

Comune di Barletta (BT)

Arcidiocesi di Trani - Barletta - Bisceglie

Progetto di restauro e consolidamento del
Convento di Sant'Antonio in Barletta (BT)
per destinazione a Museo Diocesano - Sede di Barletta

 <p>Il Progettista strutturale Ing. Michele Vitti</p>	 <p>GERARDO MILILLO Architetto</p> <p>Progetto architettonico e dir. lav. Arch. Gerardo Milillo</p> <p>Collaborazione Graziana Colacicco</p>	 <p>IL TECNICO A SUPPORTO DEL R.U.P. Arch. Fiori Giovanni ARCHITETTO</p> <p>RUP Arch. Giovanni Fiori</p>
---	--	---

Progetto Strutturale -
Indagini di diagnostica
Strutturale

Tavola N.

RS
10

Dicembre 2014



Indice

1	OGGETTO DELLE INDAGINI.....	3
2	PERSONALE E STRUMENTI UTILIZZATI.....	5
3	METODI DI INDAGINE	6
3.1	GEORADAR.....	6
3.1.1	Finalità del metodo.....	6
3.1.2	Principi teorici e funzionamento	6
3.1.3	Riferimenti normativi.....	11
3.1.4	Prescrizioni operative.....	11
3.2	INDAGINE TERMOGRAFICA	14
3.2.1	Finalità del metodo.....	14
3.2.2	Principi teorici e funzionamento	14
3.2.3	Riferimenti normativi.....	17
3.2.4	Prescrizioni operative.....	17
3.3	ESECUZIONE SAGGIO VISIVO.....	19
3.3.1	Finalità del metodo.....	19
3.3.2	Principi teorici	19
3.3.3	Riferimenti normativi.....	19
3.3.4	Prescrizioni operative.....	19
3.3.5	Documentazione fotografica.....	21
3.4	ANALISI MINERALOGICO-PETROGRAFICA SU CAMPIONI DI MALTA PRELAVATI IN SITO	22
3.4.1	Finalità del metodo.....	22
3.4.2	Principi teorici	22
3.4.3	Riferimenti normativi.....	23
3.4.4	Prescrizioni operative.....	23
3.5	PROVE CON MARTINETTO SINGOLO.....	24
3.5.1	Finalità del metodo.....	24
3.5.2	Principi teorici e funzionamento	24
3.5.3	Riferimenti normativi.....	25

3.5.4	Prescrizioni operative.....	25
3.5.5	Documentazione fotografica.....	26
3.6	PROVA CON MARTINETTO DOPPIO.....	27
3.6.1	Finalità del metodo.....	27
3.6.2	Principi teorici e funzionamento	27
3.6.3	Riferimenti normativi.....	27
3.6.4	Prescrizioni operative.....	28
3.6.5	Documentazione fotografica.....	29
3.7	ESTRAZIONE DI CAROTA MATERIALE LAPIDEO E PROVA DI COMPRESSIONE	
	30	
3.7.1	Finalità del metodo.....	30
3.7.2	Riferimenti normativi.....	30
3.7.3	Prescrizioni operative.....	30
3.7.4	Documentazione fotografica.....	31
4	RISULTATI OTTENUTI.....	32

1 OGGETTO DELLE INDAGINI

Come da incarico conferitoci il 27 ottobre 2014, mediante sottoscrizione della ns. offerta n. 128/14, abbiamo effettuato delle indagini diagnostiche, presso il complesso conventuale di Sant'Antonio di Barletta, per conto dell'Arch. Gerardo Milillo e con il suo stesso confronto tecnico.

Le indagini hanno avuto l'obiettivo di indagare sullo stato di conservazione delle strutture portanti dell'edificio finalizzate al raggiungimento della conoscenza strutturale dell'edificio.

È stato così realizzato un piano di indagini caratterizzato dalle seguenti attività:

- Prelievo di 2 carote di tufo da altrettanti elementi strutturali, per la verifica della carbonatazione, mediante utilizzo di una soluzione di acido fenolftaleinico, e successiva prova a compressione in laboratorio autorizzato, per la verifica della resistenza a compressione del materiale in opera. Tale indagine è stata eseguita prendendo in esame un setto ed una trave piatta;
- Esecuzione di saggio visivo diretto, finalizzato alla individuazione degli ammorsamenti della muratura;
- Prospezioni georadar, finalizzate all'analisi della stratigrafia muraria e l'eventuale presenza di cavità o vuoti all'interno di essa.
- Indagine termografica, avente come obiettivo l'individuazione di tamponamenti, distacchi lesioni strutturali e analisi dei quadri umidi e degli effetti prodotti da fenomeni di risalita capillare.
- Prelievo di malta, finalizzato alla determinazione della composizione mineralogica qualitativa e sua classificazione petrografica;
- Esecuzione della prova a martinetto piatto doppio, finalizzato a comprendere gli sforzi locali e il comportamento tenso-deformativo della muratura.

Le indagini, come da calendario concordato, sono state effettuate nei giorni 13 e 17 novembre 2014, ed in particolare il 17 sono state effettuate le indagini termografiche, il

prelievo di malte, il prelievo di carota e i saggi visivi sulla muratura. Il giorno 17 sono state completate le indagini con la prova con il martinetto piatto e l'indagine georadar.

Alla presente relazione sono allegate:

- Schede illustrative dei risultati ottenuti
- Tavole di ubicazione delle indagini

Nel seguito vengono descritti i metodi d'indagine, le loro specifiche finalità, i riferimenti normativi di ogni metodo, le tecniche operative e viene descritta la fase di processing dei dati.

La società si assume la responsabilità per la precisione delle acquisizioni effettuate, mentre la valutazione dei risultati rappresenta un sussidio al committente al quale viene lasciata ogni ulteriore considerazione.

Il responsabile tecnico
operatore
qual. 3° livello RINA
p.ind. Umberto Calò

Il direttore tecnico
qual. 3° livello RINA
ing. Michele Vitti

2 PERSONALE E STRUMENTI UTILIZZATI

Per la realizzazione della campagna di indagini è stata utilizzata la seguente strumentazione:

MARCA E MODELLO	METODI DI INDAGINE
HUSQVARNA K960 RING	Martinetti piatti
Mytutoio Absolute ID-C	Martinetti piatti
Pompa idraulica manuale 1-100 bar	Martinetti piatti
IDS HiMod	GeoRadar
Termocamera FLIR B4	Termografia
Microscopio polarizzatore Zeiss Axioskop 40	Analisi della malta
DiamondCoreDrillDM250H	Carotaggi
METIOR VSB	Leeb

L'organico, per l'espletamento della attività connesse è stato così composto:

operatore	ruolo in azienda	ruolo nella commessa
ing. Michele Vitti	direttore tecnico	Supervisione delle attività, validazione delle procedure, controllo dei dati in output.
p. Ind. Umberto Calò	tecnico sperimentatore	Pianificazione e gestione della campagna di indagini, esecuzione delle prove strumentali.
Vincenzo Mastandrea	preposto	Preparazione delle sedi di indagine, esecuzione dei carotaggi.
ing. Marija Djurovic	segreteria tecnica	Programmazione e controllo delle attività.
Dott. Domenico Tricarico	tecnico operatore	Esecuzione delle indagini diagnostiche
Dott. Marco Infante	tecnico operatore	Esecuzione delle indagini diagnostiche

3 METODI DI INDAGINE

3.1 GEORADAR

3.1.1 Finalità del metodo

Il principale obiettivo dell'indagine georadar è stato il controllo delle murature da un punto di vista strutturale e cioè:

1. Controllo della tipologia del paramento murario;
2. Individuazione di vuoti o cavità all'interno della struttura;
3. Individuazione di fratture o cedimenti che possono compromettere la struttura.

3.1.2 Principi teorici e funzionamento

Il GPR (Ground Penetrating Radar) è un metodo geofisico che utilizza impulsi radar per l'immagine del sottosuolo. Questo metodo non distruttivo utilizza segnali elettromagnetici in banda microonde (frequenze UHF / VHF) dello spettro radio, e rileva i segnali riflessi dalle strutture del sottosuolo.

Le onde radar, emesse da un'antenna trasmittente sotto forma di impulsi a intervalli di tempo distinti, si propagano nel sottosuolo, sono riflesse da oggetti sepolti o da interfacce che hanno proprietà elettriche e magnetiche differenti e sono in seguito rilevate in superficie da un'antenna ricevente.

Nel metodo GPR le antenne radar sono spostate sulla superficie del terreno, in tal modo si ottengono profili bidimensionali che contengono un gran numero di riflessioni. Gli andamenti di tali riflessioni evidenziano la stratigrafia del sottosuolo o la presenza di oggetti sepolti (Figura 1).

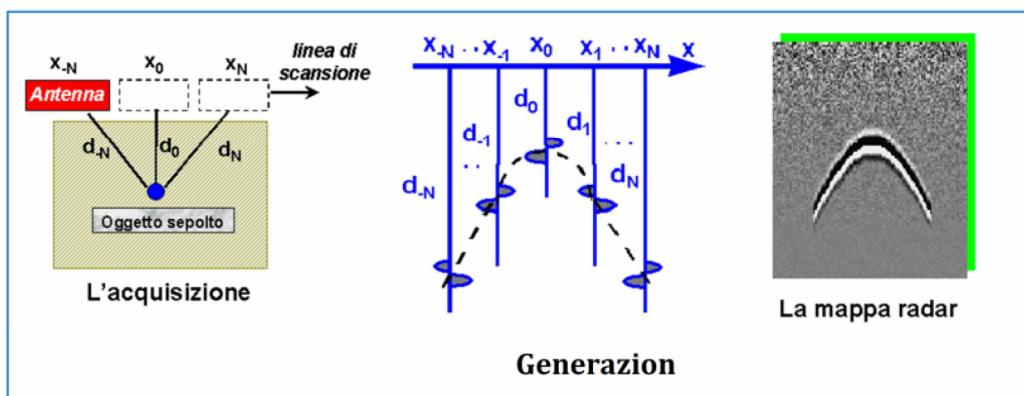


Figura 1- Schema di acquisizione di una prospezione georadar (GPR).

L'obiettivo principale di molti rilievi GPR è quello di differenziare le interfacce nel sottosuolo. Tutte le rocce hanno particolari proprietà elettro-magnetiche che influenzano la velocità di

propagazione dell'energia elettromagnetica e la sua dissipazione nel terreno. Più grande è il contrasto di queste proprietà tra due materiali sepolti, più forte è il segnale riflesso. Generalmente possono verificarsi delle forti riflessioni all'interfaccia tra due strati molto spessi con proprietà elettriche molto differenti, che precludono la possibilità di eseguire calcoli accurati di riflettività. Un impulso di energia radar è immesso nel terreno da un'antenna trasmittente che è disposta sopra, o vicino la superficie del terreno.

Le antenne possono essere una o due, a seconda che si operi in modo monostatico o bistatico: quando si utilizza un'unica antenna sia come trasmittente sia come ricevente si parla di acquisizione in monostatico (Figura 2); quando si utilizzano due antenne, una come trasmittente l'altra come ricevente, si parla di acquisizione in bistatico (Figura 3).

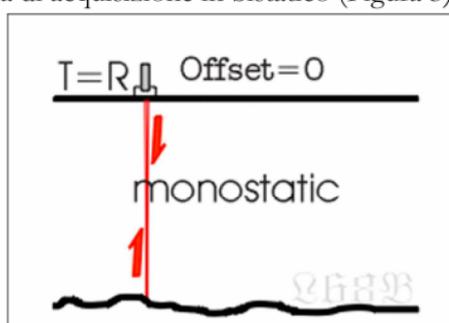


Figura 2-Acquisizione in monostatico

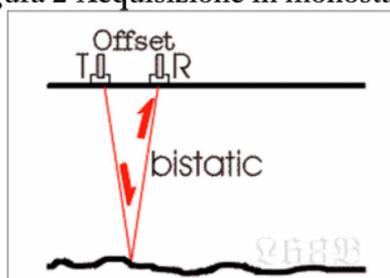


Figura 3-Acquisizione in bistatico

Nella prima configurazione (Figura 2) un'unica antenna agisce alternativamente da trasmettitore dell'impulso e da ricevitore degli echi. Nel secondo caso (Figura 3), si hanno a disposizione due antenne distinte e ciò consente di operare in varie configurazioni e di ottenere maggiori informazioni sulla struttura del sottosuolo. In questo caso esiste una distanza tra le antenne chiamata *offset*, e il punto illuminato è il punto medio tra le antenne (in realtà tale circostanza si verifica solo se la superficie del target è parallela alla superficie di acquisizione). Nel bistatico esiste un angolo di incidenza, quindi variando l'*offset* possiamo illuminare i targets da diverse angolazioni. Il problema principale del bistatico è l'interazione tra le antenne, l'ingombro e la non praticità. Inoltre, con questa strumentazione l'intensità della riflessione proveniente da un oggetto lineare sarà massima nel caso in cui il suo asse sia parallelo alla direzione di polarizzazione dell'antenna. Semplificando, si può ammettere che questa configurazione permetta di "vedere" oggetti giacenti a più di 45 gradi dalla direzione di rilievo (Figura 4).

Le onde radar sono riflesse dall'antenna, e convertite in segnali elettrici che si manifestano come piccole variazioni di tensione.

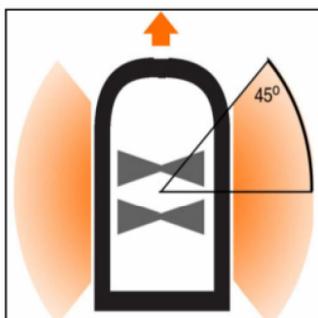


Figura 4- Rappresentazione schematica della configurazione dell'antenna schermata utilizzata con il "campo visivo" evidenziato dall'ombreggiatura colorata.

Questi segnali sono trasmessi all'unità di controllo, amplificati e registrati.

Infatti, quando porzioni del segnale originale trasmesso sono riflesse verso la superficie, esse subiscono un'attenuazione addizionale, prodotta dal materiale che attraversano che dipende da diversi fattori tra cui l'assorbimento e la divergenza sferica. L'assorbimento è funzione del materiale attraversato e in particolare della sua conducibilità. In terreni sabbiosi secchi si ha la massima penetrazione mentre in terreni fini argillosi o limosi la penetrazione è fortemente ostacolata poiché il segnale subisce un forte assorbimento. Anche l'acqua rappresenta un ostacolo che spesso impedisce di condurre analisi in profondità e per contro, rappresenta un elemento individuabile nell'indagine proprio perché genera un forte assorbimento delle onde emesse.

La quantità di energia che è riflessa dipende dal coefficiente di riflessione e dalle impedenze dei mezzi attraversati. L'impedenza è una funzione della costante dielettrica, della conducibilità e della permeabilità magnetica. Tuttavia il georadar non riesce a penetrare nel materiale oltre una certa profondità (Figura 5). Man mano che l'energia radar si propaga a profondità crescenti il segnale diventa più debole ed è disperso, quindi l'energia utilizzabile per la riflessione diventa sempre minore e le onde registrate hanno di conseguenza un'ampiezza minore.

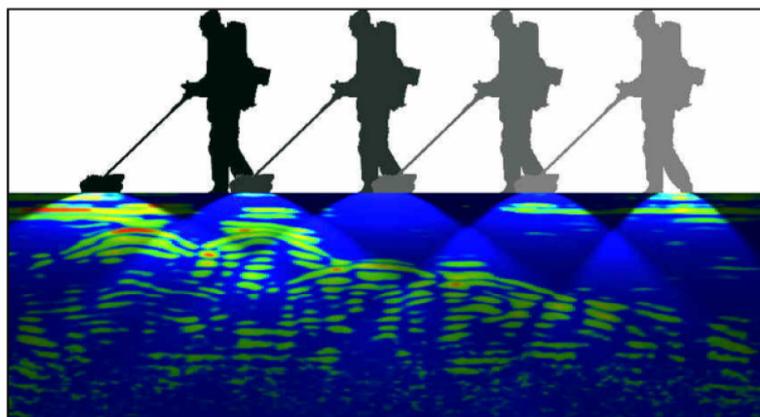


Figura 5- Rappresentazione idealizzata della movimentazione dello strumento e sua rilevazione.

Nella tabella 1 sono riportati, per diversi materiali, i valori dell'attenuazione e alcuni parametri. Il sistema georadar funziona con diversi tipi di frequenza di antenna, dalle frequenze minori di 40-100 MHz alle maggiori di 1.500 MHz, sino a 2.000 MHz.

Ad antenne di alta frequenza si associa un maggior assorbimento del segnale, una minore penetrazione nel materiale ma un maggior dettaglio. Ad antenne con frequenza più bassa si associano una maggiore penetrazione e un minor dettaglio.

Per la ricerca dei sottoservizi in genere si utilizzano frequenze da 200 a 900 MHz, ma si privilegiano le frequenze di 400-500 MHz che consentono una buona penetrazione, sino anche a 3 mt (condizioni del mezzo permettendo) e un discreto dettaglio. Per le analisi su strutture e quindi in genere nel campo delle indagini del cemento armato, si privilegiano le antenne Georadar ad alta frequenza, da 900 sino a 1.500 MHz.

Materiale	Attenuazione (in dB/m)		Costante dielettrica	
	Secco	Bagnato	Secco	Bagnato
Asfalto	2-15	2-20	2-4	6-12
Argilla	10-20	20-100	2-10	4-40
Granito	0,5-3	2-5	5	7
Calcere	0,5-10	10-25	7	8
Sabbia	0,01-1	0,03-0,3	4-6	10-30
Cemento/mattoni	2-12	10-25	4-10	10-20
Terreno sabbioso	0,1-2	1-5	4-6	15-30
Terreno argilloso	0,3-3	5-30	4-6	10-15

Tabella 1- Valori di costante dielettrica relativa e attenuazione mostrati dai materiali più comuni..

Le principali proprietà elettriche dei suoli che influenzano il rilievo sono la costante dielettrica del mezzo (ϵ) e la conduttività (γ). La costante dielettrica si esprime in Farad su metro [F/m], la conduttività invece, in Siemens su metro [S/m]. Le formule fisiche che descrivono queste due proprietà sono riportate di seguito:

$$\epsilon = \epsilon_0 * \epsilon_r$$

Dove:

- ϵ_0 = cost. dielettrica nel vuoto (8.85×10^{-12} F/m);
- ϵ_r = cost. dielettrica relativa (numero puro, dimensionale, sempre maggiore di 1).

$$\epsilon_r = (C/V)^2$$

Dove:

- C = velocità della luce nel vuoto ($3 * 10^8$ m/s);
- V = velocità dell'onda elettromagnetica nel materiale considerato.

$$\gamma = L / RA$$

Dove:

- L = lunghezza del campione (m);
- R = resistenza elettrica del campione (ohm);
- A = area della sezione del campione (m²).

Maggiore è la costante dielettrica di un mezzo o minore è la sua conduttività, tanto più tale mezzo avrà caratteristiche isolanti. La conduttività di un suolo limita la possibilità di penetrazione dell'impulso, ossia un mezzo con un'elevata conduttività (per esempio, con un'elevata percentuale di argilla) assorbirà l'energia emessa dall'antenna in maniera molto più rapida di un suolo scarsamente conduttivo.

La riflessione del segnale avviene quando vi è una variazione della costante dielettrica del mezzo che è direttamente proporzionale alla percentuale di impulso riflesso. Questo comportamento è quello che permette di identificare la posizione delle discontinuità che si vogliono investigare.

Ciò che viene acquisito durante un rilievo GPR è una serie di curve in uno spazio bidimensionale i cui assi hanno come unità di misura [distanze] vs [tempi doppi]; sull'asse delle ascisse è scandita in maniera regolare la posizione in cui l'impulso è trasmesso, mentre sull'asse delle ordinate, tempi doppi, è riportato il tempo passato tra l'emissione e la ricezione dell'impulso; la curva in ogni suo punto rappresenta l'intensità dell'impulso ricevuto.

L'asse dei tempi doppi viene così chiamata poiché i tempi che vengono misurati su di essa corrispondono al tempo che l'impulso ha impiegato per raggiungere la discontinuità e tornare indietro fino all'antenna: bisogna sempre considerare nelle successive elaborazioni che il tempo impiegato dall'impulso per raggiungere un punto nel substrato è la metà di quello riportato dal

grafico che si analizza. La velocità dell'impulso radar varia a seconda del substrato attraversato, ed in generale si aggira tra i 10 e gli 80 cm/nsec.

Noto il tempo di riflessione verticale dell'eco (ad antenna ferma) e, i tempi di tragitto osservati corrispondentemente a varie distanze delle antenne, si può determinare l'effettiva velocità di propagazione del mezzo (v) come:

$$v = \frac{x}{\sqrt{t_x^2 - t_v^2}}$$

Dove x è la distanza orizzontale tra le antenne, t_x è il tempo di arrivo di una riflessione per una distanza x tra le antenne e t_v è il tempo di propagazione verticale dell'eco riflesso (andata e ritorno).

Conoscendo quindi tale velocità si riesce a trasformare i tempi doppi sopra descritti in misure di profondità.

La strumentazione utilizzata per il rilievo radar (Figura 6) consiste nei sistemi di seguito elencati. "Ids Hi Mod", dotato di Antenna 2000 MHz (TR-HF)

I componenti principali che costituiscono un radar sono:

- un'unità di controllo con registratore incorporato,
- un trasduttore composto da un'antenna trasmittente e da un'antenna ricevente,
- una batteria o un gruppo elettrogeno per l'alimentazione,
- un cavo di collegamento tra il trasduttore e l'unità di controllo.



Figura 6-Strumentazione impiegata per la prospezione georadar.

3.1.3 Riferimenti normativi

Il metodo di indagine GPR fa riferimento alla normativa tecnica cei 306-8/2004.

3.1.4 Prescrizioni operative

Una volta acquisiti i dati è stato necessario eseguire le opportune trasformazioni e correzioni in modo tale che fosse possibile "leggere" le discontinuità presenti nel substrato indagato.

I dati GPR acquisiti e registrati nel formato *.msi, sono stati visualizzati ed elaborati con l'ausilio del software **Launch GRED**, per ridurre sia quello che molti chiamano "rumore" o "interferenze" (riflessioni estranee) sia errori sistematici tipici di investigazioni di questo tipo.

I profili radar sono elaborati attraverso una sequenza di operazioni che riguardano: la visualizzazione dei singoli radargrammi, filtraggio dei dati ed equalizzazione del gain, osservazione e interpretazione delle anomalie rilevate.

Inoltre, ogni profilo GPR esprime l'intensità degli impulsi riflessi dal substrato in funzione del tempo di arrivo e della posizione sulla superficie, ed essendo il risultato della giustapposizione di molteplici cicli di trasmissione e ricezione degli impulsi radar, le diverse tonalità di colore (o di grigio), sono funzione dell'intensità della radiazione riflessa (Figura 7).

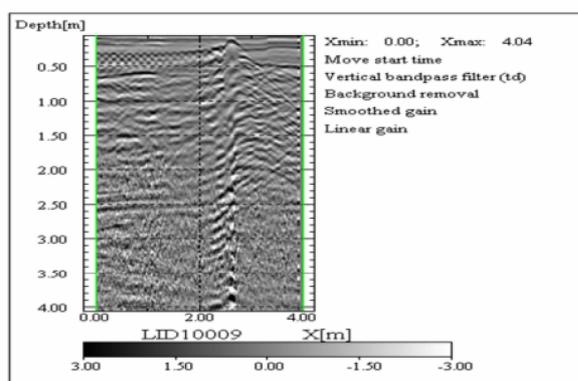


Figura 7- Profilo GPR

In seguito ci si occupa di enfatizzare i segnali acquisiti secondo le seguenti operazioni:

- Rimozione dell'offset;
- Filtri che rimuovono il background;
- Applicazione dei filtri passa alto e passa basso;
- Migrazione;
- Gain restoration.

Il primo problema da risolvere è la valutazione dello sfasamento in termini di tempo della riflessione dovuta all'accoppiamento dell'antenna con il terreno. Questo ritardo, denominato *offset*, viene corretto in tutti i profili, in modo da far corrispondere la posizione della prima riflessione con la superficie topografica (profondità 0,0 m)

L'applicazione di filtri verticali, è utilizzata per rimuovere le anomalie ad alta e a bassa frequenza durante la registrazione dei dati. Questi filtri sono di due tipi: il filtro passa alto, rimuove la bassa frequenza dai dati generata dal rumore del sistema inerente a ogni particolare sistema radar, mentre il filtro passa basso, rumore ad alta frequenza (bassa lunghezza d'onda) è visibile sotto forma di "tremolio" o "effetto snow", ed è applicato facendo attenzione a non rimuovere quelle che sono le riflessioni reali.

Inoltre, dall'analisi dei profili GPR registrati, vanno individuate le iperboli di riflessione, che avvengono in seguito alla movimentazione dell'antenna nel terreno quando capta i segnali riflessi da più punti. Questi tipi di segnali sono sottoposti a migrazione. La migrazione è un

processo usato per eliminare alcune delle distorsioni causate dalla procedura di raccolta dei dati. Le distorsioni che sono causate dall'ampio raggio radar generano riflessioni da punti sorgente che appaiono, quindi, come iperboli. Il processo di migrazione focalizza e collassa le iperboli di riflessione fino a ridurle alle dimensioni del punto, posto nel sottosuolo, che le ha generate. Le procedure di elaborazione sono compiute per ciascuno dei profili. Il software è inoltre in grado di degenerare i segnali rinvenuti in indicazioni maggiormente rispondenti alla geometria dell' elemento indagato.

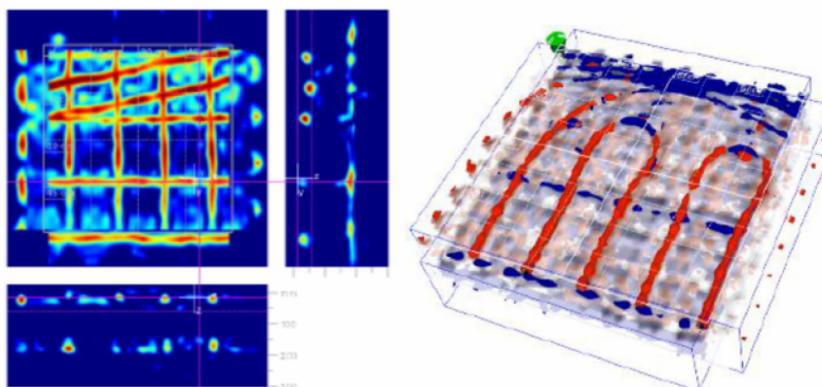


Figura 8- Ricostruzione delle armature di un elemento strutturale

Nelle immagini sono rappresentati (Figura 8), a destra, la ricostruzione delle armature di un elemento strutturale, con sezione a lato nei piani orizzontali e verticali, mentre a sinistra è visibile la ricostruzione tridimensionale di elementi a disposizione articolata, nel caso rappresentato, le tubazioni di un riscaldamento a pavimento.

Queste operazioni sono finalizzate anche a minimizzare quelli che sono le variazioni locali legate a parametri, quali la porosità e l'umidità. Infatti, a parità di materiale, la velocità del segnale radar può variare anche significativamente in funzione di parametri suddetti, e indurre un errore nella lettura dell'anomalia individuata.

3.2 INDAGINE TERMOGRAFICA

3.2.1 Finalità del metodo

L'indagine termica è stata finalizzata all'individuazione di quadri umidi e infiltrazioni sulla muratura, nonché la presenza di tamponamenti, distacchi e lesioni strutturali attive sul paramento murario.

3.2.2 Principi teorici e funzionamento

La termografia infrarossa è una tecnica di misura di tipo non invasivo, che non prevede il contatto con l'oggetto, applicabile alla diagnostica di patologie e di problematiche costruttive delle superfici edilizie e dei beni culturali.

Il principio di funzionamento verte sulla registrazione della radiazione infrarossa emessa da un corpo, che consente rilevando le differenze termiche dei corpi inquadrati, di riscontrare le geometrie strutturali nascoste celate nella muratura. L'immagine termica prodotta è chiamata termogramma e mostra la distribuzione della temperatura superficiale dell'oggetto esaminato. Attraverso l'indagine termografica si possono, quindi, determinare problematiche sub-superficiali, mediante il rilievo delle loro disomogeneità termiche con risultati talvolta modesti, talaltra più rilevanti, in dipendenza dalla specifica tipologia degli oggetti esaminati, quali: presenza di umidità superficiale, tamponamenti, distacchi, analisi di tessiture murarie, etc.

Le tecniche comunemente utilizzate per le indagini termografiche si dividono fondamentalmente in due gruppi: quelle che sfruttano l'energia interna dell'oggetto da esaminare (termografia passiva) e quelle che richiedono sollecitazioni termiche dall'esterno (termografia attiva).

Per comprendere e analizzare correttamente l'immagine a infrarossi e per misurarne la temperatura, è necessario conoscere cosa succede quando la radiazione ad infrarossi colpisce la superficie di un oggetto.

In definitiva un elemento è in grado di:

- EMETTERE – proprietà definita emissività (ϵ)
- RIFLETTERE – proprietà definita riflettività (ρ)
- TRASMETTERE – proprietà definita trasmissività (τ)

la somma delle tre grandezze è sempre uguale a 1. Sotto forma di formula:

$$\epsilon + \rho + \tau = 1$$

Nelle reali misurazioni di campo è necessario, a questo punto, operare una semplificazione che ci permette di considerare $\tau = 0$; ciò deriva dal fatto che la maggior parte degli oggetti, o comunque tutti quelli esaminati dal presente lavoro, non è trasmissivo, ma opaco alla radiazione infrarossa. Quindi, la formula definitiva usata dalla termografia per valutare la temperatura è la seguente:

$$\epsilon + \rho = 1$$

al fine di rilevare l'esistenza e l'ubicazione di eventuali anomalie termiche nelle strutture in oggetto.

Definendo potere emissivo di un corpo $e(\lambda, T)$ la quantità di energia emessa $E(\lambda, T)$ per unità di tempo e di superficie alla temperatura T e nell'intervallo di lunghezza d'onda λ e $\lambda + \Delta\lambda$, la legge di Kirchoff esprime che, in un sistema in equilibrio termodinamico, il rapporto fra il potere emissivo e il coefficiente di assorbimento è funzione soltanto della lunghezza d'onda e della temperatura, ma non della natura chimico-fisica della sostanza.

$$E(\lambda, T) = \frac{e(\lambda, T)}{a(\lambda, T)}$$

Nel caso del corpo nero, per cui $a = 1$, il rapporto fra il potere emissivo e il coefficiente di assorbimento coincide con il potere emissivo del corpo stesso.

Si definisce coefficiente di emissione $\epsilon(\lambda, T)$ di un corpo reale il rapporto tra potere emissivo del corpo stesso e quello del corpo nero alla stessa temperatura.

$$\epsilon(\lambda, T) = \frac{e(\lambda, T)}{E(\lambda, T)} = a(\lambda, T)$$

Perciò il fattore di emissione ϵ di un corpo è uguale a quello di assorbimento a ; in condizione di equilibrio termico l'energia assorbita ed emessa di un corpo si eguagliano.

La legge di Stefan-Boltzmann stabilisce che la quantità di energia irradiata per unità di tempo e di superficie da un corpo nero è proporzionale alla quarta potenza della sua temperatura assoluta:

$$E(T) = 5.67 * 10^{-8} * T^4 \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

La distribuzione spettrale della radiazione di un corpo nero è espressa dalla legge di Plank; la curva di Plank mostra come al cambiare della temperatura di un oggetto cambi la distribuzione della radiazione da questo emessa (Figura 10).

Inoltre, la lunghezza d'onda per cui si ha emissione massima, λ_{max} , e la temperatura dell'oggetto sono legate dalla relazione (legge di Wien):

$$\lambda_{max} * T = 2.8978 * 10^{-3} (m)$$

In natura non esistono corpi neri ideali, ma soltanto oggetti assimilabili approssimativamente a questi (Figura 9).

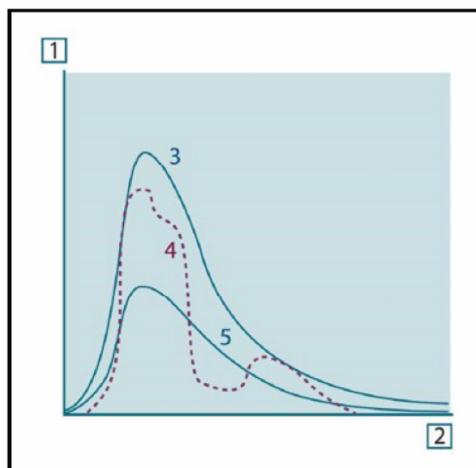


Figura 9-Emittanza energetica spettrale di tre tipi di corpi.
 1: emittanza energetica spettrale; 2: lunghezza d'onda;
 3: corpo nero 4: radiatore selettivo ; 5: corpo grigio (AAVV,2008).

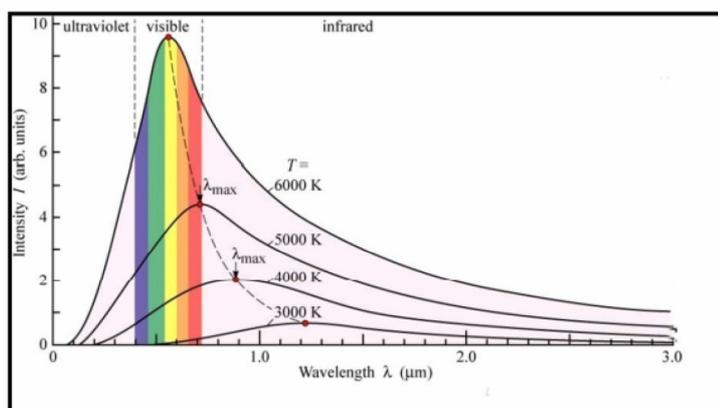


Figura 10-Intensità della distribuzione spettrale di Planck in funzione della lunghezza d'onda per temperature differenti. Il massimo dell'intensità si sposta verso lunghezze d'onda minori e la temperatura del corpo nero aumenta. (E.F.Schubert).

L'emissività di un materiale può essere determinata anche mediante misurazioni dei coefficienti ottici di assorbimento e riflettanza; infatti, secondo il principio della conservazione dell'energia, all'equilibrio un corpo emette tanta radiazione quanta ne assorbe dall'ambiente circostante .

Nonostante che il comportamento di un oggetto reale sia soltanto assimilabile a quello di un corpo nero ideale, un materiale di qualsiasi natura emette una quantità di radiazione che aumenta all'aumentare della temperatura secondo una legge di potenza Stefan-Boltzmann; ciò implica una grande sensibilità del metodo termografico per la misura della temperatura di un corpo a partire dalla quantità di radiazione emessa.

La strumentazione utilizzata è stata una termo camera FLIR THERMACAM B4 (**Figura 11**), dotata di un campo di misura della temperatura che va da -20°C a $+100^{\circ}\text{C}$ con una risoluzione termica

di $0,10^{\circ}\text{C}$, precisione $\pm 2^{\circ}\text{C}$, $\pm 2\%$ e ripetibilità $\pm 1^{\circ}\text{C}$, $\pm 1\%$. La visualizzazione dell'immagine è stata ottenuta impostando il "campo", chiamato anche "contrasto termico", cioè l'intervallo di temperatura effettivamente utilizzato e il "livello", detto anche "luminosità termica", che corrisponde al punto centrale del campo.



Figura 11- La termocamera Flir Thermacam B4.

3.2.3 Riferimenti normativi

Il metodo di indagine termografico fa riferimento alla normativa tecnica UNI EN 13187.

3.2.4 Prescrizioni operative

Sul cantiere di indagine sono stati presi in considerazione tutti quei fattori prodotti dall'ambiente esterno. Occorre tener conto di questi fattori impostando adeguatamente nello strumento la temperatura ambientale, l'emissività del materiale dell'oggetto di indagine, l'umidità relativa e la distanza dall'oggetto per non incorrere in errori di valutazione della temperatura.

In questa fase, i parametri caratteristici per l'acquisizione della temperatura e dell'umidità relativa sono rilevati mediante sensori termometrici.

Un altro parametro che incide sulla misura è l'angolo di ripresa, detto anche angolo di incidenza: all'aumentare dell'angolo di incidenza aumenta la riflettanza della superficie e diminuisce l'emissività (Figura 12).

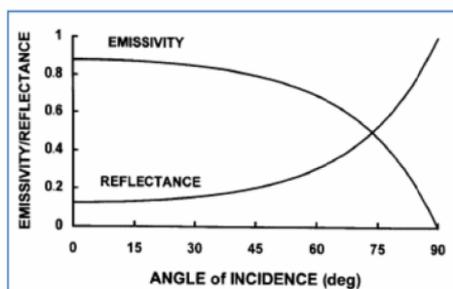


Figura 12-Variatione delle caratteristiche ottiche del materiale in funzione dell'angolo di incidenza.
Figura tratta da "Common sense approach to thermal imaging, Holst, 2000".

Questo comporta che per angoli superiori a 60° si ottengono delle misure di temperatura con errori consistenti.

Anche le distanze di ripresa possono essere diverse e si eseguirà la compensazione dell'influenza della distanza sulla misura di temperatura settando opportunamente la termocamera in modo da analizzare solamente la relazione tra angolo di incidenza e temperatura. È da tener presente che la risoluzione dello strumento risulta diminuita con l'aumentare della distanza.

A questo punto dopo aver tenuto conto di questi fattori e settato lo strumento con i parametri, si procede alla ripresa dell'oggetto da indagare.

I dati acquisiti sono memorizzati all'interno della termocamera in formato *.jpg e scaricati direttamente su di un PC. Il software di utilizzo per la gestione dei termogrammi è FLIR QuickReport v. 1.2, un potente software per la creazione di report professionali.

Dopo l'avvio del software FLIR QuickReport v. 1.2, viene creato un report termografico attraverso la procedura guidata, che consente di mettere a punto e regolare i report prima della sua creazione. Avviata la procedura guidata si selezionano le immagini da includere nel report desiderato.

In questa fase, il programma carica automaticamente la foto scattata nel visibile, associata all'immagine termica, allo scopo di semplificare le successive fasi di elaborazione.

Successivamente, a completamento della selezione delle immagini da inserire, si organizza il report e si procede alla fase di processing.

A questo punto, si procede ad una prima fase di pre-trattamento dei dati dove è possibile eseguire la modifica dei parametri oggetto. Per effettuare misurazioni molto precise, è necessario impostare i "parametri oggetto" acquisiti in situ e importarli nel software di elaborazione.

I parametri oggetto da modificare, sono i seguenti:

- Emissività, che determina la quantità di radiazione generata da un oggetto rispetto a quella riflessa;
- Temperatura riflessa, viene usata per compensare le radiazioni provenienti dall'area circostante che vengono riflesse dall'oggetto nella termocamera. Questa proprietà degli oggetti è chiamata riflettività;
- Temperatura atmosferica, ovvero la temperatura dell'aria tra la termocamera e l'oggetto in questione;
- Umidità relativa, ovvero l'umidità relativa dell'area tra la termocamera e l'oggetto in questione.
- Distanza oggetto, ovvero la distanza tra la termocamera e l'oggetto in questione

Questa operazione crea un settaggio e un ricampionamento dell'immagine IR, e riproduce un'immagine più fedele sulla base dei dati acquisiti in campagna.

L'ispezione termografica ci consente di affrontare due diversi metodi di analisi: uno qualitativo ed uno quantitativo, a seconda dell'obiettivo che si vuole perseguire. Nel presente lavoro è stata adottata un'analisi qualitativa, con la finalità di ricercare difetti, anomalie, dispersioni termiche a

carico delle strutture murarie. Le anomalie termiche rilevate sono descritte nel report termografico allegato alla presente.

3.3 ESECUZIONE SAGGIO VISIVO

3.3.1 Finalità del metodo

L'analisi ed esecuzione del saggio visivo permettono di valutare la presenza di eventuali danneggiamenti, cavità onicchie e elementi strutturali.

3.3.2 Principi teorici

Laddove non è possibile procedere con controlli non distruttivi, o parzialmente distruttivi, sarà opportuno effettuare saggi, più o meno invasivi, per ispezionare direttamente, a vista, le porzioni della struttura di interesse.

I dettagli costruttivi da esaminare sono relativi ai seguenti elementi:

- a) qualità del collegamento tra pareti verticali;
- b) qualità del collegamento tra orizzontamenti e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento;
- c) esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture;
- d) presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti;
- e) presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità;
- f) tipologia della muratura (a un paramento, a due o più paramenti, con o senza collegamenti trasversali...), e sue caratteristiche costruttive (eseguita in mattoni o in pietra, regolare, irregolare...)

I rilievi di tipo visivo sono effettuati ricorrendo a rimozione dell'intonaco e saggi nellamuratura che consentano di esaminarne le caratteristiche in superficie e nello spessore murario e l'ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai nelle pareti.

3.3.3 Riferimenti normativi

La valutazione della qualità muraria con riferimento agli aspetti legati al rispetto o meno della "regola dell'arte" è regolamentata dalle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni (D.M. 14 Gennaio 2008 e Circolare 02 Febbraio 2009).

3.3.4 Prescrizioni operative

Tali esami visivi sono condotti mediante la rimozione di una zona di intonaco di almeno 1 m x 1 m, al fine di individuare forma e dimensioni dei blocchi di cui è costituita la muratura, eseguita preferibilmente in corrispondenza degli angoli, al fine di verificare anche le ammorsature tra le pareti murarie. Nel presente lavoro sono stati eseguiti 12 saggi visivi così come è illustrato in

Tabella 2.

Numero Saggio visivo (SV)	Foto	Descrizione paramento murario
SV1		Analisi tessitura muraria
SV2		Analisi tessitura muraria
SV3		Ammorsato
SV4		Non ammorsato
SV5		Ammorsato
SV6		Ammorsato

SV7		Ammorsato
SV8		Non Ammorsato
SV9		Non Ammorsato
SV10		Ammorsato
SV12		Non Ammorsato

Tabella 2 – Descrizione dei saggi visivi eseguiti

3.3.5 Documentazione fotografica

In Figura 13 è illustrata la fase di esecuzione del saggio visivo condotta presso il Complesso conventuale di Sant'Antonio.



Figura 13- Esecuzione di saggio visivo

3.4 ANALISI MINERALOGICO-PETROGRAFICA SU CAMPIONI DI MALTA PRELEVATI IN SITO

3.4.1 Finalità del metodo

La prova consiste nell'estrazione di un idoneo quantitativo di malta di allettamento nella porzione interna delle murature ai fini della caratterizzazione chimico-fisica (studio mineralogico-petrografico). I campioni di malta estratti vengono successivamente documentati fotograficamente, catalogati ed analizzati al microscopio polarizzatore preparato in sezione sottile. Lo studio è finalizzato a definire le caratteristiche compositive e tessiturali degli impasti identificando i costituenti mineralogici del legante e dell'aggregato, e di valutare lo stato di conservazione delle malte.

3.4.2 Principi teorici

Le prove di caratterizzazione delle malte sono principalmente finalizzate a definire le caratteristiche compositive e tessiturali degli impasti identificando i costituenti mineralogici del legante e dell'aggregato, anche con un'indicazione della granulometria dell'aggregato e della porosità totale nei limiti imposti dal tipo di analisi eseguite, e a valutare qualitativamente lo stato di consistenza e conservazione delle malte. La caratterizzazione delle malte può essere utile anche ai fini della selezione dei materiali da impiegare per gli interventi di consolidamento.

Le prove più comunemente utilizzate sono: osservazioni allo stereomicroscopio su campioni tal quali per una descrizione macroscopica delle caratteristiche morfologiche (Normal 14/83); studio petrografico al microscopio ottico polarizzatore per l'identificazione dei componenti mineralogici (UNI 11176; Normal 14/83); diffrattometria ai raggi X (XRD) per l'identificazione

qualitativa e semiquantitativa delle principali fasi cristalline (Normal 34/91); studio della distribuzione granulometrica mediante setacciatura dell'aggregato (UNI EN 933-1).

3.4.3 Riferimenti normativi

Le prove più comunemente utilizzate sono: osservazioni allo stereomicroscopio su campioni tal quali per una descrizione macroscopica delle caratteristiche morfologiche (Normal 14/83); studio petrografico al microscopio ottico polarizzatore per l'identificazione dei componenti mineralogici (UNI 11176; Normal 14/83); diffrattometria ai raggi X (XRD) per l'identificazione qualitativa e semiquantitativa delle principali fasi cristalline (Normal 34/91); studio della distribuzione granulometrica mediante setacciatura dell'aggregato (UNI EN 933-1).

3.4.4 Prescrizioni operative

L'esecuzione di tali prove richiede l'analisi di laboratorio su campioni estratti in sito (Figura 14).

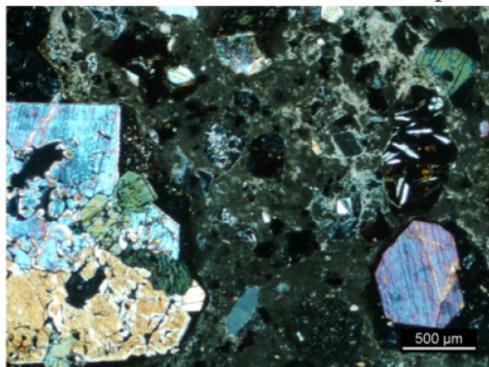


Figura 14-Microfotografia al microscopio ottico a 2,5x e N+ di un campione di malta.

Il prelievo in sito è stato fatto nei giunti e/o su piccoli scassi effettuati nella muratura. Le dimensioni dei campioni prelevati sono state molto ridotte (dell'ordine del centimetro), in modo da provocare la minore invasività sulla bene.

Nel corso dei prelievi, è stato verificato che la malta estratta non appartenga a strati di stilatura o rifinitura esterna, ma che sia il più possibile rappresentativa della composizione interna della muratura.

I campioni prelevati sono stati riposti in contenitori separati, con una chiara indicazione della posizione del prelievo per la loro identificazione da parte del laboratorio di prova.

3.5 PROVE CON MARTINETTO SINGOLO

3.5.1 Finalità del metodo

La prova con martinetto piatto singolo misura la variazione dello stato tensionale in un punto della muratura provocato da un taglio piano eseguito in direzione normale alla superficie.

Il rilascio delle tensioni che si manifesta provoca una parziale chiusura del taglio, che viene rilevata tramite misure di distanza relativa fra coppie di punti posti in posizione simmetrica rispetto al taglio stesso.

Viene quindi inserito all'interno del taglio un martinetto piatto, realizzato mediante sottili lamiere di acciaio saldate, che viene collegato al circuito idraulico di una pompa. La pressione interna viene quindi gradualmente aumentata fino ad annullare la deformazione misurata successivamente all'esecuzione del taglio.

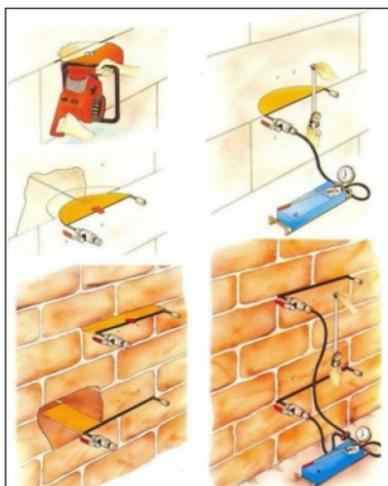


Figura 15-Schematizzazione della prova a martinetto singolo

3.5.2 Principi teorici e funzionamento

La prova con martinetto piatto singolo permette di **stimare lo stato di tensione locale presente nelle strutture murarie**. La tecnica di prova si basa sulla variazione dello stato tensionale in un punto della struttura provocato da un taglio piano eseguito in direzione normale alla superficie della muratura. Il taglio viene generalmente realizzato mediante sega idraulica con lama circolare. Il rilascio delle tensioni che si manifesta provoca una parziale chiusura del taglio, che viene rilevata tramite misure di distanza relativa fra coppie di punti posti in posizione simmetrica rispetto al taglio stesso. Viene quindi inserito all'interno del taglio un martinetto piatto, realizzato mediante sottili lamiere di acciaio saldate, che viene collegato al circuito idraulico di una pompa. La pressione interna viene gradualmente aumentata fino ad annullare la deformazione misurata successivamente all'esecuzione del taglio. In queste condizioni la pressione all'interno del martinetto è uguale in prima approssimazione alla

sollecitazione preesistente nella muratura in direzione normale al piano del martinetto, a meno di una costante sperimentale che tiene conto del rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio (k_a), ed a meno di una costante che tiene conto della rigidezza intrinseca di ogni martinetto (k_m).

Il martinetto piatto utilizzato è costituito da due membrane in acciaio a forma semiovale di spessore di 4 mm, saldate su un telaio rigido in modo da realizzare un'intercapedine che, durante l'esecuzione della prova, sarà riempita di olio idraulico, immesso, sotto pressione, da un'unità di pressurizzazione a leva con manometro analogico scala 1 – 100 bar.

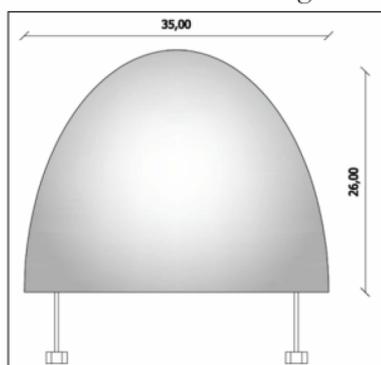


Figura 16-Geometria martinetto: SEMIOVALE

3.5.3 Riferimenti normativi

I due tipi di prova con martinetto sono normati mediante ASTM C 1196-09 e 1197-09 e RILEM LUM D3 (1994).

3.5.4 Prescrizioni operative

Nel caso della prova di martinetto piatto singolo, è stata scelta una compagine muraria sufficientemente rappresentativa della tipologia da analizzare, si collocano le basi di misura al di sopra e al di sotto della posizione scelta per l'esecuzione del taglio, il più possibile equidistanti da esso. Si prende poi la misura iniziale di riferimento delle distanze con un deformometro millesimale removibile Emme100 L250 dotato di comparatore digitale Mytutoio Absolute ID-C 0,001 mm. Si esegue quindi il taglio cercando di non disturbare la muratura circostante; nel nostro caso, per questa operazione è stata impiegata una sega circolare con motore a scoppio (HUSQVARNA K960 RING) dotata di una lama di raggio pari alla profondità del martinetto utilizzato. Dopo il taglio e la pulitura si prende la seconda misura nei punti di riferimento e si calcola così per differenza il valore della chiusura del taglio. Si applica una pressione da zero ad incrementi continui.

La prova si considera ultimata quando – in seguito ad incremento di pressione nel martinetto – si ottiene il ripristino delle misurazioni iniziali. La corrispondente pressione letta al martinetto (P_f) è la tensione locale nella muratura (σ_e), a meno delle costanti moltiplicative k_a e k_m .

$$\sigma_e = K_a K_m P_f$$

dove:

- P_f = pressione del martinetto che permette di ristabilire la distanza iniziale tra le basi;
- k_a = costante adimensionale che rappresenta il rapporto tra l'area del martinetto e l'area del taglio eseguito nella muratura;
- k_m = costante adimensionale dipendente dalla geometria e dalla rigidità del martinetto.



Figura 17-Prospetto muratura e schematizzazione dei capisaldi.

3.5.5 Documentazione fotografica

In Figura 18 è illustrata l'esecuzione delle prove con il martinetto piatto singolo.



Figura 18- Esecuzione della prova con martinetto piatto
c/o Complesso conventuale Sant'Antonio

3.6 PROVA CON MARTINETTO DOPPIO

3.6.1 Finalità del metodo

Le prove con due martinetti piatti paralleli (prova di martinetto piatto doppio) consentono di **stimare la resistenza al limite elastico e le caratteristiche di deformabilità di un campione rappresentativo di muratura**. Due tagli paralleli, eseguiti lungo giunti di malta e distanti all'incirca 50 cm, permettono l'inserimento di due martinetti piatti che sono collegati al circuito idraulico di una pompamanuale.

Il campione di muratura così isolato viene sottoposto a cicli di carico e scarico, con livelli di carico crescenti e le sue deformazioni vengono misurate utilizzando tre basi verticali, costituite da coppie di dadi in alluminio posti a distanza di 250 mm circa. Le misure tra le coppie di punti vengono eseguite mediante il deformometro millesimale. Le deformazioni rilevate, in funzione della pressione applicata al martinetto piatto, permettono di determinare il modulo di deformabilità e di disegnare la curva carichi/deformazioni della struttura muraria sottoposta a compressione.

3.6.2 Principi teorici e funzionamento

La prova con martinetto piatto doppio consente di determinare le caratteristiche di deformabilità della muratura, nonché di fornire una indicazione sul valore di resistenza della stessa. La prova consiste nell'effettuare un secondo taglio, parallelo al primo ad una distanza variabile (che dipende dagli elementi resistenti della muratura investigata e dalla larghezza del martinetto utilizzato), entro cui viene inserito il secondo martinetto. Ciò consente di delimitare un campione di muratura rappresentativo per dimensioni del comportamento meccanico della stessa. I due martinetti paralleli - opportunamente messi in pressione - applicano al campione interposto uno stato di sollecitazione monoassiale, e le deformazioni risultanti nella porzione muraria vengono misurate da un numero adeguato di punti di misura in direzione ortogonale ai piani di inserimento dei martinetti, al fine di determinare il diagramma tensione deformazione della muratura indagata.

3.6.3 Riferimenti normativi

I due tipi di prova con martinetto sono normati mediante ASTM C 1196-09 e 1197-09 e RILEM LUM D3 (1994).

3.6.4 Prescrizioni operative

Attraverso le basi di misura installate sulla faccia del “provino” è stato possibile ottenere indicazioni complete sul comportamento deformativi del campione in sito.

Le operazioni si riassumono in:

- posizionamento delle basette di misura;
- esecuzione dei tagli;
- inserimento dei martinetti;
- esecuzione di operazioni di carico e scarico con livelli crescenti di sollecitazione;
- esecuzione delle letture delle deformazioni a ogni ciclo di carico;

Le relazioni che si ottengono per ogni ciclo di carico sono:

$$\sigma_r = (A_m/A_t) K_m P_r$$

dove:

- A_m = superficie del martinetto
- A_t = valore medio delle aree di taglio

Ai fini del nostro caso di studio, la prova, attraverso continui carichi e scarichi della pressione, è stata spinta fino alla comparsa delle prime micro-fessure, avvicinandosi quindi al limite di rottura; attraverso la relazione su indicata, con buona approssimazione, è possibile stimare la resistenza a compressione e, quindi, lo stato di sollecitazione massimo σ_r , avendo inserito nella citata relazione il valore di P_f che ha provocato le micro fessure.

Il modulo di elasticità E è stato valutato attraverso la relazione:

$$E = \sigma_r / \epsilon_u$$

dove con ϵ_u , si indica deformazione verticale unitaria misurata in corrispondenza della base centrale di misura, ottenuta dividendo la deformazione misurata per la lunghezza della base di misura.

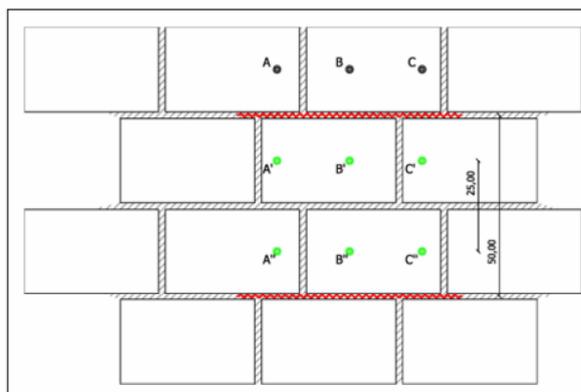


Figura 19-Prospetto muratura e schematizzazione dei capisaldi.

La prova si considera ultimata quando – in seguito ai cicli di carico/scarico di pressione nei martinetti – si riscontra la formazione delle prime microfessure e la corrispondente pressione letta al martinetto è la tensione di rottura nella muratura, a meno delle costanti moltiplicative k_a e k_m .

3.6.5 Documentazione fotografica

In **Errore**. L'origine riferimento non è stata trovata. è illustrata l'esecuzione delle prova con il martinetto piatto doppio.



Figura 20-Esecuzione delle prova con il martinetto piatto doppio.

3.7 ESTRAZIONE DI CAROTA MATERIALE LAPIDEO E PROVA DI COMPRESSIONE

3.7.1 Finalità del metodo

La prova a compressione, eseguita su campioni cilindrici degli elementi strutturali prelevati in opera, consente di determinare la resistenza a rottura del materiale.

Tale prova appartiene alla categoria delle prove moderatamente invasive, la cui regolare esecuzione consente una ottima ma puntuale conoscenza delle caratteristiche meccaniche in opera del materiale impiegato.

Per l'esecuzione della prova a compressione, questa viene realizzata solo ed esclusivamente presso un laboratorio ufficiale o autorizzato dal Servizio Tecnico Centrale dei Lavori Pubblici, secondo le prescrizioni della normativa UNI EN 12390-3:2003.

La profondità delle carote estratte viene imposta per un minimo di 80 mm, in modo da poter permettere, al netto del perfezionamento delle superfici, di ottenere un rapporto tra altezza e diametro pari a 1:1.

In laboratorio, dopo le operazioni di taglio per adeguare il campione alle caratteristiche dimensionali prescritte dalle norme, vengono eseguite le misurazioni del diametro e della lunghezza.

3.7.2 Riferimenti normativi

Per la corretta esecuzione della prova si fa riferimento alla norma UNI EN 12504-1:2002, nonché alla norma UNI 6131:2002 ed alle Linee Guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo pubblicate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

3.7.3 Prescrizioni operative

Scelti gli elementi strutturali su cui operare le prove, con il referente tecnico della committenza, si è scelta la posizione sull'elemento strutturale da prelevare.

Per il prelievo si è fatto uso di una sonda carotatrice elettrica DIAMOND CORE DRILL IM250H, dotata di corona diamantata, avente diametro esterno di 80 mm e interno di 74 mm.

Tale scelta risulta poi validata dalla verifica che nessun grano dell'agglomerato cementizio ha dimensioni massime, in millimetri, maggiori di 22.

La carotatrice viene fissata rigidamente all'elemento strutturale da carotare mediante apposizione di una barra filettata con resina epossidica, al fine di limitare al minimo l'effetto "tormento".

I prelievi vengono eseguiti perpendicolarmente alla superficie muraria.

La profondità delle carote estratte viene imposta per un minimo di 80 mm, in modo da poter permettere, al netto del perfezionamento delle superfici, di ottenere un rapporto tra altezza e diametro pari a 1:1.

Dopo l'estrazione della carota, il campione viene etichettato e conservato in un luogo sicuro da eventuali danneggiamenti.

Per una corretta stima delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo sono eseguite delle misure dirette sulla carota estratta in situ, eseguita presso il laboratorio di prove non distruttive della LandNet.

La prima operazione da eseguirsi consiste nella preparazione dei provini mediante taglio con sega a disco e successiva rettifica delle facce.

Le carote di roccia lapidea vengono successivamente pulite, siglate e fotografate.

In laboratorio, dopo le operazioni di taglio per adeguare il campione alle caratteristiche dimensionali prescritte dalle norme vengono eseguite le misurazioni del diametro e della lunghezza.



Figura 21- Carota estratta e rettificata in laboratorio.

L'elemento strutturale indagato mediante estrazione di campione viene ripristinato mediante utilizzo, in luogo della porzione prelevata, di malta a cementizia a ritiro compensato.

3.7.4 Documentazione fotografica

La mostra l'esecuzione del carotaggio sulla muratura condotta presso il Complesso conventuale di Sant'antonio.

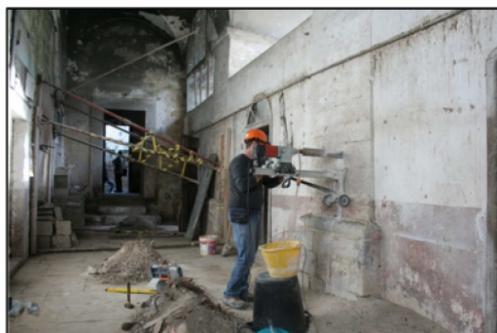


Figura 22- Esecuzione di carotaggio con carotatrice elettrica DIAMOND CORE DRILL IM250H.

4 RISULTATI OTTENUTI

Al fine di rappresentare i risultati ottenuti vengono allegate:

Certificati delle prove a compressione effettuate presso laboratorio autorizzato.

La campagna di indagine ha raggiunto lo scopo di:

- caratterizzare le malte storiche presenti presso il complesso conventuale di Sant'Antonio;
- dettagliare la presenza della strutture muraria, i cui spessori sono riportate nelle schede allegata;
- rilevare che all'interno, vi sono delle anomalie termiche, con molta probabilità riferibili a perpetuate infiltrazione trasmesse alle murature superiori, come meglio e più specificatamente dettagliato nelle schede termografiche allegate;
- caratterizzare meccanicamente i pannelli murari e le malte.

Per la consultazione delle schede termografiche vengono riportati in TAV.01, allegata, i con visivi e le denominazioni delle schede, mentre nelle singole schede viene riportata la denominazione ed il commento a latere.

Il tecnico sperimentatore

qual. 3° livello RINA

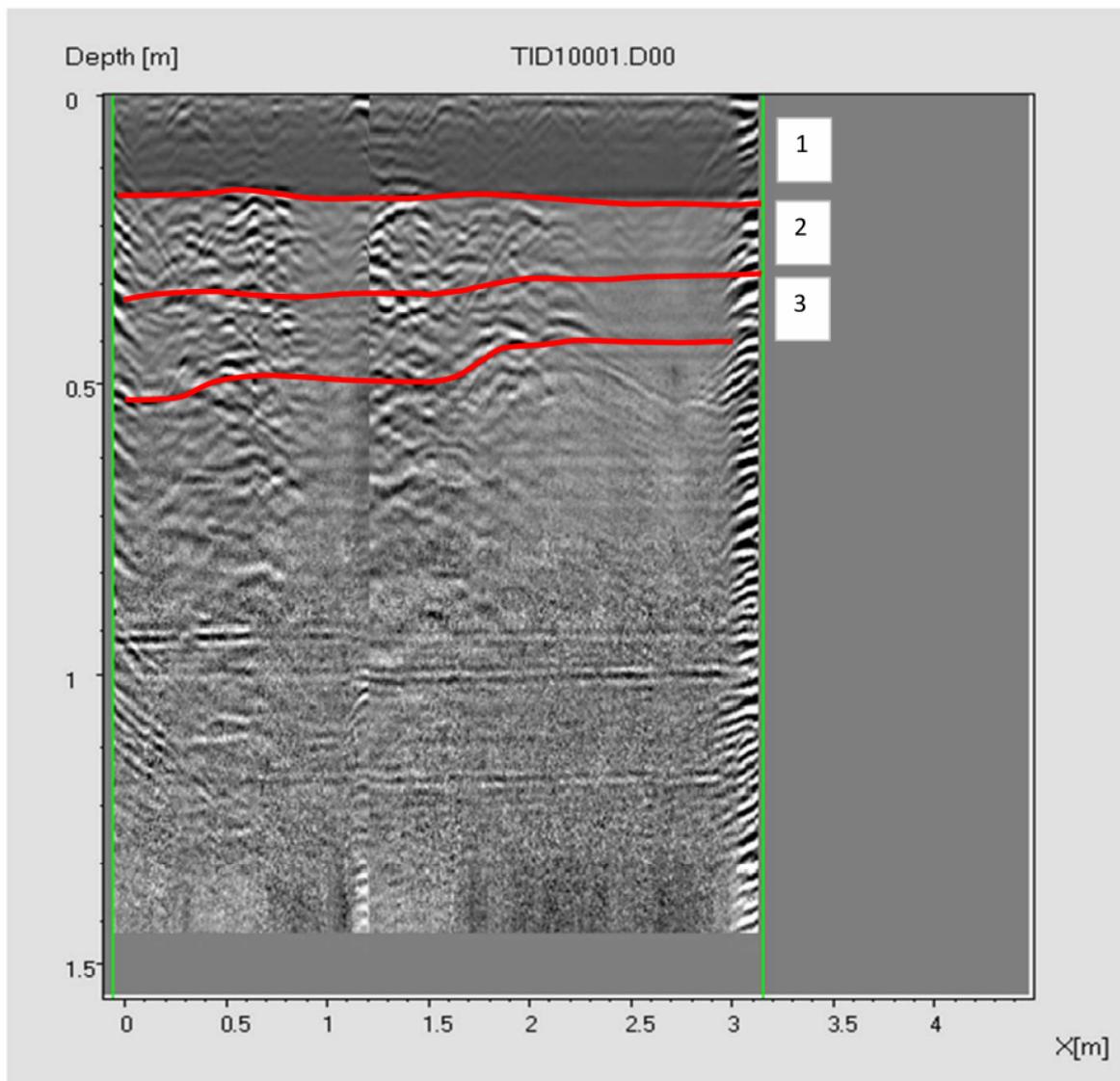
p.ind. Umberto Calò

Il direttore tecnico

qual. 3° livello RINA

ing. Michele Vitti

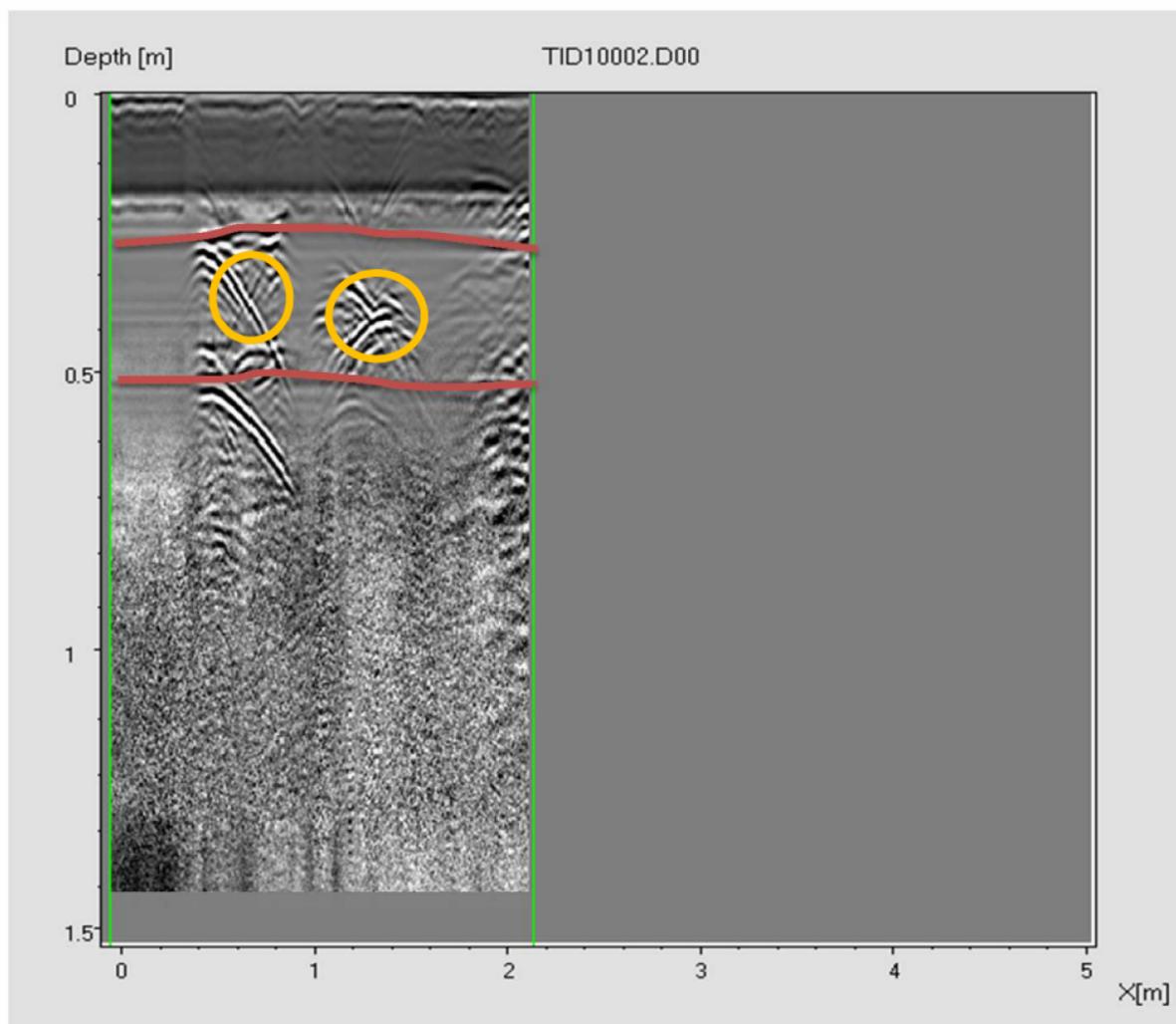
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Terra
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R1



Osservazioni:

Dal radargramma si osserva il doppio paramento murario della struttura, associabile alla tipologia della muratura a sacco. Le dimensioni del paramento sono rilevabili dalla scala graduata in ordinata.

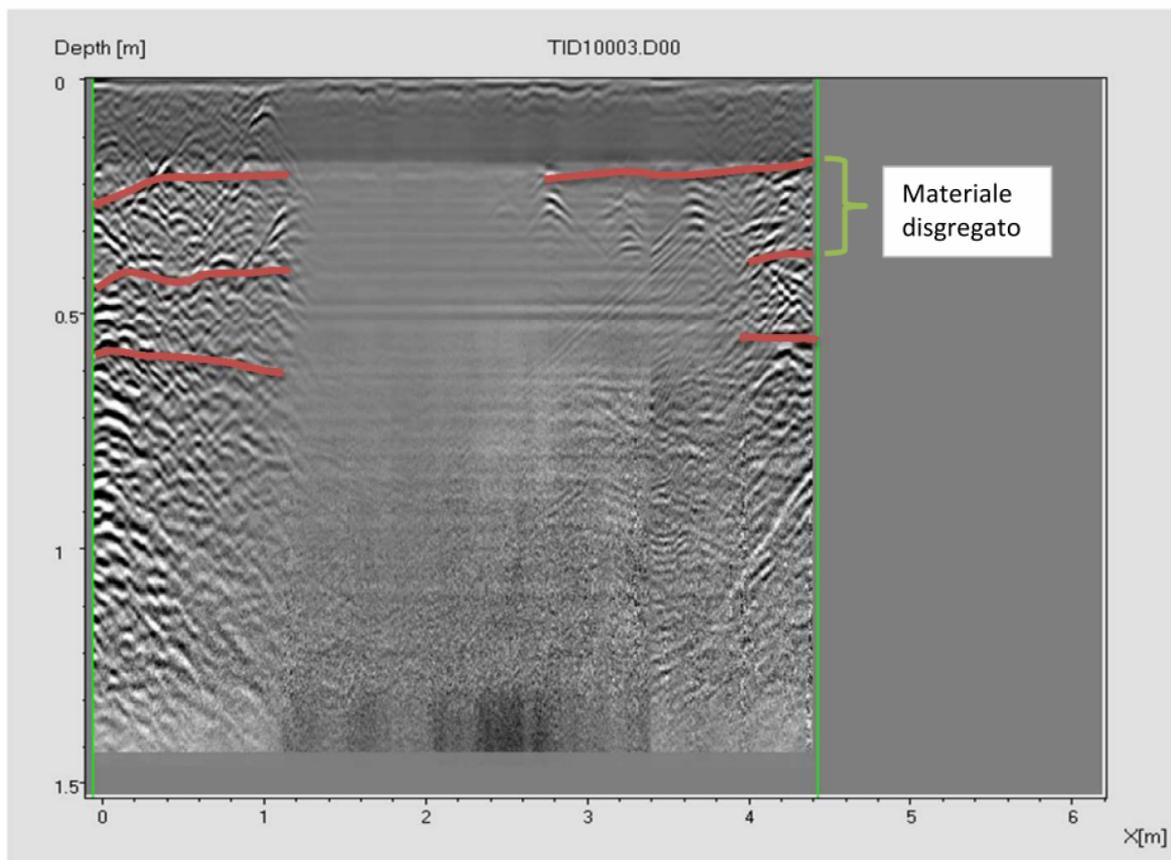
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Terra
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R2



Osservazioni:

Si osservano due strati nella muratura (linee rosse) e la presenza di vuoti all'interno (cerchi arancione).

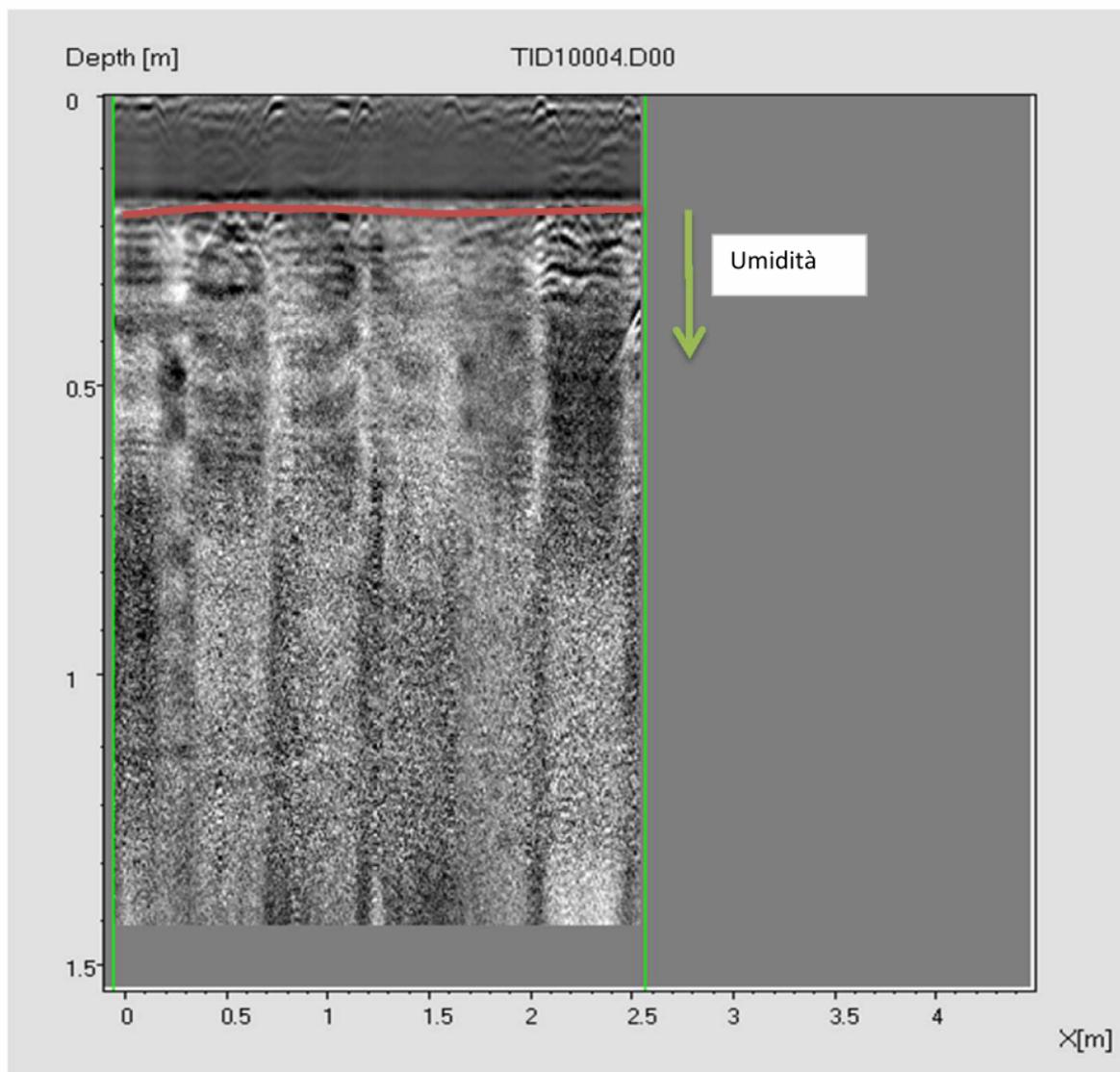
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Terra
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R3



Osservazioni:

Si osservano tre strati nella muratura; lo strato intermedio è caratterizzato da materiale disgregato.

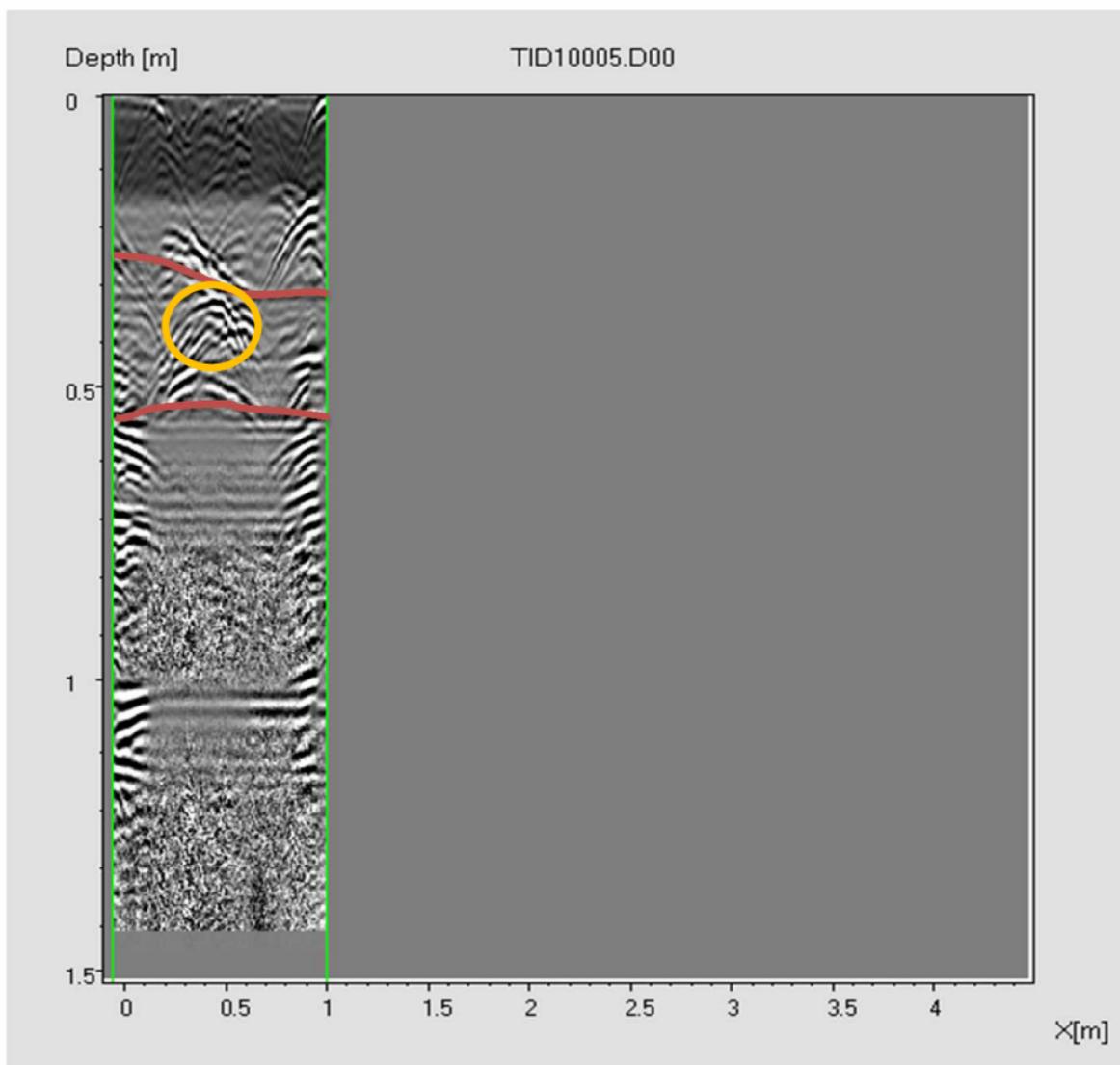
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Terra
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R4



Osservazioni:

Si rileva il primo strato murario con uno spessore di 20 cm. La lettura del restante paramento è compromessa a seguito della presenza di umidità nella muratura che ha causato un'attenuazione dell'onda elettromagnetica.

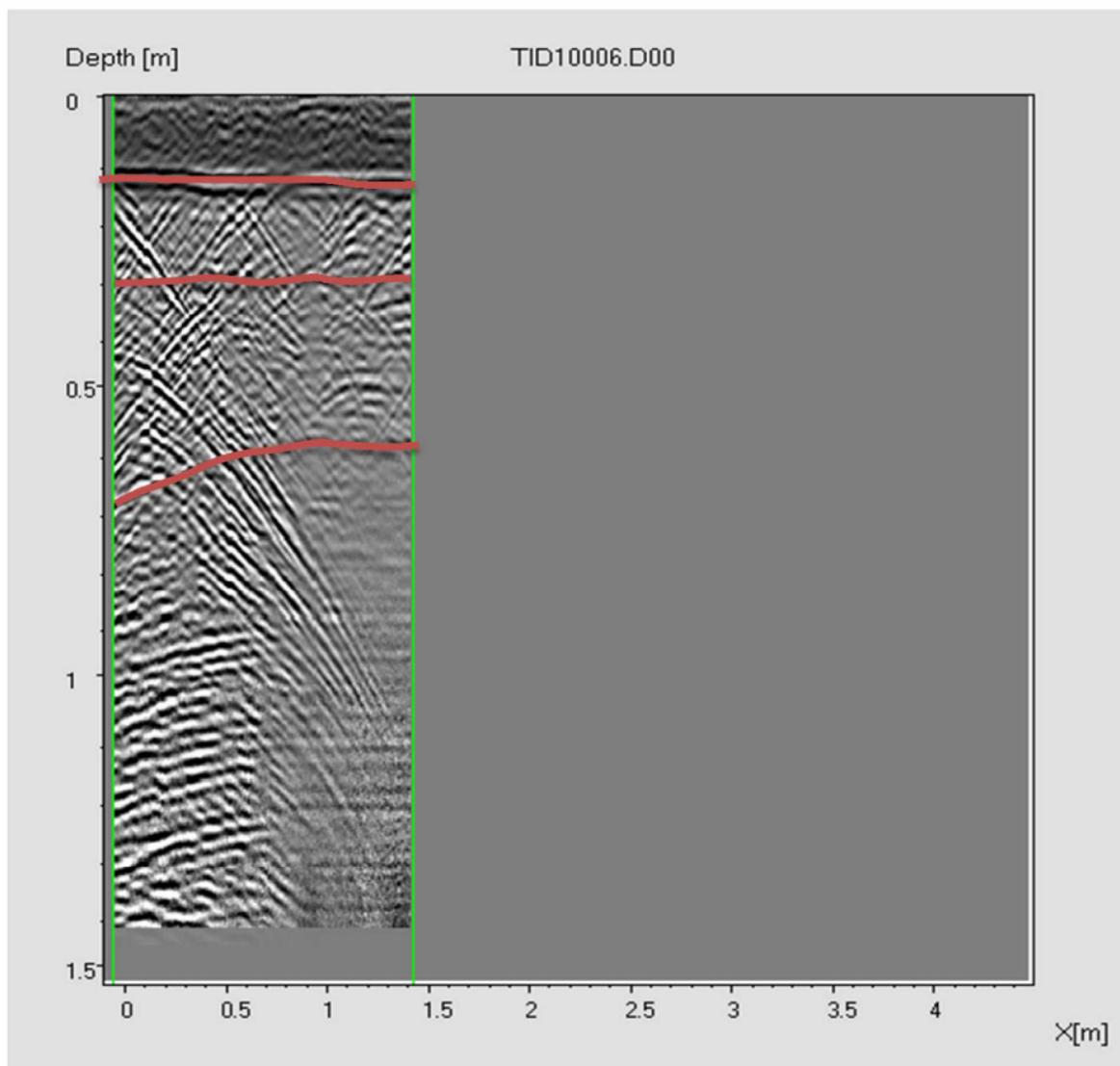
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Terra
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R5



Osservazioni:S

Si osservano due strati nella muratura (linee rosse) e la presenza di vuoti all'interno (cerchi arancione).

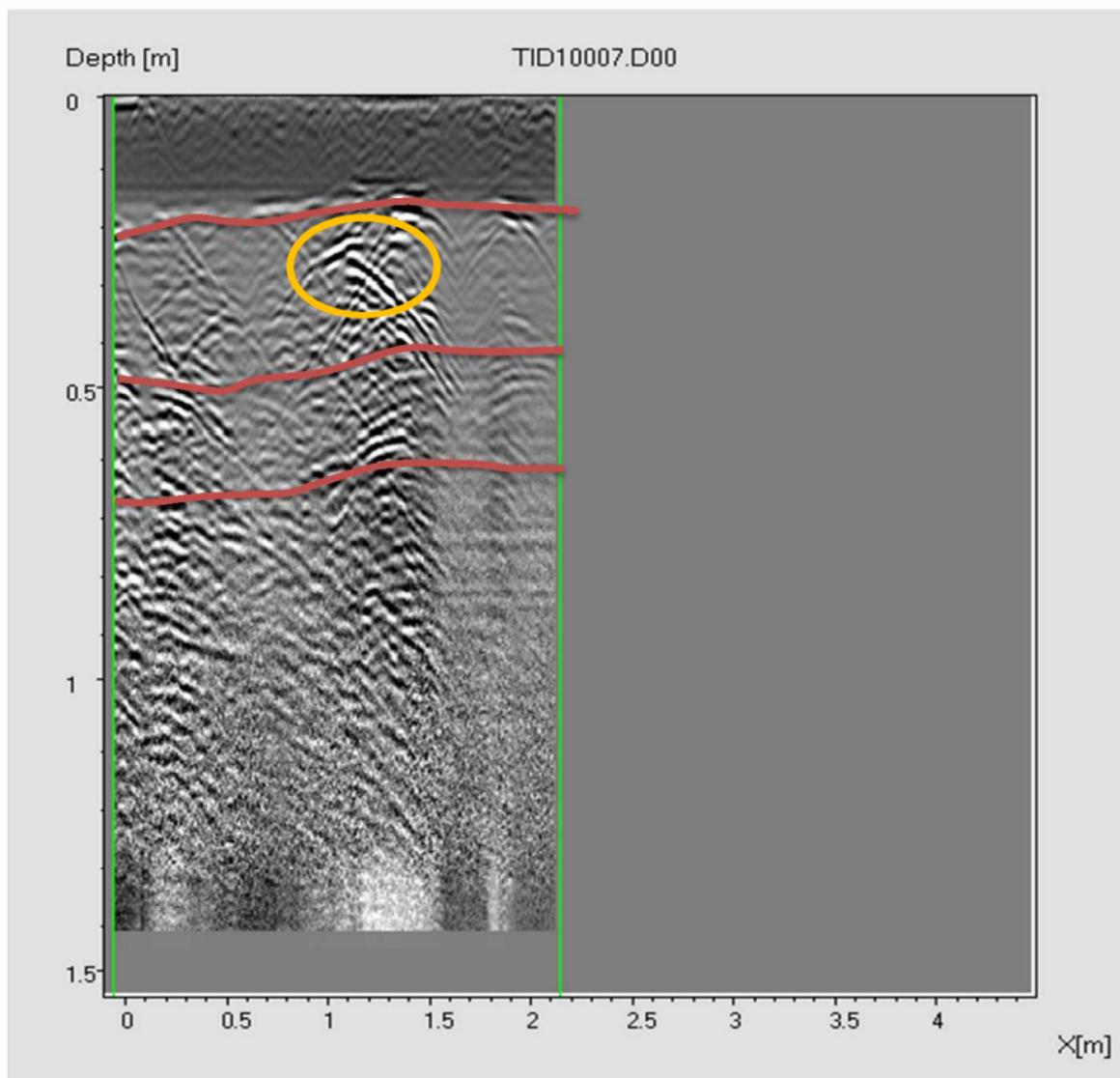
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Terra
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R6



Osservazioni:

Si osservano tre strati nella muratura (linee rosse) , per uno spessore totale di ca. 60 cm.

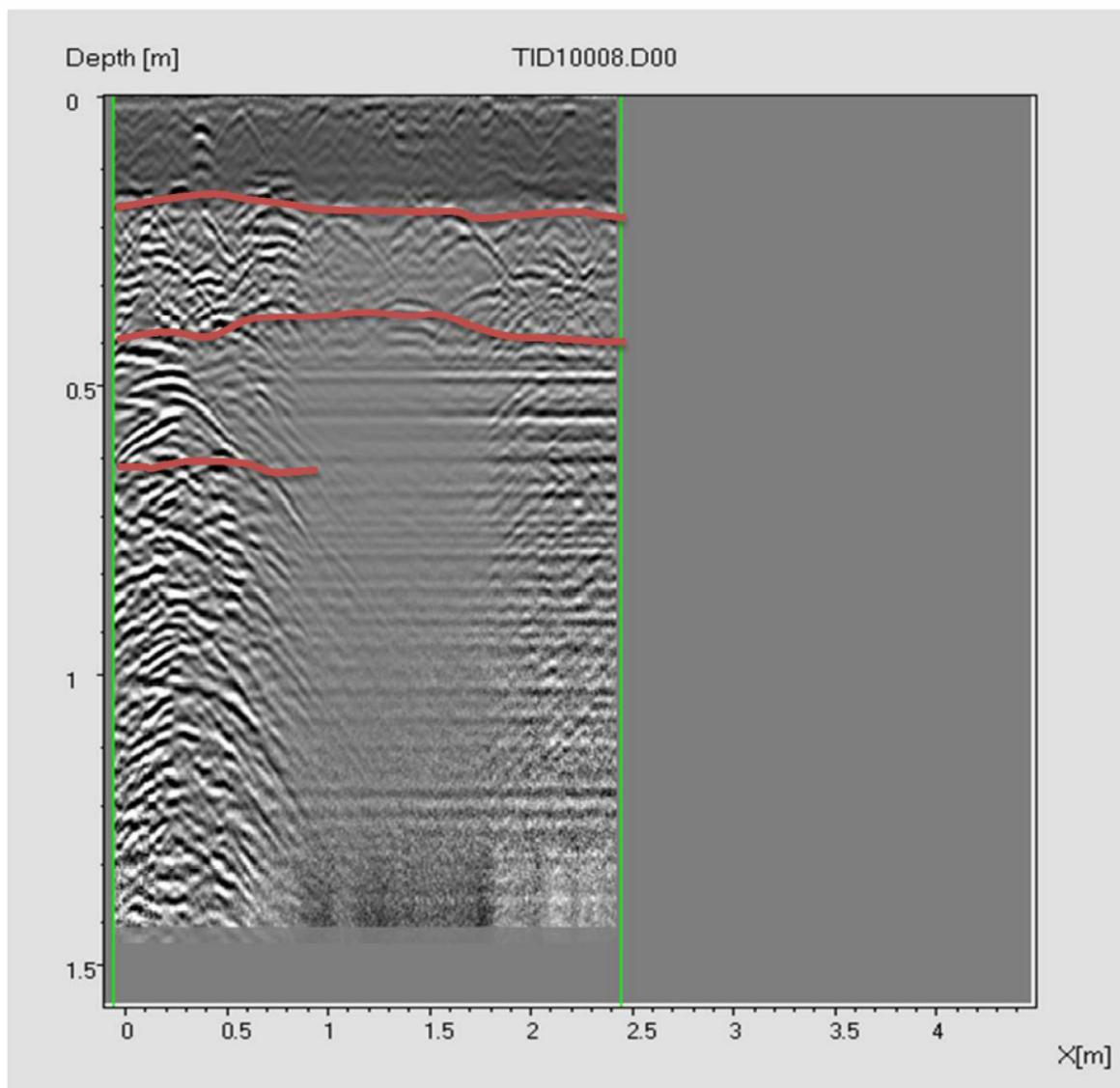
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Terra
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R7



Osservazioni:

Dal radargramma si osserva il doppio paramento murario della struttura, associabile alla tipologia della muratura a sacco; altresì di registra la presenza di vuoti (cerchio arancione).

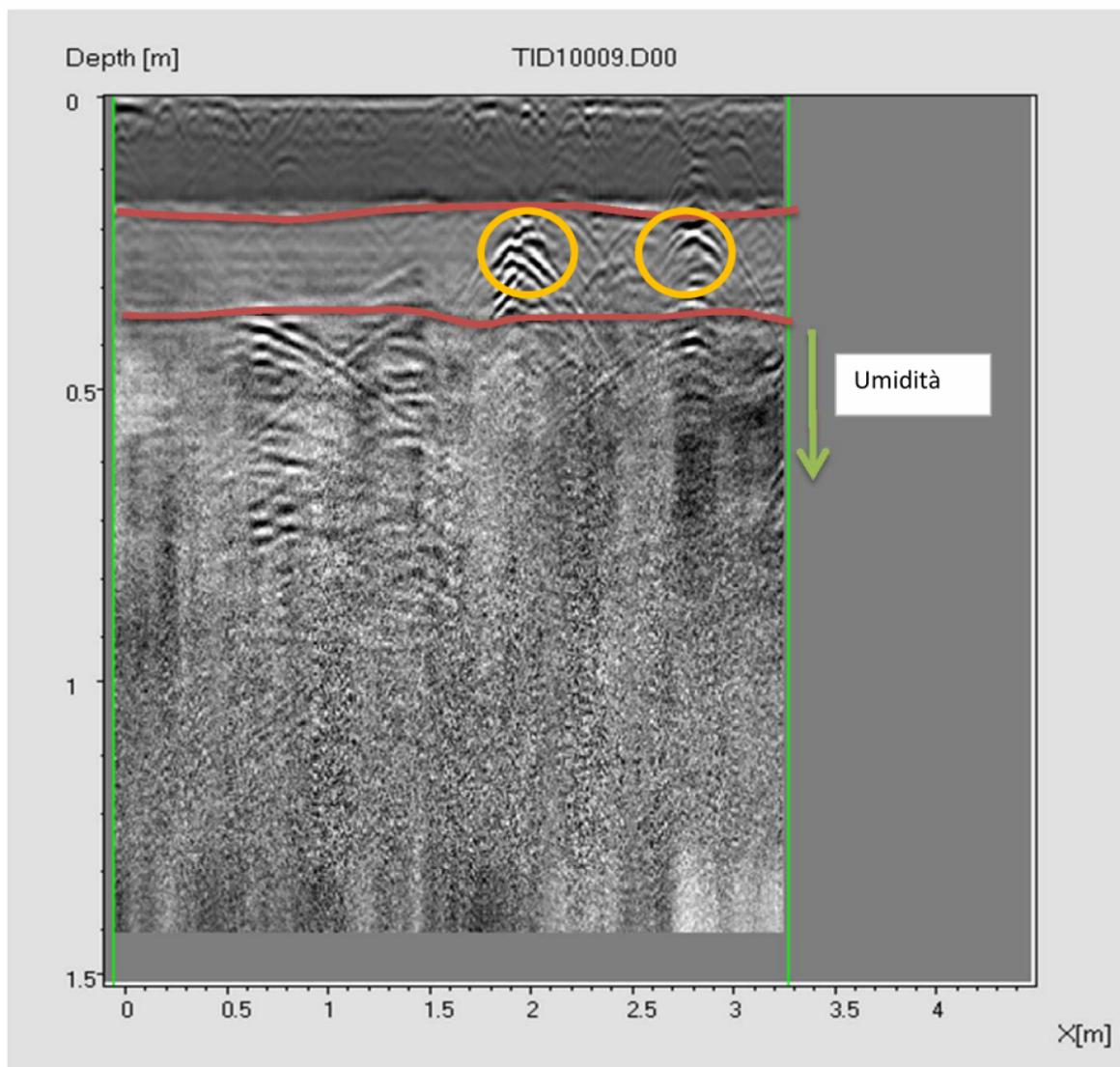
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Terra
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R8



Osservazioni:

Dal radargramma si osserva il doppio paramento murario della struttura, associabile alla tipologia della muratura a sacco; lo strato intermedio è caratterizzato da materiale disgregato.

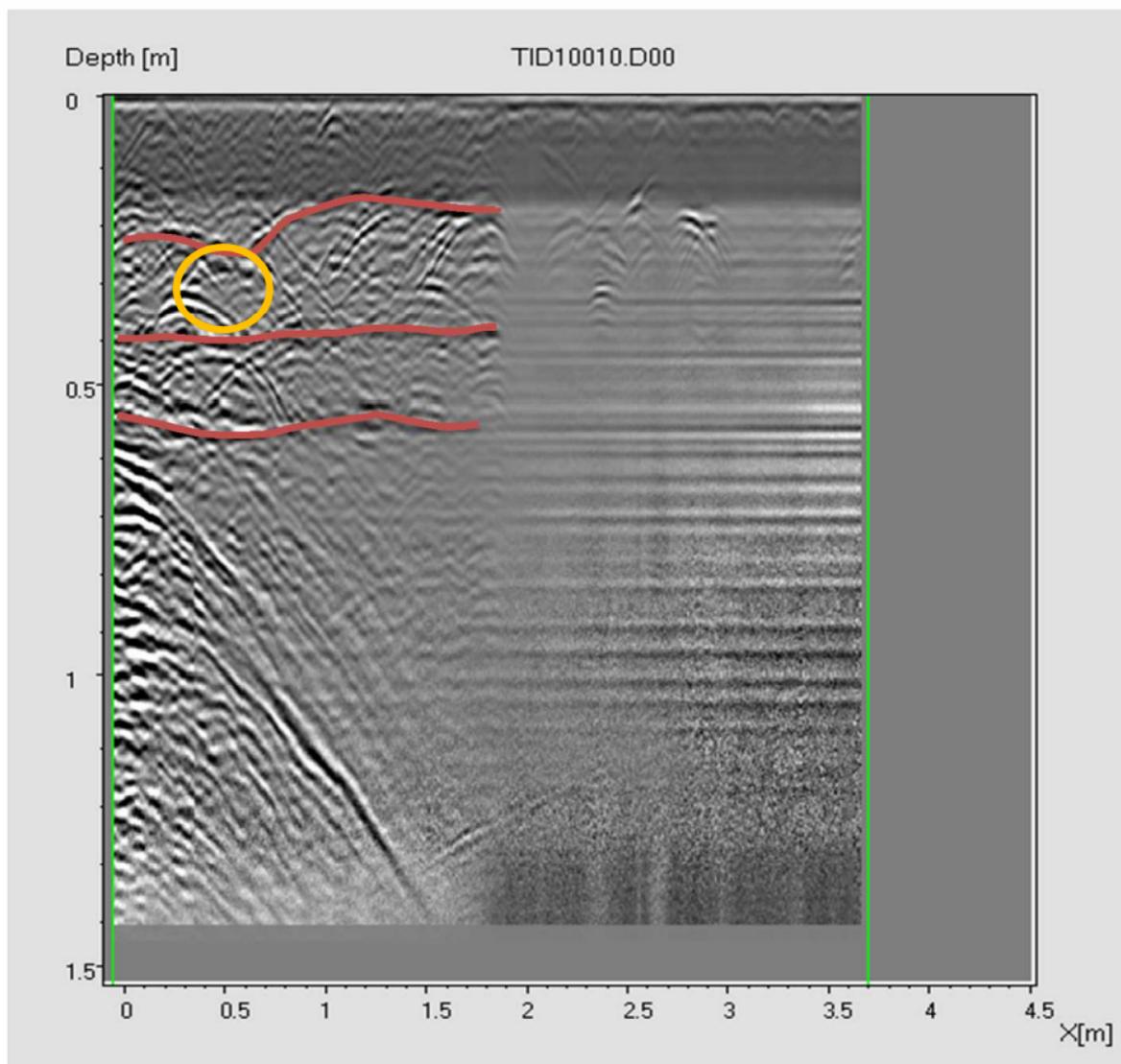
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Terra
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R9



Osservazioni:

Si osservano due strati nella muratura (linee rosse) e la presenza di vuoti all'interno (cerchi arancione). La lettura del restante paramento è compromessa a seguito della presenza di umidità nella muratura che ha causato un'attenuazione dell'onda elettromagnetica.

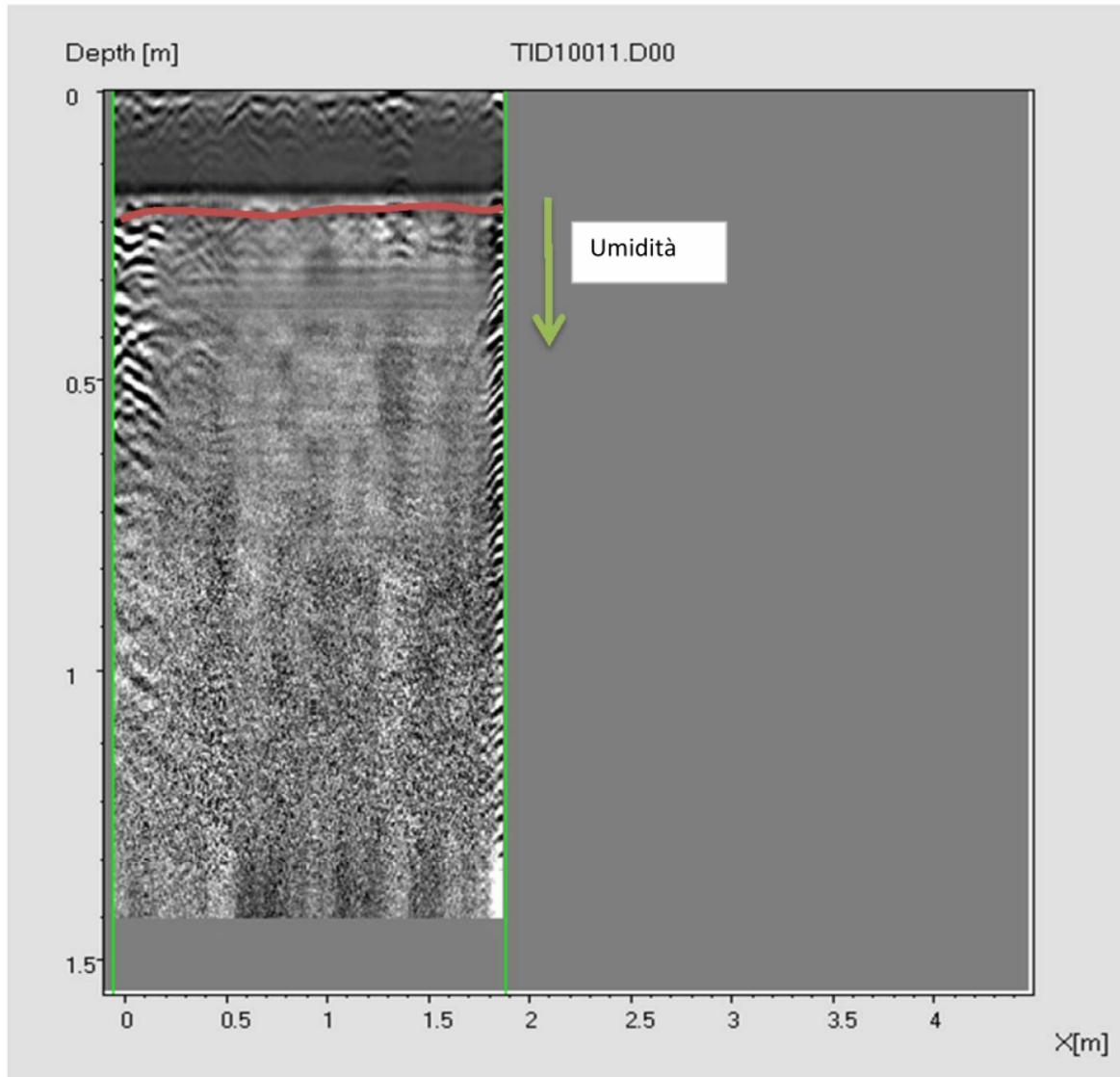
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Terra
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R10



Osservazioni:

Si osservano tre strati nella muratura (linee rosse) e la presenza di vuoti all'interno (cerchi arancione). Lo strato intermedio presenta materiale disgregato.

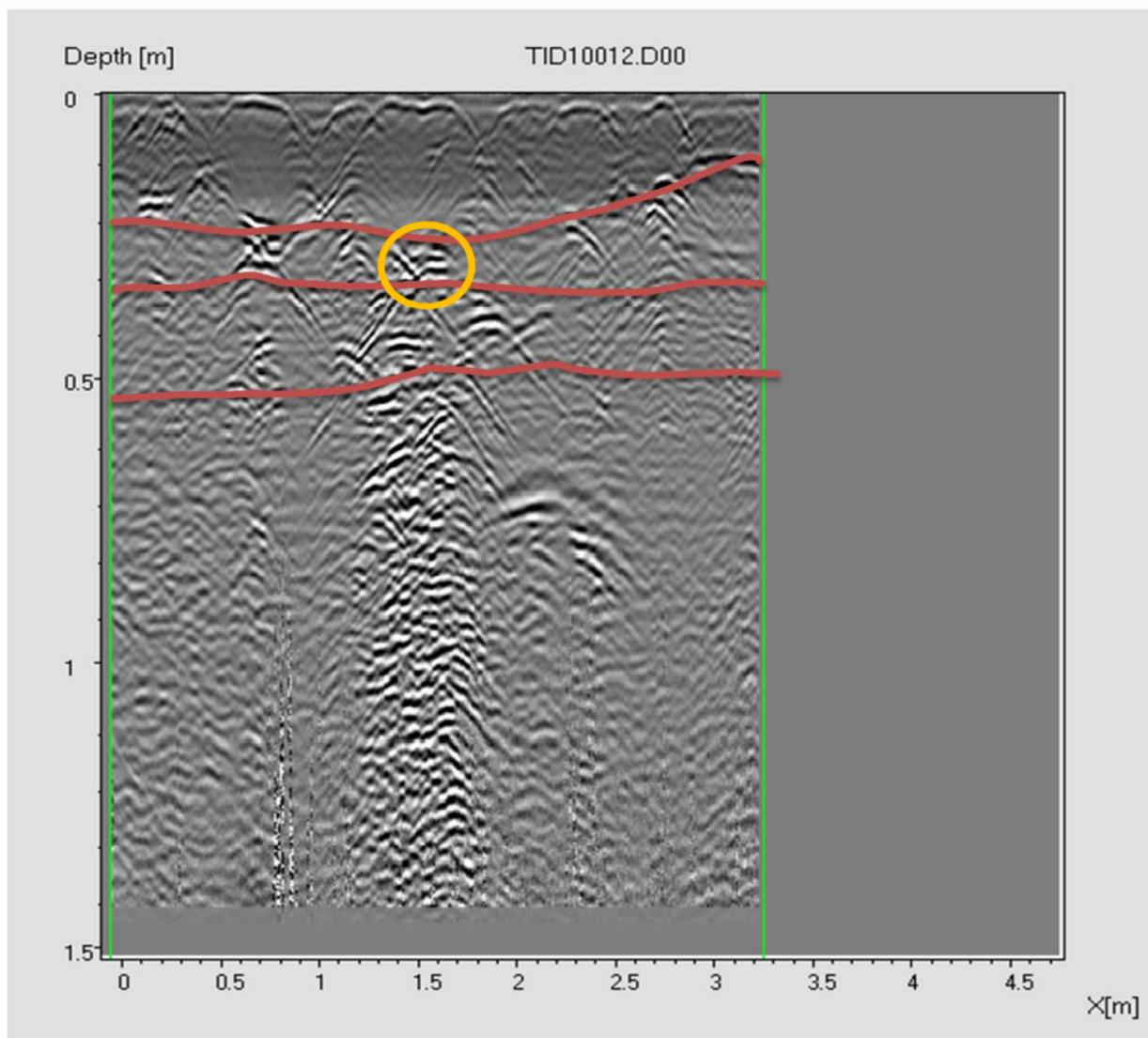
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Terra
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R11



Osservazioni:

Si rileva il primo strato murario con uno spessore di 20 cm. La lettura del restante paramento è compromessa a seguito della presenza di umidità nella muratura che ha causato un'attenuazione dell'onda elettromagnetica.

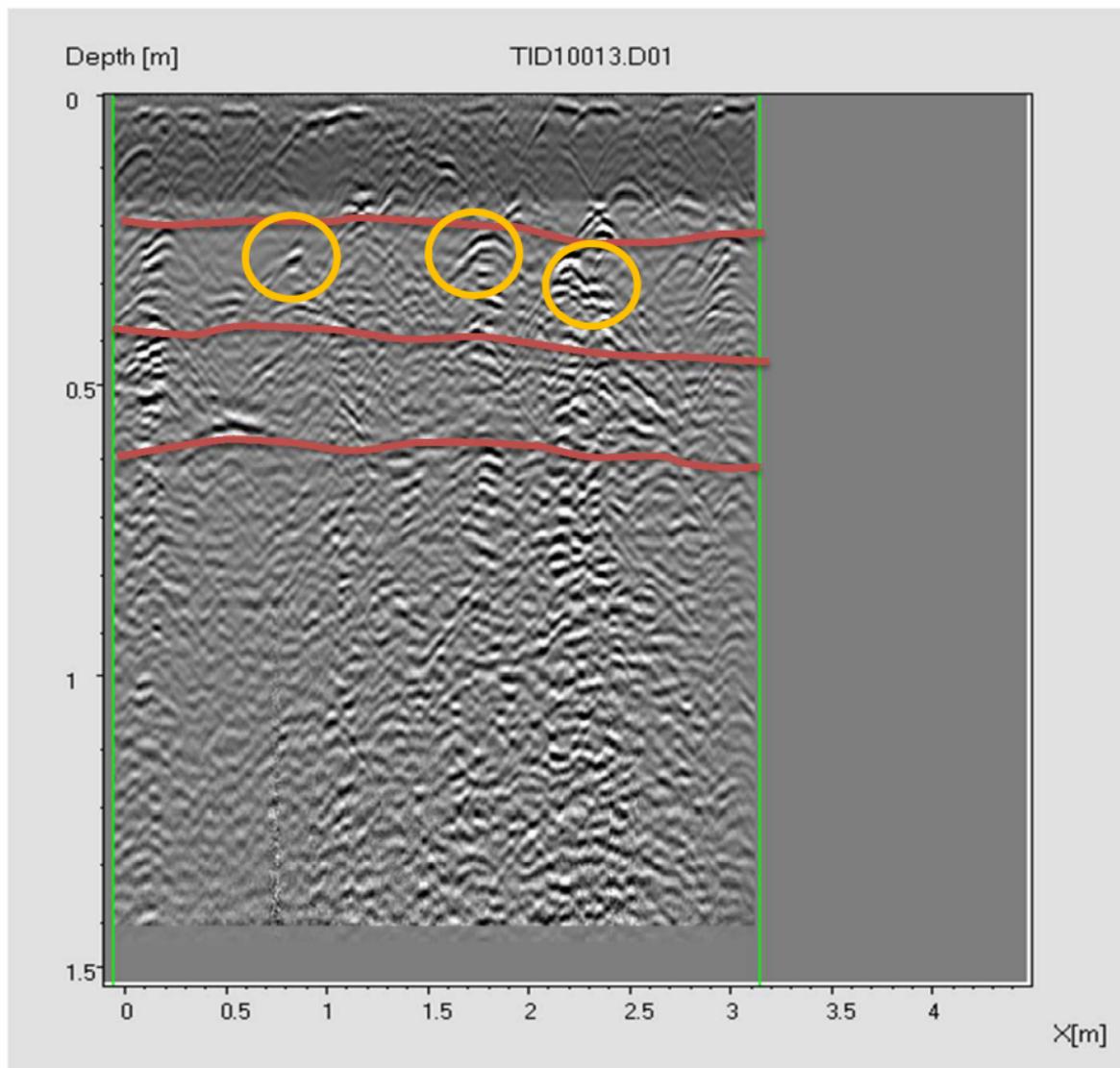
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Primo
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R12



Osservazioni:

Si osserva il doppio paramento murario della struttura, associabile alla tipologia della muratura a sacco; nel cerchio arancione la presenza di vuoti.

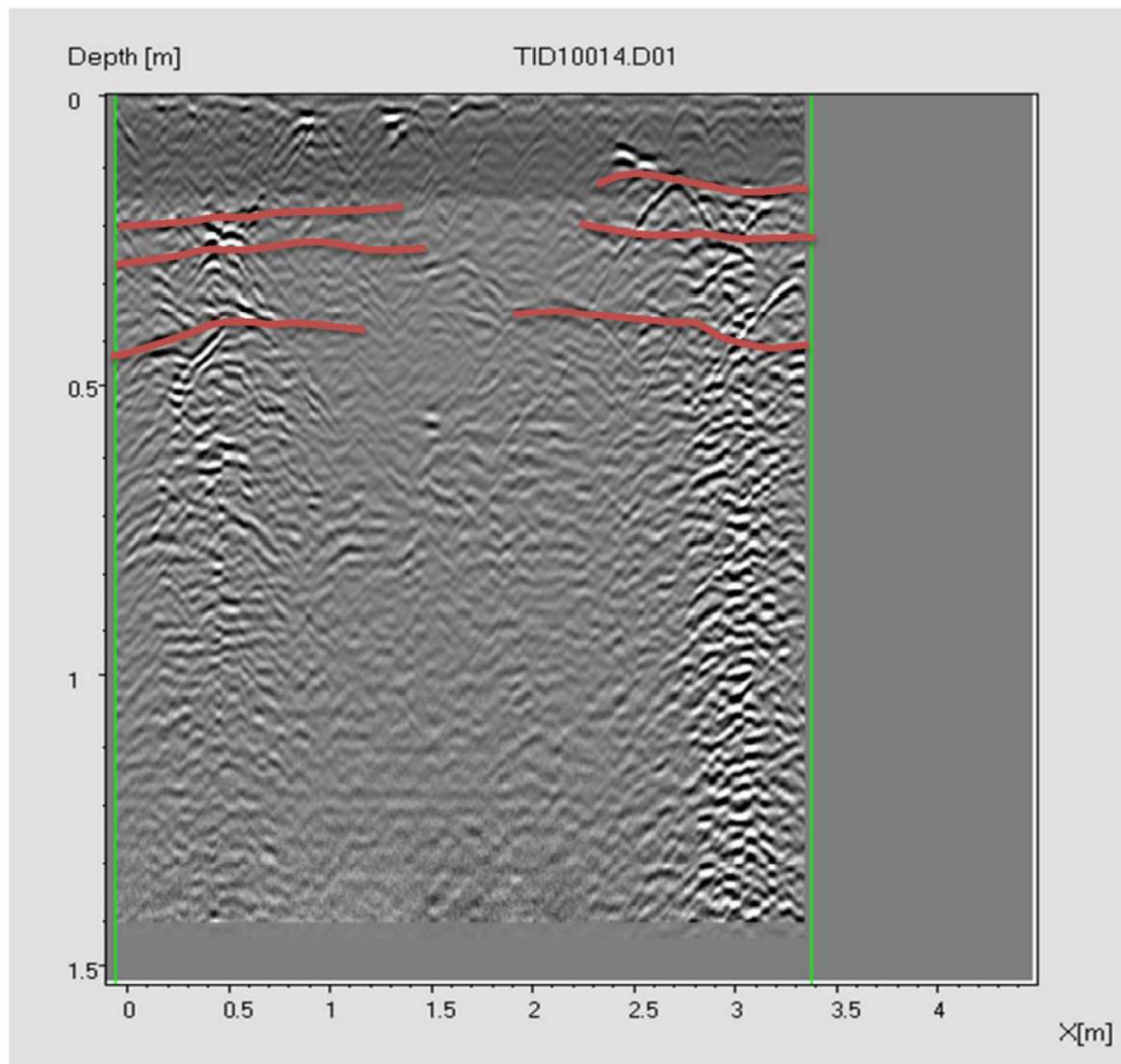
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Primo
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R13



Osservazioni:

Si osserva il doppio paramento murario della struttura, associabile alla tipologia della muratura a sacco; nel cerchio arancione la presenza di vuoti.

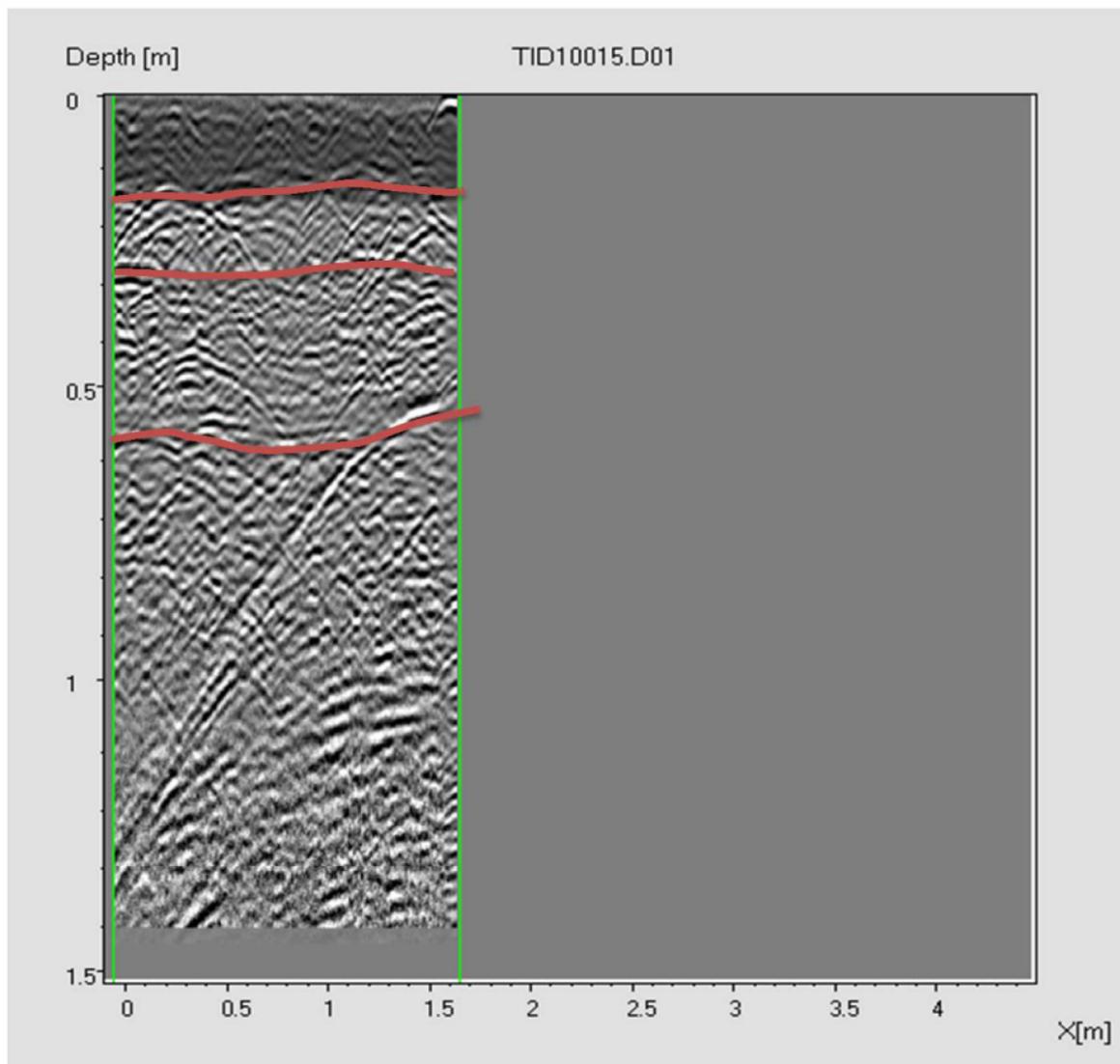
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Primo
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R14



Osservazioni:

Si osserva il doppio paramento murario della struttura, associabile alla tipologia della muratura a sacco; lo strato intermedio ha uno spessore di 10-15 cm.

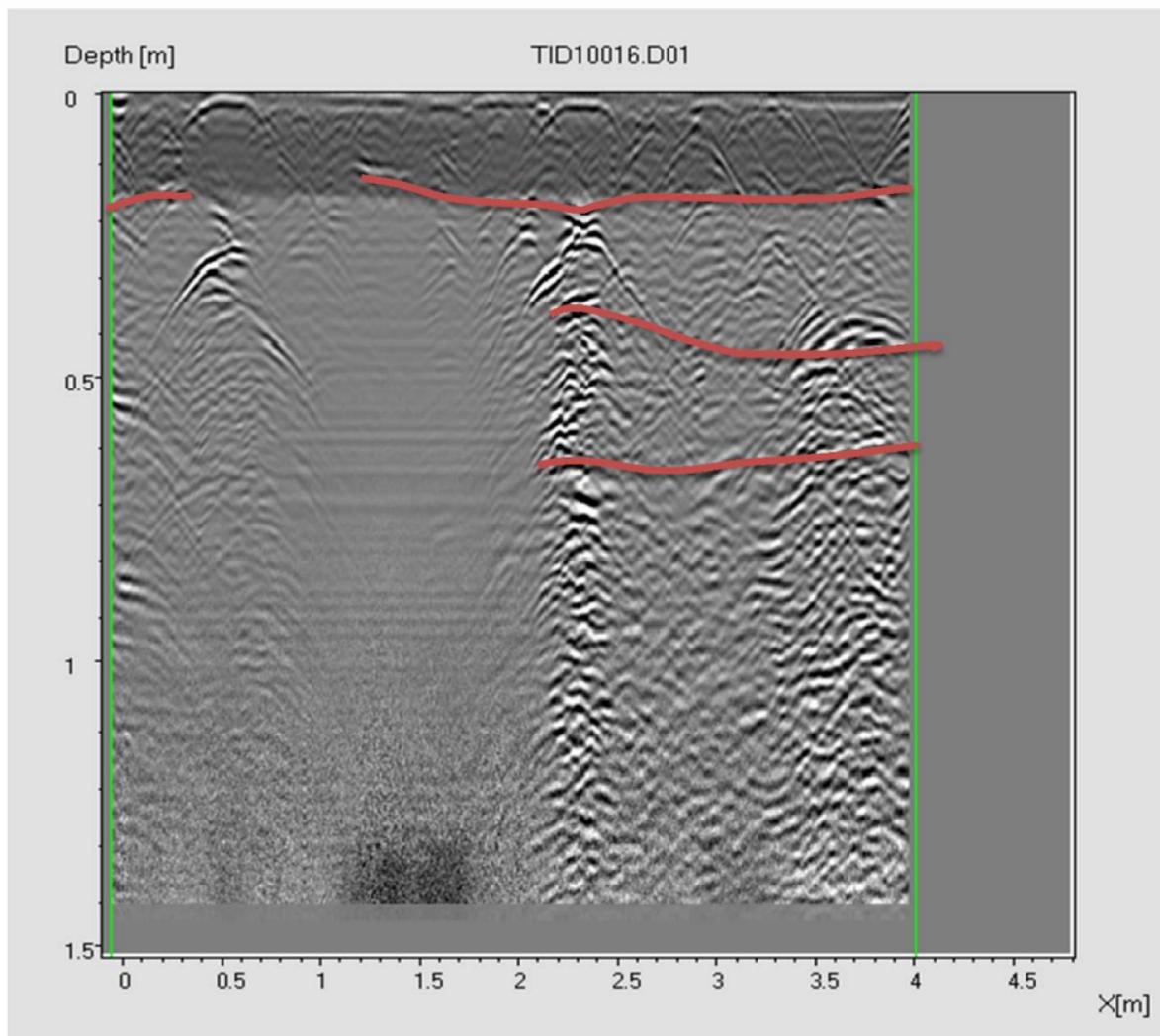
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Primo
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R15



Osservazioni:

Si osserva il doppio paramento murario della struttura, associabile alla tipologia della muratura a sacco.

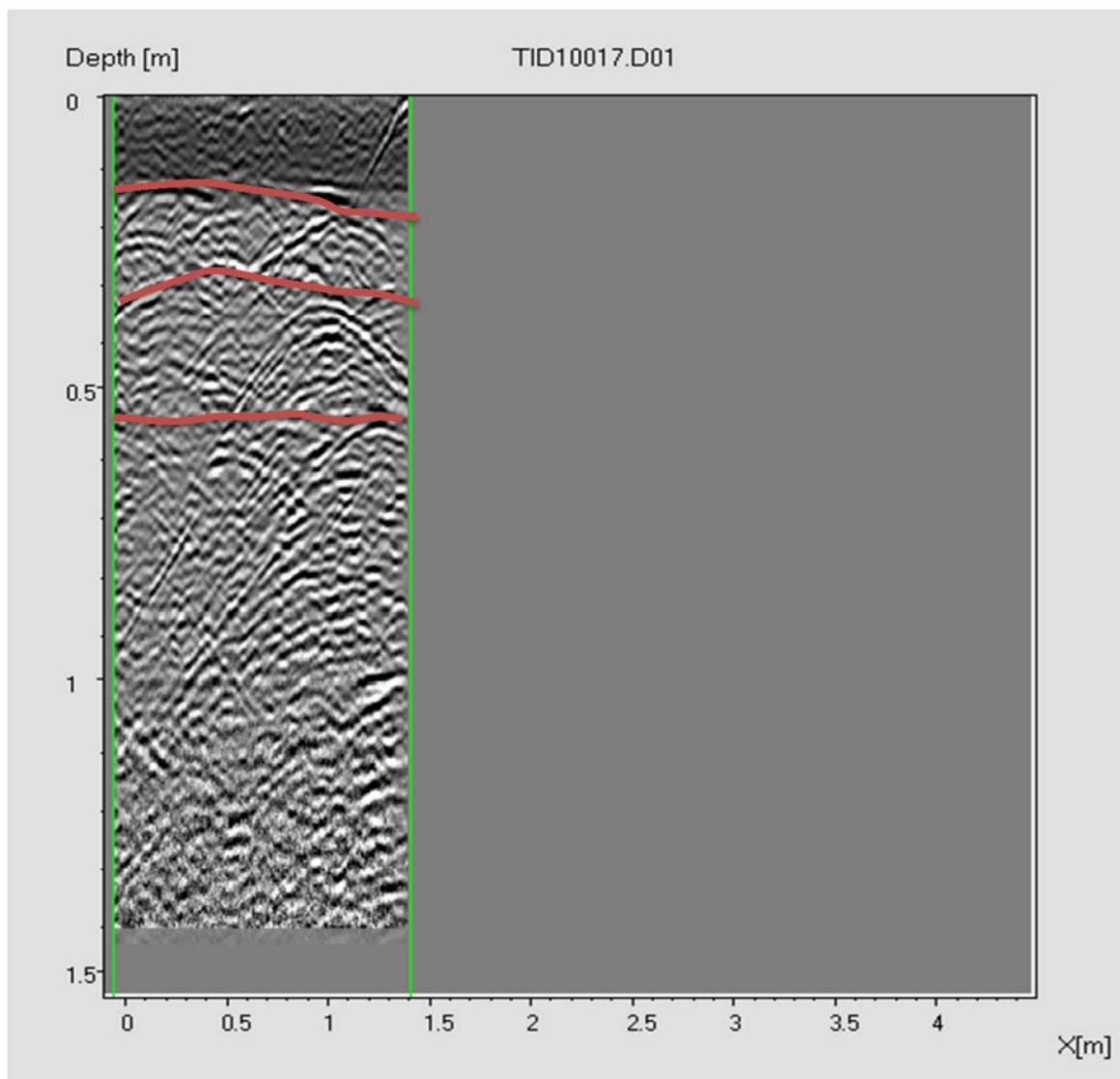
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Primo
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R16



Osservazioni:

Si osserva il doppio paramento murario della struttura, associabile alla tipologia della muratura a sacco.

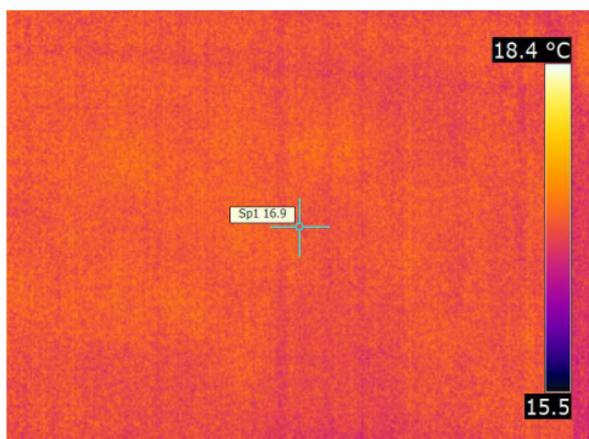
LUOGO PROSPEZIONE	Convento Sant'Antonio, Barletta (BAT)
TIPOLOGIA STRUTTURA	Muri
PIANO	Primo
FREQUENZA	2 GHz
N° SEZIONE	R17



Osservazioni:

Si osserva il doppio paramento murario della struttura, associabile alla tipologia della muratura a sacco.

Data report	28/11/2014		
Società	Landnet Snc	Cliente	Arch. Gerardo Milillo
Indirizzo	via Caracciolo, 7 - Ostuni (BR)	Indirizzo sito	Diagnostica presso complesso conventuale di Sant'antonio
Operatore termografico	Ing. Michele Vitti - cert. 3° liv. RINA	Contatto	Barletta (BA)



Parametri oggetto e immagine

Modello termocamera	ThermaCAM B4
Data immagine	13/11/2014 12:24:01
Nome immagine	IR_1766.jpg
Emissività	0,93
Temperatura riflessa	20,0 °C
Distanza oggetto	2,0 m

Commenti di testo

Descrizione

Dal termogramma si rileva una sostanziale omogeneità termica sulla superficie lapidea.

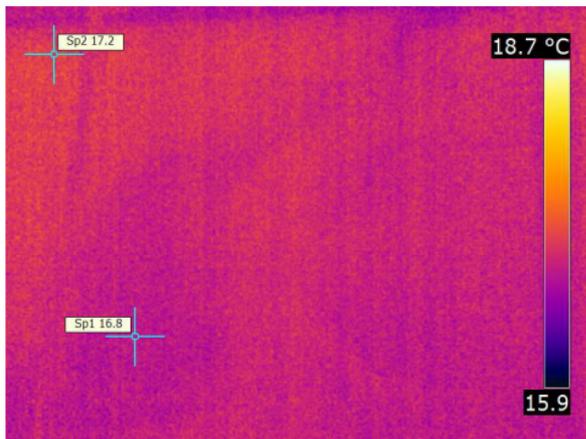
Data report 28/11/2014

Società Landnet Snc
Indirizzo via Caracciolo, 7 - Ostuni (BR)

Cliente Arch. Gerardo Milillo
Indirizzo sito Diagnostica presso complesso conventuale di Sant'antonio

Operatore termografico Ing. Michele Vitti - cert. 3° liv. RINA

Contatto Barletta (BA)



Parametri oggetto e immagine

Modello ThermoCAM B4
termocamera

Data immagine 13/11/2014 12:29:35

Nome immagine IR_1767.jpg

Emissività 0,96

Temperatura riflessa 20,0 °C

Distanza oggetto 2,0 m

Commenti di testo

Descrizione

Dal termogramma si mette in evidenza la presenza di diffusi fenomeni di umidità di condensazione sulla superficie lapidea; esse appaiono come aree più fredde nel termogramma (Sp1).

Data report 28/11/2014

Società Landnet Snc
Indirizzo via Caracciolo, 7 - Ostuni (BR)

Cliente Arch. Gerardo Milillo
Indirizzo sito Diagnostica presso complesso conventuale di Sant'antonio

Operatore termografico Ing. Michele Vitti - cert. 3° liv. RINA

Contatto Barletta (BA)



Parametri oggetto e immagine

Modello ThermoCAM B4
termocamera

Data immagine 13/11/2014 13:09:28

Nome immagine IR_1768.jpg

Emissività 0,96

Temperatura riflessa 20,0 °C

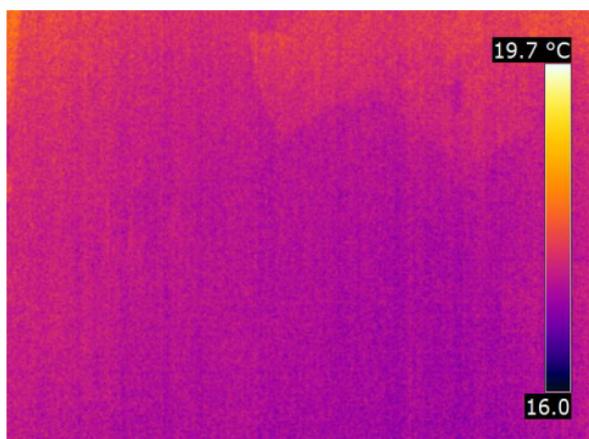
Distanza oggetto 2,0 m

Commenti di testo

Descrizione

Il termogramma non evidenzia l'eventuale presenza di tamponamenti.

Data report	28/11/2014		
Società	Landnet Snc	Cliente	Arch. Gerardo Milillo
Indirizzo	via Caracciolo, 7 - Ostuni (BR)	Indirizzo sito	Diagnostica presso complesso conventuale di Sant'antonio
Operatore termografico	Ing. Michele Vitti - cert. 3° liv. RINA	Contatto	Barletta (BA)



Parametri oggetto e immagine

Modello termocamera	ThermaCAM B4
Data immagine	13/11/2014 13:09:36
Nome immagine	IR_1769.jpg
Emissività	0,96
Temperatura riflessa	20,0 °C
Distanza oggetto	2,0 m

Commenti di testo

Descrizione

Dal termogramma si rileva una sostanziale omogeneità termica sulla superficie lapidea.

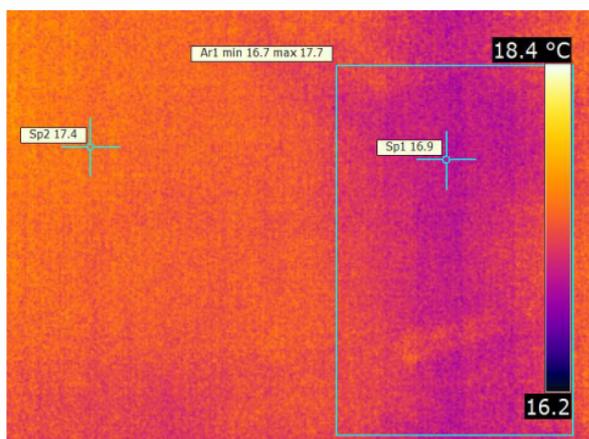
Data report 28/11/2014

Società Landnet Snc
Indirizzo via Caracciolo, 7 - Ostuni (BR)

Cliente Arch. Gerardo Milillo
Indirizzo sito Diagnostica presso complesso conventuale di Sant'antonio

Operatore termografico Ing. Michele Vitti - cert. 3° liv. RINA

Contatto Barletta (BA)



Parametri oggetto e immagine

Modello termocamera	ThermaCAM B4
Data immagine	13/11/2014 13:14:55
Nome immagine	IR_1770.jpg
Emissività	0,96
Temperatura riflessa	20,0 °C
Distanza oggetto	2,0 m

Commenti di testo

Descrizione

Dal termogramma si mette in evidenza la presenza di diffusi fenomeni di umidità di condensazione sulla superficie lapidea; esse appaiono come aree più fredde nel termogramma (Ar1).

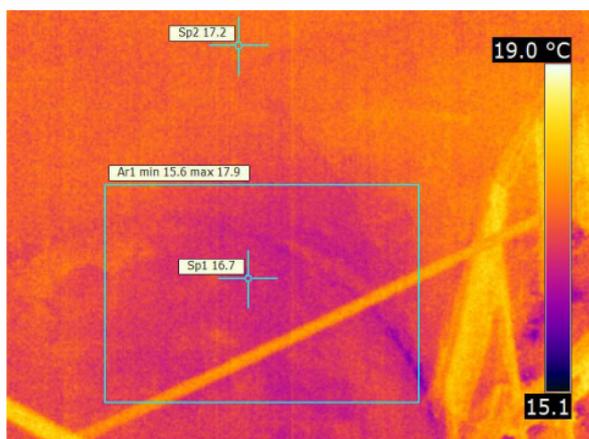
Data report 28/11/2014

Società Landnet Snc
Indirizzo via Caracciolo, 7 - Ostuni (BR)

Cliente Arch. Gerardo Milillo
Indirizzo sito Diagnostica presso complesso conventuale di Sant'antonio

Operatore termografico Ing. Michele Vitti - cert. 3° liv. RINA

Contatto Barletta (BA)



Parametri oggetto e immagine

Modello termocamera	ThermaCAM B4
Data immagine	13/11/2014 13:16:03
Nome immagine	IR_1771.jpg
Emissività	0,96
Temperatura riflessa	20,0 °C
Distanza oggetto	2,0 m

Commenti di testo

Descrizione

Dal termogramma si mette in evidenza la presenza di diffusi fenomeni di umidità di condensazione (Ar1); esse appaiono come aree più fredde nel termogramma (Sp1).

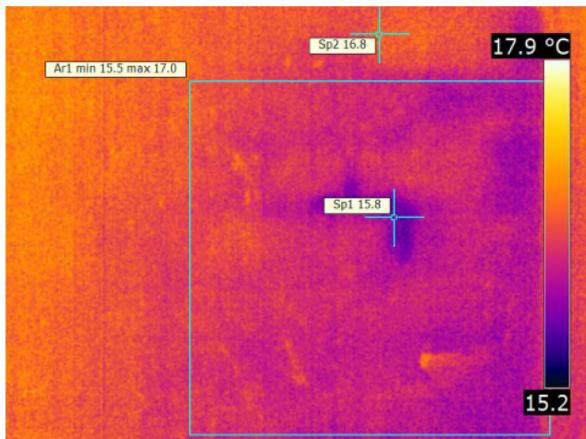
Data report 28/11/2014

Società Landnet Snc
Indirizzo via Caracciolo, 7 - Ostuni (BR)

Cliente Arch. Gerardo Milillo
Indirizzo sito Diagnostica presso complesso conventuale di Sant'antonio

Operatore termografico Ing. Michele Vitti - cert. 3° liv. RINA

Contatto Barletta (BA)



Parametri oggetto e immagine

Modello ThermoCAM B4
termocamera

Data immagine 13/11/2014 13:21:22

Nome immagine IR_1772.jpg

Emissività 0,96

Temperatura riflessa 20,0 °C

Distanza oggetto 2,0 m

Commenti di testo

Descrizione

Dal termogramma si mette in evidenza la presenza di diffusi fenomeni di umidità di condensazione (Ar1) e infiltrazioni di acqua tra le stilature di malta; esse appaiono come aree più fredde nel termogramma (Sp1).

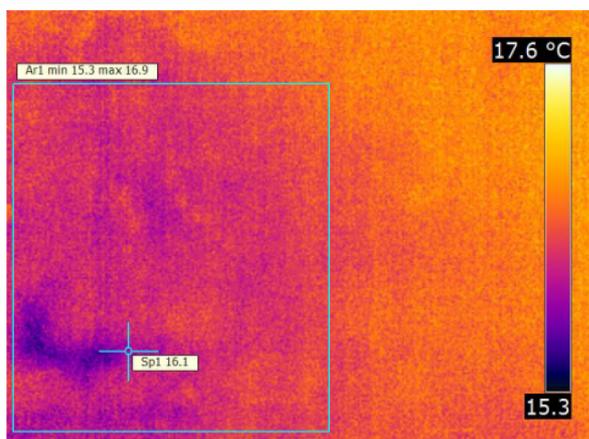
Data report 28/11/2014

Società Landnet Snc
Indirizzo via Caracciolo, 7 - Ostuni (BR)

Cliente Arch. Gerardo Milillo
Indirizzo sito Diagnostica presso complesso conventuale di Sant'antonio

Operatore termografico Ing. Michele Vitti - cert. 3° liv. RINA

Contatto Barletta (BA)



Parametri oggetto e immagine

Modello ThermoCAM B4
termocamera

Data immagine 13/11/2014 13:22:04

Nome immagine IR_1773.jpg

Emissività 0,96

Temperatura riflessa 20,0 °C

Distanza oggetto 2,0 m

Commenti di testo

Descrizione

Dal termogramma si mette in evidenza la presenza di diffusi fenomeni di umidità di condensazione (Ar1) e infiltrazioni di acqua tra le stilature di malta; esse appaiono come aree più fredde nel termogramma (Sp1).

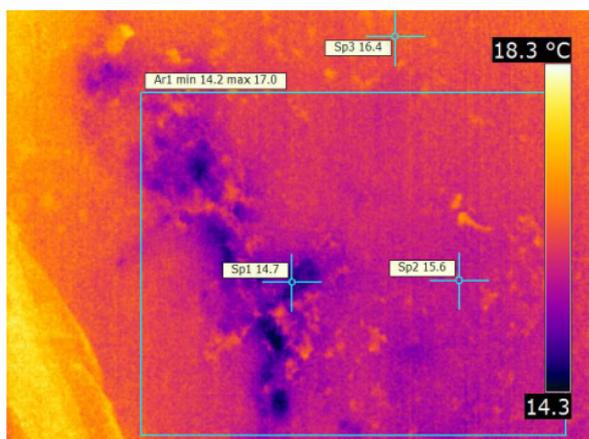
Data report 28/11/2014

Società Landnet Snc
Indirizzo via Caracciolo, 7 - Ostuni (BR)

Cliente Arch. Gerardo Milillo
Indirizzo sito Diagnostica presso complesso conventuale di Sant'antonio

Operatore termografico Ing. Michele Vitti - cert. 3° liv. RINA

Contatto Barletta (BA)



Parametri oggetto e immagine

Modello ThermaCAM B4
termocamera

Data immagine 13/11/2014 13:34:16

Nome immagine IR_1774.jpg

Emissività 0,96

Temperatura riflessa 20,0 °C

Distanza oggetto 2,0 m

Commenti di testo

Descrizione

Dal termogramma si mette in evidenza la presenza di diffusi fenomeni di umidità di condensazione (Ar1) e infiltrazioni di acqua nella muratura ; esse appaiono come aree più fredde nel termogramma (Sp1).

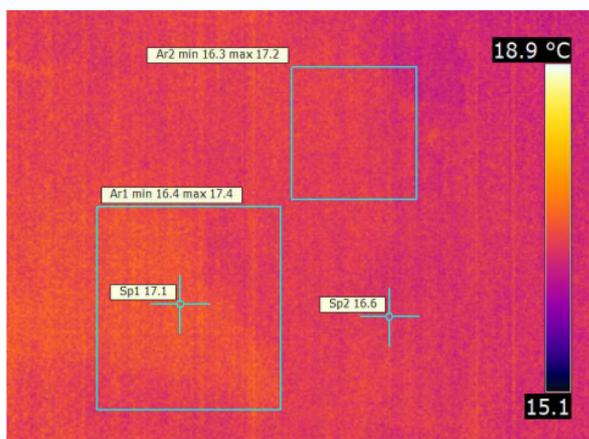
Data report 28/11/2014

Società Landnet Snc
Indirizzo via Caracciolo, 7 - Ostuni (BR)

Cliente Arch. Gerardo Milillo
Indirizzo sito Diagnostica presso complesso conventuale di Sant'antonio

Operatore termografico Ing. Michele Vitti - cert. 3° liv. RINA

Contatto Barletta (BA)



Parametri oggetto e immagine

Modello ThermoCAM B4
termocamera

Data immagine 13/11/2014 13:47:39

Nome immagine IR_1775.jpg

Emissività 0,96

Temperatura riflessa 20,0 °C

Distanza oggetto 2,0 m

Commenti di testo

Descrizione

Sono evidenti probabili distacchi sulla superficie; essi appaiono come aree più calde nel termogramma (Ar1 e Ar2)

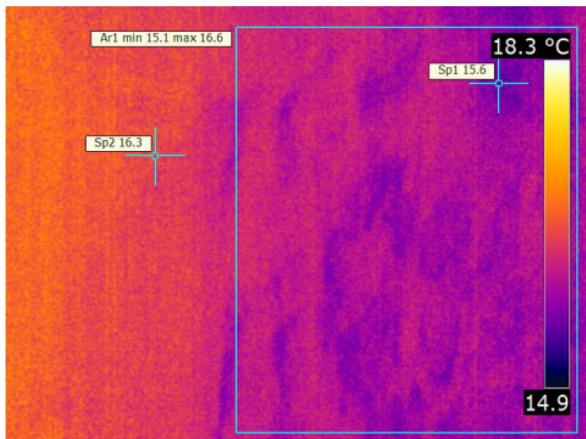
Data report 28/11/2014

Società Landnet Snc
Indirizzo via Caracciolo, 7 - Ostuni (BR)

Cliente Arch. Gerardo Milillo
Indirizzo sito Diagnostica presso complesso conventuale di Sant'antonio

Operatore termografico Ing. Michele Vitti - cert. 3° liv. RINA

Contatto Barletta (BA)



Parametri oggetto e immagine

Modello termocamera ThermaCAM B4

Data immagine 13/11/2014 13:52:33

Nome immagine IR_1776.jpg

Emissività 0,96

Temperatura riflessa 20,0 °C

Distanza oggetto 2,0 m

Commenti di testo

Descrizione

Dal termogramma si mette in evidenza la presenza di diffusi fenomeni di umidità di condensazione (Ar1); esse appaiono come aree più fredde nel termogramma (Sp1).