
- [7] Norinelli A., *Elementi di Geofisica Applicata*, Patron Editore (1996).
- [8] De Groot-Hedlin C. & Constable S. "Occam's inversion to generate smooth, two dimensional models from magnetotelluric data". Geophysics, 55:1613-1624 (1990).
- [9] Sasakki S. "Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulations" Geophysical Prospecting Volume 40, Issue 4, pages 453-463, (1992).
- [10] Morelli, G., LaBrecque, D. J., "Advances in ERT inverse modelling", European Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 1, 171-186(1996).

Conclusioni

L'indagine endoscopica ha permesso di rilevare una sostanziale uniformità nella tipologia costruttiva delle strutture indagate e del terreno a loro contatto. Solo nel caso dell'indagine n. 1 è emersa una evidente difformità, in termini di spessore limitato della muratura e caratteristiche del terreno, che per composizione e compattezza è riconducibile ad un tipico intervento di riempimento di volumi inutilizzati. L'indagine geofisica condotta tramite prospezioni georadar, ha consentito la rilevazione di una serie di target, prevalentemente estesi linearmente, riconducibili alla probabile presenza di strutture interrato di origine antropica. Anche se la presenza di target con queste caratteristiche è stata accertata in tutta l'area indagata, si osserva una significativa concentrazione nella zona circostante la fontana, nel cortile interno. Per quanto riguarda le indagini tomografiche elettriche (ERT), dall'analisi dei dati si denotano delle anomalie alto-resistive, più o meno marcate, in superficie (intorno al primo metro di profondità) associabili ad allineamenti antropici. Tuttavia è da rimarcare il fatto che la mancanza di scavi, trincee, sondaggi, ecc, direttamente lungo i profili eseguiti, necessari per una "taratura" del modello fisico, non permette di stabilire con certezza una associazione diretta tra le anomalie di resistività elettrica e la natura dei materiali che le hanno generate.