



Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale

DECOMMISSIONING DI IMPIANTI INDUSTRIALI

**La caratterizzazione non invasiva
dei terreni e degli edifici dismessi**



Docente: dott.ssa Roberta Zambrini

e-mail direzione@anfibia.eu



Indagini in situ per la caratterizzazione ambientale, sismica e strutturale di un sito industriale dismesso

Esempio applicativo: stabilimento Ex Falco (Pomposa)

Indagini geotecniche, ambientali e geofisiche sui terreni :

- Sondaggi, SCPT, CPTU, campioni
- Geoprobe
- Analisi di laboratorio (chimico-fisiche)
- Sismiche e vibrazionali

Altre indagini

- Georadar
- Geoelettriche

Indagini sugli edifici (fondazioni, travi, pilastri, tegoli, capriate in acciaio

- Carotaggi sul cls.
- Prove di laboratorio (compressione)
- Saggi sulle armature e sugli acciai (snervamento, rottura, ecc.)
- Pull-off
- Pacometro
- Carbonatazione

Altre indagini

- SonReb (sclerometro e ultrasuoni)
- Georadar alta freq.
- Termografia

PROVE IN SITU

SEMI-DISTRUTTIVE E NON

Calcestruzzo, murature, malte, legno....

I controlli semi-distruttivi possono essere **diretti**, quindi misurare direttamente la caratteristica meccanica di un materiale in laboratorio sul campione (**resistenza alla compressione**), oppure **indiretti** e determinarla attraverso i parametri collegati al collasso localizzato sull'opera.

DIRETTI

INDIRETTI

- | | | |
|-------------|--|-----------------------------------|
| SEMI | • Carotaggi ($d > 3 \cdot d_{\text{aggreg.}}$) | • Prova di penetrazione (Windsor) |
| DISTRUTTIVI | • Microcarotaggi | • Prova di estrazione (pull-off) |
| | • Endoscopia | |

I controlli NON-distruttivi in generale sono metodi **indiretti** in cui si misurano certe caratteristiche fisiche o chimiche da cui si ricava una stima della resistenza attraverso correlazioni

NON

DISTRUTTIVI

INDIRETTI

- Sclerometro
- Metodi sonici e Ultrasonici
- Termografia
- Georadar
- Impact-echo

INTRODUZIONE DELLE PROVE IN SITU A LIVELLO NORMATIVO COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA

Ordinanza "Sismica" P.C.M. 3274 del 2003 integrata dalla 3431 del 2005
«Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione
sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le
costruzioni in zona sismica»

↓
Introduzione dei **Fattori di Confidenza** e il **Livello di Conoscenza**
nella Valutazione dell'adeguamento sismico degli edifici

Fattori di Confidenza → **definizione della
resistenza dei
materiali
e sollecitazioni**

LC1: Conoscenza limitata FC 1.35

LC2: Conoscenza adeguata FC 1.20

LC3: Conoscenza accurata FC 1.00

↑
dipendono da:
**geometria
dettagli strutturali
materiali** →

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali
LC1 <i>limitata</i>		Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ
LC2 <i>adeguata</i>	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ
LC3 <i>accurata</i>		Disegni costruttivi completi con limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ

Metodi di prova non distruttivi

Sono ammessi metodi di indagine non distruttiva di documentata affidabilità, che **non possono essere impiegati in completa sostituzione** di quelli sopra descritti (prove di compressione), ma sono consigliati a loro integrazione, purché i risultati siano tarati su quelli ottenuti con prove distruttive. Nel caso del calcestruzzo, si adotteranno metodi di prova che limitino l'influenza della carbonatazione degli strati superficiali sui valori di resistenza.

Ai fini delle prove sui materiali è consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con un più ampio numero, almeno il triplo, di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive.

- Es. 9 carote oppure 5 carote + (4x3) PND = 5 carote + 12 PND

**NON ESISTE UNA
NORMA UNICA!!
IN ITALIA E'
MEGLIO USARE**

Norme Tecniche per le Costruzioni NTC '08

Indicazioni generali

- Casi in cui eseguire le prove
- Impiego dei risultati nelle verifiche strutturali

**Linee guida italiane C.S.LL.PP. 2008
per la messa in opera del calcestruzzo
strutturale e per la valutazione delle
caratteristiche meccaniche del
calcestruzzo indurito mediante prove
non distruttive**

Indicazioni tecniche sulla valutazione delle
caratteristiche del cls. con carotaggi e PND

Linee guida europee EN13791:2008
Procedure operative per la verifica della
conformità del cls. nelle strutture con
carotaggi e/o PND

Linee guida europee EN12504:2005
Specifiche tecniche per le prove sulle strutture
con carotaggi e/o PND

≈

≈



Indagini dirette

Es. carotaggi e ispezioni edificio cogeneratore Ex Falco



ELENCO DELLE ATTIVITA' ESEGUITE IN SITU

STRUTTURE IN C.A.

ID	piano	parte d'opera	prelievo tallone acciaio	pacometria	sezione resistente	rilievo geometrico	prelievo di carota	prelievo di armatura longitudinale	prelievo di staffa	sclerometro
1	primo	trave				✓	✓		✓	✓
2	terra	pilastro			✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	terra	pilastro		✓		✓				✓
4	terra	pilastro		✓		✓				✓
5	terra	pilastro		✓		✓				✓
6	terra	pilastro		✓						✓
7	primo	solaio		✓						✓
8	copertura	solaio								✓
9	copertura	solaio								✓
10	copertura	solaio								✓
500	terra	fondazioni				✓	✓			
scala F	terra	pilastro scala antincendio	✓							✓

computo a consuntivo delle prove eseguite

STABILIMENTO DI POMPOSA - CAPANNONE F

prelievo tallone acciaio	pacometria	sezione resistente	rilievo geometrico	prelievo di carota	prelievo di armatura longitudinale	prelievo di staffa	sclerometro
1	5	1	5	3	1	2	11



Indagini dirette

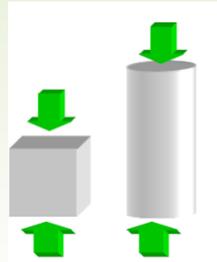
Es. prove di lab. su carote edificio cogeneratore Ex Falco

Prove di compressione per la determinazione della Rck

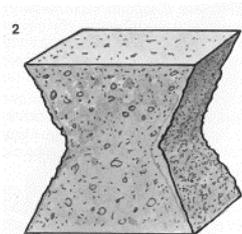
- Vengono effettuate su provini di forma e dimensioni standard
 - cubici da 150 mm di lato R_{ck}
 - cilindrici 150mm diametro e 300 mm altezza f_{ck}

$$R_{cil} = 0,8 * R_c$$

(Mpa o N/mm²)



Si mette il cubetto in una pressa e si porta il campione a rottura (UNI EN 12390-3)



Rc pilastri $\approx 66\text{MPa}$
Rc fondazioni $\approx 29\text{MPa}$

Indagini dirette

Es. prove di lab. su carote edificio cogeneratore Ex Falco



Con il tempo, l'anidride carbonica dell'aria reagisce con la calce libera riducendo il pH. Si scioglie il film passivante e si innescano processi di corrosione che portano alla ruggine.

Prove di carbonatazione con fenolftaleina: la carota è color rosa ($\text{pH} > 8$), quindi le armature non sono soggette a corrosione



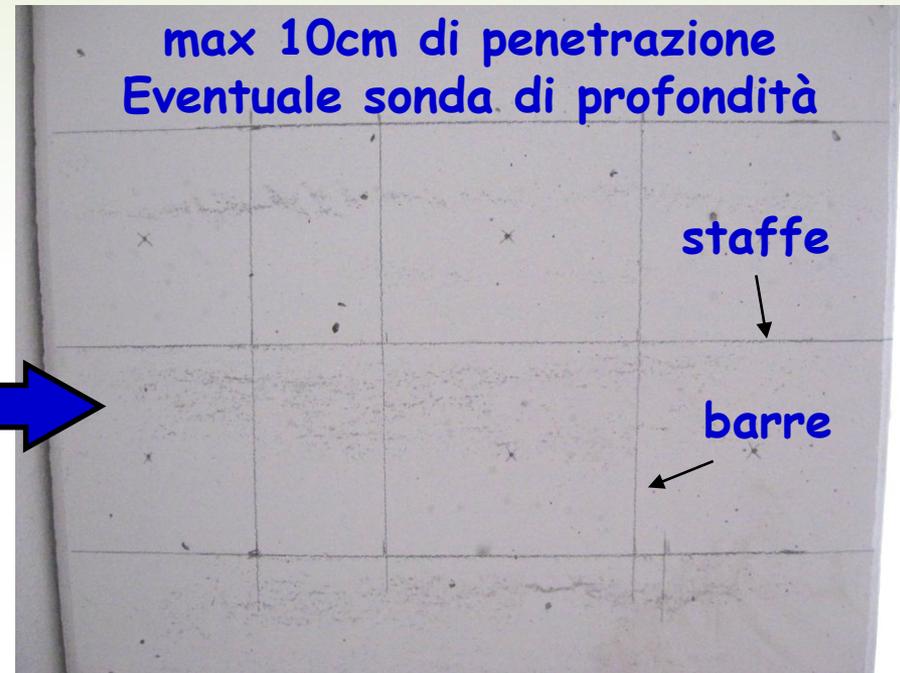
No.	Sigla campione	Descrizione	Data prelievo	Dimensioni			Massa volumica [kg/m ³]	Carbonatazione ione mm	Resistenza unitaria R _c [N/mm ²]
				∅	h	λ			
				[mm]		[-]			
1	F1-A	trave	23/11/17	94,6	95,0	1,00	2365	5	68,7
2	F1-B	trave	23/11/17	94,6	95,0	1,00	2369	-	67,7
3	F2-A	pilastro	23/11/17	94,6	95,0	1,00	2464	12	71,1
4	F2-B	pilastro	23/11/17	94,6	95,0	1,00	2372	-	61,0
5	F 500 - A	fondazione	27/11/17	94,6	95,0	1,00	2360	0	28,4
6	F 500 - B	fondazione	27/11/17	94,6	95,0	1,00	2248		28,1
7	F 500 - C	fondazione	27/11/17	94,6	95,0	1,00	2302		30,1

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

INDAGINI ELETTROMAGNETICHE

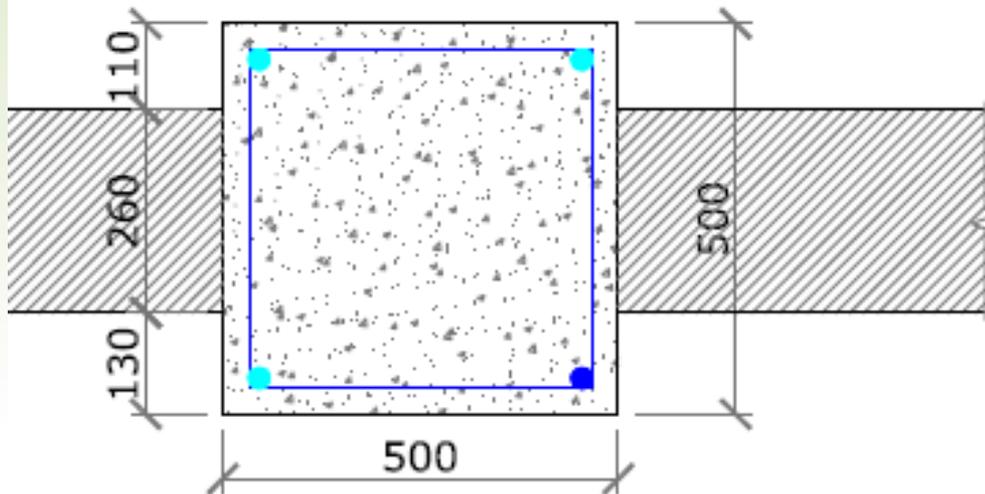
• Pacometro

La prova viene effettuata facendo scorrere la sonda sulla superficie (bobina che induce campo magnetico). In presenza di elementi magnetici la centralina emette un segnale acustico e luminoso, di intensità crescente all'approssimarsi del metallo



Indagini indirette

Es. pacometro su elementi in c.a. dell'edificio cogeneratore Ex Falco



ID 2

PILASTRO

verifica visiva e con pachometro

ARMATURA LONGITUDINALE

Ø26 a.m.,
ricoprimento 60 mm

ARMATURA TRASVERSALE

staffe Ø8 a.m.,
ricoprimento 45 mm
passo 100 mm da p.c. a 1200 mm da terra
passo 300 mm dalla quota di 1200 mm

LEGENDA

RILIEVO VISIVO ● RILIEVO PACHOMETRICO ●

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

INDAGINI MECCANICHE

- Sclerometro



Stima della resistenza a compressione di calcestruzzo, roccia e muratura attraverso la misura dell'indice di rimbalzo **Ir** (indice di durezza superficiale)

Il pistone viene premuto contro la superficie e la massa interna, grazie all'azione della molla, colpisce il materiale. In seguito all'urto si crea un rimbalzo del sistema molla-pistone la cui entità si legge su scala graduata dello strumento

Necessità di taratura su incudine in acciaio a indice di rimbalzo noto prima e dopo le prove almeno 3 volte (durezza minima 52HRC, massa 16kg +1 o -1, d 15cm)

Gli elementi sottoposti a prove sclerometriche devono avere almeno 10cm di spessore, essere privi di intonaco, fissati all'interno di una struttura e superficie liscia

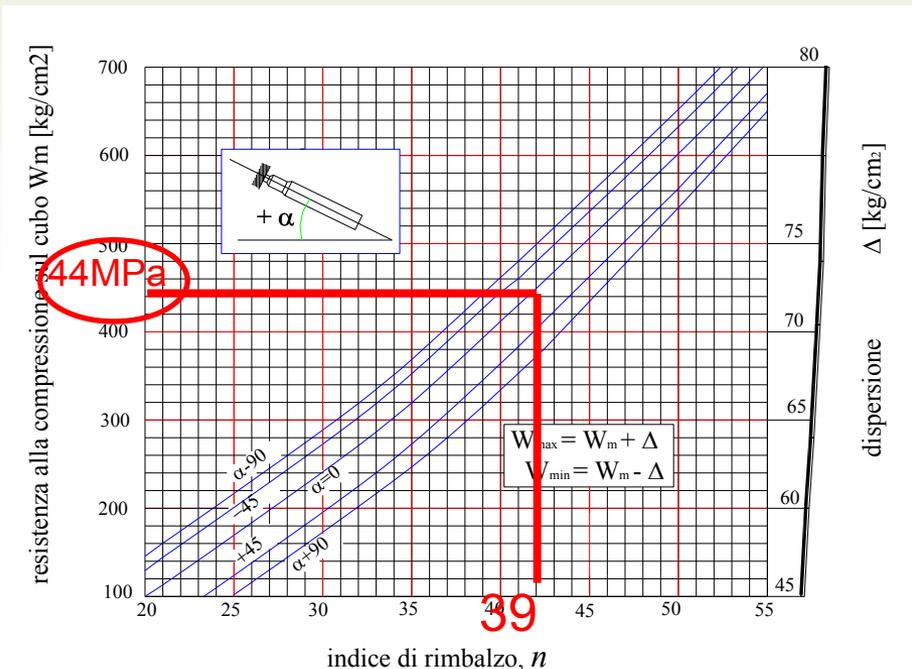
PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

INDAGINI MECCANICHE

• Sclerometro

Correlazione $R_c - I_r$

Ci sono diversi metodi, ciascuno caratterizzato da un diverso campo di applicazione e una diversa precisione.



Metodo generico poco preciso: si può utilizzare curva di taratura fornita insieme allo strumento, che correla il valore dell'indice di rimbalzo con la resistenza cubica convenzionale. La curva è stata ottenuta su calcestruzzi con cemento Portland con sabbia-ghiaia, maturazione da 14 a 56 giorni con superficie liscia ed asciutta.

Indagini indirette

Es. sclerometro su elementi in c.a. dell'edificio cogeneratore Ex Falco

PROVE NON DISTRUTTIVE SU CALCESTRUZZO UNI EN 12504													
codice PND	codice PD	SCLEROMETRO											
		SCLEROMETRO SCHMIDT - N											
		Direzione angolo (°)	valori misurati in sito corretti in funzione della giacitura dello strumento										Is mediano
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	trave	0	58	58	56	61	61	60	58	60	58	58	58,0
2	pilastro	0	60	58	56	57	57	58	58	57	59	60	58,0
3	pilastro	0	58	52	50	57	54	56	55	55	54	57	55,0
4	pilastro	0	50	58	50	54	55	53	54	52	56	54	54,0
5	pilastro	0	50	52	52	54	50	52	54	50	52	51	52,0
6	pilastro	0	52	52	52	56	52	56	56	56	52	52	52,0
7	solaio	90	47	51	56	53	56	56	56	53	56	56	55,7
8	solaio	90	49	51	53	56	53	53	53	51	53	56	53,3
9	solaio	90	51	49	49	49	51	53	53	49	51	51	51,3
10	solaio	90	51	53	53	53	49	53	53	56	51	53	53,3

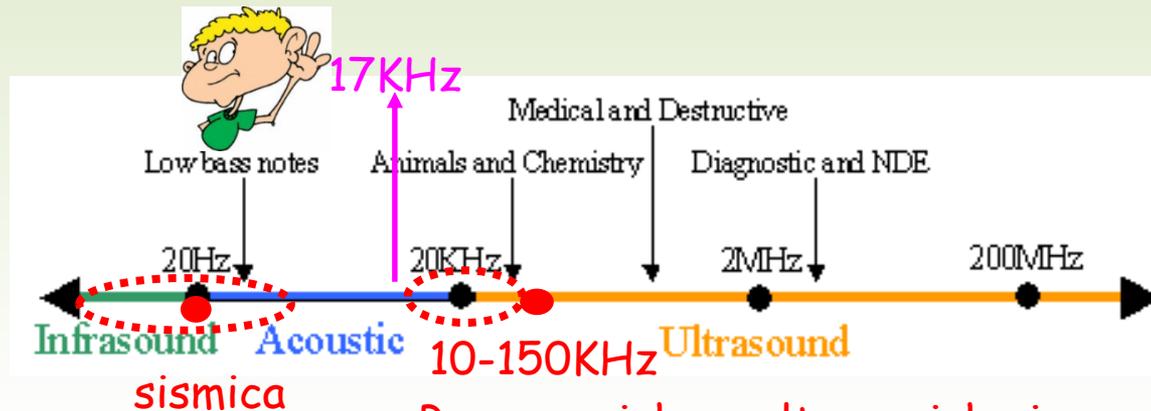
Stima conclusiva della resistenza del calcestruzzo in opera					
codice PND	codice PD	SCLEROMETRO		Resistenza CAROTA cubica [MPa]	Rc STIMATA cubica [MPa]
		SCLEROMETRO SCHMIDT - N			
		Direzione angolo (°)	Is mediano		
1	trave	0	58,0	68,1	--
2	pilastro	0	58,0	65,9	--
3	pilastro	0	55,0	--	65,2
4	pilastro	0	54,0	--	64,6
5	pilastro	0	52,0	--	63,4
6	pilastro	0	52,0	--	63,4
7	solaio	90	55,7	--	65,6
8	solaio	90	53,3	--	64,2
9	solaio	90	51,3	--	63,0
10	solaio	90	53,3	--	64,2

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

INDAGINI ACUSTICHE

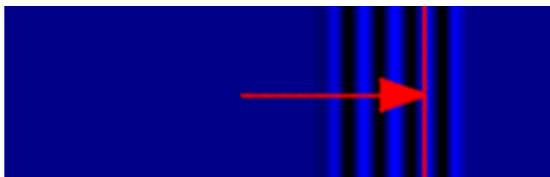
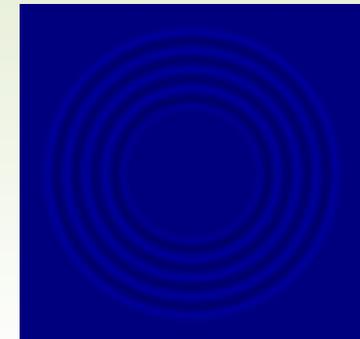
Prove soniche e ultrasoniche :

La tecnica di indagine acustica si basa sull'analisi di fenomeni oscillatori e su principi di meccanica dei solidi esattamente come la sismica per i terreni. Quando un solido viene attraversato da un impulso di onde acustiche, la velocità con cui esse si propagano dipende dalla proprietà del mezzo e dalla frequenza dell'onda dell'impulso emesso.



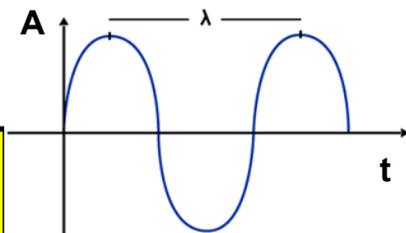
Prove soniche e ultrasoniche in edilizia

Onde sferiche



Onde piane (lontano dalla sorgente)

$$V = \lambda / T \quad f = 1 / T \quad \rightarrow \quad V = \lambda \times f$$



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

INDAGINI ACUSTICHE

Prove soniche e ultrasoniche :

Rispetto alla sismica dei terreni si utilizzano frequenze molto più elevate, gli spessori indagati sono di conseguenza molto più piccoli, e mediamente i valori della V sono decisamente maggiori:

materiale	Vp (m/s)	d (kg/m ³)	Z (kg/m ² s)
acciaio	6000	7850	47100
calcestruzzo	4000	2400	9600
laterizio	4200	3100	13020
arenaria	2800	2200	6160
acqua	1500	1000	1500
aria	330	1.3	0.43

Mezzo	Velocità (m/s)	Mezzo	Velocità (m/s)
Ferro	5900	Plexiglass	2700
Ghiaccio	4000	Quarzo	5800
Gomma	1800	Rame	4700
Nickel	5600	Titanio	6100
Oro	3200	Tungsteno	5200
Platino	3300	Zinco	4200

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

INDAGINI ACUSTICHE

Prove soniche e ultrasoniche :

Principio: un treno d'onde longitudinali è prodotto mediante un trasduttore elettroacustico tenuto in contatto con una superficie del calcestruzzo sottoposto a prova. Dopo aver attraversato un percorso di lunghezza nota, all'interno del calcestruzzo, il treno d'onda è convertito in segnale elettrico mediante un secondo trasduttore, e dei circuiti di temporizzazione elettronica consentono di misurare il tempo di transito degli impulsi (primo arrivo come in sismica).



Due tipi di apparecchi elettronici :

- a) un oscilloscopio sul quale il primo arrivo è visualizzato in relazione ad una scala di tempo idonea;
- b) un contatore dei tempi con un display digitale a lettura diretta

N.B. Un oscilloscopio permette di esaminare la forma d'onda dell'impulso in situazioni complesse di prova

Requisiti strumentazione:

- deve avere una barra a velocità nota per la taratura
- la frequenza naturale dei trasduttori dovrebbe essere generalmente compresa nell'intervallo da 20 kHz a qualche MHz (per i controlli sugli acciai). In generale su cls. si utilizza bassa frequenza (da 10 kHz a 55 kHz)

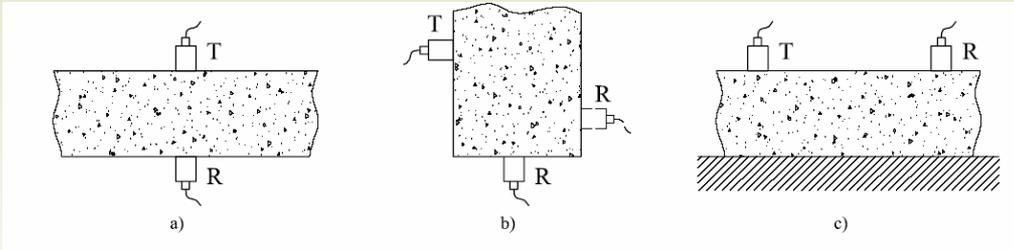
PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

INDAGINI ACUSTICHE

Prove soniche e ultrasoniche :

Come e dove si usa?

Su superficie liscia senza intonaco, e lontano dalle armature



• diretta o per trasparenza: i punti di emissione e di ricezione dei segnali acustici sono sui due lati opposti della parete alla stessa altezza dal suolo e in modo che la congiungente sia perpendicolare alle superfici

• semidiretta: i due punti sono sui due lati opposti della parete ma non in corrispondenza simmetrica

• indiretta o di superficie (echo): nel caso di disponibilità di una sola superficie si possono eseguire misure con punti di emissione e ricezione posti sullo stesso lato, lungo una linea retta (verticale o orizzontale)

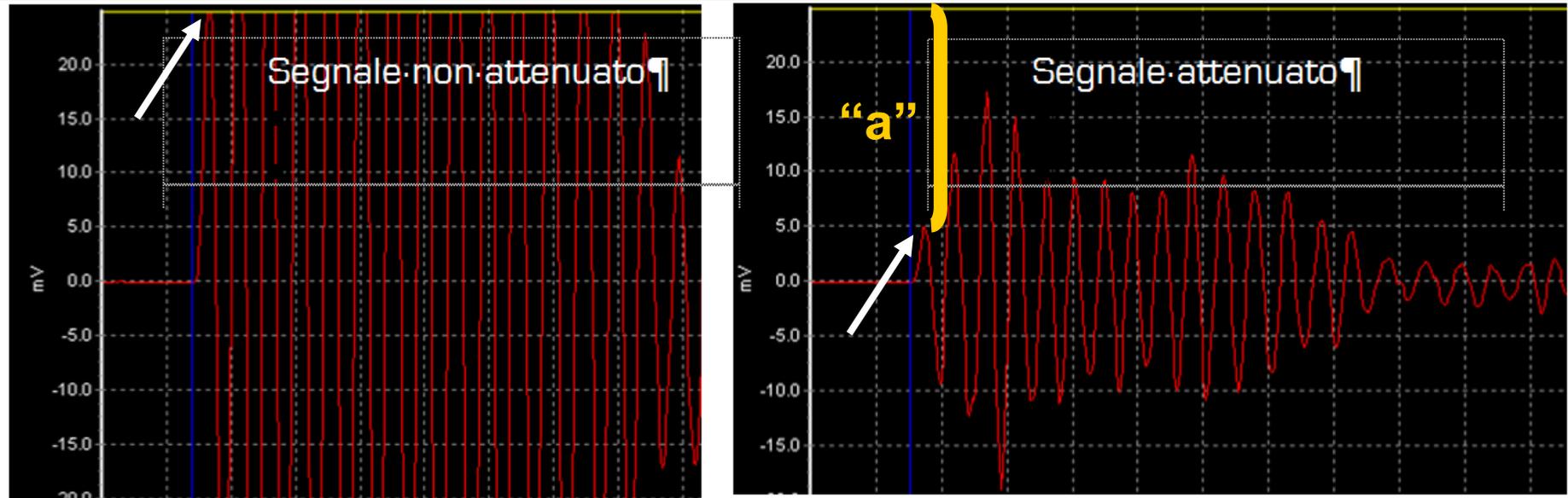


PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

INDAGINI ACUSTICHE

Prove soniche e ultrasoniche :

Si può fare una misura della **Velocità** e dell'**attenuazione**, cioè l'amplificazione (guadagno in dB) necessaria per portare il picco attenuato al valore di riferimento



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

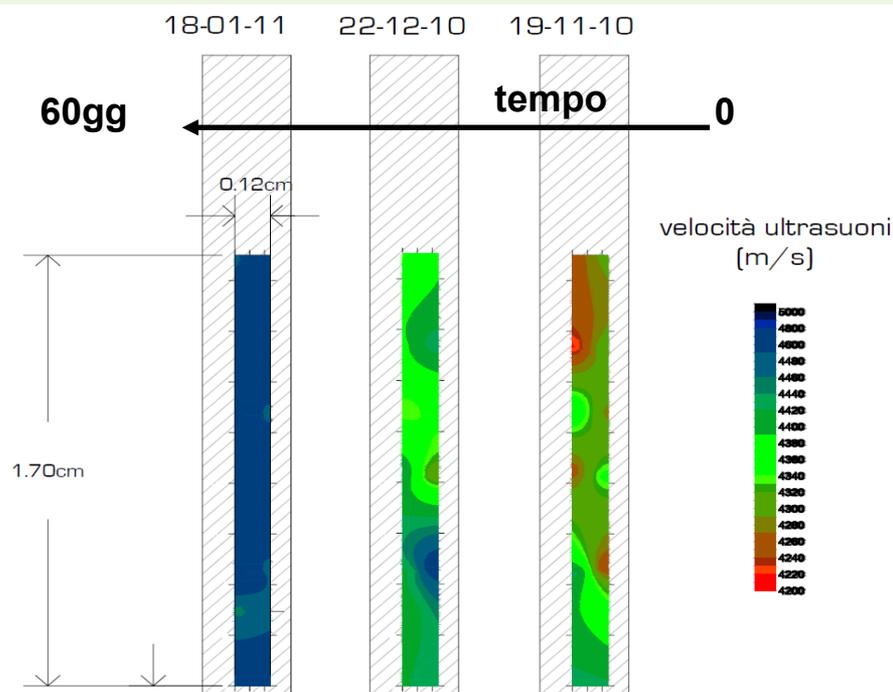
INDAGINI ACUSTICHE

Prove soniche e ultrasoniche :

A cosa servono **Velocità** e **Attenuazione**?

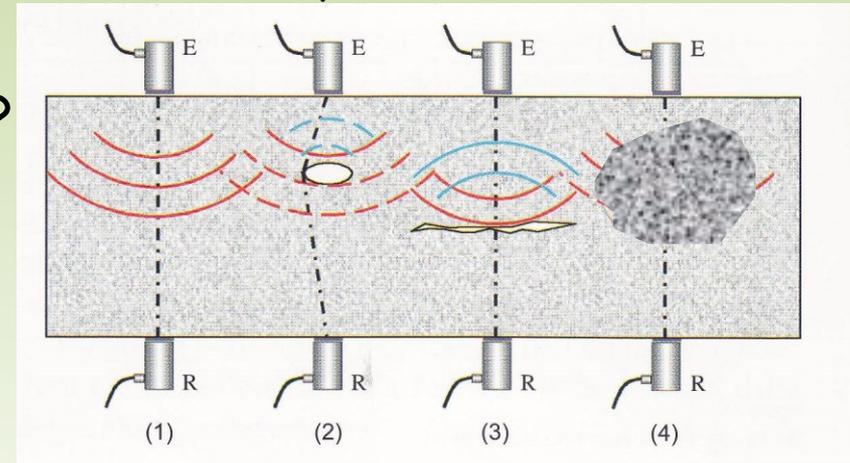
• Valutare l'omogeneità e la qualità del cls.

Qualità del calcestruzzo	Velocità (m/sec)
Molto Scadente	$V < 3000$
Scadente	$3000 < V < 3400$
Discreta	$3400 < V < 3900$
Buona	$3900 < V < 4500$
Ottima	$V > 4500$



Monitoraggio di un pilastro con cls. autocompattante

• Valutare la presenza di difetti



↓
V max e **a** min
V max e **a** aumenta
V decresce e **a** aumenta
V decresce e **a** min

La localizzazione di difetti e vuoti o si basa sulla diffrazione dell'impulso attorno alla zona difettosa, con debole trasmissione dell'energia dell'onda acustica attraverso l'aria e quindi con apparente diminuzione della velocità di propagazione, nonché sulla lettura di un'ampiezza più debole dell'impulso ricevuto.

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

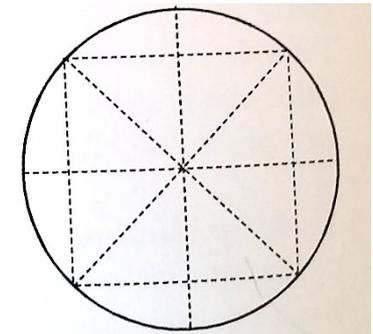
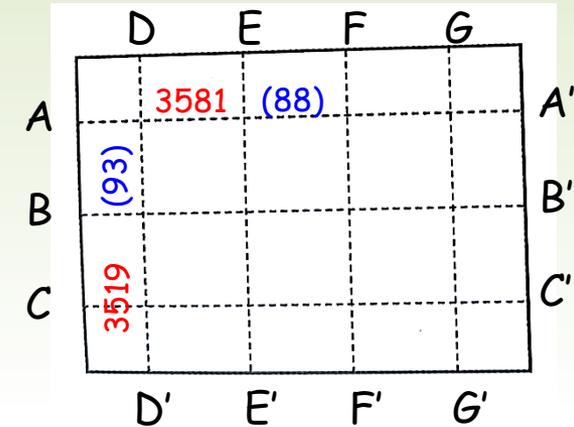
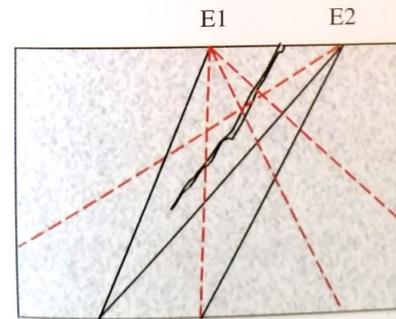
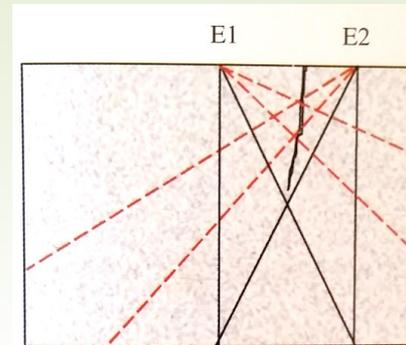
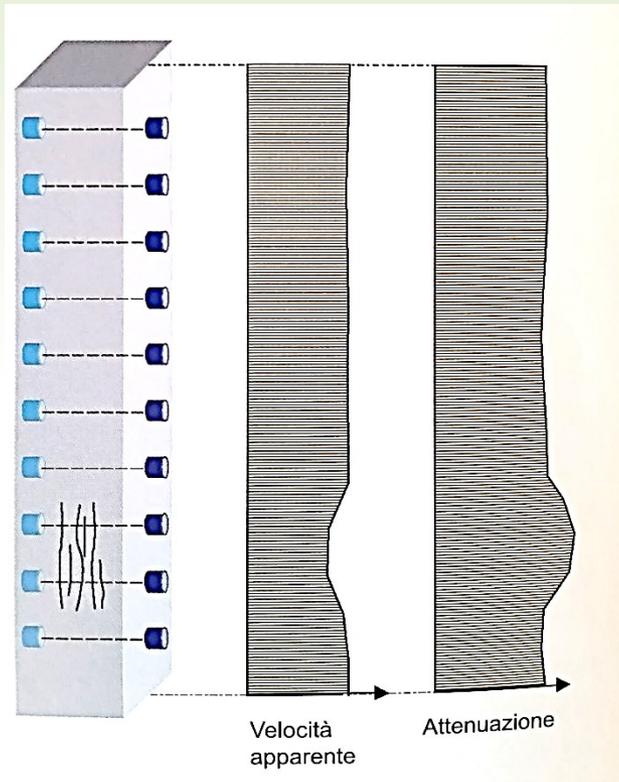
INDAGINI ACUSTICHE

Prove soniche e ultrasoniche :

Le fessurazioni provocano cambiamenti di **V** e **attenuazione**

Individuazione del percorso di una fessura

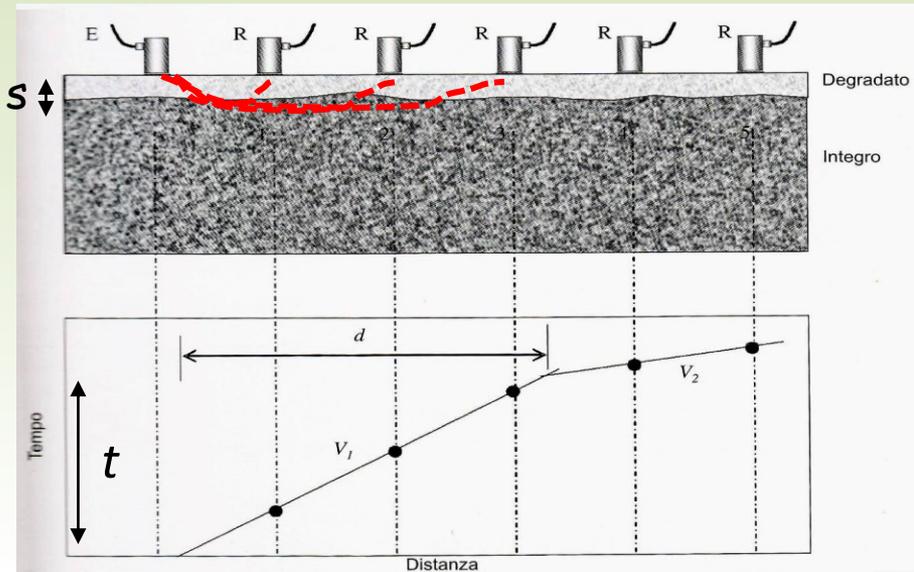
Griglie di base per l'individuazione di difetti



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

INDAGINI ACUSTICHE

Prove soniche e ultrasoniche :



Lo spessore dello stato deteriorato s può essere calcolato (come per la sismica a rifrazione), note le velocità di propagazione delle onde sia nel calcestruzzo deteriorato (V_1) che in quello non deteriorato (V_2), applicando la:

$$s = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

Dove d è la distanza tra la sonda ricevente e quella emittente determinata nel punto in cui avviene un rapido cambiamento di direzione della curva sperimentale di velocità tracciata (dromocrona, come in sismica a rifrazione).

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

INDAGINI ACUSTICHE

Prove soniche e ultrasoniche :

SonReb = **Sonic** and **Rebound**

La correlazione tra velocità delle onde ultrasoniche V e la resistenza a compressione del calcestruzzo R_c è piuttosto complessa. Ampi studi sull'argomento, dopo aver esaminato numerose equazioni, usando diversi tipi di criteri per stabilire il grado di correlazione, hanno confermato la validità della relazione:

$$R_c = Ae^{BV}$$

con A e B parametri dipendenti dalle caratteristiche del calcestruzzo. Tali parametri variano ad esempio in funzione della maturazione del calcestruzzo.

Linee guida '08 C.S.LL.PP

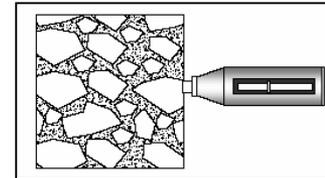
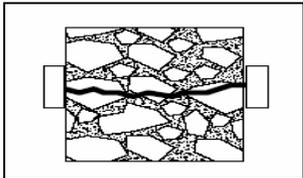
Correlazione e Regressione

Con il metodo *SonReb* si determina la resistenza del calcestruzzo combinando i dati sperimentali, riportati per il caso di studio nell'Appendice A, mediante correlazioni del tipo:

$$R = R_o \cdot e^a V^b I^c$$

in cui:

- R = resistenza attuale a compressione del calcestruzzo (MPa)
- R_o = fattore di conversione delle unità di misura ($R_o = 1$ MPa·sec/m)
- V = velocità di propagazione degli ultrasuoni (m/sec)
- I = indice di rimbalzo misurato dallo sclerometro (-)
- a, b, c = parametri di correlazione adimensionali da determinare con le misure sperimentali



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

INDAGINI ACUSTICHE

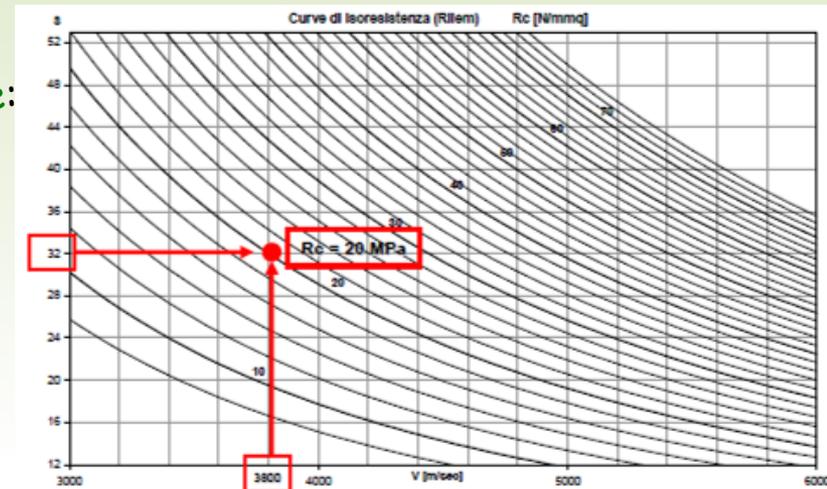
METODO INTEGRATO SONREB PER LA STIMA DELLA R_c DEL CLS.

La stima della classe di resistenza può essere effettuata tramite due tipi di correlazione (EN13791):

- determinazione di una curva di correlazione fra la prova non distruttiva ($I_r + U_t$) e la resistenza alla compressione su carote (18 coppie di valori)
- impiego di una correlazione disponibile in bibliografia e calibrazione per confronto con un limitato numero di carote (almeno 3)

In bibliografia esistono numerose curve di correlazione:

- Giacchetti e Lacquaniti (1980)
- Di Leo e Pascale (1994)
- Gasparik (1992)
- Rilem (1993)

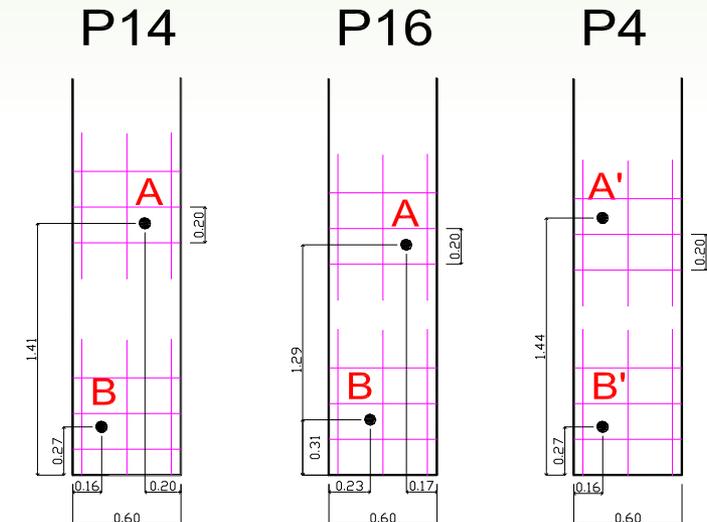
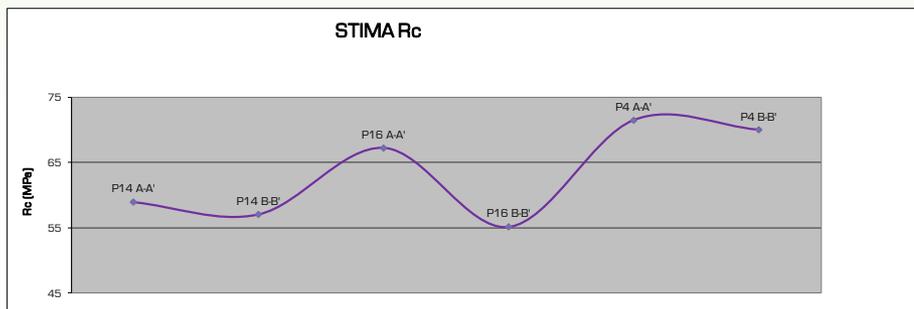
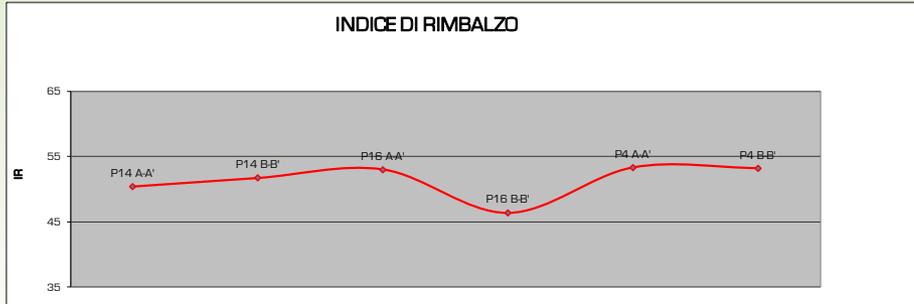
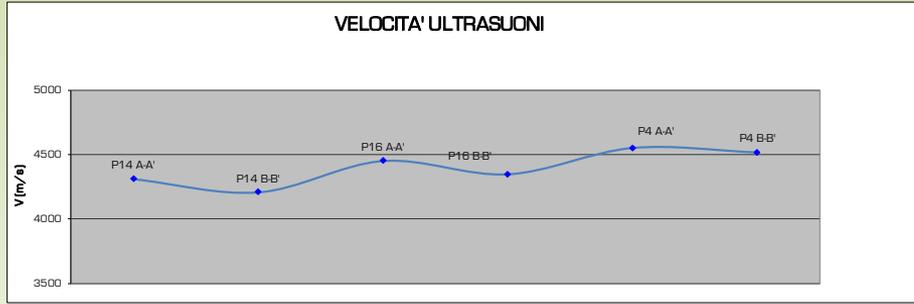


I vantaggi del metodo SonReb:

- rapidità della misura
- effettuare indagini anche su strutture di notevoli dimensioni ed in profondità
- annullamento dell'influenza dell'umidità e del grado di maturazione del calcestruzzo
- riduzione dell'influenza della granulometria dell'inerte, del dosaggio e del tipo di cemento
- diminuzione dell'importanza delle variazioni tra strati superficiali e strati profondi

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

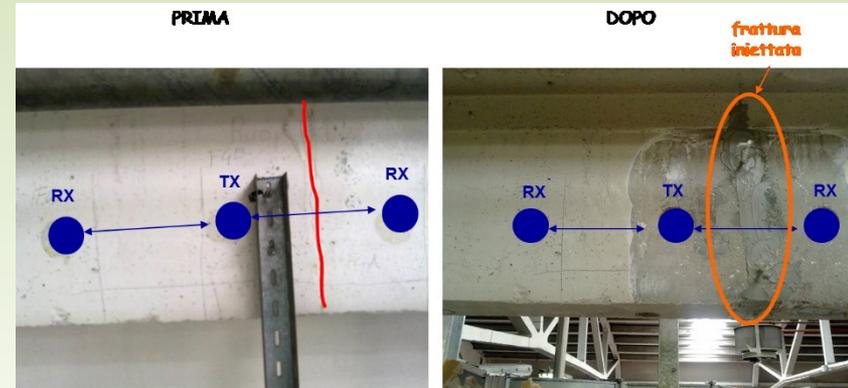
Es: stima della Rc dei pilastri di un capannone industriale sottoposto a verifica sismica con metodo SonReb



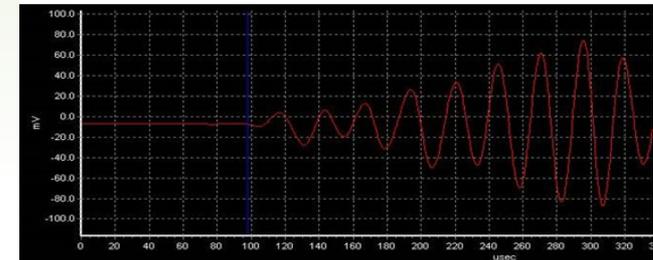
elemento -percorso	trasmissione	lunghezza percorso (cm)	tempo di volo (µs)	velocità (m/s)	IR	stima Rc in Mpa (Di Leo Pascale)	qualità cls.
P14 AA'	diretta	60	139.2	4310	50	59	buona
P14 BB'	diretta	60	142.6	4208	52	57	buona
P16 AA'	diretta	60	134.8	4451	53	67	buona
P16 BB'	diretta	60	138	4348	46	55	buona
P4 AA'	diretta	60	131.8	4552	53	71	ottima
P4 BB'	diretta	60	132.8	4518	53	70	ottima

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

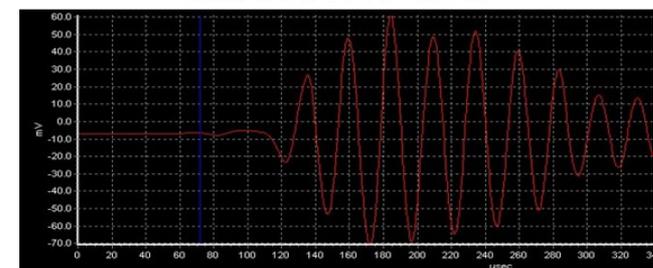
Es: controllo ultrasonico in un consolidamento di un capannone industriale su travi in c.a. con resine epossidiche



ZONA FRATTURATA



DOPO L'INIEZIONE



Risultati dopo il consolidamento:

- aumento della velocità di propagazione
- aumento dell'ampiezza del segnale

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

GEORADAR G.P.R. AD ALTA FREQUENZA

Lo strumento in generale è composto da:

1. Modulo GPR High Frequency
2. Antenna trasmittente T e Antenna ricevente R. Le diverse dimensioni dipendono dalla frequenza dell'impulso
3. Sistema di registrazione del dato e di visualizzazione in tempo reale del dato (Centralina)
4. Cart o ruota con odometro

Modulo HF



Centralina



Cart



800MHz



1.6-2.3GHz



1.5m



15cm

Profondità
d'indagine

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

GEORADAR G.P.R. AD ALTA FREQUENZA

Materiale	Attenuazione (in dB/m)		Costante dielettrica	
	Secco	Bagnato	Secco	Bagnato
Asfalto	2-15	2-20	2-4	6-12
Argilla	10-20	20-100	2-10	4-40
Granito	0,5-3	2-5	5	7
Calcere	0,5-10	10-25	7	8
Sabbia	0,01-1	0,03-0,3	4-6	10-30
Cemento/mattoni	2-12	10-25	4-10	10-20
Terreno sabbioso	0,1-2	1-5	4-6	15-30
Terreno argilloso	0,3-3	5-30	4-6	10-15

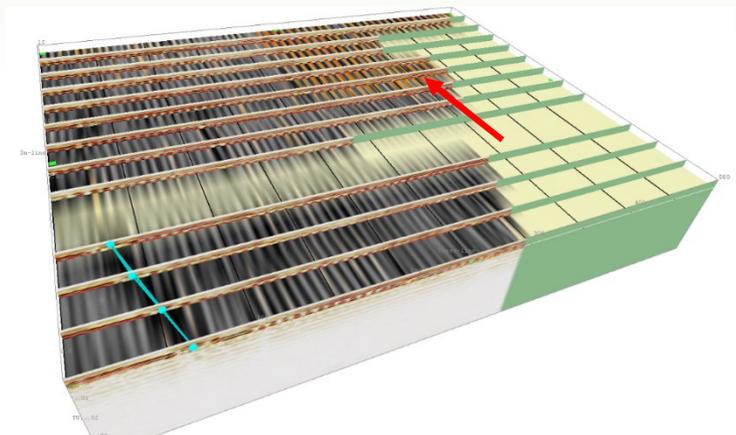
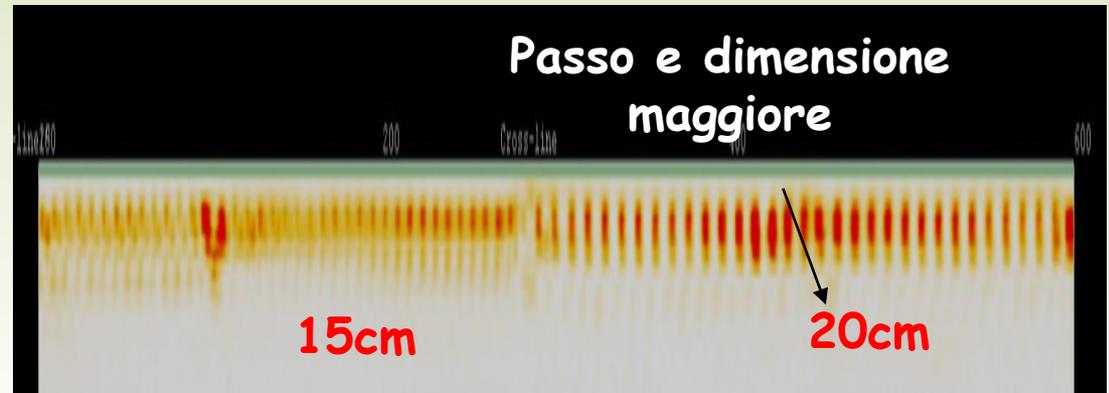
PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

GEORADAR G.P.R. AD ALTA FREQUENZA

Verifica strutturale del pavimento di un edificio in c.a.

Ricerca di cavità sotto la
pavimentazione di un edificio e
dimensionamento della rete
elettrosaldata

E' possibile determinare diametro e passo
della rete metallica individuata

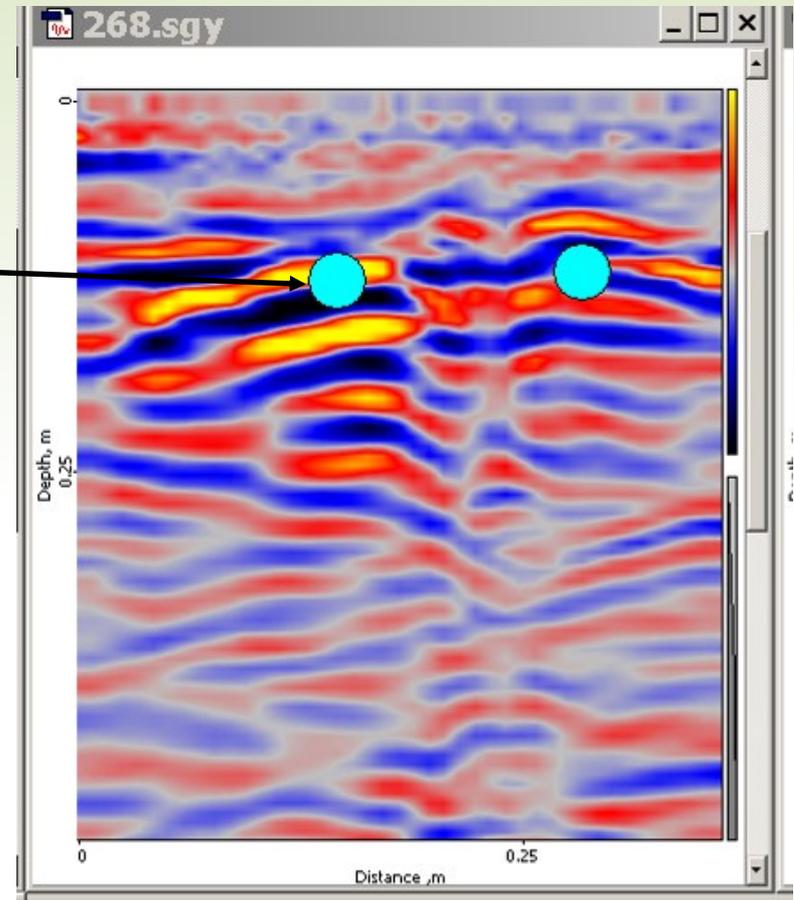


Visualizzazione 3D

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

GEORADAR G.P.R. AD ALTA FREQUENZA

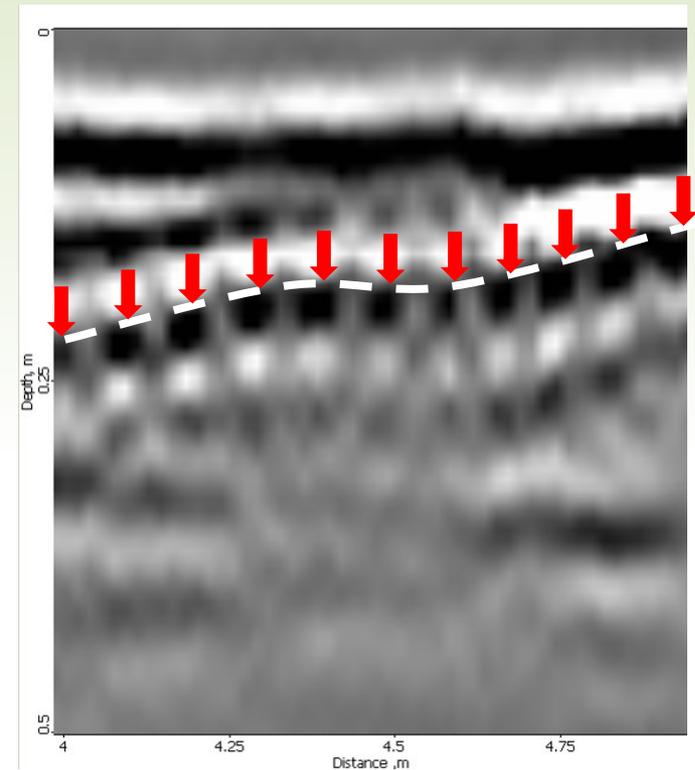
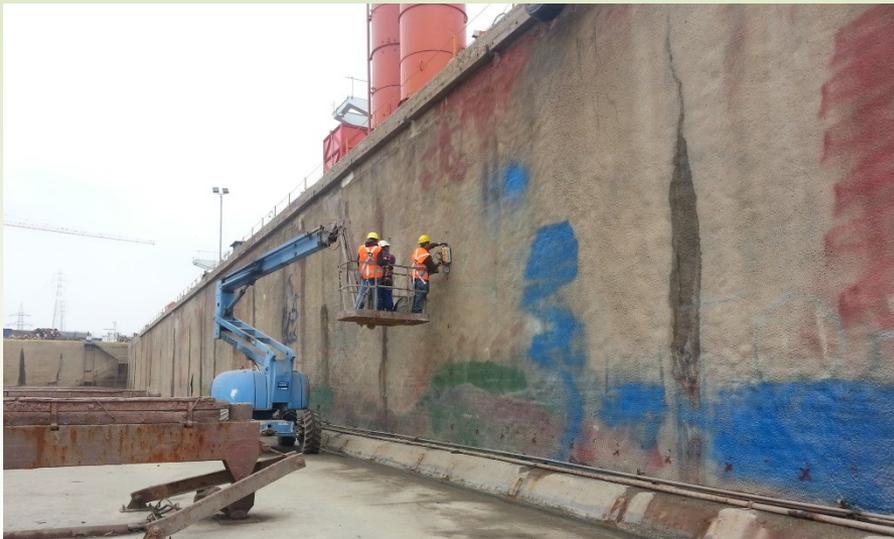
Es. verifiche sismiche di un capannone industriale, ricerca di connessioni metalliche trave-pilastro



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

GEORADAR G.P.R. AD ALTA FREQUENZA

Es. ricerca di armature metalliche in bacino di carenaggio navi

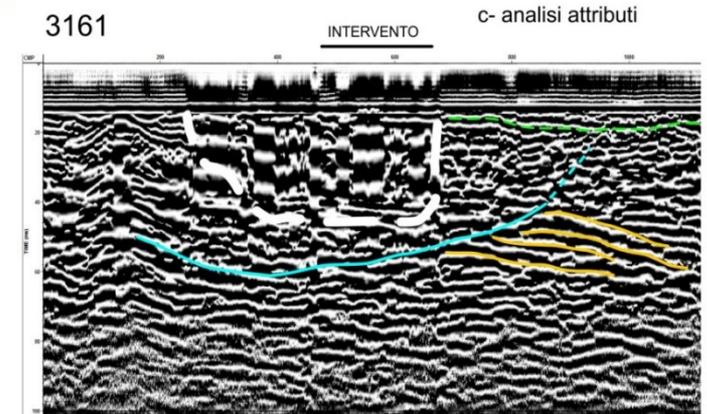
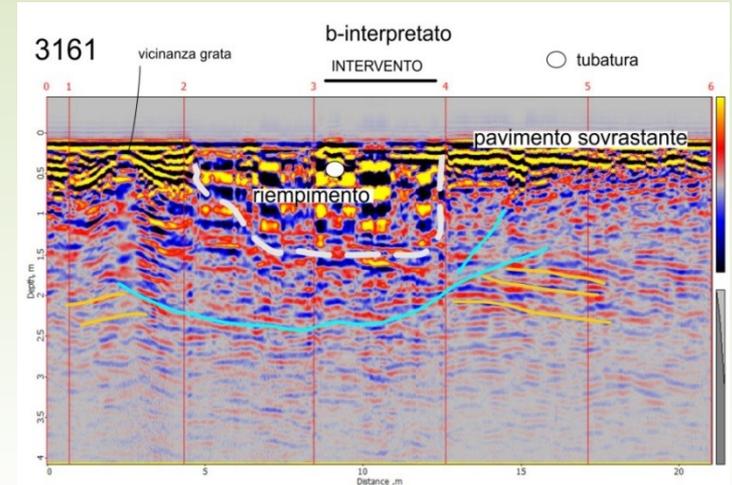


Rete elettrosaldata 10cm

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

GEORADAR G.P.R. AD ALTA FREQUENZA

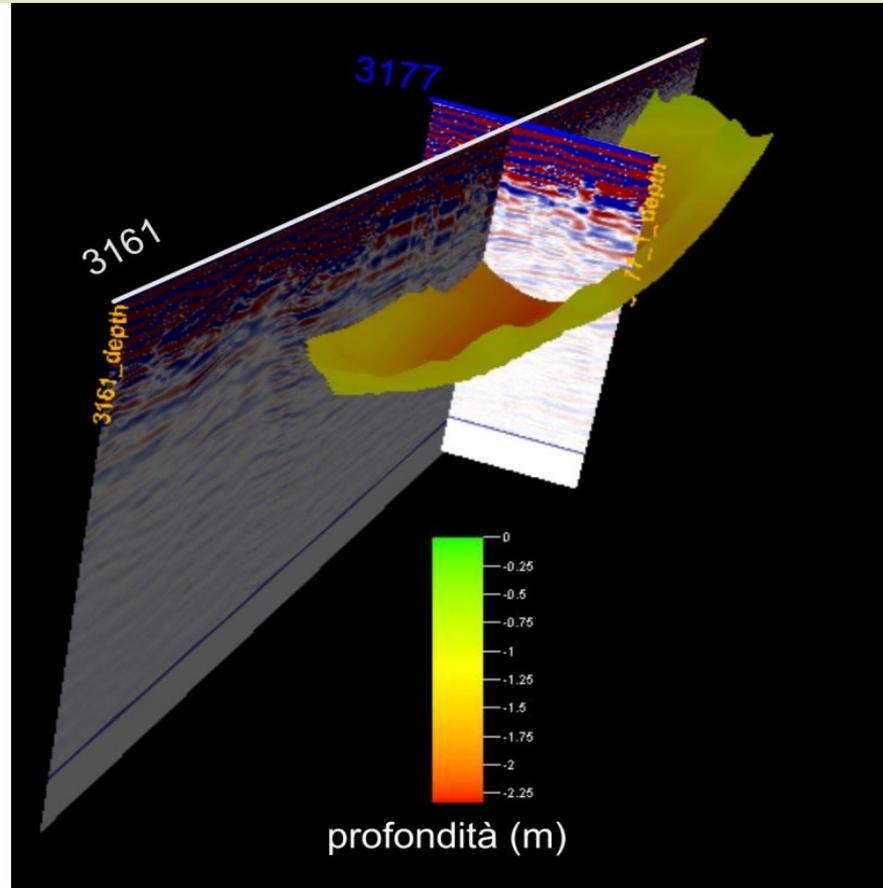
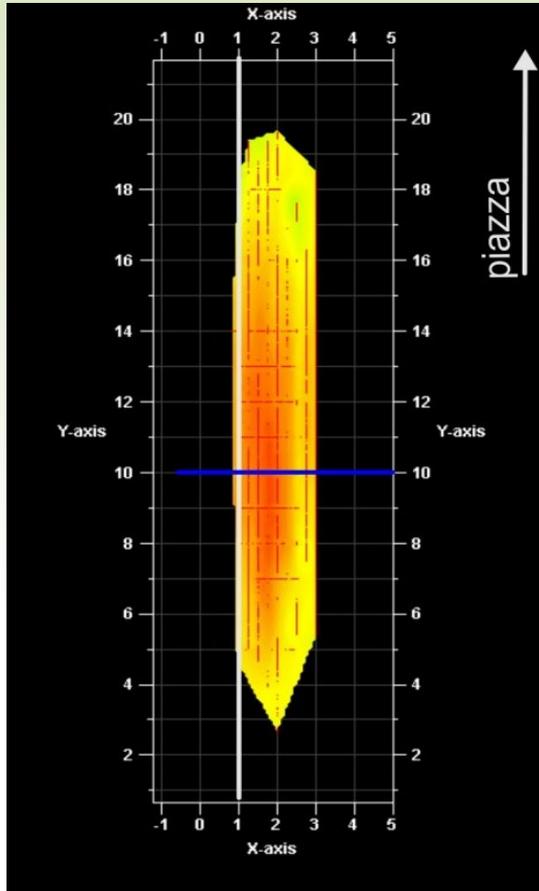
Es. pavimentazione di un porticato soggetto a cedimenti



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

GEORADAR G.P.R. AD ALTA FREQUENZA

Es. pavimentazione di un porticato soggetto a cedimenti



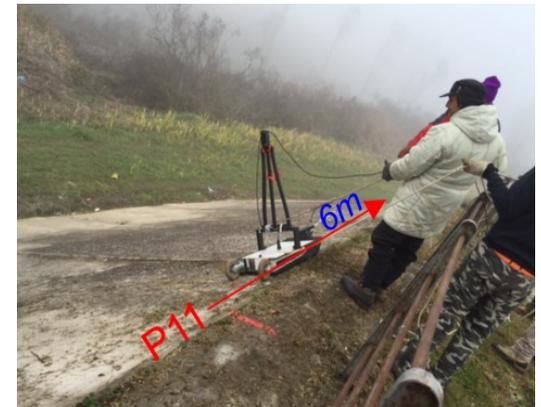
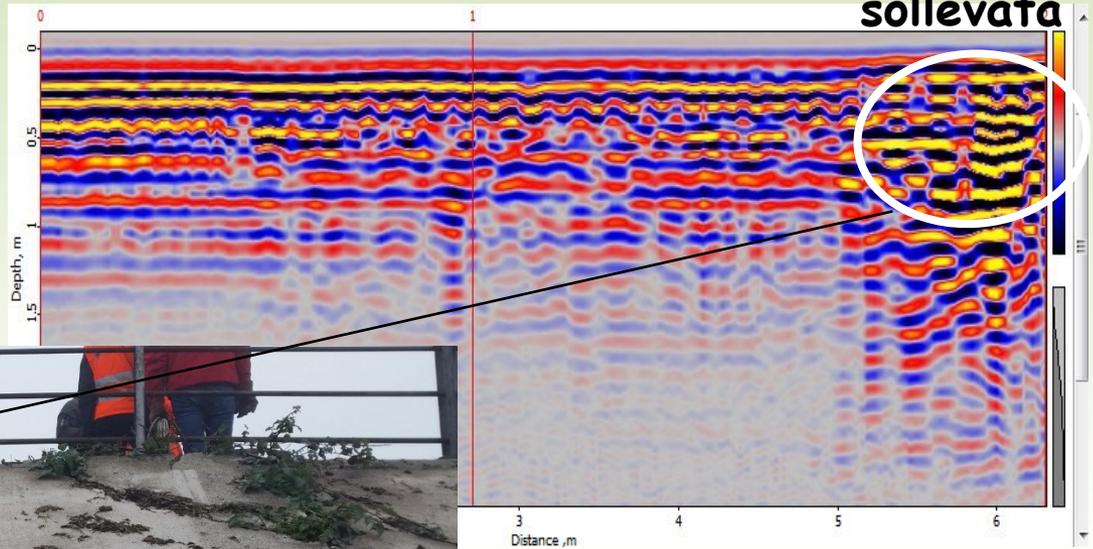
Mappatura dell'orizzonte associato alla superficie di discontinuità

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

GEORADAR G.P.R. AD ALTA FREQUENZA

Es. verifica di piastre in c.a. di protezione di sponda arginale

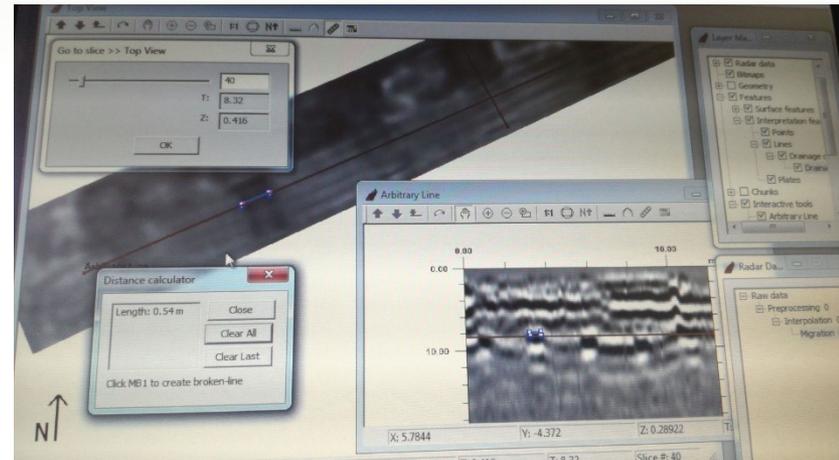
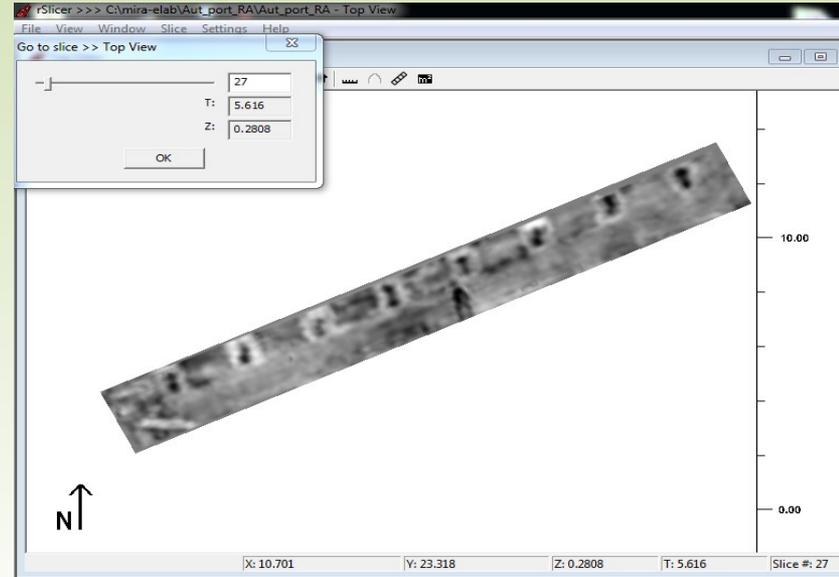
Piastra sollevata



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

GEORADAR G.P.R. 3D

Es. mappatura dei tiranti di una banchina



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

E' una tecnica diagnostica non distruttiva con cui riusciamo a misurare la radiazione infrarossa emessa da un corpo. La termografia sfrutta il principio fisico secondo cui qualunque corpo abbia una temperatura maggiore dello zero assoluto ($-273,16^{\circ}\text{C}$), emette energia sotto forma di radiazione infrarossa.

Attraverso opportuni passaggi matematici si riesce a calcolare la reale temperatura superficiale di un corpo.

La radiazione infrarossa (IR) è una radiazione elettromagnetica invisibile all'occhio umano con lunghezza d'onda maggiore della luce visibile (ordine del μm) e minore delle microonde (frequenze nell'ordine del THz).

La termocamera rileva la radiazione emessa!!

Il risultato fornito dai software in commercio è una "mappa" termica dell'oggetto, visualizzabile attraverso scale di colori o scala di grigi.



**N.B.: CON LA TERMOGRAFIA NON E' POSSIBILE VEDERE
ATTRAVERSO GLI OGGETTI MA SOLO DEDURNE LA
COMPOSIZIONE DAGLI EFFETTI SUPERFICIALI
(OMBRA TERMICA)**

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

Viene applicata sia in ambito industriale che civile per moltissime applicazioni, quali per esempio:

- Identificare difetti negli edifici (infiltrazioni, dispersioni, ecc)
- Valutare sistemi di coibentazione e impianti termici
- Identificare difetti strutturali (in ponti, strade ecc.)
- Controllare il funzionamento di impianti elettrici e di en. rinnovabili

Queste valutazioni risultano particolarmente utili alla **DIAGNOSI ENERGETICA** degli edifici, definita come la MISURA DELL'ENERGIA UTILIZZATA PER RISCALDAMENTO, RAFFRESCAMENTO, ILLUMINAZIONE E USO DI ELETTRODOMESTICI.

La diagnosi energetica ha come scopo il **miglioramento** del comfort, attraverso la riqualificazione tecnologica degli impianti e la riduzione delle spese di gestione.

Direttiva 2010/31/UE → "edificio a energia quasi zero" → entro dicembre 2020

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

NORMATIVA

Rilievi con termocamera

UNI EN 13187:2000 (da ISO 6781:1983)

Prestazione termica degli edifici

- Questa norma definisce un metodo qualitativo che utilizza un esame termografico, per la rilevazione delle irregolarità termiche degli involucri edilizi. Essa si applica alla determinazione della posizione delle irregolarità termiche e delle infiltrazioni di aria attraverso un involucro edilizio, ma non si utilizza per determinare il livello di isolamento termico.

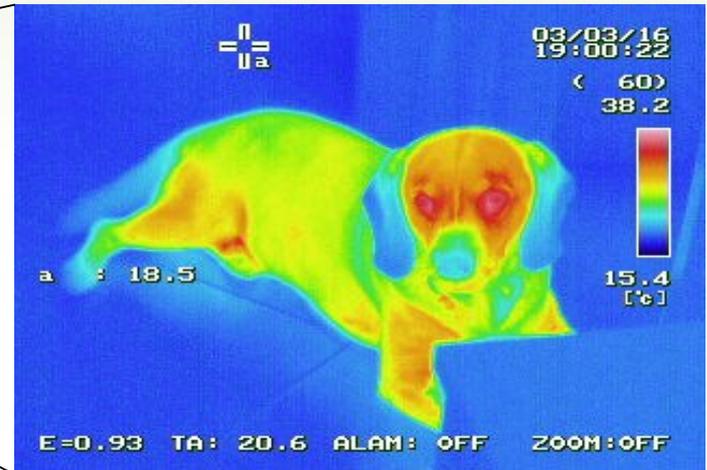
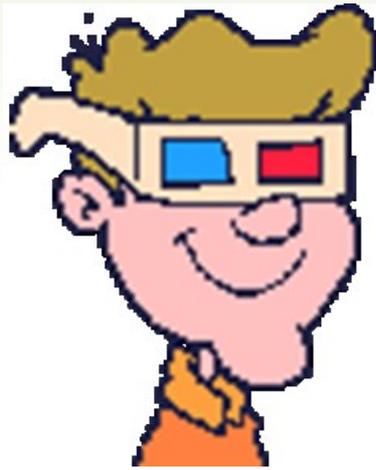
NORMA ITALIANA	Prestazione termica degli edifici Rivelazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi Metodo all'infrarosso	UNI EN 13187
	Thermal performance of buildings Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes Infrared method	OTTOBRE 2000

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

PREMESSA

FARE TERMOGRAFIA E' COME INDOSSARE UN PAIO DI OCCHIALI CHE NASCONDONO IL VISIBILE E VEDONO LA RADIAZIONE TERMICA EMESSA, CIOE' SOLO NEL CAMPO DELL'INFRAROSSO TERMICO....

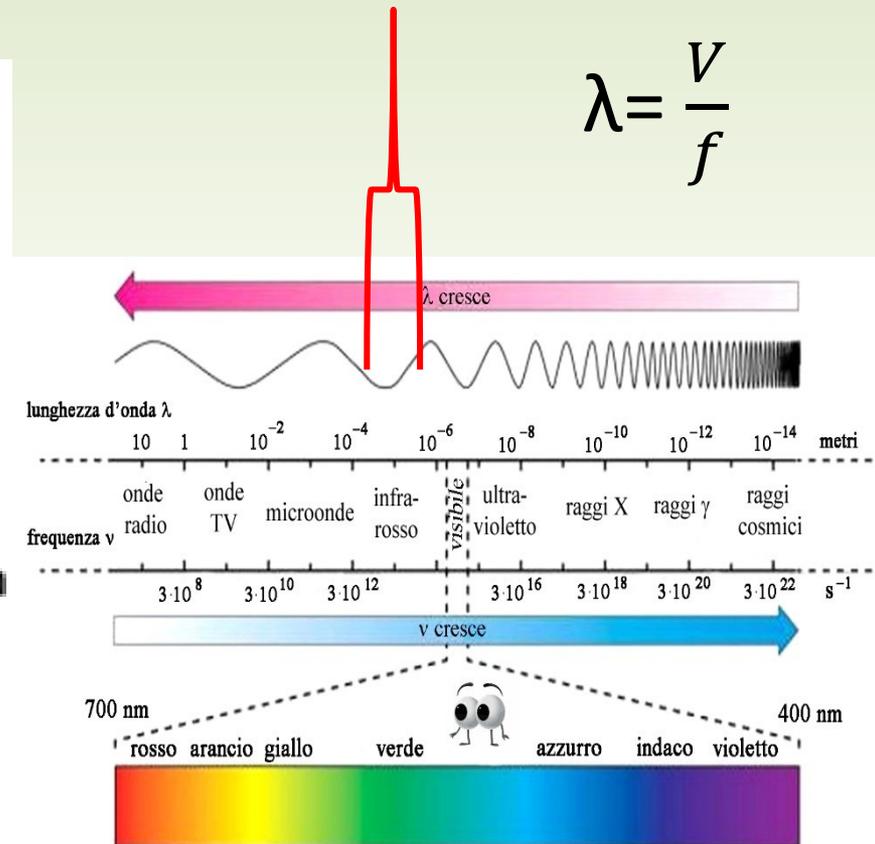
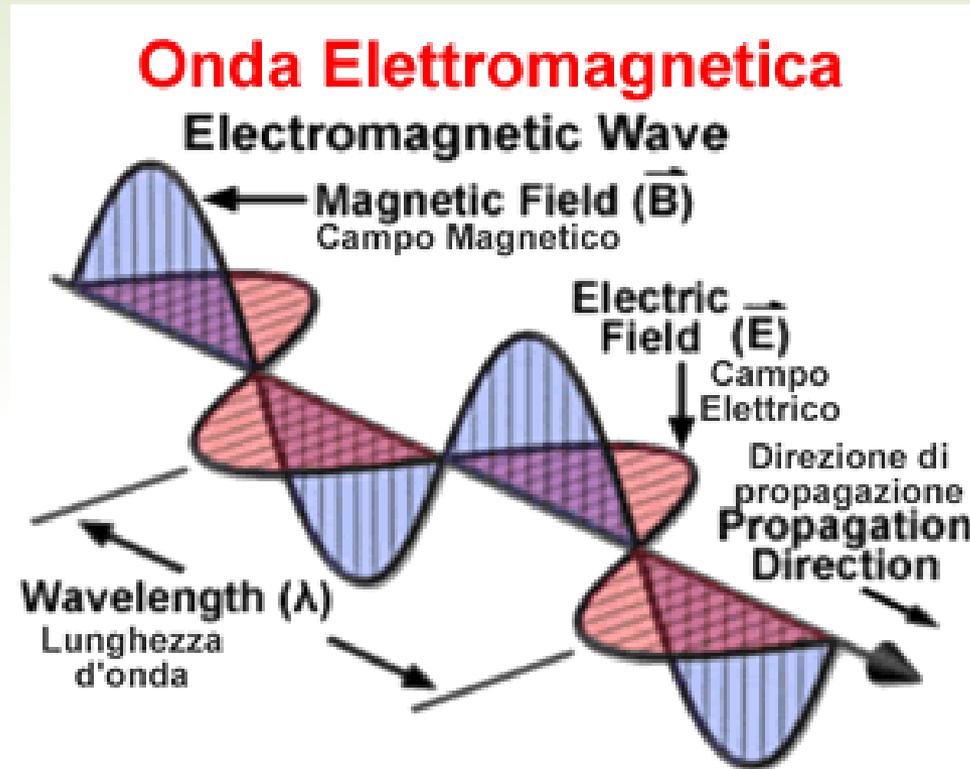


PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

PRINCIPI FISICI

Una radiazione termica è una emissione di energia che avviene tramite la propagazione di un'onda elettromagnetica in una determinata banda di frequenze f (o lunghezze d'onda λ) chiamata "infrarosso"

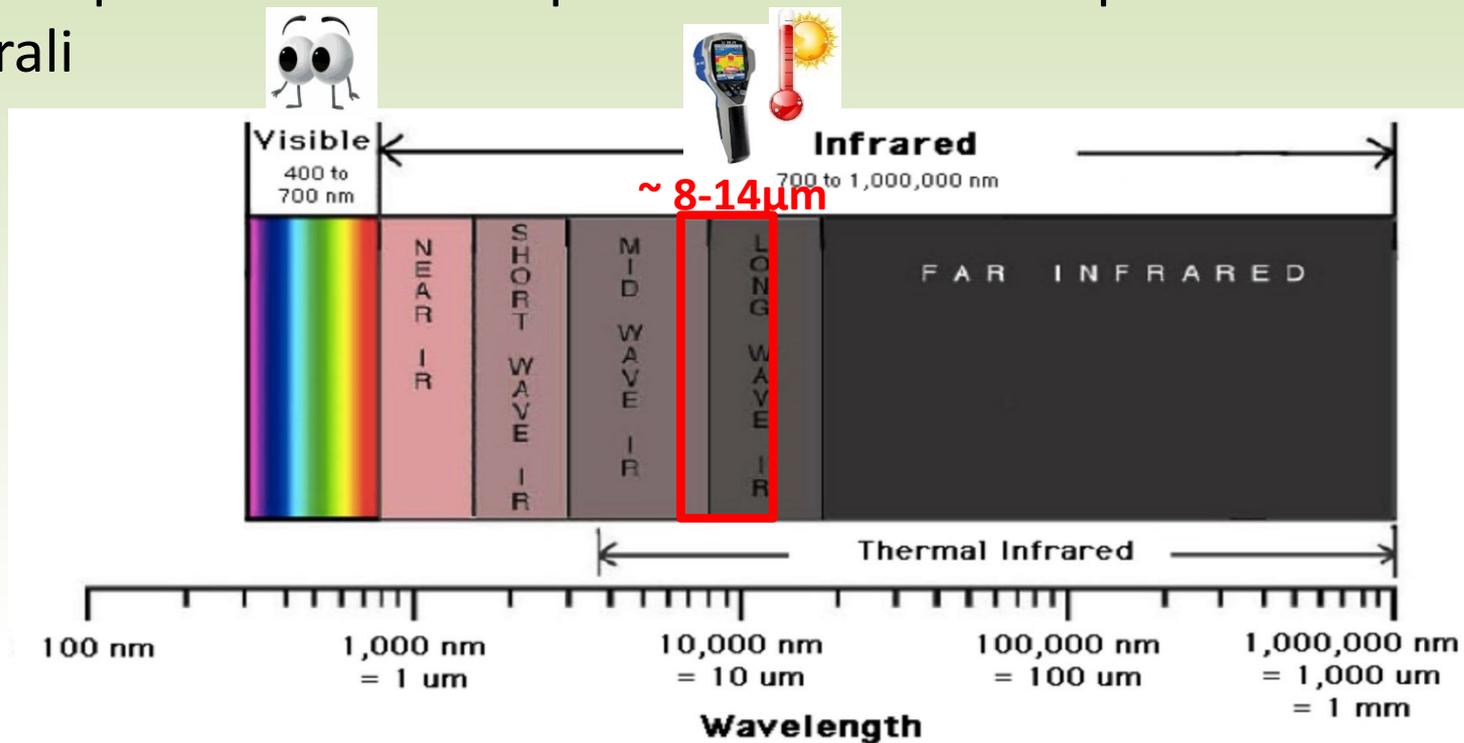


PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

PRINCIPI FISICI

Sono disponibili diversi tipi di sensori che coprono differenti campi spettrali



- INFRAROSSO **VICINO** da 0,78 µm a 2 µm (regione riflettente dell' IR)
- INFRAROSSO **MEDIO** : da 2 a 6 µm (1° finestra atmosferica);
- INFRAROSSO **LONTANO**: da 6 a 15 µm (2° finestra atmosferica); →
- INFRAROSSO **ESTREMO**: da 15 a 1000 µm (3° finestra atmosferica);



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

PRINCIPI FISICI

Ogni corpo emette energia q proporzionalmente alla quarta potenza della sua temperatura:

Legge di Stefan-Boltzmann

$$\text{CORPO NERO } q = \sigma T^4 \quad \text{CORPO GRIGIO } q = \sigma \epsilon A T^4 \quad (\text{W})$$

σ costante di Stefan-Boltzmann $= 5,6703 \times 10^{-8} \text{ j/s} \times \text{m}^2 \times \text{K}^4$

ϵ **emissività** della superficie emittente (variabile tra 0 e 1)

A l'area della superficie emittente in mq

T temperatura assoluta della superficie $^{\circ}\text{C}$

La radiazione registrata dalla termocamera dipende dal sensore ottico, ed è composta da raggi emessi, riflessi e trasmessi, provenienti dagli oggetti all'interno del campo visivo dello strumento.

Legge di Kirchoff

$$\text{ASSORBIMENTO } \alpha + \text{RIFLETTIVITA' } \rho + \text{TRASMITTENZA } \tau = 1$$

ma alla stessa T ma $\tau \sim 0$ per corpi opachi quindi $\epsilon + \rho = 1$

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

PRINCIPI FISICI

Le ϵ dei materiali dipende da:

- materiale
- condizione della superficie
- lunghezza d'onda
- temperatura
- angolazione
- geometria

Le tabelle danno solo valori indicativi, se si vuole ottenere la t vera l'emissività va misurata volta per volta



Cattivo emettitore



Buon emettitore

MATERIALE	TIPO	T [°C]	ϵ
ACCIAIO	laminato a freddo	93	0,8
	lamierino grezzo	1000	0,6
	lamierino lucido	38	0,07
	non ossidato	100	0,08
	ossidato	25	0,8
ACQUA	Normale	20	0,98
	Distillata	20	0,96
ALLUMINIO	Opaco	17	0,89
	lucido	20	0,04
	non ossidato	25	0,02
	ossidato	200	0,11
	molto ossidato	93	0,2
ARGENTO	opaco	93	0,06
	lucido	38	0,01
ASFALTO -- 0.85		38	0,85
CALCE DOLOMIA		20	0,41
CALCESTRUZZO	Secco	36	0,95
	grezzo	20	0,95
CARBONE	normale	36	0,88
FULIGGINE	Nero fumo	24	0,96
GOMMA		25	0,95
GESSO	Intonaco	20	0,96
GHIACCIO		0	0,97
GHIAIA		38	0,28
GHISA		38	0,85
GOMMA		25	0,95
LEGNO		25	0,98
MATTONE	Normale	25	0,8
	Refrattario	17	0,68
	Mattonella	30	0,94
MOLIBDENO		100	0,03
NASTRO ISOLANTE ELETTRICO	nero	35	0,97
ORO	Smaltato	100	0,37
	Lucidato	38	0,02
OTTONE	lucido	38	0,1
	opaco	20	0,07
	Brunito	20	0,4

MATERIALE	TIPO	T [°C]	ϵ
		ossidato	200
	non ossidato	25	0,04
PANNELLI di GESSO		25	0,9
PANNELLI di LEGNO		17	0,91
PIOMBO	Lucidato	38	0,26
	rugoso	38	0,87
	ossidato	38	0,93
PERSPEX_PLEXIGLASS		17	0,86
PITTURA - VERNICE	con allume di Ag	20	0,26
	base di olio	20	0,87
	nero	20	0,94
PLASTICA	grigio	20	0,97
	nera	20	0,95
	bianca	20	0,84
POLIPROPILENE		17	0,97
RAME	ossidato	38	0,87
	ossidato		
	nero	38	0,78
	inciso	38	0,09
	opaco	38	0,22
	corrugato		
	lucido	38	0,07
	lucido	38	0,04
	lappato	38	0,02
	laminato	38	0,64
ruvido	38	0,74	
	fuso	538	0,15
	lamina	38	0,57
SABBIA		20	0,76
SEGATURA (polvere)		20	0,75
TERRENO - SUOLO	normale	38	0,38
	arida	20	0,92
	molto umido	20	0,95
VERNICE - LACCA		20	0,98
VETRO		20	0,85
ZINCO	ossidato	260	0,11
	lucido	38	0,02



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

LA TERMOCAMERA

E' lo strumento che converte l'energia emessa da un corpo (onde elettromagnetiche nella banda medio-lontano infrarosso) in un segnale digitale.

Le più diffuse sono non raffreddate, con sensore microbolometrico e ottica al germanio.



L'analisi termografica può essere condotta in modo :

- passivo - si analizzano gli effetti di cicli termici naturali (insolazione e successivo raffreddamento)
- attivo - le superfici sono riscaldate artificialmente (termoconvettori)

→ Studi superficiali

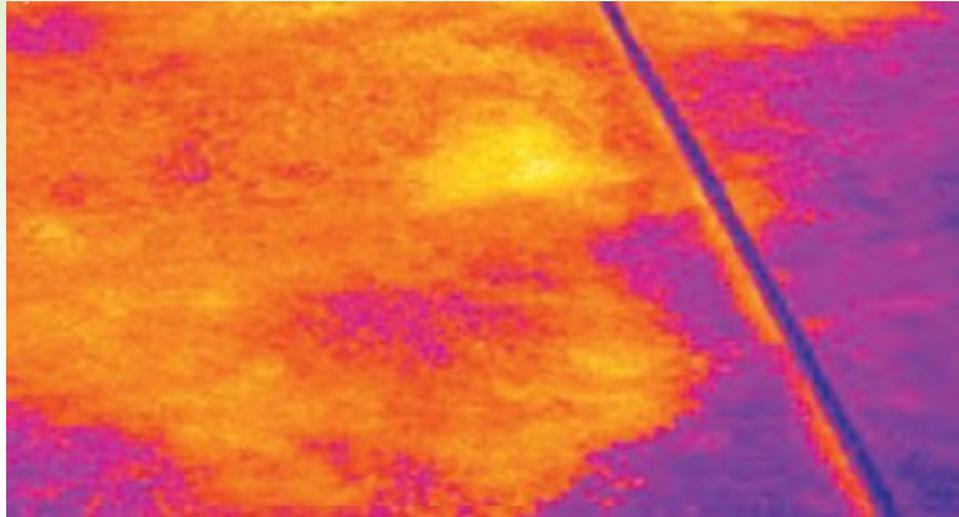
→ Studi profondi (10-20cm)

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

Es. le infiltrazioni nei solai/tetti piatti/terrazzi

Ristagno di acqua



L'acqua trattiene il calore più a lungo rispetto ad altri materiali del tetto (capacità termica), e può essere facilmente individuata nel tardo pomeriggio o nel corso della notte, quando il resto del tetto si è raffreddato.

PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

Es. le infiltrazioni nei solai

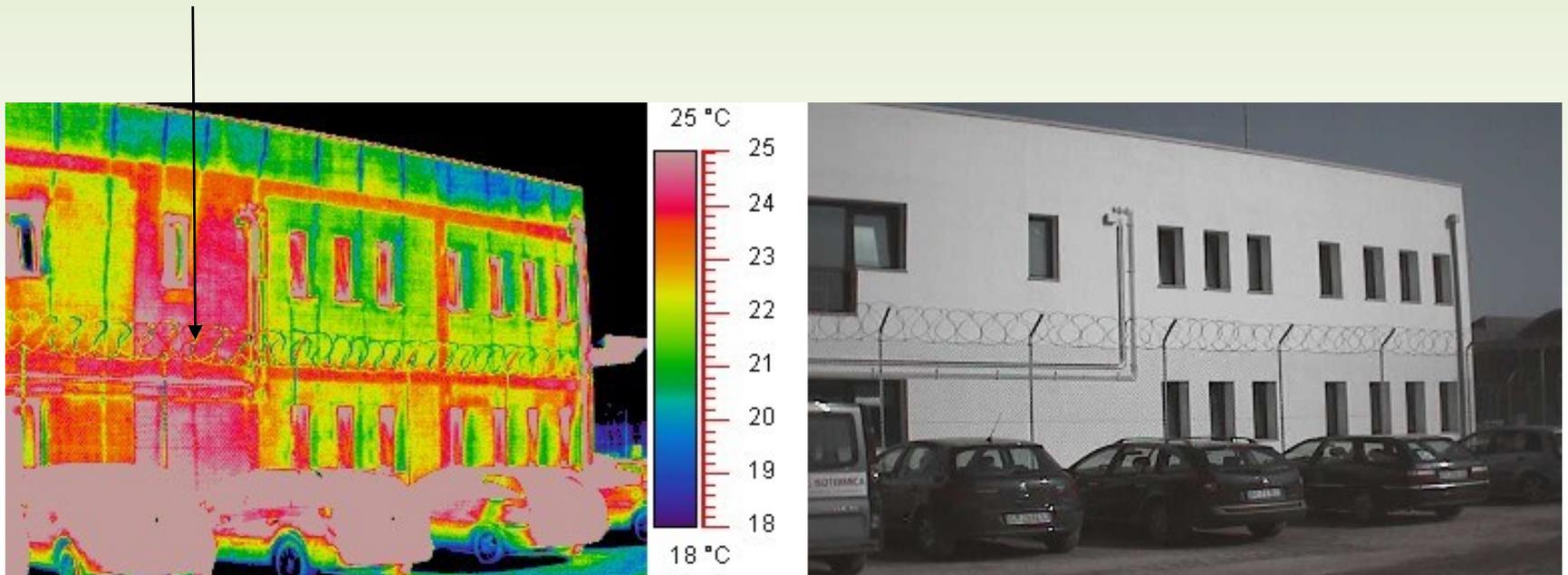
Ristagno di acqua



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

Es. le dispersioni termiche



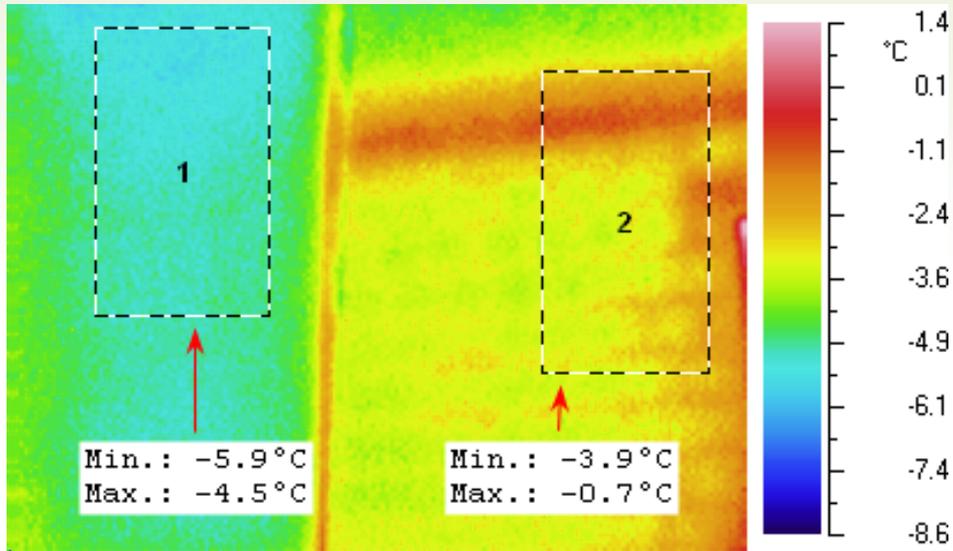
PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

Es. le dispersioni termiche

con
cappotto

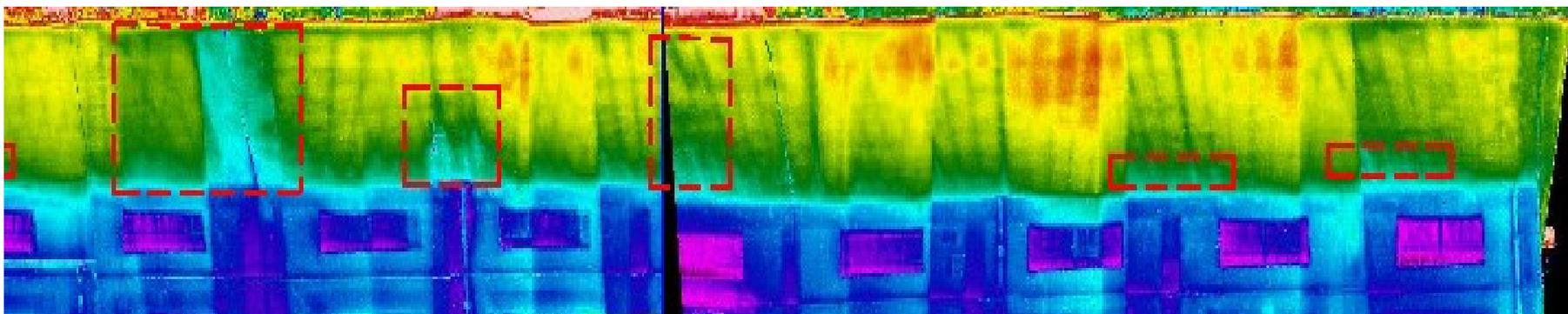
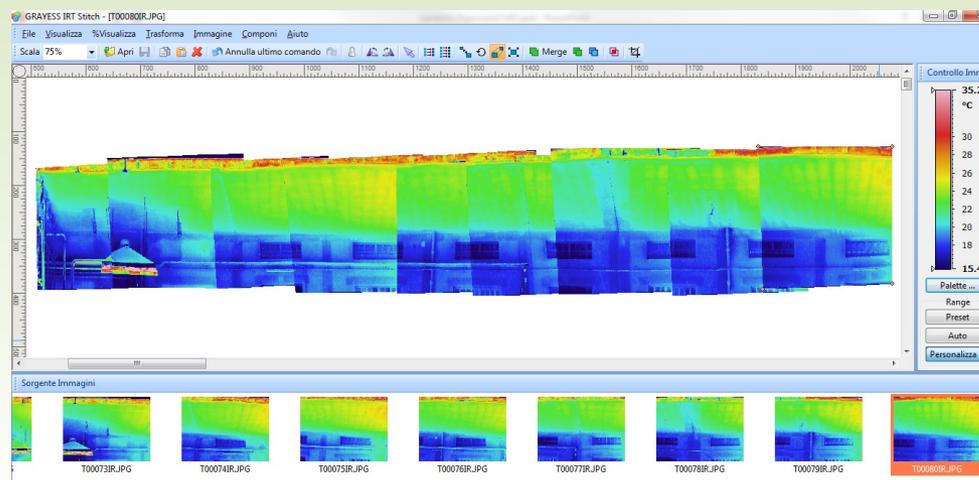
senza
cappotto



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

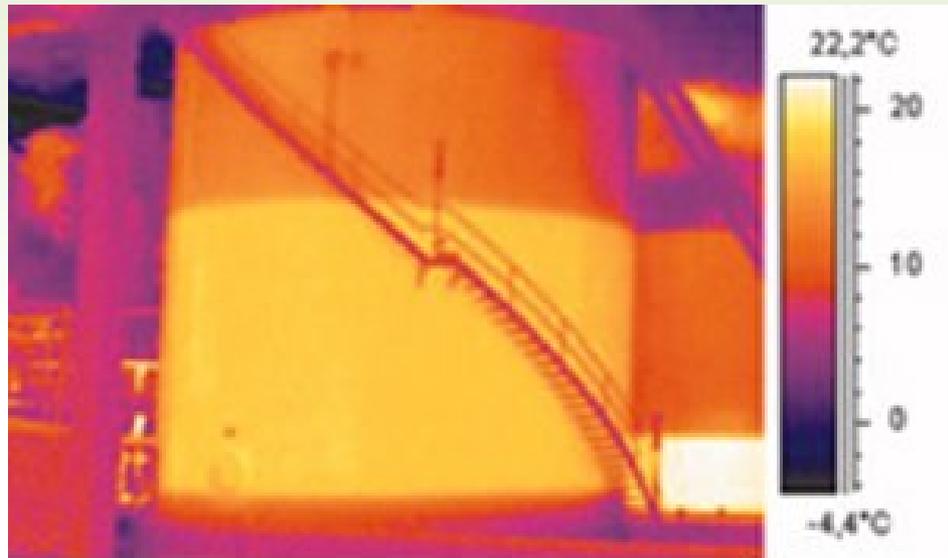
Es. lo sfondellamento dei solai



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

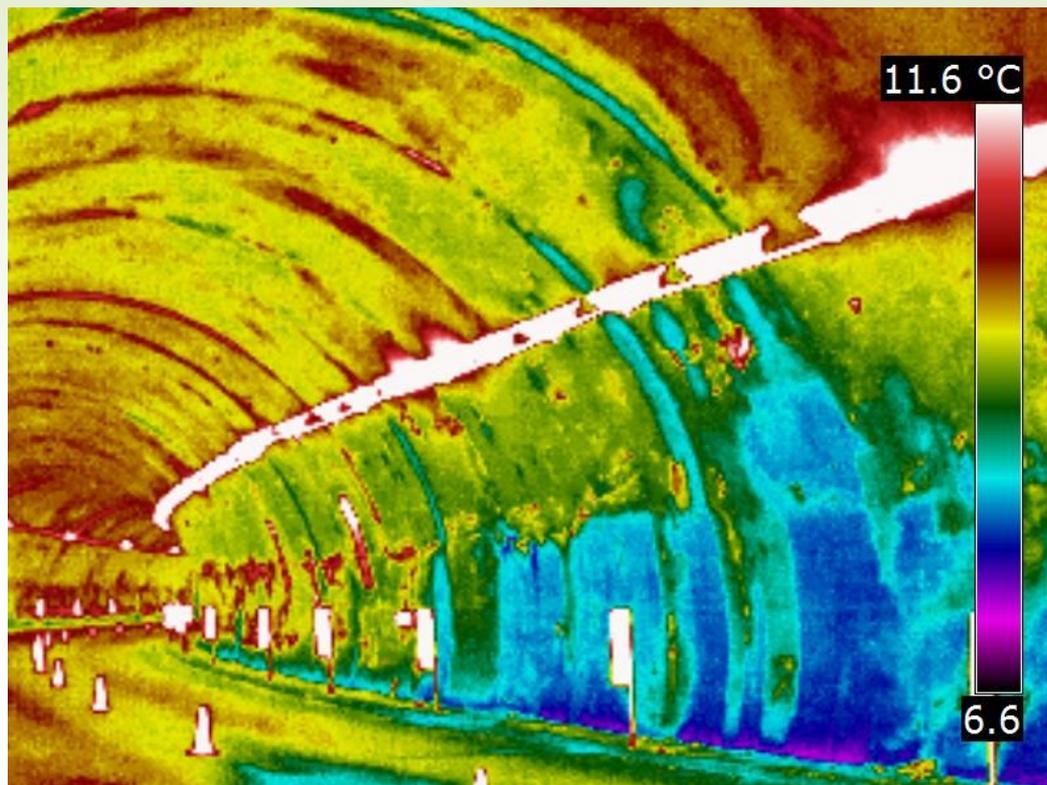
Es. controllo serbatoi



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

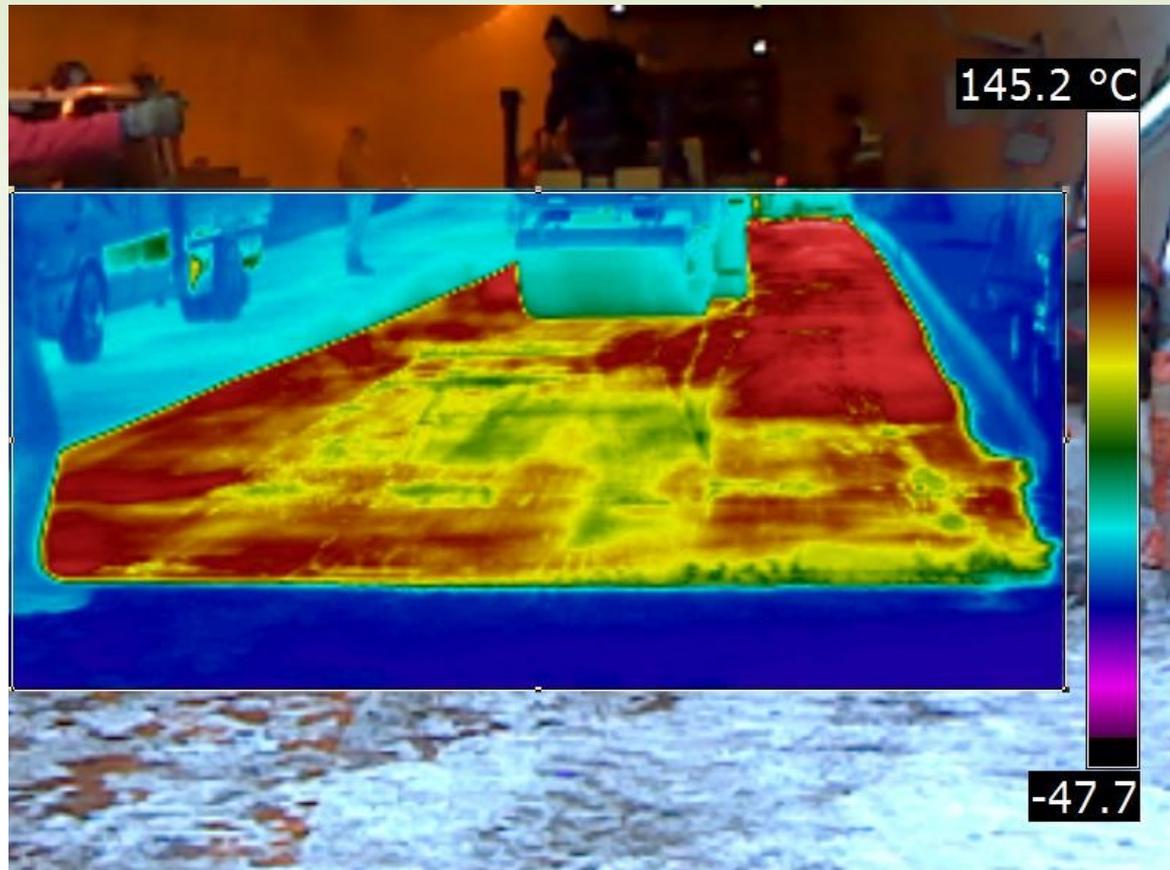
Es. analisi strutturale di una galleria - infiltrazioni e fessurazioni



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

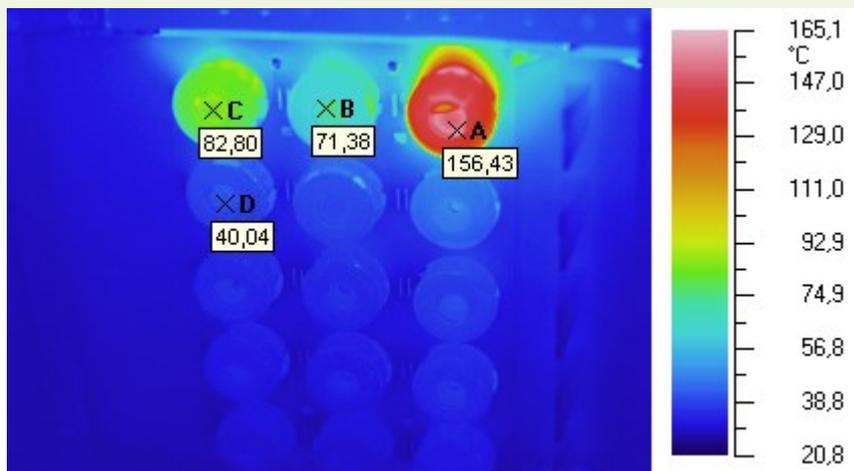
Es. controllo durante l'asfaltatura



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

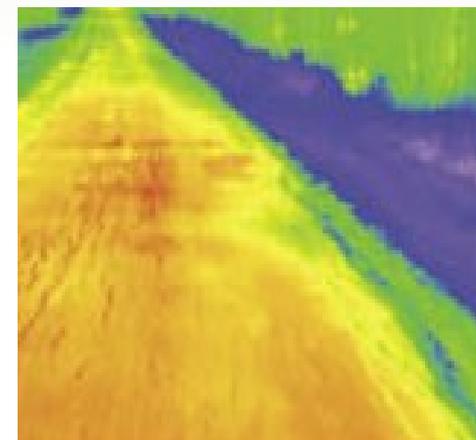
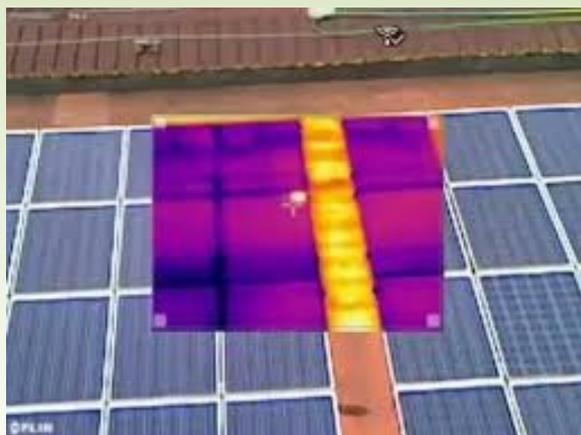
Es. controllo fusibili e impianti elettrici



PROVE IN SITU NON DISTRUTTIVE

TERMOGRAFIA IR

Termografia mobile per il monitoraggio di strade e impianti



GRAZIE PER L'ATTENZIONE!!

E ricordate che...

