

S.S 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE"
TRATTO SPOLETO - ACQUASPARTA
1° stralcio: Madonna di Baiano-Firenzuola

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **PG143**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Federico Durastanti
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° Terni n°A844

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini
 Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

Il Responsabile di Progetto

Arch. Pianificatore Marco Colazza

Il Responsabile del Procedimento

Dott. Ing.
 Alessandro Micheli

PROTOCOLLO

DATA

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



Dott.Ing. N.Granieri
 Dott.Arch. N.Kamenicky
 Dott.Ing. V.Truffini
 Dott.Arch. A.Bracchini
 Dott.Ing. F.Durastanti
 Dott.Ing. E.Bartolucci
 Dott.Geol. G.Cerquiglini
 Geom. S.Scopetta
 Dott.Ing. L.Sbrenna
 Dott.Ing. E.Sellari
 Dott.Ing. L.Dinelli
 Dott.Ing. L.Nani
 Dott.Ing. F.Pambianco
 Dott. Agr. F.Berti Nulli

Dott. Ing. D.Carlaccini
 Dott. Ing. S.Sacconi
 Dott. Ing. C.Consorti
 Dott. Ing. E.Loffredo
 Dott. Ing. C.Chierichini

Dott. Ing. V.Rotisciani
 Dott. Ing. F.Macchioni
 Geom. C.Vischini
 Dott. Ing. V.Piunno
 Dott. Ing. G.Pulli
 Geom. C.Sugaroni



03.STUDIO GEOLOGICO GEOTECNICO
03.06 MONITORAGGIO GEOTECNICO E STRUTTURALE

Relazione sul monitoraggio dei viadotti

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	ANNO	T00GE02OSTRE02B		
DTPG143	E	23	CODICE ELAB. T00GE02OSTRE02	B	-
B	Rev. A seguito istr. ANAS		Set 2023	P.Manni	D.Carlaccini N.Granieri
A	Emissione		Ago 2023	P.Manni	D.Carlaccini N.Granieri
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	PIANO DI MONITORAGGIO VIADOTTI	4
2.1	STRUMENTAZIONE	4
2.2	FREQUENZE DI LETTURA.....	5
2.3	SINTESI MONITORAGGIO.....	5
2.4	VALUTAZIONE DEL NUMERO DI LETTURE PER I VIADOTTI	5
3	VIADOTTO MARROGGIA.....	6
3.1	SISTEMA DI MONITORAGGIO STRUTTURALE.....	6
3.1.1	Frequenza delle letture	7
3.1.2	MONITORAGGIO SPALLE	7
3.1.3	MONITORAGGIO IMPALCATO	8
3.1.4	MONITORAGGIO PILE	9
3.2	CARATTERISTICHE SENSORI DA INSTALLARE	11
3.2.1	TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO	11
3.2.2	SENSORI DI TEMPERATURA.....	11
3.2.3	PANNELLO SOLARE PER ALIMENTAZIONE	11
3.2.4	STAZIONE METEO	12
3.2.5	ESTENSIMETRI	12
3.3	SINTESI SENSORI DA INSTALLARE	15
4	VIADOTTO MOLINO VECCHIO	16
4.1	SISTEMA DI MONITORAGGIO STRUTTURALE.....	16
4.1.1	Frequenza delle letture	17
4.1.2	MONITORAGGIO SPALLE	17
4.1.3	MONITORAGGIO IMPALCATO	18

Relazione piano di monitoraggio strutturale

4.1.4	MONITORAGGIO PILE	19
4.2	CARATTERISTICHE SENSORI DA INSTALLARE	21
4.2.1	TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO	21
4.2.2	SENSORI DI TEMPERATURA	21
4.2.3	PANNELLO SOLARE PER ALIMENTAZIONE	21
4.2.4	STAZIONE METEO	22
4.2.5	ESTENSIMETRI	22
4.3	SINTESI SENSORI DA INSTALLARE	25

1 PREMESSA

Il presente documento ha per oggetto la descrizione e la definizione del sistema di monitoraggio necessario a caratterizzare lo stato tensionale e le deformazioni dei viadotti Marroggia e Molino Vecchio ubicati lungo il tratto Eggi-Acquasparta tra le progressive km 1+243.27 e 3+668.50.

Lungo il tracciato sono presenti i seguenti viadotti:

Tabella 1-1: Viadotti

<i>Viadotto</i> [-]	<i>Lunghezza</i> [m]	<i>N. pile</i> [m]	<i>Fondazioni pile</i> [-]	<i>Fondazioni spalle</i> [-]
Marroggia	933.500	20	pali Ø 1200	pali Ø 1200
Molino Vecchio	766.50	16	pali Ø 1200	pali Ø 1200

Le fondazioni sono di tipo profondo su pali (Ø 1200).

2 PIANO DI MONITORAGGIO VIADOTTI

- N.1 mira ottica su ogni pila e 2 sulle spalle installate sul fusto, una in prossimità del pulvino e una alla base;
- N. 2 barrette estensimetriche per i pali di fondazione (n. 2 pali monitorati per ogni fondazione);
- N. 1 trasduttore di spostamento ogni pila e spalla.
- N.1 sensore di temperatura ogni impalcato

2.1 STRUMENTAZIONE

Le **mire ottiche (MO)** sono disponibili in vari modelli, dal semplice target tape adesivo fino alla mira bifacciale dotata di adattatore per chiodo di convergenza filettato.

Le **barrette estensimetriche** vengono utilizzate per misurare gli stati tensionali esistenti in strutture portanti o per monitorare le tensioni esistenti nelle centine, durante le fasi di scavo delle gallerie.

Le barrette estensimetriche a corda vibrante consistono in un tubetto in acciaio inox all'interno del quale una sottile corda, fissata alle due estremità, è fatta vibrare da una bobina di eccitazione. Un termistore interno, inoltre, provvede a rilevare la temperatura. La barretta può lavorare indifferentemente sia a trazione che a compressione, inoltre è a tenuta stagna e può essere applicata esternamente a strutture metalliche sollecitate oppure annegata in getti di calcestruzzo per le misure delle sollecitazioni. La lettura dei dati può avvenire mediante l'utilizzo della centralina portatile o tramite un sistema automatico di acquisizione dati, progettato per realizzare il monitoraggio in continuo.

2.2 FREQUENZE DI LETTURA

Per i ponti e i viadotti è prevista una sola lettura iniziale, ovvero la lettura di zero effettuata al momento dell'installazione (dopo il tempo minimo per il fissaggio dei target).

A seguito della lettura zero sono previste letture della strumentazione con cadenza prestabilita nelle seguenti fasi:

- Dal termine della singola opera fino alla conclusione dei lavori dell'intera infrastruttura;

Le frequenze di lettura in queste fasi vengono riportate nella tabella successiva in funzione della tipologia di strumentazione e del tempo trascorso dal fine lavori della singola opera.

Tabella 2-1 Frequenza delle letture su ponti e viadotti.

Tipologia di strumentazione	Corso d'opera
Mire ottiche	1/30gg
Barrette estensimetriche-	1/30gg

2.3 SINTESI MONITORAGGIO

Complessivamente si prevede l'installazione della seguente strumentazione per il monitoraggio dei viadotti:

Tabella 2-2: Strumentazione prevista per il monitoraggio dei viadotti

Opera	Mire Ottiche (MO)	Trasduttore (CLIN)	Barrette estensimetriche (BARR)
Viadotto Marroggia	22	22	294
Viadotto Molino Vecchio	18	20	292
Totale	40	42	586

Per i viadotti, si prevede inoltre di installare 1 unità di acquisizione automatica UAD per ogni Viadotto, per l'acquisizione e registrazione in continuo dei dati registrati dalle barrette estensimetriche.

2.4 VALUTAZIONE DEL NUMERO DI LETTURE PER I VIADOTTI

Il numero delle letture stimate per la strumentazione installata sui viadotti è riportato nella seguente tabella:

Tabella 2-3: Numero delle letture

Opera	N° strumenti	Letture in corso d'opera	Letture post operam
Mire ottiche	22		6
Barrette estensimetriche	302	12	6

3 VIADOTTO MARROGGIA

Si tratta di un viadotto che si sviluppa con uno schema statico di campata continua su 22 appoggi di luci variabili tra 33.70 e 48.50. L'impalcato è a struttura mista acc.-cls costituito da 2 travate metalliche con soletta gettata in opera. Le larghezze trasversali variano da un minimo di 11,25 ad un massimo di 11.85m. Le fondazioni sono tipicamente del tipo indirette per le spalle.

3.1 SISTEMA DI MONITORAGGIO STRUTTURALE

Il sistema di monitoraggio prevede una serie di sensori installati sull'impalcato, su pile e sulle sottostrutture. I sensori sono di diversi tipi e variano in funzione della grandezza e dell'elemento strutturale da monitorare.

Nello specifico vengono impiegati:

- Stazione meteo (SM) per valutazione delle caratteristiche di temperatura, umidità e vento;
- Sensore temperatura superficiale (ΔS) per la determinazione delle temperature superficiali degli elementi strutturali;
- Trasduttori di spostamento relativo per la valutazione di spostamenti degli elementi strutturali dovuti ad azioni di esercizio e azioni sismiche;
- Estensimetro per la valutazione deformazioni degli elementi strutturali dovuti ad azioni di esercizio e azioni sismiche;

Completano l'architettura del sistema di monitoraggio le seguenti apparecchiature:

- Pannello solare di alimentazione apparecchiature;
- Cablaggio rete.

I sensori sono disposti in numero e tipologia tale da garantire una dettagliata "visione" del comportamento strutturale delle opere.

Il posizionamento dei sensori segue i seguenti criteri:

- Sensori di deformazione: si posizionano in corrispondenza di zone maggiormente sollecitate e/o potenzialmente soggette a danneggiamento per fatica (Es. giunti saldati tra conci);
- Sensori di spostamento e temperatura: sono posizionati in prossimità di appoggi e giunti in modo da monitorare nel dettaglio la risposta alle variazioni termiche;

I sensori sono collegati via cavo a un sistema di acquisizione dati costituito da un data logger statico (indicato con DS) e i dati registrati vengono trasferiti in rete mediante piattaforma web di nuova generazione e processati mediante software che restituisce facili tabulati di lettura.

I dati dei singoli sensori, non solo vengono valutati singolarmente, ma possono essere riaggregati dinamicamente tramite modelli fisici interpretativi. Il sistema di acquisizione dati permette di memorizzare la grande mole di dati provenienti dai sensori in modo automatico, secondo un intervallo di tempo preimpostato dall'operatore.

Inoltre si prevede, per spalle e pile, installazione della seguente strumentazione:

- N. 2 mire ottiche installate su ogni pila/spalla;
- N. 1 barretta estensimetrica ogni 4 m per i pali di fondazione (n. 2 pali monitorati a fondazione).

Relazione piano di monitoraggio strutturale

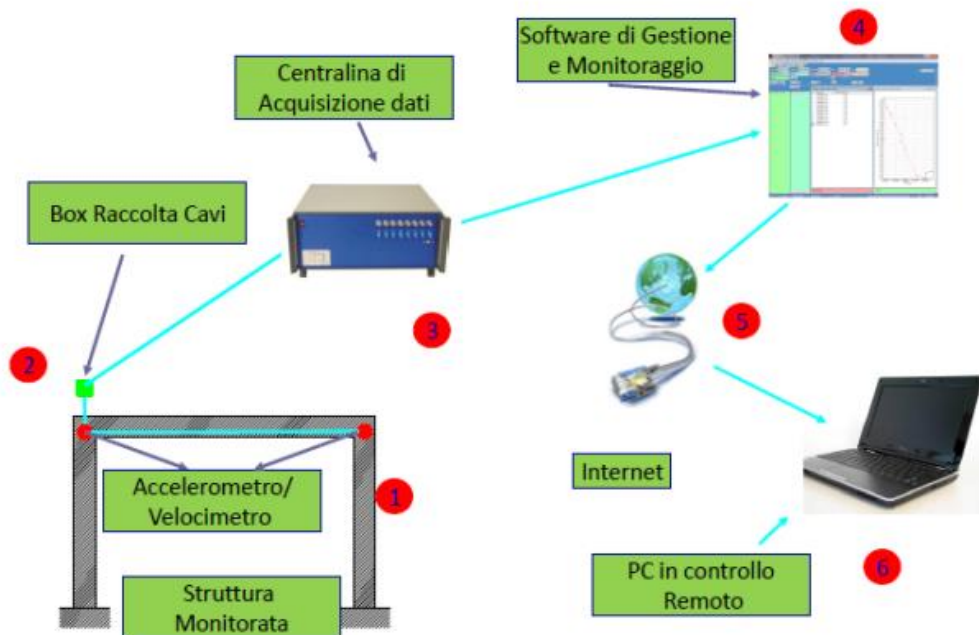


Figura 3-1 Architettura sistema di monitoraggio

Il collegamento dei sensori alla struttura è effettuato mediante adesivi strutturali e le uniche operazioni di manutenzione (ridotta al minimo) consistono nel controllo periodico e nella sostituzione di componenti mal funzionanti oppure guasti.

3.1.1 Frequenza delle letture

Per i ponti e i viadotti è prevista una sola lettura iniziale, ovvero la lettura di zero effettuata al momento dell'installazione (dopo il tempo minimo per il fissaggio dei target).

A seguito della lettura zero sono previste letture della strumentazione con cadenza prestabilita nelle seguenti fasi CORSO e POST OPERAM:

- CORSO D'OPERA: dall'inizio delle lavorazioni sino al completamento di tutte le lavorazioni previste dal progetto;
- POST OPERAM: fase che decorre dall'ultimazione di tutte le lavorazioni previste e in cui l'impresa non ha più in gestione l'area.

Tipologia di strumentazione	Corso d'opera 0-6 mesi	Corso d'opera 6-12 mesi	Corso d'opera >12 mesi
Mire ottiche	1/15gg	1/30gg	1/60gg
Barrette estensimetriche	1/15gg	1/30gg	1/60gg

3.1.2 MONITORAGGIO SPALLE

Il sistema di sensori installati in corrispondenza delle spalle ha come principale obiettivo la misura degli spostamenti relativi tra spalla e impalcato; le quantità misurate possono essere poi correlate con quanto rilevato dai sensori ubicati sull'impalcato e sulle altre sottostrutture per avere informazioni più dettagliate sul comportamento dell'opera.

Relazione piano di monitoraggio strutturale

Le misure di rotazione delle spalle ed il monitoraggio strutturale dei pali di fondazione sono già inclusi nel sistema di monitoraggio geotecnico dell'opera.

Per ciascuna è previsto l'impiego dei seguenti sensori:

- Trasduttore spostamento relativo tra impalcato e spalla (in corrispondenza degli appoggi di impalcato) per direzione x e direzione y
- Pannello solare per alimentazione (solo su una spalla)

In corrispondenza di una delle due spalle sarà inoltre ubicato il sistema di acquisizione e trasmissione dati.

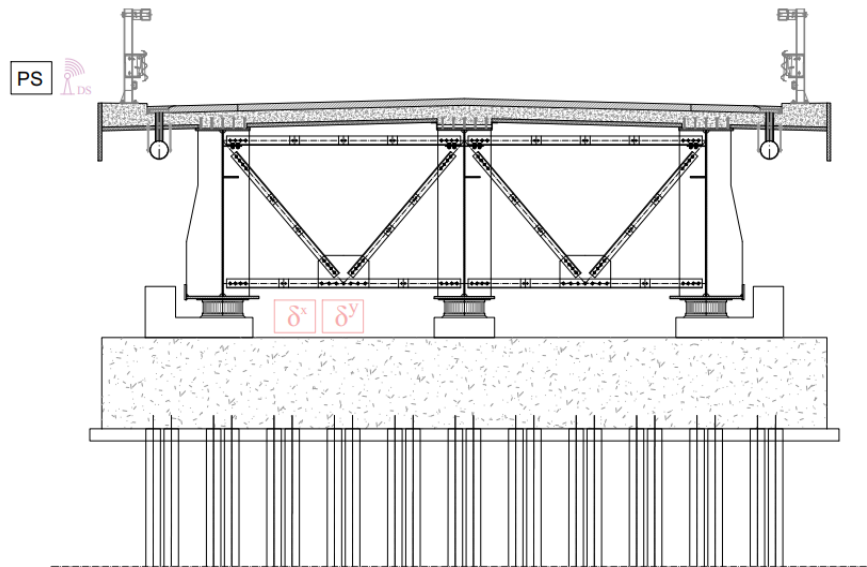


Figura 3-1 Schema tipologico Ubicazione sensori su spalla

3.1.3 MONITORAGGIO IMPALCATO

Il monitoraggio dell'impalcato viene effettuato mediante le seguenti attività:

- Controllo dello stato tensionale negli elementi strutturali principali (travi);
- Misura delle deformazioni per effetto dei carichi di esercizio (carichi mobili, temperatura, ecc);

La principale finalità del monitoraggio dell'impalcato, oltre al controllo della rispondenza dell'as-built alle previsioni di progetto, è l'individuazione di eventuali fenomeni di danneggiamento (lesioni a fatica, corrosione, sovraccarico, ecc.) in atto e anche segnalare problematiche legate al mal funzionamento dei dispositivi di appoggio o dei giunti. Inoltre, un'analisi raffinata dei risultati ottenuti in termini di tensioni agenti nei materiali, potrebbe dare anche utili informazioni sullo sfruttamento delle opere per stimarne la vita utile a fatica o pianificare apposite ispezioni approfondite o interventi di manutenzione.

Per il monitoraggio dello stato tenso-deformativo dell'impalcato è prevista l'installazione di estensimetri e trasduttori di spostamento in modo tale da determinare tensioni e deformazioni nei principali elementi strutturali ed in corrispondenza degli apparecchi d'appoggio.

Per l'impalcato è previsto l'impiego dei seguenti sensori:

- Coppia di estensimetri: applicati alle travi principali ubicati in mezzera (piattabanda superiore e inferiore) ed in prossimità dell'appoggio (piattabanda superiore e inferiore) su tutte le campate;
- 1 Sensore di temperatura superficiale applicato alla travata metallica in zona ombreggiata.

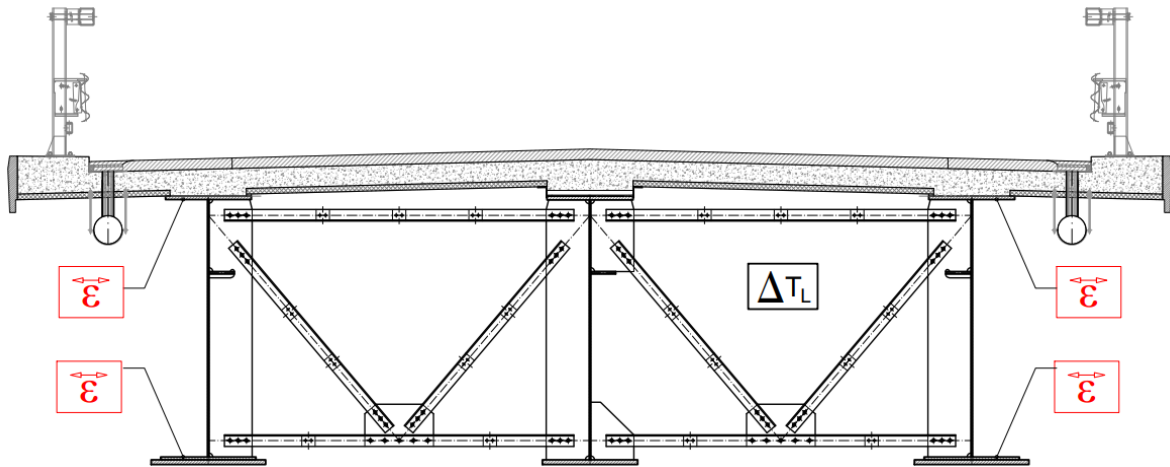


Figura 3-2 Schema tipologico Ubicazione sensori su impalcato

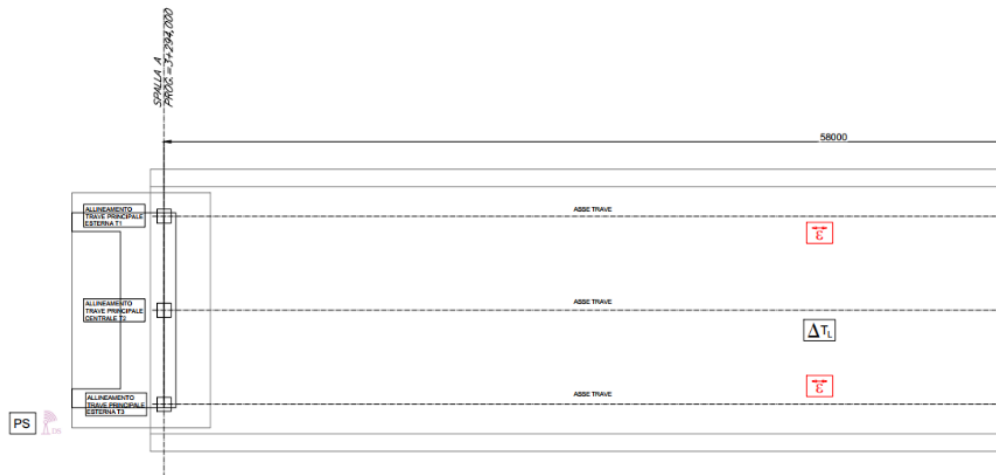


Figura 3-3 Schema tipologico Ubicazione sensori su impalcato

3.1.4 MONITORAGGIO PILE

Il monitoraggio delle pile ha come obiettivo primario la misura degli spostamenti relativi tra pila e impalcato per segnalare eventuali anomalie dovute ad esempio a mal funzionamenti degli appoggi.

Tali misure sono complementari a quelle previste nell'ambito del monitoraggio geotecnico delle sottostrutture.

Per le pile è prevista l'installazione dei seguenti sensori:

- Trasduttori di spostamento (Solo per traslazioni trasversali rispetto all'asse ponte, y): sul pulvino di tutte le pile;
- Stazione meteo (solo su una pila)

Relazione piano di monitoraggio strutturale

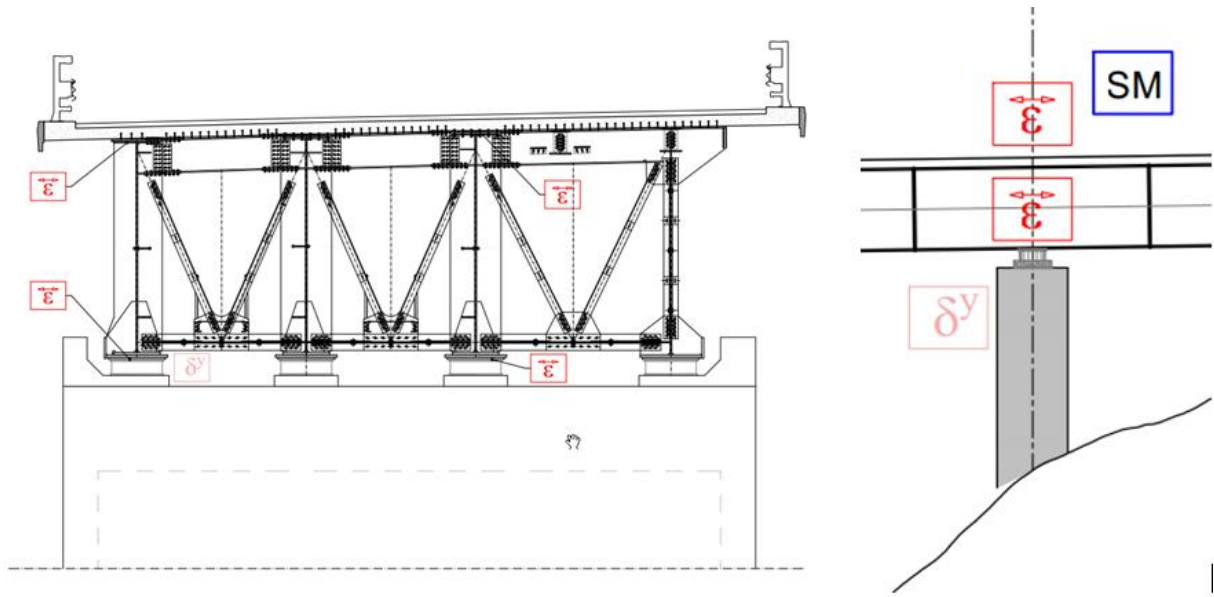


Figura 3-4 Schema tipologico Ubicazione sensori su pile (sezioni e vista laterale)

3.2 CARATTERISTICHE SENSORI DA INSTALLARE

3.2.1 TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO

Consentono di misurare gli spostamenti nelle direzioni trasversali e longitudinali degli elementi strutturali oggetto di misurazione.



Figura 3-5 Trasduttore di spostamento (foto tipologica)

3.2.2 SENSORI DI TEMPERATURA

Sensori di temperatura sono installati per monitorare gradienti di. Essi sono anche utili per verificare se le grandezze in gioco sono correlate con parametri ambientali.

Sono installati in corrispondenza delle zone in ombra della struttura.



Figura 3-3 Sensore di temperatura (foto tipologica)

3.2.3 PANNELLO SOLARE PER ALIMENTAZIONE

Il KIT composto da, un pannello fotovoltaico, una batteria tampone dimensionata per alimentare lo strumento per 3 giorni in assenza di alimentazione dal pannello solare, regolatore di carica e scarica (per proteggere la batteria dall'eccessiva carica e scarica). È fornito in un BOX con un grado di protezione IP65, con fissaggio a palo

Relazione piano di monitoraggio strutturale



Figura 3-4 Pannello solare di alimentazione (tipologica)

3.2.4 STAZIONE METEO

La stazione meteorologica deve essere dotata dei seguenti strumenti di misurazione:

- Termometro per misurare la temperatura ambientale;
- barometro, utile a misurare la pressione atmosferica;
- igrometro, uno strumento indispensabile per quantificare il tasso d'umidità nell'aria;
- anemometro, adatto a misurare la velocità dei venti;
- banderuola, perfetta per verificare la direzione della corrente;
- pluviometro, capace di rilevare la quantità di pioggia caduta sulla superficie.



Figura 3-5 Stazione meteo (tipologica)

3.2.5 ESTENSIMETRI

Gli estensimetri consentono di misurare le deformazioni all'interno degli elementi strutturali sui quali sono installati.

Relazione piano di monitoraggio strutturale

Si dovrà prevedere l'installazione degli estensimetri in considerazione della necessità di effettuare una serie di misure ante operam. In tale fase, nella quale le deformazioni possono essere nulle o, comunque limitate, verrà eseguita la misura di zero, dalla quale dipenderanno poi tutte le misure successive.

Lo strumento dovrà includere il sensore di temperatura e dovrà avere un campo di misura minimo pari a 3000 $\mu\epsilon$ e Precisione Totale pari almeno a $\pm 0.5\%$ FS. Lo strumento dovrà essere fornito di cavo di segnale preassemblato in fabbrica secondo le lunghezze richieste. Il cavo di segnale non dovrà presentare giunture (es. moffole o altre saldature), ma dovrà partire direttamente dal sensore ed essere continuo ed integro per tutta la sua lunghezza.

La barretta estensimetrica è costituita da un elemento centrale in cui è collocato il sensore e al quale sono vincolati due braccetti disposti a 180° tra loro. Le parti terminali dei braccetti sono libere di muoversi lungo il loro asse (entro un certo range) e vengono vincolate alla struttura da monitorare in modo tale da seguirne le deformazioni (trazione o compressione). L'allungamento, o il raccorciamento, della barretta estensimetrica produce una variazione del segnale emesso dal sensore. Tale segnale verrà letto mediante una centralina portatile e, in seguito ad un'opportuna elaborazione, verrà trasformato in un valore di deformazione.

La barretta estensimetrica può lavorare indifferentemente sia a trazione che a compressione, inoltre la parte sensibilizzata è resinata al fine di preservare la funzionalità dello strumento nel caso di urti o immersione. Le barrette estensimetriche possono essere installate sia a saldare (ad esempio sulle centine o sulle armature di pali e diaframmi) che annegate in calcestruzzo.



Figura 3-6 Barretta estensimetrica (foto tipologica)

Caratteristiche tecniche minime

Relazione piano di monitoraggio strutturale

- | | |
|------------------------|--|
| • tipo di misura | deformazione (trazione o compressione) |
| • tipo di sensore | corda vibrante o resistivo |
| • campo di misura | $\geq 3000 \mu\epsilon$ |
| • precisione totale | $\pm 0.5\% \text{ FS}$ |
| • campo di temperatura | - 20 / + 70 °C |

3.3 SINTESI SENSORI DA INSTALLARE

Nella tabella sottostante si riportano in sintesi i sensori (tipologia e numero) da effettuare installare sull'opera:








LEGENDA		
	DESCRIZIONE	QUANTITA'
	Trasduttore spostamento longitudinale	2
	Trasduttore spostamento trasversale	22
	Estensimetro	292
	Sesnore temperatura superficiale	1
	Data logger statico WIFI	1
	Pannello solare	1
	Stazione meteo	1

Figura 2.7 Tabella riassuntiva sensori

4 VIADOTTO MOLINO VECCHIO

Si tratta di un viadotto che si sviluppa con uno schema statico di campata continua su 18 appoggi di luci variabili tra 34.00m per la campata iniziale e finale e 48.50 per le restanti campate. L'impalcato è a struttura mista acc.-cls costituito da 2 travate metalliche con soletta gettata in opera. Le larghezze trasversali variano da un minimo di 11,25 ad un massimo di 11.75m.

Le fondazioni sono tipicamente del tipo indirette per le spalle.

4.1 SISTEMA DI MONITORAGGIO STRUTTURALE

Il sistema di monitoraggio prevede una serie di sensori installati sull'impalcato, su pile e sulle sottostrutture. I sensori sono di diversi tipi e variano in funzione della grandezza e dell'elemento strutturale da monitorare.

Nello specifico vengono impiegati:

- Stazione meteo (SM) per valutazione delle caratteristiche di temperatura, umidità e vento;
- Sensore temperatura superficiale (ΔS) per la determinazione delle temperature superficiali degli elementi strutturali;
- Trasduttori di spostamento relativo per la valutazione di spostamenti degli elementi strutturali dovuti ad azioni di esercizio e azioni sismiche;
- Estensimetro per la valutazione deformazioni degli elementi strutturali dovuti ad azioni di esercizio e azioni sismiche;

Completano l'architettura del sistema di monitoraggio le seguenti apparecchiature:

- Pannello solare di alimentazione apparecchiature;
- Cablaggio rete.

I sensori sono disposti in numero e tipologia tale da garantire una dettagliata "visione" del comportamento strutturale delle opere.

Il posizionamento dei sensori segue i seguenti criteri:

- Sensori di deformazione: si posizionano in corrispondenza di zone maggiormente sollecitate e/o potenzialmente soggette a danneggiamento per fatica (Es. giunti saldati tra conci);
- Sensori di spostamento e temperatura: sono posizionati in prossimità di appoggi e giunti in modo da monitorare nel dettaglio la risposta alle variazioni termiche;

I sensori sono collegati via cavo a un sistema di acquisizione dati costituito da un data logger statico (indicato con DS) e i dati registrati vengono trasferiti in rete mediante piattaforma web di nuova generazione e processati mediante software che restituisce facili tabulati di lettura.

I dati dei singoli sensori, non solo vengono valutati singolarmente, ma possono essere riaggregati dinamicamente tramite modelli fisici interpretativi. Il sistema di acquisizione dati permette di memorizzare la grande mole di dati provenienti dai sensori in modo automatico, secondo un intervallo di tempo preimpostato dall'operatore.

Inoltre si prevede, per spalle e pile, installazione della seguente strumentazione:

- N. 2 mire ottiche installate su ogni pila/spalla;
- N. 1 barretta estensimetrica ogni 4 m per i pali di fondazione (n. 2 pali monitorati a

Relazione piano di monitoraggio strutturale

fondazione).

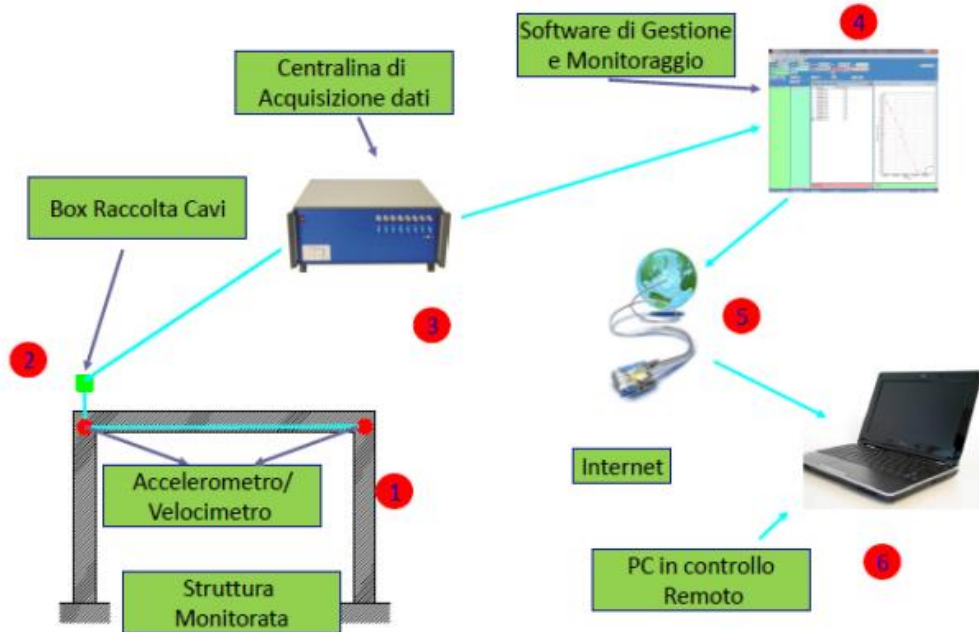


Figura 3.1 Architettura sistema di monitoraggio

Il collegamento dei sensori alla struttura è effettuato mediante adesivi strutturali e le uniche operazioni di manutenzione (ridotta al minimo) consistono nel controllo periodico e nella sostituzione di componenti mal funzionanti oppure guasti.

4.1.1 Frequenza delle letture

Per i ponti e i viadotti è prevista una sola lettura iniziale, ovvero la lettura di zero effettuata al momento dell'installazione (dopo il tempo minimo per il fissaggio dei target).

A seguito della lettura zero sono previste letture della strumentazione con cadenza prestabilita nelle seguenti fasi CORSO e POST OPERAM:

- CORSO D'OPERA: dall'inizio delle lavorazioni sino al completamento di tutte le lavorazioni previste dal progetto;
- POST OPERAM: fase che decorre dall'ultimazione di tutte le lavorazioni previste e in cui l'impresa non ha più in gestione l'area.

Tipologia di strumentazione	Corso d'opera 0-6 mesi	Corso d'opera 6-12 mesi	Corso d'opera >12 mesi	Post operam 12 mesi
Mire ottiche	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg
Barrette estensimetriche	1/15gg	1/30gg	1/60gg	1/60gg

4.1.2 MONITORAGGIO SPALLE

Il sistema di sensori installati in corrispondenza delle spalle ha come principale obiettivo la misura degli spostamenti relativi tra spalla e impalcato; le quantità misurate possono essere poi correlate con quanto

Relazione piano di monitoraggio strutturale

rilevato dai sensori ubicati sull'impalcato e sulle altre sottostrutture per avere informazioni più dettagliate sul comportamento dell'opera.

Le misure di rotazione delle spalle ed il monitoraggio strutturale dei pali di fondazione sono già inclusi nel sistema di monitoraggio geotecnico dell'opera.

Per ciascuna è previsto l'impiego dei seguenti sensori:

- Trasduttore spostamento relativo tra impalcato e spalla (in corrispondenza degli appoggi di impalcato) per direzione x e direzione y
- Pannello solare per alimentazione (solo su una spalla)

In corrispondenza di una delle due spalle sarà inoltre ubicato il sistema di acquisizione e trasmissione dati.

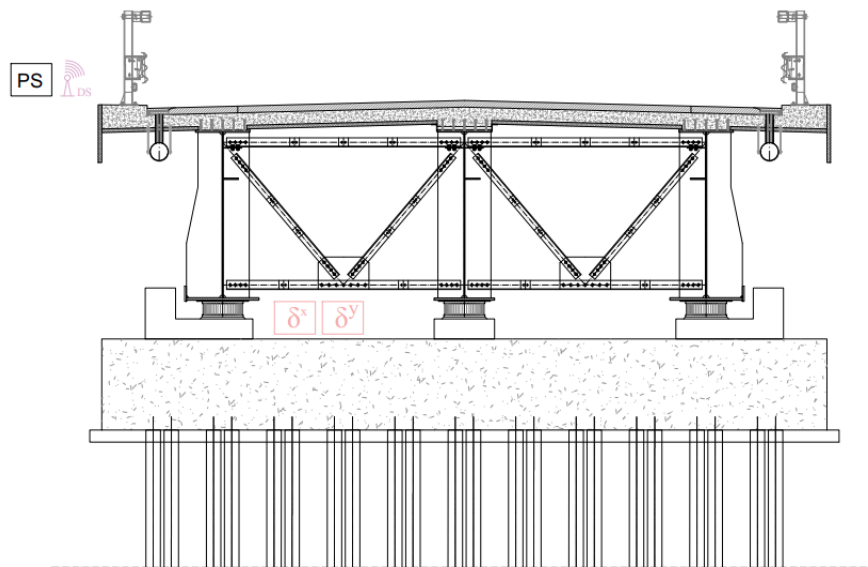


Figura 4-1 Schema tipologico Ubicazione sensori su spalla

4.1.3 MONITORAGGIO IMPALCATO

Il monitoraggio dell'impalcato viene effettuato mediante le seguenti attività:

- Controllo dello stato tensionale negli elementi strutturali principali (travi);
- Misura delle deformazioni per effetto dei carichi di esercizio (carichi mobili, temperatura, ecc);

La principale finalità del monitoraggio dell'impalcato, oltre al controllo della rispondenza dell'as-built alle previsioni di progetto, è l'individuazione di eventuali fenomeni di danneggiamento (lesioni a fatica, corrosione, sovraccarico, ecc.) in atto e anche segnalare problematiche legate al mal funzionamento dei dispositivi di appoggio o dei giunti. Inoltre, un'analisi raffinata dei risultati ottenuti in termini di tensioni agenti nei materiali, potrebbe dare anche utili informazioni sullo sfruttamento delle opere per stimarne la vita utile a fatica o pianificare apposite ispezioni approfondite o interventi di manutenzione.

Per il monitoraggio dello stato tenso-deformativo dell'impalcato è prevista l'installazione di estensimetri e trasduttori di spostamento in modo tale da determinare tensioni e deformazioni nei principali elementi strutturali ed in corrispondenza degli apparecchi d'appoggio.

Per l'impalcato è previsto l'impiego dei seguenti sensori:

Relazione piano di monitoraggio strutturale

- Coppia di estensimetri: applicati alle travi principali ubicati in mezzera (piattabanda superiore e inferiore) ed in prossimità dell'appoggio (piattabanda superiore e inferiore) su tutte le campate;
- 1 Sensore di temperatura superficiale applicato alla travata metallica in zona ombreggiata.

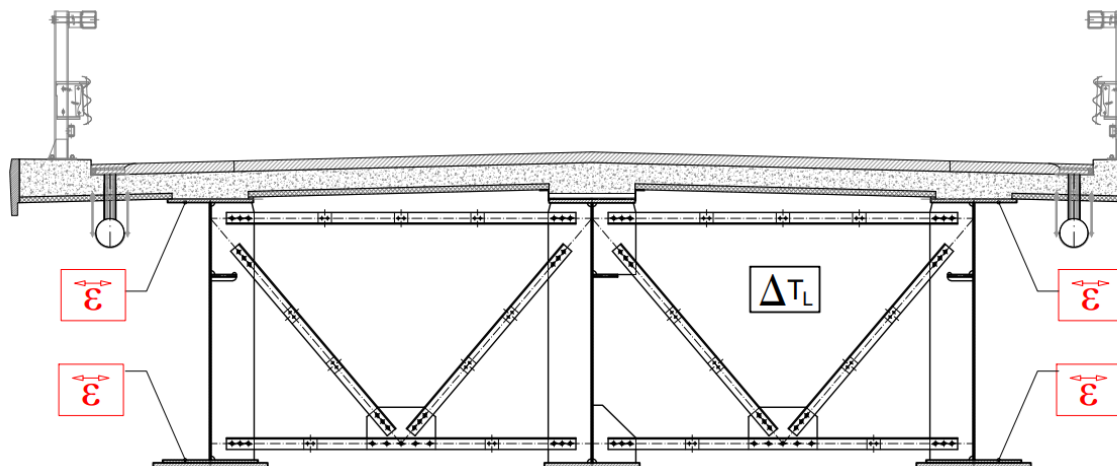


Figura 4-2 Schema tipologico Ubicazione sensori su impalcato

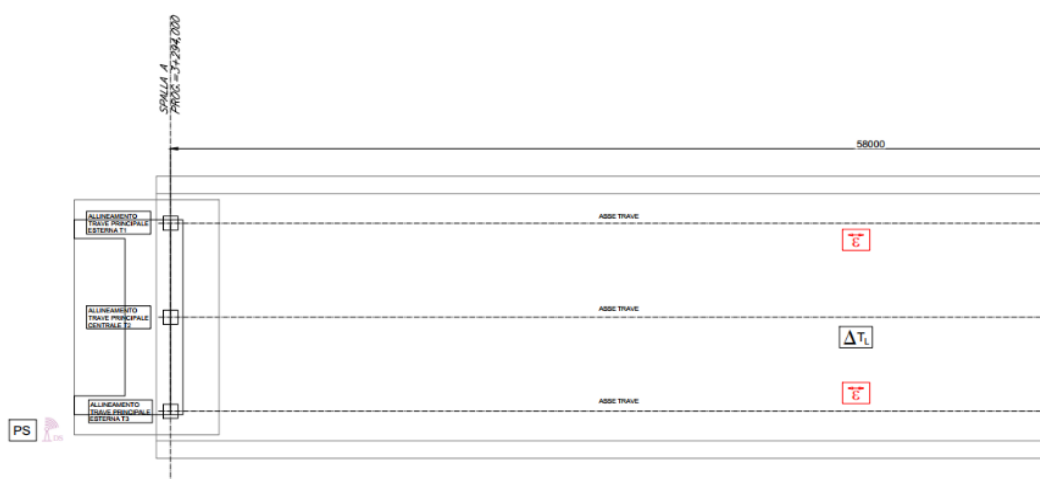


Figura 4-3 Schema tipologico Ubicazione sensori su impalcato

4.1.4 MONITORAGGIO PILE

Il monitoraggio delle pile ha come obiettivo primario la misura degli spostamenti relativi tra pila e impalcato per segnalare eventuali anomalie dovute ad esempio a mal funzionamenti degli appoggi.

Tali misure sono complementari a quelle previste nell'ambito del monitoraggio geotecnico delle sottostrutture.

Per le pile è prevista l'installazione dei seguenti sensori:

- Trasduttori di spostamento (Solo per traslazioni trasversali rispetto all'asse ponte, y): sul pulvino di tutte le pile;
- Stazione meteo (solo su una pila)

Relazione piano di monitoraggio strutturale

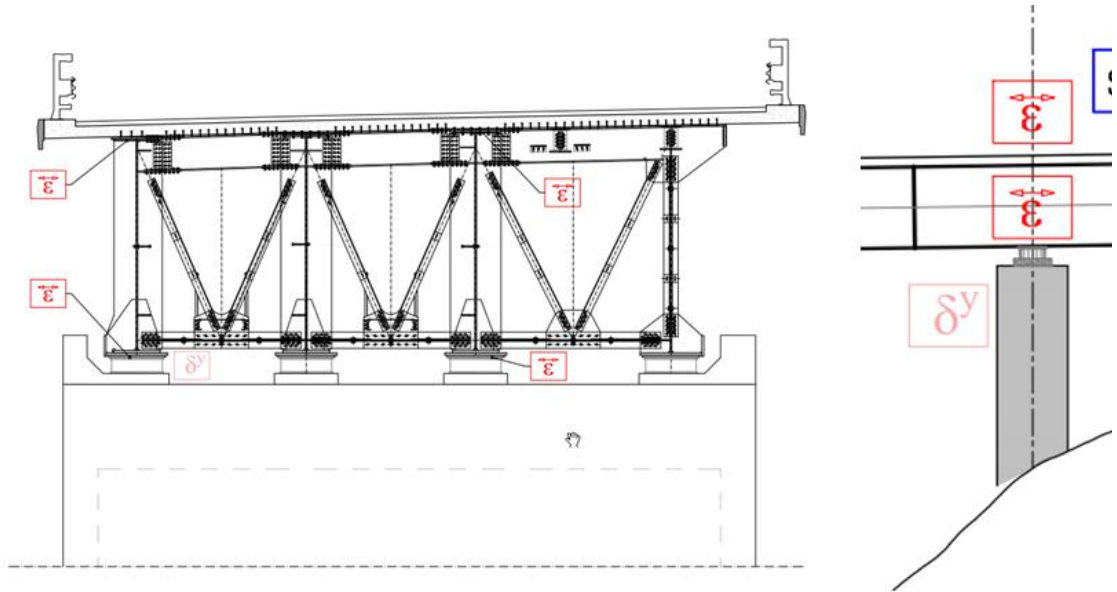


Figura 4-4 Schema tipologico Ubicazione sensori su pile (sezioni e vista laterale)

4.2 CARATTERISTICHE SENSORI DA INSTALLARE

4.2.1 TRASDUTTORI DI SPOSTAMENTO

Consentono di misurare gli spostamenti nelle direzioni trasversali e longitudinali degli elementi strutturali oggetto di misurazione.



Figura 3-5 Trasduttore di spostamento (foto tipologica)

4.2.2 SENSORI DI TEMPERATURA

Sensori di temperatura sono installati per monitorare gradienti di. Essi sono anche utili per verificare se le grandezze in gioco sono correlate con parametri ambientali.

Sono installati in corrispondenza delle zone in ombra della struttura.



Figura 4-6 Sensore di temperatura (foto tipologica)

4.2.3 PANNELLO SOLARE PER ALIMENTAZIONE

Il KIT composto da, un pannello fotovoltaico, una batteria tampone dimensionata per alimentare lo strumento per 3 giorni in assenza di alimentazione dal pannello solare, regolatore di carica e scarica (per proteggere la batteria dall'eccessiva carica e scarica). È fornito in un BOX con un grado di protezione IP65, con fissaggio a palo

Relazione piano di monitoraggio strutturale



Figura 3.3 Pannello solare di alimentazione (tipologica)

4.2.4 STAZIONE METEO

La stazione meteorologica deve essere dotata dei seguenti strumenti di misurazione:

- Termometro per misurare la temperatura ambientale;
- barometro, utile a misurare la pressione atmosferica;
- igrometro, uno strumento indispensabile per quantificare il tasso d'umidità nell'aria;
- anemometro, adatto a misurare la velocità dei venti;
- banderuola, perfetta per verificare la direzione della corrente;
- pluviometro, capace di rilevare la quantità di pioggia caduta sulla superficie.



Figura 3.4 Stazione meteo (tipologica)

4.2.5 ESTENSIMETRI

Gli estensimetri consentono di misurare le deformazioni all'interno degli elementi strutturali sui quali sono installati.

Relazione piano di monitoraggio strutturale

Si dovrà prevedere l'installazione degli estensimetri in considerazione della necessità di effettuare una serie di misure ante operam. In tale fase, nella quale le deformazioni possono essere nulle o, comunque limitate, verrà eseguita la misura di zero, dalla quale dipenderanno poi tutte le misure successive.

Lo strumento dovrà includere il sensore di temperatura e dovrà avere un campo di misura minimo pari a 3000 $\mu\epsilon$ e Precisione Totale pari almeno a $\pm 0.5\%$ FS. Lo strumento dovrà essere fornito di cavo di segnale preassemblato in fabbrica secondo le lunghezze richieste. Il cavo di segnale non dovrà presentare giunture (es. moffole o altre saldature), ma dovrà partire direttamente dal sensore ed essere continuo ed integro per tutta la sua lunghezza.

La barretta estensimetrica è costituita da un elemento centrale in cui è collocato il sensore e al quale sono vincolati due braccetti disposti a 180° tra loro. Le parti terminali dei braccetti sono libere di muoversi lungo il loro asse (entro un certo range) e vengono vincolate alla struttura da monitorare in modo tale da seguirne le deformazioni (trazione o compressione). L'allungamento, o il raccorciamento, della barretta estensimetrica produce una variazione del segnale emesso dal sensore. Tale segnale verrà letto mediante una centralina portatile e, in seguito ad un'opportuna elaborazione, verrà trasformato in un valore di deformazione.

La barretta estensimetrica può lavorare indifferentemente sia a trazione che a compressione, inoltre la parte sensibilizzata è resinata al fine di preservare la funzionalità dello strumento nel caso di urti o immersione. Le barrette estensimetriche possono essere installate sia a saldare (ad esempio sulle centine o sulle armature di pali e diaframmi) che annegate in calcestruzzo.



Figura 3.5 Barretta estensimetrica (foto tipologica)

Relazione piano di monitoraggio strutturale

Caratteristiche tecniche minime

- tipo di misura deformazione (trazione o compressione)
- tipo di sensore corda vibrante o resistivo
- campo di misura $\geq 3000 \mu\epsilon$
- precisione totale $\pm 0.5\% FS$
- campo di temperatura $- 20 / + 70 \text{ }^\circ\text{C}$

4.3 SINTESI SENSORI DA INSTALLARE

Nella tabella sottostante si riportano in sintesi i sensori (tipologia e numero) da effettuare installare sull'opera:








LEGENDA		
	DESCRIZIONE	QUANTITA'
	Trasduttore spostamento longitudinale	2
	Trasduttore spostamento trasversale	18
	Estensimetro	292
	Sensore temperatura superficiale	1
	Data logger statico WIFI	1
	Pannello solare	1
	Stazione meteo	1

Figura 3.6 Tabella riassuntiva sensori

