

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

INDAGINI SPERIMENTALI



COMMITTENTE: PROVINCIA DI AREZZO
Piazza della Libertà, 3
52100 Arezzo (AR)

STRUTTURA: Ponte sul fosso di Montegiovi

LOCALITÀ: S.P. 43 Libbia al km 7+310
Loc. Ponte alla Chiassa, Comune di Arezzo (AR)

Il Tecnico Sperimentatore
Certificato di livello 2
Bureau Veritas - Accredia
Regolamento IT-IND-REG-02_NDT.CIV
Dott. Ing. Mauro Trequattrini

Il Direttore del Laboratorio
Certificato di livello 3
Bureau Veritas - Accredia
Regolamento IT-IND-REG-02_NDT.CIV
Dott. Ing. Paolo Neri

Il Tecnico Sperimentatore
Certificato di livello 2
Rina Services Spa - Accredia
Regolamento NDT UNI EN ISO 9712
Dott. Geol. Riccardo Maria Bistocchi

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

INDICE

1. PREMESSA	3
2. RIFERIMENTO NORMATIVO	4
3. PROGRAMMA DI INDAGINE	4
4. INDAGINI SPERIMENTALI SU MATERIALI E STRUTTURE.....	5
4.1. <i>UBICAZIONE IN PIANTA DELLE ZONE DI PROVA</i>	<i>5</i>
4.2. <i>STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....</i>	<i>6</i>
4.3. <i>PROVA DI DUREZZA</i>	<i>7</i>
4.4. <i>PROVA MAGNETOMETRICA A MEZZO FERROSCAN.....</i>	<i>10</i>
5. INDAGINI RADAR.....	22
5.1. <i>UBICAZIONE IN PIANTA DELLA ZONA DI PROVA</i>	<i>23</i>
5.2. <i>METODOLOGIA INDAGINI RADAR</i>	<i>24</i>
5.3. <i>TECNICA DI INDAGINE RADAR.....</i>	<i>27</i>
5.4. <i>APPROCCIO ANALITICO INDAGINE RADAR</i>	<i>30</i>
5.5. <i>ELABORAZIONE RILIEVI RADAR.....</i>	<i>31</i>
6. ALLEGATI.....	33
ALLEGATO I - CERTIFICATI DI TARATURA.....	33
ALLEGATO II - CERTIFICAZIONE DEL PERSONALE TECNICO.....	34

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

1. PREMESSA

Unilab Sperimentazione S.r.l. è stata incaricata dalla PROVINCIA DI AREZZO di eseguire indagini su strutture e materiali presso il ponte sul fosso di Montegiovi, lungo la S.P.43 Libbia al km in località Ponte alla Chiassa del Comune di Arezzo (AR). Le indagini in situ sono state effettuate il giorno 16 maggio 2024 alla presenza dell'Ing. Luca Pigolotti per la Provincia di Arezzo e dell'Ing. Pietro Cipollone per la SPER S.r.l..

Gli Sperimentatori che hanno eseguito le prove e redatto il presente rapporto di prova sono Tecnici Certificati 2° e 3° livello da Bureau Veritas e RINA SPA – Accredia, secondo il Regolamento IT-IND-REG-02_NDT.CIV e RINA (ISO 9712). Si allegano i certificati dei singoli Tecnici.



Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

2. RIFERIMENTO NORMATIVO

<i>NTC 2018</i>	<i>Norme tecniche per le costruzioni</i>
<i>Regolamento BV: IT-IND-REG-02_NDT.CIV</i>	<i>Regolamento gestionale per la certificazione del personale incaricato alle prove non distruttive sulle strutture civili e sui beni culturali ed architettonici.</i>
<i>UNI 11931:2024</i>	<i>Certificazione del personale tecnico addetto alle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile e dei beni culturali ed architettonici</i>
<i>UNI EN ISO 6506-1</i>	<i>Materiali metallici - Prova di durezza Brinell - Parte 1: Metodo di prova</i>
<i>UNI EN ISO 18265</i>	<i>Materiali metallici - Conversione dei valori di durezza</i>
<i>BS 1881-201:1</i>	<i>Testing concrete - Part 201. Guide to the use of non-destructive methods of test for hardened concrete</i>
<i>NTC 2018</i>	<i>Norme tecniche per le costruzioni</i>
<i>D6432 - 99</i>	<i>Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation</i>
<i>Regolamento BV - IT – ind-reg-02_ndt.civ UNI EN ISO 9712</i>	

3. PROGRAMMA DI INDAGINE

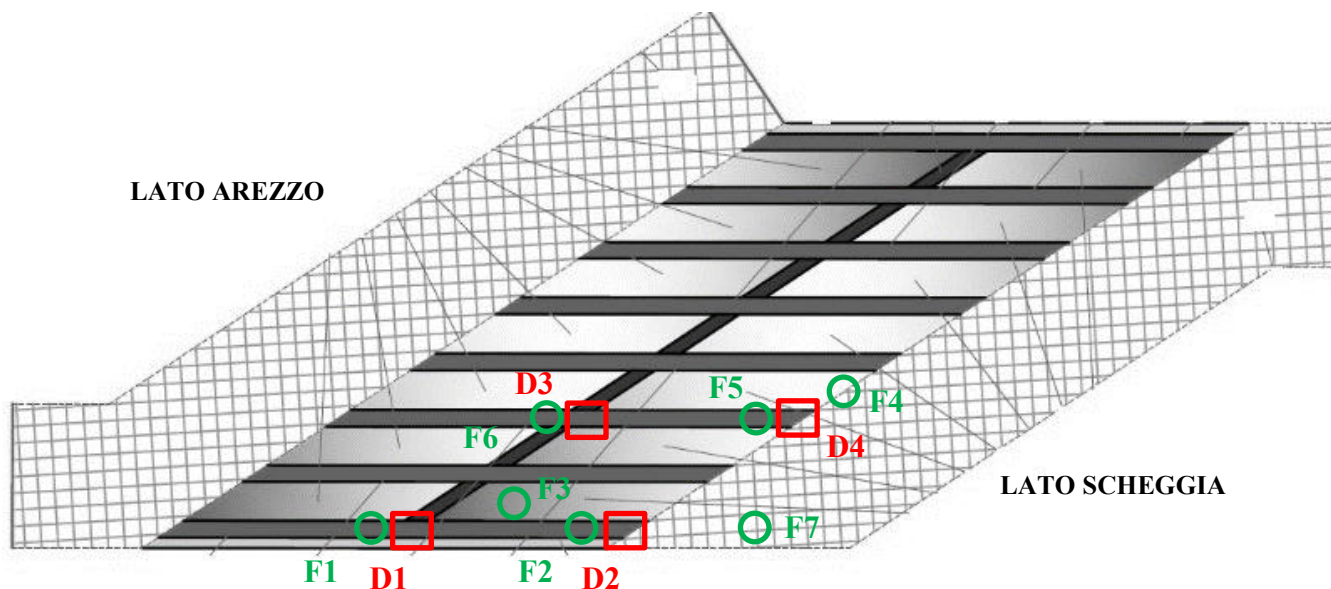
<i>Tipologia di indagine</i>	<i>Quantità</i>
Prova di durezza di Brinell	4
Indagine magnetometrica a mezzo Ferroskan	7
Indagine georadar	1

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

4. INDAGINI SPERIMENTALI SU MATERIALI E STRUTTURE

4.1. UBICAZIONE IN PIANTA DELLE ZONE DI PROVA



Pianta

LEGENDA:

- | | |
|-----------|----------------------------------------|
| Dn | Prova di durezza |
| Fn | Prova magnetometrica a mezzo ferroskan |

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

4.2. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Rif. interno	Strumento	Marca	Modello	Numero di serie
22 - V	Calibro a corsoio analogico	Borletti	MG0053609	-
34 - D	Sistema ferroskan	Hilti	PS200 S	163190019
80 - I	Durometro LEEB	PCE ITALIA S.R.L.	PCE-2500N	202006303

Si allegano al presente rapporto di prova i certificati e i rapporti di verifica della taratura degli strumenti utilizzati.

4.3. PROVA DI DUREZZA

La prova di durezza consente di determinare la resistenza a rottura di un acciaio, in base alla misura della resistenza del materiale alla deformazione plastica localizzata, dovuta alla penetrazione di un corpo premuto contro la superficie da una adeguata forza. Nel caso in esame è stato utilizzato un durometro portatile LEEB, che consente di imprimere, mediante una molla precaricata, una velocità nota ad un elemento mobile dotato di una punta terminale di forma sferica e realizzata in carburo o diamante, e lanciato contro la superficie del materiale sotto osservazione. Il rapporto tra la velocità di rimbalzo e la velocità di impatto, misurate entrambe a 5 mm dalla superficie del materiale, costituisce la quantificazione della durezza del materiale impattato, espressa mediante la grandezza HB (Durezza Brinell), convertita poi in resistenza a rottura dell'acciaio.



Immagine dello strumento

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

ZONA [N°]	PROVA [N°]	DUREZZA BRINELL [HB]	RESISTENZA A ROTTURA [N/mm ²]	MEDIA [N/mm ²]
D1 Trave 1 φ 26 Liscia	1	126	422,5	431,9
	2	130	438,0	
	3	132	446,0	
	4	124	415,0	
	5	130	438,0	



ZONA [N°]	PROVA [N°]	DUREZZA BRINELL [HB]	RESISTENZA A ROTTURA [N/mm ²]	MEDIA [N/mm ²]
D2 Trave 1 φ 26 Liscia	1	130	438,0	443,6
	2	128	430,0	
	3	134	453,0	
	4	136	459,0	
	5	130	438,0	



ZONA [N°]	PROVA [N°]	DUREZZA BRINELL [HB]	RESISTENZA A ROTTURA [N/mm ²]	MEDIA [N/mm ²]
D3 Trave 3 φ 26 Liscia	1	129	434,0	437,2
	2	124	415,0	
	3	130	438,0	
	4	134	453,0	
	5	132	446,0	



Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

ZONA [N°]	PROVA [N°]	DUREZZA BRINELL [HB]	RESISTENZA A ROTTURA [N/mm ²]	MEDIA [N/mm ²]
D4 Trave 3 φ 26 Liscia	1	134	453,0	439,4
	2	128	430,0	
	3	130	438,0	
	4	132	446,0	
	5	128	430,0	



Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

4.4. PROVA MAGNETOMETRICA A MEZZO FERROSCAN

Le indagini magnetometriche, che indagano la presenza di armature negli elementi strutturali in C.A. (travi, pilastri, travetti, ecc.), sono state eseguite tramite uno strumento HILTI modello FERROSCAN PS 200, capace di determinare il copriferro della singola barra e di stimarne il diametro.



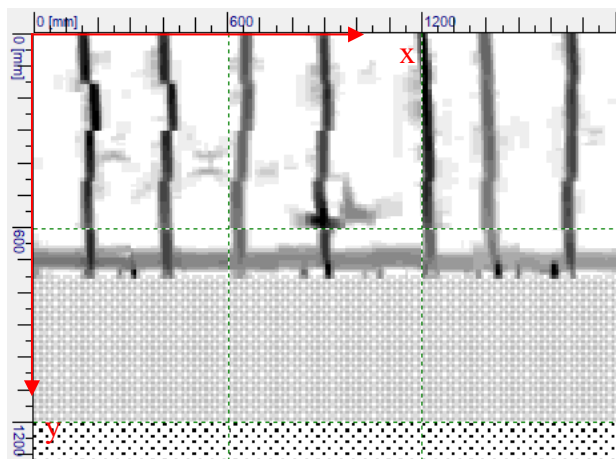
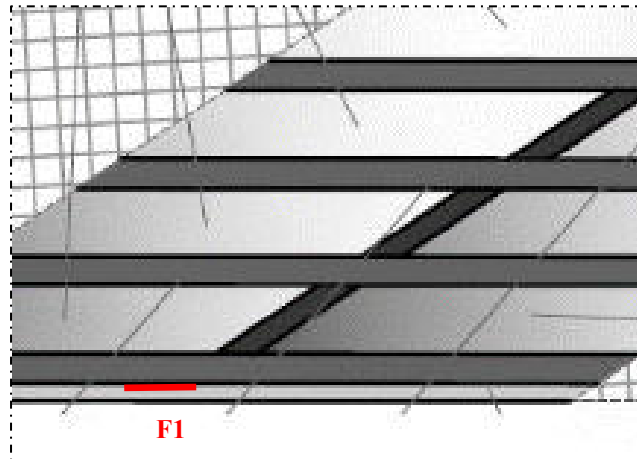
Si riporta, per completezza, la precisione delle misure che lo strumento è in grado fornire. Si evidenzia che i diametri forniti dallo strumento fanno riferimento esclusivamente alla Normativa DIN 488.

		Profondità (mm)								
		20	40	60	80	100	120	140	160	180
Diametro ferri d'armatura (DIN 488)	6	±2	±3	±3	±4	±5	0	X	X	X
	8	±2	±2	±3	±4	±5	0	0	X	X
	10	±2	±2	±3	±4	±5	0	0	X	X
	12	±2	±2	±3	±4	±5	±10	0	X	X
	14	±2	±2	±3	±4	±5	±10	0	0	X
	16	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
	20	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
	25	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
	28	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
	30	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	0	X
	36	±2	±2	±3	±4	±5	±10	±12	±13	0

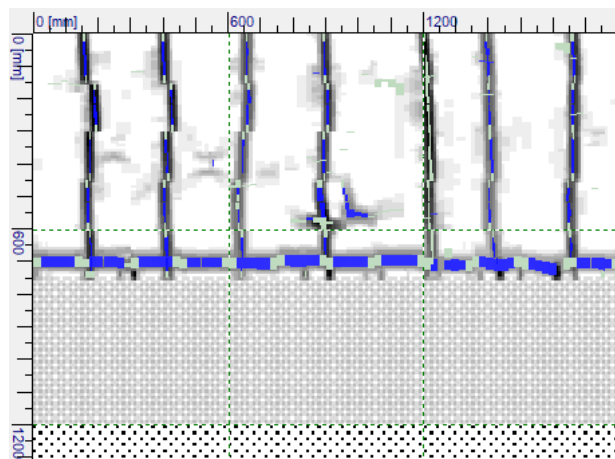
Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

F1 – TRAVE – L/2 – PROSPETTO



SCANSIONE FERROSCAN



ANALISI FERROSCAN

ANALISI STATISTICA DEI PUNTI RILEVATI

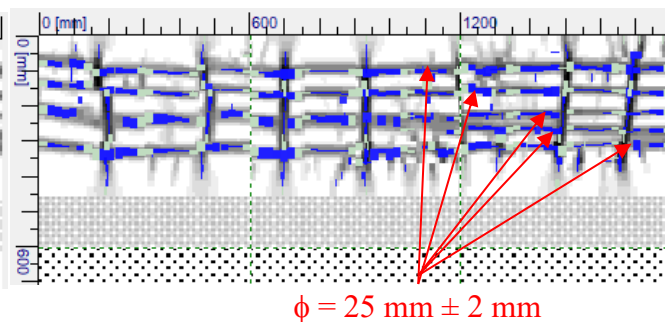
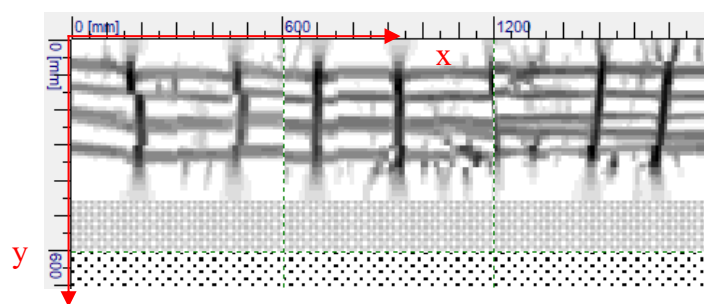
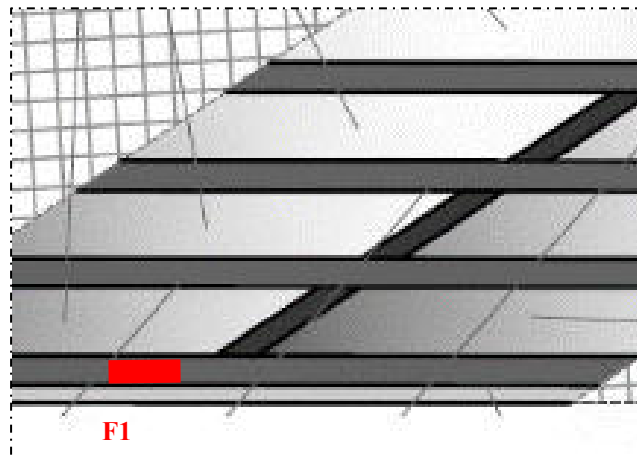
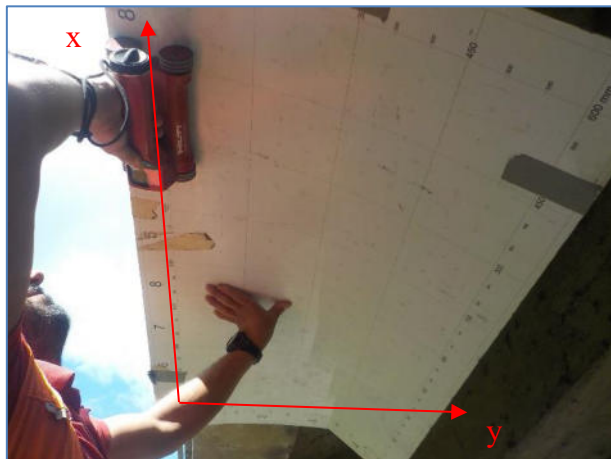
	Orientamento Verticale	
	Copriferro [mm]	Diametro [mm]
MEDIA	21,0	8,0
DEV. ST.	6,2	1,0
C.o.V.	0,3	0,1

ALLINEAMENTO VERTICALE: STAFFE, $\phi = 8,0 \pm 2 \text{ mm} / 20 - 30 \text{ cm}$.

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

F1 – TRAVE – L/2 – INTRADOSSO



SCANSIONE FERROSCAN

ANALISI FERROSCAN

ANALISI STATISTICA DEI PUNTI RILEVATI

	Orientamento Orizzontale		Orientamento Verticale	
	Copriferro [mm]	Diametro [mm]	Copriferro [mm]	Diametro [mm]
MEDIA	17,1	-	15,5	7,0
DEV. ST.	3,3	-	8,3	1,3
C.o.V.	0,2	-	0,5	0,2

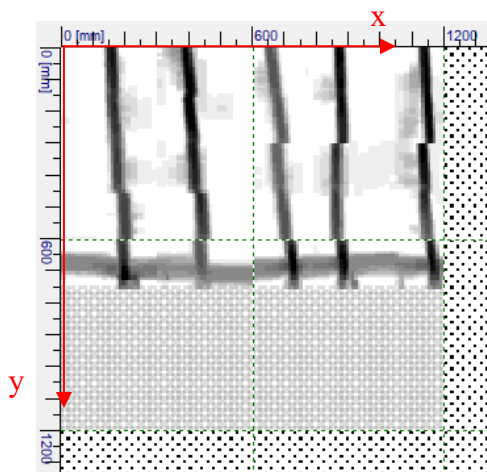
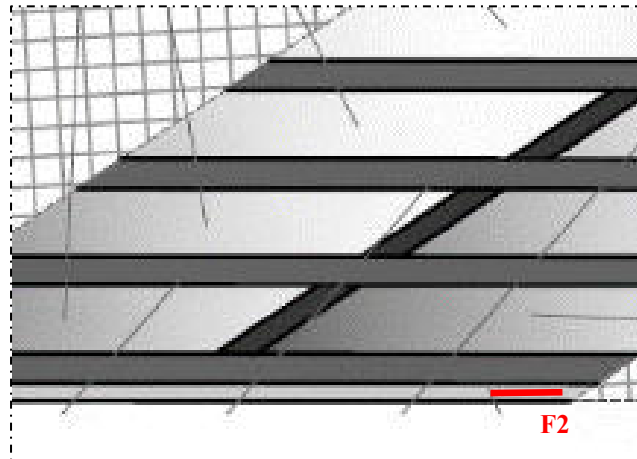
ALLINEAMENTO ORIZZONTALE: BARRE, diametro non stimabile, si rimanda all'analisi puntuale;

ALLINEAMENTO VERTICALE: STAFFE, $\phi = 7,0 \pm 2 \text{ mm}$ / 20 - 30 cm.

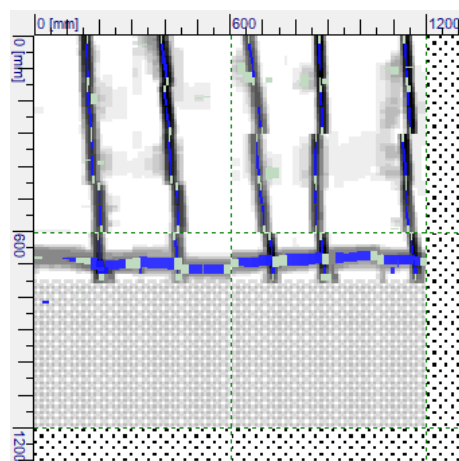
Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

F2 – TRAVE – NODO – PROSPETTO



SCANSIONE FERROSCAN



ANALISI FERROSCAN

ANALISI STATISTICA DEI PUNTI RILEVATI

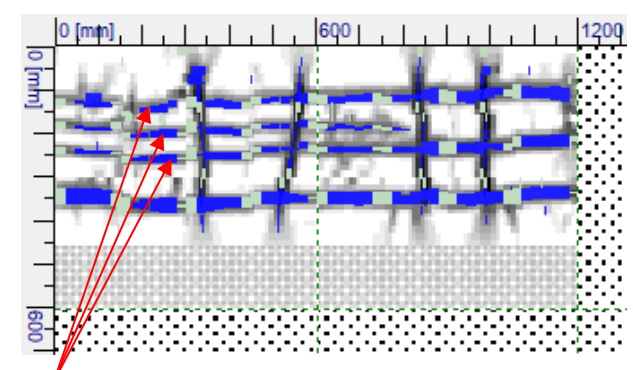
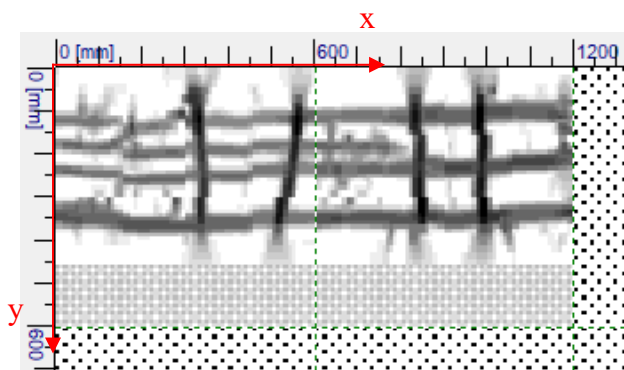
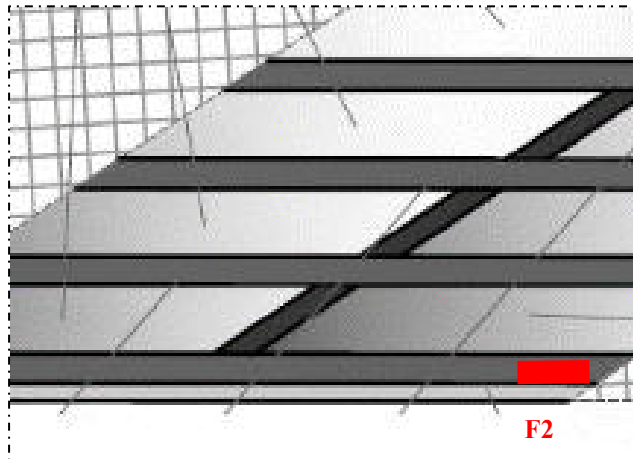
	Orientamento Verticale	
	Copriferro [mm]	Diametro [mm]
MEDIA	22,1	8,0
DEV. ST.	9,5	1,1
C.o.V.	0,4	0,1

ALLINEAMENTO VERTICALE: STAFFE, $\phi = 8,0 \pm 2$ mm / 20 - 25 cm.

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

F2 – TRAVE – NODO – INTRADOSSO



$$\phi = 25 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$$

SCANSIONE FERROSCAN

ANALISI FERROSCAN

ANALISI STATISTICA DEI PUNTI RILEVATI

	Orientamento Orizzontale		Orientamento Verticale	
	Copriferro [mm]	Diametro [mm]	Copriferro [mm]	Diametro [mm]
MEDIA	23,2	-	20,4	6,8
DEV. ST.	3,5	-	16,7	1,2
C.o.V.	0,2	-	0,8	0,2

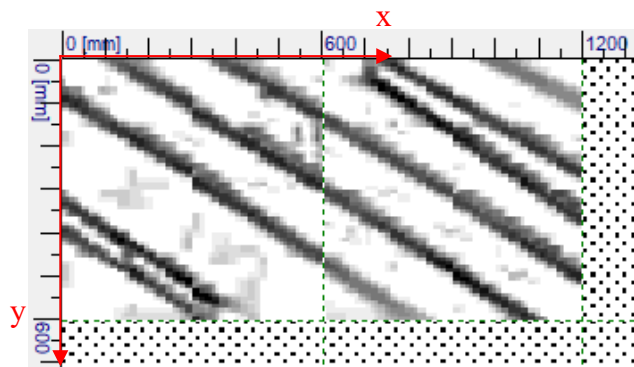
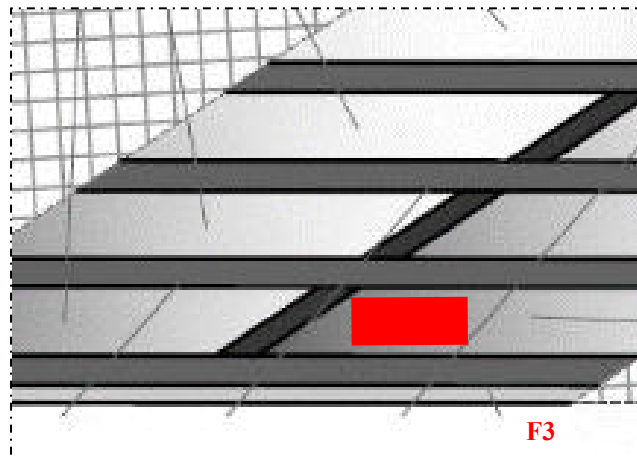
ALLINEAMENTO ORIZZONTALE: BARRE, diametro non stimabile, si rimanda all'analisi puntuale;

ALLINEAMENTO VERTICALE: STAFFE, $\phi = 6,8 \pm 2 \text{ mm}$ / 10 - 30 cm.

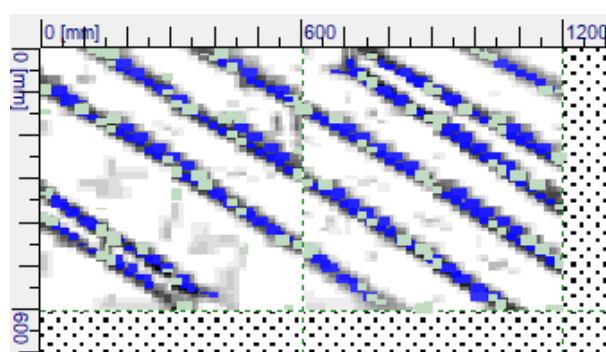
Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

F3 – SOLETTA – INTRADOSSO



SCANSIONE FERROSCAN



ANALISI FERROSCAN

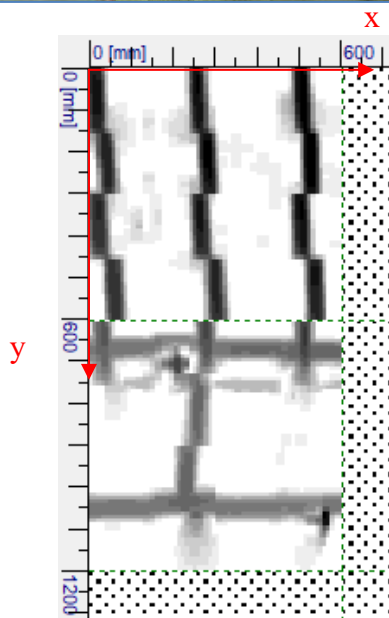
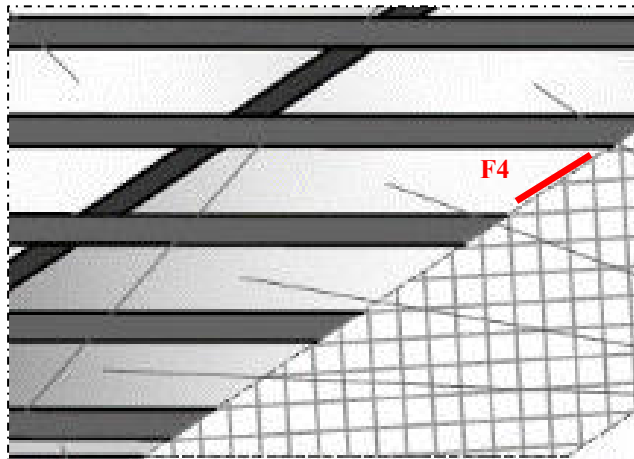
ANALISI STATISTICA DEI PUNTI RILEVATI

Nota: diametro non stimabile: le barre inclinate non vengono considerate nell'analisi statistica.

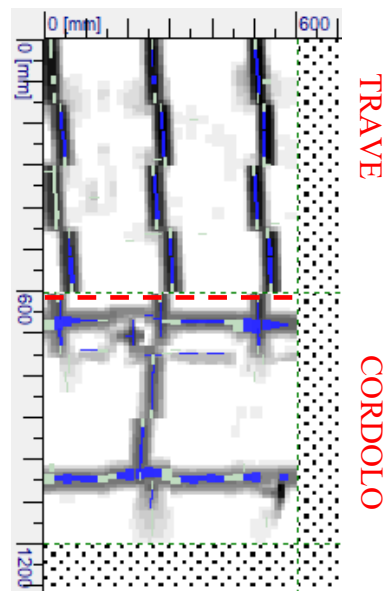
Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

F4 – TRAVE – PROSPETTO



SCANSIONE FERROSCAN



ANALISI FERROSCAN

ANALISI STATISTICA DEI PUNTI RILEVATI

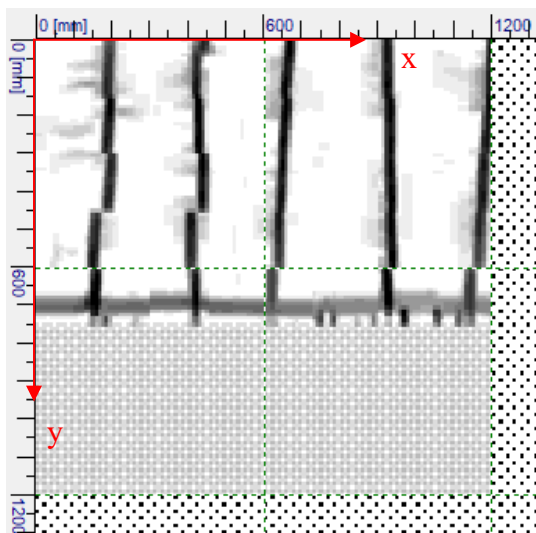
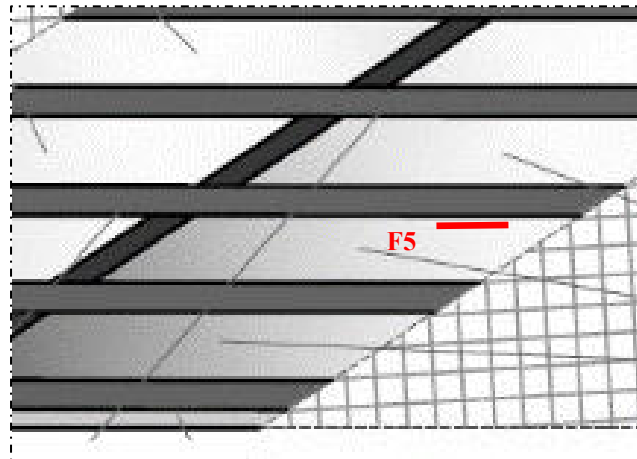
	Orientamento Verticale	
	Copriferro [mm]	Diametro [mm]
MEDIA	36,6	7,9
DEV. ST.	20,5	1,5
C.o.V.	0,6	0,2

ALLINEAMENTO VERTICALE: STAFFE, $\phi = 7,9 \pm 2 \text{ mm} / 25 \text{ cm}$.

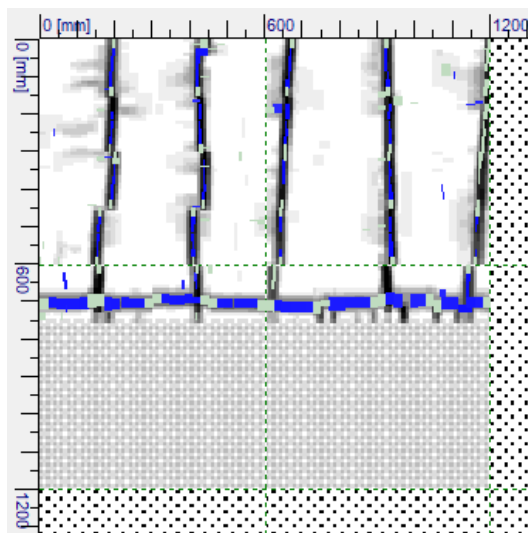
Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

F5 – TRAVE – L/2 – PROSPETTO



SCANSIONE FERROSCAN



ANALISI FERROSCAN

ANALISI STATISTICA DEI PUNTI RILEVATI

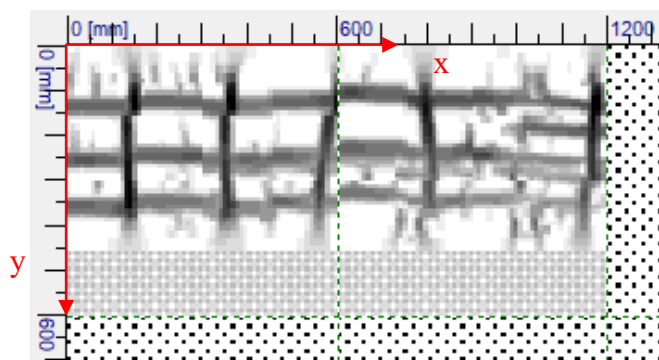
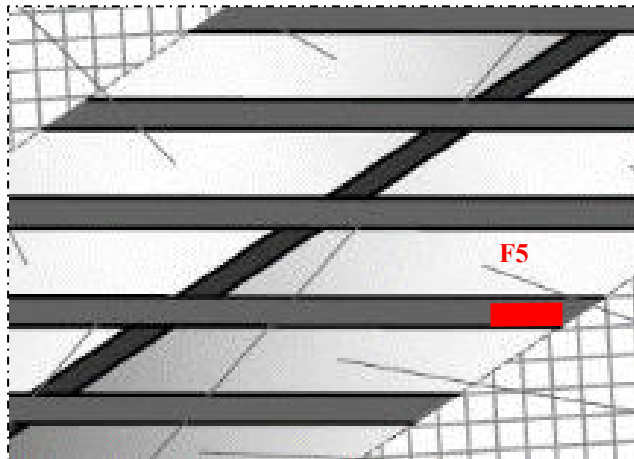
	Orientamento Verticale	
	Copriferro [mm]	Diametro [mm]
MEDIA	10,9	8,4
DEV. ST.	8,7	1,3
C.o.V.	0,8	0,2

ALLINEAMENTO VERTICALE: STAFFE, $\phi = 8,4 \pm 2 \text{ mm} / 20 - 30 \text{ cm}$.

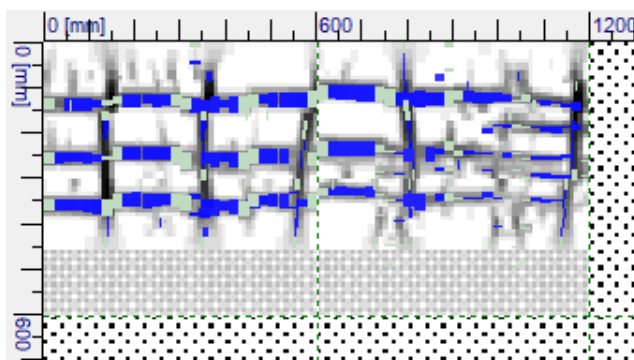
Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

F5 – TRAVE – L/2 – INTRADOSSO



SCANSIONE FERROSCAN



ANALISI FERROSCAN

ANALISI STATISTICA DEI PUNTI RILEVATI

	Orientamento Orizzontale		Orientamento Verticale	
	Copriferro [mm]	Diametro [mm]	Copriferro [mm]	Diametro [mm]
MEDIA	24,0	36,0	17,5	6,9
DEV. ST.	3,3	0,0	11,7	1,4
C.o.V.	0,1	0,0	0,7	0,2

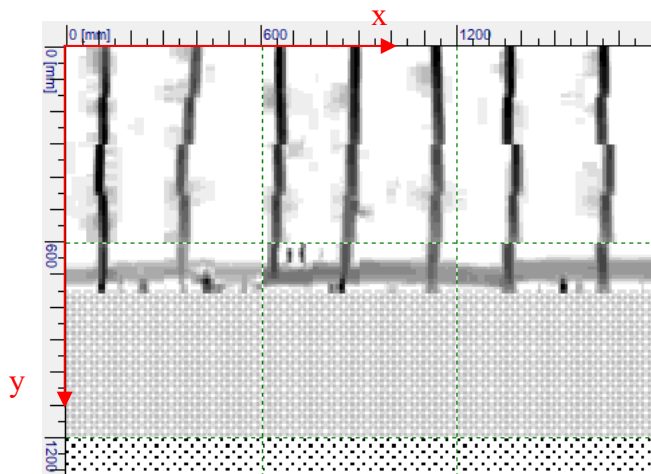
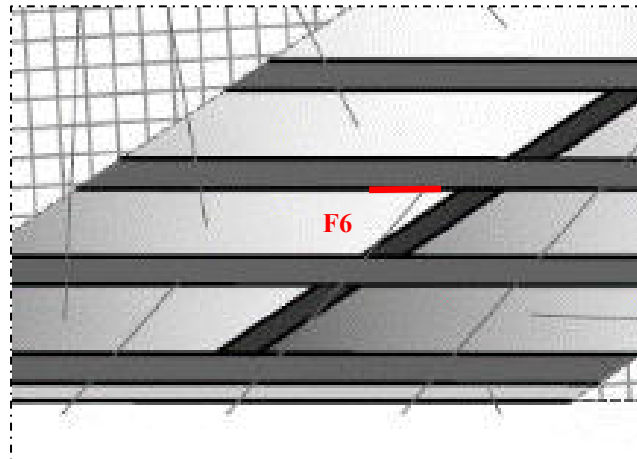
ALLINEAMENTO ORIZZONTALE: BARRE, diametro non stimabile (probabili barre accoppiate);

ALLINEAMENTO VERTICALE: STAFFE, $\phi = 6,9 \pm 2 \text{ mm} / 20 \text{ cm}$.

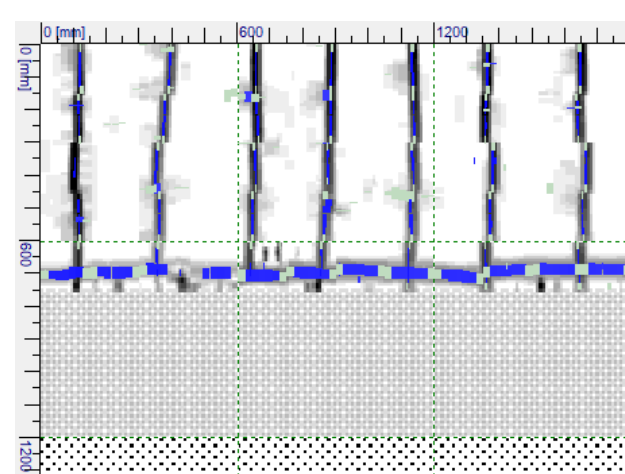
Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

F6 – TRAVE – NODO – PROSPETTO



SCANSIONE FERROSCAN



ANALISI FERROSCAN

ANALISI STATISTICA DEI PUNTI RILEVATI

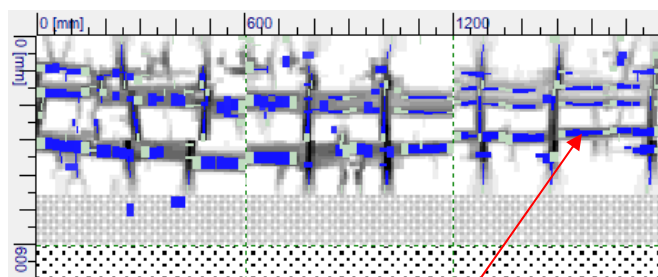
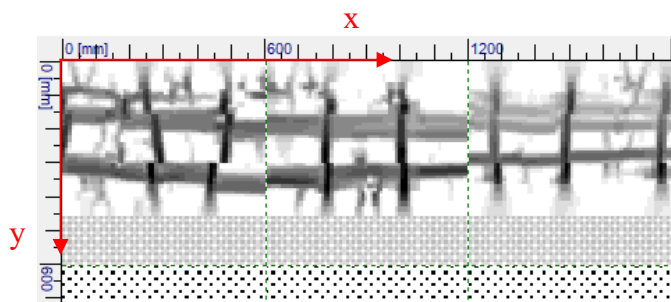
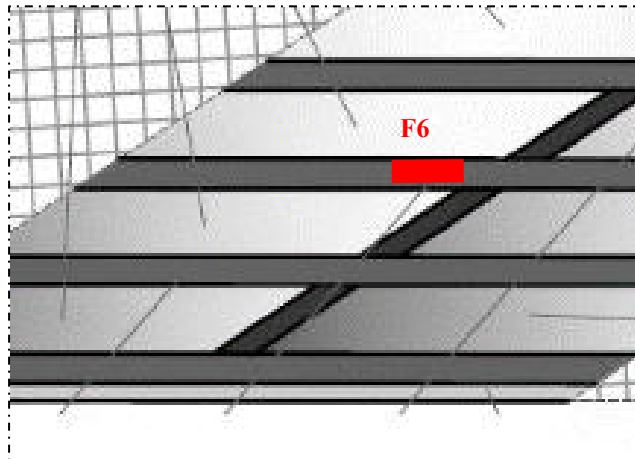
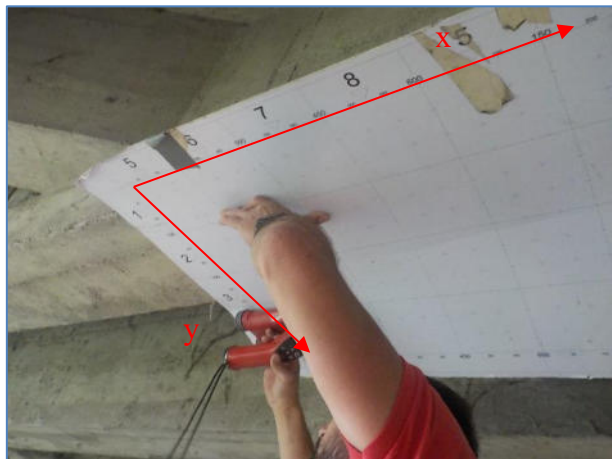
	Orientamento Verticale	
	Copriferro [mm]	Diametro [mm]
MEDIA	17,5	7,8
DEV. ST.	10,9	0,9
C.o.V.	0,6	0,1

ALLINEAMENTO VERTICALE: STAFFE, $\phi = 7,8 \pm 2$ mm / 25 - 30 cm.

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

F6 – TRAVE – NODO – INTRADOSSO



$\phi = 25 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$

SCANSIONE FERROSCAN

ANALISI FERROSCAN

ANALISI STATISTICA DEI PUNTI RILEVATI

	Orientamento Orizzontale		Orientamento Verticale	
	Copriferro [mm]	Diametro [mm]	Copriferro [mm]	Diametro [mm]
MEDIA	24,1	36,0	18,6	6,9
DEV. ST.	4,1	0,0	12,6	1,3
C.o.V.	0,2	0,0	0,7	0,2

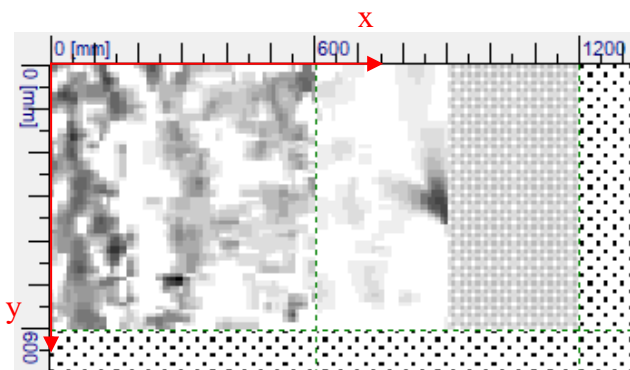
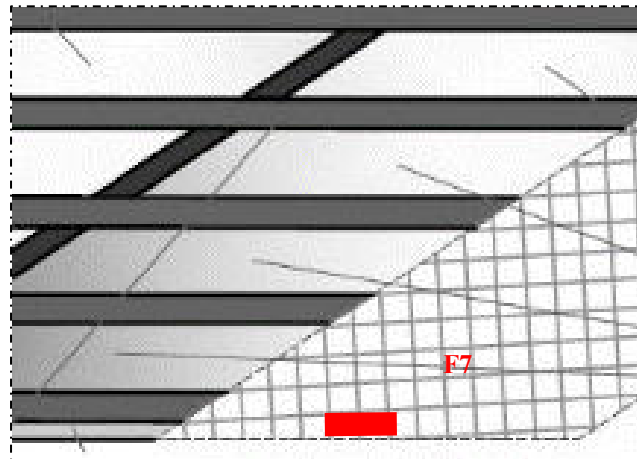
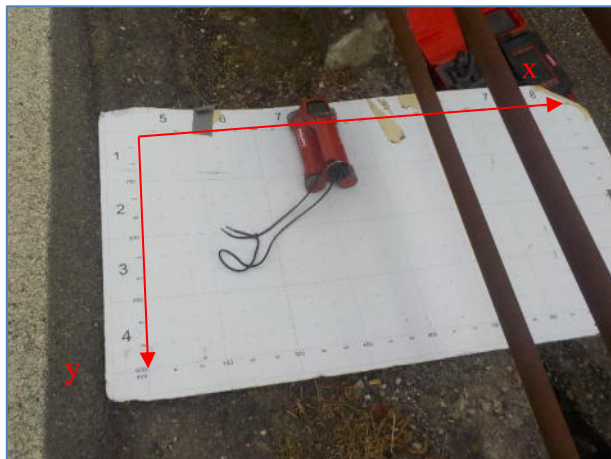
ALLINEAMENTO ORIZZONTALE: BARRE, si rimanda all'analisi puntuale.

ALLINEAMENTO VERTICALE: STAFFE, $\phi = 6,9 \pm 2 \text{ mm}$ / 15 - 30 cm.

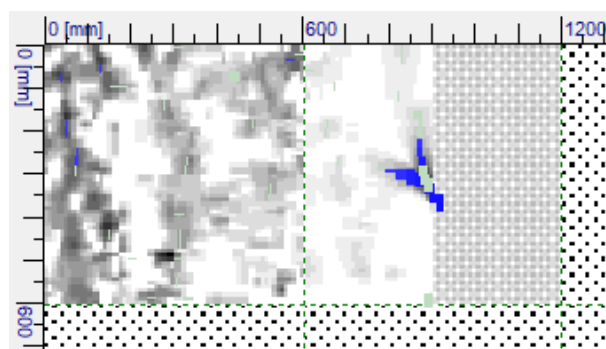
Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

F7 – CORDOLO – ESTRADOSSO



SCANSIONE FERROSCAN



ANALISI FERROSCAN

Nota: non si rilevano riflessioni associabili a barre di armatura;

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

5. INDAGINI RADAR

Nello specifico il seguente elaborato riguarda l'esecuzione di prove radar per l'individuazione di sottoservizi e/o interferenze lungo un tratto di sede stradale della S.P. 43 Libbia nei pressi del Ponte sul fosso di Montegiovi.

È stata eseguita una maglia radar 3D a copertura dell'intera sede stradale, come riportato nelle planimetrie, mentre nella tabella seguente vengono riportate le dimensioni e quantità della maglia radar acquisita

TIPOLOGIA INDAGINE	Dimensioni Maglia (X,Y)	Interasse strisciate trasversali	N° strisciate trasversali	Interasse strisciate longitudinali	N° strisciate longitudinali
Rilievo 3D	70.0 m x 5.0 m	2.0 m	35	1.0 m	6

Tabella rilievo radar 3D

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

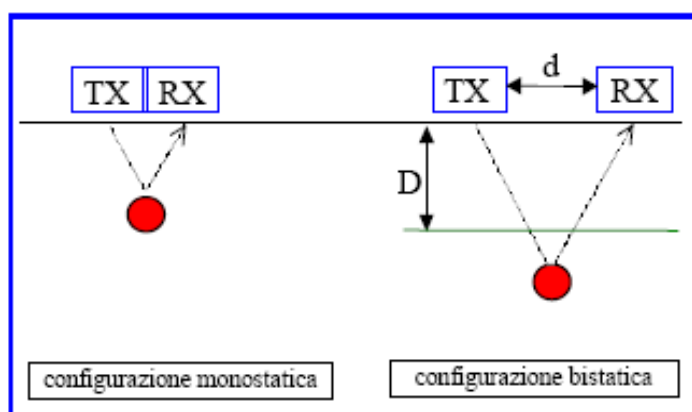
5.1. UBICAZIONE IN PIANTA DELLA ZONA DI PROVA



Planimetria abitazione e ubicazione rilievo radar 3D con localizzazione dell'origine del sistema di riferimento.

5.2. METODOLOGIA INDAGINI RADAR

La prospezione tramite Georadar si basa sull'utilizzo di onde elettromagnetiche per discriminare interfacce tra livelli dotati di differente comportamento (resistività, costante dielettrica, ecc) ed individuare variazioni di tali proprietà utilizzabili, tramite interpretazione dei risultati, per definire parametri sia geometrici che fisici dello spazio indagato. I principi alla base della metodologia prevedono che un impulso elettromagnetico della durata di pochi nanosecondi venga inviato nel mezzo tramite un'antenna trasmittente, tale segnale durante il suo tragitto all'interno del mezzo, viene in parte riflesso dalle interfacce tra livelli con caratteristiche elettromagnetiche differenti ed in parte trasmesso nei livelli sottostanti. I segnali oggetto di riflessione vengono captati in superficie tramite un'antenna ricevente; la quale può essere la stessa utilizzata per la trasmissione (configurazione monostatica) o separata da questa di una certa distanza (configurazione bistatica).



Configurazione delle antenne

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

SPECIFICHE TECNICHE DI ACQUISIZIONE E SCHEMA DELLE PROVE RADAR

L'indagine è stata eseguita utilizzando un sistema di acquisizione radar Utility Scan prodotto dalla GSSI con antenna da 350 MHz, controllato tramite un pc portatile che opera, simultaneamente, una detezione superficiale per mezzo di antenne a frequenza variabile per applicazioni entro circa 3.0/4.0 m dal piano campagna (maggior dettaglio, minore penetrazione) e comunque funzione del materiale investigato (minor dettaglio, maggiore penetrazione).



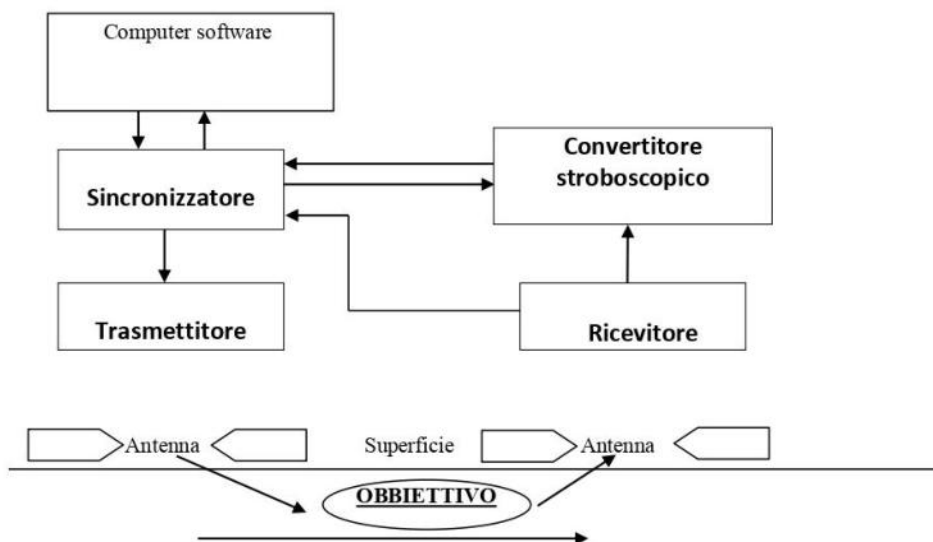
Modello radar GSSI Utility Scan

Il rilievo è stato realizzato in località Ponte sulla Chiassa, nel comune di Arezzo (AR), nella giornata del 17 maggio 2024; le acquisizioni hanno interessato l'intera sede stradale per una lunghezza lungo l'asse X di 70.0 metri (strisciate longitudinali) e lungo l'asse Y di 5.0 metri (strisciate trasversali), in corrispondenza dell'area interessata dal progetto.

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

La modalità di funzionamento del sistema può essere schematicamente descritta tramite il seguente diagramma semplificato:



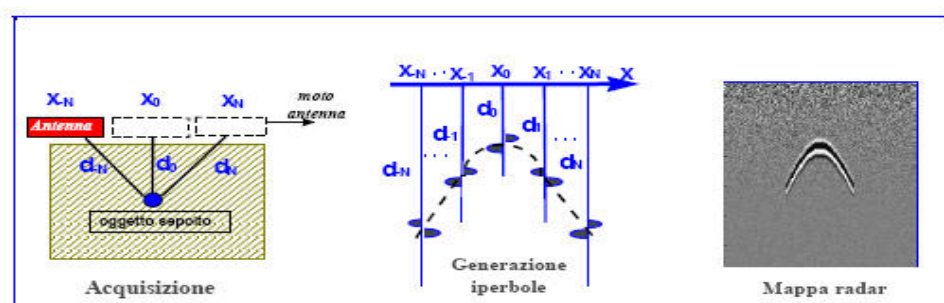
Schema strutturale semplificato sistema Georadar

5.3. TECNICA DI INDAGINE RADAR

La scelta tra le configurazioni possibili, influenzando la profondità di indagine ed il livello di definizione spaziale, viene fatta in virtù degli obiettivi da indagare. Di notevole importanza è inoltre la scelta della frequenza dell'antenna: ad una bassa frequenza corrisponde infatti una maggiore penetrazione del segnale in profondità ma con uno scarso dettaglio delle anomalie riscontrabili (risoluzione bassa), diversamente a frequenze maggiori corrisponde una risoluzione più alta ma una minore penetrazione del segnale in profondità.

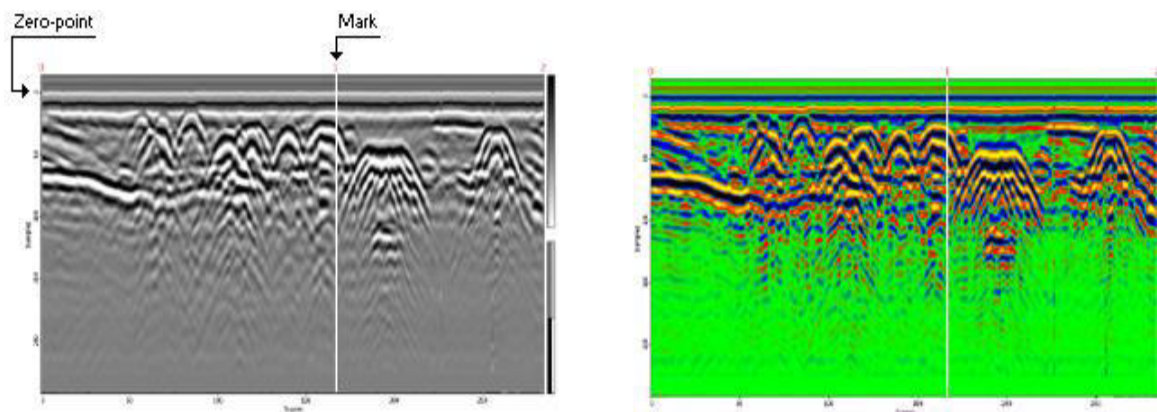
Nei sistemi Georadar più comuni e nello strumento utilizzato per la presente prospezione, i segnali a radiofrequenza vengono generati da una unità centrale e la loro trasmissione attraverso il mezzo da indagare è operata da un'antenna che viene movimentata lungo la superficie dello stesso.

I dati raccolti, opportunamente elaborati, sono memorizzati e rappresentati sulla unità di controllo. Eventuali discontinuità o oggetti isolati presenti al di sotto delle superfici indagate, generano, immagini radar ("o radargrammi") con caratteristiche peculiari, di cui sono un esempio le forme iperboliche, illustrate.



Generazione di un'iperbole radar

I profili vengono in genere acquisiti lungo reticoli con direzioni ortogonali e distanze variabili, consentendo la ricostruzione spaziale dell'andamento dei livelli dotati di differenti caratteristiche elettromagnetiche e degli oggetti tramite sezioni verticali radar-stratigrafiche.



Sezioni radar

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

Un'altra caratteristica fondamentale della propagazione delle onde elettromagnetiche all'interno di mezzi naturali è l'assorbimento che avviene in misura dipendente dalle loro caratteristiche elettriche. In generale un mezzo omogeneo è definito, da un punto di vista elettrico, dalla seguente coppia di valori:

- costante dielettrica relativa (ϵ_r)
- conduttività (σ)

Da questi valori è possibile prevedere alcune caratteristiche della propagazione delle onde elettromagnetiche all'interno del mezzo.

Un trasmettitore (TX) genera un segnale di tipo impulsivo con una determinata frequenza di ripetizione. La successione di questi impulsi genera un segnale di durata dell'ordine dei nanosecondi che viene irradiato nel mezzo da un'antenna a larga banda.

La forma dell'impulso trasmesso è opportunamente calibrata in modo da ottenere una distribuzione spettrale di tipo gaussiano dove il valore centrale rappresenta la **frequenza caratteristica**, (o **frequenza centrale**) dell'antenna, che corrisponde alla frequenza dominante dell'impulso. La frequenza centrale dell'antenna determina le caratteristiche di risoluzione e di massima profondità di esplorazione. Il segnale elettromagnetico ricavato è caratterizzato da una serie di picchi. La loro ampiezza dipende principalmente da tre fattori:

- natura del riflettore;
- natura del mezzo tra riflettore ed antenna;
- curva di guadagno applicata.

Nella pratica delle prospezioni, il principale fattore che limita la trasmissione del segnale, e quindi la possibilità di acquisire bersagli sub superficiali, è l'assorbimento.

L'onda elettromagnetica passando in un qualsiasi materiale perde energia. Questo fenomeno si manifesta con l'attenuazione del segnale. Nei suoli l'attenuazione per frequenze al di sopra dei 100MHz aumenta notevolmente con l'avvicinamento alla frequenza di rilassamento dell'acqua (oltre i 10 Ghz) da ciò, all'aumentare della frequenza utilizzata aumenta l'attenuazione. L'attenuazione si misura in decibel per metro (dB/m), dalla osservazione della seguente tabella Davis & Annan ('89) si può vedere come l'acqua marina assorba moltissimo. Un altro materiale "assorbente" è l'argilla. Empiricamente si osserva che il parametro "**a**" (assorbimento) è direttamente proporzionale alla conducibilità ed inversamente proporzionale alla radice della permittività.

Fattore fondamentale nei suoli è la presenza dell'acqua, che disciogliendo i sali presenti, alza la conducibilità ed il conseguente assorbimento.

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

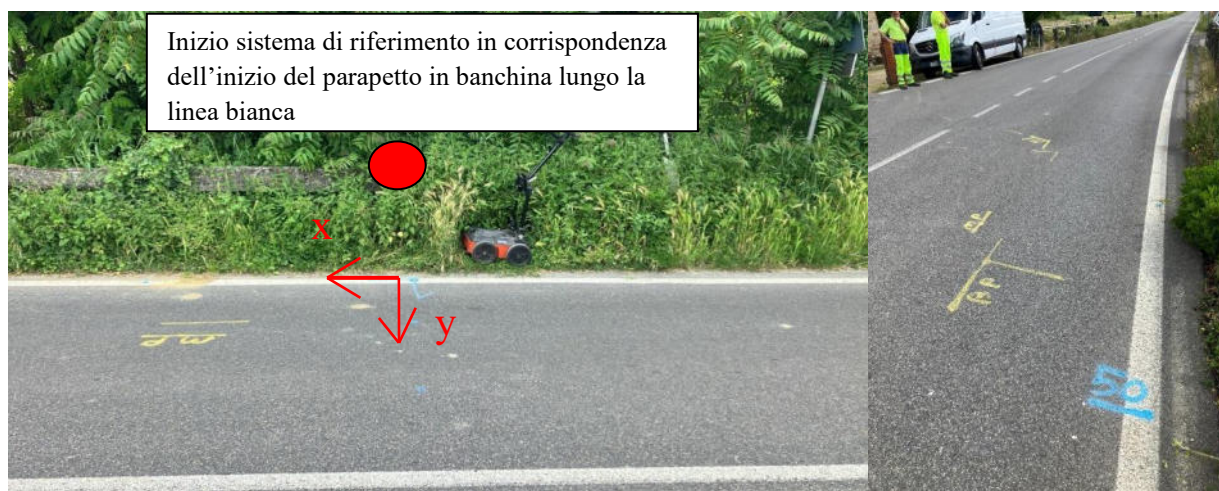
Materiale	a (dB/m)
Air	0
Distilled water	2×10^{-3}
Fresh water	0.1
Sea water	10^3
Dry sand	0.01
Saturated sand	0.03-0.3
Limestone	0.4-1
Shales	1-100
Silts	1-100
Clays	1-300
Granite	0.01-1
Dry salt	0.01-1
Ice	0.01

Assorbimento

5.4. APPROCCIO ANALITICO INDAGINE RADAR

Durante la fase di acquisizione in campagna sono state effettuate alcune strisciate di prova al fine di tarare la strumentazione per quanto concerne la tipologia di materiale indagato (permettività), determinando quindi la velocità del materiale e di conseguenza la massima profondità di risoluzione. Successivamente sono state effettuate tutte le registrazioni lungo una serie di profili cercando di individuare i target riferibili alla presenza di tubature. Durante la fase di acquisizione è stato quindi effettuato un pre-processing dei dati con l'applicazione di alcuni filtri necessari alla rimozione dei principali disturbi, in maniera tale da evidenziare e definire al meglio i target già durante la fase di cantiere.

La seconda fase ha interessato l'interpretazione dei dati con l'applicazione di ulteriori filtri e l'individuazione dei target distribuiti lungo ogni singola strisciata radar, identificati come punti lungo le singole sezioni e successivamente trasferiti geometricamente su un programma grafico per la loro rappresentazione schematica finale rispetto al sistema di riferimento definito in situ. L'origine del sistema di riferimento è stata posizionata con l'asse trasversale Y posto all'altezza dell'inizio del parapetto in banchina e l'asse longitudinale X corrispondente all'allineamento della linea bianca che delimita il bordo stradale, come indicato dal cerchio rosso nella foto.



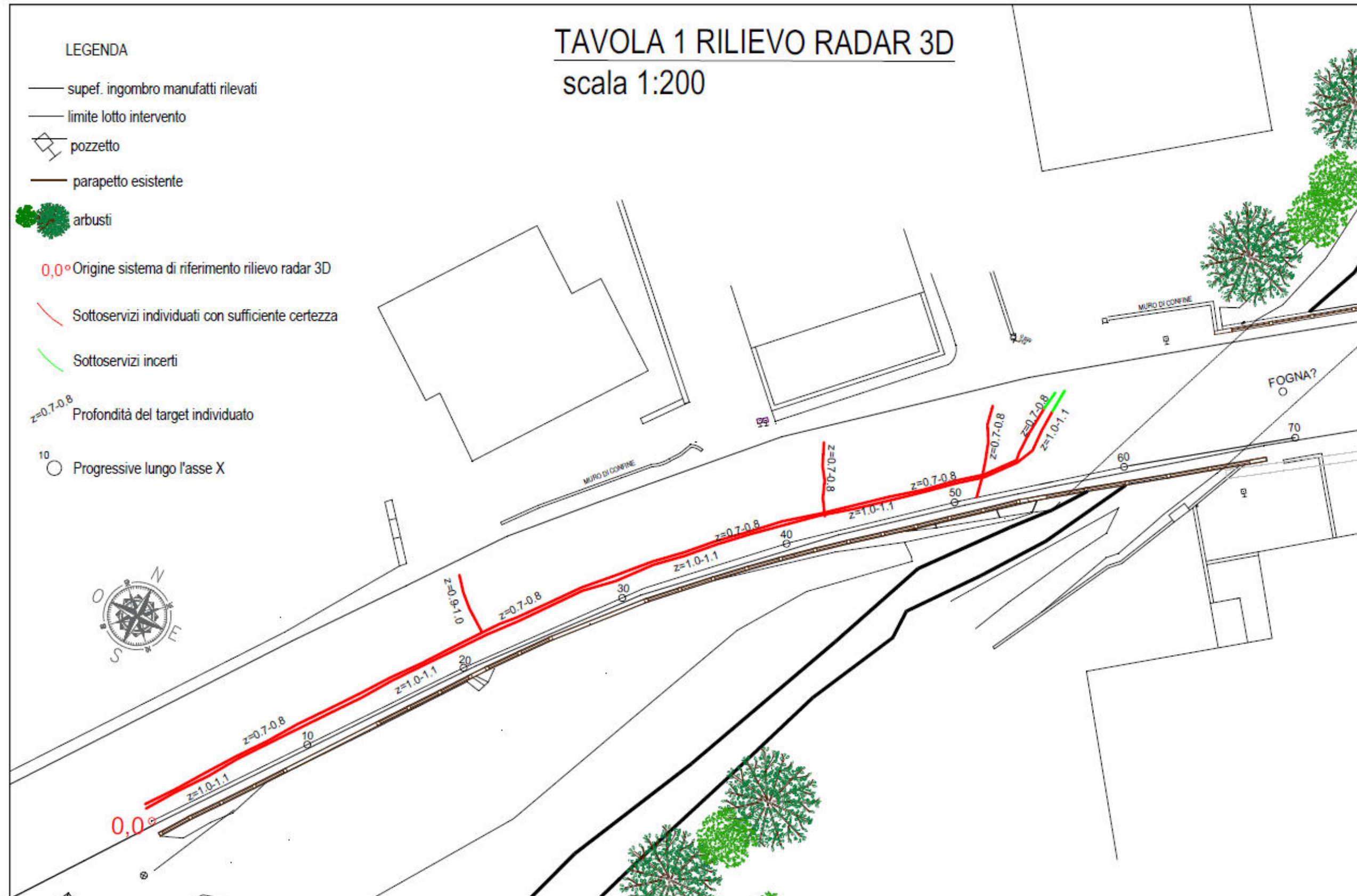
Ubicazione sistema di riferimento (sx) e progressiva 50 m lungo l'asse X (dx)

5.5. ELABORAZIONE RILIEVI RADAR

L'elaborazione dei dati ha permesso di ricavare una serie di radargrammi 2D lungo gli allineamenti indagati; i target ascrivibili alla presenza di tubature sono stati quindi indicati nelle sezioni dei radargrammi in cui risultavano visibili, indicandone la posizione e il range di profondità rispetto alla superficie di prova.

I risultati finali dell'analisi radar sono stati infine riportati nella tavola allegata, dove vengono rappresentati i vari target individuati all'interno dell'area di rilievo 3D, rispetto alla planimetria di progetto. Nella tavola 1 della pagina seguente viene riportata l'origine del sistema di riferimento utilizzato e le progressive ogni 10 metri lungo l'asse X. I target individuati sono stati divisi tra sottoservizi individuati con sufficiente certezza e sottoservizi incerti, tramite colorazione diversa. Infine accanto ad ogni singolo target riportato in pianta viene affiancata la profondità dell'estradosso del sottoservizio rilevato nei radargrammi.

Si ricorda infine che le indagini georadar, pur rappresentando lo strumento più valido ed utilizzato per la rilevazione di sottoservizi, strutture ed altri ingombri interrati nel sottosuolo, non possono fornire comunque, come tutte le indagini indirette di tipo geofisico, l'assoluta certezza circa la loro attendibilità, la quale rimane sempre condizionata dalla composizione e natura del sottosuolo, dall'umidità dei terreni, dalle interferenze antropiche e da tutta una serie di variabili logistiche peculiari del sito indagato. Per tale motivo, dove le risorse lo consentano, si ritiene opportuno integrare i dati geofisici indiretti con indagini dirette quali carotaggi, saggi e/o scavi esplorativi.



Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

6. ALLEGATI

ALLEGATO I - CERTIFICATI DI TARATURA

ALLEGATO I

VERIFICA DELLA SCALA DI LETTURA CALIBRO A CORSOIO ANALOGICO

DATA PROVA: 29 ottobre 2023.
CALIBRO: Marca "Borletti"
Mod. MG0053609
Divisione "0,05 mm"
Rif. Interno 22-V

Per la verifica, si è utilizzato una serie di 32 blocchetti pianparalleli in acciaio Borletti BRAA32/1
Scatola 210370

Certificato di taratura n° LAT 067 221338 del 04/10/2022

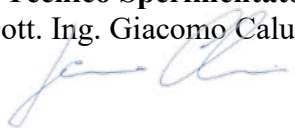
Misure con becchi per esterni

Vnom	Vmis	Correzione
mm	mm	mm x 10 ⁻²
0	0	0
20	19,9	10
40	40	0
60	60,1	-10
80	80,1	-10
100	100	0
120	119,95	5
150	149,9	10

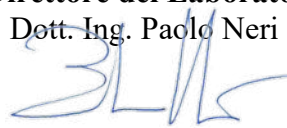
Misure con becchi per interni

Vnom	Vmis	Correzione
mm	mm	mm x 10 ⁻²
0	0	0
20	20	0
40	39,85	15
60	60	0
80	80	0
100	100	0
120	120,15	-15
150	149,95	5

Il Tecnico Sperimentatore
Dott. Ing. Giacomo Calussi



Il Direttore del Laboratorio
Dott. Ing. Paolo Neri





PRODUCER CERTIFICATE

Product:	PS 200 S
Article No.:	031224
Serial No.:	163190019
Date of Inspection:	12.06.2019

We hereby certify that the product described has been tested before shipment and on the inspection date complied with the specifications stated in the product's operating instructions¹.

Hilti recommends the tool is sent in for recalibration at regular intervals in order to verify its compliance with the applicable specifications, but at least once a year. The accuracy should also be field tested regularly, particularly prior to critical measurement tasks, and after the product has been subjected to harsh conditions².

Hilti Corporation
BU Measuring Systems

Thomas Hillbrand

Christian Schallert

¹ The test method used has been derived from accepted values of natural physical constants, or has been derived by the ratio type of self-calibrating techniques. Unless otherwise specified, the product was tested under standard ambient (MIL-STD-810G). Please note that the relevant test centers are certified to ISO 9001 but not ISO/IEC 17025.

² Factors in particular extreme temperature fluctuations, humidity, shock, drop, etc., can affect the tool's accuracy. Hilti's operating instructions for the relevant product contain further information and must be consulted prior to use.



CERTIFICATE OF
HARDNESS TESTER BLOCK

Description: Standard Leeb Hardness
Test Block

Block No.: 161-23

Nominal Hardness Value: 780HLD

Evenness: 3HLD

Result:

**Approve for using as a standard
hardness test block.**

Director: *Wei Kuang*

Inspector: *Wihong Wan*

Date of Issue: **February 22, 2016**

Valid Till: **February 21, 2017**

Rapporto di prova n. 163 – 1 / 24_Rev. 00

Corciano (PG), 03/06/2024

ALLEGATO II - CERTIFICAZIONE DEL PERSONALE TECNICO

ALLEGATO II

CERTIFICATO DI LIVELLO 2 DI OPERATORE CND
LEVEL 2 CERTIFICATE OF NDT OPERATOR



No. 22FI00054PN1/RN

Rinnovo di validità del certificato n° / Validity renewal of certificate n° 17FI00072PO1

Operatore Operator	BISTOCCHI RICCARDO MARIA		
Nato a Born in	PERUGIA (PG)	il on	31/12/1973
Impiegato presso Employed by	TECNOGEO SNC		
Con Sede in Located in	STR. SAN VETTURINO 21, 06126, Perugia, PG		

Si certifica che il suddetto operatore è qualificato al LIVELLO 2 in accordo ai documenti UNI/PdR 56:2019 e RINA RC/C18, relativi alla certificazione del personale tecnico addetto alle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile

This is to certify that the above mentioned operator is qualified LEVEL 2 according to the documents UNI/PdR 56:2019 and RINA RC/C18, relevant to the non destructive testing technical personnel certification in the civil sector

nel metodo:

in the method:

GEORADAR

GROUND PENETRATION RADAR

Data di scadenza del precedente certificato / Previous certificate expiry date: 03/02/2022

Rinnovo della validità effettuato in data / Renewal of validity done on: 17/02/2022

Il presente certificato è valido dal <i>This certificate is valid until</i>	17 February 2022	fino al to	3 February 2027
Rilasciato a <i>Issued at</i>	GENOVA	il on	17 February 2022

This certificate consist of 1 page



PRS N° 066 C

Membro degli Accordi di Mutuo
Riconoscimento EA, IAF e ILAC
*Signatory of EA, IAF and ILAC
Mutual Recognition Agreements*

Filippo Lago
Italy Welding & Pressure Equipment,
Personnel Certification & Laboratories
Director

RINA Services S.p.A.
Via Corsica 12 - 16128 Genova



PROVE NON-DISTRUTTIVE / SEMI DISTRUTTIVE: Certificato di Qualifica Operatore
NON-DESTRUCTIVE TESTING / SEMI-DESTRUCTIVE: Operator Qualification Certificate

N° CIV-21-00787-C

Si certifica la qualifica in Prove Non Distruttive / Semi Distruttive al Livello 3
It certifies the qualification Non Destructive Testing / Semi-destructive at the Level 3

Titolare del certificato / *Certificate holder*
Neri Paolo (ID # 7130)

Nato a / *born in*: Perugia (PG)

Il / *on*: 10 May 1978

Per il metodo / *for the method*:
Magnetometric Test (MG)

Su strutture civili e su beni culturali ed architettonici
On civil structures and on cultural and architectural goods

Il presente certificato viene rilasciato in accordo alla
norma UNI/PdR 56:2019 e Regolamento Bureau Veritas IT-IND-REG-02_NDT.CIV
This certificate is issued according to
standard UNI/PdR 56:2019 and Bureau Veritas Rule IT-IND-REG-02_NDT.CIV

Data ultima revisione / *Date last revision*: -----

Emesso / *issued*: 2 Mar 2021

Scadenza / *Expiry date*: 1 Mar 2026

Autorizzazione del datore di lavoro
Employer authorizing

Firma titolare del certificato
Signature of certificate holder

Responsabile Tecnico di Schema
NDT Scheme Chief
Luca Rossi



PRIS N° 076C
Member of the Accredited Bodies Network (ABN) of the
Signatories of EA, UK and SLAC mutual Recognition Agreements

PROVE NON-DISTRUTTIVE / SEMI DISTRUTTIVE: Certificato di Qualifica Operatore
NON-DESTRUCTIVE TESTING / SEMI-DESTRUCTIVE: Operator Qualification Certificate

N° CIV-21-00802-C

Si certifica la qualifica in Prove Non Distruttive / Semi Distruttive al Livello 2
It certifies the qualification Non Destructive Testing / Semi-destructive at the Level 2

Titolare del certificato / *Certificate holder*
Trequattrini Mauro (ID # 7982)

Nato a / *born in*: Perugia (PG)

Il / *on*: 11 May 1978

Per il metodo / *for the method*:
Magnetometric Test (MG)

Su strutture civili e su beni culturali ed architettonici
On civil structures and on cultural and architectural goods

Il presente certificato viene rilasciato in accordo alla
norma UNI/PdR 56:2019 e Regolamento Bureau Veritas IT-IND-REG-02_NDT.CIV

This certificate is issued according to
standard UNI/PdR 56:2019 and Bureau Veritas Rule IT-IND-REG-02_NDT.CIV

Data ultima revisione / *Date last revision*: -----

Emesso / *issued*: 4 Mar 2021

Scadenza / *Expiry date*: 3 Mar 2026

Autorizzazione del datore di lavoro
Employer authorizing

Firma titolare del certificato
Signature of certificate holder

Responsabile Tecnico di Schema
NDT Scheme Chief
Luca Rossi