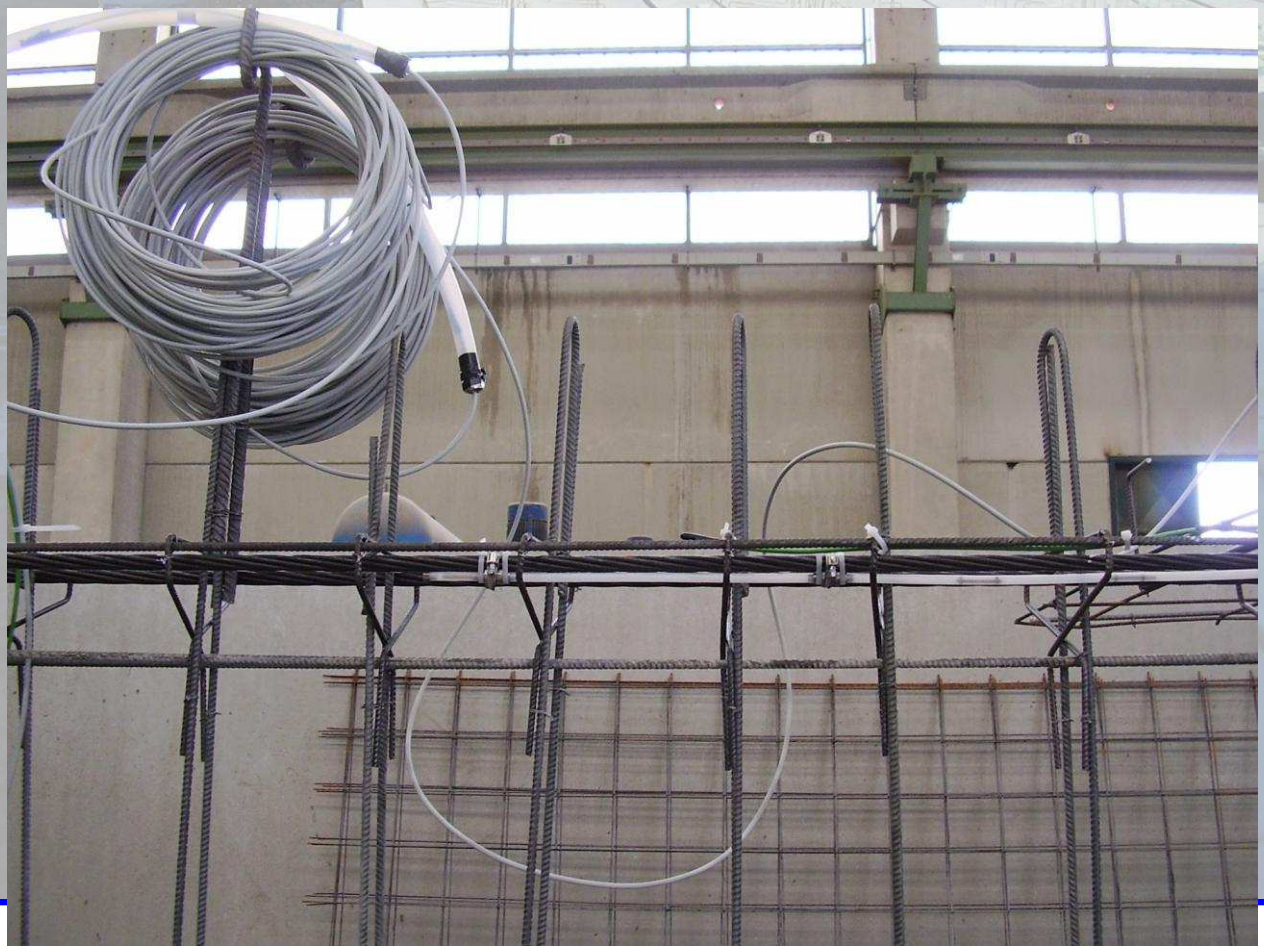
INGEGNERIA INTEGRATA

di Ing. Diego Dell'Erba

SISMlab

MONITORAGGIO TRAMITE SISTEMA A FIBRE OTTICHE SU PONTI O VIADOTTI IN C.A. O IN C.A.P. DI NUOVA REALIZZAZIONE



1.0 Il monitoraggio strutturale

In generale si intende, per valutazione della sicurezza (o verifiche di sicurezza) di un complesso strutturale o di una porzione di struttura il controllo di tre parametri fondamentali:

- *resistenza nei riguardi delle sollecitazioni: intesa come differenza (o rapporto) fra l'entità resistente e l'entità sollecitante, ovvero fra il sistema di forze in grado di provocare il collasso dell'opera e quelle applicate;*
- *condizioni di esercizio normale (funzionalità) nei riguardi delle deformazioni o vibrazioni eccessive;*
- *durabilità valutata come la possibilità della struttura di mantenere costanti nel tempo i due parametri precedenti.*

Lo scopo delle verifiche di sicurezza di un complesso strutturale o di una porzione di struttura è garantire che l'opera sia in grado di resistere con adeguata sicurezza alle azioni cui potrà essere sottoposta, rispettando le condizioni necessarie per il suo esercizio normale, e assicurando la sua conservazione nel tempo.

Tali verifiche si applicano alla struttura presa nel suo insieme ed a ciascuno dei suoi elementi costitutivi; esse devono essere soddisfatte sia durante il suo esercizio normale sia nelle diverse fasi di costruzione.

Il controllo e monitoraggio strutturale si può quindi inserire nel tema più ampio della manutenzione e adeguamento delle strutture, che ha avuto particolare impulso grazie alle ultime normative (art. 40 DPR 554/99 per le Opere Pubbliche e Ordinanza 3274/2003 per le Strutture in Zona Sismica, e successive modifiche ed integrazioni).

L'utilizzo del sistema di monitoraggio strutturale offre l'opportunità di valutare con continuità ed in tempo reale le prestazioni strutturali e la loro evoluzione nel tempo, garantendone un confronto costante con le previsioni progettuali.

Il processo di monitoraggio si compone essenzialmente di alcune fasi tipiche:

- *misurazione di stati deformativi o di campi di spostamento;*
- *trasmissione dei dati rilevati alle unità di lettura ed elaborazione;*
- *interpretazione dei dati numerici in termini di definizione dello stato di efficienza statica della struttura;*

Questa sequenza, se intesa in prospettiva come azione ciclica nei confronti del processo di decadimento nel tempo dei livelli qualitativi degli elementi strutturali, apre la strada verso 1'innovazione del tradizionale "fare manutenzione" da una prassi per lo più c ollocata a valle dei processi di degrado come controllo sulla struttura, ad un intervento diagnostico che

tende sempre più a caratterizzarsi come momento preventivo nella gestione della qualità della struttura nel tempo.

I benefici del monitoraggio strutturale durante la costruzione, in sede di collaudo ed a lungo termine sono evidenti.

Un monitoraggio, continuo o di collaudo di una struttura può incrementare la conoscenza del suo comportamento reale (riducendo le incertezze sui materiali, sulle azioni e di conseguenza aiutando la progettazione di strutture future più economiche e sicure), determinare parametri utili alla progettazione (costi, dimensionamento), aiutare a garantire la sicurezza (ad esempio scoprendo eventuali riserve di resistenza), ottimizzare gli interventi di manutenzione (segnalando l'eventuale presenza di deficienze strutturali) e di eventuale ripristino sulla base di dati oggettivi, permettendo così di stabilire e pianificare i costi effettivi dell'opera nell'arco della sua vita.

Il monitoraggio consente di evidenziare con certezza la presenza di eventuali danni alla struttura (indagine globale che indica la presenza della caduta prestazionale). Altre indagini di carattere non invasivo consentiranno, se necessario, di approfondire le cause che hanno indotto una caduta prestazionale.

Queste operazioni consentono di garantire la sicurezza della struttura nel senso della sua resistenza, funzionalità, durabilità e quindi di salvaguardare il capitale investito per la sua realizzazione.

2.0 I sistemi di monitoraggio a fibra ottica

Una tecnica innovativa per il monitoraggio delle opere strutturali ed infrastrutturali si basa sull'utilizzo dei sensori a fibra ottica. Noto come Optical Fibre Strain Monitoring System (Sistema di monitoraggio della deformazione con sensori a fibre ottiche) o semplicemente Smart Fibre System (Sistema di fibre intelligenti), il dispositivo è costituito da un insieme ordinato di sensori a fibre ottiche annegabili in strutture di calcestruzzo (ponti, edifici, ecc), materiali compositi (come gli alberi degli yacht) o superfici di rivestimento di strutture in acciaio o calcestruzzo; esso consente per la prima volta di rilevare dall'interno il carico di deformazione con un procedimento assimilabile a quello del sistema nervoso umano.

L'Optical Fibre Strain Sensor System raccoglie ed elabora i dati dando informazioni immediate sulla sicurezza e sulle condizioni della struttura esaminata, ovvero consente un monitoraggio a lungo termine della sua efficienza e sicurezza.

Il corretto impiego di tali tecniche, che nel linguaggio degli specialisti vanno sotto il nome di damage detection e health monitoring ("individuazione del danneggiamento" e

"monitoraggio dello stato di salute"), può portare benefici notevoli alle comunità in termini sia di prevenzione dei rischi connessi a lesioni o crolli delle strutture sia di efficacia, efficienza ed economicità della manutenzione di opere di grande mole come le opere infrastrutturali.

I Sensori a fibra ottica sono rilevatori che, sfruttando i principi di ottica ondulatoria, adottano per le misurazioni non più le proprietà della corrente elettrica bensì quelle della luce. Tale metodologia, che gli esperti definiscono "monitoraggio ottico", è stata concepita per annullare gli svantaggi esibiti dalle attrezzature basate su principi di elettromagnetismo. Le nuove strumentazioni a fibra ottica possiedono difatti enormi vantaggi, tra i quali:

- immunità da campi elettromagnetici (che possono alterare le misurazioni);

- elevata precisione;

- sensori non invasivi e non distruttivi;

- affidabilità nel lungo periodo;

- possibilità di controllare contemporaneamente un elevato numero di punti di misura;

- possibilità di annegare i sensori nel calcestruzzo ed in altri materiali;

- facilità nell'installazione;

- piccolo formato e leggerezza;

- resistenza alla corrosione;

3.0 Finalità e Obiettivi del monitoraggio strutturale tramite sensori a fibra ottica applicato alle opere infrastrutturali

La realizzazione di un sistema di monitoraggio continuo a fibra ottica per le strutture di un ponte o di in viadotto consente di perseguire una serie di importanti obiettivi, quali:

- ✓ *Controllare la corretta esecuzione delle diverse parti strutturali (pile, spalle, impalcato), e valutare il reale impegno dei materiali nelle diverse fasi realizzative, permettendo un controllo sistematico della rispondenza dell'opera al progetto, che risulta di grande supporto sia all'attività del direttore dei lavori che del collaudatore.*
- ✓ *Verificare i livelli di maturazione dei calcestruzzi armati ed in particolare valutare l'effetto del ritiro sia in termini di deformazioni sia in termini di tensioni indotte, offrendo la possibilità di assumere in merito informazioni specificatamente relative alle strutture oggetto di indagine. Tale informazione ha una precisa traduzione in termini di degrado e dunque di sicurezza strutturale, quando si consideri che la fessurazione del calcestruzzo può determinare lo scoprimento delle armature.*
- ✓ *La presenza di un sistema di sensori "interni" alla struttura, semplifica notevolmente le operazioni di collaudo, permettendo la valutazione "diretta" dell'impegno statico*

delle diverse parti strutturali, senza l'esecuzione delle tipiche operazioni relative al posizionamento dei comparatori e dei sistemi di misura.

- ✓ *Le letture strumentali effettuate nelle fasi costruttive e durante le operazioni di collaudo, consentono inoltre di avere un riferimento costante per la valutazione dello stato di degrado dei materiali o di eventuali dissesti presenti nell'opera. Pertanto, attraverso letture periodiche dei valori strumentali, è possibile valutare lo stato di consistenza dell'opera e pianificare in maniera oggettiva gli eventuali interventi di manutenzione ordinaria o straordinaria.*
- ✓ *Tutte le informazioni acquisite attraverso il sistema permanente di monitoraggio, costituiscono parte integrante del fascicolo e/o piano di manutenzione dell'opera, ed evidenziano non solo eventuali variazioni nel tempo del comportamento strutturale, ma sono un riferimento fondamentale qualora si voglia verificare la condizione dell'opera a valle di eventi straordinari (eventi sismici, frane, alluvioni).*

Una progettazione mirata del sistema di monitoraggio dell'opera permette di scegliere con criterio il numero e la posizione dei sensori. Oltre ai sensori destinati a registrare le "deformazioni" strutturali, è opportuno disporre anche sensori di temperatura che consentono di valutare gli effetti legati alle variazioni termiche, permettendo così di "depurare" da tali contributi le letture strumentali.

Per tutti gli elementi in c.a. i sensori dovranno essere collocati sulle barre di armatura prima della fase di getto (in stabilimento per le travi, in cantiere per la pila). Ciò permetterà di avere informazioni sin dalla fase di maturazione del calcestruzzo; in particolare per le travi sarà possibile valutare anche effetti legati a deformazioni differite e conseguenti perdite di precompressione.

Per le travi in acciaio il montaggio avverrà in opera a mezzo di specifici supporti di fissaggio.

I sensori di ogni singolo elemento risulteranno collegati ad un box intermedio, e questi a loro volta al box di lettura. Collegando la centralina di acquisizione a tale box sarà possibile scaricare i dati sperimentali dei singoli sensori.

4.0 Esempio di monitoraggio su un viadotto

A titolo di esempio si riporta il sistema di monitoraggio a fibre ottiche installato su un viadotto realizzato a Bari, nel quartiere S. Rita, il quale costituisce una delle opere previste nell'ambito degli interventi straordinari varati dall'Amministrazione Comunale a valle degli interventi alluvionali dell'Ottobre del 2003.

L'opera si compone di 5 campate, di luce pari a 22.30 m ciascuna, per una lunghezza complessiva di 112 m circa.

L'impalcato, largo complessivamente 16.40 m (di cui 9.00 m di piano viabile), è realizzato a mezzo di 9 travi in c.a.p. con sezione a "I", solidarizzate da una soletta gettata in opera e da tre trasversi (due di testata ed uno di campata) di spessore pari a 30 cm.

Le travi sono previste prefabbricate in stabilimento e precompresse con armature pre-tese costituite da trefoli stabilizzati ad andamento rettilineo; lo schema statico di ogni singola campata è previsto in semplice appoggio.

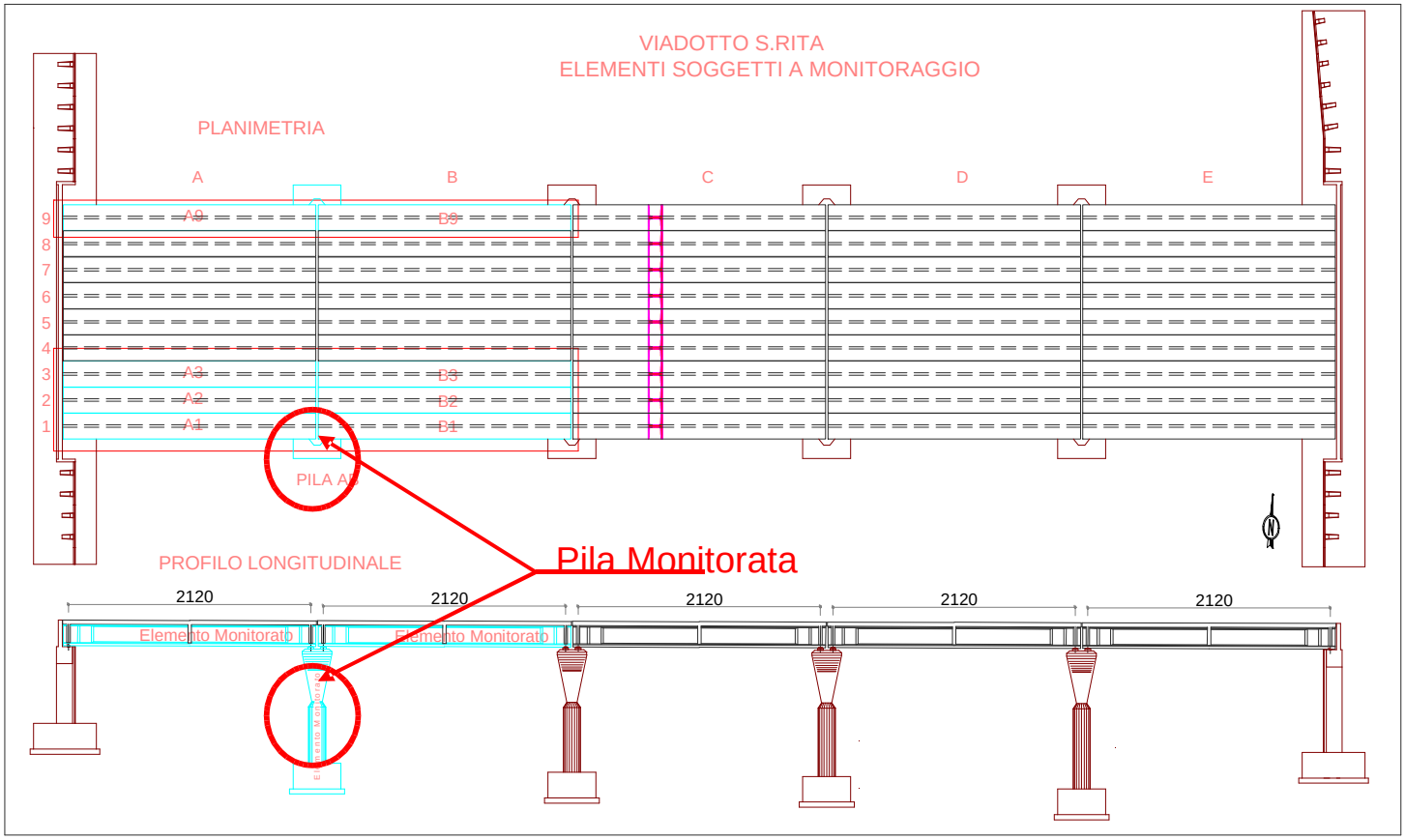
Il basamento delle pile è a sezione rettangolare con rostri arrotondati, di lunghezza complessiva pari a 14.51 m e spessore di 1.60 m; la parte sommitale, invece, ha forma svasata con sezione massima in sommità pari a 2.70 m e sezione minima all'attacco con il basamento pila di 1.00 m.

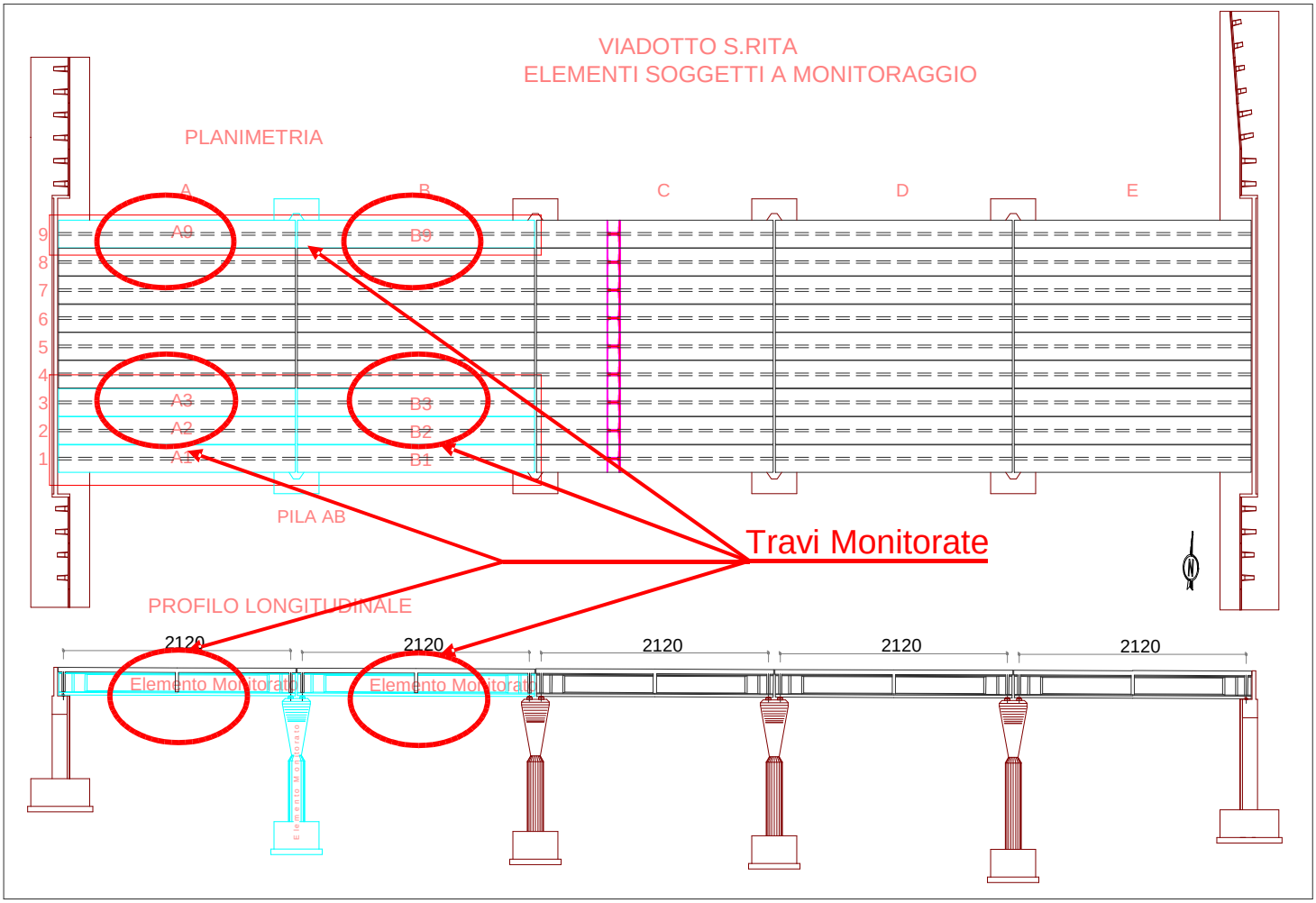
Dal punto di vista struttur ale l'impalcato è costituito da travi prefabbricate che sono uguali per geometria, per condizioni di vincolo e per carichi di progetto. Pertanto al fine di contenere i costi del sistema di monitoraggio si è pensato di "monitorare" solo due delle cinque campate previste per un totale di otto travi, rispettivamente quattro nella campata A e quattro nella campata B.

Ogni trave monitorata risulta strumentata con sei sensori di deformazione, e al fine di valutare effetti dovuti a variazioni di temperatura, su a lcune travi "significative" sono stati previsti anche sensori termici.

Nella pila comune alle due campate strumentate sono stati installati quattro sensori di deformazione, e quattro sensori termici.

Di seguito è riportato il sistema adottato nel progetto di monitoraggio.


VIADOTTO S.RITA
ELEMENTI SOGGETTI A MONITORAGGIO
PLANIMETRIA
A
B
C
D
E
A9
B9
A3
B3
A2
B2
A1
B1
PILA AB
PROFILO LONGITUDINALE
Pila Monitorata
2120
2120
2120
2120
2120
Elemento Monitorato
Elemento Monitorato


VIADOTTO S.RITA
ELEMENTI SOGGETTI A MONITORAGGIO
PLANIMETRIA
A
B
C
D
E
A9
B9
A3
B3
A2
B2
A1
B1
PILA AB
Travi Monitorate
PROFILO LONGITUDINALE
2120
2120
2120
2120
2120
Elemento Monitorato
Elemento Monitorato