

# AUTOSTRADA (A1): MILANO-NAPOLI

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA

NEL TRATTO INCISA - VALDARNO

LOTTO 1

## PROGETTO ESECUTIVO

### DG - DOCUMENTAZIONE GENERALE

GEOTECNICA  
Parte generale

Relazione di monitoraggio

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Marco D'Angelantonio  
Ord. Ingg. Milano N. 20155

Responsabile Geotecnica all'aperto

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Paola Castiglioni  
Ord. Ingg. Varese N. 2725

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Orlando Mazza  
Ord. Ingg. Pavia N. 1496

Progettazione Infrastrutture

CODICE IDENTIFICATIVO										ORDINATORE	
RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO			-	
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo		Rev.
119941	LL02	PE	DG	GTA	GE000	00000	R	APE	0702	-0	SCALA -

 	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:				REVISIONE	
	Ing. Paola Castiglioni Ord. Ingg. Varese N. 2725						n.	data
							0	LUGLIO 2020
	REDATTO:		VERIFICATO:					

	<p>VISTO DEL COMMITTENTE</p>  <p>IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Furio Cruciani</p>	<p>VISTO DEL CONCEDENTE</p>  <p><b>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti</b> DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</p>
--	--	---

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>MURI DI CONTRORIPA E PARATIE RIVESTITE .....</b>	<b>5</b>
2.1	Tipologia e scopo della strumentazione .....	5
2.2	Frequenze di lettura .....	6
<b>3</b>	<b>MURI DI SOTTOSCARPA .....</b>	<b>8</b>
3.1	Tipologia e scopo della strumentazione .....	8
3.2	Frequenze di lettura .....	8
<b>4</b>	<b>OPERE PROVVISORIALI (FINALIZZATE ALL'ESECUZIONE DELLE FONDAZIONI DI VIADOTTI).....</b>	<b>10</b>
4.1	Tipologia e scopo della strumentazione .....	10
4.2	Frequenze di lettura .....	10
<b>5</b>	<b>RECETTORI SENSIBILI .....</b>	<b>12</b>
5.1	Tipologia e scopo della strumentazione .....	12
5.2	Frequenze di lettura .....	13
<b>6</b>	<b>VALUTAZIONI DI STABILITÀ DEL CORPO DEL RILEVATO DURANTE EVENTI DI PIENA DEL FIUME ARNO .....</b>	<b>14</b>
6.1	Tipologia di monitoraggio.....	14
<b>7</b>	<b>SPECIFICHE TECNICHE E MODALITÀ D'INSTALLAZIONE .....</b>	<b>17</b>
7.1	Target topografici e miniprismi.....	17
7.1.1	Generalità.....	17
7.1.2	Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento.....	17
7.1.3	Modalità d'installazione .....	17
7.1.4	Sistema di lettura manuale.....	18
7.1.5	Sistema di lettura automatizzato .....	18
7.1.6	Documentazione richiesta relativa all'installazione .....	20
7.1.7	Restituzione dei dati.....	20
7.2	Assestimetro a piastra .....	21
7.2.1	Generalità.....	21
7.2.2	Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento.....	21
7.2.3	Modalità d'installazione .....	21
7.2.4	Documentazione richiesta relativa all'installazione .....	22
7.2.5	Restituzione dei dati.....	22
7.3	Piezometro tipo Casagrande.....	23
7.3.1	Generalità.....	23
7.3.2	Normative e specifiche di riferimento.....	23
7.3.3	Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento.....	23

7.3.4	Preparazione del foro.....	24
7.3.5	Modalità d'installazione.....	24
7.3.6	Installazione del trasduttore di pressione (eventuale).....	25
<b>7.4</b>	<b>Pozzetto di protezione.....</b>	<b>26</b>
7.4.1	Documentazione richiesta relativa all'installazione.....	27
7.4.2	Restituzione dati.....	27
<b>7.5</b>	<b>Tubo inclinometrico.....</b>	<b>29</b>
7.5.1	Generalità.....	29
7.5.2	Normative e specifiche di riferimento.....	29
7.5.3	Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento.....	29
7.5.4	Controlli preliminari.....	30
7.5.5	Preparazione del foro (tubo inclinometrico installato in foro di sondaggio).....	30
7.5.6	Installazione del tubo inclinometrico in foro di sondaggio.....	31
7.5.7	Installazione del tubo inclinometrico in pali, micropali o diaframmi.....	32
7.5.8	Prolungamento del tubo inclinometrico.....	33
7.5.9	Pozzetto di protezione.....	33
7.5.10	Prescrizioni minime di accettazione della tubazione inclinometrica.....	34
7.5.11	Documentazione richiesta relativa all'installazione.....	35
7.5.12	Restituzione dati.....	35
<b>7.6</b>	<b>Tubazione per misura estensimetrica incrementale per letture manuali (sliding micrometer).....</b>	<b>36</b>
7.6.1	Generalità.....	36
7.6.2	Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento.....	36
7.6.3	Controlli preliminari.....	37
7.6.4	Preparazione del foro.....	37
7.6.5	Modalità d'installazione.....	38
7.6.6	Pozzetto di protezione.....	39
7.6.7	Prescrizioni minime di accettazione della tubazione estensimetrica.....	40
7.6.8	Documentazione richiesta relativa all'installazione.....	40
7.6.9	Restituzione dati.....	41
<b>7.7</b>	<b>Estensimetro multibase ad aste.....</b>	<b>42</b>
7.7.1	Generalità.....	42
7.7.2	Normative e specifiche di riferimento.....	42
7.7.3	Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento.....	42
7.7.4	Preparazione del foro.....	43
7.7.5	Modalità d'installazione.....	43
7.7.6	Documentazione richiesta relativa all'installazione.....	45
7.7.7	Restituzione dati.....	45

<b>7.8</b>	<b>Clinometro di superficie.....</b>	<b>46</b>
7.8.1	Generalità.....	46
7.8.2	Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento.....	46
7.8.3	Modalità d'installazione.....	47
7.8.4	Documentazione richiesta relativa all'installazione.....	47
7.8.5	Restituzione dei dati.....	47
<b>7.9</b>	<b>Celle di carico toroidali .....</b>	<b>48</b>
7.9.1	Generalità.....	48
7.9.2	Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento.....	48
7.9.3	Modalità d'installazione.....	48
7.9.4	Documentazione richiesta relativa all'installazione.....	49
7.9.5	Restituzione dati.....	49
<b>7.10</b>	<b>Barrette estensimetriche.....</b>	<b>50</b>
7.10.1	Generalità.....	50
7.10.2	Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento.....	50
7.10.3	Modalità di installazione.....	51
7.10.4	Documentazione richiesta relativa all'installazione.....	52
7.10.5	Restituzione dati.....	52
<b>7.11</b>	<b>Sistemi di acquisizione a due o più canali.....</b>	<b>53</b>
7.11.1	Generalità'.....	53
7.11.2	Caratteristiche delle apparecchiature a 2 canali.....	53
7.11.3	Caratteristiche delle apparecchiature pluricanale.....	54
7.11.4	Modalità d'installazione.....	55
7.11.5	Documentazione.....	56
<b>7.12</b>	<b>Collegamenti tra le strumentazioni.....</b>	<b>57</b>
7.12.1	Generalità.....	57
7.12.2	Cavi elettrici di collegamento.....	57
7.12.3	collegamenti via telefono cellulare o collegamento satellitare.....	58
7.12.4	collegamenti via radio.....	59
<b>7.13</b>	<b>Prescrizioni generali relative alle installazioni.....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione viene descritto il monitoraggio previsto per l'ampliamento alla terza corsia dell'autostrada A1 Milano-Napoli del tratto Incisa-Valdarno.

In particolare, la seguente relazione si riferisce al lotto 2 del tratto e contiene:

- tipologia della strumentazione e frequenza di lettura del monitoraggio previsto per ciascuna delle opere principali e per i recettori sensibili;
- specifiche tecniche e modalità d'installazione della strumentazione;
- prescrizioni generali.

## 2 MURI DI CONTRORIPA E PARATIE RIVESTITE

### 2.1 TIPOLOGIA E SCOPO DELLA STRUMENTAZIONE

Il monitoraggio è finalizzato a valutare, durante le diverse fasi esecutive, lo stato deformativo dell'opera provvisoria, lo stato tensionale dei tiranti, l'ampiezza del cuneo di spinta mobilitato a tergo dell'opera provvisoria durante le fasi di scavo, eventuali movimenti indotti in testa allo sbancamento previsto a tergo dell'opera provvisoria ed eventuali cedimenti indotti.

A tali scopi, è prevista l'installazione della seguente strumentazione:

- target topografici installati sulle travi di testata e di ripartizione delle palificate, in testa ai muri e in corrispondenza delle celle di carico toroidali sulle teste dei tiranti. In relazione all'altezza delle paratie e dei muri di controripa, saranno posizionate più mire ottiche poste verticalmente a diverse quote;
- celle di carico toroidali sulle teste dei tiranti;
- estensimetri multibase a 3 o 4 basi di misura, per altezze di scavo superiori a 5-6 m, con lunghezza variabile in funzione dell'altezza di scavo e della lunghezza d'infissione dell'opera di sostegno e delle condizioni geotecniche a tergo dell'opera;
- nelle berlinesi (micropali) prevedere l'installazione di tubi inclinometrici in alcuni micropali, dotati di tutti quei dispositivi atti al mantenimento dell'integrità durante le diverse fasi di getto. Dovranno essere parzialmente inglobati nel getto della trave di collegamento e canaletta di testa e, quindi,
- tubi inclinometrici, posti a monte dell'opera e/o al bordo della carreggiata stradale, dove l'integrità dello strumento non è pregiudicata dall'interferenza con la tirantatura dell'opera;
- piezometri, tipo cella Casagrande, disposti in adiacenza ai tubi inclinometrici; per alcune opere, è prevista la strumentazione del piezometro con trasduttore elettrico per la lettura in continuo;
- mire ottiche installate su pilastri in cls, o altro supporto adeguatamente ancorato al terreno, posti in corrispondenza delle verticali strumentate;
- è prevista l'installazione di sistemi di acquisizione automatica dei dati e l'installazione di pannelli di centralizzazione a cui cablare tutti gli strumenti elettrici dell'opera al fine di facilitarne la lettura;
- in prossimità di recettori sensibili, ovvero edifici, strade, manufatti e opere d'arte in genere, al fine di valutare eventuali cedimenti o lesioni conseguenti alle fasi realizzative dell'opera, il piano prevede un monitoraggio topografico specifico con l'installazione sul recettore di target topografici e/o miniprismi e, in prossimità dello stesso, l'installazione di cippi di livellazione o caposalda metallici. Il piano può prevedere, inoltre, l'installazione di vibrometri, clinometri e, in corrispondenza delle eventuali fessure esistenti, l'installazione di fessurimetri a vetrino (vedere paragrafo 5 RECETTORI SENSIBILI).

## 2.2 FREQUENZE DI LETTURA

La lettura di zero di tutti gli strumenti dovrà essere eseguita non appena possibile dopo l'installazione e comunque prima della fase di scavo successiva all'installazione dello strumento. Per inclinometri ed estensimetri multibase, dovrà trascorrere almeno una settimana dall'installazione prima di eseguire la lettura di zero, al fine di permettere la maturazione della malta di cementazione.

Per quanto riguarda le celle di carico, durante la fase di tesatura e collaudo del tirante ove vengono installate, devono essere eseguite letture con centralina portatile ad ogni step di carico previsto dalla procedura di collaudo ed al termine della tesatura.

Tutti gli strumenti installati sull'opera o a tergo dell'opera, per i quali siano previste letture manuali, dovranno essere letti, successivamente alla lettura di 0, almeno al termine di ogni fase di scavo. Qualora, fra il termine di una fase parziale di scavo e l'inizio della successiva intercorra più di una settimana, la lettura dovrà essere ripetuta con cadenza settimanale fino a stabilizzazione del dato e comunque almeno una volta prima dell'inizio della ripresa degli scavi.

Completati gli scavi, il programma di misure della strumentazione installata sull'opera dovrà proseguire con le seguenti scadenze:

- 2 letture per la prima settimana dal completamento dello scavo;
- 1 lettura settimanale per il successivo mese e comunque sino a stabilizzazione di eventuali processi deformativi in corso;
- 1 lettura al mese per i successivi mesi fino al ritombamento/rivestimento dell'opera, se previsto, a sino al termine dei lavori.

Per quanto riguarda inclinometri e piezometri installati a tergo dell'opera, le frequenze di misura da prevedersi al termine degli scavi sono le seguenti:

- 1 lettura al mese minimo;
- 1 lettura ogni 2 settimane quando il versante interessa opere in costruzione;
- 1 lettura a settimana qualora si riscontri una situazione di rischio potenziale sulla base delle letture precedenti (linea di tendenza) o nel caso il monitoraggio di opere adiacenti rilevi situazioni anomale (cedimenti, deformazioni o sforzi superiori alle previsioni progettuali); limitatamente ai piezometri, tale frequenza di lettura va adottata anche quando il livello di falda raggiunge e supera il livello previsto da progetto.

Eventuali ulteriori letture potranno essere previste, in funzione degli spostamenti registrati durante le letture precedenti.

Le cadenze sopra elencate dovranno essere il più possibile coincidenti con l'inizio o la fine delle principali lavorazioni previste.

Per quanto riguarda i pali strumentati con barrette estensimetriche, è sempre previsto il cablaggio a datalogger per la lettura in continuo. Pertanto, successivamente alle letture di controllo durante l'installazione, le barrette dovranno essere cablate all'UAD, programmando le seguenti frequenze di lettura:

- una lettura ogni 10 min per la prima ora successivamente all'installazione; dopo tale periodo dovrà essere eseguito il primo scarico dati in modo da verificare il buon funzionamento del sistema di acquisizione dati;
- una lettura ogni 3 ore fino a stabilizzazione della temperatura all'interno del getto;
- una lettura ogni 6 ore fino a completamento delle fasi di scavo;
- una lettura ogni 12 ore fino a completamento dell'opera.

Lo scarico dati dovrà avvenire almeno una volta ogni 2 settimane durante le fasi scavo e mensilmente durante le lavorazioni successive. Almeno una volta al mese, in occasione dello scarico dati, dovrà essere verificato lo stato di carica delle batterie e, in caso di basso livello di carica, si dovrà procedere a sostituzione o ricarica della batteria.

Qualora si richieda il mantenimento in servizio della strumentazione anche dopo il completamento dell'opera si dovrà prevedere cadenza di lettura almeno giornaliera; inoltre sarebbe opportuno prevedere l'integrazione dell'alimentazione mediante pannello solare.

### 3 MURI DI SOTTOSCARPA

#### 3.1 TIPOLOGIA E SCOPO DELLA STRUMENTAZIONE

Il monitoraggio è finalizzato a valutare, durante le diverse fasi esecutive, lo stato deformativo dell'opera provvisoria.

A tali scopi è prevista l'installazione della seguente strumentazione:

- target topografici installati sulle travi di testata delle palificate e in corrispondenza delle celle di carico toroidali sulle teste dei tiranti. In relazione all'altezza delle paratie provvisorie saranno posizionate più mire ottiche poste verticalmente a diverse quote;
- celle di carico toroidali sulle teste dei tiranti;
- è prevista l'installazione di pannelli centralizzati di lettura a cui collegare le celle di carico al fine di facilitarne la lettura o, qualora si preveda la prosecuzione del monitoraggio in fase di esercizio dell'opera, l'installazione di sistemi di acquisizione automatica dei dati;
- in prossimità di recettori sensibili, ovvero edifici, strade, manufatti e opere d'arte in genere, al fine di valutare eventuali cedimenti o lesioni conseguenti alle fasi realizzative dell'opera, il piano prevede un monitoraggio topografico specifico con l'installazione sul recettore di target topografici e/o miniprismi e, in prossimità dello stesso, l'installazione di caposaldi metallici. Il piano prevede, inoltre, l'installazione di clinometri e, in corrispondenza delle eventuali fessure esistenti, l'installazione di fessurimetri a vetrino (vedere paragrafo 5 RECETTORI SENSIBILI).

#### 3.2 FREQUENZE DI LETTURA

La lettura di zero di tutti gli strumenti dovrà essere eseguita non appena possibile dopo l'installazione e comunque prima della fase di scavo successiva all'installazione dello strumento.

Per quanto riguarda le celle di carico, durante la fase di tesatura e collaudo del tirante ove vengono installate, devono essere eseguite letture con centralina portatile ad ogni step di carico previsto dalla procedura di collaudo ed al termine della tesatura.

Tutti gli strumenti installati sull'opera, per i quali siano previste letture manuali, dovranno essere letti, successivamente alla lettura di 0, almeno al termine di ogni fase di scavo. Qualora, fra il termine di una fase parziale di scavo e l'inizio della successiva intercorra più di una settimana, la lettura dovrà essere ripetuta con cadenza settimanale fino a stabilizzazione del dato e comunque almeno una volta prima dell'inizio della ripresa degli scavi.

Completati gli scavi, il programma di misure della strumentazione installata sull'opera dovrà proseguire con le seguenti scadenze:

- 2 letture per la prima settimana dal completamento dello scavo;

- 1 lettura settimanale per il successivo mese e comunque sino a stabilizzazione di eventuali processi deformativi in corso;
- 1 lettura ogni due settimane per i successivi mesi fino al completamento dell'opera.
- 1 lettura settimanale per il successivo mese e comunque sino a stabilizzazione di eventuali processi deformativi in corso;
- 1 lettura al mese per i successivi mesi fino al ritombamento/rivestimento dell'opera, se previsto, a sino al termine dei lavori.

Eventuali ulteriori letture potranno essere previste, in funzione degli spostamenti registrati durante le letture precedenti.

Le cadenze sopra elencate dovranno essere il più possibile coincidenti con l'inizio o la fine delle principali lavorazioni previste.

Qualora le celle di carico fossero cablate a datalogger per la lettura in continuo, successivamente alle letture di controllo durante l'installazione, dovranno essere programmate le seguenti frequenze di lettura:

- una lettura ogni min durante le fasi di tesatura del tirante; dopo tale periodo dovrà essere eseguito il primo scarico dati in modo da verificare il buon funzionamento del sistema di acquisizione dati;
- una lettura ogni 1 ora nelle 24 ore successive alla tesatura del tirante;
- una lettura ogni 2 ore fino a completamento delle fasi di scavo;
- una lettura ogni 12 ore fino a completamento dell'opera.

Lo scarico dati dovrà avvenire almeno una volta ogni 2 settimane durante le fasi scavo e mensilmente durante le lavorazioni successive. Almeno una volta al mese, in occasione dello scarico dati, dovrà essere verificato lo stato di carica delle batterie e, in caso di basso livello di carica, si dovrà procedere a sostituzione o ricarica della batteria.

Qualora si richieda il mantenimento in servizio della strumentazione anche dopo il completamento dell'opera si dovrà prevedere cadenza di lettura almeno giornaliera; inoltre sarebbe opportuno prevedere l'integrazione dell'alimentazione mediante pannello solare.

## 4 OPERE PROVVISORIALI (FINALIZZATE ALL'ESECUZIONE DELLE FONDAZIONI DI VIADOTTI)

### 4.1 TIPOLOGIA E SCOPO DELLA STRUMENTAZIONE

Il monitoraggio previsto è finalizzato a valutare, durante le diverse fasi esecutive, lo stato deformativo dell'opera provvisoria e lo stato tensionale dei tiranti.

È prevista l'installazione:

- di mire ottiche, posizionate sia sulle travi di testata delle palificate che, qualora assumessero un'altezza rilevante, verticalmente a diverse quote;
- di celle di carico toroidali, sulle teste dei tiranti, affiancata da un target topografico come indicato nei vari elaborati grafici allegati;
- di un pannello centralizzato di lettura a cui collegare le celle di carico per il monitoraggio in condizioni d'esercizio;
- in prossimità di recettori sensibili, ovvero edifici, strade, manufatti e opere d'arte in genere, al fine di valutare eventuali cedimenti o lesioni conseguenti alle fasi realizzative dell'opera, il piano prevede un monitoraggio topografico specifico con l'installazione sul recettore di target topografici e/o miniprismi e, in prossimità dello stesso, l'installazione di cippi di livellazione o caposaldi metallici. Il piano può prevedere, inoltre, l'installazione di vibrometri, clinometri e, in corrispondenza delle eventuali fessure esistenti, l'installazione di fessurimetri a vetrino (vedere paragrafo 5 RECETTORI SENSIBILI).

### 4.2 FREQUENZE DI LETTURA

La lettura di zero di tutti gli strumenti dovrà essere eseguita non appena possibile dopo l'installazione e comunque prima della fase di scavo successiva all'installazione dello strumento.

Per quanto riguarda le celle di carico, durante la fase di tesatura e collaudo del tirante ove vengono installate, devono essere eseguite letture con centralina portatile ad ogni step di carico previsto dalla procedura di collaudo ed al termine della tesatura.

Tutti gli strumenti installati sull'opera, per i quali siano previste letture manuali, dovranno essere letti, successivamente alla lettura di 0, almeno al termine di ogni fase di scavo. Qualora, fra il termine di una fase parziale di scavo e l'inizio della successiva intercorra più di una settimana, la lettura dovrà essere ripetuta con cadenza settimanale fino a stabilizzazione del dato e comunque almeno una volta prima dell'inizio della ripresa degli scavi.

Completati gli scavi, il programma di misure della strumentazione installata sull'opera dovrà proseguire con le seguenti scadenze:

- 2 letture per la prima settimana dal completamento dello scavo;
- 1 lettura settimanale per il successivo mese;
- 1 lettura ogni due settimane per i successivi mesi fino al completamento dell'opera.

Eventuali ulteriori letture potranno essere previste, in funzione degli spostamenti registrati durante le letture precedenti.

Le cadenze sopra elencate dovranno essere il più possibile coincidenti con l'inizio o la fine delle principali lavorazioni previste.

Qualora le celle di carico fossero cablate a datalogger per la lettura in continuo, successivamente alle letture di controllo durante l'installazione, dovranno essere programmate le seguenti frequenze di lettura:

- una lettura ogni min durante le fasi di tesatura del tirante; dopo tale periodo dovrà essere eseguito il primo scarico dati in modo da verificare il buon funzionamento del sistema di acquisizione dati;
- una lettura ogni 1 ora nelle 24 ore successive alla tesatura del tirante;
- una lettura ogni 2 ore fino a completamento delle fasi di scavo;
- una lettura ogni 12 ore fino a completamento dell'opera.

Lo scarico dati dovrà avvenire almeno una volta ogni 2 settimane durante le fasi scavo e mensilmente durante le lavorazioni successive. Almeno una volta al mese, in occasione dello scarico dati, dovrà essere verificato lo stato di carica delle batterie e, in caso di basso livello di carica, si dovrà procedere a sostituzione o ricarica della batteria.

Qualora si richieda il mantenimento in servizio della strumentazione anche dopo il completamento dell'opera si dovrà prevedere cadenza di lettura almeno giornaliera; inoltre sarebbe opportuno prevedere l'integrazione dell'alimentazione mediante pannello solare.

## 5 RECETTORI SENSIBILI

### 5.1 TIPOLOGIA E SCOPO DELLA STRUMENTAZIONE

Qualora l'opera oggetto del monitoraggio sia prossima a recettori sensibili, ovvero edifici, strade, manufatti e opere d'arte in genere, al fine di valutare eventuali cedimenti o lesioni conseguenti alle fasi realizzative dell'opera, il piano deve prevedere un monitoraggio topografico specifico con l'installazione sul recettore di targets topografici e/o miniprismi e, in prossimità dello stesso, l'installazione di cippi di livellazione o caposaldi metallici su cui eseguire rilievi topografici ripetuti. Nel caso sia richiesta un'elevata precisione (sicuramente nel caso di edifici), è da prevedersi l'utilizzo di miniprismi in luogo dei targets. In funzione della durata della campagna di monitoraggio presunta e dei livelli deformativi previsti sui recettori monitorati, potrà essere opportuno ricorrere a strumentazione di lettura topografica automatizzata, in luogo dei sistemi di lettura topografica tradizionali manuali, al fine di garantire una maggiore frequenza di lettura e permettere l'attivazione di allarmi automatici al superamento di soglie di deformazione predefinite.

Il monitoraggio topografico potrà essere integrato, soprattutto su manufatti alti, con l'installazione di clinometri biassiali preferibilmente in corrispondenza di almeno due allineamenti significativi del recettore stesso per valutare e quantificare eventuali distorsioni angolari.

Il piano deve prevedere, inoltre, in corrispondenza delle eventuali fessure esistenti, l'installazione di fessurimetri a vetrino.

Infine, si potrà prevedere l'installazione di vibrometri, qualora si prevedano elevati livelli di vibrazioni indotte dalle lavorazioni.

Prevedere la redazione di una perizia giurata che asseveri lo stato di consistenza dell'immobile (testimoniale di stato) prima e dopo le lavorazioni. Tale documento tecnico dovrà contenere:

- ubicazione e indicazioni della proprietà;
- descrizione dell'immobile;
- individuazione catastale dell'immobile (sia descrittiva che planimetrica);
- progetto autorizzato e/o varianti successive, as-built (se previsto) e collaudo statico;
- stato conservativo statico;
- ripresa fotografica dei locali dell'unità immobiliare con almeno 4 fotografie a vano (attribuzione alle riprese fotografiche di data certa);
- ripresa fotografica dei prospetti dell'unità immobiliare con numero adeguato di fotografie (attribuzione alle riprese fotografiche di data certa);
- identificazione dei punti di ripresa fotografica sulla planimetria dell'immobile analizzato;
- ripresa fotografica di eventuali lesioni/fessure/crepe e quant'altro già presente nell'immobile, con descrizione approfondita della geometria e individuazione sulle planimetrie e sui prospetti;

- conclusioni.

## 5.2 FREQUENZE DI LETTURA

Le frequenze di lettura da prevedersi, così come il ricorso a sistemi automatizzati, sono funzione dell'entità e tipologia delle deformazioni previste e del livello di danno previsto; pertanto devono essere definite in funzione del caso specifico.

## 6 VALUTAZIONI DI STABILITÀ DEL CORPO DEL RILEVATO DURANTE EVENTI DI PIENA DEL FIUME ARNO

Nel presente capitolo sono discussi due possibili strategie di monitoraggio da concordare con il gestore dell'infrastruttura, l'Autorità di Bacino ed il Genio Civile.

Il monitoraggio delle sponde del fiume Arno nei tratti in cui il fiume rimane in affiancamento all'autostrada si pone la finalità di verificare, nel tempo e sempre dopo eventi eccezionali o particolarmente intensi di piena del fiume Arno, il rispetto della distanza minima e la variazione della distanza tra l'argine e l'autostrada.

In particolare:

- TRATTO 1: tra il km 325+200 e il km 330+700 dovrà essere verificato che venga garantita una distanza minima dell'ordine di 10 m dal piede del rilevato autostradale all'argine del fiume;
- TRATTO 2: tra il km 334+300 e il km 335+706 (fine intervento) dovrà essere verificato che venga garantita una distanza minima dell'ordine di 15 m dal piede del muro esistente a sostegno del rilevato autostradale all'argine del fiume;

La frequenza di controllo deve essere annuale o dopo particolari eventi di piena ritenuti eccezionali dopo la chiusura dei lavori per minimo di 3 anni. Successivamente sono richiesti controlli garantendo una periodicità (minimo ogni 3 anni) e comunque dopo ogni evento di piena ritenuto significativo (evento dopo il quale si percepiscono visivamente variazioni plano-altimetriche dell'alveo).

### 6.1 TIPOLOGIA DI MONITORAGGIO

Per la valutazione delle possibili variazioni degli aspetti morfologici naturali (variazione della distanza tra l'argine e piede del rilevato autostradale) il monitoraggio potrà prevedere due strategie di rilievo differenti, sotto descritte:

- A. **Misure e osservazioni dirette sul terreno mediante sezioni topografiche di controllo** –
- Istallazione al piede del rilevato (Tratto 1) o sul muro esistente (Tratto 2) di postazioni di misura ove effettuare periodicamente sezioni topografiche, mediante rilievo topografico, allo scopo di valutare, nel tempo la possibile divagazione trasversale dell'asta fluviale. Nella Figura 6.1 un esempio rappresentativo di possibile "sezione di controllo". Saranno predisposte sezioni topografiche di controllo ogni 250m nel tratto 1 e ogni 50/100m nel tratto 2 con esecuzione del rilievo nella fase ante-operam e a chiusura dei lavori e comunque a seguito di eventi di piena importanti.

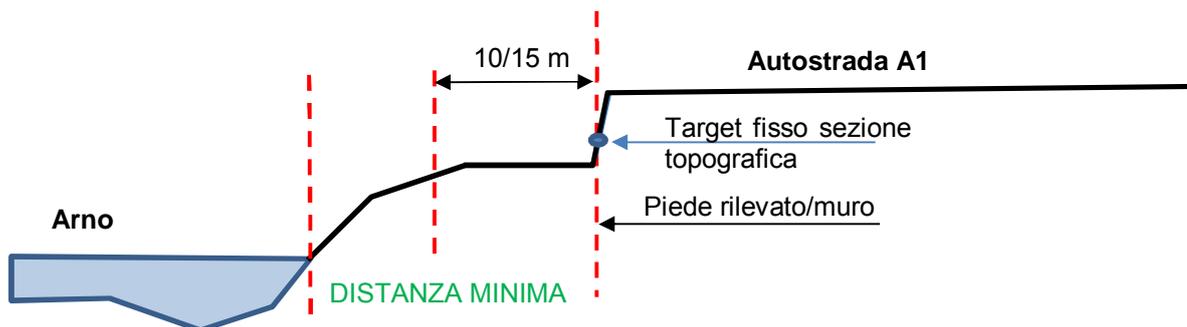


Figura 6.1. Sezione di controllo

Questo sistema ha il vantaggio di essere economico e di facile attuazione, anche in tempi brevi dopo particolari eventi eccezionali.

- B. **Misure da immagini e analisi GIS** da effettuare sugli interi tratti di interesse, attraverso l'analisi multi-temporale di rilievi LIDAR, tali da mappare eventuali arretramenti.

Il telerilevamento di prossimità o a bassa quota (LARS, Low Altitude Remote Sensing) è un insieme di tecniche di raccolta dati attraverso l'uso di sensori di varia natura (ottici, ecc.) montati su vettori (droni, elicotteri radiocomandati con un sistema ricevente digitale) che operano a poche centinaia di metri di quota.

I rilievi Lidar, i cui vantaggi sono molteplici e, nello specifico, riguardano:

- la facilità di impiego della tecnologia;
- i costi contenuti;
- l'ampia ripetibilità dei rilievi;
- la rapidità di intervento e di esecuzione del monitoraggio in aree inaccessibili o in condizioni emergenziali;
- l'ampia disponibilità di sensori ottici;
- la buona copertura spaziale del dato.

Attraverso l'utilizzo per esempio di Spatial Analyst verrà creato raster corrispondente alla differenza ottenuta cella per cella tra le griglie relative ai rilievi che si susseguiranno nel tempo con frequenze minime annuali e sicuramente dopo eventi eccezionali o particolarmente intensi di piena del fiume Arno.

Di seguito si riporta un esempio di trattazione delle immagini.



Figura 6.2. Esempio elaborazioni immagini

Nella figura precedente è rappresentato la sequenza delle elaborazioni da svolgere per la definizione delle possibili variazioni del profilo morfologico dell'Arno.

Con la lettera "A" si identifica lo stato iniziale, nella tratta di riferimento, al tempo  $t_0$  (avvio delle attività di monitoraggio), la lettera "B" rappresenta il rilievo eseguito con frequenza stabilita (annuale o dopo eventi rilevanti) al tempo  $t_i$ , la lettera C rappresenta il risultato del confronto "B" – "A" attraverso il quale sarà possibile valutare la variazione della distanza tra l'argine e l'autostrada.

Si prevede un rilievo LIDAR (DTM primo e ultimo impulso) in fase ante opera, accompagnato da rilievo topografico di cui al punto A. Durante l'esecuzione dei lavori il monitoraggio topografico dovrà essere eseguito nel caso vi sia evidenza di erosione o smantellamento delle barre laterali o a seguito di eventi particolarmente intensi con lettura aggiuntive funzionali ai lavori e all'affidabilità dei rilievi.

Ulteriori rilievi LIDAR saranno necessari a conclusione dei lavori in alveo a chiusura dei lavori di ampliamento alla terza corsia nel tratto (quindi tre voli sicuri). Successivamente ulteriori due voli opzionali saranno richiesti nel caso di eventi di piena importanti o con effetti diffusi di erosione di sponda.

## 7 SPECIFICHE TECNICHE E MODALITA' D'INSTALLAZIONE

### 7.1 TARGET TOPOGRAFICI E MINIPRISMI

#### 7.1.1 Generalità

L'installazione di mire ottiche e miniprismi sulle opere di sostegno (travi di testata in calcestruzzo armato, travi di contrasto dei tiranti), su idonei pilastri in calcestruzzo a piano campagna, sui recettori sensibili, permette l'esecuzione di rilievi topografici periodici e, quindi, il controllo degli spostamenti dell'opera, del versante e del recettore sensibile durante le diverse lavorazioni.

I riscontri topografici possono essere rilevati con sistema manuale tradizionale o con sistema automatico robotizzato, come meglio descritto ai punti seguenti.

L'utilizzo di miniprismi in luogo dei targets permette una maggiore precisione di letture ed è obbligatorio nel caso si preveda un sistema di rilevamento automatizzato.

#### 7.1.2 Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento

##### Mira ottica (target topografico)

Tipologia	Target adesivo riflettente con croce di mira
Dimensione	>= 40x40 mm
Campo di temperatura	-30° – 80°C

##### Miniprisma

Caratteristiche	Dotato di protezione metallica del miniprisma dagli agenti atmosferici e dai raggi del sole
Materiale prisma	quarzo
Dimensione del quarzo	>= 32 mm
Materiale supporto	alluminio

#### 7.1.3 Modalità d'installazione

L'installazione dei target e dei miniprismi dovrà essere realizzata secondo la seguente procedura:

- a) tracciamento topografico delle posizioni di installazione;

- b) fissaggio della staffa di supporto all'opera mediante tassellatura (nel caso di struttura in calcestruzzo) o saldatura (se struttura metallica);
- c) installazione del miniprisma o del target adesivo sulla staffa di supporto.

Al termine delle operazioni di posa potrà essere realizzata il primo rilievo topografico di riferimento per i successivi rilievi (lettura di zero).

#### 7.1.4 Sistema di lettura manuale

I riferimenti così installati dovranno fornire gli spostamenti assoluti dell'opera, in testa e sulle sezioni ad altezza intermedia, nelle tre componenti: abbassamenti, spostamenti radiali e tangenziali della paratia, o in alternativa, abbassamenti, spostamenti N e spostamenti E.

I caposaldi di riferimento dovranno essere ubicata all'esterno dell'area oggetto di movimento e controllabili topograficamente con altri riferimenti certi.

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da un teodolite accoppiato a un distanziometro elettronico di precisione. È richiesta la precisione seguente:

- teodolite: lettura angolare non superiore a 2 secondi centesimali;
- distanziometro elettronico:  $\pm 3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ .

#### 7.1.5 Sistema di lettura automatizzato

I rilievi topografici con sistema automatico dovranno essere svolti attraverso l'uso di stazioni totali robotiche con caratteristiche tecniche almeno equivalenti alla Stazione Totale LEICA TM30. La stazione dovrà essere dotata di sistema di remotizzazione del dato ad un computer dotato di appositi programmi di calcolo ed elaborazione dati attraverso sistema WLAN e/o tramite router GPRS.

La stazione robotica di monitoraggio automatico dovrà essere montata su postazione fissa composta da pilastro in cls armato con inghisata piastra di stazionamento in acciaio (piastra con bullone filettato di ancoraggio per la bassetta della stazione robotica).

A corredo di tale stazione dovrà essere fornito ed installato un armadietto tecnologico con:

- Batteria Tampone, a secco 12V/24Ah, con trasformatore di Rete 220V e protezioni del segnale e connettori speciali.
- Speciale SWITCH BOX Power Control per il controllo da remoto dell'alimentazione accendi/spegni della Stazione Automatica.
- Modulo per la gestione della Stazione Robotica da postazione remota.
- Connettori vari.

Poiché è possibile che la stazione di monitoraggio topografico venga ubicata all'interno dell'area potenzialmente soggetta a movimenti piano altimetrici, la posizione in est,nord e quota della stazione topografica dovrà essere determinata ogni volta che si effettua il monitoraggio attraverso un calcolo di stazione libera (intersezione inversa) eseguito in automatico da apposito software: in pratica la stazione topografica rileverà i punti di riferimento che avranno coordinate note ed attraverso il software di calcolo (che calcola l'intersezione inversa) stabilisce di volta in volta le coordinate della stessa orientandola nel sistema di coordinate adottato.

Per ogni stazione topografica dovranno essere stati installati almeno quattro punti di riferimento (possibilmente a non meno di 30° azimutali tra uno e l'altro) di cui saranno ricavate coordinate e quote mediando diversi cicli di letture: questi saranno posti esterni all'area monitorata in zone non interessate da un eventuale movimento pianoaltimetrico dovuto alle lavorazioni in corso.

I punti di riferimento verranno installati su fabbricati, muri, manufatti in c.a. o pilastri in c.a. costruiti appositamente.

Ogni volta che verranno calcolate le coordinate di stazione (est,nord e quota), il programma dovrà calcolare "l'errore" (deviazione standard in est, nord e quota) con cui sarà stata determinata la stazione. Questo errore dovrà essere calcolato dal software confrontando la posizione dei riferimenti rilevati durante il ciclo di monitoraggio con la posizione degli stessi inseriti nel programma di calcolo alla lettura di zero come capisaldi topografici fissi in posizione e quota. Se l'errore derivante dal calcolo delle coordinate di stazione (deviazione standard) verrà contenuto entro un certo range (di norma  $\pm 5$  mm. in est,  $\pm 5$  mm. in nord,  $\pm 5$  mm. in quota) il monitoraggio verrà validato e quindi verranno elaborati i dati dei punti monitorati e redatti i vari report il tutto in automatico utilizzando appositi programmi per la gestione del monitoraggio.

A supporto del controllo sopra descritto dovrà essere installata sullo stesso pilastro una antenna gps a doppia frequenza che dovrà memorizzare in streaming file rineex (24 ore su 24) e calcolare la posizione della stessa almeno una volta al giorno. Lo spostamento rilevato con l'antenna GPS dovrà corrispondere, a meno di qualche millimetro, allo spostamento calcolato con le intersezioni inverse della stazione totale robotica. Su almeno una stazione robotica si richiede un sensore meteo in grado di misurare temperatura e pressione atmosferica con aggiornamento dati in automatico plurigiornalieri.

I punti monitorati costituiti da prismi o miniprismi dovranno essere collimati in automatico dalle stazioni topografiche robotiche e rilevati almeno due volte (una in diritto e una in capovolto).

Il dato rilevato dovrà essere inviato ad un computer attraverso sistema WLAN o tramite router GPRS in modo da essere archiviato in un database.

Successivamente i dati strumentali archiviati saranno elaborati da softwares dedicati in grado di calcolare automaticamente i dati registrati e restituirli in forma grafica e tabellare. Si richiede che gli appositi programmi siano in grado di svolgere almeno le seguenti funzioni:

- Validazione della stazione se rientrante nel range della deviazione standard stabilita sul calcolo

dell'intersezione inversa ( $\pm 5$  mm. in est,  $\pm 5$  mm. in nord,  $\pm 5$  mm. in quota) con la stampa del report del risultato.

- Possibilità di indicare quale caposaldo utilizzare per il calcolo planimetrico della stazione e/o quale utilizzare per il calcolo della quota.
- Possibilità di inserire dei filtri per eliminare punti rilevati con anomalie (validare o meno un singolo punto) od interi cicli di misura anomali.
- Redazione automatica dei grafici contenenti gli spostamenti in EST,NORD e QUOTA di ogni singolo punto monitorato.
- Controllo automatico del superamento delle soglie di Attenzione, Allerta ed Allarme con avviso tramite sms e/o mail ai tecnici preposti (in questo caso il tecnico preposto dovrà verificare se l'allarme sia veritiero o meno attraverso un altro ciclo di misura, un sopralluogo ecc.)
- Impostazione e gestione da remoto delle stazioni robotiche e del numero di cicli di misura giornalieri di monitoraggio.

### 7.1.6 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche di ogni target topografico o miniprisma;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione della strumentazione installata (se installati su recettori sensibili prospetto e/o ripresa fotografica con individuata l'esatta collocazione);
- caratteristiche del target topografico (schema grafico) e/o del miniprisma (scheda tecnica);
- lettura topografica di riferimento.

### 7.1.7 Restituzione dei dati

I dati numerici strumentali elaborati mediante l'utilizzo dei software dedicati dovranno essere editabili ed avere preferibilmente un'estensione .xls, .csv o .txt mentre quelli grafici dovranno avere un'estensione .dxf , .dwg. Le restituzioni dei monitoraggi dovranno essere caricate giornalmente su apposito sito ftp in modo da rendere fruibili i dati in qualsiasi momento. I file di restituzione da caricare sul sito ftp dovranno essere in formato pdf. png o jpg.

## 7.2 ASSESTIMETRO A PIASTRA

### 7.2.1 Generalità

Per la determinazione delle deformazioni verticali della base del rilevato, durante le fasi di realizzazione dello stesso ed in seguito, è prevista l'installazione di assestimetri a piastra.

L'assestimetro a piastra è concepito in maniera tale da collocare la base di misura (piastra di base) alla base del rilevato, prima della sua realizzazione, ed installare a partire da questa, via via che il rilevato viene realizzato, una serie di aste giuntabili sulla cui testa posizionare una borchia di livellazione. Rilevando ripetutamente con sistemi topografici la borchia di livellazione, è possibile ricavare eventuali cedimenti della base stessa via via che si realizza il rilevato nelle sue varie fasi.

La precisione dei rilievi è assicurata dal fatto che le aste di misura sono svincolate da attriti laterali per l'interposizione di un tubo esterno in PVC corrugato munito di anelli centratori che mantengono la batteria di aste libere sulla verticale del punto di misura. Ogni anello centratore funge anche da tappo di tenuta in modo da evitare l'ingresso di materiale estraneo tra le aste ed il tubo antiattrito di rivestimento. Mediante periodiche misure topografiche della quota della borchia, correlandosi ad un caposaldo fisso, viene rilevato il cedimento della piastra di base.

### 7.2.2 Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento

L'assestimetro è costituito da:

- una piastra di base, formata da una lastra di ferro zincato di forma quadrata con lato 50 cm, a cui viene saldato e controventato l'innesto di raccordo per la batteria di aste di misura;
- aste di misura in acciaio zincato (diametro  $1.5 \div 3$  cm) giuntabili mediante appositi manicotti filettati;
- tubo corrugato (diametro 5 cm) con appositi centratori tra tubo e asta;
- borchia di livellazione in ottone.

### 7.2.3 Modalità d'installazione

L'assestimetro a piastra viene installato posizionando la piastra di base su di uno strato di sabbia fine compattata, preventivamente predisposto, sul terreno, alla base del rilevato; le aste di misura vengono aggiunte via via che il rilevato viene realizzato. È inoltre fondamentale che le fasi di edificazione e compattamento del materiale intorno allo strumento vengano condotte a mano, evitando l'intervento di mezzi per il movimento terra, al fine di evitare possibili danneggiamenti.

Al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico dello strumento fornendo le coordinate piano-altimetriche della piastra di base e della borchia di lettura.

#### 7.2.4 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione relativa all'installazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- caratteristiche del tubo antiattrito installato;
- lettura topografica di riferimento.

#### 7.2.5 Restituzione dei dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- quota/tempo;
- quota/altezza rilevato.

La restituzione dei dati deve avvenire sia in formato cartaceo che tramite supporto informatico in formato testo ed excel.

## 7.3 PIEZOMETRO TIPO CASAGRANDE

### 7.3.1 Generalità

Il piezometro tipo Casagrande consente il rilievo, mediante apposita sonda elettrica (freatimetro) munita di cavo graduato, della profondità della superficie piezometrica, attraverso l'inserimento in un foro di sondaggio di un piezometro costituito da un filtro cilindrico collegato a due tubicini rigidi in PVC per il raccordo con la superficie.

Il piezometro tipo Casagrande è adatto a terreni poco permeabili.

Il piezometro può essere attrezzato successivamente con trasduttore di pressione per letture automatizzate.

### 7.3.2 Normative e specifiche di riferimento

AGI Associazione Geotecnica Italiana (1977) - Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche.

### 7.3.3 Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento

La cella tipo Casagrande è costituita da un cilindro poroso di materiale plastico (ad es. polietilene soffiato) o di ceramica, che dovrà avere un diametro minimo di 50 mm e una lunghezza non inferiore a 200 mm; il collegamento del cilindro poroso con la superficie è assicurato da due tubicini rigidi in PVC (andata e ritorno); il tubicino in andata dovrà avere diametro non inferiore a 1.5" (gas) per permettere l'eventuale inserimento all'interno della tubazione di un trasduttore di pressione elettrico mentre, il tubicino in ritorno dovrà avere un diametro interno non inferiore a 15 mm e uno spessore non inferiore a 3 mm; i singoli spezzoni di tubo, di lunghezza generalmente variabile tra 1.5 e 3 m, dovranno essere collegati tra loro da appositi manicotti di giunzione. L'innesto tra la cella e la tubazione da 1.5" dovrà essere realizzato mediante apposito raccordo idraulico.

Le caratteristiche generali della cella piezometrica dovranno essere le seguenti:

Filtro	Diametro esterno 55 mm circa e lunghezza tra 100 e 500 mm
Materiale	Agglomerato di polietilene o equivalente
Porosità	Tra 20 e 60 micron
Campo di Temperatura	0° / +40° C

L'utilizzo di celle o tubi piezometrici di materiali o dimensioni diversi da quelli descritti dovrà essere subordinato ad approvazione da parte della Direzione Lavori.

Nel caso il piezometro sia attrezzato mediante trasduttore di pressione, quest'ultimo dovrà soddisfare le seguenti specifiche tecniche:

Principio di funzionamento	A corda vibrante
Campo di misura	Da definire
Massimo sovraccarico	30% del F.S.
Campo di Temperatura	0° / +40° C
Deriva termica	Non superiore a 0,05% del FS /°C
Precisione	0.3% F.S.
Sensibilità	0.01% F.S.
Segnale in uscita	frequenza
Campo di temperatura	-10 ÷ +55°C
Materiale	Acciaio inox

#### 7.3.4 Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui andrà installata la cella Casagrande dovrà essere eseguita utilizzando, come fluido di circolazione, acqua oppure fango a polimeri degradabili. In nessun caso è permesso l'uso di fango bentonitico.

Se la cella Casagrande non deve essere posata a fondo foro, il foro dovrà essere riempito, ritirando man mano il rivestimento, fino ad una quota di 0.5 m più bassa di quella di installazione, con una miscela acqua-cemento-bentonite in proporzioni tali che la consistenza della miscela, a posa avvenuta, sia simile a quella del terreno nella zona del piezometro.

Una volta avuta la presa, il foro deve essere accuratamente lavato con acqua pulita (previo degrado nel caso di presenza di fango a polimeri), interponendo se necessario un sottile tappo di palline di bentonite e ghiaietto per stabilizzare il tetto della miscela plastica.

#### 7.3.5 Modalità d'installazione

L'installazione seguirà le seguenti fasi, avendo cura, per ogni singolo step, di scandagliare la profondità del foro in modo da rispettare la profondità di posa di progetto:

- a) posa di uno spessore di 0.5 m di sabbia grossa o ghiaietto pulito ( Ø = 1 ÷ 4 mm);

- b) discesa a quota della cella Casagrande, precedentemente assemblata con i due tubicini rigidi in PVC; i singoli spezzoni di tubo dovranno essere collegati tra loro mediante appositi manicotti di giunzione, opportunamente sigillati;
- c) posa di sabbia grossa o ghiaietto pulito ( $\varnothing = 1 \div 4$  mm) attorno alla cella Casagrande e al di sopra per circa 0.5 m, ritirando man mano il rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che cella e tubicini non risalgano assieme al rivestimento;
- d) posa di un tampone impermeabile dello spessore complessivo di 1 m, realizzato inserendo bentonite in palline ( $\varnothing = 1 \div 2$  cm) in strati di 20 cm alternata a ghiaietto in strati di  $2 \div 3$  cm, ritirando sempre man mano il rivestimento;
- e) riempimento del foro al di sopra del tampone impermeabile con una miscela plastica acqua-cemento-bentonite (con proporzioni in peso rispettivamente di 100, 30 e 5), calata attraverso apposite aste discese sul fondo del foro;
- f) sistemazione e protezione della estremità del piezometro con la creazione di un chiusino in acciaio verniciato, ben cementato nel terreno, munito di coperchio con lucchetto e chiavi che verranno consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della D.L., in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- g) al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino, o al coperchio, un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento;
- h) esecuzione della prima lettura significativa, da considerarsi tale dopo aver eseguito almeno tre letture, la prima delle quali deve avvenire a non meno di due ore dalla realizzazione del piezometro e le successive a distanza di 24 ore l'una dall'altra, fino a completa stabilizzazione del livello dell'acqua nel foro; la misura del livello dovrà essere eseguita in entrambi i tubi del piezometro, controllando così che il circuito e il filtro siano liberi da bolle d'aria o impurità che possano impedire il libero flusso dell'acqua; in caso di rilevamento di un livello dell'acqua non uguale nei due tubi, dovrà essere eseguito il lavaggio dei tubi; a questa fase di controllo dovrà presenziare la Direzione Lavori che successivamente prenderà in consegna il piezometro.

### 7.3.6 Installazione del trasduttore di pressione (eventuale)

Nel caso si preveda l'automatizzazione del piezometro Casagrande, è richiesta l'installazione all'interno del piezometro di un trasduttore di pressione (inserito all'interno di una custodia appositamente sagomata con anello di tenuta) che sigilli il tubo a diametro maggiorato ( $1 \frac{1}{2}$ " ) e di un tappo con tenuta

tale da garantire la possibilità di realizzare la "chiusura" del secondo tubo (di diametro 1/2") e quindi della cella. Per l'installazione, si devono eseguire le seguenti operazioni:

- Lavaggio del piezometro prima dell'installazione del trasduttore;
- Controllo dell'integrità del filtro e del suo corretto montaggio sul corpo della cella;
- Saturazione della cella porosa in acqua disarmata;
- Esecuzione di una lettura di controllo per verificare l'effettivo valore di zero a pressione atmosferica;
- inserimento del traduttore con la punta conica e il contrappeso (es. tubo in acciaio inox appoggiato allo strumento) entro il tubo in PVC da 1 1/2" reggendolo per il cavo elettrico, fino a che vada ad inserirsi nella sede sulla cella porosa; per accertarsi che la quota raggiunta coincida con la quota di posa del filtro, controllare la lunghezza del cavo introdotto;
- durante la posa del trasduttore, devono essere eseguite letture di controllo per verificare il corretto funzionamento del trasduttore in relazione al carico piezometrico nel foro.
- collegamento del sensore alla centralina di misura ed inserimento del sensore nel tubo di misura, fino a raggiungere la sede di esercizio, ponendo particolare cura per evitare sovrappressioni dannose per il trasduttore, e lettura del livello di falda mediante misuratore di livello nel tubo da 1/2";
- esecuzione di una misura mediante centralina;
- inserimento nel tubo da 1/2" dell'elemento di chiusura dopo il ripristino delle condizioni iniziali (livello di falda stabilizzato);
- esecuzione di una misura dopo alcune ore dall'ultimazione dell'installazione della strumentazione ripetute nei giorni successivi.

Ad installazione ultimata, deve essere protetto la parte fuoriuscente del piezometro da p.c. mediante un pozzetto in cls o tubo metallico PVC serie pesante.

#### **7.4 POZZETTO DI PROTEZIONE**

La sistemazione e protezione della bocca della perforazione è fondamentale per garantire la durata nel tempo dell'installazione. E' indispensabile quindi prevedere adeguati pozzetti da definire in base alla situazione locale:

- in ogni caso tubo esterno di protezione in acciaio con tappo di chiusura provvisto di lucchetto in modo da impedire la manomissione.
- qualora sia previsto il possibile passaggio di mezzi, si dovrà prevedere un pozzetto di protezione carrabile in calcestruzzo a raso all'interno del quale ubicare il tubo di protezione con tappo provvisto di lucchetto anti manomissione; il pozzetto dovrà avere profondità sufficiente per evitare lo scalzamento ad opera delle acque superficiali e/o la manomissione;

Il pozzetto carrabile sarà costituito da:

- manufatto in cemento prefabbricato di tipo robusto, avente dimensioni 50 x 50 x 50 cm;
- copertura del tombino in ghisa, con dimensioni 50 x 50 cm, del tipo a chiusura stagna.

Il tubo di protezione metallico potrà essere a sezione quadra o circolare, provvisto di tappo con cerniera e dotato di lucchetto inossidabile. Il tappo dovrà includere un riscontro per la battitura topografica della testa. Sull'esterno del pozzetto deve essere riportato, con vernice rossa indelebile, l'indicativo del sondaggio.

Se possibile il pozzetto deve avere un foro di drenaggio e deve essere posto in modo da non essere perennemente pieno d'acqua.

#### 7.4.1 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- tipo e schema di installazione nel foro della cella Casagrande;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- tabella con le letture eseguite per la determinazione della prima lettura significativa.

Nel caso d'installazione del trasduttore di pressione, è richiesta la seguente documentazione aggiuntiva:

- documentazione tecnica del trasduttore rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura del sensore piezometrico, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa;
- tabella con le letture eseguite prima dell'installazione e dopo per la determinazione della prima lettura significativa.

#### 7.4.2 Restituzione dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- andamento del livello di falda rispetto al p.c. nel tempo.

---

I dati rilevati saranno elaborati mediante l'ausilio di un software dedicato che permetterà la restituzione tramite elaborati grafici da allegare ai tabulati numerici. Questi ultimi dovranno essere forniti anche su supporto informatico in formato testo.

## 7.5 TUBO INCLINOMETRICO

### 7.5.1 Generalità

L'installazione di un tubo inclinometrico in un foro di sondaggio o installato in palo o micropalo, consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la misura dello spostamento orizzontale del terreno o della struttura lungo tutta la verticale. Tali misure vengono effettuate introducendo nel tubo una apposita sonda inclinometrica che, dotata di sensori servoaccelerometrici di elevata precisione, consente di misurare l'inclinazione del tubo in corrispondenza di una determinata sezione.

### 7.5.2 Normative e specifiche di riferimento

ASTM D 4622 - 86 (1993) - Standard Test Method for Rock Mass Monitoring Using Inclinometers.

### 7.5.3 Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento

I tubi inclinometrici dovranno essere di alluminio o in ABS e dovranno avere una sezione circolare provvista di quattro scanalature con funzione di guida per la sonda inclinometrica.

Le dimensioni del tubo inclinometrico, dovranno essere le seguenti:

- $\varnothing_{\text{int}} \text{ tubo} = 76 \text{ mm};$
- $\varnothing_{\text{int}} \text{ guide} = 82 \text{ mm};$
- $\varnothing_{\text{est}} \text{ guide} = 86 \text{ mm};$

Dimensioni diverse del tubo inclinometrico da installare dovranno essere comunicate all'Impresa direttamente dalla Direzione Lavori.

I tubi inclinometrici, che dovranno essere disponibili in spezzoni di 3 m, dovranno soddisfare i seguenti requisiti:

- massa non inferiore a 1350 g/m;
- spiralatura dei tubi inferiore a 0.5°/m;
- assoluta perpendicolarità delle sezioni terminali degli spezzoni di tubo rispetto all'asse del tubo, con la tolleranza di 1°.

I tubi inclinometrici dovranno essere assemblati mediante manicotti di giunzione, della lunghezza minima di 300 mm, che dovranno soddisfare il seguente requisito:  $\varnothing_{\text{int}} \text{ guide manicotto} < \varnothing_{\text{est}} \text{ guide tubo inclinometrico} + \text{circa } 1 \text{ mm}.$

Il gioco massimo di accoppiamento tra i tubi (sfalsamento rotazionale) dovuto ai soli manicotti non dovrà essere superiore a 1°/giunto.

In caso di installazione di tubi inclinometrici in ambiente aggressivo (ambienti alcalini, presenza di correnti vaganti, ecc.) in luogo dei tubi in alluminio si utilizzeranno tubi in ABS di spessore minimo non inferiore a 4 mm, il cui utilizzo tuttavia dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

In nessun caso potranno essere installati tubi inclinometrici in materiali diversi (ad es. PVC o vetroresina).

#### 7.5.4 Controlli preliminari

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere in generale controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciate dovute al trasporto, soprattutto nelle parti terminali;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento della sonda di misura.

Solo per l'installazione di un tubo inclinometrico in un foro di sondaggio, si provvederà ai seguenti ulteriori controlli:

- il tubo per l'iniezione della miscela di cementazione, applicato all'esterno della colonna inclinometrica, dovrà essere perfettamente efficiente;
- la miscela di cementazione che dovrà essere costituita da acqua, cemento pozzolanico e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso;
- dovranno essere controllati, infine, il diametro delle punte del trapano, il diametro e la lunghezza dei rivetti, il tipo e la scadenza del mastice, l'efficienza della morsa di sostegno.

#### 7.5.5 Preparazione del foro (tubo inclinometrico installato in foro di sondaggio)

La perforazione del foro di sondaggio in cui verrà installato il tubo inclinometrico dovrà essere verticale e di diametro non inferiore a 101 mm e non superiore a 127 mm, con una deviazione globale dalla verticale non superiore al 2%.

La perforazione dovrà essere eseguita a carotaggio continuo.

Diametri di perforazione non inclusi nel range indicato dovranno essere approvati dalla DL.

Installato il tubo inclinometrico, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti e soprattutto fenomeni di spiratura del tubo stesso. Per facilitare le operazioni d'estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni

(colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

### 7.5.6 Installazione del tubo inclinometrico in foro di sondaggio

La posa in opera dei tubi inclinometrici dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- a) lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- b) preassemblaggio dei tubi inclinometrici in spezzoni di 6 m, terminanti ad un estremo con un manicotto. La realizzazione dei giunti dovrà avvenire nel modo seguente:
- c) inserimento del manicotto sul tubo per metà della sua lunghezza;
- d) realizzazione dei fori per i rivetti (> 4 per ogni tubo) lungo generatrici equidistanti dalle guide e a circa 50 mm dall'estremità del manicotto;
- e) con il manicotto in posizione mediante delle spine, inserimento di un altro tubo e realizzazione degli altri fori per i rivetti;
- f) rimozione del manicotto;
- g) applicazione di un sottile strato di mastice all'esterno del tubo e all'interno del manicotto;
- h) inserimento del primo tubo nel manicotto e chiodatura con rivetti;
- i) attesa di circa 10' e quindi applicazione di una abbondante fasciatura con nastro adesivo autovulcanizzante, evitando assolutamente bruschi movimenti che possano causare torsioni;
- j) montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo, già munito di manicotto, e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela questa ultima operazione non sarà necessaria;
- k) inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
- l) bloccaggio del tubo mediante apposita morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- m) inserimento dello spezzone successivo; incollaggio, rivettatura e sigillatura del giunto;
- n) allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;
- o) bloccaggio del tubo con la morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- p) prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo e la posizione dei manicotti;

- q) cementazione del tubo inclinometrico da fondo foro, da eseguire a bassissima pressione, in ogni caso non superiore a 200 kPa, attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo, osservando la risalita della miscela cementizia all'esterno del tubo inclinometrico; il rivestimento di perforazione dovrà essere estratto, operando solo a trazione e senza rotazione, non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;
- r) accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo inclinometrico mediante attrezzo a fori radiali preferibilmente dotato di pattini zigrinati per la pulizia delle guide;
- s) installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del tubo inclinometrico, dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo e dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della D.L., in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- t) controllo della funzionalità della tubazione mediante il calaggio nel foro una sonda testimone, lungo le guide del tubo fino a fondo foro. Il tubo inclinometrico sarà dichiarato idoneo, in via preliminare, se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita.
- u) al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento.

### 7.5.7 Installazione del tubo inclinometrico in pali, micropali o diaframmi

La posa in opera dei tubi inclinometrici in pali o micropali dovrà avvenire con le medesime modalità indicate al punto precedente (**7.5.6 Installazione del tubo inclinometrico in foro di sondaggio**) eccetto le operazioni di cui alle lettere a), k), q), r), u) ed integrate con le seguenti procedure:

- legatura del tubo inclinometrico, precedentemente assemblato, alla gabbia di armatura verticale per l'intera lunghezza (qualora l'installazione avvenga nei pali), o inserimento del tubo inclinometrico nell'armatura tubolare del micropalo, con l'accortezza di garantirne l'integrità durante il successivo getto. Il tubo dovrà essere parzialmente inglobato nel getto della trave di collegamento e/o canaletta;
- installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del

tubo inclinometrico, dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo e dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori.

### 7.5.8 Prolungamento del tubo inclinometrico

Ogni qualvolta si presenti la necessità di prolungare il tubo inclinometrico oltre il piano campagna, in funzione delle operazioni di riempimento e rimodellamento dell'eventuale rilevato, le operazioni da eseguire sono le seguenti:

- a) rimuovere il chiusino a protezione posto in testa al tubo inclinometrico;
- b) inserire lo spezzone di tubo inclinometrico con relativo incollaggio, rivettatura e sigillatura del giunto;
- c) posizionare un anello in cls di adeguate dimensioni a protezione del tubo inclinometrico;
- d) posizionare una camicia in acciaio o in PVC attorno al tubo inclinometrico;
- e) riempire l'anello in cls con ghiaietto;
- f) riempire l'intercapedine tra la camicia e il tubo inclinometrico con una miscela cementizia;
- g) sfilare sia l'anello in cls che la camicia in acciaio;
- h) riposizionare a testa foro il chiusino di protezione in acciaio verniciato precedentemente rimosso.
- i) controllare le funzionalità della tubazione mediante il calaggio nel foro una sonda testimone, lungo le guide del tubo fino a fondo foro. Il tubo inclinometrico sarà dichiarato idoneo, in via preliminare, se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita.
- j) al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plano-altimetriche della testa dello strumento.

Le sopraccitate operazioni sono da eseguirsi a regola d'arte preservando la strumentazione da eventuali urti o difetti di installazione e garantendone il corretto funzionamento.

### 7.5.9 Pozzetto di protezione

La sistemazione e protezione dell'estremità dei cavi in superficie è fondamentale per garantire la durata nel tempo dell'installazione. E' indispensabile quindi prevedere adeguati pozzetti da definire in base alla situazione locale:

- in ogni caso tubo esterno di protezione in acciaio con tappo di chiusura provvisto di lucchetto in modo da impedire la manomissione.
- qualora sia previsto il possibile passaggio di mezzi, si dovrà prevedere un pozzetto di protezione carrabile in calcestruzzo a raso all'interno del quale ubicare il tubo di protezione con tappo provvisto

di lucchetto anti manomissione; il pozzetto dovrà avere profondità sufficiente per evitare lo scalzamento ad opera delle acque superficiali e/o la manomissione;

Il pozzetto carrabile sarà costituito da:

- manufatto in cemento prefabbricato di tipo robusto, avente dimensioni 50 x 50 x 50 cm;
- copertura del tombino in ghisa, con dimensioni 50 x 50 cm, del tipo a chiusura stagna.

Il tubo di protezione metallico potrà essere a sezione quadra o circolare, provvisto di tappo con cerniera e dotato di lucchetto inossidabile. Il tappo dovrà includere un riscontro per la battitura topografica della testa. Sull'esterno del pozzetto deve essere riportato, con vernice rossa indelebile, l'indicativo del sondaggio.

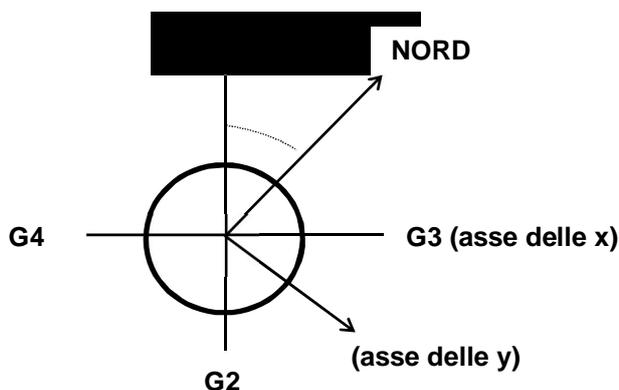
Se possibile il pozzetto deve avere un foro di drenaggio e deve essere posto in modo da non essere perennemente pieno d'acqua.

#### 7.5.10 Prescrizioni minime di accettazione della tubazione inclinometrica

Al termine delle operazioni d'installazione si dovrà verificare la funzionalità della tubazione inclinometrica attraverso il controllo della continuità e dell'allineamento degli spezzoni di tubo e la verifica della rispondenza dell'inclinazione e della spirallatura della tubazione alle specifiche di accettazione.

Le operazioni di collaudo e la lettura iniziale di riferimento saranno eseguite dalla Società incaricata del successivo monitoraggio, in contraddittorio con l'Impresa e alla presenza della Direzione Lavori.

Il controllo sarà eseguito calando nel foro una sonda testimone (di caratteristiche analoghe a quella da utilizzarsi per le successive misure), facendola scorrere lungo le guide del tubo fino a fondo foro, estraendola e quindi ripetendo l'operazione altre tre volte, dopo aver ruotato la sonda di 90° ogni volta che viene estratta dal foro. Il tubo inclinometrico sarà dichiarato idoneo se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita. In questa fase inoltre verrà scelta la guida di riferimento (guida 1), preferibilmente orientata secondo la probabile direzione di movimento, se ne misurerà l'azimut, e si numereranno tutte le guide secondo lo schema seguente:



In seguito dovranno essere verificate anche la verticalità e la spirality del tubo, che sarà dichiarato idoneo se la deviazione dalla verticale rilevata sarà inferiore al 2% e la spirality totale sarà inferiore a 0.5°/metro lineare.

Le suddette operazioni dovranno essere ripetute anche successivamente al completamento del getto del palo/diaframma.

### 7.5.11 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- caratteristiche del tubo inclinometrico installato;
- schema di installazione nel palo/diaframma del tubo inclinometrico;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- azimut della guida di riferimento e schema della numerazione delle guide;
- misura di deviazione dalla verticale;
- misura della spirality.

La documentazione richiesta deve essere fornita sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico in formato testo o excel.

### 7.5.12 Restituzione dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- grafico differenziale locale dello spostamento;
- grafico differenziale locale della direzione di spostamento (AZIMUT);
- grafico differenziale integrale dello spostamento;
- grafico differenziale integrale della direzione di spostamento (AZIMUT).

I dati rilevati saranno elaborati mediante l'ausilio di un software dedicato che permetterà la restituzione tramite elaborati grafici da allegare ai tabulati numerici. Questi ultimi dovranno essere forniti anche su supporto informatico in formato testo.

## **7.6 TUBAZIONE PER MISURA ESTENSIMETRICA INCREMENTALE PER LETTURE MANUALI (SLIDING MICROMETER)**

### **7.6.1 Generalità**

Per la determinazione delle deformazioni verticali del versante nel medio e lungo termine è prevista l'installazione di verticali estensimetriche incrementali.

La posa in opera all'interno di un foro di sondaggio comunque inclinato di una tubazione per misure estensimetriche incrementali consente, attraverso l'uso di una apposita sonda removibile, il rilievo delle variazioni di lunghezza lungo la tubazione conseguenti a deformazioni nel terreno in cui è inserita.

Il principio di funzionamento si basa sull'induzione elettromagnetica che consente di determinare la posizione e gli spostamenti di appositi anelli magnetici cementati alle pareti del foro.

La misura può essere accoppiata a misure inclinometriche, in modo da determinare gli spostamenti secondo tre componenti tra loro ortogonali.

### **7.6.2 Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento**

I tubi estensimetrici dovranno essere di ABS e dovranno avere una sezione circolare provvista di quattro scanalature con funzione di guida per la sonda estensimetrica.

Le dimensioni del tubo estensimetrico, per una perforazione di 127 mm, dovranno essere le seguenti:

- $\varnothing_{\text{int}} \text{ tubo} = 60 \text{ mm};$
- $\varnothing_{\text{est}} \text{ tubo} = 70 \text{ mm};$
- $\varnothing_{\text{int}} \text{ guide} = 63.5 \text{ mm};$
- spessore = 5.0 mm
- massa  $\geq 1600 \text{ g/m}$

All'esterno del tubo estensimetrico dovranno essere posizionati ad intervalli di lunghezza di 1 m appositi anelli metallici di massa non inferiore a 600 g.

Le caratteristiche generali della strumentazione estensimetrica dovranno essere le seguenti:

Materiale tubo	HPVC o ABS: □ 63/70 mm esterno
Manicotti	manicotti in ABS
Interdistanza basi di misura	1 m
Sensore	LVDT
Base di misura	1000 mm

Campo di Misura (f.s.)	+/- 50 mm
Precisione del sistema (sonda +centralina di acquisizione)	+/-0.3 mm/m
Campo di Temperatura	0° / +40° C

Dimensioni diverse del tubo estensimetrico da installare nel foro, in funzione di un diverso diametro di perforazione, dovranno essere indicate nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Impresa direttamente dalla Direzione Lavori.

### 7.6.3 Controlli preliminari

In cantiere, prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciate dovute al trasporto, soprattutto nelle parti terminali;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento della sonda di misura;
- l'eventuale tubo per l'iniezione della miscela di cementazione applicato all'esterno della colonna inclinometrica, dovrà essere perfettamente efficiente;
- la miscela di cementazione dovrà essere costituita da acqua, cemento e bentonite rispettivamente in proporzione di 100, 30 e 5 parti in peso.

### 7.6.4 Preparazione del foro

La perforazione del foro di sondaggio in cui verrà installato il tubo estensimetrico dovrà essere di diametro pari a 127 mm e dovrà avere l'orientazione indicata nel progetto delle indagini o dalla Direzione Lavori. La perforazione dovrà essere eseguita a carotaggio continuo.

Diametri di perforazione diversi da quello indicato dovranno essere indicati nel progetto delle indagini o dovranno essere comunicate all'Impresa direttamente dalla Direzione Lavori.

Una volta installato il tubo estensimetrico, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti al tubo estensimetrico. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

### 7.6.5 Modalità d'installazione

La posa in opera dei tubi estensimetrici dovrà avvenire in accordo con le seguenti modalità:

- a) lavaggio accurato con acqua pulita del foro di sondaggio;
- b) preassemblaggio dei tubi estensimetrici in spezzoni di 6 m, terminanti ad un estremo con un manicotto. L'accoppiamento dei manicotti con gli spezzoni di tubo dovrà avvenire impiegando apposito collante secondo la seguente procedura:
  - i. applicazione di un sottile strato di collante all'esterno del tubo e all'interno del manicotto;
  - ii. inserimento del manicotto sul primo tubo per metà della sua lunghezza;
  - iii. inserimento di un secondo spezzone di tubo nel manicotto;
  - iv. attesa di circa 10' e quindi applicazione di una abbondante fasciatura con nastro adesivo autovulcanizzante, evitando assolutamente bruschi movimenti che possano causare torsioni;
- c) montaggio del tappo di fondo sul primo spezzone di tubo, già munito di manicotto, e fissaggio dell'estremità inferiore del tubo per l'iniezione della miscela cementizia; nel caso in cui il tappo di fondo sia provvisto di apposita valvola unidirezionale per l'iniezione della miscela quest'ultima operazione non sarà necessaria;
- d) montaggio sul primo spezzone di tubo di un anello magnetico ogni metro di lunghezza, controllandone la posizione con apposito strumento spaziatore;
- e) inserimento del primo spezzone di tubo nel foro (in terreni sotto falda riempire il tubo di acqua per contrastare la spinta di Archimede e favorirne l'affondamento);
- f) bloccaggio del tubo mediante apposita morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- g) inserimento dello spezzone successivo su cui saranno stati posizionati ogni metro gli anelli magnetici; incollaggio e sigillatura del giunto;
- h) allentamento della morsa per permettere di calare il tubo nel foro (riempiendolo d'acqua se necessario) fissando nel contempo il tubo di iniezione;
- i) bloccaggio del tubo con la morsa, in modo che dal foro fuoriescano circa 40 ÷ 50 cm di tubo più il manicotto;
- j) prosecuzione delle operazioni descritte fino al completamento della colonna, annotando la lunghezza dei tratti di tubo e la posizione dei manicotti;
- k) introdurre nella colonna la batteria di tubi di iniezione completi di valvola di fondo;
- l) eseguire l'iniezione della boiaccia cementizia, confezionata per tempo come miscela fluida attraverso il tubo di iniezione o attraverso la valvola di fondo. Si operi con pressione e portata moderate, fino al ritorno a giorno di miscela non diluita in acqua;

- m) estrarre il rivestimento di perforazione provvisorio operando solo a trazione e senza rotazione, con l'ausilio eventualmente dell'argano;
- n) non appena la miscela appare in superficie; nella fase di estrazione del rivestimento il rabbocco della miscela potrà essere eseguito da testa foro, per mantenere il livello costante a p.c.; qualora si noti l'abbassamento del livello della miscela il rabbocco dovrà continuare nei giorni successivi;
- o) accurato lavaggio con acqua pulita dell'interno del tubo estensimetrico mediante attrezzo a fori radiali;
- p) installazione a testa foro di un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità del tubo estensimetrico e dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo, dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della D.L., in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- q) controllo della funzionalità della tubazione mediante il calaggio nel foro una sonda testimone, lungo le guide del tubo fino a fondo foro. La tubazione verrà dichiarata idonea, in via preliminare, se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita;
- r) al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate piano-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento;
- s) qualora si preveda il prolungamento della tubazione fare riferimento alle indicazioni riportate al precedente paragrafo 7.5.8 Prolungamento del tubo inclinometrico.

### 7.6.6 Pozzetto di protezione

La sistemazione e protezione dell'estremità dei cavi in superficie è fondamentale per garantire la durata nel tempo dell'installazione. E' indispensabile quindi prevedere adeguati pozzetti da definire in base alla situazione locale:

- o in ogni caso tubo esterno di protezione in acciaio con tappo di chiusura provvisto di lucchetto in modo da impedire la manomissione.
- o qualora sia previsto il possibile passaggio di mezzi, si dovrà prevedere un pozzetto di protezione carrabile in calcestruzzo a raso all'interno del quale ubicare il tubo di protezione con tappo provvisto di lucchetto anti manomissione; il pozzetto dovrà avere profondità sufficiente per evitare lo scalzamento ad opera delle acque superficiali e/o la manomissione;

Il pozzetto carrabile sarà costituito da:

- manufatto in cemento prefabbricato di tipo robusto, avente dimensioni 50 x 50 x 50 cm;
- copertura del tombino in ghisa, con dimensioni 50 x 50 cm, del tipo a chiusura stagna.

Il tubo di protezione metallico potrà essere a sezione quadra o circolare, provvisto di tappo con cerniera e dotato di lucchetto inossidabile. Il tappo dovrà includere un riscontro per la battitura topografica della testa. Sull'esterno del pozzetto deve essere riportato, con vernice rossa indelebile, l'indicativo del sondaggio.

Se possibile il pozzetto deve avere un foro di drenaggio e deve essere posto in modo da non essere perennemente pieno d'acqua.

### 7.6.7 Prescrizioni minime di accettazione della tubazione estensimetrica

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione, non prima di 10 ÷ 14 giorni dalla installazione, si dovrà verificare la funzionalità della tubazione estensimetrica attraverso il controllo della continuità e dell'allineamento degli spezzoni di tubo.

Le operazioni di collaudo e la lettura iniziale di riferimento saranno eseguite dalla Società incaricata del successivo monitoraggio, in contraddittorio con l'Impresa e alla presenza della Direzione Lavori.

Il controllo verrà eseguito calando nel foro una sonda testimone, facendola scorrere lungo le guide del tubo fino a fondo foro, estraendola e quindi ripetendo l'operazione altre tre volte, dopo aver ruotato la sonda di 90° ogni volta che viene estratta dal foro. Il tubo estensimetrico verrà dichiarato idoneo se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita.

Successivamente si dovrà effettuare la calibrazione iniziale della tubazione mediante sonda estensimetrica incrementale avente, registrando le differenze di lunghezza di tutti i tratti strumentati rispetto alla lunghezza di riferimento di un metro.

La tubazione estensimetrica verrà dichiarata idonea se tutte le distanze relative tra i riscontri di misura installati risulteranno comprese entro la tolleranza di  $\pm 5.0$  mm rispetto alla distanza nominale di 1 m. Nel caso di utilizzo della tubazione come estenso-inclinometro inoltre la deviazione dalla verticale dovrà risultare inferiore al 2%.

### 7.6.8 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, codifica dello strumento, data, nominativo dell'operatore);

- codifica dello strumento;
- stratigrafia del foro di sondaggio;
- caratteristiche del tubo estensimetrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo estensimetrico;
- quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento.

### 7.6.9 Restituzione dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- grafico differenziale locale dello spostamento verticale;
- grafico differenziale locale dello spostamento planimetrico;
- grafico differenziale locale della direzione di spostamento planimetrico (AZIMUT);
- grafico differenziale integrale dello spostamento verticale;
- grafico differenziale integrale dello spostamento planimetrico;
- grafico differenziale integrale della direzione di spostamento planimetrico (AZIMUT).

I dati rilevati saranno elaborati mediante l'ausilio di un software dedicato che permetterà la restituzione tramite elaborati grafici da allegare ai tabulati numerici. Questi ultimi dovranno essere forniti anche su supporto informatico in formato testo.

## 7.7 ESTENSIMETRO MULTIBASE AD ASTE

### 7.7.1 Generalità

Le misure con estensimetri da foro consentono di monitorare gli spostamenti relativi tra la testa di un foro di sondaggio comunque orientato ed un ancoraggio fissato in profondità all'interno dello stesso; in un singolo foro di sondaggio possono essere posizionati più estensimetri ad asta con ancoraggi a diverse profondità.

Il sistema prevede l'installazione, all'interno di perforazioni, di punti di ancoraggio collegati alla superficie con aste di vetroresina protette da una robusta guaina esterna. Le aste, libere di scorrere all'interno della loro guaina protettiva, trasferiscono il movimento del punto di ancoraggio alla testa dello strumento. Tale movimento viene rilevato tramite un trasduttori di spostamento elettrico installati alla testa delle astine di misura.

### 7.7.2 Normative e specifiche di riferimento

ASTM D 4403 - 84 (94) - Standard Practice for Extensometers Used in Rock.

### 7.7.3 Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento

Gli estensimetri ad asta a singola base (ancoraggio) o multibase saranno costituiti dai seguenti elementi:

- testa di misura in ferro zincato ad una o più basi con alloggiamenti in acciaio inox per i trasduttori lineari di spostamento protetti da tappo in plastica, dotata di coperchio di protezione a tenuta stagna;
- riscontri di lettura con astine filettate di lunghezza non inferiore a 150 mm riposizionabili;
- aste di misura in acciaio con idoneo sistema di accoppiamento e dotate di tubazione rigida di protezione in PVC o acciaio;
- ancoraggi profondi in acciaio ad aderenza migliorata di lunghezza non inferiore a 500 mm da cementare alle pareti del foro;
- sistema di collegamento tra gli ancoraggi e le aste di misura;
- tubo di iniezione della malta cementizia.

Le caratteristiche generali della strumentazione dovranno essere le seguenti:

#### Estensimetro a barre

Materiale aste	fibra di vetro
Coefficiente di espansione lineare	$3,5 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Diametro astine	7 mm

Guaina protettiva	nylon
Numero basi	3 basi

#### Trasduttore di spostamento

Range di misura	50-100 mm
Tipo di sensore	Potenziometro lineare
Linearità	0,02% FS
Accuratezza	0,01% FS
Grado di protezione	IP 56
Temperatura operativa	da -10 a 50°C

#### **7.7.4 Preparazione del foro**

Il foro per l'installazione di basi estensimetriche ad asta dovrà avere diametro non inferiore a 101 mm nel caso di estensimetri fino a 3 basi di misura e non inferiore a 127 mm nel caso di estensimetri fino a 6 basi di misura e dovrà avere una lunghezza superiore di almeno 50 cm della lunghezza relativa alla base di ancoraggio più profonda.

Una volta installate le basi di misura, il rivestimento del foro dovrà essere estratto con movimenti di sola trazione e assolutamente senza rotazione della colonna del rivestimento, per evitare danneggiamenti e/o spostamenti delle basi di ancoraggio e delle astine in vetroresina. Per facilitare le operazioni di estrazione della colonna del rivestimento, essa dovrà avere giunti con filettatura M/F senza manicotti o ingrossamenti esterni (colonna liscia), dovrà essere in ottimo stato (senza scampanature in corrispondenza dei giunti filettati) e dovrà essere di notevole spessore (10 mm circa).

#### **7.7.5 Modalità d'installazione**

Al termine dell'esecuzione del foro si provvederà ad installare nel foro gli estensimetri ad asta, avendo cura di posizionare gli ancoraggi esattamente alle profondità indicate dal progetto delle indagini o dalla Direzione Lavori.

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- a) posizionare l'estensimetro svolto in prossimità del foro in cui sarà installato;
- b) inserire la dima di installazione sulla testa dell'estensimetro per bloccare lo scorrimento delle barre in vetroresina durante l'installazione;
- c) inserire la base più lunga nella cavità all'interno del foro fissando il tubo di iniezione con nastro

adesivo ad intervalli regolari. Quando si arriva ad un ancoraggio, montare il centratore. Ripetere l'operazione per tutte le basi di misura;

- d) fissare e sigillare la testa dell'estensimetro a bocca foro con cemento a presa rapida o con l'utilizzo di un packer gonfiabile;
- e) quando la testa estensimetrica risulta fissata si passa alla cementazione per iniezione dello strumento (la composizione della miscela cementizia è normalmente la seguente: 100 Kg di acqua, 30 Kg di cemento, 5 Kg di bentonite attivata) si deve procedere iniettando la malta cementizia dal tubetto più lungo. In questo caso, se non si verificano inconvenienti durante l'iniezione si deve vedere fuoriuscire malta, contemporaneamente dagli altri due tubetti;
- f) sigillare i tubi di iniezione e di sfiato;
- g) attendere il tempo necessario per consentire la completa maturazione della miscela cementizia (a tal scopo, durante la fase di iniezione dello strumento, è opportuno riempire di miscela una piccola cavità in roccia o un piccolo contenitore in polistirolo per sincerarsi direttamente della consistenza del prodotto);
- h) sbloccare le aste di misura interne rimuovendo la dima di installazione dalle connessioni;
- i) installare la piastra di riscontro delle astine di misura;
- j) A presa avvenuta procedere alla regolazione dello zero iniziale impiegando un comparatore centesimale o un trasduttore lineare di spostamento ed agendo sulla vite di regolazione della testa di misura, con esecuzione di almeno tre misure di riscontro;
- k) installare, se richiesti da Progetto o dalla Direzione Lavori, i trasduttori elettrici di spostamento:
- l) cablare le terminazioni elettriche utilizzando un cavo multipolare per ogni estensimetro;
- m) svolgere i cavi elettrici, aventi una lunghezza tale da raggiungere il pannello di centralizzazione e lettura o direttamente alla Unità di Acquisizione Dati;
- n) proteggere la testa estensimetrica con il proprio coperchio;
- o) nel caso di installazioni verticali da piano campagna, installare a testa foro un chiusino di protezione in acciaio verniciato; il chiusino di protezione, che dovrà essere ben cementato al terreno, dovrà sporgere di almeno di 10 cm dalla sommità della testa dello strumento, dovrà essere provvisto di un coperchio con chiusura antigelo e dotato di lucchetto e chiavi che dovranno essere consegnate alla Direzione Lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della D.L., in luogo del chiusino standard dovrà essere installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
- p) al termine dell'installazione dovrà essere eseguito il rilievo topografico fornendo le coordinate plan-altimetriche della testa dello strumento. Dovrà inoltre essere installato, un paletto identificativo con codifica dello strumento adiacente allo stesso. In alternativa, si potrà rivettare al chiusino, o al

coperchio, un'etichetta metallica con l'identificativo dello strumento.

### 7.7.6 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- diametro del foro di sondaggio;
- Codifica dello strumento;
- Quota del piano campagna, quota assoluta o relativa e coordinate planimetriche della testa di misura;
- Stralcio planimetrico di Progetto con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione;
- schema di installazione nel foro degli estensimetri con indicazione della profondità degli ancoraggi;
- Certificati di taratura dei trasduttori di spostamento, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi dalla data di posa;
- risultati della calibrazione iniziale con indicazione dello zero iniziale espresso in centesimi di millimetro, della temperatura dell'aria, della roccia e del sistema estensimetrico;
- documentazione di tutte le misure eseguite.

### 7.7.7 Restituzione dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- spostamenti relativi di ciascuna coppia di ancoraggi adiacenti in funzione della profondità (grafico degli spostamenti differenziali);
- sommatoria degli spostamenti differenziali (spostamenti integrali), rispetto alla base più profonda che viene ipotizzata fissa.

I dati rilevati saranno elaborati mediante l'ausilio di un software dedicato che permetterà la restituzione tramite elaborati grafici da allegare ai tabulati numerici. Questi ultimi dovranno essere forniti anche su supporto informatico in formato testo.

## 7.8 CLINOMETRO DI SUPERFICIE

### 7.8.1 Generalità

L'installazione di un clinometro di superficie consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la determinazione della variazione di inclinazione superficiale di una parete rocciosa o di singoli blocchi rocciosi o di superfici di strutture civili o particolari strutture da cui sono attesi spostamenti con componenti rotazionali.

In genere i clinometri di superficie possono incorporare un unico sensore (monoassiali) o due sensori montati su piani ortogonali (biassiali).

### 7.8.2 Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento

La strumentazione dovrà essere costituita da:

- o clinometro di superficie biassiale fisso dotato di appositi sensori servoaccelerometrici per la misura dell'inclinazione, rispondenti alle seguenti specifiche tecniche:

Campo di misura	$\pm 15$
Risoluzione	0.001% F.S.
Sensibilità	$1/20.000 \text{ sen } \alpha$
Ripetibilità	0,01% F.S.
Temperatura di esercizio	$-20^{\circ}\text{C} + 70^{\circ}\text{C}$
Assetto azimutale	$<0.5^{\circ}$
segnale elettrico in uscita	$4 \div 20 \text{ mA}$

- o staffa di supporto per il fissaggio alla parete con possibilità di regolazione tridirezionale dello strumento;
- o cavo elettrico a 6 conduttori schermato, di collegamento tra il clinometro e il pannello di misura, conforme alle specifiche tecniche delle presenti Norme Tecniche d'Appalto;
- o pannello di centralizzazione e misura dotato di connettori per l'esecuzione delle misure con centralina di lettura e alimentazione portatile; il pannello dovrà essere dotato di chiusura con lucchetto e chiavi che saranno consegnate alla Direzione Lavori.

L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

### 7.8.3 Modalità d'installazione

Nell'installazione del clinometro particolare cura dovrà essere posta nell'assicurare un perfetto accoppiamento della staffa di supporto con la parete rocciosa e/o struttura

L'ubicazione dello strumento e l'orientazione degli assi di misura dovranno essere conformi alle indicazioni fornite nel progetto delle indagini o dalla Direzione Lavori.

Dopo l'installazione dello strumento dovrà essere effettuata una calibrazione iniziale di zero ottenuta dalla media di almeno 4 distinte letture eseguite con centralina di lettura portatile attraverso il pannello di misura.

### 7.8.4 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione da fornire al termine dell'installazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore, codifica dello strumento);
- codifica dello strumento;
- schema di installazione del clinometro con indicazione dell'orientazione degli assi di misura (sensori);
- risultati della calibrazione iniziale con documentazione di tutte le misure effettuate;
- certificato di taratura del clinometro, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.

### 7.8.5 Restituzione dei dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- variazione di inclinazione e/o rotazione in funzione del tempo dei singoli sensori.

La restituzione dei dati deve avvenire sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico in formato testo ed excel.

## 7.9 CELLE DI CARICO TOROIDALI

### 7.9.1 Generalità

Le celle di carico elettriche sono composte da un corpo in acciaio di forma toroidale, sensibilizzato con strain-gauges di tipo resistivo e una piastra in acciaio che permette una più omogenea ripartizione del carico sull'interno della cella. Sotto carico la cella toroidale subisce una deformazione che viene rilevata dagli estensimetri che variando il loro valore di resistenza generano un segnale elettrico proporzionale al carico applicato.

### 7.9.2 Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento

Le principali specifiche tecniche richieste sono riassunte nella tabella seguente:

Materiale	acciaio inossidabile 17-4PH
Fondo scala	750 kN per tiranti a 3 o 4 trefoli 1200 KN per tiranti a 5 o 6 trefoli
Carico ammissibile	150% FS
Sensibilità	0,001 mV
Accuratezza	<0,5%FS
Temperatura operativa	-10 °C +55°C

### 7.9.3 Modalità d'installazione

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- spianare e lisciare la superficie di contatto nell'intorno del foro predisposto per il tirante da strumentare, scalpellando le asperità maggiori;
- stendere un leggero strato di cemento a presa rapida per garantire la planarità della superficie, qualora ce ne fosse la necessità;
- appoggiare la cella di carico sulla superficie predisposta ed installare la piastra di distribuzione;
- collegare la cella ad una centralina portatile e procedere alla fase di tesatura del tirante fino al valore di progetto, ricordandosi che successivamente alla tesatura si verifica un assestamento di tutto il sistema e quindi una diminuzione del valore di carico di circa un 10-15%; dovrà essere registrato il valore letto nel momento della tesatura (raggiunto il valore di progetto) e subito dopo aver scollegato il martinetto di tesatura, al fine di quantificare la perdita di carico;
- fissare i cavi delle celle di carico lungo il paramento della galleria o della paratia con semplice filo di legatura fino ad un pannello di centralizzazione o direttamente all'Unità di Acquisizione Dati.

#### 7.9.4 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione da fornire al termine dell'installazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, n. tirante strumentato, data, nominativo dell'operatore);
- codifica dello strumento;
- prospetto di Progetto dell'opera con indicazione dell'ubicazione dello strumento;
- schema grafico del cablaggio a centralina di lettura o datalogger (ove previsto)
- risultati della tesatura iniziale con documentazione di tutte le misure effettuate (lettura di controllo prima della tesatura, lettura in fase di tesatura, lettura immediatamente dopo la tesatura);
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura della cella di carico, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa.

#### 7.9.5 Restituzione dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- carico rilevato in funzione del tempo;

I dati rilevati saranno elaborati mediante l'ausilio di un software dedicato che permetterà la restituzione tramite elaborati grafici da allegare ai tabulati numerici. Questi ultimi dovranno essere forniti anche su supporto informatico in formato testo.

## 7.10 BARRETTE ESTENSIMETRICHE

### 7.10.1 Generalità

Per la determinazione delle deformazioni e la stima delle tensioni in pali e diaframmi, cosiccome nei cordoli d'irrigidimento e nelle centinature dei pozzi di fondazione dei viadotti e dei pozzi drenanti, è prevista l'installazione di barrette estensimetriche (strain meters) a corda vibrante da saldare alle barre d'armatura o alle centine.

Le barrette estensimetriche permettono di misurare la distribuzione di deformazione assiale nella sezione strumentata, da cui è possibile derivare una stima di azione assiale e momento flettente.

Nel caso di installazione all'interno di pali o diaframmi in opere di sostegno, si prevede la strumentazione di diverse sezioni lungo il palo/diaframma (il numero e le profondità di applicazione dovranno essere indicati negli elaborati grafici), ognuna delle quali costituita da n.4 barrette saldate alle barre dell'armatura principale.

Nel caso di installazione in cordoli d'irrigidimento in c.a. di pozzi strutturali o di fondazione, è prevista l'installazione di n.4 sezioni strumentate, ognuna costituita da n.2 barrette estensimetriche (una ad estradosso ed una ad intradosso) saldate alle barre d'armatura principale.

Nel caso di installazione in centinature di pozzi strutturali o di fondazione costituite da profilati in acciaio, è prevista l'installazione di n.4 sezioni strumentate, ognuna costituita da n. 4 barrette estensimetriche (2 ad estradosso e 2 ad intradosso) saldate alle ali delle putrelle.

Nel caso di installazione sulle bandelle delle terre armate/rinforzate vedere quanto riportato al paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

Gli estensimetri a corda vibrante sono costituiti da un corpo tubolare in acciaio inox sigillato, all'interno del quale si trova un filo di acciaio, teso tra due supporti (blocchi) resi solidali mediante saldatura o resinatura alla struttura da monitorare (barra d'armatura o putrella in acciaio). Ogni deformazione della struttura comporterà uno spostamento relativo dei supporti e una conseguente variazione di tensione (e quindi di frequenza di vibrazione) della corda di acciaio. Tale tensione viene misurata eccitando la corda mediante un elettromagnete e rilevandone la frequenza di risonanza. Le barrette devono essere provviste di sensore di temperatura per poter registrare la temperatura e quindi poter valutare eventuali effetti termici sullo stato tensio-deformativo dell'elemento strutturale.

### 7.10.2 Specifiche tecniche e caratteristiche dello strumento

Le caratteristiche generali della strumentazione dovranno essere le seguenti:

Lunghezza	150-250 mm
Segnale in uscita	Hertz
campo di misura	3000 $\mu\epsilon$

range di temperatura	-20, +60 °C
Precisione	< 2% F.S.
Sensibilità	0,5 $\mu\epsilon$
Stabilità	0,1% FS/anno
Coefficiente di espansione termica	12,0 $\mu\epsilon$ /°C
Termistore	NTC (YSI 44005)
Precisione termistore	0,5° C

L'utilizzo di strumentazione con caratteristiche diverse da quelle sopra descritte dovrà essere subordinato a preventiva autorizzazione da parte della Direzione Lavori.

### 7.10.3 Modalità di installazione

Gli estensimetri dovranno essere messi in opera, conformemente agli schemi ed all'orientazione di progetto, previa accurata pulitura del punto di installazione.

Le procedure di installazione da adottarsi dovranno essere le seguenti:

- a) fissare mediante saldatura ad arco i blocchetti di ancoraggio nelle posizioni prestabilite sulla barra d'armatura, nel caso di elemento strutturale in c.a., o, nel caso di centina in acciaio, sulla superficie interna delle ali della centina metallica a ridosso dell'anima, utilizzando una apposita dima distanziatrice;
- b) inserire le estremità dell'estensimetro nei blocchetti di ancoraggio prestando molta attenzione a che le viti di serraggio entrino perfettamente nell'alloggiamento preposto all'interno dei suddetti blocchetti;
- c) serrare una delle estremità dell'estensimetro al blocchetto con l'apposita vite a frugola;
- d) tendere manualmente l'estensimetro fino a raggiungere la posizione desiderata in funzione del comportamento atteso del profilato (solitamente la posizione intermedia del campo di misura strumentale), avendo cura di non oltrepassare il limite inferiore o superiore del campo di misura strumentale. Per effettuare questa operazione è necessario collegare lo strumento ad una centralina di misura manuale che fornisca in tempo reale i valori di frequenza di vibrazione del filo d'acciaio;
- e) proteggere lo strumento da eventuali urti accidentali con un lamierino metallico sottile sagomato ad arte, fissato alla pannellatura con punti di saldatura ad arco, o con un piccola protezione in polistirolo;
- f) svolgere i cavi elettrici, aventi una lunghezza tale da raggiungere l'Unità di Acquisizione Dati fissandoli mediante legature di ferro o fascette plastiche alla gabbia d'armatura lungo il palo/diaframma o, nel caso di pozzi di fondazione e drenanti ai cordoli d'irrigidimento o centinature

superiori; i cavi dovranno essere adeguatamente protetti e fissati per evitare che eventuali sforzi di trazione sugli stessi siano trasmessi al sensore;

- g) durante l'installazione dovranno essere eseguite almeno le seguenti letture di controllo: lettura all'atto dell'applicazione della singola barrette, per verificare il buon funzionamento dello strumento; nel caso di pali/diaframmi, lettura immediatamente dopo la posa della gabbia d'armatura all'interno dello scavo, al fine di verificare eventuali anomalie dovute alla fase di posa in opera della gabbia d'armatura; lettura immediatamente dopo il getto per verificare eventuali malfunzionamenti dovuti alla fase di getto.

#### 7.10.4 Documentazione richiesta relativa all'installazione

La documentazione da fornire al termine dell'installazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- schema grafico di installazione degli strain meters sulla centina con indicazione dell'orientazione e della posizione; ivi compresa la codifica dei singoli strumenti;
- schema grafico del cablaggio a centralina di lettura o datalogger (ove previsto)
- documentazione tecnica relativa allo strumento installato rilasciata dal produttore, con indicazione del tipo di strumento e delle relative caratteristiche tecniche;
- certificato di taratura della strumentazione, con indicazione della sensibilità iniziale e della deriva strumentale, di data non anteriore di sei mesi la data di posa;
- risultati delle letture effettuate in termini di frequenza e di deformazione.

#### 7.10.5 Restituzione dati

Si richiede la restituzione grafica e numerica dei seguenti dati:

- deformazione rilevata in funzione del tempo;
- tensione (derivata dalla deformazione) in funzione del tempo.

I dati rilevati saranno elaborati mediante l'ausilio di un software dedicato che permetterà la restituzione tramite elaborati grafici da allegare ai tabulati numerici. Questi ultimi dovranno essere forniti anche su supporto informatico in formato testo.

## 7.11 SISTEMI DI ACQUISIZIONE A DUE O PIÙ CANALI

### 7.11.1 Generalità'

Le unità di acquisizione dati consentono l'acquisizione automatica, secondo cadenze prefissate e modificabili in qualsiasi momento, dei segnali provenienti dai trasduttori elettrici (di qualsiasi natura), fornendo loro nel contempo l'opportuna alimentazione. Le unità sono completamente autonome sia dal punto di vista dell'alimentazione elettrica che della memorizzazione dei dati: devono poter essere abbandonate in campo anche nelle più disagiati condizioni climatiche e/o ambientali. Il loro uso consente di ottenere un gran numero di dati senza la necessità di recarsi sul posto per la misura manuale.

Unitamente all'acquisitore dovrà essere fornito il software di gestione dello stesso. Il file di output delle misure acquisite dovrà essere, in ogni caso, compatibile con il programma excel (es. formati .xls o versioni successive, .csv, .txt).

### 7.11.2 Caratteristiche delle apparecchiature a 2 canali

Queste apparecchiature, alloggiare in "case" di adeguate dimensioni e geometria ed alimentate mediante batterie a secco o ricaricabili, possono essere utilizzate anche all'interno di fori di sondaggio per la misura di uno o due segnali (esempio la misura del livello e la temperatura) e sono costituite dai seguenti elementi:

- scheda elettronica a microprocessore con memoria tamponata per la memorizzazione dei parametri operativi con capacità non inferiore a 8 Kbyte;
- scheda PCMCIA per la memorizzazione dei dati acquisiti con capacità non inferiore a 128 Kbyte;
- porta seriale RS232 optoisolata per collegamento a PC o, in alternativa, porta USB (il cavo di collegamento dovrà essere fornito alla Direzione Lavori, unitamente all'acquisitore);
- connettori tipo MIL per il collegamento rapido dei trasduttori;
- scheda di ingresso a multiplexer con relè per ciascun ingresso;
- convertitore A/D autorange e autozero a doppia rampa con risoluzione  $\pm 20000$  punti;
- ingresso digitale (contatore a 4 cifre);
- protezioni elettriche a 4 livelli su ciascun canale di ingresso (opzionali);
- armadio di contenimento IP67 per le versioni all'aperto e IP68 per le versioni da inserire in fori di sondaggio.

Le apparecchiature installate devono in ogni caso soddisfare i seguenti requisiti:

- autonomia di almeno 4 mesi con 2 acquisizioni giornaliere;
- possibilità di impostare tramite il software, anche per via remota in caso di utilizzo di modem di

trasmissione dati, i seguenti parametri:

- range di scansione;
  - range di acquisizione;
  - alimentazione dei sensori;
  - fondo scala elettrico;
  - linearizzazione del segnale mediante impostazione del gain e dello zero per la conversione in unità ingegneristiche.
- temperatura di funzionamento da  $-20^{\circ}$  a  $+70^{\circ}$  ;
  - Acquisitore Multisensor: possibilità di misurare sensori in corrente (4 ÷ 20 mA), in tensione, strain-gage, Pt100, fornendo loro una tensione variabile da 2 a 24 V dc (scelta canale per canale) o una corrente di riferimento (1 mA).

### **7.11.3 Caratteristiche delle apparecchiature pluricanale**

In questo caso le apparecchiature, alimentate mediante batterie a secco o ricaricabili, dovranno essere espandibili con schede di espansione da 16 canali analogici ciascuno fino ad un massimo di 96 canali analogici e saranno costituite dai seguenti elementi:

- scheda elettronica a microprocessore con memoria tamponata per la memorizzazione dei parametri operativi con capacità non inferiore a 8 Kbyte;
- scheda PCMCIA per la memorizzazione dei dati acquisiti con capacità non inferiore a 128 Kbyte;
- doppia porta seriale RS232 optoisolata con possibilità di collegamento in cascata di più unità di acquisizione dati, riconoscibili mediante indirizzo, fino ad un massimo di 64 unità;
- porta seriale RS232 optoisolata per collegamento a PC o, in alternativa, porta USB (il cavo di collegamento dovrà essere fornito alla Direzione Lavori, unitamente all'acquisitore);
- scheda di ingresso a multiplexer con relè per ciascun ingresso;
- convertitore A/D autorange e autozero a doppia rampa con risoluzione  $\pm 20000$  punti;
- protezioni elettriche a 4 livelli su ciascun ingresso analogico (opzionali);
- display alfanumerico a cristalli liquidi e tastiera per la programmazione di tutti i parametri operativi anche senza la disponibilità di un PC;
- relè generale di massimo e minimo attivabile automaticamente in caso di superamento delle soglie di allerta;
- armadio di contenimento IP67 in lamiera verniciata o poliestere rinforzato, con pressacavi a tenuta per gli ingressi dei cavi provenienti dai sensori.

Le apparecchiature installate dovranno in ogni caso soddisfare i seguenti requisiti:

- autonomia di almeno 2 mesi con 2 acquisizioni giornaliere;
- possibilità di impostare tramite il software, anche per via remota in caso di utilizzo di modem di trasmissione dati, i seguenti parametri:
  - range di scansione;
  - range di acquisizione;
  - alimentazione dei sensori;
  - fondo scala elettrico;
  - linearizzazione del segnale mediante impostazione del gain e dello zero per la conversione in unità ingegneristiche;
  - soglie di valore di misura minimo e di massimo per eventuali segnali di allerta;
- possibilità di leggere sul display i dati memorizzati dalla RAM-CARD;
- temperatura di funzionamento da  $-20^{\circ}$  a  $+70^{\circ}$  C;
- acquisitore Multisensor: possibilità di misurare sensori in corrente ( $4 \div 20$  mA), in tensione, strain-gage, Pt100, fornendo loro una tensione variabile da 2 a 24 V dc (scelta canale per canale) o una corrente di riferimento (1 mA).

#### 7.11.4 Modalità d'installazione

Le unità di acquisizione dati dovranno essere installate in luoghi adeguatamente protetti sia contro atti di vandalismo sia da condizioni climatiche particolarmente avverse. In questo ultimo caso dovranno essere ubicate all'interno di armadi in vetroresina tipo stradale.

Nel caso sia previsto un monitoraggio in automatico anche a lungo termine, e cioè dopo la fine della realizzazione dell'opera, è necessario che l'acquisitore sia ubicato in modo definitivo in zone protette, facilmente raggiungibili e non interferenti con le lavorazioni durante la realizzazione delle opere e con le fasi di esercizio della stesse.

Le connessioni e gli ammaraggi dei cavi dei sensori dovranno essere fatte a regola d'arte garantendo una buona connessione elettrica con le morsettiere o connettori di ingresso. Anche in questo caso si dovrà provvedere a cablaggi non interferenti con le lavorazioni durante la realizzazione dell'opera e con le fasi di esercizio della stessa.

Al termine dell'installazione le unità andranno adeguatamente testate in tutte le loro funzioni (scansioni, memorizzazione, trasmissione dati, ecc.).

Dovrà essere periodicamente verificato lo stato di carica della batteria interna delle centraline e delle eventuali batterie addizionali con lo scopo di garantire la continuità di memorizzazione dei dati ed evitare la perdita di dati e informazioni.

### 7.11.5 Documentazione

La documentazione minima da fornire dovrà comprendere:

- schemi di cablaggio (ingressi, eventuale linea di alimentazione e collegamenti seriali);
- manuale d'uso;
- Software di gestione e programmazione dell'acquisitore;
- ubicazione plano-altimetrica dell'unità di acquisizione;
- misure di zero di tutta la sensoristica installata;
- tabella con indicazione dei sensori in ingresso, con i parametri operativi impostati canale per canale (alimentazione, scala, gain, zero, soglie di allerta, ecc.);
- eventuali schede aggiuntive (convertitori di seriale, convertitori per fibra ottica, ecc.);
- eventuali note e osservazioni.

## 7.12 COLLEGAMENTI TRA LE STRUMENTAZIONI

### 7.12.1 Generalità

Aspetto particolarmente importante da valutare nella scelta dei collegamenti è connesso all'affidabilità, intesa come capacità di garantire la trasmissione dei segnali anche in condizioni critiche. Spesso è proprio in talune condizioni che nasce l'esigenza di disporre delle misure strumentali.

Pertanto si verificheranno le varie soluzioni possibili in relazione agli scopi del sistema ed alle condizioni operative.

Nella scelta e nella progettazione dell'architettura dei sistemi di collegamento, non bisogna sottovalutare il fatto che i collegamenti via cavo (tra i singoli strumenti e le unità di acquisizione) rappresentano un punto di particolare fragilità del sistema, in quanto possono essere danneggiati, strappati, tagliati:

- nel caso di movimenti rilevanti dei versanti;
- nel caso di eventuali cadute di massi;
- durante le singole fasi lavorative (interferenza con i mezzi operativi);
- per negligenza, incuria, disattenzione del personale di cantiere;
- per atti vandalici.

### 7.12.2 Cavi elettrici di collegamento

Per realizzare i collegamenti si dovrà valutare la difficoltà connessa alla posa e protezione dei cavi ed all'affidabilità di tali collegamenti.

I cavi elettrici dovranno essere adatti per la trasmissione del segnale e realizzati in esecuzione robusta, adatti per ambienti umidi e per l'immersione in getti di calcestruzzo. Dovranno essere del tipo schermato, con guaina esterna in poliuretano o silicone. Lo schermo potrà essere realizzato con treccia di rame o foglio di alluminio: in questo ultimo caso è richiesto il filo di drenaggio in rame. La sezione dei conduttori sarà sufficiente a garantire la corretta tensione di alimentazione del sensore considerando la lunghezza del tratto di cavo e quindi la relativa caduta di potenziale.

I cavi potranno essere:

- cavi a 6 conduttori di diametro non superiore a 9 mm e sezione pari a 0.22 mm<sup>2</sup>;
- cavi multipolari di diametro non superiore a 15 mm e costituiti da 15 coppie di conduttori di sezione pari a 0.22 mm<sup>2</sup>.

Tutti i cavi impiegati dovranno soddisfare le seguenti specifiche tecniche:

- conduttori in rame elettrolitico ricotto in formazione flessibile;
- isolamento in silicone o poliuretano per la guaina esterna e in PVC o poliolefina reticolata per i

conduttori;

- schermo in treccia di rame; è consentito in alternativa l'uso di schermo in alluminio, con conduttore di drenaggio in rame stagnato;
- isolamento guaina esterna;
- tensione di prova: 300 V;
- tensione di esercizio: 300 Vrms;
- resistenza di isolamento > 200 MΩ/Km;
- isolamento guaina di separazione conduttori;
- tensione di prova: 300 V;
- tensione di esercizio: 300 Vrms;
- resistenza di isolamento > 200 MΩ/Km;
- percentuale calza:
  - > 90% per cavi con schermo a calza;
  - > 60% per cavi con schermo a calza e schermo elettrostatico in nastro di alluminio e poliestere;
  - caratteristiche ignifughe: non propagante l'incendio (secondo la norma UL 94 VO).

Si ricorda a riguardo l'esistenza di indici di protezione IP (Index Protection) che rappresentano il grado di protezione di un dispositivo da agenti esterni secondo la Norma CEI 70-1 (corrispondente EN 60529). Esso è formato da due cifre dopo il prefisso IP: la prima cifra indica il grado di protezione contro il contatto di corpi solidi esterni e contro l'accesso a parti pericolose, in una scala da 0 (non protetto) a 6 (totalmente protetto contro la polvere, protetto contro l'accesso con un filo), la seconda cifra indica la protezione contro la penetrazione dei liquidi, in una scala da 0 (non protetto) a 8 (protetto contro gli effetti della sommersione). La norma CEI 70-3 (corrispondente alla EN 50102) prevede la verifica dell'integrità dell'involucro a seguito dell'applicazione di urti per mezzo di martello a pendolo, martello a molla o martello verticale, l'eventuale terza cifra indica il grado di resistenza meccanica dell'involucro, in una scala da 0 (non protetto) a 10 (protetto contro l'energia d'urto 20J).

### 7.12.3 collegamenti via telefono cellulare o collegamento satellitare

Per i collegamenti via telefono cellulare o collegamento satellitare si dovranno verificare la copertura e l'intensità del campo, che può variare nel tempo. Per quanto riguarda la distanza tra i punti da collegare si dovrà valutare la massima tratta in funzione del tipo di segnale trasmesso (mA, V, Hz, mV/V), delle sezioni dei cavi disponibili, dei disturbi elettromagnetici e delle fulminazioni. E' inoltre da considerare l'aspetto relativo all'ottenimento dei permessi e delle autorizzazioni necessarie così come i canoni di gestione.

#### **7.12.4 collegamenti via radio**

Per i collegamenti via radio si dovranno verificare le tratte e la necessità di installare eventuali ripetitori, anche in funzione della potenza disponibile con le apparecchiature utilizzate ed autorizzate. E' inoltre da considerare l'aspetto relativo all'ottenimento dei permessi e delle autorizzazioni necessarie così come i canoni di gestione.

## 7.13 PRESCRIZIONI GENERALI RELATIVE ALLE INSTALLAZIONI

Tutte le installazioni devono essere coerenti allo schema di progetto e identificate topograficamente rispetto ad un unico sistema di coordinate progetto.

In generale tutta la strumentazione di monitoraggio prevista dovrà essere univocamente definita, ovvero a ciascun strumento dovrà essere associato una stringa alfanumerica del tipo:

cod. progetto\_cod. WBS principale\_cod. WBS secondaria\_cod. tipo strumento numero

Codice tipo strumento:

- |                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| ○ estensimetro corda vibrante   | ec  |
| ○ inclinometro                  | in  |
| ○ piezometro                    | pz  |
| ○ clinometro                    | cl  |
| ○ cella di carico               | cc  |
| ○ cella di pressione            | cp  |
| ○ UAD (unità acquisizione dati) | uad |
| ○ martinetto piatto             | mp  |
| ○ estensimetro multibase        | em  |
| ○ assestimetro verticale        | ai  |

Gli elaborati grafici dovranno riportare una tabella sintetica e riepilogativa con indicate:

- le coordinate di installazione (N, E);
- la quota d'installazione (in termini assoluti metri s.l.m.);
- la stringa identificativa;
- per la strumentazione da installare in foro:
  - la tipologia di strumentazione da installare;
  - le caratteristiche geometriche (diametro e lunghezza del sondaggio, lunghezza della strumentazione da installare, profondità dei vari dispositivi previsti);
- per la strumentazione da installare non in foro:
  - la tipologia di strumentazione da installare;
  - la quota relativa d'installazione.

Tutte le operazioni di verifica della fornitura e tutte le operazioni di installazione devono essere eseguite avendo come scopo finale l'affidabilità e la durata degli impianti di monitoraggio.

E' necessario provvedere a quanto necessario ad evitare manomissioni della rete di strumenti. Nel caso in cui, per esigenze di lavoro o in conseguenza di avvenimenti di qualsiasi natura, gli strumenti risultassero manomessi, si dovrà provvedere ai necessari ripristini.

Al fine di garantire l'affidabilità della strumentazione, è richiesto che gli strumenti da approvvigionare siano prodotti da ditte con comprovata esperienza pluriennale nel settore e per i quali esistano applicazioni documentate attraverso pubblicazioni nella letteratura tecnica e/o certificati/documentazione in cui si attesti il buon funzionamento dello strumento in applicazioni analoghe. Nel caso la strumentazione proposta non soddisfi tali requisiti, la DL sarà autorizzata a richiederne la sostituzione.

La fornitura della strumentazione è soggetta all'approvazione della DL. A questo proposito, dovrà essere fornita alla DL, mediante comunicazione scritta non meno di 15 giorni lavorativi prima dell'installazione, documentazione tecnica dettagliata degli strumenti rilasciata dal produttore. Tale documentazione dovrà contenere una descrizione dello strumento e le relative specifiche tecniche, dimostrando il soddisfacimento dei requisiti indicati nel presente documento. Su richiesta della DL dovrà essere inoltre fornita documentazione che attesti l'applicazione ed il buon funzionamento di tali strumenti in altri casi pratici, a prova dell'affidabilità dello strumento e indicazioni riguardanti specializzazione ed esperienza degli operatori che l'appaltatore intende utilizzare per l'installazione.

All'arrivo in cantiere, ogni strumento dovrà essere munito di certificato di origine e, se necessario, di certificato di taratura presso un laboratorio ufficiale.

L'installazione della strumentazione deve avvenire in contraddittorio con la DL, salvo diversa indicazione di quest'ultima. A questo fine, una volta ottenuta l'approvazione da parte della DL relativamente al tipo di strumento approvvigionato, l'appaltatore dovrà far pervenire il programma d'installazione alla DL mediante comunicazione scritta almeno 72 ore prima dell'inizio dell'installazione.

La restituzione dei dati relativi a letture eseguite sugli strumenti, deve avvenire sia su formato cartaceo, che tramite supporto informatico editabile (tipo formato excel e formato testo).