



**PROVINCIA DI COSENZA**  
Settore Viabilità

pag. 1

# RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA

**OGGETTO:** Monitoraggi Ponti su Strade provinciali attraverso indagini tecnico -  
diagnostiche - 1° stralcio

**COMMITTENTE:** Provincia di Cosenza

Cosenza, 14/12/2020

**IL TECNICO**  
Ing. Michele Arcuri

## **RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA**

### **Caratteristiche del sistema di monitoraggio per ogni singolo ponte o viadotto.**

In questo documento vengono considerate tutte le componenti di un sistema di monitoraggio ossia dell'insieme dei componenti hardware e software necessari per effettuare un'attività di monitoraggio.

Il monitoraggio viene definito come "l'osservazione, a scopo di controllo, di una grandezza variabile (o di più grandezze), eseguita mediante appositi strumenti".

Nel caso più frequente di ponti e viadotti composti da impalcati a travata, con campate appoggiate, la configurazione finale (con sensori collegati in modo cablato) prevede in questo intervento:

- 1) Pulizia del ponte e della zona circostante per rendere possibile il rilievo laser scanner della struttura.
- 2) Rilievo laser scanner della struttura con generazione di file leggibili dai sistemi BIM, CAD e FEM.
- 3) Nel caso di indisponibilità della rete elettrica posizionamento di un impianto fotovoltaico per alimentazione in modalità continua delle apparecchiature posizionate sulla campata/pila, regolatore di carica e batterie di accumulazione che consentano fino a 12 h di alimentazione del sistema di monitoraggio.
- 4) Un armadio in vetroresina tale da garantire l'isolamento delle apparecchiature interne e la protezione dagli urti e dagli agenti atmosferici, staffato ad una delle pile di estremità del ponte o in altro sito dedicato.
- 5) Modem con SIM dati per il monitoraggio statico e dinamico
- 6) Un gateway ethernet.
- 7) Uno switch per la lettura dei dati da locale e la trasmissione via modem alla centrale di controllo.
- 8) Un PC industriale per la centrale di controllo da remoto ed uno portatile per la lettura locale dei dati.
- 9) Software.
- 10) Un sistema di acquisizione dati per il monitoraggio statico e dinamico.
- 11) Due moduli multisensore per misura di temperatura (uno al centro di ognuna delle due travi esterne dell'impalcato).

- 12) Tre estensimetri uno sulla trave centrale e due sulle travi esterne costituenti la campata e posti all'intradosso in posizione longitudinalmente centrale.
- 13) Quattro fessurimetri elettrici posizionati ai quattro spigoli della campata centrale del ponte/viadotto per la misura degli spostamenti dei giunti ivi posizionati ed all'intradosso delle travi esterne.
- 14) Un accelerometro mems triassiale alla testa della pila centrale ed un accelerometro mems triassiale a piano campagna posizionato alla base della stessa pila.
- 15) Un inclinometro biassiale per la pila centrale.
- 16) Nove accelerometri mems triassiali per campata, limitatamente ad una campata ogni tre, da posizionare tutti al centro delle anime delle travi, di cui tre sulla trave esterna destra, tre sulla trave esterna sinistra e tre sulla trave centrale (in caso di travi in numero pari, i tre centrali saranno posizionati all'intradosso dell'impalcato fra le due travi simmetriche di centro). Ogni gruppo da tre sarà posizionato ad  $1/6$ ,  $1/2$ , e  $5/6$  della luce della singola campata misurati a partire da uno dei due estremi della singola trave.
- 17) Cavi per i bus di trasmissione e cavi di alimentazione elettrica posizionati in apposite canaline o tubazioni di protezione.

Si precisa che qualsiasi riferimento a marche e/o modelli sul mercato relativi ad apparecchiature è da ritenersi puramente indicativo; saranno ovviamente accettate apparecchiature con caratteristiche simili o superiori a quelle di seguito riportate.

Per il monitoraggio del ponte si può separare il controllo statico da quello dinamico: nel primo caso si dovrà acquisire i dati in modo continuo per controllare nel tempo eventuali movimenti, deformazioni, rotazioni ecc. mentre nel secondo i dati dovranno essere acquisiti solamente se supereranno le soglie prefissate.

### **Monitoraggio Statico**

In sintesi avremo:

Strumentazione campata:

- Fessurimetro elettrico
- Estensimetro
- Moduli per misura di temperatura

Strumentazione pila:

- Inclinometro biassiale

Sistemi di acquisizione dati:

Si utilizzeranno due unità di acquisizione dati separate e completamente autonome, evitando in questo modo un controllo centralizzato. Al loro interno saranno montate delle unità a 4 canali, che grazie alla loro autonomia possono continuare a funzionare anche in caso di rottura di uno strumento oppure di anomalia di una delle schede. Le centraline sono a bassissimo consumo per poter funzionare anche per lungo tempo nei periodi dove non sarà possibile alimentarle con i pannelli solari.

Queste unità hanno 2 tempi di lettura con i seguenti processi di funzionamento:

- **Scan:** Alimenta i sensori – lettura dei canali – memorizzazione (back up nella memoria interna) – controllo delle soglie di allarme – impulso all'allarme locale – invio SMS di allarme e invio dati via FTP.
- **Scan Rate:** Alimenta i sensori – lettura dei canali — controllo delle soglie di allarme – impulso all'allarme locale – in caso di allarme, invio SMS di allarme e invio dati via FTP.

Lo Scan Rate si differenzia in particolare per non memorizzare i dati e non inviarli al server per non avere un blocco di dati inutili.

Gli allarmi impostabili possono essere di tre tipi:

- Limit Alarm – l'allarme scatta quando uno strumento supera le soglie prefissate di minimo e massimo. Es. Dato un sensore di spostamento da 50.00 mm, con una lettura di 20.00 mm potremmo inserire la soglia massima a 40.00 mm e la soglia minima a 15.00 mm. In questo modo il sensore potrà oscillare tra 15.00 e 40.00 mm senza che scatti l'allarme, se invece la lettura supererà i 40 mm o scenderà sotto i 15 mm allora l'allarme scatterà.
- Gain Alarm – In questo caso è previsto un allarme ed un preallarme. Data la lettura memorizzata come valore di zero, lo strumento potrà oscillare intorno a questo valore in assoluto a seconda del range impostato. Es. Dato un sensore di spostamento da 50.00 mm con una lettura di 20.00 mm, potremmo impostare il range di preallarme a  $\pm 4$  mm e il range di allarme a  $\pm 5$  mm dalla lettura di zero. Il preallarme scatterà quando lo strumento si sposterà di più di 4mm in valore assoluto (tra 16.00 e 24 mm) dalla lettura di zero e l'allarme scatterà quando lo

strumento si sposterà di più di 5 mm in valore assoluto (tra 15.00 e 25 mm) dalla lettura di zero.

- Allarme velocità – In molti casi è necessario un allarme che controlli il movimento nel tempo. Anche se gli strumenti non hanno ancora raggiunto la soglia d'allarme impostata, è importante ricevere una segnalazione quando si verifica un'accelerazione del movimento. Per questo motivo l'allarme velocità scatta quando uno strumento supera una soglia in unità di tempo prestabilita. Es. Dato un misuratore di giunti con una soglia d'allarme di 1 mm in 1 ora, se lo strumento si sposterà più di un 1 mm nell'arco di tempo di 1 ora, l'allarme scatterà.

### **Monitoraggio dinamico**

In sintesi avremo:

Strumentazione campata:

- Accelerometro MEMS triassiale

Strumentazione pila:

- Accelerometro MEMS triassiale

Sistemi di acquisizione dati:

Le unità di acquisizione dati prevista saranno a 16 canali analogici, 4 ingressi digitali e 4 uscite digitali. La centralina avrà la possibilità di impostare anche dei canali virtuali, utili per effettuare dei calcoli tra più canali insieme, dando la possibilità di configurare un allarme, non solo sul dato di un unico canale, ma anche relativo a situazioni più complesse.

La centralina invierà i dati al server ma potrà agire anche in modo autonomo in sito.

### **Strumentazione per monitoraggio statico**

#### **I Fessurimetri elettrici**

misureranno un eventuale movimento tra la trave e la pila, in modo da controllare eventuali slittamenti. In quanto strumenti di movimento, i misuratori di giunti saranno realizzati in acciaio inox per garantire allo strumento non solo robustezza ma anche il suo funzionamento in condizioni ambientali difficili e la sicurezza di non bloccarsi per ruggine.

Ogni sensore deve essere fornito con un certificato di collaudo che attesta i risultati della prova eseguita e le caratteristiche elettromeccaniche della stessa.

Caratteristiche tecniche generali di riferimento:

Il misuratore di giunti di tipo potenziometrico da 50 mm FS includerà una staffa di montaggio e regolazione ed una di regolazione fine e presenterà le seguenti caratteristiche:

|                              |   |
|------------------------------|---|
| Alimentazione                | 1-12 V  |
| Uscita                       | 1000 mV/1V  |
| Consumo                      | <4mA  |
| Linearità                    | <0.1%FS   |
| Temperatura di funzionamento | -30° ÷ 100°C  |
| Risoluzione                  | 0.001mm   |
| Contenitore                  | Robusto in poliestere rinforzato con fibra di vetro |
| Staffa e Tasselli            | In acciaio inox                                     |
| Grado di protezione          | IP67  |

#### Le **barrette estensimetriche / estensimetro**

saranno installate sulla trave e ne misureranno le deformazioni. Le barrette misurano la differenza dello stato tensionale da quando vengono montate. La barretta estensimetrica misura le sollecitazioni cui vengono sottoposti pali, centine e diaframmi, in fase di installazione o di normale esercizio. Essa possiede caratteristiche geometriche e meccaniche tali da garantire una perfetta funzionalità in qualsiasi ambiente. La barretta estensimetrica è sensibilizzata con un ponte estensimetrico a strain gauges. La barretta è a tenuta stagna, può essere applicata esternamente a strutture sollecitate oppure annegate in getti di calcestruzzo per le misure delle sollecitazioni.

Caratteristiche tecniche generali di riferimento:

La barretta dovrà essere di tipo strain-gauge con ponte di Wheatstone completo. Saranno costruite in acciaio inox come anche la coppia di staffe per il montaggio a muro.

Le barrette avranno le seguenti caratteristiche generali:

|                              |                 |
|------------------------------|-----------------|
| Alimentazione                | 1-10V           |
| Uscita                       | ±2mV/V          |
| Campo di misura              | ±3500µε         |
| Linearità                    | <0.5%FS         |
| Ponte                        | 350Ω            |
| Isolamento                   | > 5000 MΩ       |
| Temperatura di funzionamento | -20° ÷ 70°C     |
| Staffa e Tasselli            | In acciaio inox |
| Grado di protezione          | IP68            |

## **Misuratori di temperatura**

La temperatura, grandezza fra le più utilizzate in numerosi campi di applicazione, assume un ruolo di fondamentale importanza come elemento meteorologico che si presta a combinazioni correlate con altre componenti atmosferiche, nonché come elemento di compensazione per la misura di componenti strutturali. Il misuratore è uno strumento adatto al controllo della temperatura nell'aria, sia all'interno che all'esterno. Il misuratore di temperatura è composto da un contenitore in acciaio inox che ne consente l'utilizzo in tutti gli ambienti.

Ogni sensore dovrà essere corredato da un certificato di collaudo, che ne attesta i risultati della prova eseguita e le caratteristiche elettromeccaniche della stessa.

Caratteristiche tecniche generali di riferimento:

Il misuratore di temperatura sarà costruito con un involucro in acciaio inox e avrà le seguenti caratteristiche:

|                              |                                   |
|------------------------------|-----------------------------------|
| Alimentazione                | 5-30V                             |
| Uscita                       | $\mu\text{A/K}^\circ$             |
| Campo di misura              | $-25 \div 105^\circ\text{C}$      |
| Precisione                   | $<0.1^\circ$                      |
| Consumo                      | $<1\text{mA}$                     |
| Temperatura di funzionamento | $-20^\circ \div 70^\circ\text{C}$ |
| Staffa e Tasselli            | In acciaio inox                   |
| Grado di protezione          | IP65                              |

## **L' inclinometro biassiale**

sarà installato sulla pile e dovrà misurarne un'eventuale rotazione.

L'inclinometro di tipo elettrolitico oltre a non essere influenzato dalle vibrazioni dei mezzi che passano, è poco sensibile alle variazioni termiche ( $0.0008^\circ/\text{C}$ ). La struttura stessa è infatti influenzata dalla temperatura e per questo motivo è molto importante che il sensore installato non venga influenzato a sua volta, riuscendo in questo modo a misurare la rotazione correttamente.

Questo strumento rileva le rotazioni angolari delle strutture ed è fornito di serie con apposite staffe per il montaggio a muro.

Caratteristiche tecniche generali di riferimento:

|                              |                                   |
|------------------------------|-----------------------------------|
| Alimentazione                | 8-24V                             |
| Uscita                       | $\pm 2\text{V}$                   |
| Consumo                      | $<5\text{mA}$                     |
| Linearità                    | $<0.3\%\text{FS}$                 |
| Temperatura di funzionamento | $-20^\circ \div 70^\circ\text{C}$ |

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Variazione in temperatura | 0.0008°/°C  |
| Contenitore               | Robusto in poliestere rinforzato con fibra di vetro |
| Staffa e Tasselli         | In acciaio inox                                     |
| Grado di protezione       | IP65  |

### **Unità di acquisizione dati**

L'unità di acquisizione sarà composta da schede autonome a 4 canali, collegate tutte ad un unico modem. Ogni scheda avrà un microprocessore indipendente in grado di: alimentare gli strumenti, salvare i dati, controllare le soglie di allarme, inviare messaggi di allarme via sms e i dati via FTP. Nel caso di un corto circuito su uno strumento, la scheda si spegnerà automaticamente per proteggere sé stessa e gli altri strumenti.

Le schede di acquisizione dati avranno le seguenti caratteristiche generali:

|                        |   |
|------------------------|---|
| Alimentazione          | 2 ingressi per una doppia alimentazione di 8-24V ciascuna |
| Ingressi programmabili | ±10mv ±20mv; ±100mV; ±200mV; ±1V ±2V; 0-20mA; 4-20mA      |
| Alimentazione sensori  | 12V; ±15V; 5V; 2V   |
| Convertitore           | 16 bit  |
| Memoria                | 8000 record data/ora e i 4 canali                         |
| Precisione             | 0.05%FS   |
| Canali in ingresso     | 4 programmabili indipendentemente                         |
| Consumo                | 0.0002mA in standby; Lettura canali 44mA+ consumo canali  |
| Uscite allarme locale  | 1 impulso per allarme ed 1 impulso per preallarme         |
| Morsetti d'ingresso    | Estraibili  |

Funzioni programmabili via software:

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| 3 Allarmi per ogni canale         | Limit Alarm, Gain Alarm con preallarme e Allarme Velocità (sia il valore che il tempo)   |
| 2 Intervalli di lettura           | Scan e Scan Rate, entrambi da 10sec a 24ore  |
| Intervallo di lettura progressivo | 3 fasi con una frequenza di lettura nell'arco di un tempo predefinito  |
| Inizio acquisizione               | 2 modalità: immediato oppure programmato con data/ora future   |
| Uscite allarme SMS                | Messaggio SMS indipendente per ogni canale con possibilità di programmare quanti messaggi consecutivi inviare per ogni allarme.<br>I messaggi di allarme includeranno anche le letture.              |
| Warm Up                           | Da 0 a 60 sec e serve per programmare il tempo di alimentazione allo strumento prima che la lettura venga registrata. In quanto, differenti strumenti necessitano di tempi diversi per stabilizzarsi |
| Real Time data                    | 3 funzioni di lettura in tempo reale:<br>1. controllo di un canale per volta con valori analogici e scalati (unita fisiche).   |



2. lettura in tempo reale dei canali selezionati e i dati sono mostrati in una tabella che si può successivamente salvare.
3. lettura in tempo reale dei canali selezionati, con i dati che sono mostrati in una tabella e in un grafico che si possono successivamente salvare

Invio dati

Via FTP

Le varie schede saranno collegate ad un modem GSM/GPRS 3G.

### **Strumentazione per monitoraggio dinamico**

Gli **accelerometri** saranno di tipo MEMS perché adatti ai monitoraggi strutturali, sono a basso rumore (con una banda nominale di 0-200Hz) e hanno il segnale in uscita amplificato. L'elemento sensibile MEMS in silicio capacitivo offre alta risoluzione e stabilità a lungo termine per applicazioni di misura critiche. Inoltre, viene fornito all'interno di un resistente alloggiamento stampato che ne permette l'installazione in difficili condizioni ambientali.

Caratteristiche tecniche generali di riferimento:

L'accelerometro montato sarà di tipo MEMS con fondo scala  $\pm 2g$  e avrà le seguenti caratteristiche:

|                              |                                |
|------------------------------|--------------------------------|
| Alimentazione:               | 5-30V                          |
| Uscita:                      | $\pm 2V$                       |
| Consumo:                     | 4mA                            |
| Linearità                    | 1%FS                           |
| Temperatura di funzionamento | $-40^{\circ} \div 85^{\circ}C$ |
| Banda:                       | 0-200Hz                        |
| Grado di protezione:         | IP65                           |

### **Unità di acquisizione dati**

Caratteristiche tecniche:

|                    |   |
|--------------------|---|
| Alimentazione      | 12-24V / 15Wmax   |
| Ingressi           | 16 canali Analogici programmabili<br>4 ingressi digitali  |
| Uscite             | 4 uscite digitali   |
| Convertitore       | 24bit   |
| Memoria            | 14G 1 miliardo di letture   |
| Acquisizione       | Campionamento continuo FIFO e/o su evento trigger con memorizzazione di valori pre e post trigger<br>Diverse Funzioni configurabili per semplice Monitoraggio |
| Funzioni           | Funzioni di calcolo base, polinomiali, trigonometriche ecc.   |
| Campionamento      | 1000Hz  |
| Canali in ingresso | 4 programmabili indipendentemente<br>su RS 232 / 485: Modbus RTU, SCPI, ASCII<br>su Ethernet TCP/IP: Modbus TCP, OPC UA                                       |
| Protocolli         | PROFIBUS DPV1 Slave / passive sniffer, CAN CAN RAW  |
| Interfacce         | SDI 12 per bus sensori meteo<br>N. 3 porte COM con connettori Sub.D 9-poli per:<br>- 2 x PROFIBUS DPV1, slave max. 12 Mbit                                    |

|                     |  |
|---------------------|--|
|                     | - 2 x CAN 2.0B, ISO 11898-1, ISO 11898-2<br>- RS-485 Modbus RTU, SCPI, ASCII<br>N.1 porta LAN 1000 Base-TX<br>Porta USB 2.0 low / full / high speed / Host 2.0 low speed WLAN opzionale, UMTS, LTE, 4G opzionale |
| Display             | Locale che permette la visualizzazione dei parametri base come indirizzo IP e network mask, e la visualizzazione dei valori/canali selezionati   |
| Morsetti d'ingresso | Estraibili   |

### **Modem GSM/GPRS**

Il modem GSM/GPRS è stato specificamente progettato per trasmissioni dati derivanti dai datalogger ed è protetto da un robusto involucro industriale in alluminio. Dotato di due connettori, uno per l'alimentazione ed uno per l'ingresso seriale RS232, è munito inoltre di uno slot per l'inserimento della scheda telefonica. Il modem viene fornito con: cavi di alimentazione, antenna ed un connettore seriale. Il modem è collegabile a tutti i sistemi di acquisizione dati ed è in grado di:

- Trasmettere dati ad un sito via FTP.
- Inviare messaggi via SMS.
- Collegare la centralina in remoto ad un altro modem.

### **Controllo remoto delle strutture monitorate – Centrali di Controllo Remoto (CCR)**

I sistemi di monitoraggio installati sui ponti dovranno trasferire i dati a n° 2 server remoti; uno presso l'Amministrazione Provinciale di Cosenza e l'altro presso l'Università della Calabria. La strumentazione installata dovrà essere interrogabile da remoto tramite interfaccia accessibile da comuni browser (Google Chrome, Mozilla Firefox, Internet Explorer e deve fornire le seguenti funzionalità minime:

- Configurazione dell'anagrafica dell'impianto
- Inserimento, modifica ed eliminazione dei sensori
- Lettura dei parametri dei sensori e dell'impianto
- Configurazione del supervisore e delle abilitazioni per le notifiche di stato e di allarme
- Aggiornamento del firmware
- Download, salvataggio e gestione dei dati

- L'accesso dell'operatore deve essere protetto da username e password.
- Configurazione delle autorizzazioni di accesso al sistema con la possibilità di modificare la password di accesso dell'operatore.

Ogni Centrale di Controllo Remoto sarà formata da una postazioni di lavoro dotata di un computer con dotazione minima del tipo Desktop PC Compatto da Gaming, Intel Core i9-9900K Raffreddata a Liquido, RTX 2080 Ti, SDD M.2 da 480 GB, HDD da 2 TB, DDR4 da 32 GB e due schermi da 20 pollici ad alta risoluzione ognuno.

Oltre alla fornitura di uno schermo da 47" ed una stampante laser collegata in rete e in locale nella postazione indicata dalla DD.LL..

### **Opere civili**

Nel seguito sono descritte le modalità esecutive delle opere civili necessarie per l'esecuzione dei lavori.

#### **Modulo fotovoltaico**

Modulo fotovoltaico in silicio policristallino costituito da vetro temperato antiriflesso di spessore minimo 3 mm con basso contenuto di ferro per ottimizzare la raccolta della luce, da una cornice in alluminio anodizzato che conferisce solidità e robustezza costante, resistendo a carichi sollecitazioni climatiche come neve e ghiaccio. Il modulo dovrà essere fornito di tutti gli accessori ed ogni altro onere, previsto e prevedibile, per dare il lavoro finito a perfetta regola d'arte. Si devono prevedere:

- Sostegno zincato per impianto solare
- Regolatore di controllo per pannelli solari
- Batterie di accumulo.

#### **Cassette di derivazione in acciaio inox**

Dovranno essere costruite in acciaio inox AISI 304, avere grado di protezione IP65, elevata resistenza al calore. I coperchi delle cassette devono essere fissati con viti antiperdenti. I cavi e le giunzioni poste all'interno delle cassette non devono occupare più del 50 % del volume interno.

#### **Cavi di collegamento**

I cavi devono garantire un eccellente collegamento tra strumento ed unità di lettura. Per garantire una buona trasmissione dei segnali elettrici, in particolar modo anche di quelli deboli, i cavi sono del tipo schermati in modo da eliminare tutti i disturbi elettrici. Per garantire una corretta resistenza dei cavi sottoposti a sforzi di allungamento, i cavi devono essere dotati di un'anima in kevlar o anche di una treccia in kevlar. Per garantire la loro impermeabilità devono essere dotati di una guaina speciale, in alcuni cavi anche di guaina antisgraffio ed in altri ancora la guaina è a protezione marina.

### **Canali portacavi**

I sistemi portacavi metallici devono essere realizzati in acciaio inox AISI 304, che è un acciaio legato con percentuali di cromo, nichel, manganese e altri elementi in minore quantità. Contrariamente all'opinione generale anche questo acciaio si ossida, ma la sua durata, se idoneamente utilizzato, è generalmente molto superiore a qualsiasi altro tipo di rivestimento protettivo. Il suo comportamento specifico si deve al fatto che, in presenza di ambiente ossidante, il cromo ed il nichel autogenerano una pellicola di ossido di cromo che impedisce la successiva ossidazione. L'acciaio inox perde facilmente la proprietà di inossidabilità se nella lavorazione sono impiegati utensili composti da altro tipo di acciaio o per esempio quando viene saldato. E' in definitiva raccomandato per l'installazione nell'ambiente oggetto dell'intervento.

### **Documentazione per messa in servizio e collaudo**

Si richiede All'Appaltatore di rilasciare la seguente documentazione:

- Progetto As-Built dell'impianto di monitoraggio realizzato (planimetrie e schemi elettrici);
- Manuali dei dispositivi installati, licenze, sorgenti delle configurazioni;
- Certificazione CE dei componenti HW installati e schede tecniche dei materiali installati;
- Certificati di calibrazione dei componenti installati rilasciati da laboratori autorizzati secondo le norme vigenti;
- Certificazione di conformità secondo il DM 37/2008.