

Il Viadotto delle Fornaci è un tratto autostradale Svizzero, in funzione da lungo tempo, che collega Chiasso ad Airolo. In un programma di manutenzione, l'USTRA (Ufficio Federale delle Strade) ha richiesto un'indagine che permettesse di valutare le condizioni strutturali del manufatto, ponendo particolare attenzione ai ferri di armatura. Data l'importanza del tratto autostradale, molto trafficato, l'indagine doveva essere quanto più rapida possibile, senza intaccare la praticabilità delle carreggiate. Si è quindi optato per un'indagine georadar.



Fig.1 – Viadotto delle Fornaci (Svizzera)

### Strumentazione e principi di funzionamento

Il georadar utilizzato, con tecnologia Hi-Bright prodotto dalla IDS e fornito dalla Boviari s.r.l., è a doppia polarizzazione. A differenza di un normale georadar, che monta una singola antenna con polarizzazione orizzontale, l'Hi-Bright è a doppia polarizzazione e monta 16 antenne. Organizzate su di due file, le antenne hanno frequenza centrale di 2Ghz permettendo di discriminare anche le anomalie più piccole.

Le antenne sono interdistanziate di 10 cm ed il box che le contiene ha una larghezza di circa 1m e una lunghezza di circa 0.5 m, permettendo di registrare con una sola passata una striscia larga 0,70m. La densità dei dati così registrati è tale da coprire arealmente tutta la superficie di interesse.

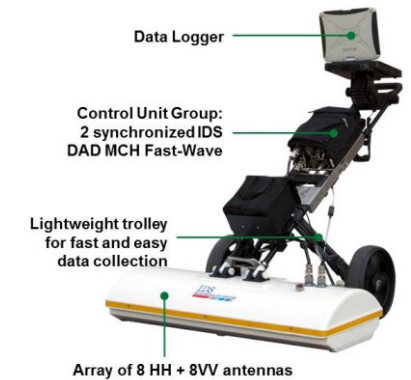


Fig.2 – Georadar con tecnologia Hi-Bright prodotto dalla IDS

Il sistema Hi-Bright è un metodo di indagine GPR (Ground Penetrating Radar) di ultima generazione, sviluppato espressamente per l'analisi dei ponti e viadotti. L'antenna da 2 GHz, a discapito di una profondità di investigazione relativamente limitata (inferiore a 1m), permette di valutare con grande dettaglio le diverse caratteristiche di progetto ed in particolare: spessore degli asfalti, spessori degli impalcati in calcestruzzo, spessori dei copriferro, diametri delle armature e loro posizione. IDS ha inoltre messo a punto un software che permette di elaborare il segnale georadar ed ottenere mappe che mostrano le zone più deteriorate e imbibite di umidità sia nell'asfalto che nell'impalcato in calcestruzzo.

Attraverso ciascun antenna, il georadar emette impulsi elettromagnetici nel terreno; le onde si propagano nei mezzi investigati e procedono sempre più in profondità, ma parte del segnale viene riflesso dalle discontinuità o disomogeneità incontrate e ripercorre il tragitto inverso fino ad essere captato dal ricevitore, anch'esso alloggiato nell'antenna. Misurando il tempo di andata e ritorno del segnale è possibile stimare la profondità dell'oggetto bersaglio. La corretta stima di tale profondità è legata alla stima di un ulteriore parametro: la velocità di propagazione delle onde nel terreno. Essa non dipende solamente dal tipo di antenna o

dalle regolazioni date dall'operatore, ma anche dalla natura dei mezzi attraversati e, in particolare, dalla costante dielettrica propria di ciascun materiale: minore è la costante dielettrica e maggiore sarà la profondità raggiunta durante l'indagine. Risulterà riflettente un corpo le cui dimensioni siano comparabili o maggiori della lunghezza dell'onda elettromagnetica nel mezzo in cui il corpo è immerso. L'energia dell'impulso riflesso è direttamente proporzionale al contrasto di valore dei parametri fisici fra il corpo sepolto ed il terreno che lo contiene. Parte dell'energia trasmessa dall'antenna nel terreno è riflessa dai corpi sepolti (ferri di armatura, interfaccia asfalto-cemento) eventualmente presenti, captata dall'antenna e registrata. I dati raccolti possono essere visualizzati in scale di falsi colori, elaborati ed analizzati da un operatore.

### L'indagine

Le indagini sono state effettuate nel periodo dal 16 al 24 marzo 2015, in parte in notturna con chiusura al traffico sulle corsie di marcia e in parte diurne all'interno dello scatolare posto sotto il viadotto.

Lo scopo dell'indagine è stato

- sulle corsie del viadotto:

- Definire lo spessore della piattabanda
- Definire la posizione dei ferri di armatura
- Quantificare il copriferro delle armature superiori
- Quantificare il copriferro delle armature inferiori

- sugli scatolari:

- Definire lo spessore della base
- Definire la posizione dei ferri di armatura della base
- Definire lo spessore delle pareti

La superficie totale analizzata è di circa 10'000mq. Per praticità operativa le registrazioni sono state suddivise in blocchi di lunghezza massima pari a 30 m.

Grazie alla presenza delle 16 antenne, è stato possibile coprire l'intera area organizzando l'indagine su linee di prospezione interdistanziate di 0.7 m.

Particolare attenzione è stata posta nella restituzione topografica delle sezioni georadar al fine di limitare al minimo gli errori di ubicazione nella fase interpretativa

La scelta dell'antenna con frequenza centrale di banda pari a 2Ghz ha permesso di ottenere il massimo grado di dettaglio rispettando la profondità di indagine richiesta. Dopo aver analizzato i disegni di progetto ed i risultati di alcuni fori di taratura si è deciso di impostare diversi valori di fondoscala per le piattabande (50cm) e per gli scatolari (90cm).

Contestualmente alle indagini georadar sono stati eseguiti alcuni fori per poter eseguire la taratura ed ottenere, dall'analisi delle immagini georadar, una precisione del 5%. Le tarature sono state effettuate sia misurando lo spessore del calcestruzzo delle pareti e del pavimento degli scatolari, sia gli spessori di asfalto e soletta in diversi punti del viadotto. Per via della grande accuratezza richiesta alla stima e dalla eterogeneità del viadotto (copertura d'asfalto multi strato, strati diversi di fondo ed impermeabilizzante, differenti gettate di calcestruzzo, distribuzione disomogenea di ferri di armatura e cavi di precompressione), sono stati richiesti un totale di 37 fori di

taratura, distribuiti sulle due piattabande e sugli scatolari, in modo da poter valutare correttamente le costanti dielettriche proprie di ciascuna zona della struttura.

### I risultati

Tramite opportuni filtraggio, taratura ed elaborazione dei dati, si è arrivato a fornire tutti i dati richiesti, organizzati in opportune tabelle che, ad intervalli di 50cm, riportano:

- sulle piattabande:

- Profondità dei ferri di armatura
- Spessore del copriferro
- Spessore dello strato di asfalto
- Spessore dello strato di cemento
- Spessore totale (asfalto e cemento)

- sugli scatolari:

- Profondità dei ferri di armatura
- Spessore del cemento

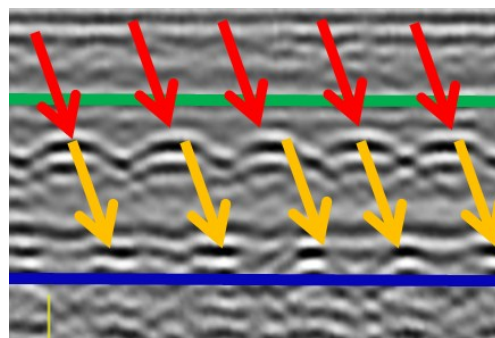


Fig.4 - Visualizzazione di una sezione longitudinale relativa alla piattabanda; le frecce colorate indicano le anomalie: in rosso i ferri superiori, in arancio i ferri inferiori; la linea blu ricalca la parte inferiore dello strato di cemento; la linea verde l'interfaccia asfalto-cemento.

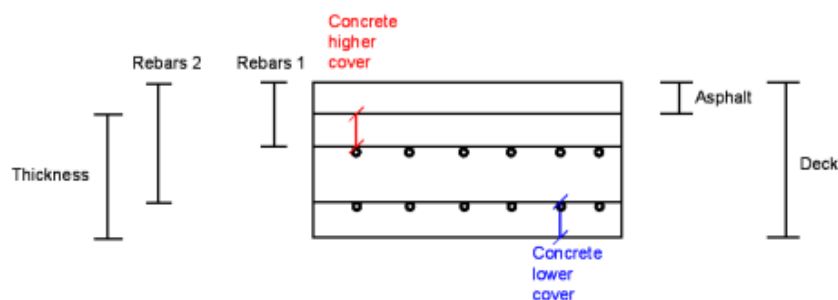


Fig.3 - Schema esplicativo dei valori restituiti: Spessore dello strato di asfalto, spessore dei copriferro superiore ed inferiore, profondità dei ferri di armatura, spessore dello strato di cemento

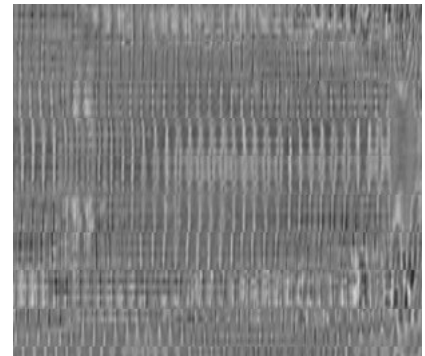


Fig.5 - Ricostruzione di una sezione georadar sul piano x-y vista in pianta, alla profondità di 15cm: sono visibili i ferri trasversali di armatura.

### Dati Tecnici

Stazione Appaltante: USTRA (Ufficio Federale delle Strade)  
 Strumentazione utilizzata: Georadar IDS Hi-Bright fornita da BOVIAR s.r.l.  
 Esecuzione lavori: Geoalps (Ing. M. Bossi, Geol. A. Monacchi, Geol. M. Zanini)