



ORDINE DEI GEOLOGI DI BASILICATA

DIAGNOSI E MONITORAGGIO DEI DISSESTI DEGLI EDIFICI

Matera 03 ottobre 2009

Geol. Raffaele Sessa amministratore - direttore operativo



BRAINSTORMERS
LABORATORIO PER LA CONOSCENZA DELLE SCIENZE TECNICHE

Introduzione

Il monitoraggio strutturale ha assunto negli ultimi anni una sempre maggiore importanza per la diagnosi ed il controllo delle costruzioni.

Negli immobili la struttura rappresenta l'insieme delle componenti destinate a sostenere, ripartire e trasferire le sollecitazioni da un punto all'altro dello spazio. La struttura, quindi, rappresenta il mezzo attraverso cui migrano i carichi dal punto di applicazione al sistema fondale.

La presenza di un quadro fessurativo in una struttura (più o meno articolato) da origine, indubbiamente, ad una *possibile* diminuzione nel tempo dei margini di sicurezza globali o locali dovute a fenomeni fisiologici o patologici.

Quando il quadro fessurativo di un manufatto è in evoluzione occorre predisporre un monitoraggio al fine di delineare l'origine, l'entità e le leggi evolutive del fenomeno, allo scopo di definire il tipo di intervento e di controllarne gli esiti.

Fasi 1 del Monitoraggio

Prima di progettare e realizzare un monitoraggio di una struttura, per valutarne le condizioni attuali, è consigliabile eseguire:

1. Ricostruzione delle sue vicissitudini storiche;
2. Analisi della sua geometria intesa come identificazione dimensionale dei suoi elementi strutturali e non strutturali;
 - Si dovranno fornire indicazioni dettagliate anche:
 - delle lesioni passanti e non passanti degli strapiombi verticali;
 - degli avallamenti dei solai;
 - dei cedimenti delle fondazioni;
 - delle tracce di interventi realizzati dopo l'iniziale edificazione;
 - dell'aspetto degli ammorsamenti murari.
3. Analisi dei materiali conoscenza delle caratteristiche tipologiche e meccaniche

4. Analisi delle fessure esistenti sulla struttura.

Distinguendo le fessurazioni: delle murature con quelle dell'intonaco che le riveste; recenti da quelle datate;

5. Scelta dei punti da monitorare.

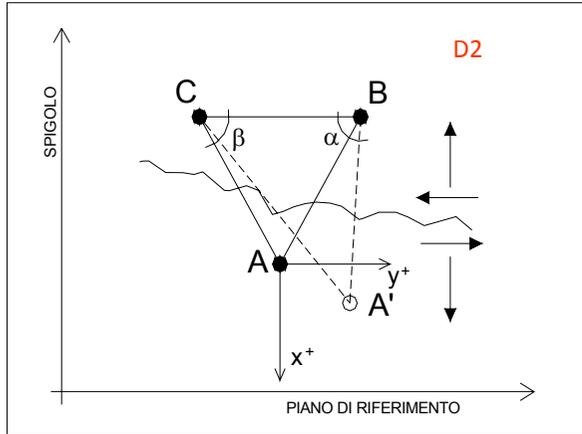
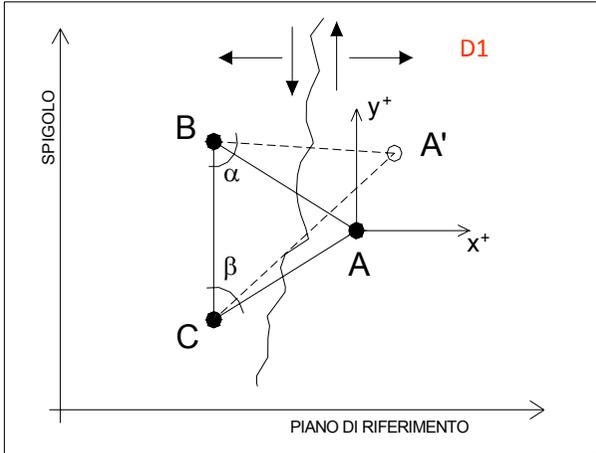
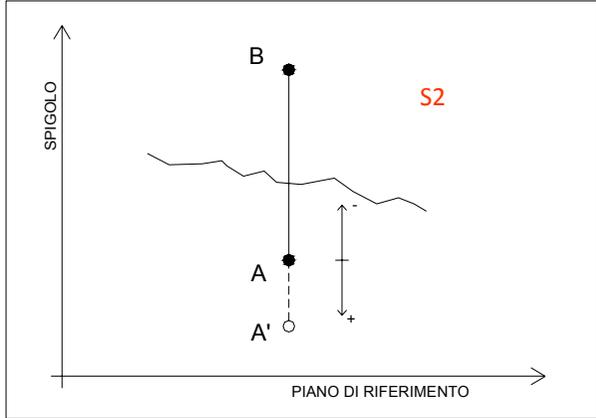
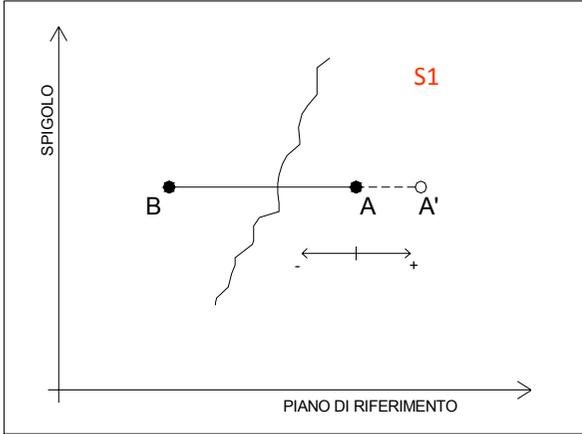
Le scelte sono strettamente connesse alla peculiarità della costruzione da sottoporre a monitoraggio e non possono prescindere dall'attenta analisi del suo sviluppo storico.

6. Tipi di punti di misura.

A seconda dei casi si potrà posizionare a cavallo della fessura da monitorare un punto di misura singolo (tipo S1 e S2) o un punto di misura doppio (tipo D1 e D2).



FASE 1 DEL MONITORAGGIO

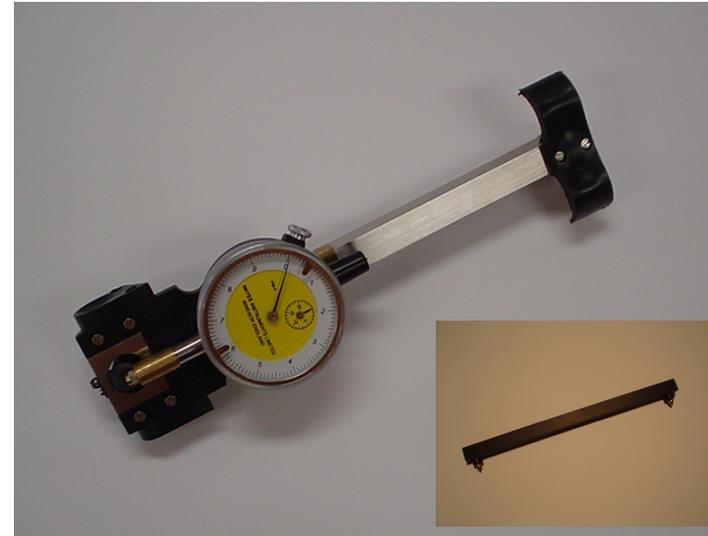


Fasi 2 del Monitoraggio

7. Scelta dello strumento da utilizzare

A) Strumentazione amovibile

- Deformometri meccanici
- Fessurimetri a piastra
- Fessurimetro elettronico centesimale

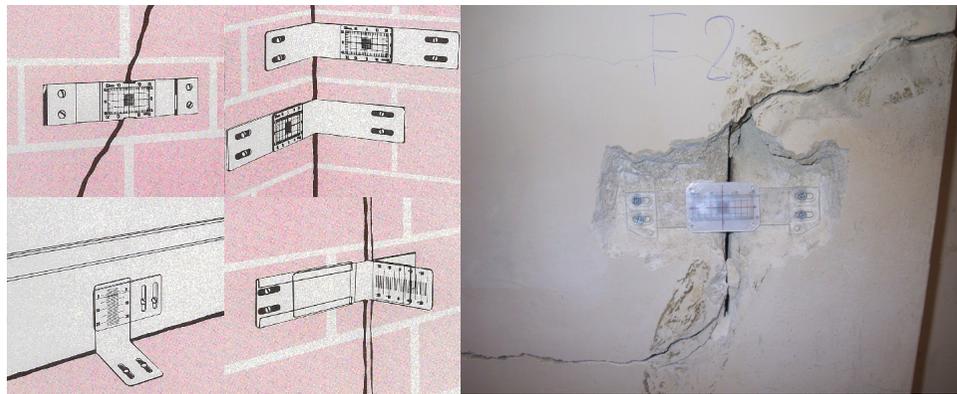


Vantaggi

Costi iniziali ridotti
Facilità di installazione

Svantaggi

Scansione temporale troppo lunga
Adatta per monitoraggi di bassa-media pericolosità
Risoluzione da 0,001 a 1 mm

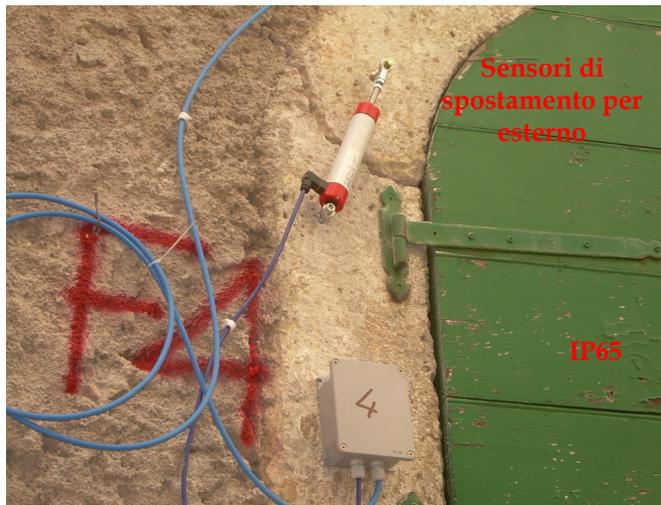


Fasi 2 del Monitoraggio

7. Scelta dello strumento da utilizzare

B) Strumentazione fissa

- Fessurimetri elettronici
- Centraline di acquisizione
- Cavi di collegamento



1° CIFRA protezione contro il contatto di corpi solidi esterni e contro l'accesso a parti pericolose

cifra	protezione del materiale	protezione delle persone
0	non protetto	
1	protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 50 mm.	protetto contro l'accesso con il dorso della mano
2	protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 12 mm	protetto contro l'accesso con un dito
3	protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 2.5 mm	protetto contro l'accesso con un attrezzo
4	protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 1 mm	protetto contro l'accesso con un filo
5	protetto contro la polvere	protetto contro l'accesso con un filo
6	totalmente protetto contro la polvere	protetto contro l'accesso con un filo

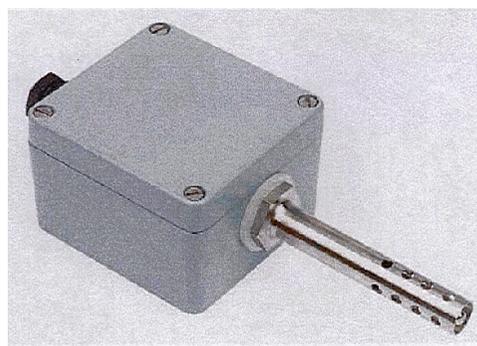
2° CIFRA protezione contro la penetrazione dei liquidi

cifra	protezione del materiale
0	non protetto
1	protetto contro la caduta verticale di gocce d'acqua
2	protetto contro la caduta di gocce d'acqua con inclinazione max di 15°
3	protetto contro la pioggia
4	protetto contro gli spruzzi d'acqua
5	protetto contro i getti d'acqua
6	protetto contro le ondate
7	protetto contro gli effetti dell'immersione
8	protetto contro gli effetti della sommersione





Campo di funzionamento elettrico	$\pm 10^\circ / \pm 20^\circ / \pm 30^\circ$ a fondo scala
Tensione di ingresso	Max. DC 8 V
Impedenza di ingresso	7 kW $\pm 30\%$
Sensibilità in uscita	$0.75 \pm 0.15\% V_{in}/1^\circ$ (angolo)
Linearità	$\pm 1\% FS (= \pm 0.2^\circ)$



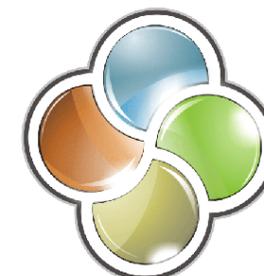
Campo di misura	$\pm 10^\circ C$
Sensibilità nom.	200mV/ $^\circ$
Risoluzione	0,005 $^\circ$
Linearità f.s.	0,1%
Protezione	IP65
Temperatura	-40 a +85 $^\circ C$

ALTRI TIPI DI SENSORI: Misure di Inclinazione, Temperatura e Deformazione



Gli estensimetri (o deformometri) a corda vibrante vengono adoperati per misurare principalmente le deformazioni di elementi strutturali.

Di norma, l'installazione di tali strumenti avviene con una comune saldatrice ad arco e per l'elevata precisione e delicatezza di tali apparecchiature è impossibile pensare di installarli nuovamente una volta che siano già stati usati.



La misura delle deformazioni si basa sul principio della corda vibrante: in ciascun estensimetro è montata una corda di acciaio tesa tra due estremità alloggiate nei fori di appositi blocchetti di montaggio saldati sulla superficie da monitorare.

Ogni deformazione della struttura comporterà uno spostamento relativo dei due blocchetti che a sua volta farà variare la tensione della corda d'acciaio.

Tale tensione viene misurata eccitando la corda e rilevandone la frequenza di risonanza della vibrazione mediante un'apposita bobina elettromagnetica applicata sul deformometro.

Le deformazioni, lo sforzo normale vengono calcolate attraverso le seguenti formule considerando la i-esima barretta estensimetrica:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

< T (s) ; > F (Hz) = Trazione

> T (s) ; < F (Hz) = Compressione

$$\mu\varepsilon_i = (f_i^2 - f_0^2) \times 10^{-3} \times GF$$

$$\varepsilon_i = \mu\varepsilon \times 10^{-6}$$

$$\sigma_i = E \times \varepsilon_i$$

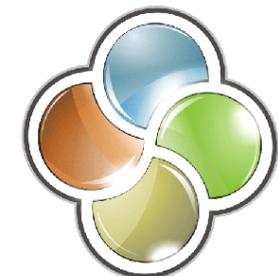
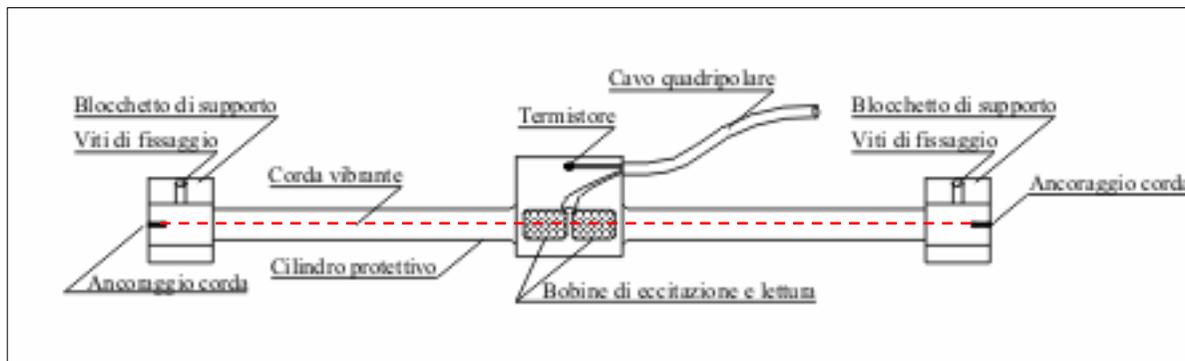
ε_i = deformazione in corrispondenza della barretta

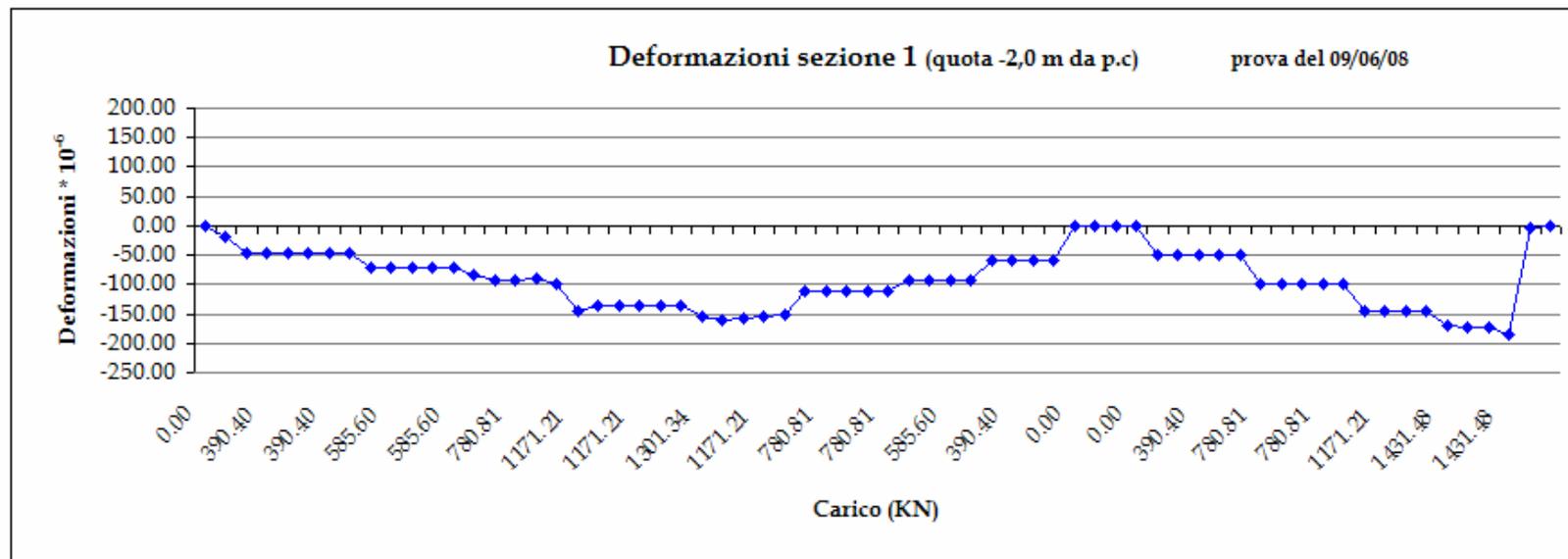
f_i^2 = lettura in Hz della barretta estensimetrica

f_0^2 = lettura di zero in Hz della barretta estensimetrica

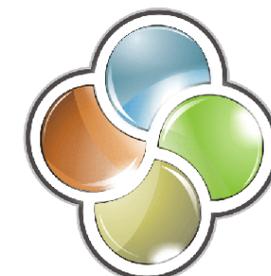
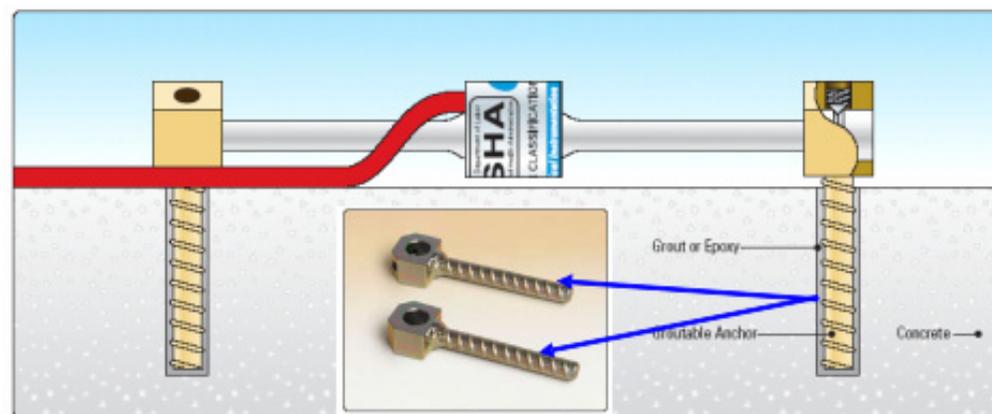
GF = Gauge Factor del certificato degli estensimetri

ALTRI TIPI DI SENSORI: Misure di Inclinazione, Temperatura e Deformazione





ALTRI TIPI DI SENSORI: Misure di Inclinazione, Temperatura e Deformazione



Fasi 2 del Monitoraggio

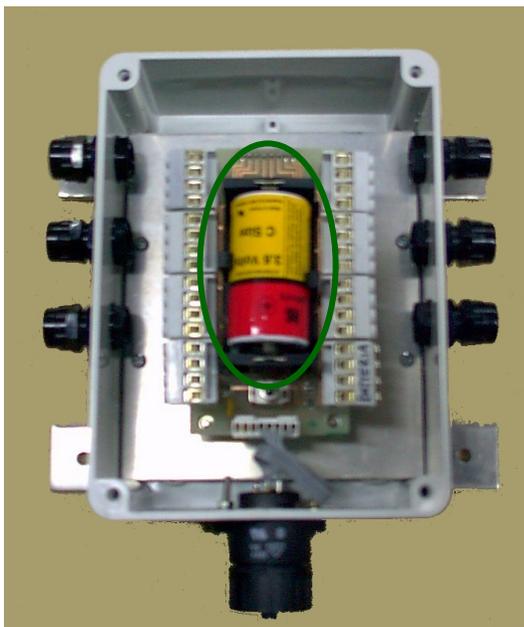
7. Scelta dello strumento da utilizzare

B) Strumentazione fissa

- Fessurimetri elettronici
- Centraline di acquisizione

Scarico dati attraverso cavo RS232

Alimentazione con batterie al litio o alcaline



Vantaggi

Scansioni temporali ravvicinate

Gestione dati anche a distanza con scarico dati da qualsiasi postazione

Possibilità di modificare strategia di acquisizione in qualsiasi momento

Indispensabile per monitoraggi di alta pericolosità

Svantaggi

Alimentazione

Costi medio-alti

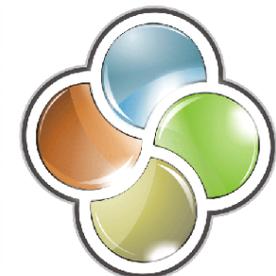
Lunghezza dei cavi (>20 m amplificazione)



FASE 2 DEL MONITORAGGIO

Scarico dati attraverso cavo RS232 o modem GPRS

Alimentazione con pannello fotovoltaico e batteria tampone



Fasi 3 del Monitoraggio

8. Analisi ed interpretazione dei dati

Concettualmente l'evoluzione del quadro fessurativo indica che la struttura è alla ricerca di nuove configurazioni di equilibrio e di stabilità.

Le informazioni contenute nel quadro fessurativo possono essere utilizzate con duplice finalità: garantire in piena sicurezza l'uso dell'immobile, capire se i movimenti in atto evolvono verso condizioni di equilibrio vicine e stabili.

Appare chiaro che gli aspetti più importanti per una corretta interpretazione dei risultati sono studiare:

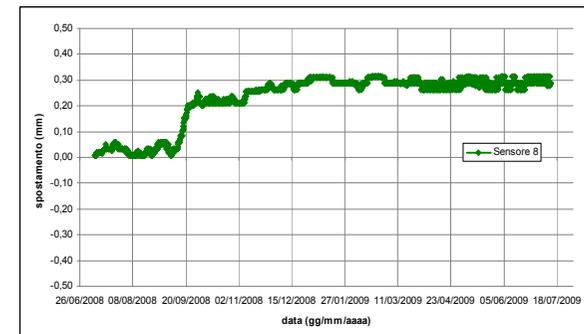
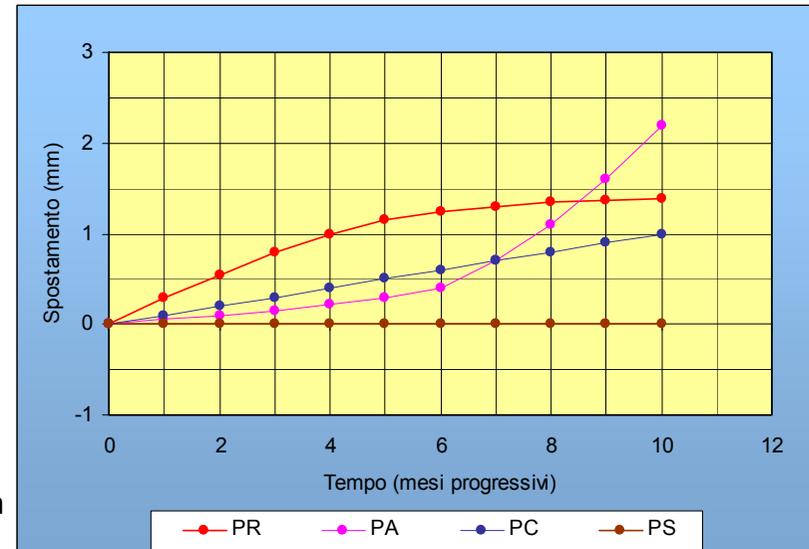
- l'andamento nel tempo delle lesioni
- lo studio del "trend" nel tempo delle lesioni,
- il confronto dei diagrammi ottenuti e una possibile progressione

(PR) Progressione ritardata: caratterizzata da manifestazioni sempre più attenuate nel tempo che tendono ad estinguersi. Basso livello di rischio.

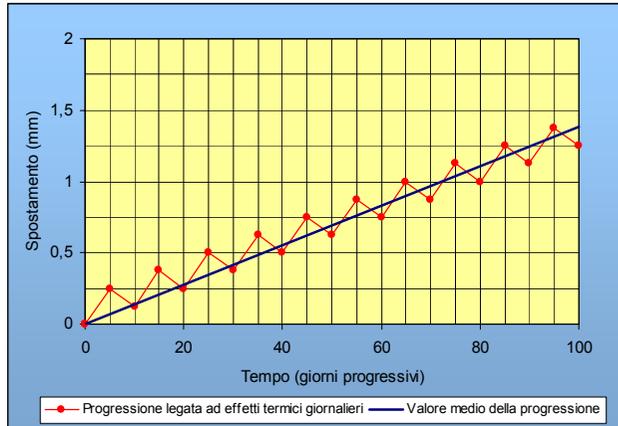
(PA) Progressione accelerata: caratterizzata dall'evoluzione repentina nel tempo dei quadri fessurativi che avviano la struttura da stati di equilibrio lontani dalla situazione attuale o addirittura verso condizioni di collasso parziale o globali del complesso. Alto livello di rischio.

(PC) Progressione costante: il fenomeno di crescita è caratterizzato da uno sviluppo costante che in un tempo non quantificabile evolverà in moti di progressione ritardata o accelerata. Medio livello di rischio.

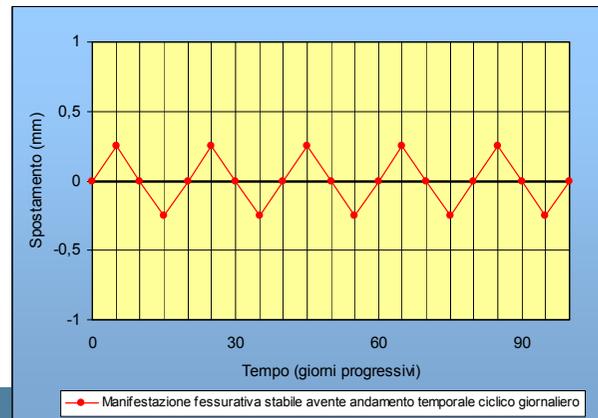
(PS) Progressione stabile: fenomeno non attivo.



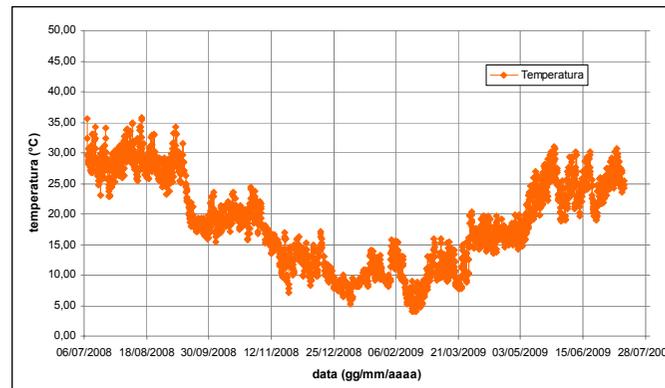
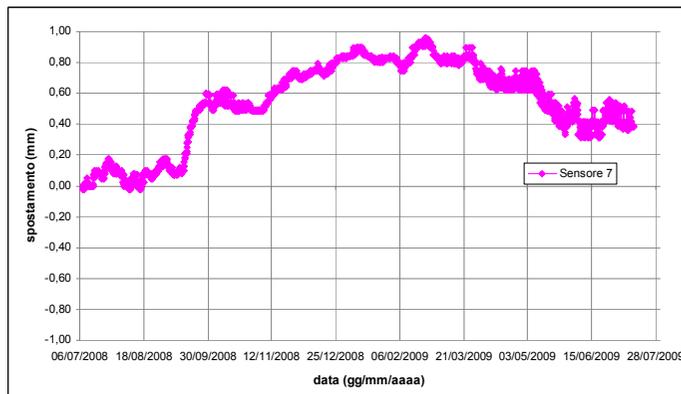
Tutte le progressioni (ritardata, accelerata, costante e stabile) possono essere legate da effetti termici giornalieri.



Una manifestazione fessurativa può ritenersi stabile se caratterizzata da ampiezze che seguono, rispetto ad un valore medio costante, un andamento temporale ciclico che risente del contenuto stagionale d'acqua nel terreno di sedime, del livello della falda e della temperatura.



FASE 3 DEL MONITORAGGIO: Il ruolo della temperatura



Monitoraggio dinamico (cenni)

Il problema dei disturbi legati alle vibrazioni prodotte da attività umane, è, oggi, sempre più sentito.

Noi porremo l'attenzione alle vibrazioni nei fabbricati, con danni ai manufatti.

La vibrazione è un'oscillazione, più o meno ampia, di un corpo. All'interno di un qualsiasi materiale, ad un'oscillazione consegue uno sforzo, la cui entità è correlata all'ampiezza della deformazione dalla legge costitutiva del materiale.

I materiali utilizzati nelle costruzioni hanno, in generale, resistenze a trazione molto basse, in special modo le malte, i laterizi od i materiali utilizzati per i rivestimenti.

Quando lo sforzo, che insorge all'interno del materiale, supera la soglia di resistenza (a trazione), si innesca la lesione e, quindi, si manifesta il danno.



Le vie di propagazione delle vibrazioni

Nel caso degli edifici, la principale via di vibrazione è il terreno, assumendo che il terreno si comporti come un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo. Sulla base di queste ipotesi le onde elastiche possono essere distinte in:

onda di compressione (onde PP), onda di taglio (onde SS) e onde di superficie (onde RRayleigh)

La maggior parte dell'energia viene trasmessa dall'onda R, anche perché questa si muove in un semispazio a contatto con l'aria, e subisce, quindi, effetti smorzanti inferiori. La riduzione dell'ampiezza di spostamento, ad una distanza r dalla sorgente, è proporzionale a:

$1/r$ per le onde P – S

$1/r^{0.5}$ per le onde R



Le grandezze caratteristiche delle vibrazioni

L'effetto, di una sollecitazione variabile nel tempo dipende da:

- a) ampiezza: (a parità di altri parametri) a maggior ampiezza consegue maggior danno.
- b) durata: (a parità di altri parametri) a maggior durata consegue maggior danno.
- c) frequenza: il rischio di danno è tanto più elevato quanto più la frequenza è prossima alla frequenza propria del corpo .. rischio di RISONANZA

Le strutture degli edifici (per altezze < 30 m) hanno periodi propri di vibrazione compresi, in generale, tra i seguenti valori: 0.1-1.0 sec. Raramente i livelli energetici delle vibrazioni prodotte da fonti esterne si collocano in questi intervalli di periodi (le frequenze sono più elevate). Il loro effetto, sugli edifici, è, quindi, modesto o trascurabile

Come si effettuano le misure

Le misure si effettuano, in genere con accelerometri/geofoni, misurazioni delle grandezze ritenute significative (in generale lo spostamento o la velocità) alle diverse frequenze.

Si confronta l'entità delle misure rilevate, nei vari campi di frequenza, con quelle ipotizzate ammissibili per la categoria di struttura cui appartiene l'edificio.

A titolo esemplificativo, si cita quanto prevede la DIN 4150 -3 in relazione a vibrazioni di breve durata e la UNI9916/2004 per fenomeni permanenti

Perché si possono avere danni

- 1) Anche se le fonti esterne hanno, in generale, frequenze lontane dagli intervalli di pericolosità tipici per gli edifici, inducono, pur sempre, sollecitazioni di tipo dinamico.
- 2) Le vibrazioni si propagano sotto forma di onde che comprimono e rarefanno, a fasi alterne, il mezzo che possono, pertanto, possono determinare un addensamento del terreno.

Ne conseguono cedimenti differenziati delle fondazioni, con redistribuzione degli sforzi all'interno dell'edificio.

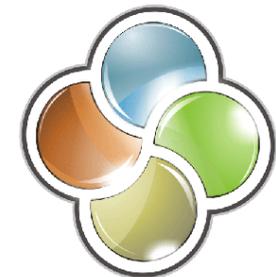
Per definire il livello di pericolosità di una vibrazione, nei riguardi di un fabbricato, occorre valutare:

- le caratteristiche meccaniche del terreno
- tipologia delle fondazioni
- tipologia e materiali che costituiscono l'edificio
- eventuali situazioni critiche dal punto di vista strutturale





MONITORAGGIO DINAMICO: La strumentazione



DIN 4150 - 3 (vibrazioni di breve durata)

Tabella 1: Valori indicativi relativi alla velocità di oscillazione v_i per valutare l'effetto di vibrazioni di breve durata sugli edifici.

Categoria	Tipi di strutture	Velocità di vibrazione in mm/s *			
		Misura alla fondazione			Misura al pavimento ultimo piano
		Campi di frequenza (Hz)			Frequenze diverse
		<10	10-50	50-100**	
1	Edifici utilizzati per scopi commerciali ed edifici industriali e simili	20	20-40	40-50	40
2	Edifici residenziali e simili	5	5-15	15-20	15
3	Strutture particolarmente sensibili alle vibrazioni, non rientranti nelle categorie precedenti e di grande valore intrinseco	3	3-8	8-10	8

* Si intende la massima delle tre componenti della velocità nel punto di misura.
 ** Per frequenze maggiori di 100 Hz possono applicarsi i valori riportati in questa colonna.

“.... se si rimane entro i valori indicativi della tabella 1 non si verificano, allo stato attuale della conoscenza, danni traducibili in una diminuzione del valore d'uso (cfr. par. 4.6) per cause riconducibili a vibrazioni...”



UNI 9916/04 (vibrazioni permanenti)

Vibrazioni permanenti

In presenza di vibrazioni continue che possano indurre fenomeni di fatica o amplificazioni dovute a risonanza nella struttura interessata, i valori di riferimento per le componenti orizzontali del moto sono indicati nel prospetto D.2 e sono indipendenti dal contenuto in frequenza del segnale.

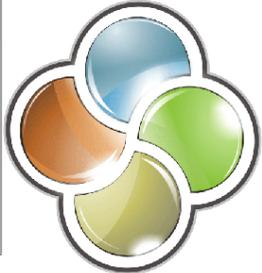
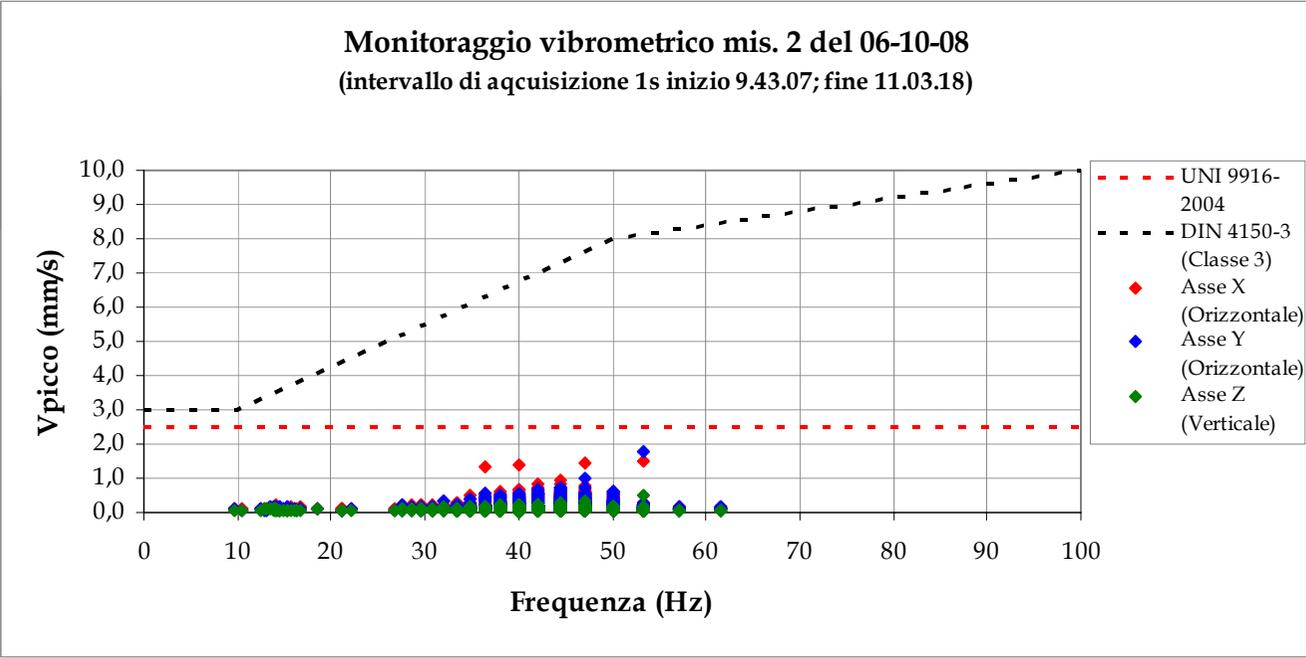
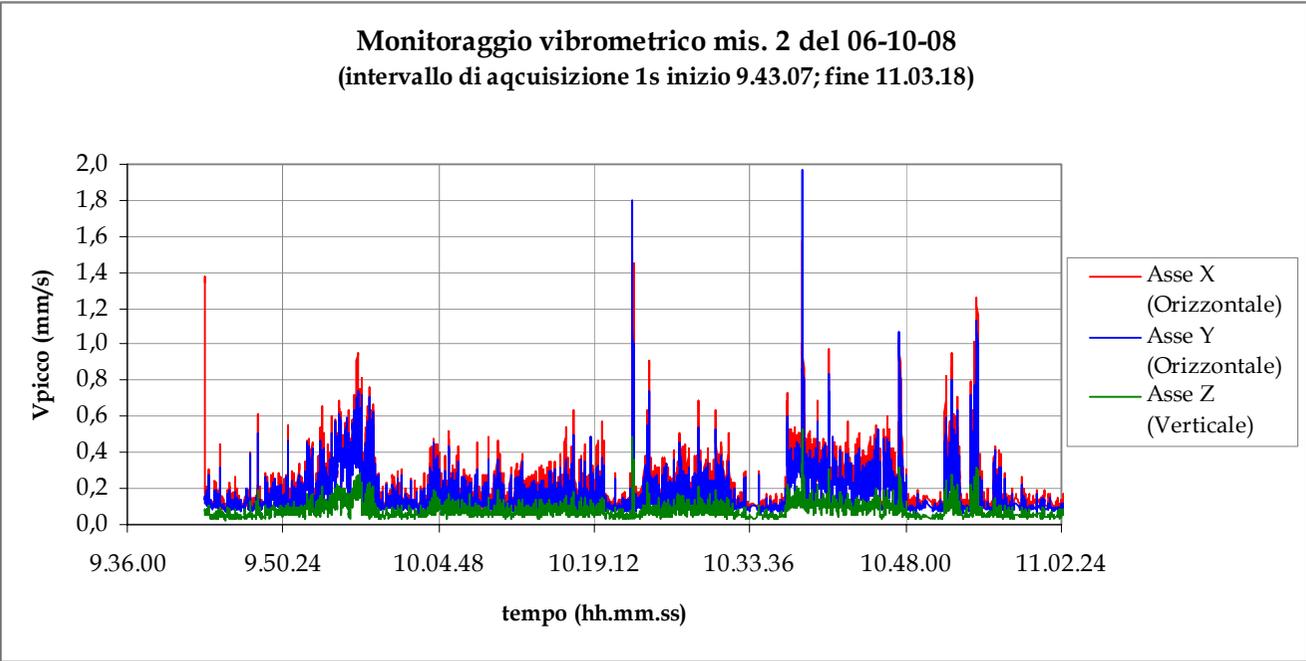
Valori di riferimento per le componenti orizzontali della velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni durature sulle costruzioni

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s (per tutte le frequenze)
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	10
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	2,5

Questi valori di riferimento sono utilizzabili per tutti i piani e per le fondazioni; in generale risulterà più significativa la misurazione al piano alto, ma non sono da escludere controlli ai piani intermedi o in fondazione qualora vi sia la possibilità di risonanza.



RISULTATI





ORDINE DEI GEOLOGI DI BASILICATA

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Brainstormers snc di Tolve & Sessa
sede operativa via M. L. King 25 - 85100 Potenza
sede legale Viale Marconi 371, 85100 Potenza
Tel. 097146008 - 097151800 - Fax 09711830120
(cell. 3471002743 geol. Sessa)
sessa@brainstormers.it
www.brainstormers.it
P.IVA C.F. 01574020762

