

**INDAGINE GEORADAR FINALIZZATA ALLA
MISURA DELLO SPESSORE DEL RIVESTIMENTO
ALL'INTERNO DI DUE NUOVE GALLERIE STRADALI A
MORI (TN)**

PROVA N. 405/TN

14 – 16 marzo 2005

Committente:

Tecnico incaricato:

Relatore: **dott. Marco Zandonà**



Imbocco lato ovest delle gallerie



INDICE

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE	4
2.1	METODOLOGIA	4
3	MODALITÀ DI ESECUZIONE	8
3.1	GEOMETRIE DEI PROFILI DI ACQUISIZIONE	9
4	ELABORAZIONE DEI DATI	11
4.1	PRE PROCESSING	11
4.2	ANALISI DEI RISULTATI	11
5	CONCLUSIONI	12

Allegati:

Radargrammi con interpretazione per ogni sezione



1 PREMESSA

La Società *4 EMME Service Spa* specializzata nell'esecuzione di prove di carico e prove sperimentali su strutture in sito, è stata incaricata da **xxxxxxx** di eseguire un'indagine georadar all'interno di due nuove gallerie stradali situate a Mori (TN).

Scopo dell'indagine è la misura dello spessore del rivestimento delle gallerie.

L'indagine è stata eseguita il giorni 14, 15 e 16 marzo 2005 dal seguente personale della *4 EMME Service S.p.a.*:

geom. xxxxx xxxxxxxx

sig. xxxxx xxxxxxxx

ing. xxxxx xxxxxxxx

dott. xxxxx xxxxxxxx



2 DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE

2.1 Metodologia

La metodologia GPR, attraverso l'utilizzo di onde elettromagnetiche, consente la definizione delle caratteristiche interne al mezzo indagato. In particolare è possibile identificare interfacce tra livelli dotati di differente resistività e costante dielettrica. Tali parametri sono in seguito correlabili a fattori fisici quali il grado di compattazione, la posizione e le caratteristiche di eventuali manufatti sepolti, la presenza di zone umide o di zone non cementate.

Un impulso elettromagnetico della durata di pochi nanosecondi, inviato nel mezzo tramite un'antenna trasmittente, viene in parte riflesso dalle interfacce tra livelli in contrasto elettromagnetico ed in parte trasmesso nei livelli sottostanti. I segnali riflessi vengono captati in superficie tramite un'antenna ricevente; quest'ultima può essere la stessa utilizzata per la trasmissione (configurazione monostatica – fig. 1) o separata da questa di una certa distanza (configurazione bistatica – fig. 1).

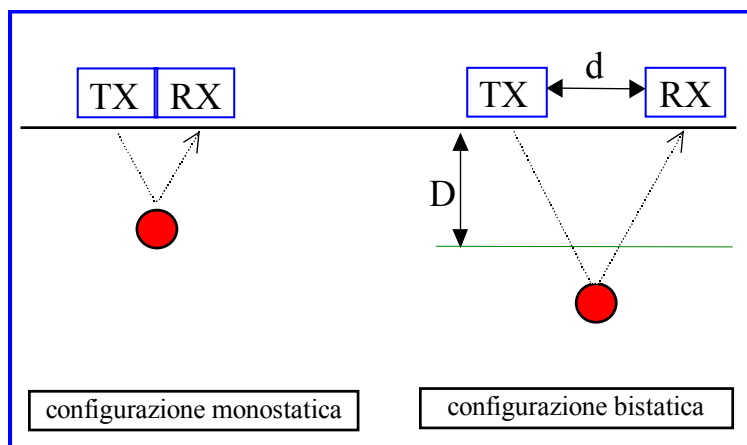


Fig. 1: Configurazione delle antenne

La scelta della configurazione, fondata sugli scopi della ricerca, è basata sulla profondità massima di indagine e sul livello di dettaglio richiesto. Questi a loro volta contribuiscono alla scelta della frequenza dell'antenna; ad una bassa frequenza corrisponde infatti una elevata penetrazione del segnale in profondità ma con uno scarso dettaglio delle anomalie riscontrabili (risoluzione bassa), al contrario ad alte frequenze corrispondono elevati livelli risolutivi con scarsa penetrazione del segnale.

La generazione e la ricezione dei segnali a radiofrequenza è operata da una o più antenne che vengono fatte scorrere sul materiale da indagare.

I dati raccolti, opportunamente elaborati, sono memorizzati e rappresentati su una unità di controllo che genera anche gli impulsi necessari al funzionamento delle antenne. Eventuali oggetti presenti al di sotto delle superfici rilevate generano nelle immagini radar (“o radargrammi”) con caratteristiche forme iperboliche, come illustrato in Fig. 2.

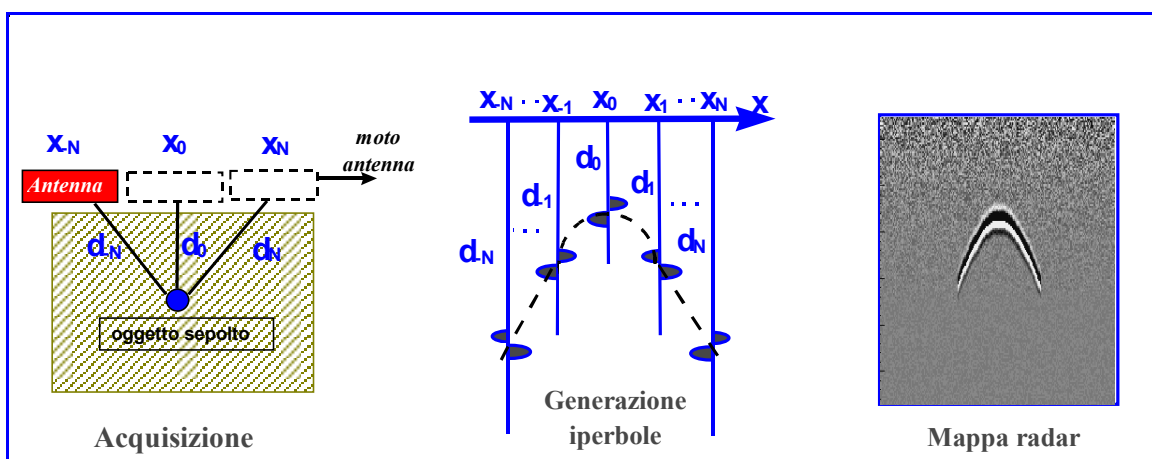


Fig. 2: Generazione di una mappa radar

I profili, generalmente acquisiti lungo reticoli con direzioni ortogonali a distanze variabili, consentono la ricostruzione dell'andamento dei livelli dotati di differenti caratteristiche elettromagnetiche tramite sezioni verticali radar-stratigrafiche.

La realizzazione di profili paralleli ravvicinati permette al software di elaborazione di creare anche delle tomografie delle intensità del segnale rilevate alle diverse profondità (fig. 3).

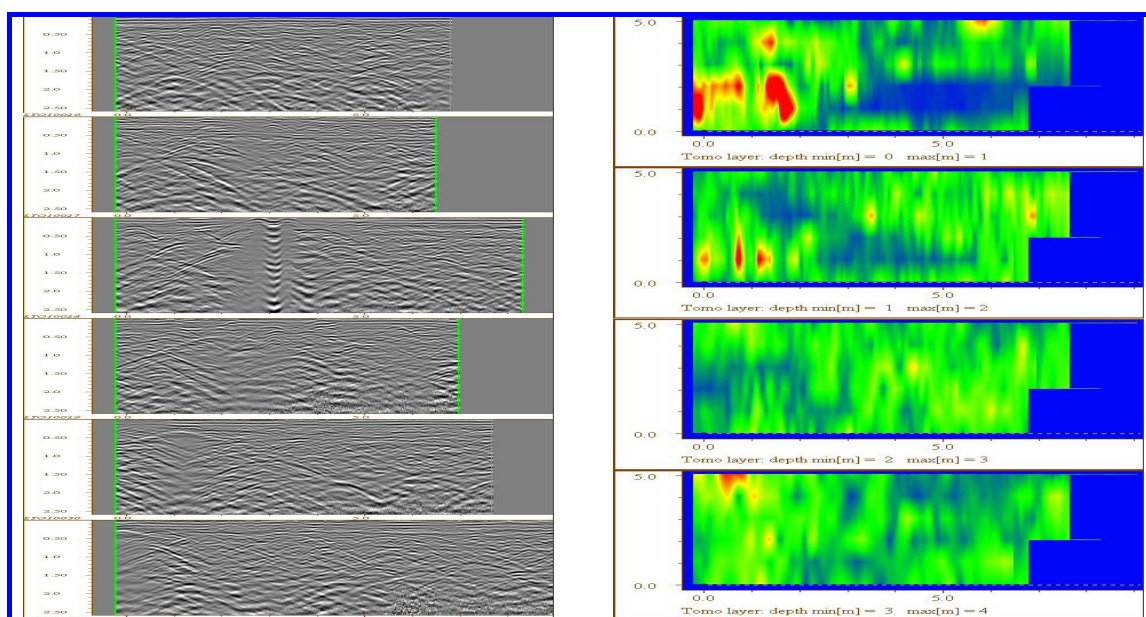


Fig. 3: esempio di profili radar affiancati (a sx) e della tomografia elaborata (a dx)

La riflessione dell'onda radar emessa avviene a causa delle differenti caratteristiche "elettriche" dei materiali attraversati. Tutti i mezzi reali assorbono le onde elettromagnetiche 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 risalire al comportamento del mezzo nei confronti della propagazione delle onde elettromagnetiche.

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 amplificazione applicata.

2.2 Strumentazione

L'indagine è stata eseguita utilizzando un sistema radar RISK20 della "IDS - Ingegneria dei Sistemi S.p.A.", costituito da (fig. 4):

- computer laptop Panasonic Toughbook CF 18;
- unità di controllo antenne DAD K1 a 1 canale, montata su zaino;
- antenna di frequenza adeguata all'indagine, in questo caso 400 MHz;
- ruota metrica montata sull'antenna;
- cavo multipolare;
- batteria montata su zaino.

Il laptop consente tutte le operazioni di calibrazione del sistema e l'impostazione dei parametri di acquisizione quali tempo di registrazione, guadagno e tipi di filtro da applicare ai segnali elettromagnetici; nonché la visualizzazione del profilo in tempo reale consentendo una rapida valutazione, già durante le operazioni di campagna, della qualità dei segnali registrati.

L'unità di controllo genera il segnale che viene inviato alla sezione trasmittente e elabora il segnale ricevuto dalla sezione ricevente dell'antenna.



All'unità centrale è collegata, tramite un cavo multipolare, l'antenna che ha il compito di trasmettere i segnali elettromagnetici all'interno della struttura da indagare e di ricevere le riflessioni dovute alle interfacce elettromagnetiche presenti alle diverse profondità di indagine. La frequenza di trasmissione viene determinata dalle caratteristiche costruttive dell'antenna stessa e può variare da 14 MHz a oltre 2,5 GHz. La scelta della frequenza è basata sugli scopi di utilizzo dell'apparecchiatura, ad una bassa frequenza corrisponde infatti una elevata penetrazione del segnale in profondità ma con uno scarso dettaglio delle anomalie riscontrabili (risoluzione bassa). Al contrario ad alte frequenze corrispondono elevati livelli risolutivi con scarsa penetrazione del segnale.



Fig. 4: configurazione del "Sistema georadar RISK20"



3 MODALITÀ DI ESECUZIONE

L'obiettivo dell'indagine era la misura dello spessore del rivestimento delle gallerie per permettere l'esecuzione di carotaggi senza forare la guaina di impermeabilizzazione.

Prima di iniziare l'indagine è stato effettuato un test nella seconda galleria laterale che si incontra procedendo nel senso crescente delle progressive, allo scopo d'individuare l'antenna più adatta all'indagine e per definire la velocità di propagazione dell'onda elettromagnetica. Purtroppo le caratteristiche del calcestruzzo (tipo ed umidità) non hanno consentito di utilizzare l'antenna da 1600 MHz, che avrebbe consentito una migliore risoluzione verticale (circa 0,04 m), in quanto il segnale non penetrava il calcestruzzo per più di 45 – 50 cm. Si è quindi scelto di operare con l'antenna da 400 MHz che consente una maggior penetrazione del segnale ma restituisce dati con una risoluzione minore, stimabile in circa **0,14 m**.

La taratura è stata eseguita ponendo in chiave di un tratto di galleria con la sezione aperta, una barra e una putrella metalliche ed effettuando successivamente il rilievo georadar trasversalmente alla lunghezza della stessa ed effettuando rilievi in prossimità dei bordi dove era visibile lo spessore del paramento. A tal proposito si veda l'allegato "TEST".

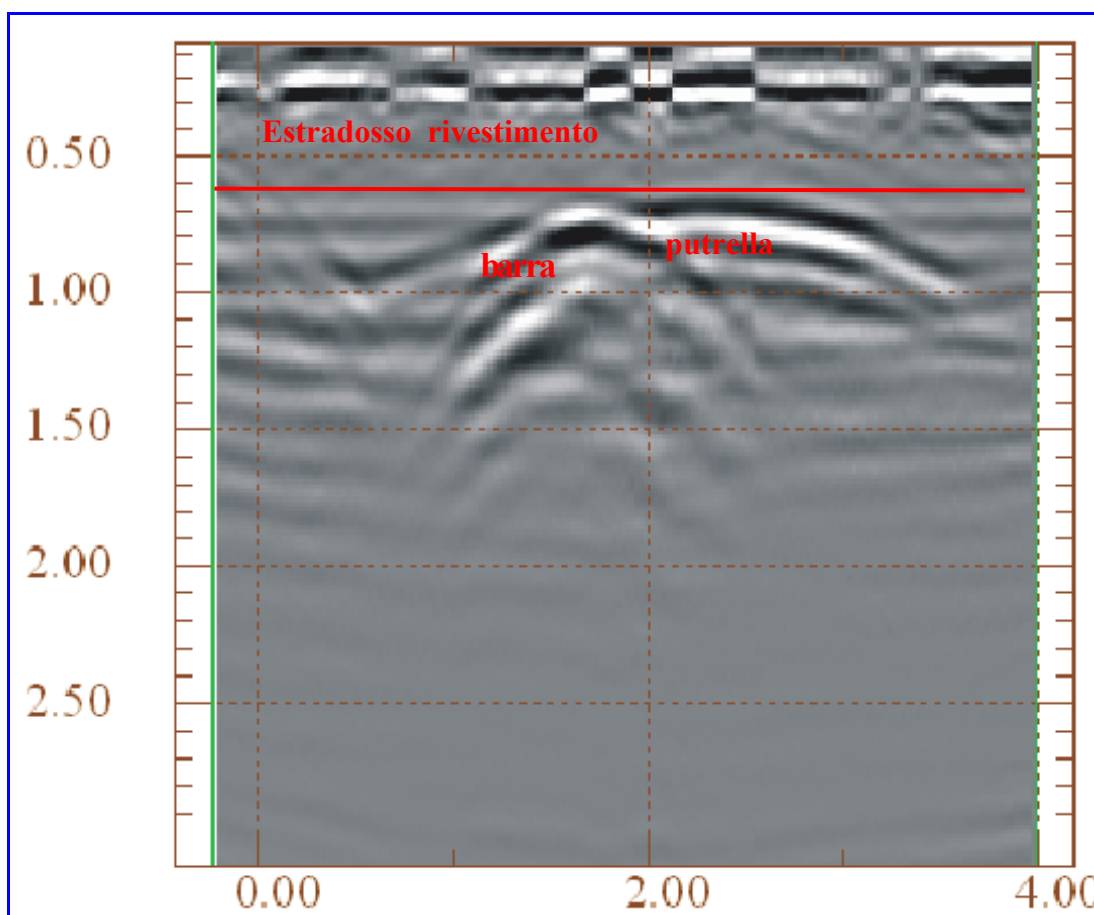


Fig. 5: radargramma di una delle acquisizioni TEST

Conoscendo lo spessore si è potuto così calcolare la velocità dell'onda elettromagnetica nel calcestruzzo che però, è utile ricordare, viene assunta come costante per l'intera indagine, mentre, in realtà, varia di sezione in sezione sulla base delle caratteristiche locali del cls, della



presenza o meno di armatura superficiale e delle condizioni di umidità. Si tratta in ogni modo di variazioni generalmente contenute.

La velocità di propagazione media dell'onda elettromagnetica è stimabile in circa **0,11 m/ns** (**ns = nanosecondi**).

3.1 Geometrie dei profili di acquisizione

In ogni galleria doveva essere eseguita l'indagine in 5 sezioni alle progressive decise dalla committenza.

Per raggiungere ogni punto della volta è stato utilizzato un cestello elevatore; per garantire l'accoppiamento antenna-superficie, l'antenna è stata sostenuta manualmente da un operatore (foto 1 e 2).



Foto 1: Rilievo della sezione trasversale



Foto 2: Rilievo di una sezione al rene sud

In ogni sezione sono state effettuate sei strisciate georadar, con la seguente geometria:

- Sezione trasversale, partendo da circa 1,5 m sopra il “marciapiede”; se necessario la sezione georadar è stata eseguita in due o più tranches.
- Piedritto lato nord e piedritto lato sud: sezioni longitudinali di lunghezza variabile, eseguite ad un'altezza di circa 1,30 m da quota marciapiede.
- Rene lato nord e rene lato sud: sezioni longitudinali di lunghezza variabile, eseguite ad un'altezza di circa 5,80 m da quota marciapiede.
- Chiave: sezione longitudinale di lunghezza variabile, eseguita in chiave della galleria.

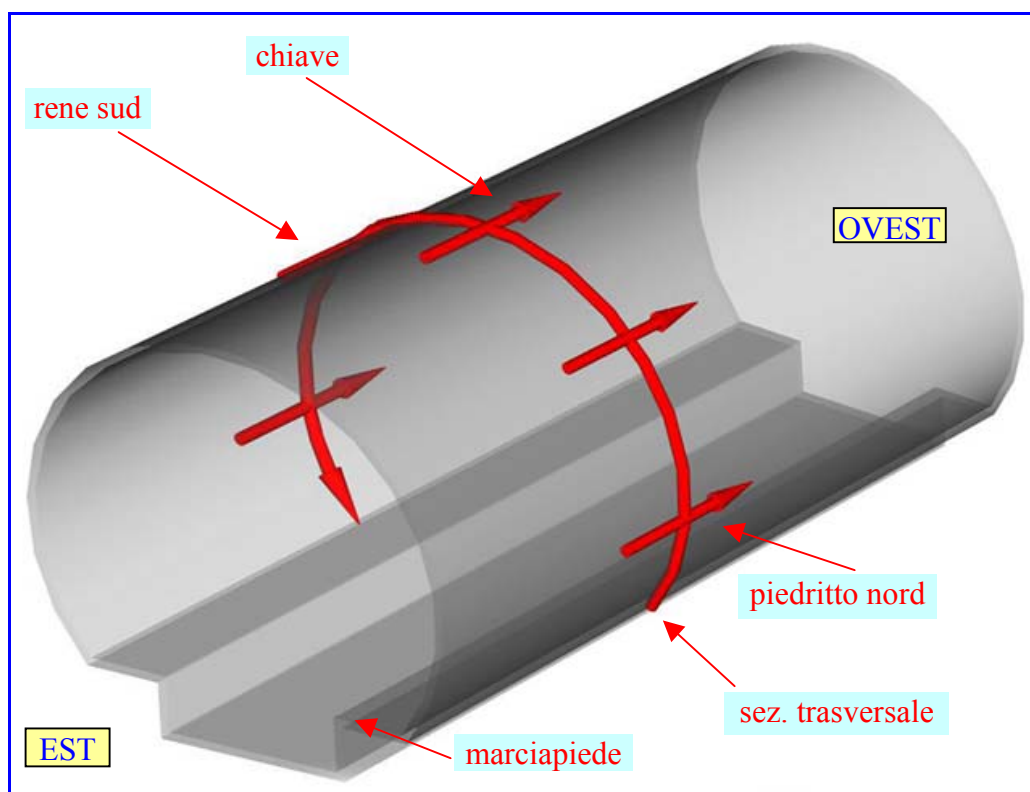


Fig. 6: Sezione tipo

Nella tabella in seguito si riportano le lunghezze delle sezioni georadar.

Galleria	Progressiva (m)	Trasversale (m)	Piedritto nord (m)	Piedritto sud (m)	Rene nord (m)	Rene sud (m)	Chiave (m)	Totale (m)
NORD	150	7,55 + 7,52	3,99	3,27	3,13	2,72	1,69	29,87
	600	16,23	7,33	7,28	2,63	1,97	2,63	38,07
	950	15,20	8,48	7,38	3,27	2,79	4,93	42,05
	1500	14,48	3,801	8,79	2,41	2,97	3,32	35,771
	2100	5,41 + 3,65 + 5,57	3,6	10,94	3,89	3,91	4,87	41,84
SUD	100	7,34 + 5,67	3,36	2,98	3,03	2,64	2,16	27,18
	550	12,46	2,79	3,19	2,50	2,45	2,62	26,01
	800	15,75	4,44	3,72	2,81	2,69	1,66	31,07
	1600	12,75	2,71	2,52	2,91	1,87	2,11	24,87
	1900	14,14	2,71	4,32	2,52	2,52	2,11	28,32



4 ELABORAZIONE DEI DATI

4.1 Pre processing

Durante la fase di acquisizione in campagna, si è preferito applicare ai dati i soli filtri necessari alla rimozione dei disturbi principali, preferendo rimandare alla successiva fase di elaborazione in ufficio la determinazione dei parametri ottimali.

La fase preliminare di elaborazione ha richiesto di determinare le componenti in frequenza proprie del segnale e quelle dovute al rumore, al fine di eliminare dai dati le informazioni non utili.

4.2 Analisi dei risultati

I risultati sono riportati negli allegati dove, sul radargramma, è stata tracciata in rosso una linea in corrispondenza dell'estradosso del rivestimento. Nei casi in cui tale superficie risulta di difficile lettura, la linea è stata tratteggiata. Una griglia consentirà di risalire alla profondità alle varie progressive.

In considerazione della delicatezza dell'indagine si è scelto di analizzare i dati cautelativamente e, di fronte ad eventuali incertezze, scegliendo sempre lo spessore minimo. In linea generale i radargrammi rilevati nella galleria sud hanno presentato una maggior difficoltà d'interpretazione.

In presenza di centine la linea che rappresenta l'interfaccia rivestimento - roccia è stata sempre fatta passare in corrispondenza dell'intradosso della centina stessa. Le anomalie di tipo puntuale, corrispondenti a centine, chiodi o altro, sono state indicate con un pallino verde quando erano particolarmente evidenti. Infatti, le iperboli non sempre sono ben visibili in quanto il filtraggio applicato ai segnali è stato finalizzato alla messa in evidenza delle discontinuità di tipo planare.

La presenza di griglie o tubazioni metalliche sulla volta delle gallerie ha, in alcuni casi, disturbato le operazioni di acquisizione, costringendo a registrare i segnali in due o tre riprese, ma soprattutto creando interferenze nel segnale stesso rendendolo talora di difficile interpretazione.



5 CONCLUSIONI

Sono stati rilevati gli spessori del rivestimento della galleria con una precisione di circa 0,14 m.

Localmente sono state individuate anche anomalie puntuali afferibili a centine o chiodi.

Gli spessori sono generalmente pari o maggiori a 0,50 m. In taluni limitati casi (galleria nord, 2100 m – galleria sud, 550) m si riducono a spessori inferiori a 40 cm, generalmente in corrispondenza di anomalie puntuali.

Bolzano, 1 aprile 2005

Il relatore
Dott. Marco Zandonà

4 EMME Service Spa

Il direttore del Centro di Bolzano
Per. Ind. Gianni Martinello