



17 maggio 2023

GEOTECNOLOGIE

Dott. Ernesto Ruberl



SINA

ASTM GROUP



14 giugno 2023

GEOTECNOLOGIE

Dott. Ernesto Ruberl



SINA

ASTM GROUP



02 Ottobre 2025

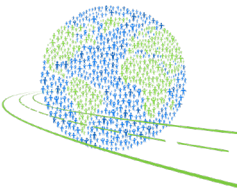
GEOTECNOLOGIE APPLICATE ALLE INFRASTRUTTURE

Dott. Ernesto Ruberi
Dott. Stefano Oppioni



SINA

ASTM GROUP



- Per introdurre la trattazione di questo tema ritengo opportuna una premessa di inquadramento.
- Il campo delle “geotecnologie” è molto vasto. In linea di massima comprende:
- **Geotecnica:** ramo della Geologia ed Ingegneria che si occupa del comportamento meccanico di rocce/terreni e delle loro interazioni con le strutture
- **Geofisica:** ramo della Geologia che si occupa di definire, tramite specifici modelli, le caratteristiche e proprietà fisiche dei materiali costituenti la terra
- **Geoingegneria:** ramo dell’Ingegneria che si occupa dell’applicazione delle Scienze della Terra alla Ingegneria delle Infrastrutture (progettazione e realizzazione)
- **Idrogeologia:** ramo della Geologia che studia la presenza, il deflusso e gli effetti delle acque di superficie e profonde nei materiali
- **Geomatica:** scienza che si occupa dell’acquisizione, delle analisi e delle rappresentazioni di dati geospaziali ai fini della caratterizzazione di elementi sulla superficie terrestre.
 - Campi tecnologici; topografia e geodesia, cartografia, telerilevamento, sistemi GIS, GPS,GNSS, fotogrammetria...
 - Applicazioni: modellazione 3D, monitoraggio ambiente e territorio, progettazione urbanistica/infrastrutture, gestione/prevenzione rischi....



Oggetto: GEO-TECNOLOGIE, INFRASTRUTTURE, con orientamento alle MISURE

- **GEO:** nell'ambito della cultura occidentale la realtà è stata interpretata sulla base dei 4 elementi fondamentali: aria, acqua, terra, fuoco.
- L' **"elemento terra"** come percepito nel rapporto immediato con gli esseri umani è costituito da una materia solida. Si può considerare che abbiamo a che fare in generale con rocce: in gran parte lapidee (considerate anche terre dure) ma anche "sciolte" (considerate anche terre tenere) se così possiamo definire i terreni. Ma nel nostro campo di attività dobbiamo tenere in considerazione anche l' **"elemento acqua"** per quanto interviene nelle proprietà dei materiali rocce (sempre in senso ampio) e per quanto influisce sui manufatti e sul territorio/ambiente: gli attuali eventi calamitosi ne sono una testimonianza decisamente evidente.
- Nella fattispecie l'elemento preso in considerazione è la terra nei termini più ampi.
- **TECNOLOGIE:** interventi su e mediante gli elementi del genere GEO-terra nelle applicazioni di utilità.
- **MISURE:** quantificazione delle **caratteristiche** e delle **proprietà** funzionali nelle applicazioni dei geoelementi.
- **INFRASTRUTTURE:** opere complementari allo svolgimento di attività o insediamenti di rilevanza economica, industriale, urbana. Di nostro particolare e competente interesse sono le infrastrutture relative ai trasporti: strade, ferrovie, aeroporti, porti.

Breve introduzione di metodo e di criteri

Oggetto, scopo e campo di applicazione



Oggetto: GEO-TECNOLOGIE, INFRASTRUTTURE, con orientamento alle MISURE

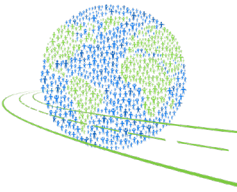
Scopo:

Questa presentazione è intesa ad illustrare sommariamente le funzionalità delle misure di indagine e controllo nel campo delle geotecnologie ai fini della geognostica e della definizione di specifici modelli numerici fisici e matematici al servizio della progettazione.

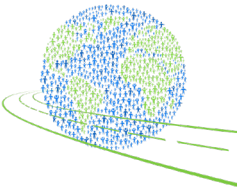
Campo di applicazione:

in generale: campo delle infrastrutture

nello specifico: progettazione e realizzazione di interventi su ambiente-territorio-asset autostradali



- La **descrizione della realtà** dipende dalla percezione e dalla quantificazione di quello con cui interagiamo e che vogliamo definire, descrivere e comunicare.
- Sia la percezione che la quantificazione sono state basate sulle proprietà fisiche dell'essere umano; e allora originariamente sono stati definiti i sensi e le quantità numeriche che più istintivamente, o progressivamente sulla base esperienziale, si riusciva a identificare.
- Ne era derivata la definizione dei 5 sensi e, nella nostra cultura, la numerazione in base decimale.
- Ci si è poi accorti che ai 5 sensi vista, udito, tatto, olfatto, gusto bisognava aggiungerne altri come ad esempio: il senso del peso, del tempo, della temperatura, della prossimità, ecc.
- L'**homo faber** aveva ed ha necessità di precisare le proprietà della realtà e di quantificare l'entità dell'oggetto considerato.
- E da questo è derivato lo sviluppo della **MISURA**.



- Per ottenere la misura è evidente che sono necessari gli strumenti, i metodi e le unità appunto di misura.
- La misura è condizionata principalmente da:
 - **strumenti di misura**
 - **condizioni di misura** (es condizioni ambientali)
 - **metodo di misura** (procedimento...)
 - **operatore e misurando**

Concetti fondamentali:

Incertezza: intervallo fiduciale entro cui ci si aspetta che ricada il valore vero (si stima)

Accuratezza: indice di «affidabilità» della misura, indica quanto la misura si avvicina al valore vero o di riferimento (si calcola)

Precisione: indice di «dispersione» della misura, indica quanto le misure sono vicine tra loro e poco «disperse»

Validità: la misura valida deve essere conforme ad un metodo di prova (norma, I.O....) e l'incertezza dichiarata

Il risultato di una misurazione, che chiameremo Y , deve pertanto essere espresso nel seguente modo:

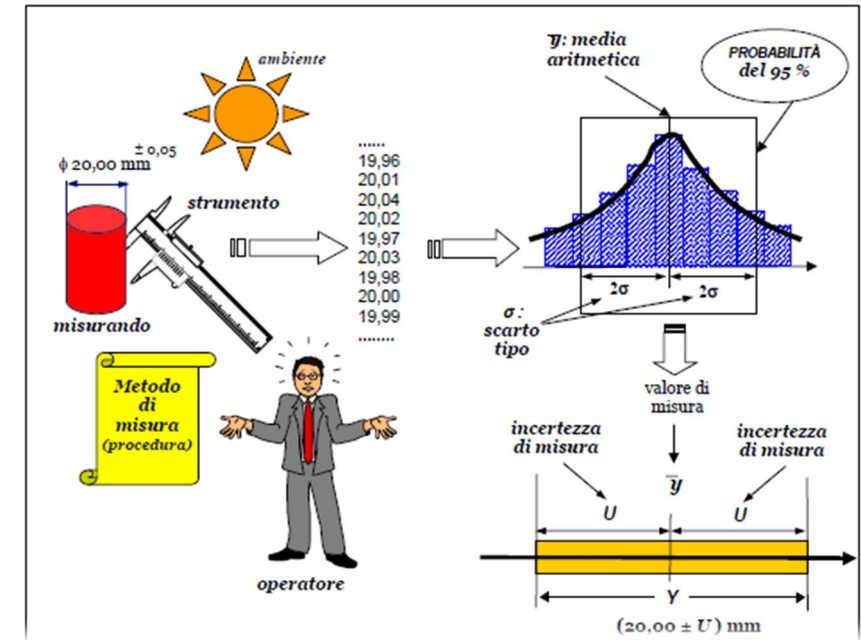
$$Y = (\bar{y} \pm U) \text{ [unità di misura]}$$

dove:

Y : risultato della misurazione;

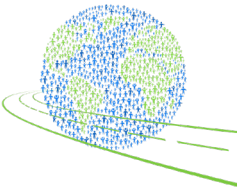
$\bar{y}$: valore di misura;

U : incertezza estesa.





- Le caratteristiche degli strumenti devono essere congruenti con le proprietà da misurare.
- Dal punto di vista qualitativo l'attività di misura può essere a grandi linee suddivisa in due campi:
- **misure di indagine**
- **misure di controllo**
- Le **misure di indagine** definiscono le grandezze fisiche che caratterizzano i vari elementi quali: rocce, terreni, acqua. Definiscono le condizioni iniziali di conoscenza dalle quali poi si sviluppano i modelli.
- Le **misure di controllo** riguardano "oggetti" (**elementi strutturali > strutture**) derivanti da attività di produzione o da attività di intervento che hanno come riferimento dei requisiti stabiliti. Si utilizzano prevalentemente in c.o. o p.o. per verificare e monitorare che l'opera rispetti i **requisiti di sicurezza e prestazionali**. Tali misure possono essere di tipo diretto o di tipo prestazionale.
- Tipo diretto: si basano sul principio del confronto diretto tra il valore misurato e il valore di riferimento (es. norma, progetto..)
- Tipo prestazionale: vengono messe in relazione con il comportamento complessivo del sistema
- Es. l'opera mantiene la funzionalità e sicurezza se i parametri cambiano?
- Spostamenti e deformazioni misurate sono coerenti con il modello strutturale?
- Deformazioni e pressioni idrostatiche in profondità sono compatibili con il modello di stabilità di versante?
- Le misure hanno senso in quanto congruenti con i modelli interpretativi adottati



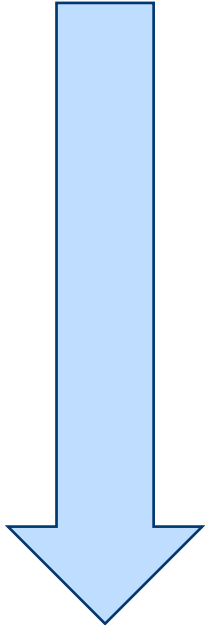
Dalle MISURE ai MODELLI

Le misure hanno senso in quanto congruenti con i modelli interpretativi adottati

Materiali elementari



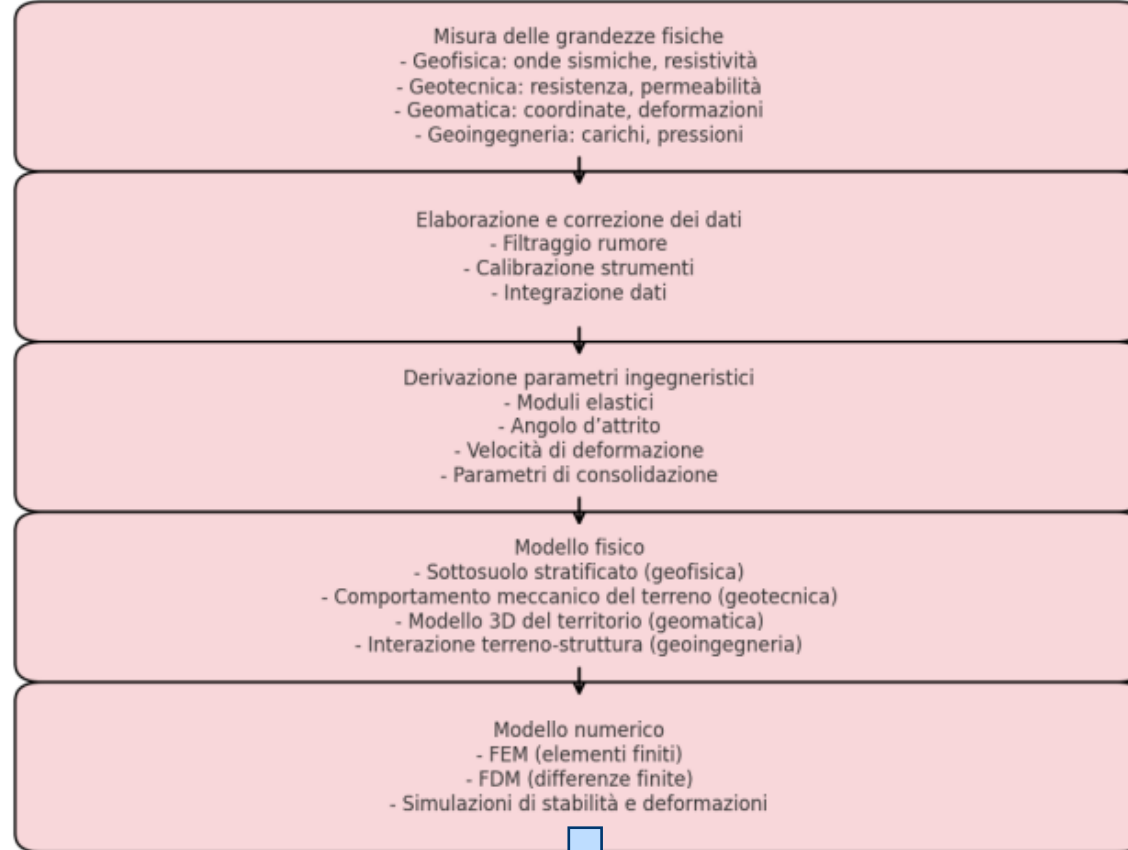
Materiali compositi



Elementi strutturali



Infrastruttura

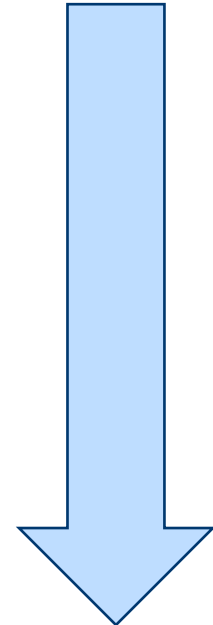


Progettazione



Realizzazione

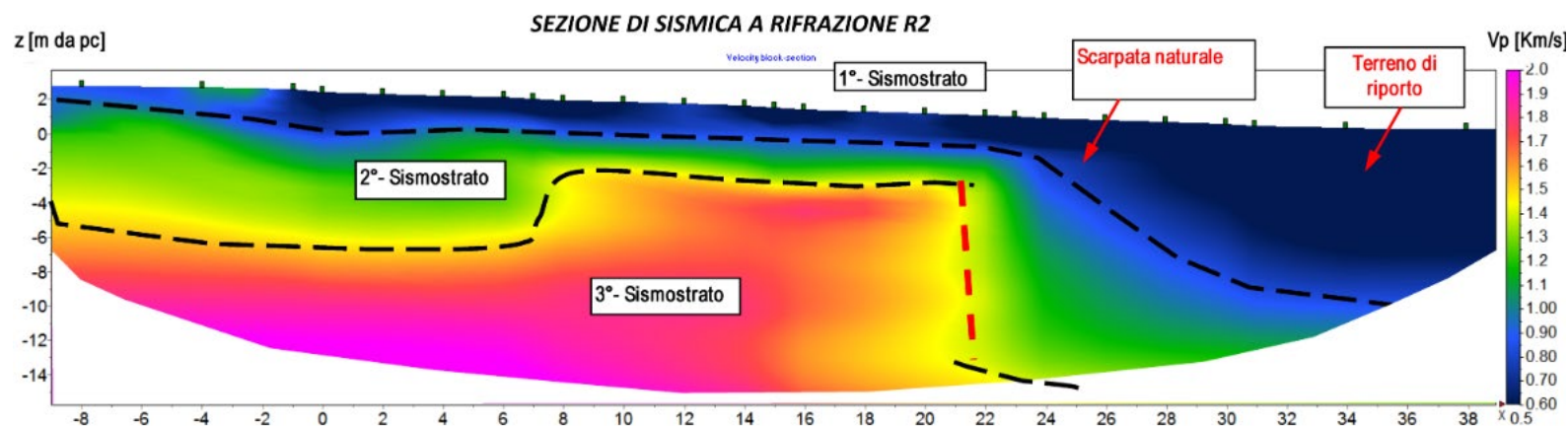
Misure di indagine



Misure di controllo

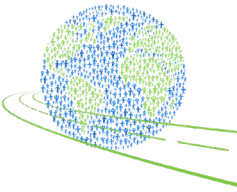


- Comunque, sia che si tratti di misure di controllo che di indagine, le misure sono distinguibili in due tipologie: **misure non distruttive** e **misure distruttive**
- Misure non distruttive:** si intendono misure a carattere non invasivo sui materiali
- Es: misure geofisiche di sismica a riflessione/rifrazione, prove georadar, prove ecometriche/ammettazione meccanica su strutture di fondazione....
- Misure distruttive:** si intendono misure a carattere invasivo sui materiali
- Es: prelievo di campioni per prove di Laboratorio, esecuzione di disaggi su cls per misure su armature...
- Misure semi-distruttive:** indagini video-endoscopiche in foro, prove cross-hole su strutture di fondazione...

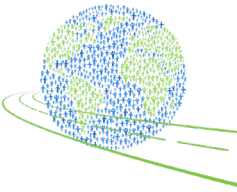




- Bisogna ribadire che la misura ha un'origine funzionale ed a questo consegue che appunto l'attività di misura deve essere congruente con l'oggetto o fenomeno misurando, ad esempio nel livello di risoluzione (che è livello di entità minima nell'apprezzamento della misura). Cioè il campo ed il metodo di misura sono funzione del campo di applicazione. Ragionando ad esempio in termini di dimensioni, quello che vale "a misura d'uomo" in linea di massima non vale a livello microscopico o a livello di galassia. Anche perché i requisiti di precisione e accuratezza sono sostanzialmente diversi.
- I **requisiti di precisione e accuratezza** sono sostanziali nella validazione delle misure perché bisogna sottolineare che ogni misura è affetta dalla **"incertezza di misura"** che è intrinseca alla validazione della misura stessa. L'incertezza è dovuta alle singole componenti del processo di misura e diviene composta quando si tiene conto del sovrapporsi degli effetti delle varie incertezze che intervengono. Per di più le misure possono essere **semplici**, cioè prodotte da una singola specifica determinazione (ad esempio lunghezza), o possono essere **coniugate**, cioè risultanti dalla composizione di più determinazioni concomitanti (ad esempio velocità).
- I concetti esposti conducono alla considerazione basilare del fatto che non esiste in assoluto la misura certa, quella che esiste è la misura valida.
- Allora: la validità di una misura deve tenere conto del contributo dovuto all'incertezza e specialmente nel caso di misure composte /coniugate ritorniamo al concetto di validità: la misura deve essere funzionale cioè utile per lo scopo di applicazione.
- Prendiamo ad esempio una delle più semplici caratteristiche: quella della **lunghezza/altezza** che concettualmente coincide con quella della distanza. Si è nel campo delle proprietà geometriche e anche di deformazione.



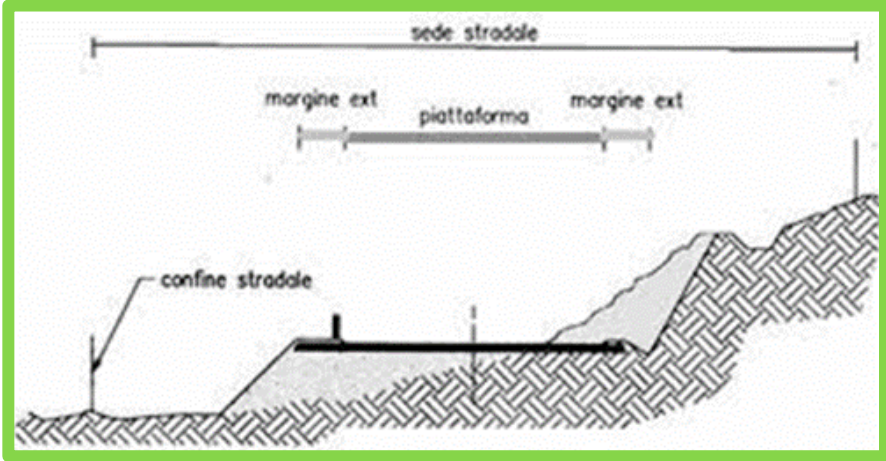
- La **lunghezza** può essere misurata col metro, col calibro, col micrometro, con trasduttori, con laser-scanner, con la triangolazione da satelliti, con metodi sonici, con barrette estensimetriche, ecc. Il campo di applicazione può anche essere sovrapposto. La validità della misura dipende dalla funzionalità ovvero dallo scopo della misura stessa (le caratteristiche degli strumenti devono essere congruenti con le proprietà da misurare).
- Prendiamo **l'esempio delle infrastrutture di trasporto**: la lunghezza di un tratto autostradale condiziona il pagamento del pedaggio, l'altezza di un cavalcavia condiziona il passaggio dei grandi mezzi, la larghezza della carreggiata e delle corsie condiziona la percorribilità ecc., fino a giungere alle dimensioni della ghiaia del conglomerato bituminoso che condizionano la drenabilità della pavimentazione. Le misure ed il campo di applicazione non sono le stesse.
- E analogamente si può dire per altre caratteristiche nel **caso di costruzione di tunnel**: controllo del tracciato, controllo del profilo, misura della deformazione dei conci e/o delle centine, misura delle convergenze del cavo, ecc.

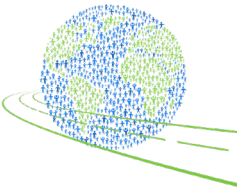


- Nell'ambito delle nostre competenze quando si considerano le grandi infrastrutture ci si riferisce prevalentemente alle grandi infrastrutture a sviluppo lineare che impattano sul territorio. Nelle infrastrutture a sviluppo lineare sono compresi sia **interventi sul territorio (ambiente)** sia **interventi prettamente costruttivi (tipo opere in elevazione)**.
- Devono essere garantite: la **"solidità"**, la **continuità**, la **durabilità**, la **sicurezza**.
- Queste condizioni dipendono dalle proprietà delle strutture e dei materiali che le costituiscono e sostanzialmente derivano dalla compatibilità e dalla collaborazione dei vari elementi componenti.
- Tenendo conto dei fattori di scala: i materiali **elementari** vanno a costituire i materiali **compositi**; questi costituiscono gli **elementi strutturali** che a loro volta costituiscono o intervengono nella o sulla **infrastruttura** che consideriamo.
- I controlli e le misure che si eseguono riguardano quindi progressivamente le caratteristiche/proprietà da quelle elementari a quelle complessive a quelle prestazionali.
- Nota: bisogna tenere presente nelle considerazioni che stiamo portando avanti che **l'indirizzo della Sina nel campo delle misure e dei controlli** è principalmente volto alle caratteristiche di tipo fisico, meccanico e geometrico investigate con criteri da laboratorio sia in sede che in campo. Attualmente le proprietà di tipo chimico e biologico hanno un approccio più limitato ed eventualmente accessorio per quelle di principale competenza.



STRUTTURA STRADALE

- È importante sottolineare che la discretizzazione specifica delle proprietà degli elementi variamente costitutivi che si considerano è volta a valutare l'interazione fra i vari elementi: se possibile la **collaborazione**, almeno la **compatibilità**, se del caso la **minimizzazione delle interferenze**
 - Procediamo ad esemplificare dei livelli di proprietà e caratterizzazione dell'infrastruttura stradale partendo dal campo ampio della struttura generale per andare al campo di dimensioni relativamente piccole dei materiali.
- 
- Prendiamo lo schema più generale di una strada, in posizione di mezza costa, per considerare i vari elementi e le pertinenze.
 - Nel suo genere lo **schema** tiene conto della struttura stradale strettamente intesa ma evidenzia gli aspetti più complessi delle condizioni territoriali e relative al pendio.
 - Teniamo presente che nel suo percorso la strada può comportare **ponti** e **gallerie**.
 - L'approccio geotecnologico deve quindi tenere conto delle **proprietà dei terreni di appoggio e dei rilevati**, delle **condizioni di stabilità dei versanti contigui**, della **fondazione degli impalcati**, delle **problematiche degli scavi** in particolare delle **gallerie naturali**, delle **opere di protezione della strada**, della **presenza dell'acqua** – sia di falda che a pelo libero.
 - Siccome la funzionalità e l'efficienza della strada esigono la migliore continuità delle proprietà della infrastruttura è evidente che punti critici sono costituiti dalle soluzioni di continuità dovute al passaggio fra le diverse condizioni strutturali.

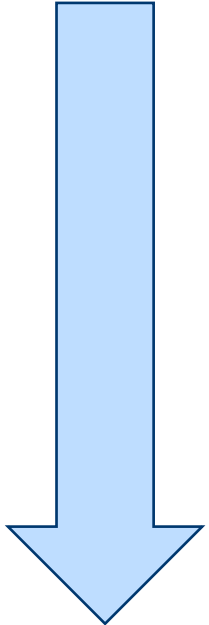


Dalle MISURE ai MODELLI

Materiali elementari



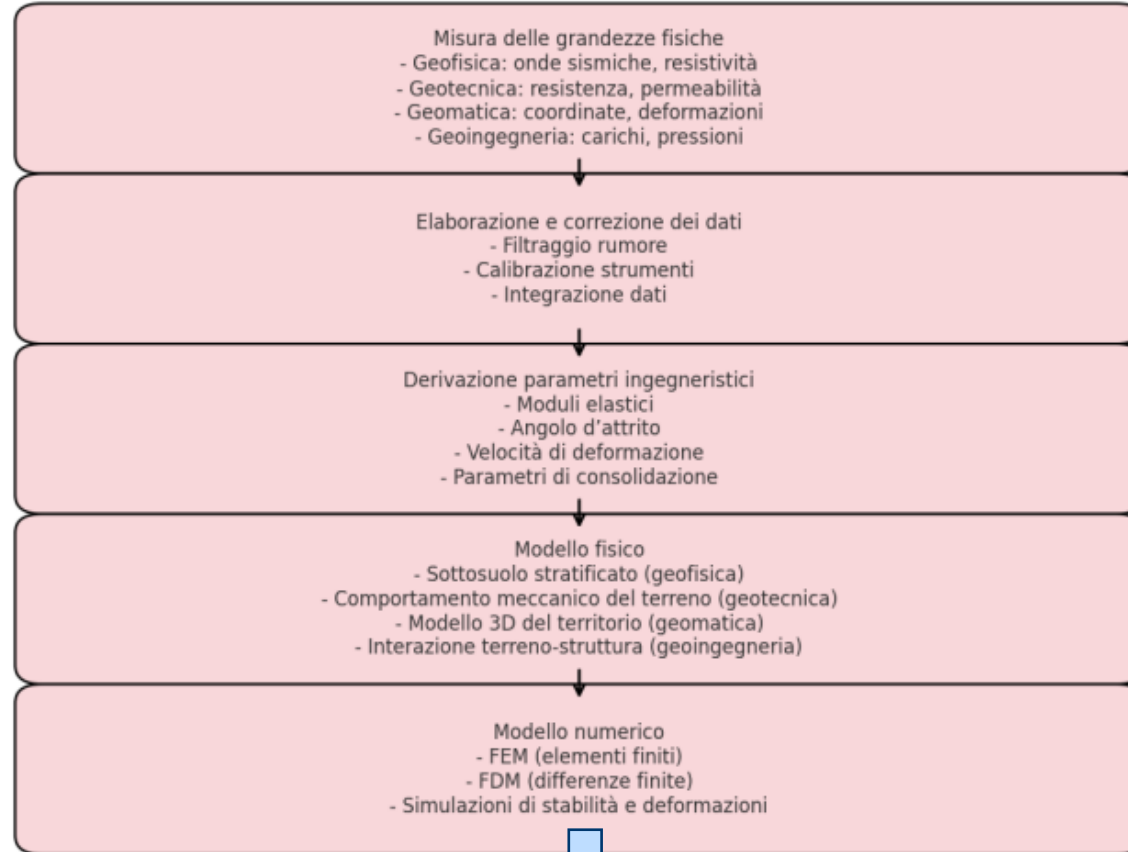
Materiali compositi



Elementi strutturali



Infrastruttura

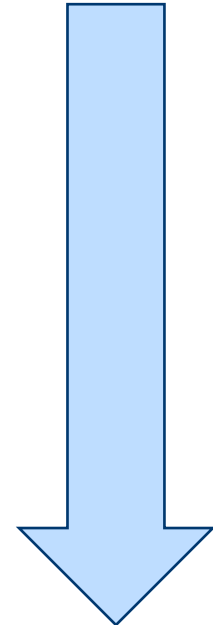


Progettazione



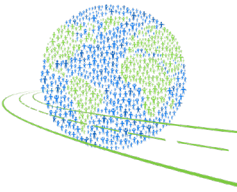
Realizzazione

Misure di indagine



Misure di controllo

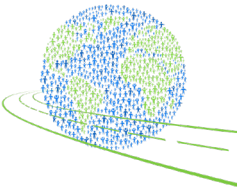
Schema concettuale generale del complesso stradale moderno pavimentato o ferrato



L'entità di una strada costruita ed in esercizio può essere schematizzata (discretizzata) con una serie di elementi-strati sovrapposti, che essenzialmente possono essere ricondotti alla seguente successione:

TRAFFICO	Automezzi, treni, aerei su pista
PAVIMENTAZIONE – ARMAMENTO	Strati bitumati, rotaie/traversine
SOVRASTRUTTURA con FONDAZIONE STRUTTURALE	Strati di base, strati di fondazione, strati di ballast
SOTTOFONDO	Sottofondi migliorati, stabilizzati, sub-ballast
RILEVATO (elemento costruttivo)	Ultimo strato, vari strati, materiali rinforzati
TERRENI DI APPOGGIO (fondazioni geotecniche)	Piano di posa, terreni naturali sottostanti
STRUTTURE	Ovviamente la “strada” ha sede o è inserita su/in strutture di appoggio, di contenimento, di scavo che comportano le relative e specifiche analisi.

Occorre garantire: «solidità», continuità, durabilità e sicurezza



- L'argomento di questa lezione è: geo-tecnologie ed infrastrutture con orientamento alle misure
- Il tema delle geotecnologie è vasto e complesso > tipologie e campi applicativi
- Concetto di misura – origine: necessità di descrivere e quantificare le proprietà della realtà in modo oggettivo e preciso
- Le misure: campo e metodo di misura sono funzionali al campo di applicazione
- Le caratteristiche degli strumenti devono essere congruenti con le proprietà da misurare
- Tipi di misure: indagine e di controllo (qualitativo) – dirette e indirette (operativo, di esecuzione)
- Dalle misure (mediante geotecnologie) > modelli fisici/matematici
- Dai materiali elementari > materiali compositi > elementi strutturali > infrastruttura
- L'infrastruttura, intesa quindi come elementi «discreti», dal punto di vista delle proprietà degli elementi costitutivi, deve garantire: : «solidità», continuità, durabilità e sicurezza e nel caso minimizzare le interferenze nei punti critici (soluzioni di continuità)
- Passiamo infine ad un esempio applicativo di utilizzo di varie geo-tecnologie ai fini della geognostica dei materiali costituenti un rilevato autostradale e alla definizione di modelli propedeutici alla progettazione di interventi di risanamento.

Caso studio

Indagini specialistiche per la
caratterizzazione geotecnica-
geofisica e geomeccanica dei
rilevati autostradali



Eventi: cedimenti diffusi della sovrastruttura stradale + collasso strutturale del novembre 2019 -> approfondimento del L.D.C. dell'infrastruttura

Periodo indagini: 2019 -2024

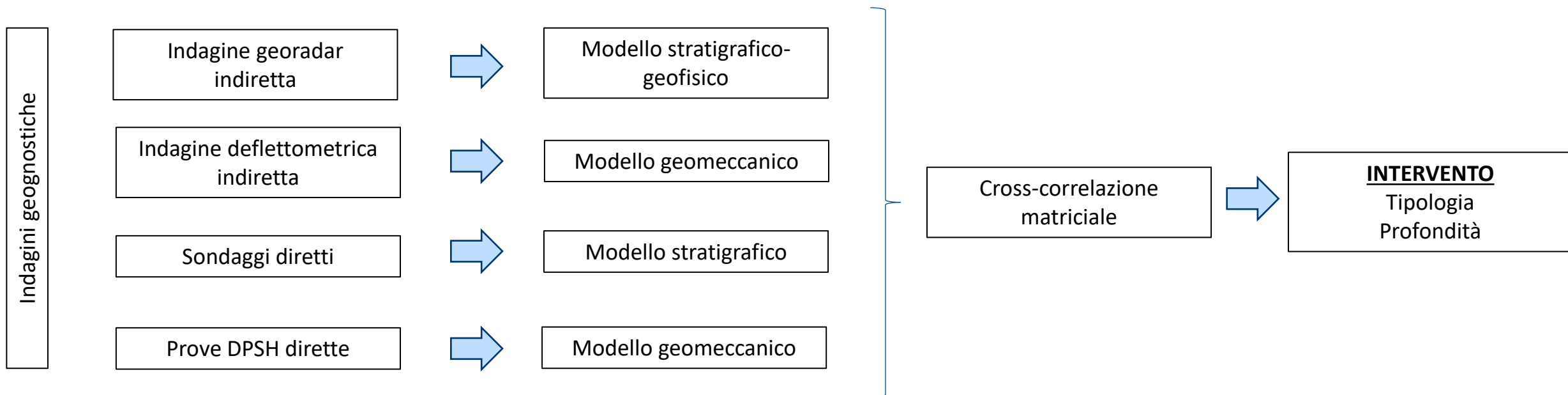
Oggetto: rilevati e sovrastruttura stradale – modellazione geotecnica/geomeccanica/geofisica

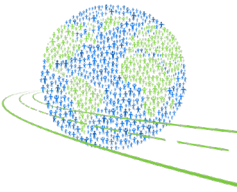
Approccio metodologico:

- 1) Analisi dei dati di base da precedenti campagne prestazionali e controllo dei materiali in corso d'opera
- 2) Esecuzione di campagne d'indagine di tipo “**massivo**” eseguite con strumentazioni ad alto rendimento per la caratterizzazione delle prestazioni a livello di “network” della rete (identificazione di tratte con caratteristiche omogenee).
 - ✓ Indagine geofisica radar ad Alto Rendimento dell'intera rete > ricostruzione del modello stratigrafico ed identificazione di eventuali anomalie nei rilevati.
 - ✓ Indagine deflettometrica ad Alto Rendimento a mezzo T.S.D. > ricostruzione del modello meccanico e definizione delle caratteristiche di resistenza della sovrastruttura stradale
- 3) Campagne d'indagine di “**dettaglio**” mirate sia alla definizione di livello “project” per la determinazione delle caratteristiche locali (punti di criticità), sia per la migliore calibrazione delle indagini massive e affinamento dei modelli
 - ✓ Rilievi radar di dettaglio (circa 100 siti in carreggiata nord e in carreggiata sud)
 - ✓ Rilievi deflettometrici di dettaglio con prove «puntuali» HFWD.
 - ✓ Sondaggi a carotaggio continuo (60 fino a 12m di profondità) con descrizione e prelievo di materiali
 - ✓ Prove penetrometriche DPSH (40 fino a 15m di profondità) per definire i profili di resistenza e i parametri geotecnici dei materiali dei rilevati.



Dalle indagini ai modelli Workflow esemplificativo





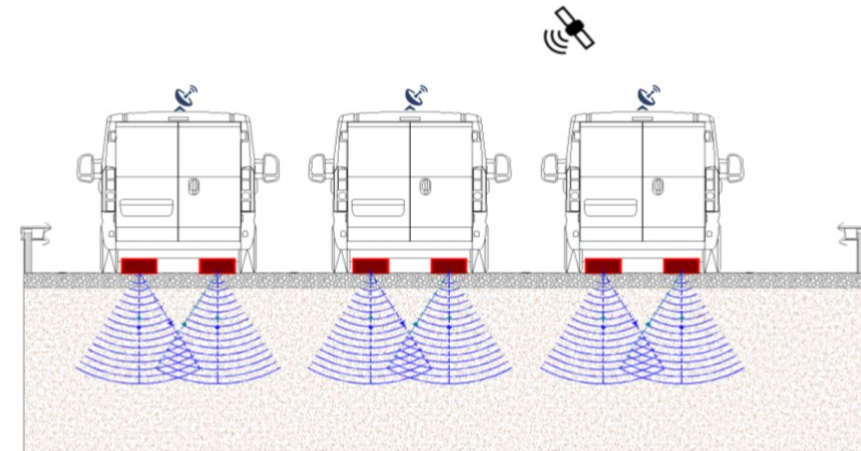
Indagine georadar Ad Alto Rendimento dell'intera rete (2020)

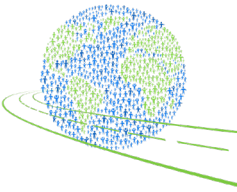
- Obiettivo: ricostruzione del modello stratigrafico ed identificazione di eventuali anomalie nei rilevati
- Acquisizione di 9 profili radar per ciascuna carreggiata (corsie emergenza, marcia e sorpasso)
- Profondità di indagine: 8m
- Campionamento longitudinale: 1 scansione ogni 10cm



Classificazione dei modelli geofisici per anomalie

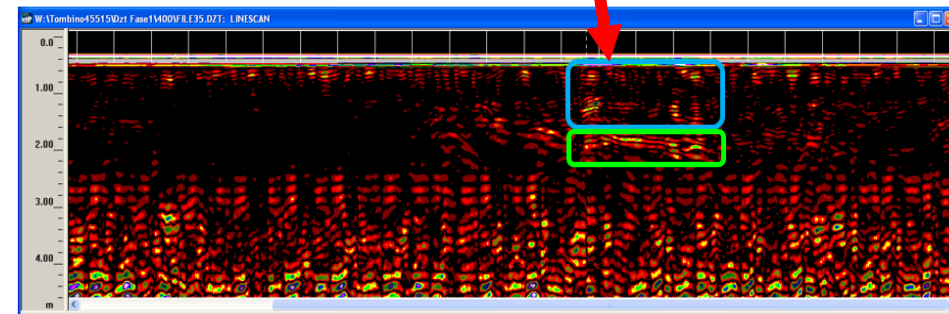
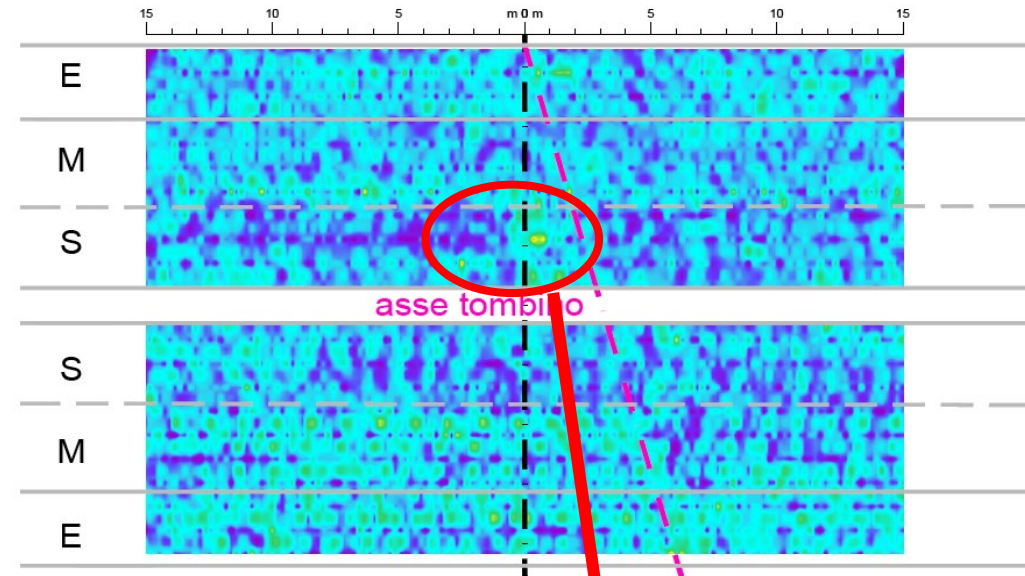
- Tratte in classe di attenzione GIALLA: 41
- Tratte in classe di attenzione ARANCIONE: 8
- Tratte in classe di attenzione ROSSA: 2



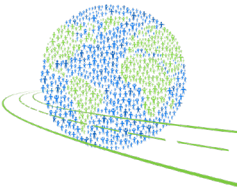


Anomalie GIALLE

Le variazioni dominanti sono quelle geometriche e sono principalmente dovute a possibili riempimenti e/o zone di accumulo di umidità, in questo caso associate a limitate variazioni di lunghezza d'onda e inversione di fase. La loro pericolosità da considerarsi minima ed è da suggerire un **monitoraggio periodico** per poter individuare, nel tempo, eventuali segnali di evoluzione in negativo. Ricadono in questa categoria anche le eventuali tracce di cedimento sovrastanti le opere oggetto dei rilievi, nel caso queste ultime siano caratterizzate da iperboli ben definite ascrivibili a strutture che hanno mantenuto la loro integrità.

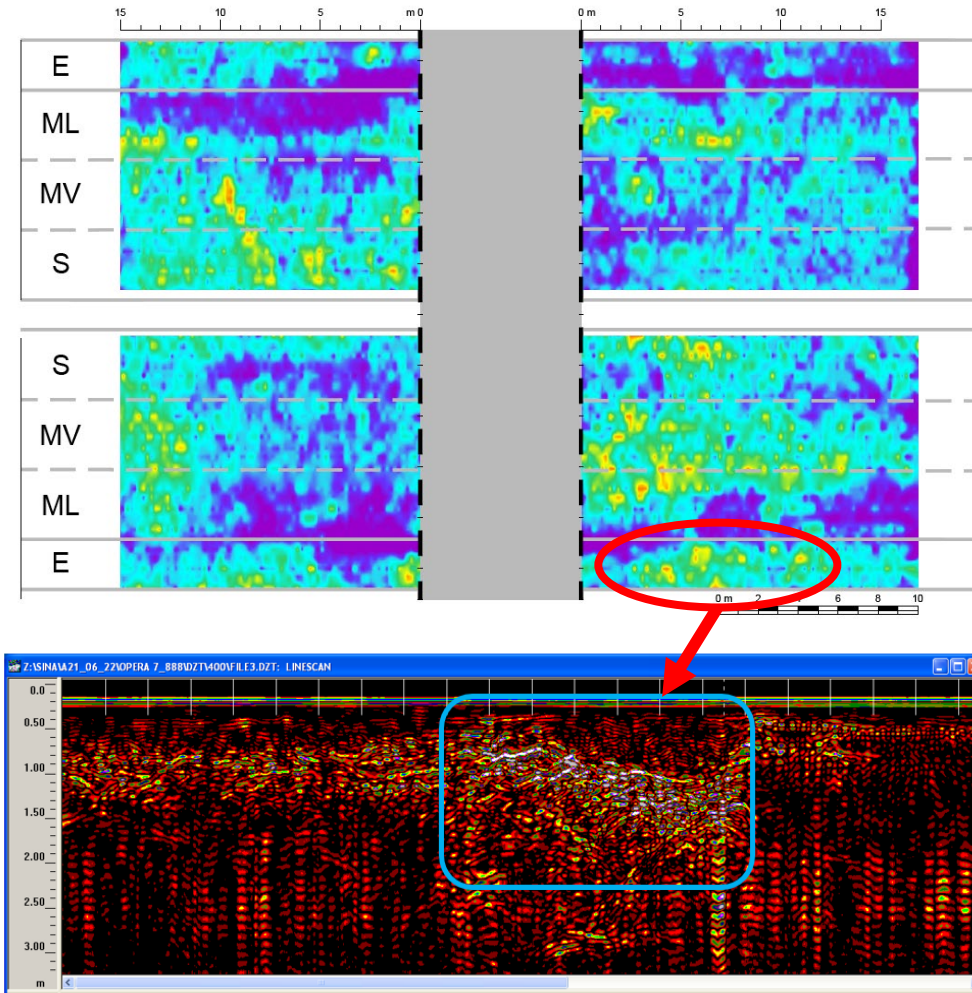


Profilo P35 antenna 400 MHz, carreggiata Nord corsia di sorpasso – le riflessioni nel riquadro azzurro non presentano variazioni di lunghezza d'onda significative; le riflessioni nel riquadro verde evidenziano una leggera diminuzione della velocità di propagazione, contraddistinto da un aumento della lunghezza d'onda.

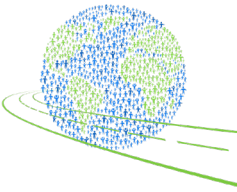


Anomalie **ARANCIONI**

Rappresentano tratte dove la variazione della lunghezza d'onda, assume valori significativi e dominanti. Non viene ancora considerato un intervento immediato per ristabilire le condizioni di sicurezza, ma va consigliato un **monitoraggio costante a breve periodo con eventuale campagna di indagini di dettaglio**. Ricadono in questa categoria anche le eventuali tracce di cedimento caratterizzate da iperboli irregolari, indicative di possibili schiacciamenti e/o , più in generale, danneggiamenti.

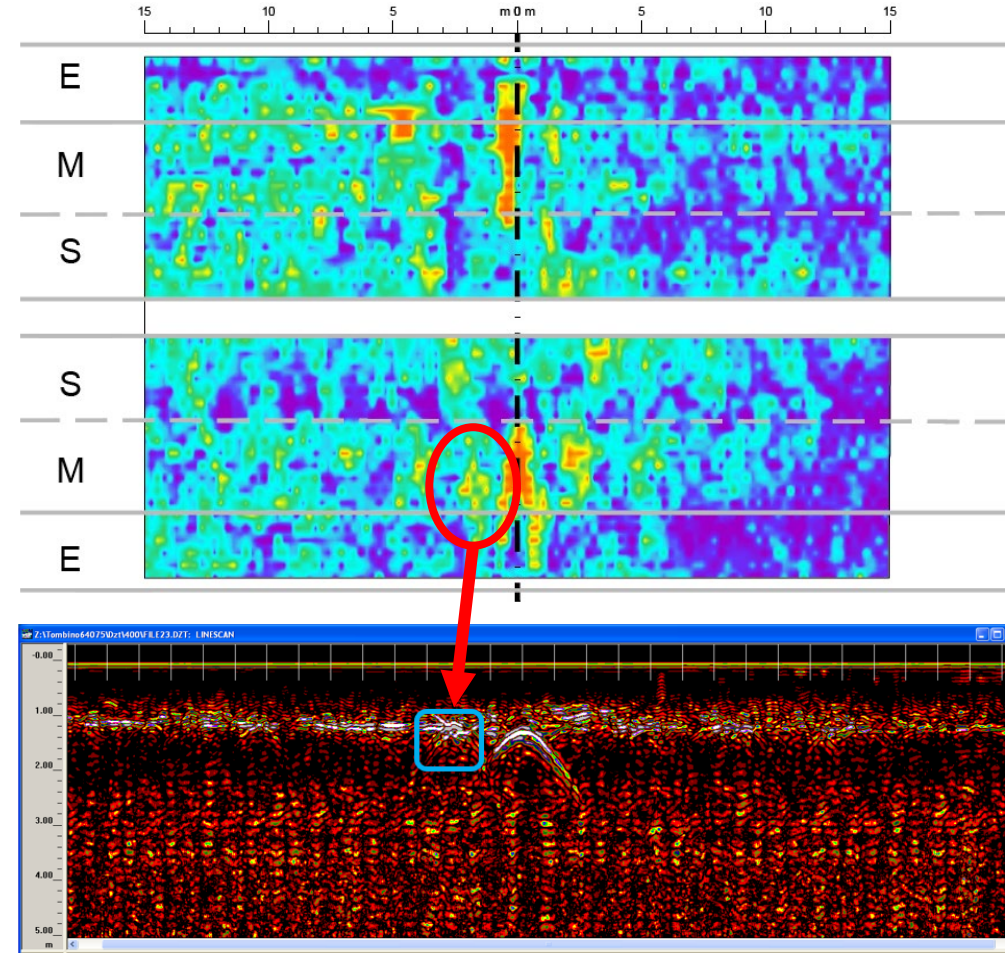


Profilo P1 antenna 400 MHz, carreggiata Sud corsia di emergenza - le riflessioni, nel riquadro azzurro, presentano variazioni di lunghezza d'onda e della continuità orizzontale attribuibili a un forte calo di densità

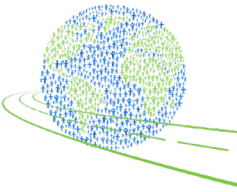


Anomalie **ROSSE**

Rappresentano le tratte dove le anomalie raggiungono caratteristiche tali da far ipotizzare la presenza di **gravi perturbazioni del manufatto** che potrebbero evolvere in breve in stati di riduzione delle condizioni di sicurezza e quindi richiedono interventi di risanamento nel breve periodo.



Profilo P24 antenna 400 MHz, carreggiata Sud corsia di marcia – la riflessione nel riquadro azzurro presenta proprietà elettromagnetiche compatibili con un possibile vuoto. L'iperbole a destra dell'anomalia è dovuta al tombino.



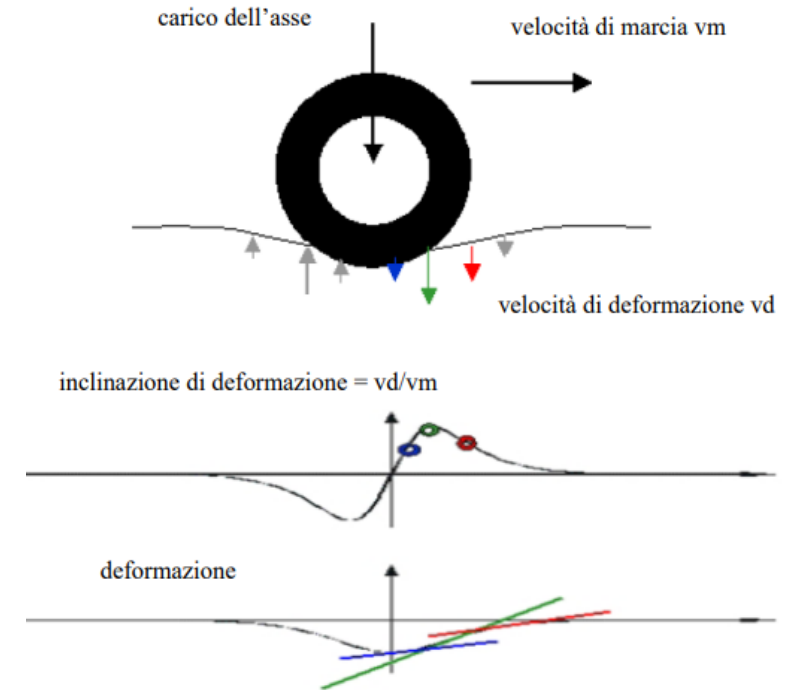
Campagne di indagini di tipo «massivo»

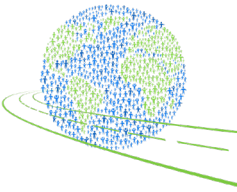
Indagine deflettometrica T.S.D. (Traffic Speed Deflectometer) dell'intera rete (2023)

- Obiettivo: ricostruzione del modello meccanico di resistenza con definizione delle caratteristiche di portanza della sovrastruttura stradale dell'intera rete
- Acquisizione di 1 profilo TSD per ciascuna corsia (corsie emergenza, marcia e sorpasso)
- Profondità di indagine: 2m ca
- Campionamento longitudinale: 1 dato ogni 10m
- Totale Km acquisiti: 990

T.S.D. (Traffic Speed Deflectometer)

- Autoarticolato strumentato con carico 12t su asse posteriore
- Sollecitazione > bacino di deflessione
- Grandezza misurata: V di def. tramite laser doppler
a distanza radiale da centro carico > deformazione (cedimenti μm)
- Sistemi di controllo: accelerometri, giroscopi, DMI, processori...





Campagne di indagini di tipo «massivo»

Componentistica TSD

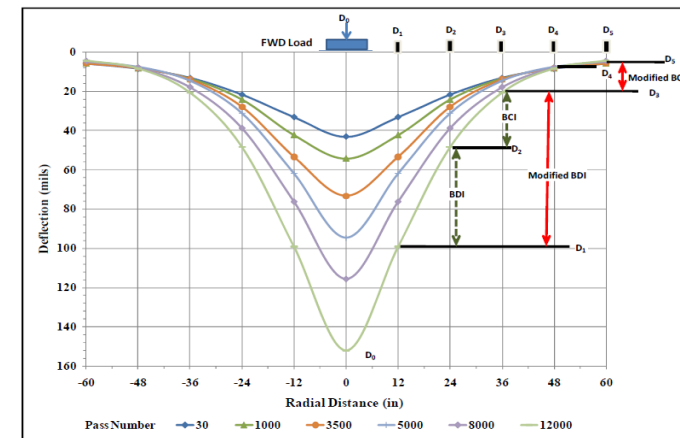
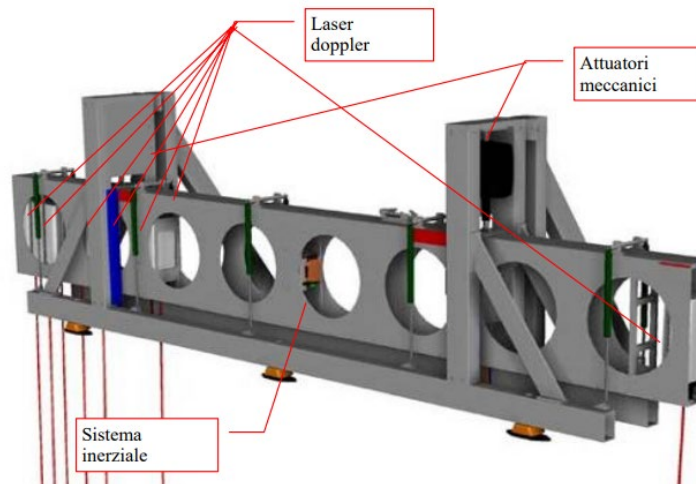
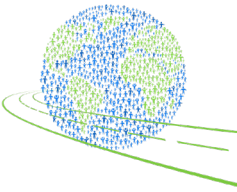


Figure 7 Layer degradation recorded by HWD and deflection basin parameters

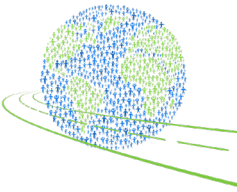


Campagne di indagini di tipo «massivo»

Dati restituiti TSD - Tabulati

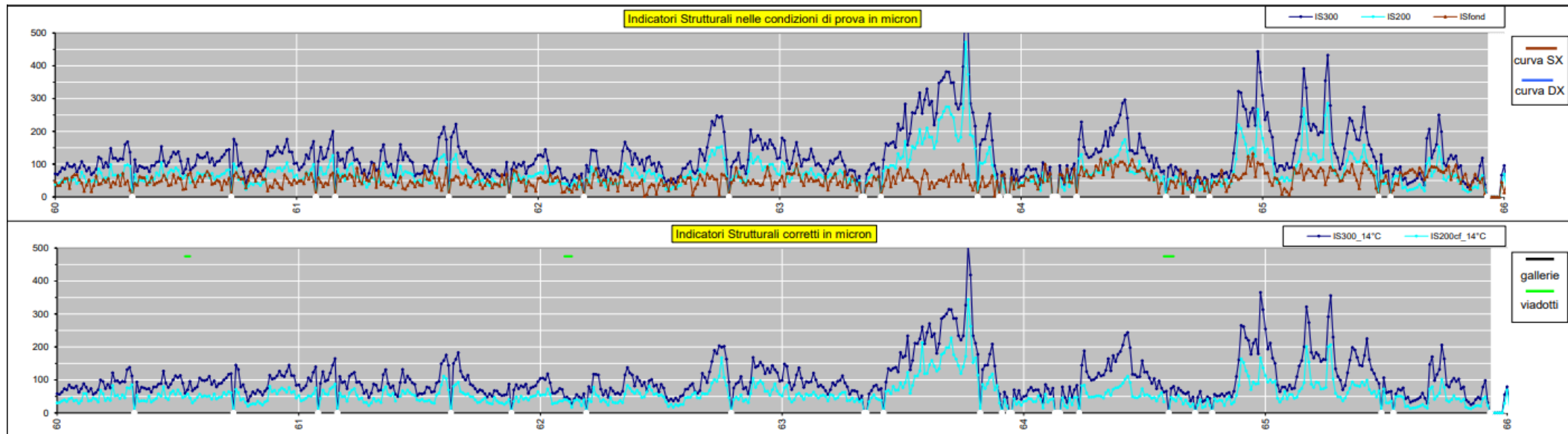
- IS200 – IS300 – ISfond: Indicatori strutturali dei materiali della sovrastruttura stradale a varie profondità.
IS200=d0-d200 portanza della fondazione
IS300=d0-d300 portanza della sottofondazione
- Progressiva – coordinate GPS - Taria – Tpav – Vel - Deflessioni

DATI DI POSIZIONE E CONDIZIONI DI PROVA								DEFLESSIONI MISURATE SLOPE						DATI DI ELABORAZIONE							
Prog.	Evento	Lat.	Long.	Velocità	Ora	T Pav _{su}	T Aria	110	210	310	610	910	1510	IRI	IS ₃₀₀	IS ₂₀₀	IS _{fond}	IS _{300_14°C}	IS _{200cf}	IS _{200cf_14°C}	
km		deg	deg	km/h		°C	°C	micron/m						m/km	micron	micron	micron	micron	micron	micron	
166.000	KM166	45.0510	9.7607	69	11.50.55	25	20	323	197	188	132	139	58	1.4	53	29	59	47	25	22	
165.990		45.0510	9.7606	69	11.50.55	25	20	206	110	87	89	61	3	1.4	32	17	19	28	20	17	
165.980		45.0510	9.7605	69	11.50.56	25	20	256	164	140	101	92	14	1.5	45	25	32	39	25	22	
165.970		45.0510	9.7603	69	11.50.56	25	20	308	204	190	136	77	32	1.3	57	32	33	50	32	28	
165.960		45.0510	9.7602	69	11.50.57	25	20	327	237	220	146	137	26	1.5	61	33	49	53	30	27	
165.950		45.0510	9.7601	69	11.50.57	25	20	292	181	188	194	158	54	1.1	46	23	64	40	20	18	
165.940		45.0510	9.7600	69	11.50.58	25	20	304	217	199	188	141	64	0.7	52	27	62	46	24	21	



Campagne di indagini di tipo «massivo»

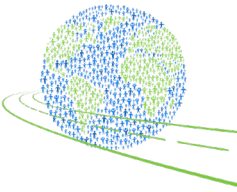
Dati restituiti TSD - Grafici



Indagine deflettometrica «massiva» ad Alto Rendimento dell'intera rete a mezzo T.S.D.

Obiettivi:

- Caratterizzazione della portanza della sovrastruttura stradale dell'intera rete (corsie di emergenza, marcia e sorpasso) a livello di «network»
- Segmentazione del modello geomeccanico in tratte con caratteristiche omogenee e definizione di classi di attenzione



Campagne di indagini di tipo «selettivo»

Indagine georadar puntuale di dettaglio (2019 -> oggi)

- Obiettivo: identificazione di eventuali anomalie nei rilevati (deficit di densità, vuoti, umidità diffusa..)
- Rilievo manuale con array di antenne a media frequenza lungo apposite griglie 25x10m sull'intera carreggiata (corsie emergenza, marcia e sorpasso) – ad oggi ca. 100 siti indagati
- Profondità di indagine: 8m
- Campionamento longitudinale: 1 scansione ogni 2cm

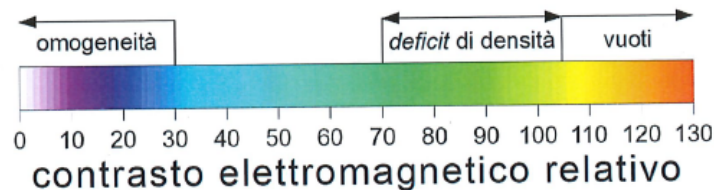
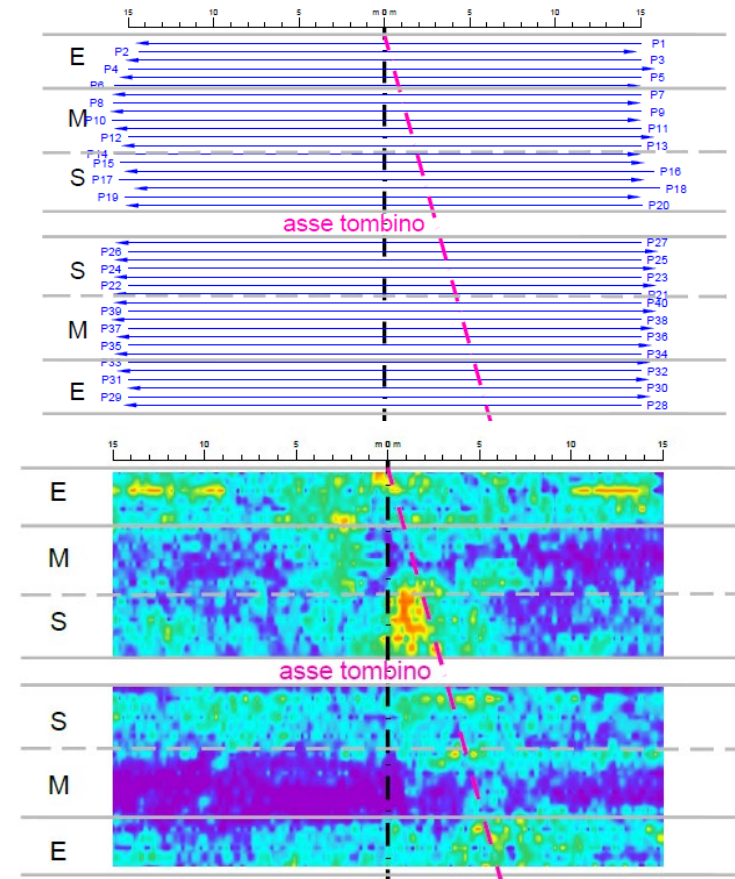


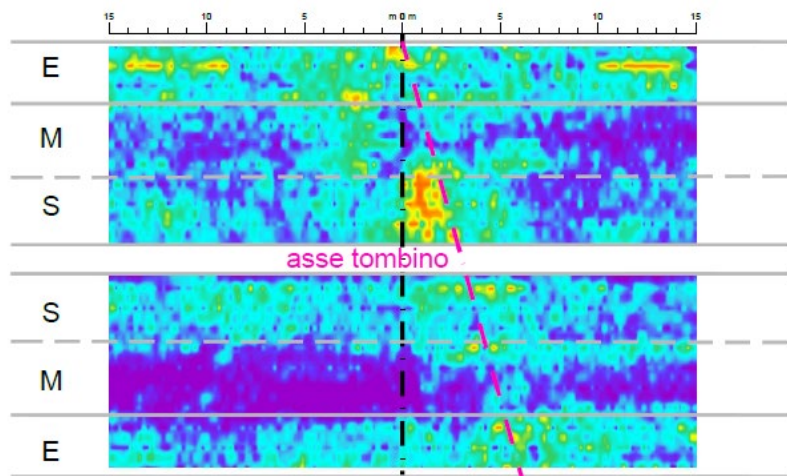
Diagramma schematico del criterio di valutazione delle slices



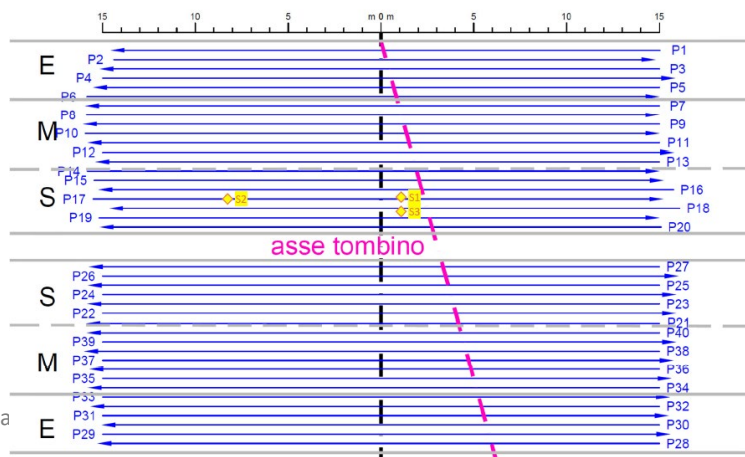


Sondaggi geognostici a carotaggio continuo (2019 – 2022)

- accertamenti diretti sullo stato di conservazione dei materiali in corrispondenza di zone anomale (circa 80)
- Profili di resistenza in situ S.P.T. (modello geomeccanico)



UBICAZIONE SONDAGGI GEOGNOSTICI DEL 18/11/2022

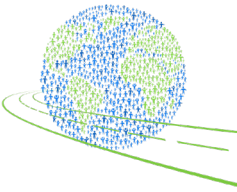


SCALA 1:50										STRATIGRAFIA - S1		Pagina 1/1									
Prof. m		Ri. %		Prel. %		Campioni		Intervallo (m)		S.P.T.		N		Prof. m		LITOLOGIA		Quota m		DESCRIZIONE	
0.1																			0.1		Asfalto
0.8																			0.8		Materiale di riporto costituito da ghiaia medio-fine e sabbia fine mista a framm. di cemento. Colore marrone - grigiastro.
1.7																			1.7		Ghiaia eterodimensionale e rari ciottoli arrotondati (diametro max 8 cm). Assenza di matrice fine.
2.3																			2.3		Ghiaia eterodimensionale mista a ciottoli (diametro max 10cm) arrotondati sabbiosa a debolmente limosa, bagnata. Colore marrone chiaro.
3.0																			3.0		Limo argilloso sabbioso a limo argilloso e sabbia, Colore marrone nocciola con screziature grigiastre.

- perforazione eseguita a carotaggio continuo 131/152 mm fino alla quota di 3,00 m da p.c.

- si evidenzia un livello saturo tra 1.70 e 2.30 m da p.c.

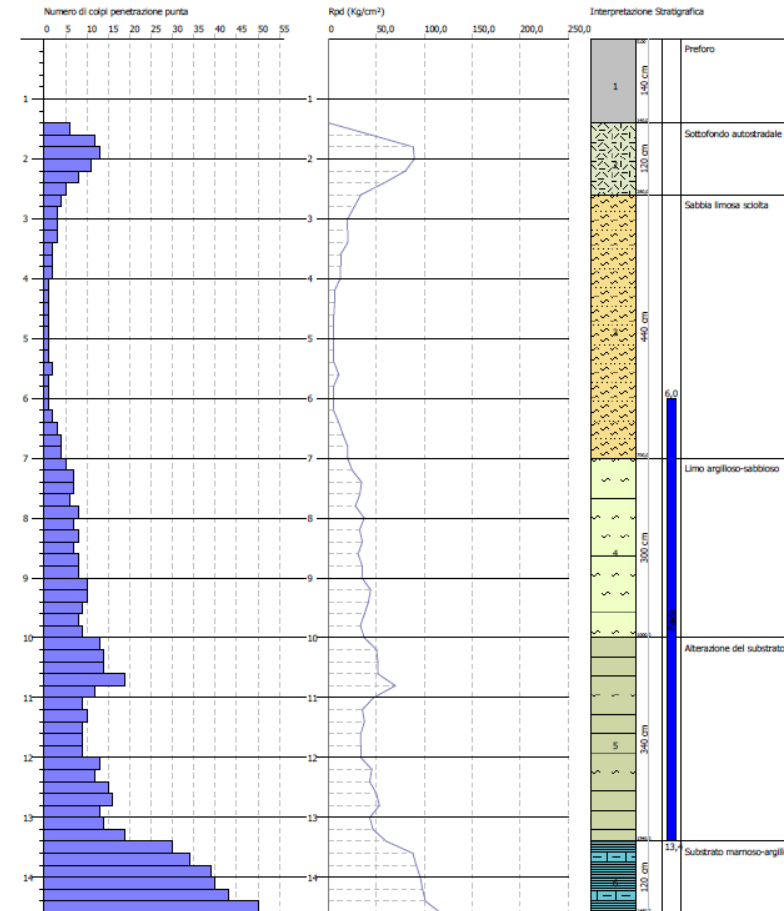


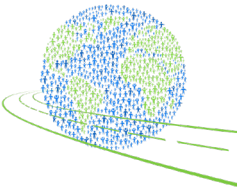


Prove penetrometriche dinamiche DPSH (2020-2022)

Output:

- Profili di resistenza dei terreni e parametri geotecnici





Indagine deflettometrica «selettiva» in tratte con deficit di densità – H.W.D. (2023)

Obiettivi:

- Affinamento del modello meccanico di resistenza dei livelli costituenti la sovrastruttura stradale
- Calcolo della vita residua

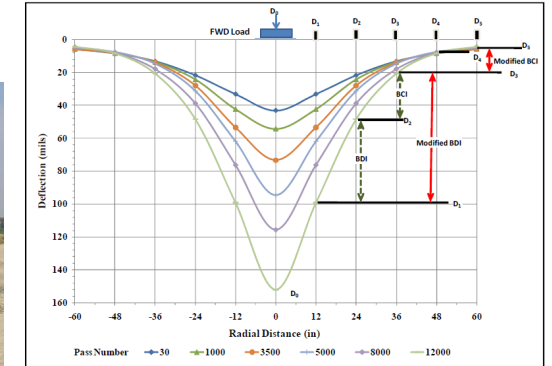
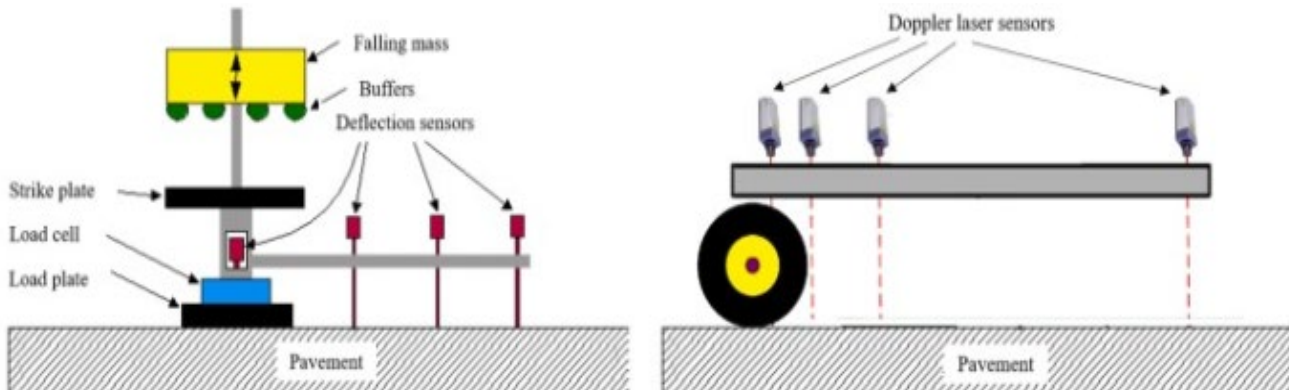


Figure 7 Layer degradation recorded by HWD and deflection basin parameters

Anomalie stratigrafiche della sovrastruttura stradale
Anomalie strutturali di portanza della sovrastruttura stradale

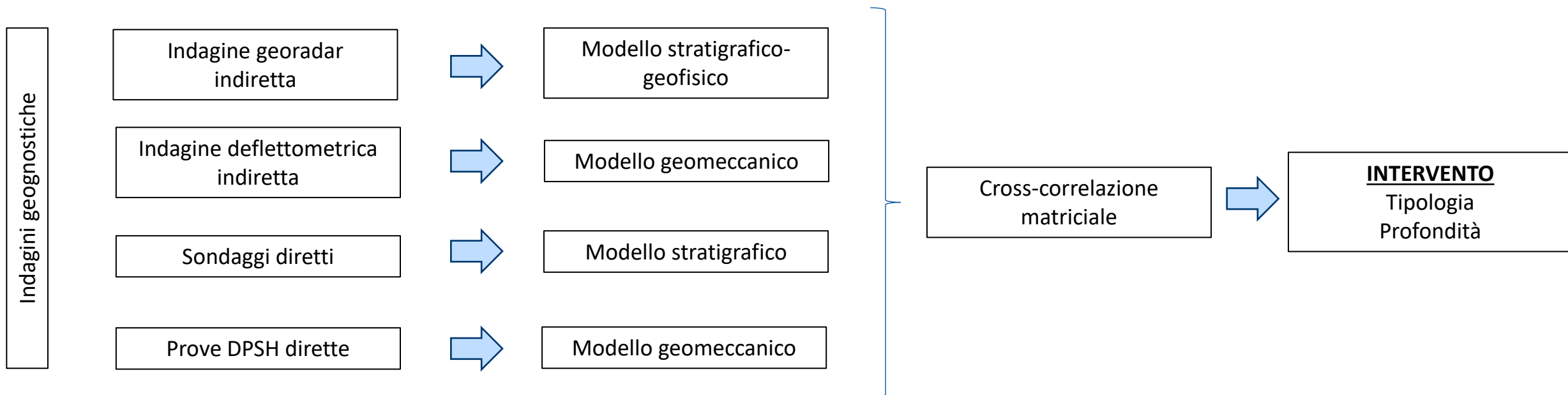


Interventi di consolidamento per il ripristino delle caratteristiche geotecniche-geomeccaniche dei materiali (profondità-tipologico)

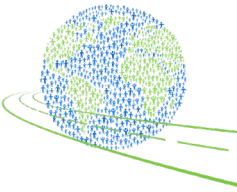




Dalle indagini ai modelli Workflow esemplificativo



Focus: modelli geofisici



Indagini G.P.R. (Ground Penetrating Radar)

- Metodo di prospezione geofisica che permette di indagare la sottosuperficie attraverso l'analisi delle riflessioni delle onde elettromagnetiche ad alta frequenza (onde radio comprese tra 10-2500MHz) immesse nel materiale da indagare tramite appositi trasduttori (antenne radar)
- Grandezza misurata: tempo di andata e ritorno del segnale ad una discontinuità
- Output grafico: radargramma $t(x)$ in dominio tempo convertito successivamente in dominio profondità $z(x)$:

$$z \text{ (m): } v \times 2t \text{ (ns)} \quad \text{dove } v = \frac{c}{\epsilon_r} \quad \epsilon_r \text{ costante dielettrica relativa (1-81)}$$

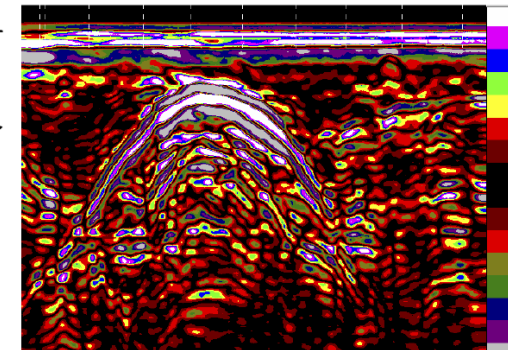
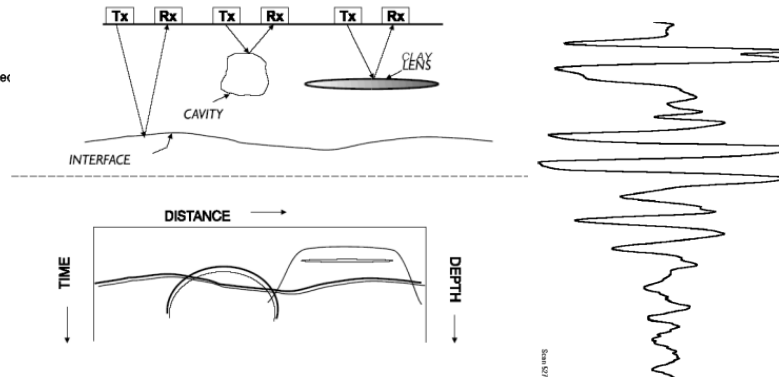
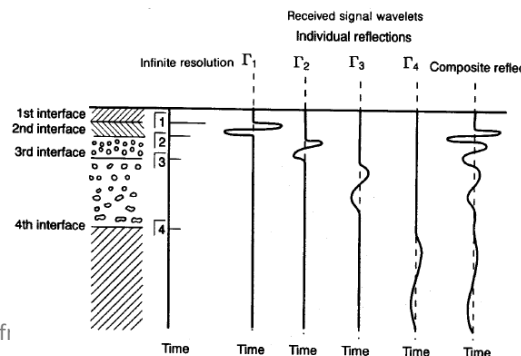
- Metodi per la determinazione delle V:

Costanti dielettriche tabulate

Analisi dirette (target noti a profondità note)

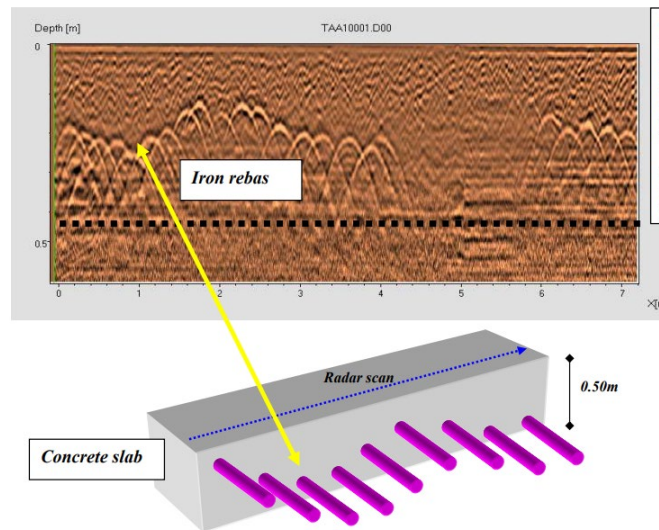
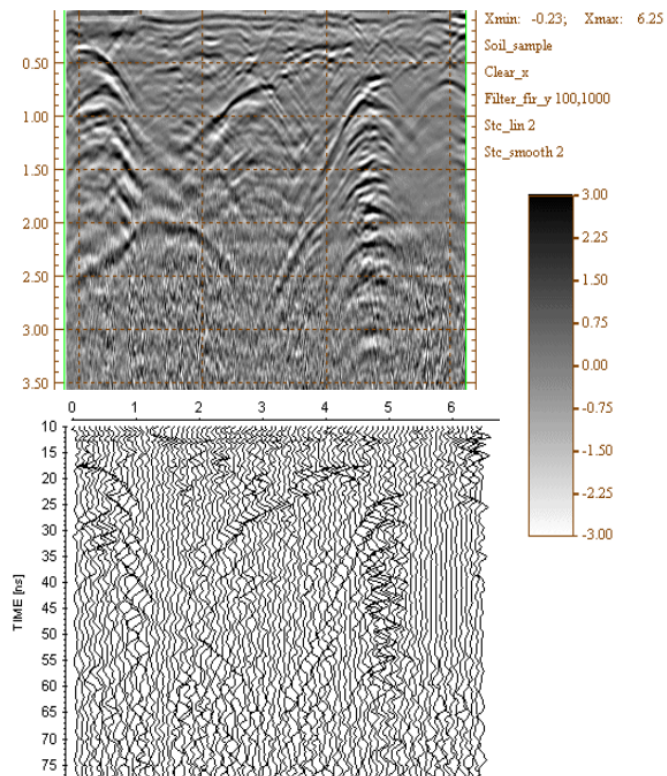
Tecniche di migrazione del segnale

- Profondità di indagine e risoluzione: fino a circa 50m con risoluzione di pochi cm (in funzione del tipo di antenna)

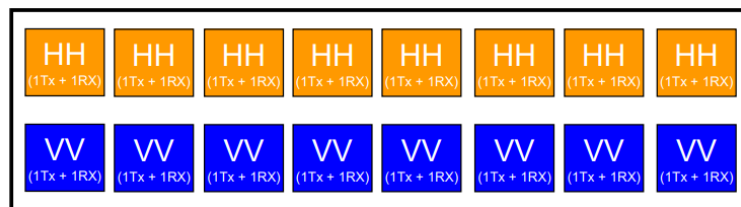




Indagini G.P.R. (Ground Penetrating Radar)



RIS Hi-Bright Antenna architecture



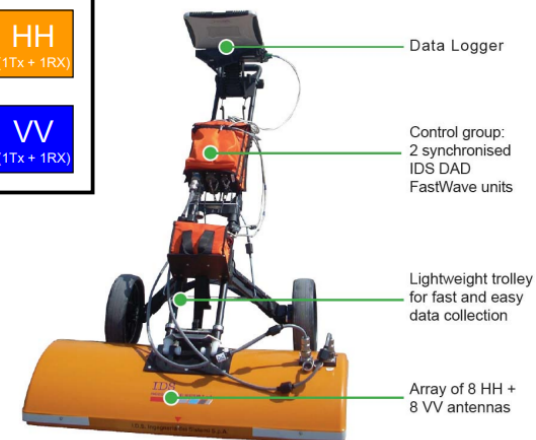
VV = polarization of the antenna modules



HH = polarization of the antenna modules

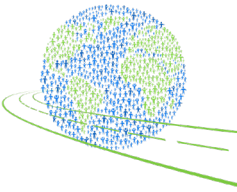


System Composition



Rilievi Geofisici – principi G.P.R.

Tomografia G.P.R.– analisi di dettaglio ferri di armatura

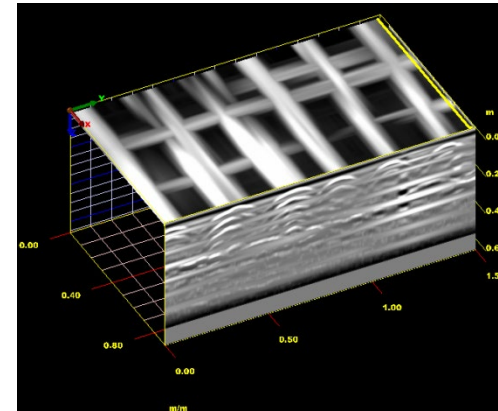


Configurazione standard:

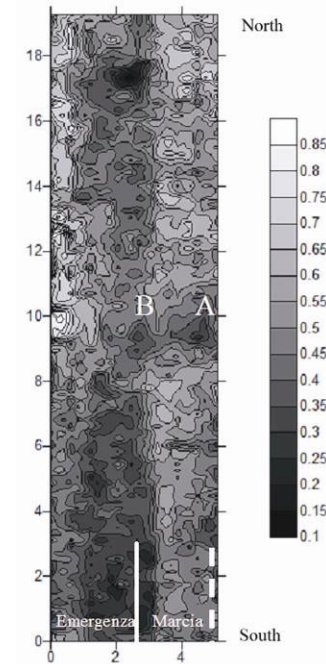
- IDS DAD MCH fastwave + antenne da 900-2000 MHz

Targets:

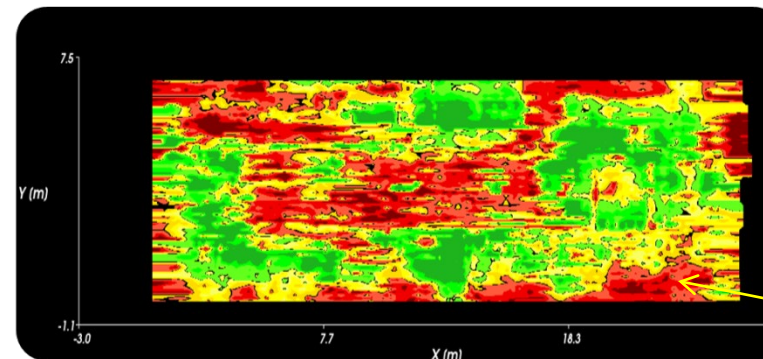
- 1) Modello 3d della struttura
- 2) Geometria e profondità della armatura
- 3) Mappe degli spessori del copriferro – mappe di umidità
- 4) Studi di mappe di attenuazione per valutazione zone deteriorate (zone potenzialmente ossidate)



• Volume 3d dell'intradosso della soletta – SP della Marina



Mapa attenuazione ferri– SP della Marina



Mapa attenuazione ferri di armatura – Rio Vizzana



Grazie per l'attenzione e per la pazienza

#movingtothefuture