

AUTORITÀ PORTUALE DI CAGLIARI

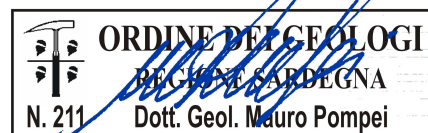
**PROGETTO ESECUTIVO**

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DELLE OPERE DI  
INFRASTRUTTURAZIONE PRIMARIA DELL'AVAMPORTO EST  
DEL PORTO CANALE DI CAGLIARI  
DESTINATE DAL PIANO REGOLATORE PORTUALE ALLA CANTIERISTICA

**PIANO DI MONITORAGGIO**

IL DIRETTORE TECNICO DELLA  
GEOTECHNA S.R.L.:

*Dott. Geol. Mauro Pompei*



IL COMMITTENTE:

*Impresa Pellegrini  
Via Nazario Sauro n. 3  
Cagliari*

Cagliari, gennaio 2012

## SOMMARIO

1. INTRODUZIONE.....	1
1.1. Premessa .....	1
1.2. Obiettivi .....	1
1.3. Inquadramento geografico e territoriale .....	2
2. PIANIFICAZIONE DEI PROGRAMMI DI MONITORAGGIO.....	3
2.1. Progetto del sistema di monitoraggio geotecnico e topografico.....	3
2.2. Strumenti di misura .....	4
2.3. Periodicità delle misure .....	11
2.4. Ubicazione degli strumenti.....	11

## **1. INTRODUZIONE**

### **1.1. PREMESSA**

Nell'ambito dei lavori di realizzazione del «**Distretto della Cantieristica presso il Porto Canale di Cagliari**», si è ritenuto necessario predisporre un sistema di monitoraggio finalizzato al controllo e alla verifica, rispetto alle attese progettuali, dei comportamenti deformativi attesi dalle opere in progetto, dei movimenti in atto e la loro variazione spazio-temporale e dell'efficacia del mantenimento delle condizioni di sicurezza.

In particolare il monitoraggio in questione viene rivolto alle strutture di “precarica” in terra previste in progetto, atte a razionalizzare i movimenti deformativi attesi ed il raggiungimento di opportuni moduli di deformazione dei terreni precaricati per i piazzali e viabilità interna.

### **1.2. OBIETTIVI**

Lo scopo del monitoraggio è quello di verificare l'evoluzione delle deformazioni delle strutture da realizzare, rispetto ad una soglia di attenzione ed una di allarme, superate le quali, devono essere avviate le attività progettuali atte a limitare e contenere le deformazioni nelle stesse strutture con cadenza da valutare con il procedere dei lavori.

Le soglie sono così intese:

- 1] soglia di attenzione compresa tra nessun movimento ed il raggiungimento del limite di tolleranza;
- 2] soglia di allarme al superamento del limite di tolleranza.

Il presente piano di monitoraggio si applicherà ai terreni di fondazione e ai rilevati delle opere previste nell'avamposto est del Porto Canale di Cagliari destinate alla cantieristica navale.

In particolare il presente Piano di Monitoraggio ha lo scopo di:

- verificare il comportamento dei terreni di fondazione per ogni singola fase esecutiva (5 fasi) a seguito dell'intervento di consolidazione effettuato;
- verificare la rispondenza delle ipotesi progettuali per ciò che riguarda la misura dei cedimenti dei piazzali;
- segnalare il superamento di eventuali valori di soglia prefissati.

Il Sistema di Monitoraggio prevede il rilevamento, l'acquisizione, la validazione, l'elaborazione, l'archiviazione e la gestione dei dati attraverso la strumentazione geotecnica installata in sito in grado di operare durante la costruzione dell'opera.

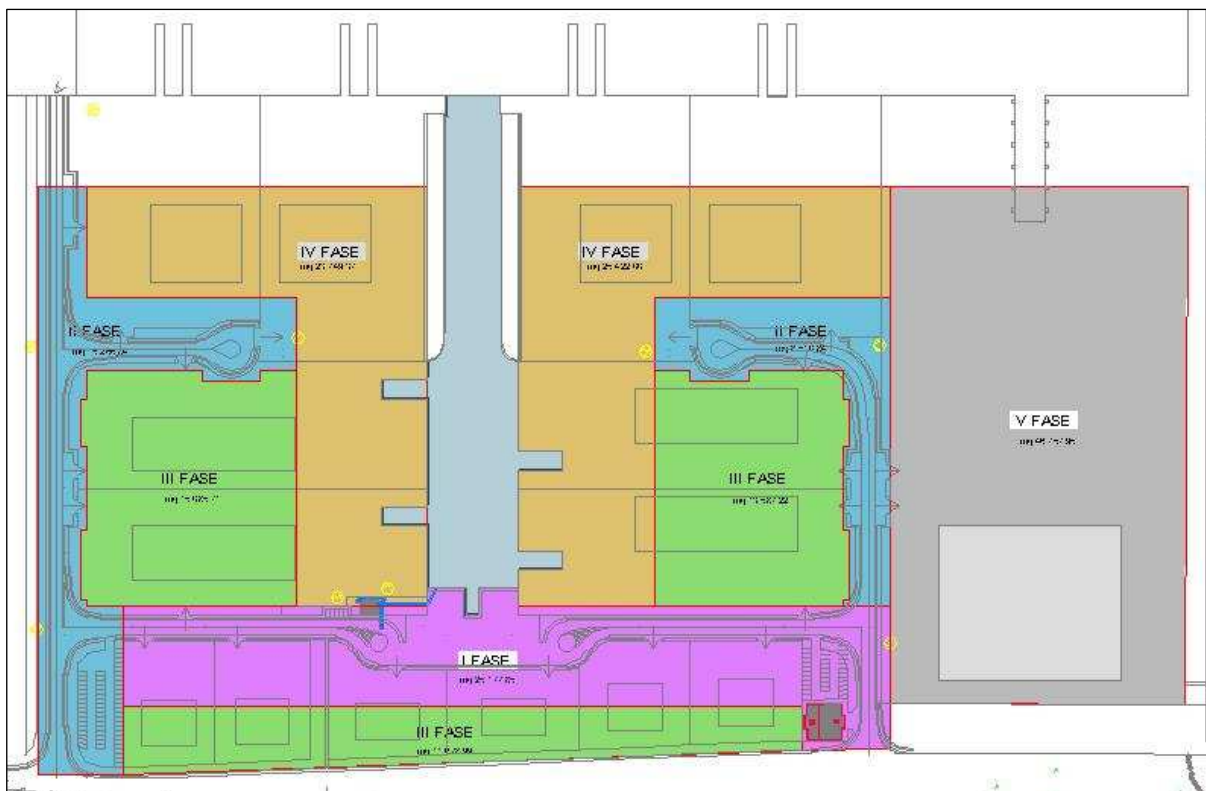


FIGURA 1 – Planimetria di progetto con indicazione delle fasi previste.

### 1.3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE

L'area interessata dallo studio si estende nel settore periferico sud-occidentale della città di Cagliari (Sardegna meridionale, FIGURA 1), in specifico nella zona compresa tra il *Molo Nord* e *Bagni Giorgino*.

Le opere in argomento riguarderanno la fascia parallela alla viabilità principale (viale Pula) esistente del Villaggio Pescatori e prospiciente l'area marina del Porto Canale.

L'assetto morfologico è pressoché pianeggiante con quota massima di 2,00 m s.l.m.m..

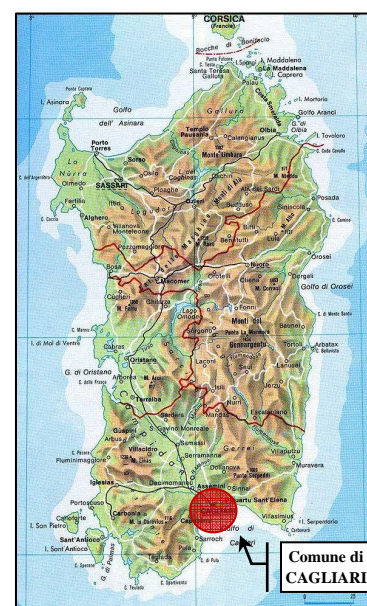


FIGURA 2  
Inquadramento geografico

## **2. PIANIFICAZIONE DEI PROGRAMMI DI MONITORAGGIO**

Il monitoraggio strumentale richiede un apposito progetto del sistema di misura, che fornisca indicazioni sul tipo, numero e layout degli strumenti, oltre che la frequenza e le modalità delle misure. Tale progetto verrà qui di seguito redatto e il programma di monitoraggio strumentale, sarà affidato a ditte specializzate nel settore.

La scelta del tipo di strumentazione utilizzata dipenderà dalle caratteristiche dei fenomeni che si intende osservare. Essi devono avere adeguate caratteristiche di sensibilità, durabilità e stabilità nel tempo. Gli strumenti vanno adeguatamente protetti da possibili azioni esterne che ne alterino il funzionamento o le mettano fuori uso: nel caso degli assestimetri, essi devono essere protetti da possibili danneggiamenti dovuti ad esempio dal transito di macchine in movimento.

La durata del monitoraggio sarà di norma quella sufficiente a raccogliere i dati necessari per il raggiungimento delle finalità del monitoraggio stesso. Nel caso queste consistano nella elaborazione di un progetto di consolidamento, sarà buona norma estendere il periodo di misure fino alla esecuzione del progetto ed eventualmente anche dopo, perché la strumentazione possa acquisire la funzione di controllo della efficacia degli interventi stessi.

Non ultimo, in termini di importanza ed incidenza su un programma di monitoraggio, è da considerare l'aspetto economico. Nel processo di ottimizzazione riguardante la valutazione della sicurezza di un'opera esistente, oppure nel problema della messa in sicurezza di una opera a rischio, (nel senso più generale, sia in termini di monitoraggio preliminare, sia nella scelta delle grandezze fisiche da monitorare e dei sistemi di misura da utilizzare, sia nel dimensionamento degli interventi di una consolidazione eventuale), spesso ha un ruolo determinante l'aspetto economico.

Il progetto di un programma di monitoraggio deve essere condotto considerando nel costo totale, oltre alle spese vive dei monitoraggi, quello riguardante le spese derivanti dai risultati di un'attenta analisi dei rischi di intervento.

### **2.1. PROGETTO DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO GEOTECNICO E TOPOGRAFICO**

Lo studio geologico dell'area e il contesto del sito di realizzazione hanno definito le grandezze da monitorare; grandezze propedeutiche alle scelte delle tecniche, della metodologia e delle strumentazioni utili per impostare, programmare ed eseguire il monitoraggio.

Le grandezze da individuare sono:

- [A] Deformazione della superficie topografica
- [B] Deformazioni degli strati di terreno profondi

## 2.2. STRUMENTI DI MISURA

Dopo attenta analisi si è scelto di installare le seguenti strumentazioni di controllo diretto e indiretto:

### ❖ N. 19 Capisaldi topografici a borchia

Si è prevista una sola tipologia di capisaldi topografici da installare sui rilevati:

- *Caposaldo orizzontale utilizzato per il monitoraggio degli spostamenti verticali del piano campagna dotato di apposita borchia metallica a testa emisferica infissa nel terreno e ad esso ancorata tramite resina bi-componente.*

Per effettuare il monitoraggio geotecnico verranno disposti opportuni strumenti di misura geotecnici installati a distanze idonee ad ottenere un preciso rilievo. Le stazioni fisse di misura verranno pertanto ubicate in punti permanenti che verranno convenientemente individuati, segnalati e protetti.

La sensibilità degli strumenti di rilievo (Stazione totale a funzionamento elettronico o teodolite manuale con livella) dovrà essere dell'ordine del centimetro per poter valutare, con precisione, i cedimenti attesi dei rilevati che dovrebbero avere un ordine di grandezza pluridecimetrico. La posizione degli strumenti verrà scelta in maniera tale da non interferire con le attività di cantiere, evitando che gli spostamenti dei mezzi in transito arrechino danno o disturbo agli strumenti e alle misure.



**FIGURA 3**  
Esempio di caposaldo con testa a borchia.

Si dovrà verificare, prima di iniziare il lavoro topografico l'efficienza della strumentazione. Inoltre dopo ogni messa in stazione dello strumento di rilievo si dovrà controllare che il piano di appoggio sul terreno sia il più pianeggiante possibile, che lo strumento sia posizionato correttamente e che l'altezza dello strumento sia stata determinata con la massima cura. I punti su cui stazionare con la strumentazione topografica verranno scelti in modo da poterne definire le coordinate plano-altimetriche, evitare zone d'ombra, garantire stabilità nel tempo alle apparecchiature topografiche di misura ed essere reciprocamente visibili, se più di uno, e a distanza non superiore a 500 m.

### **Posa in opera dei capisaldi**

- a) Individuazione e tracciamento dei punti di installazione dei capisaldi.
- b) Realizzazione dei fori per l'inserimento dei capisaldi mediante foratura con adatta strumentazione di perforazione.
- c) Posa in opera ed ancoraggio dei capisaldi mediante resina.
- d) Verifica del corretto posizionamento dei capisaldi.
- e) Esecuzione di una misura dei capisaldi.

### **❖ N. 95 Assestimetri a piastra**

Gli assestimetri verranno installati su tutta l'area in cui si sono realizzati i rilevati, per ciascuna fase, con lo scopo di monitorare le deformazioni che nel tempo avvengono sui rilevati stessi:

- *Assestimetro a piastra. Sulla piastra di base, formata da una lastra di ferro zincato di forma quadrata con lato 60 cm, viene controventato e saldato l'innesto di raccordo per la batteria di aste di misura.*

L'assestimetro "monobase" o "a piastra" consente di controllare i cedimenti assoluti in rilevati, terrapieni e in generale nei terreni sottoposti ad un carico crescente. Lo strumento è costituito da un ancoraggio di fondo, un tubo guida, un tubo corrugato di rivestimento ed un caposaldo. L'ancoraggio di fondo che può essere una piastra appoggiata alla base di un rilevato o un bulbo da cementare, in zona stabile di un perforo, è solidale al tubo guida, libero di muoversi all'interno del rivestimento.

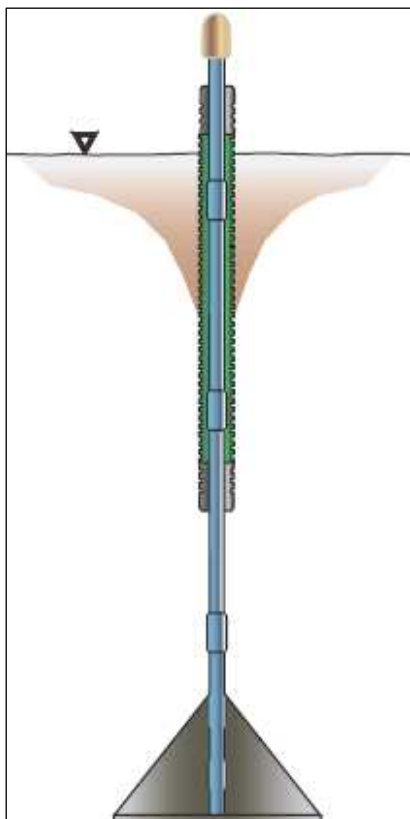
La mira topografica montata all'estremo superiore del tubo interno, rappresenta un caposaldo che traggurato otticamente consente di determinare il cedimento del terreno ovvero del punto

d'ancoraggio. Esso è concepito in maniera tale da collocare la base di misura alla base dell'opera prima della sua realizzazione, e, per mezzo di prolunghe giuntabili, rilevare eventuali cedimenti che si realizzano durante l'edificazione dell'opera nelle sue varie fasi. Le letture e i rilievi vengono effettuati mediante sistemi topografici.

### Caratteristiche della strumentazione

Gli assestimetri a piastra sono costituiti da piastre in ferro, munite di aste rigide prolungabili, su cui periodicamente eseguire livellazioni di precisione. La piastra in ferro, di dimensioni 60x60 cm e spessore 1 cm, sarà rinforzata lungo le diagonali per evitare eventuali deformazioni. Al centro delle piastre verrà fissato o saldato l'anello di avvvitamento dell'asta rigida di misura, consistente in un tubo filettato da 1", in modo tale che l'asta sia perfettamente perpendicolare alla base della piastra.

L'asta di misura sarà protetta da un rivestimento, metallico o plastico, di diametro non inferiore a 60 mm, tenuto coassiale all'asta stessa mediante un anello di invito fissato alla piastra assestimetrica.



**FIGURA 4**  
Assestimetro a piastra

**FIGURA 5**  
Schema di posizionamento dell'assestimetro a piastra



**Posa in opera degli assestimetri**

L'installazione sarà preceduta dai controlli di routine:

- a) controllo visivo sull'integrità dell'attrezzatura e dei punti di misura;
- b) verifica della integrità e dimensioni dei tubi;
- c) verifica dei punti di misura e dei riferimenti;
- d) catalogazione dei tubi mediante etichette o targhette;
- e) preparazione del materiale per la sigillatura delle perforazioni;

L'installazione sarà essere eseguita secondo le seguenti modalità:

- a) Esecuzione di uno scavo sino alla profondità di 1 m circa dal piano di campagna;
- b) Livellamento del fondo con sabbia compatta in modo da ottenere una superficie orizzontale;
- c) Posa della piastra sulla superficie costituita da sabbia compatta;
- d) Avvitamento dell'asta di misura alla piastra che dovrà essere perfettamente verticale;
- e) Posizionamento del tubo di rivestimento attorno all'asta, il quale non dovrà poggiare sulla piastra;
- f) Stesura del materiale del rilevato e compattazione con mezzi meccanici mantenendo una distanza appropriata dalla verticale assestimetrica (circa 1,5 m);
- g) Sversamento con cautela dello stesso materiale attorno alla colonna senza deformare trasversalmente il suo asse, raggiungendo una quota leggermente superiore all'altezza del rilevato;
- h) Bagnare il materiale versato e compattare con mezzi manuali;
- i) Mano a mano che procederà con la costruzione del rilevato si realizzerà il prolungamento dell'asta di misura, avvitandovi tubi successivi da 1", e il rivestimento di protezione.
- j) Per evitare possibili danneggiamenti causati dai mezzi di cantiere, il sistema asta di misura-rivestimento dovrà essere esternamente protetto con tubi del diametro di 20"÷22";
- k) Riempimento a mano (palline di bentonite, sabbia, ghiaia solamente nel fondo) dell'intercapedine tra il tubo e il rivestimento di protezione dell'asta;
- l) L'asta di misura ed il rivestimento dovranno sporgere di poco dal rilevato.
- m) Il rivestimento in sommità dovrà essere munito di un coperchio con lucchetto, a protezione dell'asta di misura.

- n) La testa dell'asta di misura dovrà sporgere dal rivestimento, una volta tolto il coperchio, per consentire le misure topografiche di controllo;
- o) Dopo l'installazione si eseguirà una misura topografica di controllo, a distanza di qualche giorno dalla posa, per determinare le quote di zero delle piastre. I cedimenti verranno misurati con strumento ottico di precisione, con l'approssimazione di 1 mm, facendo riferimento a un caposaldo fisso.

### **Documentazione**

La documentazione dovrà comprendere:

- 1) informazioni generali (commessa, cantiere, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- 2) descrizione del terreno sul piano di posa della piastra;
- 3) caratteristiche e schema di installazione dell'assestometro;
- 4) quota assoluta della piastra e dell'estremità superiore del tubo di prolungamento
- 5) misura di zero della strumentazione installata

### **❖ N. 62 Prove di carico su piastra**

La procedura di prova è consistita nel misurare i cedimenti indotti dalla piastra sottoposta a carichi crescenti con l'ausilio di un adeguato contrasto (nel caso specifico costituito da un autoarticolato) e nella determinazione del Modulo di Deformazione (Md).

Il tempo di permanenza tra un gradino di carico ed il successivo deve essere sufficiente a considerare assestata la deformazione (0,03 mm/minuto).

Una volta raggiunta la pressione

massima stabilita si scarica la piastra e si applicano nuovamente i carichi (II ciclo di carico)

La Normativa di riferimento è la CNR-BU N. 146 (14-12-1992) - "Determinazione dei moduli di deformazione Md e M'd mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare".



**FIGURA 6** – Prova su piastra

### Attrezzatura

Nel dettaglio l'attrezzatura impiegata si compone di:

- piastra circolare in acciaio, rigida, con spessore  $\geq 20$  mm e diametro  $\varnothing 300$  mm;
- telaio di riferimento porta-comparatori;
- n. 3 comparatori centesimali (0,01 mm) digitali di alta precisione "MITUTOYO", per la lettura dei cedimenti, disposti su un telaio simmetricamente sulla superficie della piastra, a  $120^\circ$  tra loro;
- martinetto idraulico di carico da 100 kN;
- pompa di alimentazione del martinetto e relativo manometro di precisione.

### Preparazione del terreno

Una volta individuato il punto dove eseguire la prova, il piano di appoggio della piastra viene opportunamente ripulito a mano da qualsiasi detrito, copertura o ciottolo sporgente e livellato un sottile spessore di sabbia o altro materiale incoerente (tutto passante al setaccio da 2 mm), per ottenere una superficie piana e orizzontale. La orizzontalità della piastra, una volta posta sul piano di prova, sarà verificata con livella a bolla..

### Modalità esecutive

- a) Assemblaggio dell'attrezzatura;
- b) Applicazione di un carico pari ad almeno  $0,02$  N/mm<sup>2</sup> comprendente il peso dell'apparecchiatura gravante sulla superficie di prova;
- c) Azzeramento del/dei comparatore/i, ed incremento del carico a  $0,05$  N/mm<sup>2</sup> effettuando la prima lettura e applicando successivi incrementi di carico non appena il cedimento, risulti inferiore a  $0,02$  mm/minuto;
- d) Nel caso invece in cui il cedimento sia maggiore di  $0,02$  mm/minuto si dovrà mantenere lo stesso carico per un ulteriore intervallo di tempo e rileggere i/il valori/e ai/l comparatori/e fino al raggiungimento della condizione appena citata nel punto c);
- e) Si prenderà in considerazione la media delle tre letture effettuata per ciascun livello di carico.

La prova verrà eseguita con un solo ciclo di carico se interessa determinare unicamente il modulo Md (indicativo della portanza) mentre se è necessario definire il grado di costipamento dello strato in esame si eseguirà un secondo ciclo di carico per la determinazione del modulo M'd.

### Primo ciclo

- per terreni di sottofondo e per strati di rilevato: incrementi di carico di  $0,05 \text{ N/mm}^2$  fino ad una pressione massima di  $0,2 \text{ N/mm}^2$ ;
- per strati di fondazione e per strati di base: incrementi di carico di  $0,1 \text{ N/mm}^2$  fino a pressioni massime rispettivamente di  $0,35 \text{ N/mm}^2$  e  $0,45 \text{ N/mm}^2$ .

Raggiunta la pressione massima si esegue lo scarico.

### Secondo ciclo

- per terreni di sottofondo e per strati di rilevato: incrementi di carico di  $0,05 \text{ N/mm}^2$  fino alla pressione massima di  $0,15 \text{ N/mm}^2$ ;
- per strati di fondazione e per strati di base: incrementi di carico di  $0,1 \text{ N/mm}^2$  fino alle pressioni massime rispettivamente di  $0,25 \text{ N/mm}^2$  e  $0,35 \text{ N/mm}^2$ .

I moduli di deformazione  $M_d$  e  $M'd$  dovranno essere calcolati nei seguenti intervalli di carico:

- per terreni di sottofondo e strati di rilevato: tra  $0,05 \text{ N/mm}^2$  e  $0,15 \text{ N/mm}^2$ ;
- per strati di fondazione: tra  $0,15 \text{ N/mm}^2$  e  $0,25 \text{ N/mm}^2$ ;
- per strati di base: tra  $0,25 \text{ N/mm}^2$  e  $0,35 \text{ N/mm}^2$ .

- f) Prelievo di un campione rimaneggiato di terreno nelle adiacenze del punto di prova allo scopo di determinarne le caratteristiche fisiche con particolare riferimento all'umidità.

### Documentazione

La documentazione comprenderà, per ciascuna prova:

- 1) Informazioni generali (cantiere, n. prova, profondità, diametro piastra, data);
- 2) Tabelle con letture di cantiere del/i comparatore/i, per ogni gradino di carico;
- 3) Diagramma carichi-cedimenti;
- 4) Modulo di deformazione ( $\text{N/mm}^2$ ) calcolato nell'intervallo di pressione da considerare:

$$M_D = \frac{\Delta P}{\Delta s} \cdot D$$

dove:

- $\Delta P$  = Incremento di carico  
 $\Delta S$  = Cedimento corrispondente  
 $D$  = Diametro della piastra

### 2.3. PERIODICITÀ DELLE MISURE

Installate le strumentazioni atte ad eseguire un corretto monitoraggio del sistema, si procederà alla lettura e registrazione dei dati ottenuti. Le letture saranno eseguite ad ogni fase sensibile allo scopo di seguire costantemente l'effettiva risposta delle opere realizzate.

In ogni caso si indica la seguente tempistica di misurazione:

- Assestimetri a piastra e capisaldi topografici a borchia: verranno effettuate delle campagne di misura con cadenza settimanale durante i primi 30 gg. di monitoraggio, mentre nella successiva fase di monitoraggio la cadenza di misura dovrà essere quindicinale. L'elaborazione dei dati verrà riportata in apposite relazioni restituite per ogni singola fase di precarico del rilevato. Il monitoraggio avrà termine con l'esaurimento dei processi deformativi a comportamento tipicamente asintotico.
- Prove di piastra: verranno effettuate in maniera sequenziale, successivamente alla rimozione dei rilevati, al fine di valutarne le caratteristiche meccaniche.

### 2.4. UBICAZIONE DEGLI STRUMENTI

Il progetto relativo alla disposizione degli strumenti nell'area oggetto di studio, seguirà un modello tale per cui i dati raccolti dall'indagine, dovranno essere rappresentativi del comportamento dell'intera area in progetto, garantendo una distribuzione omogenea degli assestimetri nelle aree adibite a precarico per ciascuna fase in progetto e un'adeguata disposizione dei punti di indagine delle prove su piastra nelle zone di transito dei mezzi in cui le sollecitazioni di esercizio risultano essere elevate.

- Assestimetri a piastra: ne verranno installati 95 distribuiti su un'area di circa 185.000 m<sup>2</sup> in cui verranno realizzati i rilevati di "precarica". Si è pertanto previsto un assestimetro ogni 2.000 m<sup>2</sup> circa. (Vedere planimetria di progetto del Piano di monitoraggio per maggiore dettaglio);
- Capisaldi a borchia: si sono previsti 19 capisaldi. (Vedere planimetria di progetto del Piano di monitoraggio per maggiore dettaglio);

- Prove di piastra: se ne dovranno effettuare 62 distribuite su un'area di circa 185.000 m<sup>2</sup> in cui verranno realizzati e successivamente rimossi i rilevati. Si è pertanto previsto una prova di piastra ogni 3.000 m<sup>2</sup> circa. (Vedere planimetria di progetto del Piano di monitoraggio per maggiore dettaglio);

DATA: gennaio 2013

IL DIRETTORE TECNICO DELLA  
GEOTECHNA S.R.L.:

*Dott. Geol. Mauro Pompei*

