

# CASSA DI ESPANSIONE DEL TORRENTE BAGANZA NEI COMUNI DI FELINO, SALA BAGANZA, COLLECCHIO E PARMA (PR-E-1047)

## PROGETTO ESECUTIVO

01	24/07/2020	Revisione per osservazioni DGD e validazione	MAGLIOCCHETTI	CASSANI	BERTERO
00	29/02/2020	Prima emissione	MAGLIOCCHETTI	CASSANI	BERTERO
REV.	DATA	MODIFICHE	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZ.

## GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA E GEOTECNICA RELAZIONE DI MONITORAGGIO GEOTECNICO

### ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI IMPRESE

MANDATARIA:

MANDANTI:



IL R.U.P.:

 Dott. Ing. Mirella Vergnani  
 (documento firmato digitalmente)

 Progettista responsabile integrazioni  
 prestazioni specialistiche e Direttore Tecnico  
 della mandataria.  
 Hydrodata S.p.A.  
 Ord. Ing. Torino N°7570L  
 Dott. Ing. Roberto Bertero  
 (documento firmato digitalmente)

 Progettista/Progettisti responsabili elaborato  
 Rock Soil S.p.A.  
 Dott. Ing. Giovanna Cassani  
 Ord. Ing. Milano N°20997

 Dott. Ing. Giovanna Cassani  
 (documento firmato digitalmente)


CODICE ELABORATO:

B	A	G	3	0	3	G	E	O	R	R	E	0	5	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

ID (1)

CAP. (2)

TIPO (3)

DOC. (4)

PROGR. (5-6) REV. (7)

SCALA

 LUGLIO  
 2020

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>CRITERI GENERALI E SCOPO DEL MONITORAGGIO.....</b>	<b>5</b>
2.1	CRITERI DI CONTROLLO .....	5
2.2	FATTORI DI RISCHIO .....	5
2.3	REQUISITI DEI SISTEMI DI CONTROLLO E GRANDEZZE DA CONTROLLARE .....	6
2.4	SISTEMA DI CONTROLLO .....	7
2.5	REQUISITI SPECIFICI DEL SISTEMA DI CONTROLLO PER LE CONDIZIONI SISMICHE.....	8
2.6	DEFINIZIONE DELLE FREQUENZE DELLE MISURE.....	9
2.7	AUTOMAZIONE DELLE MISURE .....	10
2.7.1.	ARCHITETTURA GENERALE DELL'HARDWARE .....	10
2.7.2.	ARCHITETTURA GENERALE DEL SOFTWARE .....	11
2.8	ANALISI DEI RISULTATI E FLUSSO DEI DATI .....	11
2.8.1.	MODELLI DI RIFERIMENTO .....	12
2.8.2.	ELABORAZIONE DELLE MISURE - LIVELLI DI SOGLIA.....	12
<b>3</b>	<b>ARCHITETTURA DEL MONITORAGGIO GEOTECNICO PREVISTO.....</b>	<b>14</b>
3.1	DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO DI MONITORAGGIO .....	16
<b>4</b>	<b>GERARCHIA DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO .....</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>MONITORAGGIO IN FASE DI COSTRUZIONE.....</b>	<b>24</b>
5.1	STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO .....	24
5.2	FREQUENZE .....	24
5.3	DEFINIZIONE DEI VALORI DI SOGLIA PER OGNI SEZIONE .....	25
<b>6</b>	<b>MONITORAGGIO IN FASE DI PRIMO INVASO E COLLAUDO.....</b>	<b>26</b>
6.1	STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO .....	26
6.2	FREQUENZE .....	26
6.3	DEFINIZIONE DEI VALORI DI SOGLIA PER OGNI SEZIONE .....	27
<b>7</b>	<b>MONITORAGGIO IN FASE DI ESERCIZIO .....</b>	<b>29</b>
7.1	STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO .....	29
7.2	FREQUENZE .....	29
7.3	DEFINIZIONE DEI VALORI DI SOGLIA PER OGNI SEZIONE .....	30
<b>8</b>	<b>SPECIFICHE DEGLI STRUMENTI DI MISURA .....</b>	<b>32</b>
8.1	CAPOSALDI E MIRE OTTICHE .....	32
8.2	INCLINOMETRO .....	32

8.3	CELLE DI PRESSIONE TOTALE.....	33
8.4	ASSESTIMETRI SUPERFICIALI E PROFONDI .....	34
8.5	PIEZOMETRO DI CASAGRANDE.....	34
8.6	PIEZOMETRO ELETTRICO E CELLE DI PRESSIONE INTERSTIZIALI .....	35
<b>9</b>	<b>SISTEMA DI MONITORAGGIO E FLUSSO DEI DATI .....</b>	<b>37</b>
9.1.1	<i>Glossario.....</i>	37
9.1.2	<i>Centro elaborazione dati .....</i>	37
3.1	ACQUISIZIONE DATI.....	39
3.2	TRASFERIMENTO DATI .....	39
3.2.1	<i>Trasferimento dei dati dal sensore al RDB.....</i>	39
3.2.2	<i>Trasferimento dei dati dal RDB al MDB.....</i>	40
3.3	GESTIONE DATI .....	40
3.3.1	<i>Strumenti.....</i>	40
3.3.2	<i>Gestione.....</i>	40
3.3.3	<i>Documentazione.....</i>	40
3.3.4	<i>Soglie .....</i>	41
3.4	ELABORAZIONE DATI .....	42
3.5	ESPORTAZIONE DATI.....	42
3.6	BACKUP DEI DATI.....	42
<b>10</b>	<b>GESTIONE SOGLIE .....</b>	<b>43</b>
10.1	<i>"SOGLIA 2" .....</i>	43
10.2	<i>"SOGLIA 3" .....</i>	44
10.3	DISTRIBUZIONE DEI DATI .....	46
<b>11</b>	<b>SISTEMA DI GESTIONE E DISTRIBUZIONE DEI DATI.....</b>	<b>47</b>
<b>12</b>	<b>STRUTTURA OPERATIVA DEDICATA AL MONITORAGGIO .....</b>	<b>48</b>

## 1 PREMESSA

Il presente documento ha per oggetto la definizione del piano di monitoraggio geotecnico della Cassa di espansione del Torrente Baganza.

L'area in esame si trova in Emilia Romagna e precisamente in Provincia di Parma nel territorio dei seguenti Comuni: Parma, Collecchio, Felino e Sala Baganza. I centri abitati più vicini sono:

- Sala Baganza, a sud-ovest dell'area di progetto;
- Casale di Felino (Comune di Felino), a sud-est dell'area di progetto;
- Carignano (Comune di Parma), a est dell'area di progetto.



Figura 1 – Inquadramento territoriale





Figura 2 – Inserimento dell'opera

L'opera di sbarramento si colloca tra le opere di ingegneria che hanno un alto potenziale di pericolosità, pertanto è necessario un continuo controllo del subtrattamento durante l'esercizio. Negli ultimi anni si è registrato un grande progresso tecnologico raggiunto dagli strumenti di misura e dai sistemi di trasmissione ed elaborazione dei dati, per quanto attiene all'affidabilità e precisione delle misure ed alla velocità di acquisizione, registrazione, confronto, valutazione e trasferimento a grandi distanze delle osservazioni.

Il sistema di controllo, tanto in fase di costruzione che in fase di esercizio, deve accertare che l'opera si comporti secondo le previsioni progettuali. Fintanto che ciò si verifica l'opera ha il grado di sicurezza definito dal progettista ed approvato dai competenti organi di supervisione al momento della progettazione. Qualora in fase di costruzione o di esercizio si manifesti uno scostamento significativo dal comportamento previsto all'atto della progettazione, è compito del sistema di controllo evidenziare il fenomeno e correlarlo con tutte le grandezze che possono avere influenza sul comportamento della diga.

In tal caso dovranno essere prese le opportune contromisure. In definitiva è opportuno che venga sempre demandato ad un momento progettuale il compito di stabilire il grado di sicurezza e di rischio dell'opera di sbarramento.

Affinché la funzione di controllo possa esplicarsi senza la necessità di una soggettiva analisi della sicurezza della diga in fase di esercizio, è necessario che in fase progettuale sia definito il modello di riferimento, in particolare siano stabilite le grandezze da tenere in osservazione e il campo delle loro variazioni. Le grandezze controllate comprenderanno tanto quelle direttamente legate alla struttura e all'opera generale, quanto quelle che definiscono le condizioni ambientali e quelle di esercizio.

## 2 CRITERI GENERALI E SCOPO DEL MONITORAGGIO

### 2.1 CRITERI DI CONTROLLO

Si definiscono due criteri fondamentali per il controllo del comportamento:

- Il primo consiste nel confronto del comportamento della diga con le previsioni del suo modello analitico, definito nel progetto. Il confronto si effettua tramite l'analisi di un insieme di grandezze fisiche che descrivono il comportamento effettivo dell'opera, delle quali sia possibile ottenere dal modello i valori previsti e gli scostamenti ammissibili, in relazione alle corrispondenti condizioni di esercizio. Si rende pertanto necessario il rilievo sia delle grandezze che meglio caratterizzano il comportamento dell'opera, sia di quelle che descrivono le condizioni esterne da inserire nel modello per ricavare i termini di confronto con le osservazioni.
- Il secondo criterio consiste nel confronto puramente statistico delle misure di un insieme di grandezze significative con i valori corrispondenti rilevati in tutta la vita dell'opera. Si deve cioè verificare che tanto le variabili che individuano il comportamento dell'opera, quanto quelle che riguardano le condizioni ambientali e di esercizio, rientrino nel campo di valori rilevati precedentemente e siano tra loro congruenti. Questo criterio di controllo può comunque avvicinarsi sensibilmente al precedente, sia sul piano concettuale che applicativo, quando l'insieme delle grandezze rilevate è tanto ampio e temporalmente esteso da permettere la ricostruzione di un modello empirico del comportamento dell'opera. Il criterio statistico viene gradualmente ad aumentare di peso ed efficienza con il procedere della vita dell'opera e permette comunque di verificare sperimentalmente il modello progettuale ed i parametri che lo definiscono.

### 2.2 FATTORI DI RISCHIO

I fattori di rischio che potrebbero mettere in crisi l'opera o quanto meno comprometterne la funzionalità possono essere

- intrinseci all'opera stessa
- indipendenti da essa e provenire da eventi fisici esterni, legati all'ambiente naturale in cui essa è inserita:
  - gli eventi sismici;
  - gli eventi idrologici e meteorologici aventi carattere di eccezionalità;
  - i dissesti del suolo nel bacino a monte, o all'interno dell'invaso, aventi origini e cause proprie

Per quanto riguarda i fattori di rischio intrinseci occorre osservare che in generale essi si manifestano con anomalie di comportamento quali ad esempio:

- diminuzione delle caratteristiche di resistenza dei materiali costituenti lo sbarramento e dei terreni di fondazione;
- diminuzione delle caratteristiche di tenuta dei materiali costituenti lo sbarramento e dei terreni di fondazione;
- anomalie nel comportamento deformativo;
- anomalie nell'entità e distribuzione delle sottopressioni;
- anomalie nell'entità e distribuzione delle pressioni interstiziali.

## 2.3 REQUISITI DEI SISTEMI DI CONTROLLO E GRANDEZZE DA CONTROLLARE

Le metodologie di monitoraggio ed elaborazione dei dati devono rispondere a requisiti di

- *Razionalità*
- *Funzionalità*
- *Rapidità e frequenza delle osservazioni*
- *Velocità di evoluzione dei fenomeni che si vuole rilevare:* a questo riguardo, la sostituzione delle procedure manuali di acquisizione dei dati con quelle automatiche e dei sistemi meccanici e grafici di registrazione con quelli elettronici, numerici, permette di seguire l'evoluzione di fenomeni estremamente rapidi (come quelli sismici) e dei loro effetti.
- *Tener conto contemporaneamente e globalmente di tutti i processi di analisi e confronto delle osservazioni.* Il controllo deve, infatti, fondarsi sull'intero insieme di grandezze rilevate, la cui compatibilità può essere accertata a priori, e non su singole variabili o gruppi di esse.
- *Contenimento del tempo che intercorre tra l'esecuzione delle misure e i processi di elaborazione ed analisi.* L'attivazione di un sistema di controllo automatico, secondo uno dei criteri prima esposti, permette quindi di terminare la procedura di controllo in un intervallo di tempo trascurabile, eliminando in pratica una delle più forti limitazioni intrinseche dei processi di controllo basati su osservazioni del comportamento reale e sulla loro analisi a posteriori.

Nell'osservare quindi il comportamento di un'opera di sbarramento vengono rilevate delle grandezze distinte secondo:

- causa (che con le loro variazioni inducono cambiamenti nella struttura);
- effetto (che sono la risposta della struttura alle variazioni delle grandezze causa).

Le principali grandezze "causa" che agiscono sull'opera sono:

- livello invaso;
- temperatura aria, acqua e calcestruzzo;
- precipitazioni (pioggia e neve);
- condizioni atmosferiche (umidità, pressione, vento);
- eventi sismici;
- portata di piena;
- movimenti indipendenti delle fondazioni e delle sponde.

Le principali grandezze di "effetto" sono:

- sforzi e tensioni interne;
- deformazioni locali;
- spostamenti orizzontali e verticali;
- rotazioni;
- movimenti e fessure;
- sottopressioni e pressioni interstiziali;

- modifica delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali.

Tutte queste grandezze subiscono variazioni continue nel tempo e tali variazioni debbono essere misurate allo scopo ultimo di valutarne le mutue correlazioni associabili a modalità di risposta della struttura. Poiché tali misure vanno ripetute sistematicamente per un numero elevato di volte durante la vita dell'opera, l'unica soluzione praticabile è quella di dotare l'opera stessa di installazioni di misura permanenti dedicate specificamente alla sorveglianza.

## 2.4 SISTEMA DI CONTROLLO

Il sistema di controllo è l'insieme coordinato di più strumenti e apparecchiature atto a rilevare le grandezze fisiche e a trasformare ed elaborare le informazioni acquisite. Esso richiede un riferimento temporale e spaziale unico. La definizione pratica di un sistema di misura comporta la definizione dei seguenti punti:

- gli elementi che condizionano la sicurezza dell'insieme diga-fondazione;
- le grandezze che, per ogni elemento preso in esame, ne evidenziano il comportamento ai fini della sicurezza;
- gli strumenti da utilizzare per la misura di tali grandezze;
- la densità e la distribuzione degli strumenti all'interno e all'esterno dell'insieme diga-fondazione;
- la frequenza delle osservazioni.

In generale per le dighe in materiale sciolto l'osservazione va estesa al complesso rilevato-fondazione, in particolare nei riguardi dei seguenti elementi essenziali ai fini della sicurezza dell'opera:

- terreno di fondazione;
- zona di contatto fra terreno di fondazione e corpo diga;
- corpo diga;
- strutture di tenuta in fondazione;
- manto impermeabile a monte;
- nucleo impermeabile;

L'importanza dei singoli elementi strutturali di una diga e delle relative misure varia in relazione alle diverse fasi di vita dell'opera (costruzione, esercizio provvisorio e collaudo, esercizio normale):

- **Durante la costruzione e il collaudo:** i controlli rispondono ad uno scopo di sicurezza immediata. Essi costituiscono la prima verifica del progetto e consentono, se necessario, di apportare nel corso dei lavori modifiche sia al progetto stesso che alle modalità realizzative.
- **Durante l'esercizio** i controlli forniscono elementi utili ad individuare il comportamento dell'opera sia nel suo insieme che nei punti di particolare interesse mettendone in evidenza l'evoluzione nel tempo.

Il sistema di misura è articolato su 2 livelli in termini di approfondimento e frequenza delle misure:

- **un livello 1** relativo alla strumentazione e/o alle sezioni più significative per le quali acquisire il maggior numero di informazioni;
- **un livello 2** per altre sezioni/strumenti, per confronto con le informazioni fornite dalle sezioni più strumentate di livello 1

Per ciascuna grandezza può definirsi una gerarchia relativamente alla sicurezza secondo tre livelli:



1. Crisi
2. Fuori esercizio
3. Conoscenza

nei suoi tre differenti periodi di vita

- Costruzione
- Primo invaso e collaudo
- Esercizio

GRANDEZZE ESTERNE *	COSTRUZIONE	PRIMO INVASO E COLLAUDO	ESERCIZIO
livello invaso	-	1	1/2
temperatura aria, acqua	3	3	3
condizioni atmosferiche (precipitazioni, vento)	3	3	3
eventi sismici	1	1	1/2
portata di piena	-	1	1/2
movimenti indipendenti delle fondazioni e delle sponde	-	1	1/2

*\*non sono oggetto di questa relazione ma di specifici elaborati progettuali*

## 2.5 REQUISITI SPECIFICI DEL SISTEMA DI CONTROLLO PER LE CONDIZIONI SISMICHE

GRANDEZZE INTRINSECHE	COSTRUZIONE	PRIMO INVASO E COLLAUDO	ESERCIZIO
sforzi e tensioni interne	3	3	3
deformazioni locali (inclinometri)	1	1	1/2
spostamenti orizzontali	-	1	1/2
spostamenti verticali	1	1	1/2
sottopressioni e pressioni interstiziali	-	1	1/2
modifica delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali	-	3	3

Il progetto comprende in genere le seguenti fasi:

- scelta del numero e delle posizioni dei sensori da installare;
- scelta del tipo dei sensori in relazione sia alle caratteristiche sismologiche del sito che al tipo di sbarramento;
- scelta del tipo e caratteristiche del sistema di registrazione dei dati

A seconda del livello locale di sismicità e del livello di scosse capaci di indurre effetti apprezzabili sulla sicurezza della struttura, si deve anzitutto decidere quale debba essere l'entità minima dell'evento da rilevare.

La scelta del tipo più adatto di sensore deve essere fatta considerando:

- l'ampiezza massima prevedibile del segnale, in maniera che il fondo scala del sensore sia sufficientemente elevato in modo da evitare la saturazione (e quindi la perdita dell'informazione) per gli eventi di alta intensità;
- il contenuto spettrale delle scosse in funzione della frequenza. Infatti se lo spettro sismico è caratterizzato prevalentemente da frequenze basse è opportuno ricorrere a *sismometri*, cioè a strumenti sensibili alla velocità del punto; se invece lo spettro è prevalentemente caratterizzato da frequenze alte (ad es. oltre i 10 Hz) è preferibile ricorrere ad *accelerometri*.
- la tipologia e le dimensioni dello sbarramento ne condizionano le frequenze proprie. Per le dighe in terra o in materiali sciolti il campo delle frequenze proprie si estende da qualche frazione di Hz a pochi Hz a seconda delle dimensioni, del tipo di materiale del rilevato e del tipo di fondazione.

Le frequenze che occorre tenere presenti nella scelta degli strumenti sono:

- quelle del suolo, per gli strumenti da installare in fondazione; si ricorre normalmente ad accelerometri del tipo «strong-motion» con soglia a 0.01 g e fondo scala tra 0,5 e 2 g;
- quelle corrispondenti ai picchi dello spettro di risposta della struttura, per gli strumenti da installare sulla diga vera e propria.

Nella ubicazione dei sensori sismici differenti considerazioni vanno effettuate a seconda che il sensore venga installato:

- **nella fondazione:** una descrizione sufficientemente completa dell'input richiede un congruo numero, tenuto conto che le ampiezze e le fasi delle oscillazioni possono differire anche sensibilmente da punto a punto; sono comunque generalmente sufficienti due accelerometri sulle due sponde ubicati circa a metà altezza, ciascuno con due componenti orizzontali. Le due direzioni del moto orizzontale possono farsi corrispondere a direzioni costruttivamente più significative.
- **nel corpo diga:** le posizioni e le direzioni più interessanti sono in genere quelle che corrispondono alle massime amplificazioni del moto del terreno, e possono ricavarsi da un'analisi dinamica della struttura effettuata con modelli numerici di simulazione. In genere tali posizioni possono farsi coincidere coi massimi locali di ampiezza di vibrazione della struttura. È inoltre opportuno strumentare alcuni punti dell'allineamento di cresta, limitandosi a rilevare la componente monte-valle più eventualmente la componente verticale.

## 2.6 DEFINIZIONE DELLE FREQUENZE DELLE MISURE

La frequenza dipende:

- dalla grandezza da misurare;

- dalla velocità di variazione dei parametri (ad esempio carico idrostatico, temperature) che influenzano le grandezze da misurare;
- dalla fase della vita dell'opera;
- dalla «sensibilità» del dispositivo di misurazione;
- da specifiche esigenze (situazioni anomale che si dovessero manifestare).

In altri termini le frequenze di osservazione devono essere commisurate agli intervalli di tempo nei quali si possono avere variazioni significative delle grandezze in gioco e rilevabili con i dispositivi di misurazione impiegati.

Si applicano i seguenti criteri:

- tutte le misure devono avere un riferimento di origine ben definito, legato alle condizioni ambientali preesistenti alla costruzione;
- durante il primo invaso le misure devono essere legate al programma di invaso. Se questo viene effettuato, come di norma, per successive fasi intervallate da periodi di osservazioni, questi devono consentire l'esecuzione almeno di una serie completa di misure, l'elaborazione dei dati raccolti e il confronto con i dati del modello progettuale. In aggiunta a quanto sopra indicato, risulta opportuno eseguire con frequenza almeno settimanale o eventualmente giornaliera l'esame a vista dei paramenti della diga e della zona di appoggio, la lettura di pendoli, perdite e sottopressioni;
- durante l'esercizio normale (nella maggior parte dei casi a ciclo stagionale), le misure vengono effettuate a intervalli di tempo costanti ed in particolare:
  - con frequenza quindicinale la lettura di piezometri;
  - con frequenza mensile le letture di inclinometri, caposaldi e celle per le sottopressioni;

## **2.7 AUTOMAZIONE DELLE MISURE**

La lettura manuale ha come conseguenza una mole di dati non del tutto affidabile (errori), raccolta con una frequenza dettata più da problemi logistici che da vera e propria necessità di conoscenza del comportamento della diga. L'acquisizione automatica di alcune misure consente anche di impostare una frequenza di lettura continua e soprattutto di raggiungere un'affidabilità dei dati qualitativamente superiore a quella dei dati manuali. È inoltre importante rilevare che per monitoraggio automatico si intende anche un sistema capace di eseguire in tempo reale un confronto fra i dati di misura e gli analoghi dati previsionali (forniti dai modelli di simulazione) onde poter verificare se la loro differenza è contenuta o meno in un'opportuna fascia di tolleranza.

### **2.7.1. ARCHITETTURA GENERALE DELL'HARDWARE**

Il sistema modulare è principalmente composto da due unità fisicamente e funzionalmente separate collegate fra loro da una linea per lo scambio di informazioni. Il sistema risulta pertanto composto da un'unità di misura locale o periferica e da un'unità centrale di controllo. All'unità di misura vengono demandati i compiti di condizionamento elettrico dei sensori, di scansione dei canali di misura, di conversione analogico/digitale dei segnali, di memorizzazione temporanea dei valori misurati ed infine di trasferimento dei dati all'unità centrale di acquisizione e

di controllo. A quest'ultima unità, basata su un microcalcolatore, vengono invece demandate tramite opportuni programmi tutte le funzioni di controllo del sistema quali:

- l'acquisizione dei segnali dalla unità di misura;
- l'esecuzione di test diagnostici;
- la validazione e l'elaborazione dei dati;
- il confronto con i limiti di soglia e l'attivazione di allarmi;
- la visualizzazione, la stampa e la registrazione dei dati acquisiti;
- la loro teletrasmissione a distanza.

### **2.7.2. ARCHITETTURA GENERALE DEL SOFTWARE**

Le principali funzioni del sistema software sono le seguenti:

- avviamento automatico del sistema;
- monitoraggio continuo;
- acquisizione periodica normale;
- acquisizione periodica accelerata;
- acquisizione su richiesta dell'operatore;
- confronto con livelli di soglia ed attivazione di segnali di allarme tecnico
- visualizzazione delle misure e dei messaggi;
- stampa delle misure e dei messaggi;
- registrazione dei dati;
- controllo di pannelli sinottici e rappresentazioni grafiche;
- teletrasmissione a distanza dei dati;
- test diagnostici.

## **2.8 ANALISI DEI RISULTATI E FLUSSO DEI DATI**

Il trattamento dei dati è suddiviso in due parti secondo il seguente schema:

- un'acquisizione ed una prima elaborazione dei dati di misura in linea ed in tempo reale (acquisizione manuale e automatica)
- un'archiviazione su appositi data-base delle misure per una loro successiva elaborazione fuori linea.

Le misure raccolte in diga in modo manuale o automatico vengono inviate (via mail) all'Ufficio Responsabile dell'opera.

Questo Ufficio è a sua volta dotato di un opportuno sistema di terminali attraverso il quale si ottiene il collegamento con un centro di calcolo CED remoto dotato dei programmi di archiviazione ed elaborazione.

I database e i sistemi interattivi approntati per l'archiviazione e il trattamento dei dati di misura permettono la memorizzazione di tutti i dati di stato della struttura, degli strumenti installati, ovviamente delle misure rilevate in diga e l'elaborazione di tutte le misure archiviate. Tali elaborazioni permettono di:



- archiviare le misure grezze raccolte in diga;
- trasformare tali misure in grandezze significative;
- raggruppare, stampare e diagrammare le misure secondo standard prefissati;
- eseguire controlli di congruenza delle misure ridondanti e calcolare il loro grado di attendibilità tramite indici statistici e test probabilistici;
- eseguire analisi preliminari (medie, medie mobili, analisi di Fourier) per verificarne le tendenze evolutive;
- ricercare correlazioni tra grandezze causa ed effetto, sviluppare modelli regressivi di vario tipo;
- confrontare le grandezze misurate con gli analoghi valori previsti dai modelli di riferimento di progetto;

### 2.8.1. MODELLI DI RIFERIMENTO

Con riferimento a quest'ultima fase si possono distinguere due tipi di modelli:

#### 1. Modelli statistici

Il loro uso è relativamente semplice; essi non richiedono pesanti elaborazioni e possono essere utilizzati per il controllo di tutte le grandezze effetto (spostamenti, perdite, dilatazioni unitarie, rotazioni, ecc.). Per creare un tale modello è necessario disporre, per un opportuno periodo di tempo, della serie cronologica sia delle grandezze causa sia delle grandezze effetto.

#### 2. Modelli deterministici

Quando la correlazione tra causa ed effetto viene determinata attraverso un'analisi della diga si ha un controllo delle grandezze per mezzo di un modello deterministico

La costruzione di un modello deterministico necessita, oltre che dei dati geometrici della struttura, di una buona conoscenza delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali. In mancanza di queste ultime il modello deve essere calibrato utilizzando i dati di misura raccolti in un periodo di esercizio normale. Va inoltre evidenziato che il modello deterministico, oltre ad essere un valido strumento di controllo nei periodi di esercizio normale, può essere utilizzato anche quale strumento di interpretazione del comportamento dell'opera in situazioni di esercizio straordinario e/o di interventi di manutenzione simulabili. Esso può quindi coincidere col modello di progetto eventualmente calibrato in corso d'opera.

### 2.8.2. ELABORAZIONE DELLE MISURE - LIVELLI DI SOGLIA

Il controllo del buon comportamento di una diga mediante l'utilizzo di un modello è effettuato verificando che il valore di una o più grandezze misurate non differisca sostanzialmente dal valore teorico fornito dai modelli di riferimento nelle analoghe condizioni ambientali. In altre parole se gli scarti tra valori misurati e valori predetti dal modello matematico superano alcune soglie specifiche, allora la diga si comporta in modo anomalo. Una volta chiarite le cause del superamento della soglia allora sarà possibile esprimere un corretto giudizio sul livello di sicurezza dell'opera.

La tolleranza è stata fissata su tre livelli di soglie:

- **Soglia di primo livello:** entro la quale si ritiene un comportamento normale dell'opera.

- **Soglia di secondo livello:** entro la quale si ritiene un comportamento con anomalia lieve.
- **Soglia di terzo livello:** entro la quale si ritiene un comportamento con anomalia grave

I limiti delle tre fasce si basa sui valori di progetto e/o sul calcolo della deviazione standard dei valori misurati su due o tre anni di comportamento normale:

- **limiti della prima fascia** pari a due volte la deviazione standard
- **limiti della seconda fascia** pari a tre volte la deviazione standard
- **limiti della terza fascia** fissati dal progettista sui dati di derivati dal modello fisico e/o numerico dell'opera eventualmente tarati in esercizio coi valori misurati su un lasso di tempo significativo

Il giudizio sul comportamento dell'opera scaturisce oltre che dall'osservazione del valore assoluto dello scarto di una singola grandezza anche dalla sua tendenza evolutiva.

Inoltre l'eventuale gravità della situazione emerge con maggiore evidenza se non una sola ma più grandezze segnalano un comportamento anomalo.

### 3 ARCHITETTURA DEL MONITORAGGIO GEOTECNICO PREVISTO

Per i nuovi rilevati arginali dovrà essere previsto un monitoraggio in fase di costruzione, in fase di primo invaso e collaudo, ed in fase di esercizio per le seguenti sezioni tipo:

- Sezione tipo 1, intermedia (tra compartimento 1 e compartimento 2);
- Sezione tipo 2, valle (tra compartimento 2 e campagna);
- Sezione tipo 3, tra comparto 2 e campagna (EST);
- Sezione tipo 4, tra comparto 1 e campagna (EST);
- Sezione tipo 5, tra campagna (OVEST) alveo e comparto 1;
- Sezione tipo 6, tra campagna (OVEST) e comparto 1 (alveo);
- Sezione tipo 7, tra alveo (OVEST) e comparto 2.

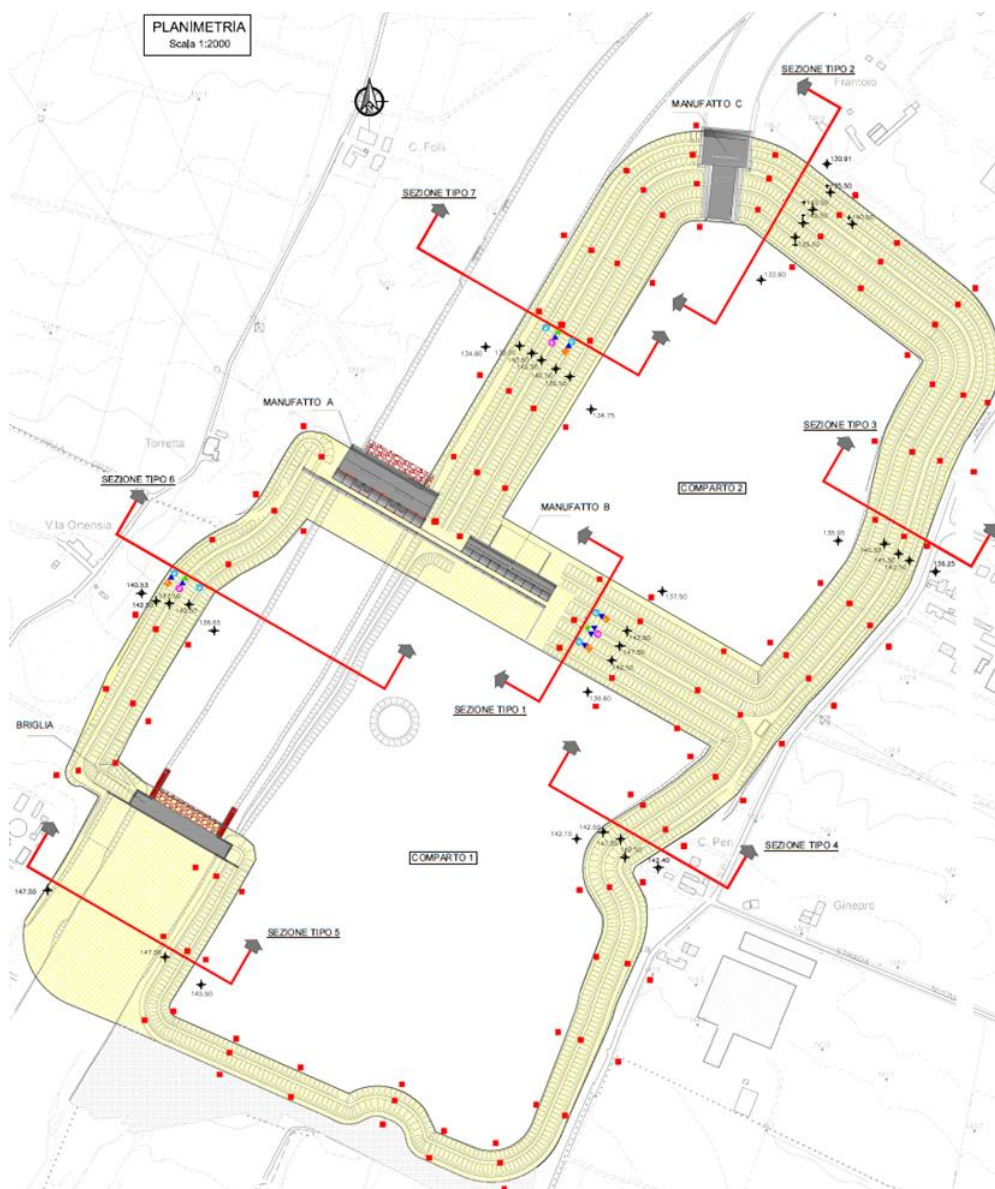


Figura 3 Planimetria con ubicazione sezioni di monitoraggio

La strumentazione può essere raggruppata a seconda della propria funzione (topografica, piezometrica,) ed è complessivamente composta come segue.

#### **Strumentazione con funzione di monitoraggio deformativo:**

- **Totali 122 caposaldi:** al fine di confrontare le deformazioni di sito e gli spostamenti attesi stese di misuratori di spostamento topografici dovranno essere disposti ogni 200m, sui rilevati agli estremi delle loro piste carrabili, lungo allineamenti ortogonali all'asse dei rilevati.
- **Totali 7 assestimetri profondi:** al fine di confrontare le deformazioni di sito e gli spostamenti attesi, gli assestimetri profondi dovranno essere disposti nel nucleo di argilla dove si ha il massimo spessore dei rilevati; il primo punto di misura è disposto all'altezza della base del rilevato, mentre l'ubicazione degli altri punti di misura più profondi è stata scelta sulla base degli incrementi di sforzo del bulbo di Boussinesq, in corrispondenza degli incrementi pari rispettivamente al 70%, 80% e 90%.
- **Totali 10 assestimetri superficiali:** sono ubicati in corrispondenza dei corpi permeabili (Materiale da rilevato grossolano) e ciascuno ha un unico punto di misura, ubicato all'altezza della base del rilevato.
- **Totali 8 tubi inclinometrici:** al fine di confrontare le deformazioni di sito e gli spostamenti attesi dovranno essere posizionati all'interno del corpo del rilevato e dovranno innestarsi nel terreno sottostante. Hanno lunghezza variabile da 12 a 22m.

#### **Strumentazione con funzione di monitoraggio piezometrico:**

- **Totali 12 celle di pressione totale:** al fine di misurare le pressioni totali dovranno essere ubicate alla base dei rilevati, sia in corrispondenza del nucleo di argilla che dei corpi più permeabili.
- **Totali 16 piezometri di Casagrande:** dovranno essere disposti in corrispondenza sia del nucleo di argilla (unità geotecnica 2B) sia dei corpi più permeabili (unità geotecniche 1A e 2A); le celle di misura sono disposte al di sotto della base del rilevato (1 per ciascun piezometro).
- **Totali 7 piezometri elettrici:** dovranno essere disposti in numero di uno per ciascuna sezione di monitoraggio (al centro del rilevato); la cella di misura per ciascun piezometro è disposta in profondità al di sotto del nucleo di argilla.
- **Totali 42 celle di pressione interstiziali:** al fine di misurare le pressioni interstiziali e ricostruire il reticolo di deflusso dovranno essere ubicate alla base e all'interno dei rilevati, sia in corrispondenza del nucleo di argilla che dei corpi più permeabili.

È prevista infine anche la seguente strumentazione:

- **accelerometri:** hanno lo scopo di misurare le azioni dinamiche alle quali la struttura è sottoposta. Le relative misurazioni serviranno per correttamente interpretare le letture delle altre strumentazioni.



### 3.1 DESCRIZIONE DELLE SEZIONI TIPO DI MONITORAGGIO

Si riporta di seguito la descrizione delle sette sezioni tipo di monitoraggio, specificando anche i relativi quantitativi, ubicazione e lunghezze degli strumenti installati.

#### Sezione tipo 1

La sezione di monitoraggio tipo 1 è ubicata tra il compartimento 1 e il compartimento 2; tale sezione di monitoraggio permetterà anche, in fase di esercizio, di valutare eventuali criticità durante la costruzione del manufatto B.

In questa sezione la strumentazione è composta da:

- caposaldi disposti agli estremi delle parti carrabili del rilevato, lungo allineamenti circa ortogonali al suo asse;
- 2 tubi inclinometrici di lunghezza 14m posizionati all'interno del corpo del rilevato e che vanno a innestarsi nel terreno sottostante per circa 4m;
- 1 assestometro profondo di lunghezza 48m disposto nel nucleo di argilla dove si ha il massimo spessore di rilevato, con quattro punti di misura, dei quali il primo è disposto all'altezza della base del rilevato, mentre l'ubicazione degli altri punti di misura più profondi è stata scelta sulla base degli incrementi di sforzo del bulbo di Boussinesq, in corrispondenza degli incrementi pari rispettivamente al 70%, 80% e 90%.
- 2 assestometri superficiali di lunghezza 6m ubicati in corrispondenza dei corpi permeabili (Materiale da rilevato grossolano) ciascuno con un unico punto di misura, ubicato all'altezza della base del rilevato.
- 3 celle di pressione totale ubicate alla base dei rilevati, sia in corrispondenza del nucleo di argilla che dei corpi più permeabili.
- 4 piezometri di Casagrande di cui due con lunghezza 20m disposti in corrispondenza del nucleo di argilla (unità geotecnica 2B) e due con lunghezza 15m nei corpi più permeabili (unità geotecniche 1A e 2A); le celle di misura sono disposte al di sotto della base del rilevato (1 per ciascun piezometro).
- 1 piezometro elettrico di lunghezza 27m disposto al centro del rilevato, con una cella di misura disposta in profondità al di sotto del nucleo di argilla.
- 10 celle di pressione interstiziali ubicate alla base e all'interno del rilevato, sia in corrispondenza del nucleo di argilla che dei corpi più permeabili.

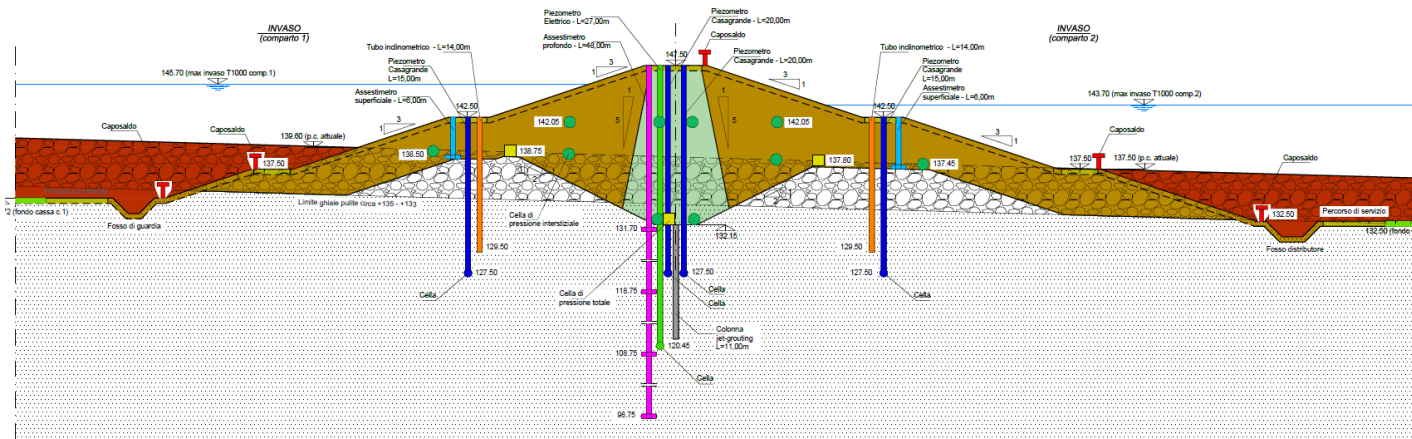


Figura 4 Schema d'ubicazione della strumentazione per il monitoraggio (Sezione tipo 1)

## Sezione tipo 2

La sezione di monitoraggio tipo 2 è ubicata sul rilevato lato nord del compartimento 2; tale sezione di monitoraggio permetterà anche, in fase di esercizio, di valutare eventuali criticità durante la costruzione del manufatto C.

In questa sezione la strumentazione è composta da:

- caposaldi disposti agli estremi delle parti carrabili del rilevato, lungo allineamenti circa ortogonali al suo asse;
- 1 tubo inclinometrico di lunghezza 22m posizionato all'interno del corpo del rilevato e che va a innestarsi nel terreno sottostante per circa 7m;
- 1 assestometro profondo di lunghezza 46m disposto nel nucleo di argilla dove si ha il massimo spessore di rilevato, con quattro punti di misura, dei quali il primo è disposto all'altezza della base del rilevato, mentre l'ubicazione degli altri punti di misura più profondi è stata scelta sulla base degli incrementi di sforzo del bulbo di Boussinesq, in corrispondenza degli incrementi pari rispettivamente al 70%, 80% e 90%.
- 2 assestometri superficiali di lunghezza 10m ubicati in corrispondenza dei corpi permeabili (Materiale da rilevato grossolano) ciascuno con un unico punto di misura, ubicato all'altezza della base del rilevato.
- 2 celle di pressione totale ubicate alla base dei rilevati, sia in corrispondenza del nucleo di argilla che dei corpi più permeabili.
- 2 piezometri di Casagrande di cui uno con lunghezza 29m disposto in corrispondenza del nucleo di argilla (unità geotecnica 2B) e uno con lunghezza 24m nei corpi più permeabili (unità geotecniche 1A e 2A); le celle di misura sono disposte al di sotto della base del rilevato (1 per ciascun piezometro).
- 1 piezometro elettrico di lunghezza 35m disposto al centro del rilevato, con una cella di misura disposta in profondità al di sotto del nucleo di argilla.
- 8 celle di pressione interstiziali ubicate alla base e all'interno del rilevato, sia in corrispondenza del nucleo di argilla che dei corpi più permeabili.

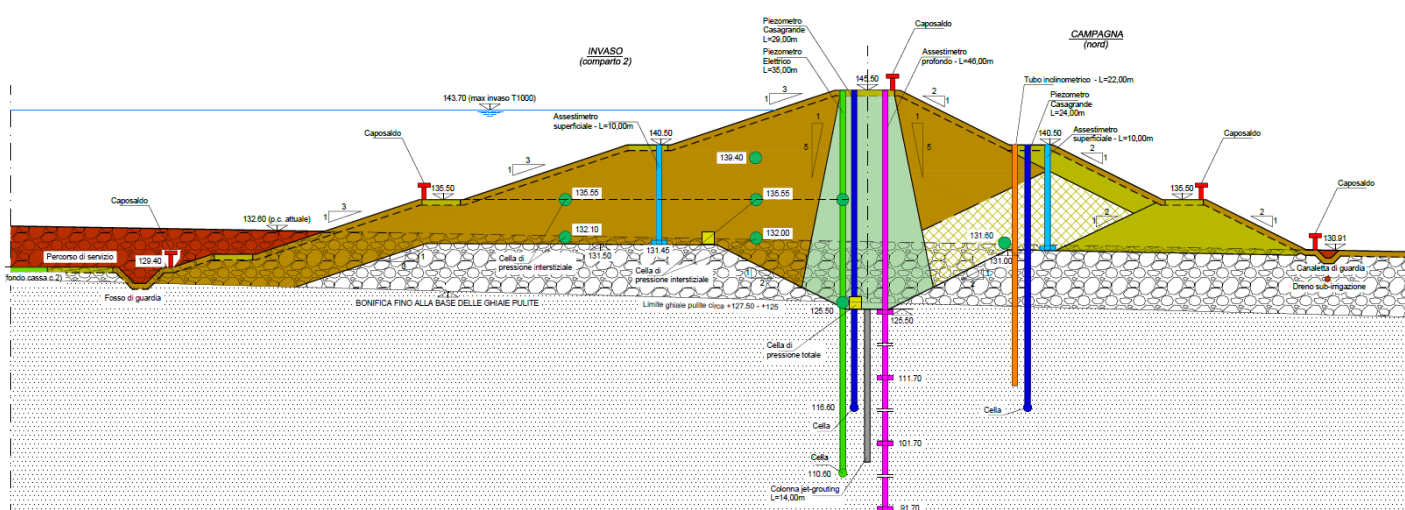


Figura 5 Schema d'ubicazione della strumentazione per il monitoraggio (Sezione tipo 2)

### Sezione tipo 3

La sezione di monitoraggio tipo 3 è ubicata nel rilevato lato est del compartimento 2 e la strumentazione è composta da:

- caposaldi disposti agli estremi delle parti carrabili del rilevato, lungo allineamenti circa ortogonali al suo asse;
- 1 tubo inclinometrico di lunghezza 12m posizionato all'interno del corpo del rilevato e che va a innestarsi nel terreno sottostante per circa 7m;
- 1 assestometro profondo di lunghezza 24m disposto nel nucleo di argilla dove si ha il massimo spessore di rilevato, con quattro punti di misura, dei quali il primo è disposto all'altezza della base del rilevato, mentre l'ubicazione degli altri punti di misura più profondi è stata scelta sulla base degli incrementi di sforzo del bulbo di Boussinesq, in corrispondenza degli incrementi pari rispettivamente al 70%, 80% e 90%.
- 2 assestimetri superficiali di lunghezza 5m ubicati in corrispondenza dei corpi permeabili (Materiale da rilevato grossolano) ciascuno con un unico punto di misura, ubicato all'altezza della base del rilevato.
- 2 celle di pressione totale ubicate alla base dei rilevati, sia in corrispondenza del nucleo di argilla che dei corpi più permeabili.
- 2 piezometri di Casagrande di cui uno con lunghezza 19m disposto in corrispondenza del nucleo di argilla (unità geotecnica 2B) e uno con lunghezza 14m nei corpi più permeabili (unità geotecniche 1A e 2A); le celle di misura sono disposte al di sotto della base del rilevato (1 per ciascun piezometro).
- 1 piezometro elettrico di lunghezza 24m disposto al centro del rilevato, con una cella di misura disposta in profondità al di sotto del nucleo di argilla.
- 6 celle di pressione interstiziali ubicate alla base e all'interno del rilevato, sia in corrispondenza del nucleo di argilla che dei corpi più permeabili.

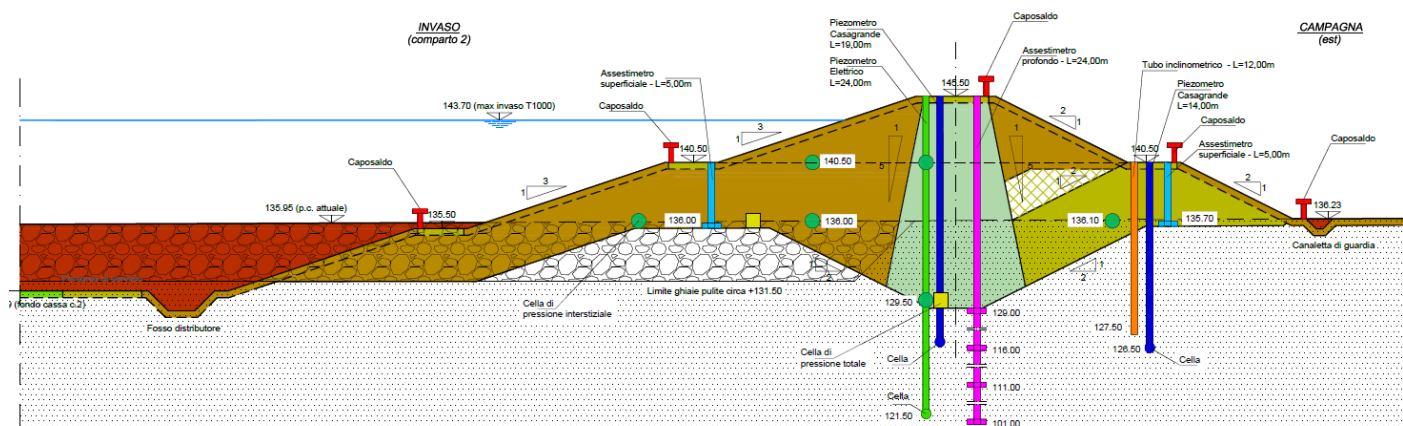


Figura 6 Schema d'ubicazione della strumentazione per il monitoraggio (Sezione tipo3)

## Sezione tipo 4

La sezione di monitoraggio tipo 4 è ubicata nel rilevato lato est del compartimento 1 e la strumentazione è composta da:

- caposaldi disposti agli estremi delle parti carrabili del rilevato, lungo allineamenti circa ortogonali al suo asse;
- 1 tubo inclinometrico di lunghezza 17m posizionato all'interno del corpo del rilevato e che va a innestarsi nel terreno sottostante per circa 10m;
- 1 assestometro profondo di lunghezza 20m disposto nel nucleo di argilla dove si ha il massimo spessore di rilevato, con tre punti di misura, dei quali il primo è disposto all'altezza della base del rilevato, mentre l'ubicazione degli altri punti di misura più profondi è stata scelta sulla base degli incrementi di sforzo del bulbo di Boussinesq, in corrispondenza degli incrementi pari rispettivamente al 80% e 90%.
- 1 cella di pressione totale ubicata alla base del rilevato, in corrispondenza del nucleo di argilla.
- 2 piezometri di Casagrande di cui uno con lunghezza 18m disposto in corrispondenza del nucleo di argilla (unità geotecnica 2B) e uno con lunghezza 13m nel corpo più permeabile (unità geotecniche 1A e 2A); le celle di misura sono disposte al di sotto della base del rilevato (1 per ciascun piezometro).
- 1 piezometro elettrico di lunghezza 23m disposto al centro del rilevato, con una cella di misura disposta in profondità al di sotto del nucleo di argilla.
- 3 celle di pressione interstiziali ubicate alla base e all'interno del rilevato, in corrispondenza del nucleo di argilla e dei corpi più permeabili.

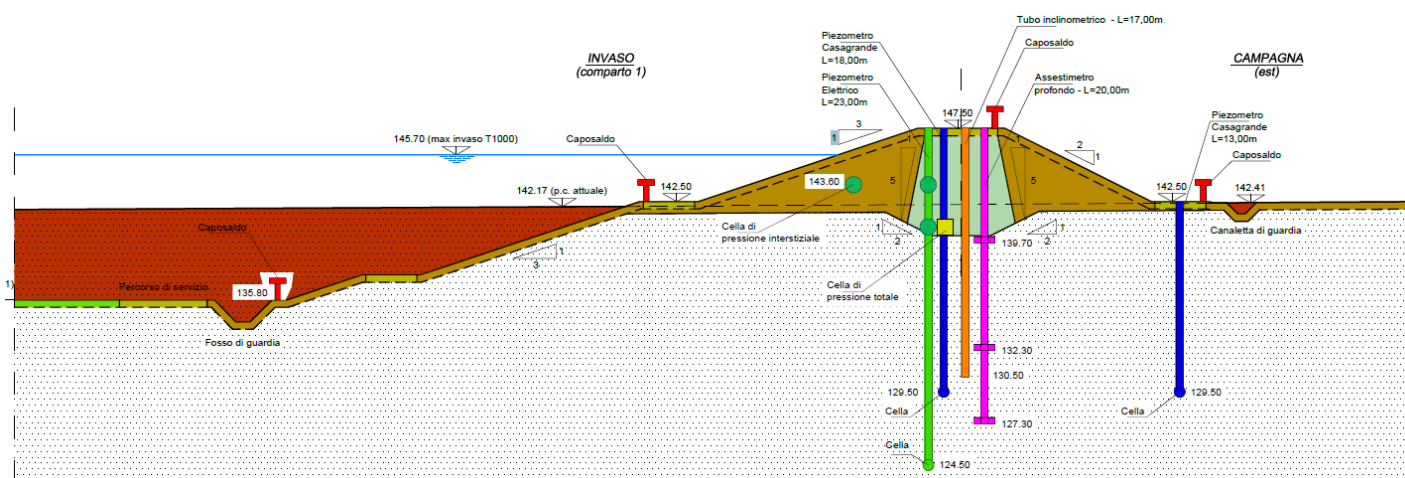


Figura 7 Schema d'ubicazione della strumentazione per il monitoraggio (Sezione tipo 4)



## Sezione tipo 5

La sezione di monitoraggio tipo 5 è ubicata nel rilevato lato ovest del compartimento 1 e la strumentazione è composta da:

- caposaldi disposti agli estremi delle parti carrabili del rilevato, lungo allineamenti circa ortogonali al suo asse;
- 1 tubo inclinometrico di lunghezza 20m posizionato all'interno del corpo del rilevato e che va a innestarsi nel terreno sottostante per circa 10m;
- 1 assestometro profondo di lunghezza 26m disposto nel nucleo di argilla dove si ha il massimo spessore di rilevato, con quattro punti di misura, dei quali il primo è disposto all'altezza della base del rilevato, mentre l'ubicazione degli altri punti di misura più profondi è stata scelta sulla base degli incrementi di sforzo del bulbo di Boussinesq, in corrispondenza degli incrementi pari rispettivamente al 70% 80% e 90%.
- 1 cella di pressione totale ubicata alla base del rilevato, in corrispondenza del nucleo di argilla.
- 2 piezometri di Casagrande di cui uno con lunghezza 21m disposto in corrispondenza del nucleo di argilla (unità geotecnica 2B) e uno con lunghezza 16m nel corpo più permeabile (unità geotecniche 1A e 2A); le celle di misura sono disposte al di sotto della base del rilevato (1 per ciascun piezometro).
- 1 piezometro elettrico di lunghezza 26m disposto al centro del rilevato, con una cella di misura disposta in profondità al di sotto del nucleo di argilla.
- 3 celle di pressione interstiziali ubicate alla base e all'interno del rilevato, in corrispondenza del nucleo di argilla e dei corpi più permeabili.

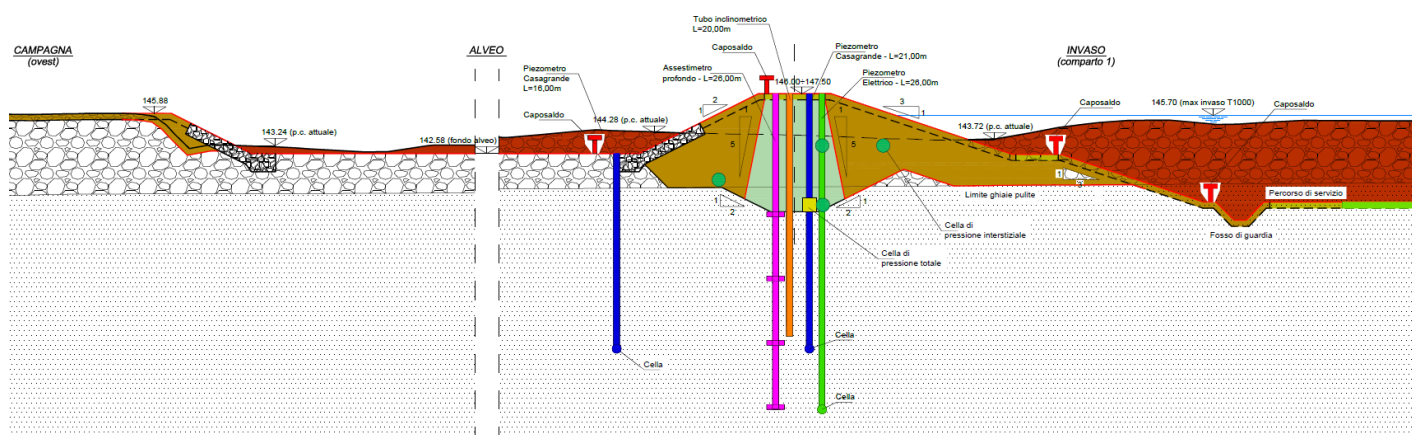


Figura 8 Schema d'ubicazione della strumentazione per il monitoraggio (Sezione tipo 5)

## Sezione tipo 6

La sezione di monitoraggio tipo 6 è ubicata nel rilevato lato ovest del compartimento 1 e la strumentazione è composta da:

- caposaldi disposti agli estremi delle parti carrabili del rilevato, lungo allineamenti circa ortogonali al suo asse;
- 1 tubo inclinometrico di lunghezza 13m posizionato all'interno del corpo del rilevato e che va a innestarsi nel terreno sottostante per circa 5.5m;
- 1 assestometro profondo di lunghezza 26m disposto nel nucleo di argilla dove si ha il massimo spessore di rilevato, con quattro punti di misura, dei quali il primo è disposto all'altezza della base del rilevato, mentre l'ubicazione degli altri punti di misura più profondi è stata scelta sulla base degli incrementi di sforzo del bulbo di Boussinesq, in corrispondenza degli incrementi pari rispettivamente al 70%, 80% e 90%.
- 2 assestometri superficiali rispettivamente di lunghezza 3m e 5m, ubicati in corrispondenza dei corpi permeabili (Materiale da rilevato grossolano) ciascuno con un unico punto di misura, ubicato all'altezza della base del rilevato.
- 2 celle di pressione totale ubicate alla base dei rilevati, sia in corrispondenza del nucleo di argilla che dei corpi più permeabili.
- 2 piezometri di Casagrande di cui uno con lunghezza 20m disposto in corrispondenza del nucleo di argilla (unità geotecnica 2B) e uno con lunghezza 15m nel corpo più permeabili (unità geotecniche 1A e 2A); le celle di misura sono disposte al di sotto della base del rilevato (1 per ciascun piezometro).
- 1 piezometro elettrico di lunghezza 26m disposto al centro del rilevato, con una cella di misura disposta in profondità al di sotto del nucleo di argilla.
- 5 celle di pressione interstiziali ubicate alla base e all'interno del rilevato, sia in corrispondenza del nucleo di argilla che dei corpi più permeabili.

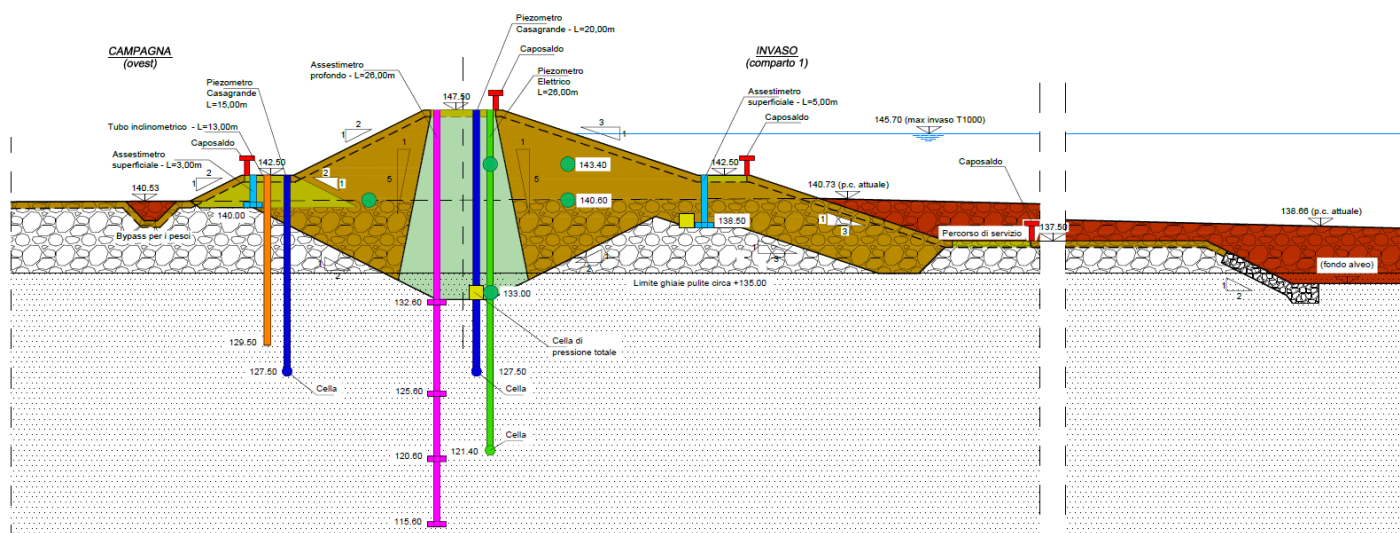


Figura 9 Schema d'ubicazione della strumentazione per il monitoraggio (Sezione tipo 6)

## Sezione tipo 7

La sezione di monitoraggio tipo 7 è ubicata nel rilevato lato ovest del compartimento 2 e la strumentazione è composta da:

- caposaldi disposti agli estremi delle parti carrabili del rilevato, lungo allineamenti circa ortogonali al suo asse;
- 1 tubo inclinometrico di lunghezza 19m posizionato all'interno del corpo del rilevato e che va a innestarsi nel terreno sottostante per circa 8m;
- 1 assestometro profondo di lunghezza 30m disposto nel nucleo di argilla dove si ha il massimo spessore di rilevato, con quattro punti di misura, dei quali il primo è disposto all'altezza della base del rilevato, mentre l'ubicazione degli altri punti di misura più profondi è stata scelta sulla base degli incrementi di sforzo del bulbo di Boussinesq, in corrispondenza degli incrementi pari rispettivamente al 70%, 80% e 90%.
- 2 assestometri superficiali di lunghezza 7m ubicati in corrispondenza dei corpi permeabili (Materiale da rilevato grossolano) ciascuno con un unico punto di misura, ubicato all'altezza della base del rilevato.
- 2 celle di pressione totale ubicate alla base dei rilevati, sia in corrispondenza del nucleo di argilla che dei corpi più permeabili.
- 2 piezometri di Casagrande di cui uno con lunghezza 25m disposto in corrispondenza del nucleo di argilla (unità geotecnica 2B) e uno con lunghezza 20m nel corpo più permeabili (unità geotecniche 1A e 2A); le celle di misura sono disposte al di sotto della base del rilevato (1 per ciascun piezometro).
- 1 piezometro elettrico di lunghezza 30m disposto al centro del rilevato, con una cella di misura disposta in profondità al di sotto del nucleo di argilla.
- 6 celle di pressione interstiziali ubicate alla base e all'interno del rilevato, sia in corrispondenza del nucleo di argilla che dei corpi più permeabili.

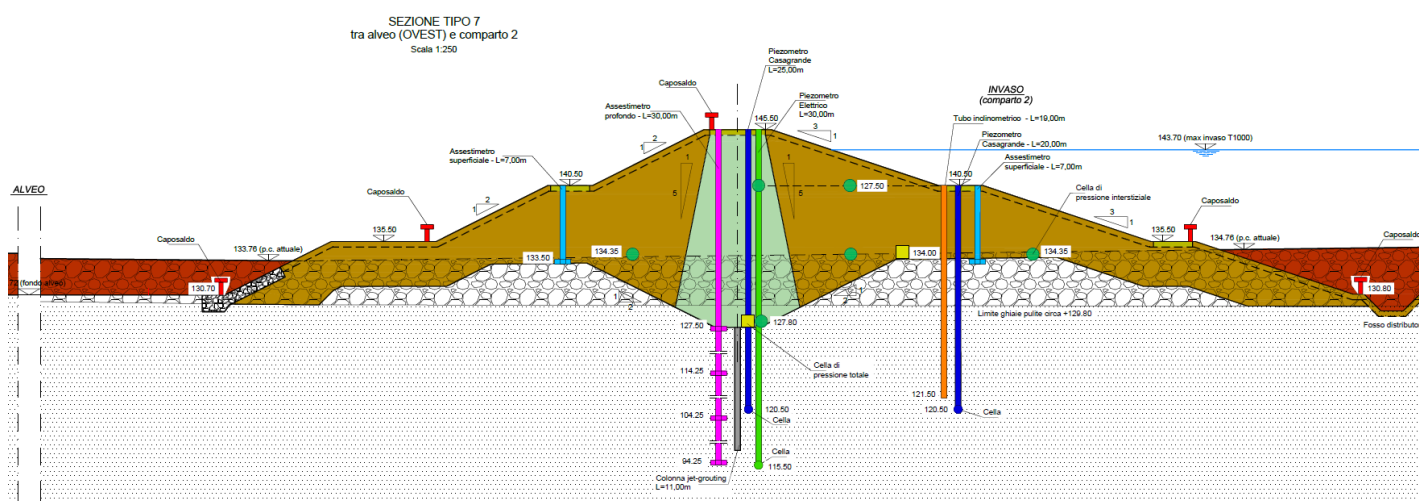


Figura 10 Schema d'ubicazione della strumentazione per il monitoraggio (Sezione tipo 7)

## 4 GERARCHIA DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO

Al fine di poter fornire in modo esaustivo tutti gli elementi necessari per una corretta gestione della architettura di monitoraggio proposta per l'opera in esame, come già illustrato precedentemente, i vari componenti della rete di monitoraggio vengono suddivisi gerarchicamente nelle seguenti configurazioni a grado di complessità crescente:

- RETE DI MONITORAGGIO STRUMENTALE E TOPOGRAFICO CON:
  - DISPOSITIVI DI BASE (sensori e strumentazione geotecnica, topografica)
  - CENTRALIZZAZIONE DISPOSITIVI (rete di collegamento tra sensori ed unità di lettura portatili)
  - AUTOMATIZZAZIONE DISPOSITIVI (sistemi di acquisizione dati con controllo da remoto)
- MONITORAGGIO DINAMICO

### **Strumentazione topografica (stese di capisaldi a terra)**

- Installazione dei dispositivi topografici per misure di livellazione (capisaldi a terra)
- Lecture manuali sui dispositivi topografici per misure di livellazione (capisaldi a terra)

### **Strumentazione geotecnica** (piezometri, celle piezometriche, inclinometri, assestimetri)

- Installazione dei dispositivi di base geotecnici,
- Condizionamento della strumentazione meccanica con sensori elettrici (piezometri, inclinometri, assestimetri)
- Centralizzazione dei sensori per sezioni di monitoraggio
- Automatizzazione delle lecture geotecniche dai punti di centralizzazione e comunicazione dati via modem GSM – modalità di monitoraggio real-time mediante Unità di Acquisizione Dati (UAD)
- Lecture manuali e semi-automatiche periodiche limitate alla strumentazione non automatizzabile ed a sensori isolati.

### **Monitoraggio dinamico (accelerometri)**

- Installazione dei dispositivi,
- Centralizzazione dei sensori per sezioni di monitoraggio
- Automatizzazione delle lecture dai punti di centralizzazione e comunicazione dati via modem GSM – modalità di monitoraggio real-time mediante Unità di Acquisizione Dati (UAD)



## 5 MONITORAGGIO IN FASE DI COSTRUZIONE

### 5.1 STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO

Per il monitoraggio in fase di costruzione dei nuovi rilevati arginali dovrà essere prevista la seguente strumentazione:

- Assestimetri superficiali;
- Assestimetri profondi;
- Tubi inclinometrici;
- Caposaldi;
- Celle di pressione totale.

I rilevati dovranno essere strumentati in fase di costruzione via via attraverso la messa in opera della seguente strumentazione

- **7 assestimetri profondi:** al fine di confrontare le deformazioni di sito e gli spostamenti attesi, gli assestimetri profondi dovranno essere disposti nel nucleo di argilla dove si ha il massimo spessore dei rilevati; il primo punto di misura è disposto all'altezza della base del rilevato, mentre l'ubicazione degli altri punti di misura più profondi è stata scelta sulla base degli incrementi di sforzo del bulbo di Boussinesq, in corrispondenza degli incrementi pari rispettivamente al 70%, 80% e 90%.
- **9 assestimetri superficiali:** sono ubicati in corrispondenza dei corpi permeabili (Materiale da rilevato grossolano) e ciascuno ha un unico punto di misura, ubicato all'altezza della base del rilevato.
- **8 tubi inclinometrici:** al fine di confrontare le deformazioni di sito e gli spostamenti attesi dovranno essere posizionati all'interno del corpo del rilevato e dovranno innestarsi nel terreno sottostante.
- **122 caposaldi:** al fine di confrontare le deformazioni di sito e gli spostamenti attesi i misuratori di spostamento topografici dovranno essere disposti ogni 200m, a quinconce sui rilevati agli estremi delle loro parti carrabili, lungo allineamenti circa ortogonali all'asse dei rilevati.
- **12 celle di pressione totale:** al fine di misurare le pressioni totali dovranno essere ubicate alla base dei rilevati, sia in corrispondenza del nucleo di argilla che dei corpi più permeabili.

### 5.2 FREQUENZE

Frequenze	Dall'inizio della costruzione (lettura di zero dei caposaldi a terra almeno 2 mesi prima)	Da installazione fino a fine costruzione
Caposaldi	3lett/sett	3lett/sett
Assestimetri	-	2lett/sett
Inclinometri	-	1lett/sett
Celle di pressione	-	1lett/sett

### 5.3 DEFINIZIONE DEI VALORI DI SOGLIA PER OGNI SEZIONE

Come accennato nei capitoli precedenti i livelli di soglia verranno applicati solo sulla strumentazione di livello 1 demandando alla strumentazione di livello 2 una funzione di approfondimento e confronto delle letture della strumentazione di livello 1.

Strumentazione livello 2	Strumentazione livello 1	LIVELLI DI SOGLIA		
		Soglia 1	Soglia 2	Soglia 2
	Caposaldi Assestimetri	Wmax*	Wmax+10%	Wmax+30%
Inclinometri		-	-	-
Celle di pressione		-	-	-

\*cedimento massimo previsto in progetto in quella fase costruttiva e per quella sezione

Di seguito si riportano, per ogni sezione di calcolo, il valore di cedimento a breve termine (fine costruzione del rilevato) da considerare per il calcolo delle soglie:

Sezione di calcolo	Cedimento in fase di costruzione
[-]	[mm]
Sezione 1	660
Sezione 2	1270
Sezione 3	530
Sezione 4	145
Sezione 5	310
Sezione 6	650
Sezione 7	450
Sezione S14	990
Sezione S2_PG/S7	780

## 6 MONITORAGGIO IN FASE DI PRIMO INVASO E COLLAUDO

### 6.1 STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO

Per il monitoraggio in fase di collaudo dei nuovi rilevati arginali dovrà essere prevista la seguente strumentazione:

- Tubi inclinometrici;
- Celle di pressione interstiziale;
- Celle di pressione totale;
- Piezometri di Casagrande;
- Piezometri elettrici.

Rispetto alla fase di costruzione non si effettueranno nella fase di collaudo le letture dei capisaldi e degli assestimetri (sia profondi che superficiali), mentre si aggiunge la lettura della seguente strumentazione:

- **16 piezometri di Casagrande:** dovranno essere disposti in corrispondenza sia del nucleo di argilla (unità geotecnica 2B) sia dei corpi più permeabili (unità geotecniche 1A e 2A); le celle di misura sono disposte al di sotto della base del rilevato (1 per ciascun piezometro).
- **6 piezometri elettrici:** dovranno essere disposti in numero di uno per ciascuna sezione di monitoraggio (al centro del rilevato).
- **42 celle di pressione interstiziali:** al fine di misurare le pressioni interstiziali e ricostruire il reticolo di deflusso dovranno essere ubicate alla base e all'interno dei rilevati, sia in corrispondenza del nucleo di argilla che dei corpi più permeabili.

### 6.2 FREQUENZE

Frequenze	n. letture
Caposaldi (esterni e sul rilevato)	3lett/gg
Assestimetri	2lett/gg
Inclinometri	2lett/gg
Celle di pressione	2lett/gg
Piezometri	3lett/giorno
Celle piezometriche	Lettura in continuo

### 6.3 DEFINIZIONE DEI VALORI DI SOGLIA PER OGNI SEZIONE

Come accennato nei capitoli precedenti i livelli di soglia verranno applicati solo sulla strumentazione di livello 1 demandando alla strumentazione di livello 2 una funzione di approfondimento e confronto delle letture della strumentazione di livello 1.

Strumentazione livello 2	Strumentazione livello 1	LIVELLI DI SOGLIA		
		Soglia 1	Soglia 2	Soglia 2
	Caposaldi Assestimetri	Wmax*	Wmax+10%	Wmax+30%
Inclinometri		-	-	-
Celle di pressione		-	-	-
	Piezometri	U**	U ±10%	U ±30%
	Celle piezometriche	U**	U ±10%	U ±30%

\*cedimento massimo previsto in progetto in quella fase costruttiva e per quella sezione

\*\* pressione interstiziale prevista in progetto in quel punto (fondazione o corpo del rilevato) in base alle simulazioni di flusso relative alla sezione in esame e con le condizioni idrauliche al contorno relative al primo invaso.

Per quanto riguarda i valori delle pressioni interstiziali si rimanda agli elaborati specifici dello studio idraulico.

Di seguito si riportano, per ogni sezione di calcolo, il valore di cedimento a fine costruzione dell'intera opera da considerare per il calcolo delle soglie nella fase di primo invaso e collaudo:

Sezione di calcolo	Cedimento in fase di primo invaso e collaudo
[-]	[mm]
Sezione 1	40
Sezione 2	10
Sezione 3	10

Sezione 4	10
Sezione 5	60
Sezione 6	90
Sezione 7	10
Sezione S14	10
Sezione S2_PG/S7	70



## 7 MONITORAGGIO IN FASE DI ESERCIZIO

### 7.1 STRUMENTAZIONE DI MONITORAGGIO

Per il monitoraggio in fase di esercizio dei nuovi rilevati arginali dovrà essere prevista la seguente strumentazione completa, a meno dei capisaldi sommersi:

- Controllo caposaldi;
- Celle di pressione interstiziale;
- Piezometri di Casagrande;
- Piezometri elettrici.
- Accelerometri

Per la descrizione della strumentazione si rimanda ai capitoli precedenti.

### 7.2 FREQUENZE

Frequenze	n. letture minima***
Caposaldi (esterni e sul rilevato)	1lett /30 gg
Assestimetri	1lett /30 gg
Inclinometri	1lett /30 gg
Celle di pressione	1lett /30 gg
Piezometri	1lett /15 gg****
Celle piezometriche	Lettura in continuo****
Accelerometri	Lettura in continuo

\*\*\* in condizioni normali, da regolare in ogni caso in funzione di quanto monitorato

\*\*\*\* in presenza di acqua nell'invaso

### 7.3 DEFINIZIONE DEI VALORI DI SOGLIA PER OGNI SEZIONE

Come accennato nei capitoli precedenti i livelli di soglia verranno applicati solo sulla strumentazione di livello 1 demandando alla strumentazione di livello 2 una funzione di approfondimento e confronto delle letture della strumentazione di livello 1.

Strumentazione livello 2	Strumentazione livello 1	LIVELLI DI SOGLIA		
		Soglia 1	Soglia 2	Soglia 2
	Caposaldi Assestimetri	$W_{medio}+2dev$ standard	$W_{medio}+3dev$ standard	$W_{max}+30\%$
inclinometri		-	-	-
celle di pressione		-	-	-
accelerometri				
	piezometri	$U^{**}$	$U \pm 10\%$	$U \pm 30\%$
	celle piezometriche	$U^{**}$	$U \pm 10\%$	$U \pm 30\%$

\*cedimento massimo previsto in progetto in quella fase costruttiva e per quella sezione

\*\* pressione interstiziale prevista in progetto in quel punto (fondazione o corpo del rilevato) in base alle simulazioni di flusso relative alla sezione in esame e con le condizioni idrauliche al contorno relative al primo invaso.

Per quanto riguarda i valori delle pressioni interstiziali si rimanda agli elaborati specifici dello studio idraulico.

Di seguito si riportano, per ogni sezione di calcolo, il valore di cedimento a lungo termine, da considerare per il calcolo delle soglie nella fase di esercizio:

Sezione di calcolo	Cedimento in fase di primo invaso e collaudo
[-]	[mm]
Sezione 1	130
Sezione 2	140

Sezione 3	20
Sezione 4	55
Sezione 5	70
Sezione 6	150
Sezione 7	30
Sezione S14	120
Sezione S2_PG/S7	150

## 8 SPECIFICHE DEGLI STRUMENTI DI MISURA

### 8.1 CAPOSALDI E MIRE OTTICHE

Le misure sono finalizzate alla determinazione della sola componente verticale di movimento (cedimento) e saranno eseguite con stadia e livello di precisione che garantisce una risoluzione di misura pari a 0,1 mm.

Per l'installazione a terra si identificano capisaldi di riferimento CS (al di fuori del bacino di cedimento) e capisaldi di misura CS.

#### Installazione

L'installazione dei riferimenti di misura topografica dovrà essere realizzata secondo le consuete procedure in funzione della tipologia scelta, previo tracciamento topografico delle posizioni di installazione.

Al termine delle operazioni di posa potrà essere realizzata la prima livellazione topografica di riferimento per i successivi rilievi (lettura di zero). I caposaldi di riferimento dovranno essere in posizione stabile. Eventuali spostamenti dei capisaldi dovranno essere minimi e comunque controllabili topograficamente con altri riferimenti certi. I caposaldi di riferimento dovranno essere controllati periodicamente in modo da accertare la loro condizione di stabilità.

Il caposaldo viene installato nel seguente modo:

- foro nel terreno pari a 180 mm per una lunghezza di 1,00 m;
- barra filettata, bullone a testa tonda 8 mm in acciaio zincato;
- il foro viene riempito di cls;

### 8.2 INCLINOMETRO

L'installazione di un tubo inclinometrico in un foro di sondaggio consente, attraverso misure ripetute nel tempo, la misura dello spostamento orizzontale del terreno lungo tutta la verticale.

La misura viene effettuata mediante l'inserimento di una apposita sonda che permette di misurare gli spostamenti di un punto nel piano orizzontale.

#### Installazione

- Strumento costituito da una serie di tubi ( $L=3,00$  m e spessore  $s=3$  mm) con 4 scanalature che presentino una spirallatura inferiore a  $0.5^\circ$  per metro;
- La sonda è costituita da un contenitore cilindrico di lunghezza tra i 70 e i 100 cm munito di due carrelli per lo scorrimento nelle guide dei tubi;
- La distanza tra i due carrellini, generalmente di 0,5 m, costituisce il passo minimo con il quale è possibile effettuare misure;

Caratteristiche tecniche tubi:

- materiale PVC
- diametro esterno min. 60mm
- max torsione ammissibile % della lunghezza spezzone

Caratteristiche tecniche sonda inclinometrica:

- tipo di sensore: servoaccelerometro biassiale
- campi di misura  $\pm 30^\circ$
- precisione sensore  $\pm 0.1$  mm / 500 mm
- sensibilità  $\pm 0.05$  mm per 500mm
- precisione  $\pm 0.1\%$  f.s.

### 8.3 CELLE DI PRESSIONE TOTALE

Le celle di pressione totale hanno lo scopo di misurare i carichi trasmessi e l'evoluzione degli stessi nel tempo e col proseguire delle lavorazioni.

La cella di pressione è costituita da 2 piastre di acciaio rettangolari o quadrate saldate insieme attorno al perimetro e separate all'interno da una piccola cavità riempita con olio speciale non aerato. L'olio è collegato a un trasduttore elettrico che converte ogni variazione di pressione che agisce sulla cella in una variazione del segnale elettrico.

Lo strumento viene fornito con il trasduttore collegato direttamente alla piastra della cella con una valvola e un tubo rilsan che gli consente di essere re-pressurizzato da una pompa speciale. La ri-pressurizzazione è necessaria quando la piastra sensibile non tocca più l'elemento di cui si deve misurare la pressione.

CARATTERISTICHE TECNICHE TRASDUTTORE DI PRESSIONE ELETTRICA	CARATTERISTICHE TECNICHE TRASDUTTORE A PRESSIONE A CORDA VIBRANTE
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo di sensore: piezoelettrico;</li> <li>- Campo di misura: 6-10-20 MPa;</li> <li>- Segnale di uscita: 4-20 mA;</li> <li>- Sovrapressione: 2x F.S .;</li> <li>- Alimentazione elettrica: 8-28 VDC;</li> <li>- Precisione: <math>\pm 0,1\%</math> F.S .;</li> <li>- Risoluzione: infinita;</li> <li>- Non linearità: <math>\pm 0,1\%</math> F.S .;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo di sensore: cavo vibrante;</li> <li>- Campo di misura: 2,1 - 3,4 - 5,2 MPa;</li> <li>- Segnale di uscita: Hz;</li> <li>- Intervallo: da 2200 a 3500 Hz;</li> <li>- Sovrapressione: 2x F.S .;</li> <li>- Alimentazione elettrica: 8-28 VDC;</li> <li>- Precisione: <math>\pm 0,1\%</math> F.S .;</li> <li>- Risoluzione: 0,025% F.S .;</li> </ul>



<ul style="list-style-type: none"> <li>- Errore termico totale: 0,04% F.S./°C</li> <li>- Stabilità a lungo termine: 0,1% F.S./anno;</li> <li>- Temperatura di funzionamento: da -40 a 125 ° C;</li> <li>- Classe di protezione: IP 68;</li> <li>- Materiale: acciaio inossidabile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Non linearità: &lt;0,5% F.S. ;</li> <li>- Errore termico totale: 0,05% F.S./°C</li> <li>- Temperatura di funzionamento: da -20 a 80 ° C;</li> <li>- Classe di protezione: IP 68</li> <li>- Termistore: 3kW;</li> <li>- Materiale: acciaio inossidabile</li> </ul>
--	--

#### 8.4 ASSESTIMETRI SUPERFICIALI E PROFONDI

Gli assestimetri magnetici sono utilizzati per controllare l'entità dei cedimenti e assestamenti del terreno; normalmente una colonna assestimetrica è dotata di una serie di punti di misura (anelli magnetici), la cui posizione, rilevata per mezzo della sondina di lettura, consente di conoscere gli abbassamenti relativi a ciascun tratto compreso tra due anelli e l'abbassamento totale rispetto ad un punto di riferimento. Gli anelli magnetici, per mezzo di molle in acciaio, sono solidali al terreno e quindi si spostano in conseguenza di compattazioni o spinte del terreno. Le letture vengono eseguite facendo scendere la sonda all'interno del tubo guida: essa permette perciò di rilevare la posizione assunta dagli anelli magnetici dopo gli assestamenti. Quando la sonda entra nella zona di campo magnetico di un anello, si chiude un circuito e si attiva un segnale acustico e visivo. L'operatore può quindi registrare la profondità cui si trova la sonda misurando il valore sul cavo centimetrato.

SPECIFICHE TECNICHE ASSESTIMETRO	SPECIFICHE TECNICHE SONDINA ASSESTIMETRICA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Terminale di fondo: in PVC, diametro 63 mm lunghezza 1000 mm.</li> <li>- Terminale di superficie: in acciaio inox e provvisto di chiusura lucchettabile.</li> <li>- Aste: in PVC, filettate M-M da 3/4", con manicotto in PVC.</li> <li>- Lunghezza aste: 1500 mm, 3000 mm.</li> <li>- Corrugato antiattrito: in polietilene alta densità, diametro esterno 55 mm.</li> <li>- Materiale anelli magnetici: anello in PVC con 3 molle in acciaio armonico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonda in acciaio inox, diametro 20 mm lunghezza 120 mm.</li> <li>- Cavo piatto millimetrato a 2 conduttori.</li> <li>- Lunghezza cavo 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300 m.</li> <li>- Accuratezza misura +/- 1 mm.</li> <li>- Segnalatore acustico e visivo.</li> <li>- Avvolgicavo telaio in acciaio e tamburo in plastica, con freno e portapuntale.</li> </ul>

#### 8.5 PIEZOMETRO DI CASAGRANDE

I piezometri di tipo Casagrande sono costituiti da un filtro cilindrico di materiale poroso (ceramica, plastica porosa) avente una cavità interna, collegata con una doppia tubazione piezometrica.

L'elemento filtrante (cella) avrà lunghezza di circa 20cm e diametro compreso tra 6 e 6.5 cm per consentire letture automatiche.

La misura del livello dell'acqua nel tubo viene eseguita attraverso freatimetri (sensore elettrico con fettuccia centimetrata) oppure con trasduttori di livello.

Caratteristiche tecniche tubi:

- lunghezza tubi 3-6 m o rotolo
- diametro interno per letture manuali 16mm
- diametro interno per letture automatiche 40mm
- materiale pvc rigido

Caratteristiche tecniche cella di Casagrande:

- cella ceramica porosa o plastica porosa
- lunghezza 200mm
- porosità 20 micron
- diametro esterno 65mm
- freatimetro
- sonda a sez. circolare 8mm

Caratteristiche tecniche trasduttori di livello:

- diaframma ceramico
- filtro acciaio o pvc rigido, porosità 40 micron
- campi di misura 2-5 bar
- sensibilità 0.02% f.s.
- precisione  $\pm 0.05\%$  f..s.
- diametro esterno 30 mm
- lunghezza 190 mm
- campi di temperatura -20 +50°C

## 8.6 PIEZOMETRO ELETTRICO E CELLE DI PRESSIONE INTERSTIZIALI

Misura il livello delle acque sotterranee e le variazioni della pressione dell'acqua dei pori. È costituito da un involucro cilindrico in acciaio inossidabile, un trasduttore di pressione estensimetrico e un filtro. L'acqua che entra attraverso un filtro agisce su un diaframma metallico a cui è fissato un ponte di Wheatstone. La deflessione sostenuta da questo ponte viene misurata in base alle variazioni di resistenza e questo valore viene convertito da un convertitore esterno

in un segnale elettrico. Questo segnale può essere facilmente acquisito da una centralina elettrica dedicata. Strumenti affidabili sono essenziali per le misurazioni a lungo termine. Il rivestimento piezometrico deve quindi essere periodicamente lavato e il trasduttore di pressione deve essere controllato assicurandosi che il filtro funzioni correttamente e controllando il valore zero. Il trasduttore consente al diaframma metallico sensibilizzato a cui viene applicata la pressione dell'acqua, di comunicare con l'aria esterna attraverso un tubo di collegamento. Ciò impedisce che le misurazioni del livello dell'acqua siano influenzate dalle fluttuazioni della pressione dell'aria. Le fluttuazioni della pressione dell'aria non sono compensate nel trasduttore assoluto, che viene quindi utilizzato in pozzi completamente riempiti per misurare la pressione dell'acqua interstiziale.

CARATTERISTICHE TECNICHE	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Sensore piezoelettrico</li><li>- Fondo scala: 0,35 - 700 bar assoluti e relativi</li><li>- Sovrapressione: 2x F.S.</li><li>- Alimentazione: 8-28 V DC</li><li>- Uscita: 4-20 mA</li><li>- Non linearità: +/- 0,1% F.S.</li><li>- Ripetibilità: +/- 0,01% F.S.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Errore termico totale: &lt;0,04% / ° C</li><li>- Stabilità a lungo termine: 0,1% F.S./1anno</li><li>- Isolamento:&gt; 100 MΩ</li><li>- Temperatura di esercizio: -40 / + 125 ° C</li><li>- Classe di protezione: IP68</li><li>- Materiale: acciaio inossidabile</li></ul>

## 9 SISTEMA DI MONITORAGGIO E FLUSSO DEI DATI

Per meglio rispondere alle esigenze emerse nella fase di attualizzazione del sistema di monitoraggio previsto da progetto, è necessaria una struttura deputata alla gestione dei dati: il CED – Centro Elaborazione Dati.

Tale struttura è composta da personale specializzato, da tools informatici sviluppati appositamente e da sistemi HW e SW dedicati.

Il CED è inoltre dotato di un' interfaccia di pubblicazione dati via Web denominato SDD – Sistema di Distribuzione Dati che opera su piattaforma web GIS.

Il nuovo sistema CED/SDD prevederà la gestione parallela e simultanea del dato grezzo da parte di diversi fruitori: il progettista ed il CTS, sia per i dati di monitoraggio geomatico, sia per i dati di monitoraggio geotecnico.

### 9.1.1 Glossario

CED	= Centro Elaborazione Dati
SDD	= Sistema Distribuzione Dati
UAD	= Unità di Acquisizione Dati
STR	= Stazione Totale Robotizzata
RDB	= Raw Data Base (base dati grezza: file testo o fogli Excel)
MDB	= Master Data Base (base dati relazionale: dati coerenti e organizzati)
FTP	= Protocollo di trasmissione dati via internet
SOP	= Standard Operative Procedure (procedure operative standard)
SA	= Soglia
SSA	= Superamento Soglia di Attenzione
U-SSA	= Unità di crisi
LDPG	= Lista di distribuzione Predefinita Generale

### 9.1.2 Centro elaborazione dati

La finalità del CED è fornire gli strumenti necessari alla gestione dei dati di monitoraggio e risponde ai requisiti di massima velocità di elaborazione, validazione e distribuzione del dato e di gestione dell' emergenza.

Il CED ha il compito di:

- raccogliere ed organizzare i dati provenienti dagli strumenti;
- analizzare e validare i dati importati da strumenti remotizzati e manuali tramite routine automatiche che impediscono errori di trascrizione ed analizzano i dati individuando errori strumentali e superamenti di soglie di attenzione e di allarme;
- produrre rapporti e statistiche;
- produrre mappe aggiornate;
- gestire le SSAT e SSA3;
- archiviare i dati.

Il CED deve essere progettato per rispondere ai requisiti di risposta in real-time per la gestione degli eventi critici come il superamento di soglie.

L'architettura del sistema CED è rappresentata nello schema che segue. Il flusso dati compie un percorso che parte dagli strumenti di monitoraggio e finisce con la distribuzione dei dati sulla piattaforma SDD (Web GIS).

Le procedure di importazione (trasferimento dati) consentiranno l'accesso diretto al dato grezzo di ogni tipologia strumentale:

Il sistema CED racchiude diverse funzioni di gestione e controllo dei dati di monitoraggio: per quanto elencate secondo un ordine logico ed in base alle procedure di gestione dei dati del CED, esse possono attivarsi simultaneamente o secondo un ordine stabilito volta per volta per assecondare particolari richieste di monitoraggio.

- **ACQUISIZIONE DATI:**

I dati di monitoraggio geotecnico/strutturale e topografico sono acquisiti tramite sistemi centralizzati (UAD) e strumenti manuali

- **TRASFERIMENTO DATI:**

Comprende la fase di processazione in cui si applicano le procedure di controllo preliminare ed il loro trasferimento nel server centrale e, successivamente, dopo essere stati elaborati da procedure che ne verificheranno la coerenza e l'integrità i dati vengono definitivamente migrati nel database.

- **GESTIONE DATI:**

Insieme delle procedure necessarie alla gestione dei dati contenuti nel CED.

- **ELABORAZIONE DATI:**

Attraverso le procedure di elaborazione definitiva si ottengono i dati ed i grafici che permettono la validazione dei dati e l'analisi critica del loro andamento storico.

- **GESTIONE SOGLIE DI ATTENZIONE E DI ALLARME:**



Insieme delle procedure necessarie alla gestione delle criticità riscontrate in corso d' opera.

- **ESPORTAZIONE DATI:**

Insieme dei sistemi e delle procedure necessarie alla pubblicazione dei dati su SDD.

Il CED gestisce le sue funzioni attraverso un' interfaccia software (software appositamente sviluppati e software proprietari di alcuni sistemi di monitoraggio con maschere dedicate e un' interfaccia GIS. La georeferenziazione delle informazioni permette di accedere ed elaborare su base geografica le informazioni che giungono al CED.

### **3.1 ACQUISIZIONE DATI**

Esistono tre tipologie di acquisizione dati in funzione del tipo di strumento, della sua modalità di installazione ed alla fase di monitoraggio:

- 1) acquisizione automatica attraverso UAD applicata agli strumenti di monitoraggio a registrazione continua e programmata con collegamento via modem/radiomodem in modalità remota;
- 2) acquisizione tramite collegamento manuale del data logger allo strumento con rilievo diretto e posizionamento topografico memorizzati su file testuali;
- 3) trascrizione manuale del dato da parte dell'operatore per gli strumenti non remotizzabili a lettura manuale.

Le SOP che permettono il trasferimento dati dagli strumenti, centraline e data logger, al RDB sono di 2 tipi principali:

- 1) Procedure di inserimento dati manuale: applicate dagli operatori in acquisizione e caricamento dati per gli strumenti non remotizzabili. Prevedono SOP informatiche di caricamento dati attraverso opportune maschere di input che minimizzano l'errore umano, controllano la coerenza del dato numerico inserito, richiedono l'inserimento del Codice Strumento, Data, Codice Operatore.
- 2) Inserimento dei dati registrati su data logger portatili: sono applicate dagli operatori img e prevedono l'avviamento di routine informatiche automatiche che permettono il trasferimento dati all'RDB.

### **3.2 TRASFERIMENTO DATI**

#### **3.2.1 Trasferimento dei dati dal sensore al RDB**

In riferimento alle tre modalità sopra descritte avremo quindi tre diverse modalità di trasferimento dati nell' RDB.

- 1) trasferimento automatico da UAD o STR tramite modem (GSM o UMTS);
- 2) trasferimento tramite data logger attraverso una SOP dedicata;
- 3) trascrizione manuale del dato dalla carta alla schermata di inserimento (maschera di INPUT) dell'RDB attraverso una SOP dedicata.

Il flusso dei dati acquisiti descritti nei punti 2 e 3 sarà effettuato attraverso delle SOP create ad hoc dall' unità di monitoraggio, la lettura di zero avrà una SOP dedicata; in questo modo i dati subiranno un controllo preliminare che scarnerà dati errati o incongruenti.

### **3.2.2 Trasferimento dei dati dal RDB al MDB**

Prima di essere trasferiti dal RDB al MDB i dati saranno sottoposti a delle procedure di verifica.

Tali procedure eseguono le seguenti attività:

verificano la coerenza e l' integrità dei dati;

assegnano codici di identificazione ai dati acquisiti (ID strumento, data di acquisizione, operatore, posizione, ecc);

inseriscono i dati all' interno del MDB.

## **3.3 GESTIONE DATI**

### **3.3.1 Strumenti**

Lo Strumento rappresenta l' entità base del sistema su cui viene svolta l' analisi dei dati di monitoraggio.

Ogni Strumento è univocamente identificato da una sigla (per la codifica vedere il documento specifico indicato nei riferimenti) che identifica la tipologia dello strumento di misura e ne indica la posizione all' interno del tracciato.

### **3.3.2 Gestione**

Il sistema fornirà tutte le funzionalità necessarie alla gestione di uno Strumento:

- Ricerca di uno Strumento attraverso l' inserimento di alcuni criteri di ricerca;
- Inserimento, Modifica e Visualizzazione dei dati associati allo Strumento;
- Generazione e Visualizzazione dei documenti associati allo Strumento;
- Inserimento, Modifica ed Elaborazione dei dati acquisiti associati allo Strumento;

### **3.3.3 Documentazione**

I documenti associati agli Strumenti sono:

- Scheda Tecnica (documento pdf)
- Scheda di Installazione (generazione e gestione delle revisioni)
- Scheda Stato Strumento (generazione e gestione)
- Certificato di Taratura/Conformità (documento pdf)
- Scheda Elaborazione Dati (generazione)

- Report SSA (generazione e gestione)
- Scheda di disattivazione strumento (integrata nella Scheda Stato strumento)
- Scheda di disinstallazione strumento (integrata nella Scheda Stato strumento)

#### **3.3.4 Soglie**

Ogni Strumento avrà dei valori soglia associati superati i quali verrà generato automaticamente dal sistema un SSA. Sarà possibile configurare questi valori tramite delle apposite maschere.

### **3.4 ELABORAZIONE DATI**

Una volta inseriti nel MDB i dati sono pronti ad essere processati, ovvero elaborati da apposite procedure di analisi e di validazione che permetteranno la creazione di layouts grafici e testuali di sintesi (giornalieri, settimanali, mensili).

Sono generati dal sistema:

- rapporti e statistiche relativi allo stato del monitoraggio;
- grafici e tabelle relativi ai dati elaborati dal sistema;
- mappe aggiornate con lo stato e la posizione dei sensori.

Attraverso apposite funzionalità sarà possibile effettuare una ricerca dei dati da prendere in esame.

### **3.5 ESPORTAZIONE DATI**

L' esportazione e la pubblicazione dei dati è l' ultima azione in ordine logico del CED. Una volta che i dati sono stati analizzati, controllati e validati dalle procedure descritte in precedenza sarà possibile effettuare una esportazione dei dati verso il sistema SDD e fruibili via Web dagli organismi deputati al controllo.

### **3.6 BACKUP DEI DATI**

Il sistema è munito di apposite procedure di log e backup di tutti i dati contenuti nel sistema.

## 10 GESTIONE SOGLIE

In tutti i casi si applicano le procedure di gestione delle soglie di attenzione che prevedono le operazioni di seguito descritte:

- evento: il sistema informatico segnala il raggiungimento di una soglia
- azione: il Responsabile del CED invia una MAIL con un messaggio predefinito alla Lista di Distribuzione Predefinita - LDP, con l'informazione del raggiungimento della SA.

Premesso che il controllo dei valori di progetto viene eseguito monitorandone la loro evoluzione nel tempo e/o nello spazio, la soglia è un valore prestabilito di questo processo che ha la funzione di attivare le strutture preposte all'analisi critica dei dati del monitoraggio al fine di evidenziare possibili criticità ed attuare le eventuali contromisure necessarie.

Il raggiungimento/superamento della soglia (SSA) non rappresenta infatti una particolare criticità, ma obbliga il gestore del monitoraggio ad attivare le necessarie procedure per l'analisi dei dati.

Il raggiungimento/superamento di tale soglia (SSA) può verificarsi in qualunque modo:

- in modo graduale, ovvero come evoluzione di un trend registrato nell'intervallo di tempo precedente al raggiungimento della soglia;
- in modo improvviso, ovvero come dato con soluzione di discontinuità con i dati acquisiti in tempi precedenti.

### 10.1 "SOGLIA 2"

La procedura SSA2 prevede le seguenti attività:

- a. il controllo della correttezza del dato tramite lettura diretta manuale del sensore per gli strumenti che lo consentono o interrogazione da remoto (se possibile) e, con eventuali sopralluoghi in campo se necessario, e con il controllo dei dati degli strumenti attigui, della stessa tipologia o di diversa tipologia, ma significativi per l'interpretazione della correttezza del dato SSA2;
- b. l'emissione, da parte del Responsabile CED, di un Report SSA2 – Apertura, e la trasmissione alla LDP; tale report verrà associato all'evento che sarà pubblicato sul SDD.

Il report descrive:

- luogo del superamento SSA2;
- strumento/i coinvolti nel SSA2;
- componenti dell'unità di SSA2 (U-SSA2);
- data e ora della riunione di analisi della U-SA2;



Il SSA2 viene visualizzato nel SDD tramite colorazione del sensore su mappa e possibilità di accedere ai report associati;

- c. se il SSA2 non viene confermato per problemi legati alla lettura strumentale, al deterioramento/danneggiamento dei sensori o ad altri motivi, gli addetti CED informano i referenti presenti nella LDP con l'emissione di un Report SSA2 – Proposta chiusura per errore strumentale che viene inoltrato via MAIL alla LDP, con allegata l'evidenza del motivo e che dia evidenza del funzionamento del monitoraggio. Il Responsabile disattiva la procedura emettendo il Report SSA2 – Chiusura e lo trasmette agli altri componenti della LDP. Il Responsabile CED provvede a caricare su SDD tale Report.
- d. la riunione della U-SSA2 analizza il problema, pone le basi per la progettazione e la programmazione delle contromisure e redige un Verbale di SSA2 che contiene:
- nuova impostazione delle frequenze e tipologie di lettura;
  - definizione di una nuova SA2;
  - data di aggiornamento della riunione;
  - comunicazione al CED delle nuove impostazioni;
- e. Se richiesto il CED programma le centraline e/o i sensori con le nuove SAT e le nuove frequenze di lettura stabilite nel corso della riunione U-SSA2;
- f. L'attività della U-SSA2 prosegue con nuovi aggiornamenti fino alla risoluzione del problema ovvero al rientro al di sotto della SA2. Quando questo avviene la U-SSA2 emette un Rapporto di Chiusura del SSA2 che contiene i documenti e le prescrizioni progettuali, programmatiche e di monitoraggio adottate. In caso di mancato rientro al di sotto della SA2 l'attività della U-SSA2 prosegue nell'analisi e controllo dei dati di monitoraggio e, nel caso rimanga confermata la tendenza del fenomeno verso il raggiungimento della SA3, può decidere la convocazione della U-SSA3 anche in anticipo rispetto al raggiungimento della SA3.

## 10.2 "SOGLIA 3"

La procedura di SSA3 prevede le seguenti attività:

- a. il controllo della correttezza del dato tramite lettura diretta manuale del sensore per gli strumenti che lo consentono o interrogazione da remoto (se possibile) e, con eventuale sopralluogo in campo dei preposti se necessario, e con il controllo dei dati degli strumenti attigui, della stessa tipologia o di diversa tipologia, ma significativi per l'interpretazione del SSA3;
- b. l'emissione, da parte del Responsabile CED, di un Report di SSA3 – Apertura, e la trasmissione

alla LDPG: tale report verrà associato all'evento che sarà pubblicato sul SDD.

Il report descrive:

- luogo del superamento SSA3;
- strumento/i coinvolti nel SSA3;
- componenti dell'unità di SSA3 (U-SSA3);
- data e ora della riunione di analisi della U-SSA3.

Il SSA3 viene visualizzato nel SDD tramite colorazione del sensore su mappa e possibilità di accedere ai report associati;

c. se il SSA3 non viene confermato per problemi legati alla lettura strumentale, al deterioramento/danneggiamento dei sensori o ad altri motivi, gli addetti CED informano i referenti presenti nella LDPG con la trasmissione di un Report SSA3 – Proposta di chiusura per errore strumentale.

Il report raccoglierà quanto segue:

- documentazione che evidenzia l'errore;
- documentazione dell'avvenuta riparazione/manutenzione dello/i strumento/i;
- nuova lettura dello strumento ed interpretazione del dato che dia evidenza del funzionamento del monitoraggio a valle della riparazione.

Il Responsabile disattiva la procedura emettendo il Report SSA3 – Chiusura e lo trasmette agli altri componenti della LDPG.

d. la riunione della Unità di Crisi per il Superamento della Soglia di Allarme U-SSA3 analizza il problema, pone le basi per la progettazione e la programmazione delle contromisure e redige un Verbale di SSA3 che contiene i risultati della riunione e deve contenere almeno:

- contromisure adottate;
- nuova impostazione delle tipologie e frequenze di lettura e dei relativi tempi di pubblicazione su SDD;
- definizione di una nuova SA3;
- data di aggiornamento della riunione;
- comunicazione al CED delle nuove impostazioni;
- altre contromisure.

Se richiesto il CED programma le centraline e/o i sensori con le nuove SAL e le nuove frequenze di lettura stabilite nel corso della riunione U-SSA3.

e. l'attività della U-SSA3 prosegue con nuovi aggiornamenti fino alla risoluzione del problema: quando questo avviene la U-SSA3 emette il Rapporto SSA3 – Chiusura, che contiene i documenti e le prescrizioni progettuali, programmatiche e di monitoraggio adottate.

### 10.3 DISTRIBUZIONE DEI DATI

La lista di distribuzione prevista per la gestione della SSA è la seguente:

LDP - Lista di Distribuzione Predefinita:

- Responsabile opera di sbarramento
- AIPO
- Responsabile CED

## **11 Sistema di gestione e distribuzione dei dati**

Le letture di tutti gli strumenti di monitoraggio saranno pubblicate su SDD consentendo agli utenti una più comoda e veloce consultazione dei dati di monitoraggio. Le maschere di consultazione permettono la selezione di configurazioni strumentali personalizzabili e/o di un intervallo temporale, e la visualizzazione on line di diversi tipi di graficizzazione di interesse dei fruitori. Lo sviluppo di questa funzionalità sostituisce la gestione delle Schede Elaborazione Dati in formato pdf (non personalizzabili).

Esso permette visualizzazioni avanzate come la sovrapposizione di grafici multiparametrici, la visualizzazione dei bacini di subsidenza, la visualizzazione dei vettori di spostamento, etc....

## 12 Struttura operativa dedicata al monitoraggio

La struttura operativa dedicata al monitoraggio del progetto in esame sarà così articolata:

- N.1 Responsabile Opera di sbarramento
- N. 1 Coordinatore AIPO, responsabile delle seguenti aree operative e del personale tecnico ad esse dedicato:
  - Ogni coordinatore si avvarrà della cooperazione di uno o più gruppi di lavoro dedicati a gruppi di opere specifici,
  - I gruppi di lavoro sono costituiti da risorse specializzate (tecnici laureati) dedicate all'esecuzione delle misure geotecniche in situ, all'acquisizione ed elaborazione dei dati di monitoraggio geotecnico, topografico e strutturale con successiva validazione delle misure e pubblicazione dei dati in ambiente WEB-GIS (Sistema SDD),
  - Per il monitoraggio delle vibrazioni indotte sulle preesistenze sarà costituito un gruppo di lavoro dedicato e specializzato per la gestione, acquisizione e analisi dei dati del monitoraggio dinamico.
- Unità operative Geotecniche per l'esecuzione sistematica delle misure di campo
- Unità operative di Topografia, ciascuna costituita da Topografo senior + topografo junior,
- Unità operativa per Monitoraggio Dinamico