

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. GALLERIE

PROGETTO DEFINITIVO

Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

NUOVA LINEA FERRANDINA - MATERA LA MARTELLA

INDAGINI 2005


Relazione indagine georadar - Campagna 2005

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

I A 5 F 0 1 D 0 7 R H G N 0 0 0 0 0 0 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	R.MENNUNI <i>R.Mennuni</i>	Luglio 2019	G.MAGLI <i>G.Magli</i>	Luglio 2019	F.GERNONE <i>F.Gernone</i>	Luglio 2019	A.SCIOTTI Luglio 2019 

File: IA5F01D07RHGN0000003A.dwg

n. Elab.:

	<p>Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</p> <p>NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA</p>												
<p>Relazione indagine georadar - Campagna 2005</p>	<table border="1"> <tr> <td>PROGETTO</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IA5F</td> <td>01</td> <td>D 07 RH</td> <td>GN0000 003</td> <td>A</td> <td>2 DI 14</td> </tr> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IA5F	01	D 07 RH	GN0000 003	A	2 DI 14
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IA5F	01	D 07 RH	GN0000 003	A	2 DI 14								

INDICE

1. INTRODUZIONE	2
2. PRINCIPIO DEL METODO GEORADAR	2
3. PROSPEZIONE GEORADAR.....	5
3.1 MODALITÀ OPERATIVE.....	5
3.2 IMPOSTAZIONE DI MISURA.....	6
3.3 ELABORAZIONE DATI.....	6
4. INTERPRETAZIONE E PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	7
5. CONCLUSIONI	10

1. Introduzione

È stata condotta una indagine georadar sui rivestimenti della galleria Miglionico. L'indagine ha interessato con continuità tutto il tratto di singolo binario, per una lunghezza complessiva di 3726 m. Sono state eseguite due scansioni sul lato pari e sul lato dispari all'altezza del piano dei centri ed una scansione in chiave di calotta.

La finalità primaria di tale prospezione è quella di investigare con continuità le geometrie del rivestimento di calcestruzzo ed in particolare il suo spessore. Il metodo permette di rilevare anche la presenza di centine ed il loro interasse e la presenza di armature nel calcestruzzo, che però può costituire una fonte di disturbo per la determinazione degli spessori. Sono inoltre rilevabili cavità nei rivestimenti e la presenza di zone umide.

Le indagini georadar sono principalmente consistite in:

- esecuzione dei test in sito;
- esecuzione dei rilievi in sito;
- elaborazione ed interpretazione dei dati dei rilievi.

Il rilievo in galleria è stato eseguito nei giorni compresi tra il 25 ed il 28 luglio 2005.

2. Principio del metodo georadar

La tecnica georadar (Ground Penetration Radar - GPR) permette di studiare il sottosuolo attraverso l'analisi delle modalità di propagazione delle onde elettromagnetiche con lunghezza di alcune decine di centimetri.

Mediante un'antenna, trainata a velocità costante lungo una linea di prospezione, vengono inviati nel mezzo da indagare impulsi di energia elettromagnetica caratterizzati da una brevissima durata (qualche nanosecondo) e da un'elevata cadenza di emissione (decine di kHz).

Con una seconda antenna si rilevano per un tempo prestabilito e si trasformano in segnali elettrici gli impulsi riflessi dalle superfici di contatto tra materiali a differente costante dielettrica.

I segnali elettrici così ottenuti (echi radar) vengono registrati su un computer, elaborati e riprodotti in modo da costruire una sezione definita in ordinate dai tempi di analisi del segnale riflesso e in ascisse dalle distanze riferite al punto di inizio della prospezione. Su questa sezione la profondità di una superficie riflettente può essere determinata utilizzando la seguente formula:

$$h = \frac{V_m \cdot t}{2}$$

dove: h è la profondità di un punto riflettente in metri,

t è il tempo di riflessione direttamente deducibile dalle sezioni radar in secondi,

V_m è la velocità degli impulsi radar nel materiale investigato in m/s

La velocità V_m con la quale si propagano le onde elettromagnetiche in un mezzo materiale è legata alle proprietà elettriche (costante dielettrica) e magnetiche (permeabilità) del mezzo stesso secondo la seguente formula di Maxwell:

$$V_m = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \epsilon_o \cdot \mu_r \mu_o}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

dove:

- $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_o$ e $\mu = \mu_r \mu_o$ sono rispettivamente la permittività dielettrica e la permeabilità magnetica del materiale investigato, con:
 ϵ_r permittività (o costante dielettrica) relativa,
 μ_r permeabilità relativa,
 $\epsilon_o = 8,854 \times 10^{-12}$ F/m permittività dielettrica del vuoto,
 $\mu_o = 1,257 \times 10^{-6}$ H/m permeabilità magnetica del vuoto,
- $c = 1/\sqrt{\epsilon_o \mu_o} = 2,998 \times 10^8$ m/s è la velocità delle onde elettromagnetiche nel vuoto,
- $\mu_r \cong 1$ per tutti i materiali non magnetici come quelli in genere investigati con il radar geofisico

Nella letteratura tecnica riguardante il sistema GPR si trovano i valori di ϵ_r e V_m relativi a

molti materiali investigati con questo sistema, come per esempio quelli riportati in seguito:

Materiale	Costante dielettrica,	velocità V_m [m/ns]
Aria	1	0,30
Acqua	81	0,033
Argille	5 – 40	0,06
Calcare	4 – 8	0,12
Calcestruzzo buono asciutto	6	0,12
Calcestruzzo buono bagnato	10,9	0,09
Calcestruzzo fratturato asciutto	4,5	0,14
Calcestruzzo fratturato bagnato	13,7	0,08
Granito	4 – 6	0,13
Sabbia bagnata	20 – 30	0,06
Sabbia asciutta	3 – 5	0,15
Muratura	6	0,12
Asfalto	3	0,17

I parametri che maggiormente influenzano l'accuratezza dell'indagine radar sono la massima profondità d'investigazione e il potere risolutivo.

Il potere risolutivo è pari a metà della lunghezza d'onda, cioè uguale a $V_m \cdot f / 2$ (dove f è la frequenza del segnale radar espressa in Hz).

La profondità di investigazione dipende invece da molti fattori tra cui:

- la sensibilità del ricevitore,
- l'indice di riflessione degli oggetti inglobati nel calcestruzzo,
- la dispersione del fascio d'antenna che dipende dal quadrato della distanza,
- l'attenuazione subita dagli impulsi radar che viene espressa dalla formula: $Att = e^{-\alpha x}$, dove α è un coefficiente che dipende dalla frequenza degli impulsi radar e dalle proprietà dielettriche del mezzo investigato (per esempio per la muratura, ad una frequenza di

1000 MHz, α risulta variabile tra 5 e 25 dB/m secondo la percentuale di umidità in esso contenuta) e x è la distanza dall'antenna trasmittente.

Poiché la frequenza influisce sia sul potere risolutivo sia sulla profondità di investigazione, le antenne ad alta frequenza (1000 MHz) sono impiegate per la ricerca di piccole anomalie poco profonde e le antenne a bassa frequenza (80 MHz) per la prospezione di anomalie più importanti e profonde. Tipicamente se si indaga il sottosuolo con un'antenna di 1000 MHz si potrà ottenere una risoluzione di 5 cm ed una profondità di investigazione dell'ordine di 30 cm o meno a secondo del grado di umidità del calcestruzzo in esame.

La penetrazione degli impulsi radar è infatti molto più grande nei materiali resistivi che in quelli conduttivi; per la stessa frequenza può essere inferiore al metro in sabbie argillose e di alcune decine di metri in calcari compatti.

3. Prospezione georadar

3.1. Modalità operative

Per l'esecuzione dei rilievi è stato impiegato il sistema radar geofisico della IDS (Ingegneria dei Sistemi – Pisa), corredato da un'antenna con centro frequenza di 200 MHz e da un'antenna con centro frequenza 900 MHz. Le antenne sono dotate di rotelle con dispositivo encoder per la contemporanea acquisizione della lunghezza percorsa.

Il mezzo di locomozione utilizzato per il rilievo è stato un furgone dotato di cassone mediante il quale è stato possibile percorrere la galleria ad una velocità costante di circa 3 km/h. L'antenna è stata trascinata direttamente da un operatore nel caso della scansione del rene pari, mentre per la scansione del rene dispari e della calotta è stata utilizzata un'asta porta antenna appositamente progettata per la geometria e per le caratteristiche della galleria in oggetto. Tale asta, vincolata al piano del furgone, era comunque manovrata dall'operatore.

Le principali problematiche che si sono dovute affrontare sono relative al fatto che il piano di calpestio della galleria è molto sconnesso, quindi è risultato particolarmente difficile far in modo che l'antenna seguisse un percorso rettilineo ed in oltre particolare attenzione è

stata posta nell'ammortizzare i contraccolpi trasmessi dal furgone. Ciò ha causato che in alcuni punti è avvenuto il distacco dell'antenna dalla superficie del rivestimento che ha provocato un forte disturbo nel dato acquisito.

Altre problematiche sono state relative agli ostacoli che venivano incontrate sulla linea di scansione, i quali anche essi hanno comportato il distacco dell'antenna dalla superficie o piccole deviazioni per aggirare l'ostacolo.

Contemporaneamente alla fase di prospezione veniva marcata, e memorizzata nei file di acquisizione, la posizione delle nicchie e delle sezioni in cui sono stati eseguiti i carotaggi che man mano venivano incontrate lungo la linea di scansione. Questa operazione è stata necessaria per georeferenziare lungo il tracciato della galleria le strisciate radar e al fine di cercare, in fase di elaborazione dati, un riscontro tra gli spessori di calcestruzzo determinati mediante georadar e quelli emersi dalla campagna di indagini strutturali e quindi operare una taratura del rilievo.

3.2. *Impostazione di misura*

In base ad esperienze acquisite in indagini in analoghe situazioni, si è ritenuto opportuno eseguire i rilievi con una antenna da 200 e 900 Mhz. Tale scelta è stata supportata anche da una serie di test preliminari, i quali hanno confermato che la configurazione di acquisizione era idonea per investigare i rivestimenti della galleria in relazione alle complesse condizioni di rilievo, quali il piano di calpestio molto sconnesso, la presenza di ampie aree umide, armatura metallica all'intradosso di molti tratti del rivestimento.

Il tempo di analisi dei segnali radar (durata della registrazione di ogni singolo segnale) è stato fissato ad un valore di circa 100 ns, che corrisponde, considerando una velocità media degli impulsi radar pari a 10 cm/ns, ad indagare sino ad una profondità di circa 6 m dalla superficie.

3.3. *Elaborazione dati*

I dati raccolti in sito sono stati registrati sul sistema georadar e successivamente sono stati elaborati su Personal Computer utilizzando il programma GresWin2 della IDS.

Le principali operazioni di elaborazione sono consistite in:

- applicazione di filtri verticali (nel dominio del tempo) e orizzontali (nel dominio dello spazio) per eliminare i vari disturbi presenti nei dati rilevati;
- rappresentazione dei segnali con opportune scale per esaltare le riflessioni di interesse.

Il software di elaborazione restituisce dei diagrammi in cui in ascissa sono rappresentate le distanze ed in ordinata i tempi di arrivo a cui corrispondono le profondità sulla base di quanto esposto nel paragrafo 2. Tali diagrammi schematizzano una sezione radar del mezzo sottoposto a prospezione e significativa per i primi 2 m oltre l'intradosso della galleria. Questa misura è funzione delle condizioni del rilievo e del mezzo indagato. Per la visualizzazione si è preferito utilizzare una scala grafica in toni di grigio per esaltare maggiormente le riflessioni rilevate.

4. Interpretazione e presentazione dei risultati

Lo scopo principale della prospezione radar è quello di determinare con continuità lo spessore del rivestimento, almeno per quello che consente il rilievo in funzione della qualità della sezione radar ottenuta.

Gli elementi metallici del rivestimento della galleria sono quelli che meglio vengono rilevati grazie all'elevato contrasto di costante dielettrica rispetto al calcestruzzo, ma allo stesso tempo, a causa dell'elevata frazione riflessa, schermano ciò che è posto al di là dell'elemento metallico. Le strutture che emergono chiaramente sono le centine e l'armatura metallica del calcestruzzo. Le prime indicano abbastanza precisamente il contatto tra rivestimento definitivo e prerivestimento; invece l'armatura nel calcestruzzo sotto forma di rete elettrosaldata, trovandosi molto spesso all'intradosso impediscono la penetrazione delle onde entro il rivestimento. Questo avviene soprattutto in calotta dove la rete si trova in superficie, con spessori di copriferro quasi nulli. Quando, invece, la rete si trova ad almeno 15 cm entro il getto, allora la capacità di penetrazione delle onde radar è molto maggiore e quindi è possibile investigare il rivestimento fino alle centine. Anche in corrispondenza del calcestruzzo umido la profondità di penetrazione delle onde è molto scarsa a causa della elevata costante dielettrica del mezzo e quindi è impossibile stimare lo

spessore del rivestimento.

In fig. 4.1 è mostrato un dettaglio di una sezione radar in cui è chiaro l'effetto prodotto dalle centine, ossia le iperboli dovute alle riflessioni sull'elemento metallico.

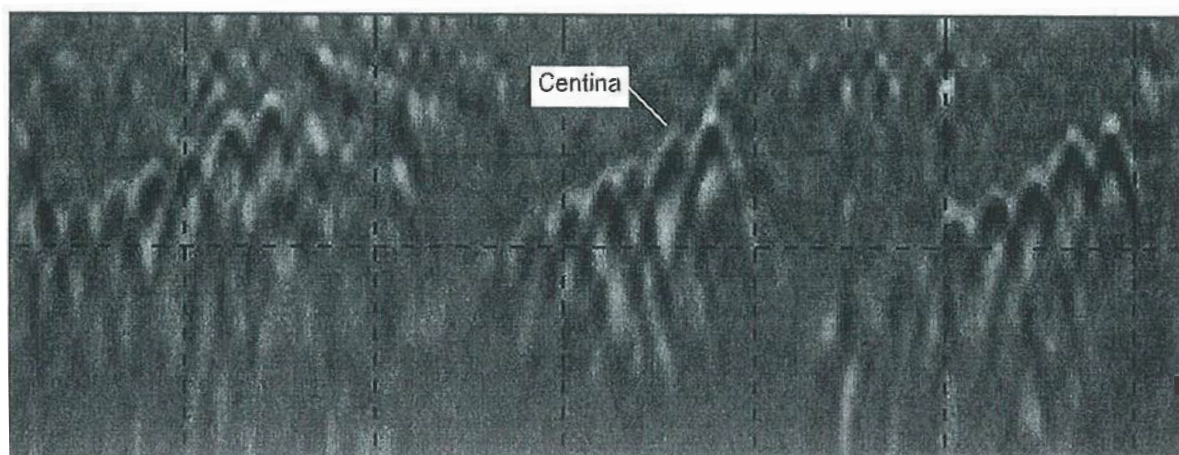


Fig. 4.1

In fig.4.2 è mostrato l'effetto della rete elettrosaldata all'intradosso del rivestimento. Sono visibili le iperboli la cui dimensione è proporzionale al passo della rete metallica, mentre a maggiore profondità sono visibili solo gli effetti delle riflessioni.



Fig. 4.2

Sulla base delle osservazioni che si possono compiere su sezioni radar chiare come quella mostrata in fig. 4.1 è stata determinata la geometria del rivestimento definitivo tracciando una linea che raccorda i punti in cui inizia la riflessione della centina. Così facendo si

schematizza la linea di separazione tra rivestimento e prerivestimento. In tal modo lo spessore del rivestimento può essere determinato in maniera continua misurando la profondità della linea di separazione. Riguardo al prerivestimento, questo è schermato dalla centina stessa. L'unico dato che si può trarre è la spaziatura delle centine.

In fig.4.3 è mostrato a titolo di esempio una sezione radar relativa al rene dispari nel tratto compreso tra le progressive 6+745 e 6+815. È possibile osservare chiaramente la geometria del rivestimento a dente di sega, con spessori del calcestruzzo variano tra 1.30 m e 0.20 m. Tale geometria è dovuta alla tipologia di avanzamento per la quale sono stati adottati interventi di pre-sostegno mediante infilaggi.

In figura è mostrata anche l'ubicazione del sondaggio che è stato incontrato durante la scansione radar. È possibile osservare che nell'ambito di pochi centimetri di errore, c'è una buona corrispondenza tra la misura diretta di spessore di rivestimento e la misura indiretta mediante georadar.

In fig. 4.4 è mostrato un tratto di scansione in calotta tra le progressive 3+845 e 3+877 che rappresenta un tipico esempio dove la rete elettrosaldata metallica nell'intradosso impedisce di investigare il rivestimento. Sono visibili gli effetti delle riflessioni che si propagano per tutta la sezione radar. L'unico dato che si può desumere da sezioni del genere è la presenza di armatura e la sua profondità.

La fig. 4.5 mostra il tratto tra 4+565 e 4.587 del rene dispari dove la profondità di penetrazione è ridotta a causa, probabilmente, dall'elevato contenuto d'acqua del calcestruzzo. La sezione è poco chiara ed il limite del rivestimento è solo intuibile. In casi come questo lo si ritiene incerto.

L'elaborato "Profili dell'indagine georadar" contiene le sezioni georadar relative alle reni e alla calotta, per l'estensione del tratto a singolo binario. In ogni sezione è riportata in ascissa la distanza progressiva ed in ordinata la profondità, fino ad un massimo di 3 m. La sezione contiene inoltre il dato interpretato, ossia il limite dell'estradosso del rivestimento, in cui si è distinto il limite certo dal limite incerto. Inoltre è riportata la traccia dell'armatura metallica costituita da rete elettrosaldata con modesto copriferro. Come riferimento sono indicate le posizioni delle nicchie e delle sezioni di indagine strutturale,

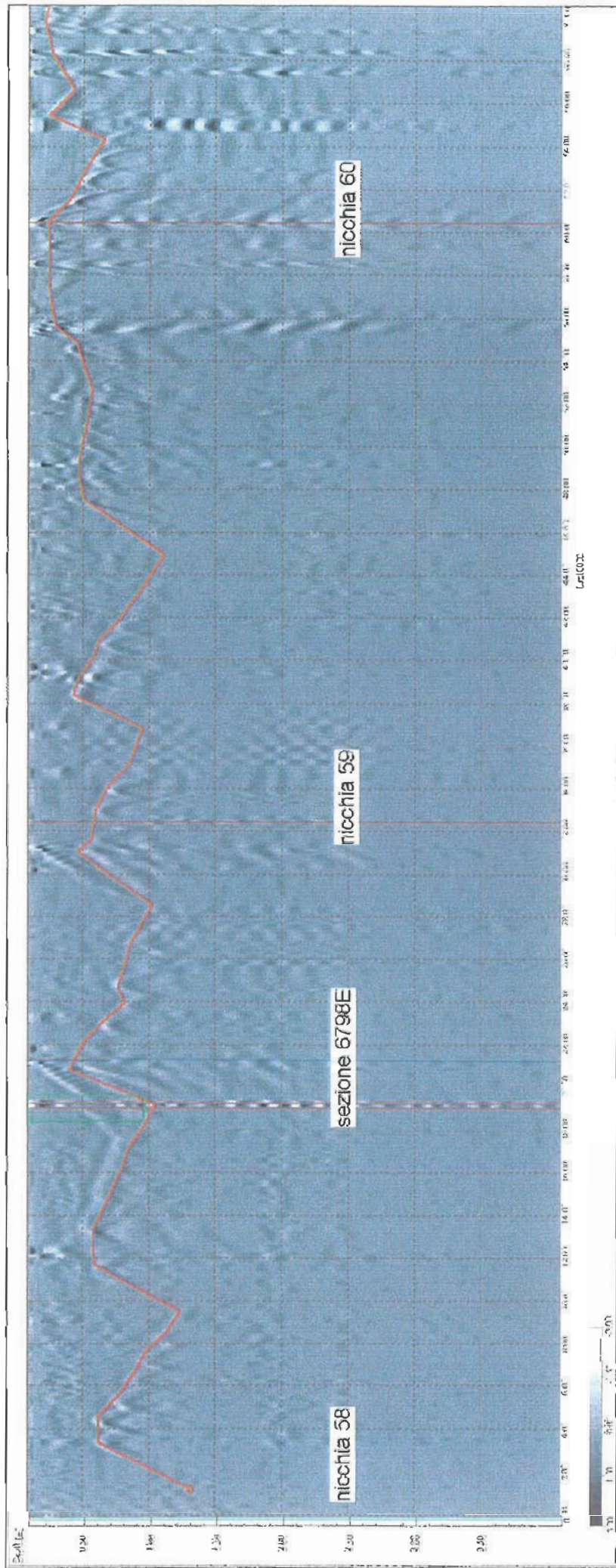
dove, con apposito simbolismo, è riportato il sondaggio eseguito durante la campagna di indagini strutturali, in modo da fornire un controllo diretto del dato interpretato. L'elaborato contiene inoltre una tavola in cui sono riportati i profili dell'estradosso del rivestimento.

5. Conclusioni

L'indagine georadar, pur essendo un metodo indiretto, ha permesso di definire la geometria del rivestimento della galleria Miglionico. Ciò nonostante le difficoltà incontrate durante il rilievo in cantiere e le condizioni del calcestruzzo non sempre favorevoli a questo tipo di indagine, come ad esempio il piano stradale sconnesso, l'umidità del calcestruzzo e l'armatura in superficie del rivestimento. D'altro canto la campagna di perforazioni eseguita contemporaneamente ha permesso di tarare i risultati sulla base di indagini dirette. Di seguito sono elencati i punti salienti emersi dall'elaborazione del rilievo.

- Dal punto di vista qualitativo la geometria del rivestimento definitivo, se vista secondo sezioni longitudinali, ha una forma tipo a dente di sega; ossia lo spessore varia tra un minimo ed un massimo, con un'escursione di 0.60-0.80 m, in seguito alle modalità di scavo della galleria.
- Gli spessori variano entro range molto ampi; in particolare per il rene dispari si ha una variazione tra 0.15 m e 1.98 m ed un valore medio approssimativo di 0.95 m; per il rene pari i valori oscillano tra 0.23 m e 2.09 m, con un valore medio di circa 0.80 m; per la calotta infine si hanno valori compresi tra 0.16 m e 1.96 m, con uno spessore medio di 0.75 m circa.
- Quanto concerne i sottospessori (valori minori di 0.50 m), li si riscontrano soprattutto in prossimità del cambio di sezione, sia nel lato Matera che nel lato Ferrandina; in particolare in quest'ultima zona, il rilievo sul rene dispari ha evidenziato un tratto di circa 330 m di spessori molto ridotti, fino ad un minimo di 15 cm. Tratti di limitata lunghezza caratterizzati da sottospessori si trovano intorno alle progressive 5+200, 5+700.
- In linea di massima i tratti in cui si hanno informazioni meno certe o assenti del tutto

sono ubicati nella porzione centrale della galleria, orientativamente tra le progressive 4+700 e 5+500. In questo tratto presumibilmente il disturbo è dovuto all'elevato contenuto d'acqua nel calcestruzzo. Una conferma di ciò deriva dal rilievo visivo da dove emerge una certa corrispondenza tra aree umide e carenza di informazioni.

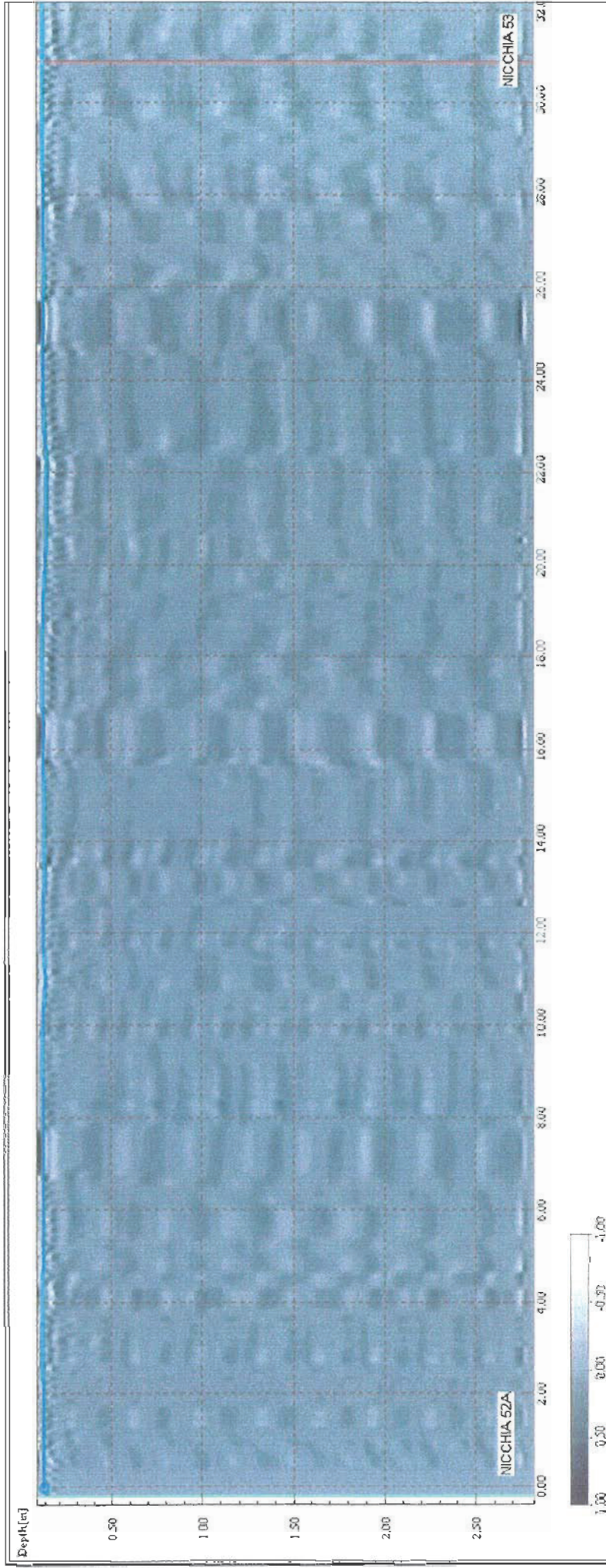


ESTRADOSSO DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO <DATO CERTO>

ESTRADOSSO DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO <DATO INCERTO>

RETE ELETTROSALDATA

SONDAGGIO NEL RIVESTIMENTO

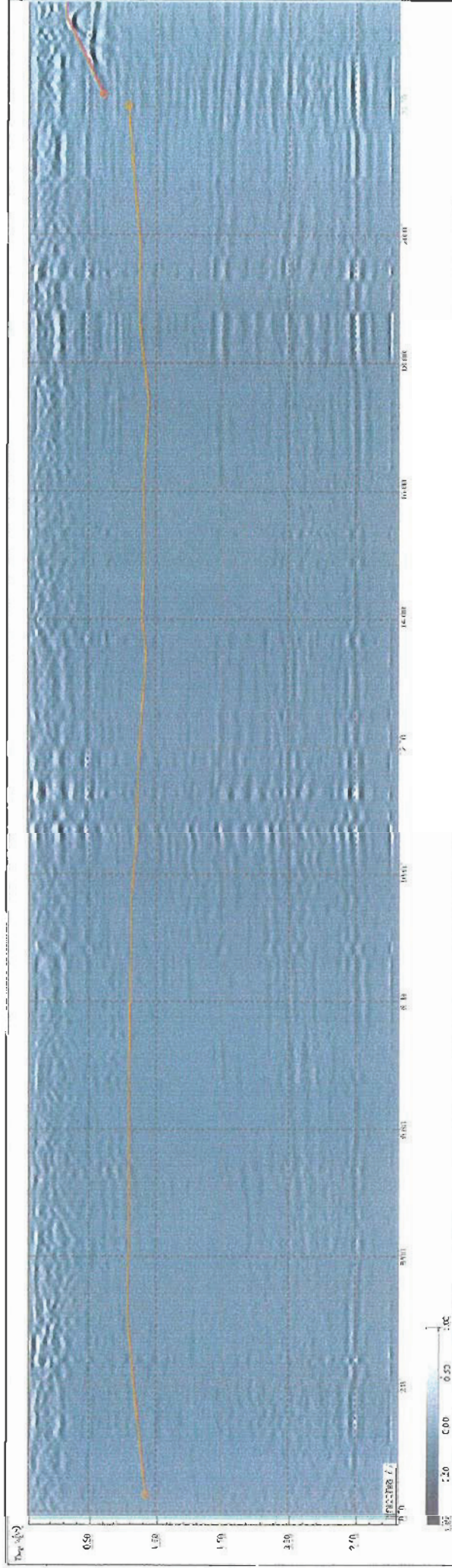


ESTRADOSSO DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO <DATO CERTO>

ESTRADOSSO DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO <DATO INCERTO>

RETE ELETTROSALDATA

SONDAGGIO NEL RIVESTIMENTO



- ESTRADOSSO DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO <DATO CERTO>
- ESTRADOSSO DEL RIVESTIMENTO DEFINITIVO <DATO INCERTO>
- RETE ELETTROSALDATA

SONDAGGIO NEL RIVESTIMENTO

