



Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione

VARIANTI ALLA S.S. N.14 "TRIESTINA" DEI CENTRI ABITATI DI CAMPALTO E TESSERA IN COMUNE DI VENEZIA

VARIANTE DI CAMPALTO

PROGETTO ESECUTIVO

L'APPALTATORE

INTERCANTIERI VITTADELLO SPA
Responsabile di Commessa
Direttore Tecnico e Procuratore
Ing. Dario Pangallo



IL PROGETTISTA

PROGER SPA
Direttore Tecnico
Ing. Stefano Pallavicini
Ordine Ing. di Pescara n° 603



IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

| | |
|---------------------|----------------------------|
| Ing. E. COLASANTE | - Coordinatore di Progetto |
| Ing. U. RICCI | - Strade |
| Geom. D'AMARIO | - Strade |
| Ing. M. ANGELUCCI | - Opere civili |
| Geom. L. MAMMARELLA | - Opere civili |
| Ing. P. MARCELLINO | - Geotecnica |
| Ing. I. PAVONE | - Computi |
| Geol. M. MASCARUCCI | - Geologia |
| Ing. M. MONALDI | - Espropri |

CONSULENZE SPECIALISTICHE

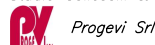


Prometeoengineering.it Srl
Ing. Alessandro Focaracci

- Opere in sottoterraneo e geotecniche



- Geologia e geotecnica



- Opere civili stradali e strutturali

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Nicola Sciarra
Ordine Ing. di Pescara n° B0006

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. P. GUALANDI

VISTO: IL RESPONSABILE COORDINAMENTO CENTRO NORD

Ing. N. DINNELLA

PROTOCOLLO

DATA

OPERE D'ARTE PRINCIPALI

ELABORATI GENERALI

Relazione piano di monitoraggio

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

DPVE03 E 1401

NOME FILE

T00EG00STRRE02E cartiglio.dwg

REVISIONE

SCALA:

CODICE
ELAB.

T00EG00STRRE02

E

varie

| | | | | | |
|------|------------------------------------|---------------|----------|------------|-----------|
| E | EMISSIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA | Luglio 2015 | Mattozzi | Marcellino | Colasante |
| D | EMISSIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA | Maggio 2015 | Mattozzi | Marcellino | Colasante |
| C | REVISIONE | Febbraio 2015 | Mattozzi | Marcellino | Colasante |
| B | REVISIONE | 12/12/2014 | Mattozzi | Marcellino | Colasante |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

RELAZIONE PIANO DI MONITORAGGIO

INDICE

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | PREMESSE | 3 |
| 2 | MONITORAGGIO PARATIE PROVVISORIALI E DEFINITIVE | 3 |
| 2.1 | MONITORAGGIO TOPOGRAFICO DI SEZIONI VERTICALI DELLE PARATIE..... | 4 |
| 2.2 | CARICO DEI PUNTONI | 4 |
| 2.3 | MONITORAGGIO SPOSTAMENTI ORIZZONTALI | 4 |
| 2.4 | MONITORAGGIO LIVELLI DI FALDA IN PROSSIMITA' OPERE DI SOSTEGNO | 5 |
| 3 | DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI ATTENZIONE E DI ALLARME PER LE OPERE | 5 |
| 4 | MONITORAGGIO GALLERIA NATURALE | 6 |
| 4.1 | CONVERGENZE | 6 |
| 4.2 | DEFORMAZIONI DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE | 6 |
| 4.3 | STATO DI SOLLECITAZIONE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI | 7 |
| 4.4 | SPOSTAMENTI VERTICALI IN CORRISPONDENZA DI VIA GOBBI | 7 |
| 5 | MONITORAGGIO EDIFICI E DEFINIZIONE DEI LIMITI DI SOGLIA | 8 |
| 5.1 | EFFETTI DEGLI SPOSTAMENTI VERTICALI | 8 |
| 5.2 | EFFETTI DEGLI SPOSTAMENTI ORIZZONTALI H | 9 |
| 5.3 | EFFETTI CONGIUNTI DEGLI SPOSTAMENTI VERTICALI W E ORIZZONTALI H | 9 |
| 5.4 | STRUMENTI PER IL MONITORAGGIO DEGLI EDIFICI | 12 |
| 5.4.1 | Edifici di prima fascia | 12 |
| 5.4.2 | Edifici di seconda fascia | 12 |
| 5.5 | STATO DI CONSISTENZA | 12 |
| 5.6 | MODALITA' DI ACQUISIZIONE DEI DATI / FREQUENZA DELLE LETTURE | 13 |
| 6 | MONITORAGGIO FALDA | 13 |
| 7 | PROCEDURE SPECIFICHE | 13 |
| 7.1 | SUPERAMENTO DEI VALORI DI ATTENZIONE | 13 |
| 7.2 | SUPERAMENTO DEI VALORI DI ALLERTA | 14 |
| 7.3 | SUPERAMENTO DEI VALORI DI ALLARME | 15 |

RELAZIONE PIANO DI MONITORAGGIO

1 PREMESSE

Ai sensi dell'art. 6.2.5. delle NTC 08 DM 14-01-2008 è stato previsto il sistema di monitoraggio del complesso opera-terreno al fine di verificare la corrispondenze tra le ipotesi progettuali e i comportamenti osservati.

Il monitoraggio riguarda i seguenti elementi:

- Elementi strutturali di progetto (opere di sostegno sottopasso, galleria artificiale e galleria naturale)
- Livello di falda
- Strutture in adiacenza alle opere in progetto, trattasi in prevalenza di edifici ad uso residenziale.

Nel piano di monitoraggio sono definite in dettaglio tutte le misure e gli elementi da verificare nel corso dei lavori, nonché le soglie di attenzione e di allarme e le relative procedure in caso di superamento.

2 MONITORAGGIO PARATIE PROVVISORIALI E DEFINITIVE

Le particolare complessità delle paratie previste nel progetto esecutivo, il contesto urbano e le condizioni geologiche ed idrogeologiche presenti, richiedono una continua verifica ed aggiornamento delle scelte progettuali in fase costruttiva. Ciò è possibile solo attraverso l'analisi dei dati derivanti dal sistema di monitoraggio.

Nel suo complesso il programma di monitoraggio prevede la realizzazione e l'installazione delle seguenti modalità di monitoraggio per le paratie presenti all'interno delle rampe A e B :

- Monitoraggio topografico
 - Stazioni di misura per il monitoraggio topografico di sezioni verticali delle paratie;
 - Stazioni di monitoraggio topografico degli edifici sensibili.
- Monitoraggio geotecnico
 - dei carichi in corrispondenza dei puntoni e dei tiranti in barre;
 - inclinometrico a tergo delle paratie;
 - dei livelli di falda;

Il sistema ha lo scopo di monitorare le seguenti principali grandezze:

- rotazioni e distorsioni delle interferenze superficiali;
- comportamento deformativo delle opere di sostegno, in relazione alle diverse componenti costruttive e geometriche ed alle fasi realizzative;
- condizioni generali dei livelli di falda.

Le sezioni di misura corrispondono a quelle utilizzate per le verifiche geotecniche e strutturali delle opere provvisorie e definitive.

RELAZIONE PIANO DI MONITORAGGIO

2.1 MONITORAGGIO TOPOGRAFICO DI SEZIONI VERTICALI DELLE PARATIE

Tali misure consentono di stimare le deformazioni delle opere attraverso il sistematico rilievo topografico ad alta precisione delle coordinate di punti opportunamente posizionati. I punti di misura sono costituiti da supporti infissi alla struttura sui quali vengono posizionati i riferimenti topografici che, a seconda della logistica, possono essere costituiti da target riflettenti o quarzi.

I punti di misura sono posizionati sulla sommità della trave realizzata al fine di vincolare le teste dei pali costituenti la paratia, in corrispondenza delle sezioni indicate nell'apposito elaborato grafico.

Al termine di ogni ribasso, successivamente alla posa in opera di ogni trave ripartitrice, si procederà all'installazione di nuovi punti di controllo.

La frequenza delle letture è di una a settimana fino a stabilizzazione.

2.2 CARICO DEI PUNTONI

Si prevede di strumentare un numero i puntoni mediante celle di carico idrauliche essenzialmente costituite da due piatti in acciaio saldati lungo il loro perimetro e separati internamente da una cavità saturata sotto vuoto con olio disareato che ne garantisce la rigidità. Un trasduttore di pressione elettrico permette di remotizzarne la lettura. Per la determinazione dei carichi sopportati dai tiranti delle paratia frontale è prevista l'installazione di celle di carico toroidali nella sezione verticale maggiormente sollecitata per il tempo necessario all'attacco della galleria naturale. Le celle di carico elettriche sono composte da un corpo in acciaio di forma toroidale, sensibilizzato con strain-gauges di tipo resistivo e una piastra in acciaio che permette una più omogenea ripartizione del carico sull'interno della cella. La frequenza delle letture è di una a settimana fino a stabilizzazione.

2.3 MONITORAGGIO SPOSTAMENTI ORIZZONTALI

Per il monitoraggio degli spostamenti che gli scavi inducono sulle zone adiacenti alle paratie ed in generale agli scavi è prevista l'installazione di tubi inclinometrici. Il tubo di misura è costituito da una serie di tubi in alluminio a sezione circolare di lunghezza pari a tre metri e di diametro interno pari a circa 76,1 mm, opportunamente assemblati per raggiungere la lunghezza desiderata, dotati di quattro scanalature interne longitudinali poste a 90° tra loro che consentono di guidare e orientare con un riferimento azimutale costante lo strumento di misura per le misure inclinometriche. Le misure inclinometriche saranno effettuate con una sonda removibile verticale in grado di determinare gli spostamenti planimetrici lungo il piano verticale.

La frequenza delle letture è di una a settimana fino a stabilizzazione.

RELAZIONE PIANO DI MONITORAGGIO

2.4 MONITORAGGIO LIVELLI DI FALDA IN PROSSIMITA' OPERE DI SOSTEGNO

Per la determinazione dei livelli di falda in prossimità delle opere di sostegno si prevede l'installazione di piezometri. In generale i piezometri verranno posizionati in alcuni punti dove sono già presenti gli inclinometri.

3 DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI ATTENZIONE E DI ALLARME PER LE OPERE

Le soglie di attenzione e di allarme con riferimento alle misure degli spostamenti delle mire ottiche rappresentano due valori il cui superamento determina l'avvio delle procedure di seguito riportate.

La soglia di allarme rappresenta un valore di spostamento oltre il quale è necessario effettuare un'analisi di dettaglio mirata ad individuare eventuali misure integrative atte a garantire la stabilità e la funzionalità dell'opera. La soglia di attenzione rappresenta un valore prossimo alla soglia di allarme che avvia una fase di analisi e studio del stato de formativo dell'opera volto a valutarne la stabilità globale.

Le soglie di attenzione e di allarme sono state stabilite in base alle analisi effettuate ed in riferimento rispettivamente allo stato limite di esercizio ed allo stato limite ultimo.

Spostamenti orizzontali opere di sostegno provvisorie

| Sezione | Pk | Soglia di attenzione cm | Soglia di allarme cm |
|---------|---|-------------------------|----------------------|
| 1 | 840 | 4.82 | 7.67 |
| 2 | 860 | 5.97 | 9.65 |
| 3 | 910 | 2.10 | 6.02 |
| 4 | 960 | 4.45 | 6.63 |
| 5 | Stazioni di monitoraggio in corrispondenza dei pozzi ellittici | 1.80 | 2.90 |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |
| 12 | | | |
| 14 | 1140 | 4.82 | 7.67 |
| 15 | 1184 | 5.97 | 9.65 |
| 16 | 1224 | 2.10 | 6.02 |
| 17 | 1243 | 4.45 | 6.63 |

Spostamenti orizzontali opere di sostegno definitive

| Sezione | Pk | Soglia di attenzione cm | Soglia di allarme cm |
|---------|------|-------------------------|----------------------|
| 13 | 1100 | 2.1 | 2.6 |
| 18 | 985 | 2.1 | 2.6 |

RELAZIONE PIANO DI MONITORAGGIO

4 MONITORAGGIO GALLERIA NATURALE

La raccolta, l'analisi e l'interpretazione dei dati derivanti dai rilievi e dalle misure in corso d'opera e durante l'esercizio ha lo scopo di:

- verificare la validità delle previsioni progettuali attraverso un confronto sistematico, in corso d'opera, tra le stesse previsioni e la risposta tenso-deformativa dell'ammasso all'azione di avanzamento e il comportamento delle strutture di rivestimento di prima fase e definitive, permettendo così di adeguare tempestivamente la tipologia e l'intensità degli interventi previsti, nonché la successione delle lavorazioni;
- assicurare che l'opera espliciti le sue funzioni, risultando idonea all'esercizio, resistente e stabile senza riduzioni significative della sua integrità o manutenzioni non previste.

Le grandezze che verranno monitorate saranno le seguenti:

- convergenza dell'intradosso della galleria;
- deformazione e stato di sforzo del rivestimento di prima fase;
- stato tensionale del rivestimento definitivo;
- spostamenti in superficie

4.1 CONVERGENZE

La misura consisterà nella materializzazione sul profilo della galleria, all'interno del rivestimento in spritz beton, di 5 basi di lettura costituite da bulloni a testa filettata e nella misura delle distanze tra le basi mediante una delle seguenti modalità:

- utilizzo di un nastro centimetrato in invar montato su un telaio e dotato di un sistema meccanica di tensionamento e di un comparatore centesimale (distometro);
- installazione sulle basi di misura di un miniprisma ottico o di mire ottiche reticolate per il rilievo delle stesse con stazione totale, mediante triangolazione di precisione.

Poiché l'elaborazione dei dati dovrà consentire di determinare la deformata del profilo di scavo e la sua evoluzione nel tempo, nel caso di uso di distometro a nastro dovranno essere rilevate topograficamente le posizioni dei punti di riferimento installati sui piedritti della galleria.

La frequenza di lettura può essere così definita, a meno di variazioni legate all'andamento particolare degli scavi:

- Prima del getto dell'arco rovescio: 2 letture / giorno;
- Dopo il getto dell'arco rovescio: 1 lettura / giorno.

4.2 DEFORMAZIONI DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

Per la misura dello stato deformativo del rivestimento di prima fase, la valutazione dello stato tensionale relativo e del conseguente livello di sicurezza delle strutture saranno installati sulle centine del rivestimento degli estensimetri a corda vibrante (straingauges).

RELAZIONE PIANO DI MONITORAGGIO

Gli strumenti, saldati su ciascuna delle ali del profilo metallico costituente la centina in prossimità di tre punti in cui è previsto il maggior momento flettente, misurano lo spostamento reciproco delle basi di misura mediante un sensore a corda vibrante, da interrogare mediante un'apposita centralina di lettura. Noti la deformazione nelle ali del profilo ed il modulo elastico dell'acciaio, sarà possibile calcolare lo stato tensionale agente sulla sezione della centina e confrontarlo sia con le previsioni di progetto sia con la tensione ammissibile prescritta dalla normativa, ricavando così il fattore di sicurezza del sostegno.

La frequenza di lettura potrà essere così definita, a meno di variazioni legate all'andamento particolare degli scavi:

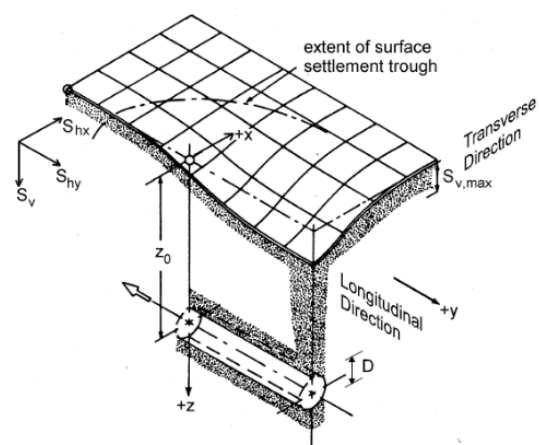
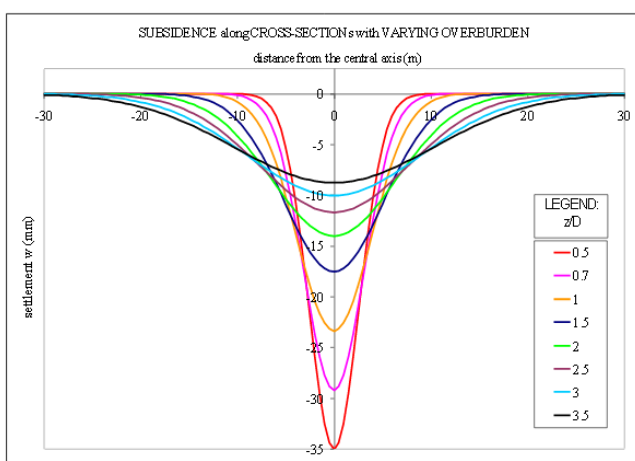
- Prima del getto dell'arco rovescio: 2 letture / giorno;
- Dopo il getto dell'arco rovescio: 1 lettura / giorno.

4.3 STATO DI SOLLECITAZIONE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

Ai fini del controllo dello stato tensionale delle strutture definitive di rivestimento nel medio-lungo termine, si prevede l'installazione di una sezione di misura costituita da 8 barrette estensimetriche da calcestruzzo per la misura delle deformazioni (e delle tensioni) all'intradosso ed all'estradosso in quattro punti dell'anello di rivestimento (in calotta, in arco rovescio e sui piedritti). La frequenza di lettura verrà fissata ad 1 lettura/settimana per i primi 60 giorni dal getto del rivestimento ed 1 lettura/mese fino a completa stabilizzazione delle misure.

4.4 SPOSTAMENTI VERTICALI IN CORRISPONDENZA DI VIA GOBBI

La subsidenza è il risultato di una complessa interazione di fenomeni, tutti volti a provocare un abbassamento della superficie. Lo scavo di una galleria infatti produce in superficie una distribuzione di spostamenti del terreno, con una "conca" di cedimenti che si sviluppa al di sopra della galleria, lateralmente ad essa ed anche in avanzamento rispetto al fronte di scavo (Figura successiva).



RELAZIONE PIANO DI MONITORAGGIO

Per questo motivo, l'impostazione della progettazione deve essere orientata al controllo delle deformazioni del terreno, sia per limitare la subsidenza di superficie, sia per ottimizzare gli interventi di sostegno nelle varie fasi della costruzione.

Lo scopo del monitoraggio del campo di spostamenti generati dallo scavo di un'opera in sotterraneo è quello in generale di evitare il danneggiamento delle infrastrutture e degli edifici in superficie e allo stesso tempo garantire la sicurezza dei lavoratori in tutte le fasi di lavoro. In particolare per il tratto di galleria naturale di circa 25m per il sottoattraversamento di via Gobbi sarà prevista l'installazione di capisaldi per la realizzazione di livellamenti topografici ad alta precisione di sezioni trasversali all'asse della galleria. La posizione dei punti di misura sarà definita in modo da non interferire con il traffico veicolare.

Spostamenti verticali

| Sezione | Pk | Soglia di attenzione cm | Soglia di allarme cm |
|---------|------|-------------------------|----------------------|
| 9 | 1050 | 5.2 | 7.5 |

5 MONITORAGGIO EDIFICI E DEFINIZIONE DEI LIMITI DI SOGLIA

5.1 EFFETTI DEGLI SPOSTAMENTI VERTICALI

La deformata di una fondazione, ricavata a partire dai soli abbassamenti verticali w , viene solitamente individuata in base ai valori di alcune grandezze caratteristiche. Queste, con riferimento a due punti i e j generici a distanza $L_{i,j}$ tra loro, sono:

- spostamento verticale differenziale $\delta_{w(i,j)} = w_j - w_i$;
- gradiente dello spostamento verticale differenziale (o distorsione angolare) $\beta_{w(i,j)} = \frac{|\delta_{w(i,j)}|}{L_{i,j}}$;
- inflessione $\Delta_{w(i,j)}$ che è pari alla massima differenza tra i w relativi al segmento rettilineo congiungente, a deformata avvenuta, i due punti i e j relativi all'effettiva deformata;
- gradiente dell'inflessione (o curvatura media) $\Delta_{w(i,j)}/L_{i,j}$

In particolare, dovendo valutare stati di sollecitazione medi, è opportuno riferirsi ai gradienti che, a parità di valori differenziali, colgono meglio lo stato di sollecitazione in quanto legati alle dimensioni della costruzione considerata.

Dato il numero di prismi mediamente installati su ogni edificio (uno per ogni vertice della pianta) è impossibile valutare l'inflessione e, dunque, il rapporto di inflessione ed occorre riferirsi unicamente al gradiente dello spostamento verticale differenziale (o *distorsione angolare*) $\beta_{w(i,j)}$.

RELAZIONE PIANO DI MONITORAGGIO

5.2 EFFETTI DEGLI SPOSTAMENTI ORIZZONTALI H

La deformata di una fondazione, ricavata a partire dai soli spostamenti orizzontali h , viene solitamente definita in base ai valori di alcune grandezze caratteristiche. Queste, con riferimento a due punti i e j generici a distanza $L(i,j)$ tra loro, sono:

- spostamento orizzontale differenziale $\delta_{h(i,j)} = h_j - h_i$;
- gradiente dello spostamento orizzontale differenziale (o *dilatazione*) $\beta_{w(i,j)} = \frac{|\delta_{h(i,j)}|}{L_{i,j}}$;

Per le ragioni già evidenziate in precedenza ci si riferisce, anche in questo caso, al solo gradiente h .

5.3 EFFETTI CONGIUNTI DEGLI SPOSTAMENTI VERTICALI W E ORIZZONTALI H

La contemporanea presenza di spostamenti verticali w e spostamenti orizzontali h , può produrre effetti maggiori di quelli che si avrebbero, a parità di valori di w o di h , in presenza di un singolo tipo di spostamento. Si è dunque ritenuto opportuno definire le soglie di attenzione, di allerta e di allarme tenendo conto dell'accoppiamento dei due effetti (w , h).

I livelli di attenzione, allerta e allarme sono stati individuati utilizzando il grafico da letteratura illustrato in Figura 9-1 (M. Boscardin, M. Walker, Ground movement, building response and protective measures, Proceedings of the Conference "Effects of Construction on Structures" - American Society of Civil Engineers, 1998).

Tale grafico, che riporta in ordinata la dilatazione h , in ascissa la distorsione angolare w , lega direttamente i danni al generico punto di coordinate w , h . Si individua così una serie di domini tra loro contigui, l'attraversamento delle frontiere dei quali comporta un progressivo aggravamento dello stato di danneggiamento; mediante tale valutazione il danno è espresso in termini di ampiezza delle lesioni registrate. Ciò consente un collegamento diretto tra le misure di spostamento e le misure effettuate mediante fessurimetri o analoghi apparecchi.

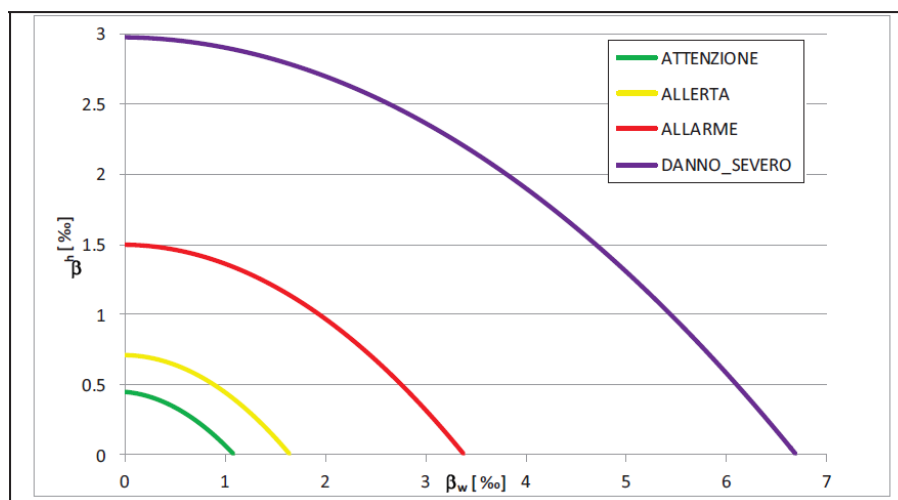


Figura 5-1: Livelli di soglia spostamenti edifici

RELAZIONE PIANO DI MONITORAGGIO

Il danno subito dalla struttura è articolato in 5 classi contigue, come descritto in dettaglio in Tabella 4 (Boscardin & Cording); per ogni classe sono descritti la tipologia dei danni da attendersi e il quadro fessurativo in termini di ampiezza delle fessure:

| Categoria del danno | Intensità del danno | Descrizione ¹ |
|---------------------|---------------------|--|
| 0 | Trascurabile | Fessure capillari con apertura $\leq 0,1$ mm |
| 1 | Molto lieve | Fessure sottili cui si rimedia facilmente in lavori di pitturazione. Il danno in genere è limitato agli intonaci delle pareti interne. Fessure alle pareti esterne rilevabili con attento esame. Tipica apertura delle lesioni ≤ 1 mm |
| 2 | Lieve | Fessure facilmente stuccabili, ripittura necessaria. Le fessure ricorrenti possono essere mascherate con opportuni rivestimenti. Fessure anche visibili all'esterno; può essere necessaria qualche ripresa della stuccatura per garantire l'impermeabilità. Possibili difficoltà nell'apertura di porte e finestre. Tipica apertura delle lesioni ≤ 3 mm |
| 3 | Moderata | Le fessure richiedono cuciture e scuci della muratura. Anche all'esterno necessari interventi sulla muratura. Possibile blocco di porte e finestre. Rottura di tubazioni. Spesso l'impermeabilità non è garantita. Tipica apertura delle lesioni $5 \div 15$ mm, oppure molte lesioni ≤ 3 mm. |
| 4 | Severa | Necessarie importanti riparazioni, compresa demolizione e ricostruzione di parti di muri, specie al di sopra di porte e finestre. I telai di porte e finestre si distorcono; percepibile pendenza dei pavimenti ² . Muri inclinati ² o spancati; qualche perdita d'appoggio di travi. Tubazioni distrutte. Tipica apertura delle lesioni $15 \div 25$ mm, dipendente anche dal numero di lesioni |
| 5 | Severa | Richiesti importanti lavori con parziale o totale demolizione e ricostruzione. Le travi perdono l'appoggio, i muri si inclinano fortemente e richiedono puntellatura. Pericolo di instabilità. Tipica apertura delle lesioni ≥ 25 mm, dipendente anche dal numero di lesioni. |

1. Viene sottolineata la facilità di riparazione. L'apertura delle fessure è solo uno dei fattori da prendere in considerazione.
2. Una deviazione locale dalla verticale o dall'orizzontale maggiore di 1/100 è in genere chiaramente percepibile. Deviazioni generalizzate maggiori di 1/150 sono da considerare indesiderabili.

Tabella 1: Classificazione del danno secondo Boscardin e Cording

Le frontiere riportate in Figura 9-1 sono state ricondotte ad espressioni analitiche, mediante regressioni non lineari, ed in tal modo si ottengono, al variare della *dilatazione* h e della *distorsione angolare* w , le seguenti espressioni:

Frontiera del danno molto lieve o soglia di attenzione

$$\beta_h + 0,32061\beta_w^2 + 0,0672\beta_w - 0,4476 = 0$$

Frontiera del danno lieve o soglia di allerta

$$\beta_h + 0,25533\beta_w^2 + 0,0147\beta_w - 0,7037 = 0$$

Frontiera del danno moderato o soglia di allarme

$$\beta_h + 0,12847\beta_w^2 + 0,0091\beta_w - 1,4999 = 0$$

Frontiera del danno severo, in linea di principio irraggiungibile

$$\beta_h + 0,06488\beta_w^2 + 0,0103\beta_w - 2,9744 = 0$$

RELAZIONE PIANO DI MONITORAGGIO

In particolare viene assunta, come soglia di ATTENZIONE, la frontiera inferiore corrispondente al dominio di *danno molto lieve* (linea verde di Figura 2b), come soglia di ALLERTA, la frontiera inferiore corrispondente al dominio di *danno lieve* (linea gialla di Figura 2b) e come soglia di ALLARME la frontiera inferiore corrispondente al dominio di *danno moderato* (linea rossa di Figura 2b).

A partire dal medesimo grafico, inoltre, è possibile individuare i valori delle soglie di attenzione, allerta e allarme nel caso in cui, per il generico edificio, siano presenti o solo gradienti dello spostamento verticale differenziale w , o solo gradienti dello spostamento orizzontale differenziale h ; tali valori, arrotondandoli in maniera cautelativa, sono stati assunti pari a:

| | |
|-----------------------------|------------------|
| <i>SOGLIA DI ATTENZIONE</i> | $\beta_w = 1,00$ |
| <i>SOGLIA DI ALLERTA</i> | $\beta_w = 1,50$ |
| <i>SOGLIA DI ALLARME</i> | $\beta_w = 3,35$ |

| | |
|-----------------------------|------------------|
| <i>SOGLIA DI ATTENZIONE</i> | $\beta_h = 0,45$ |
| <i>SOGLIA DI ALLERTA</i> | $\beta_h = 0,70$ |
| <i>SOGLIA DI ALLARME</i> | $\beta_h = 1,50$ |

Laddove si proceda alla misurazione diretta delle distorsioni angolari degli edifici, alla luce delle caratteristiche degli stessi si ritiene opportuno stabilire, in via cautelativa, la soglia di attenzione in corrispondenza della categoria di rischio 2 e quella di allarme in corrispondenza della categoria di rischio 3, con riferimento ai valori riportati nella seguente tabella:

| Categoria di rischio | Massima distorsione dell'edificio | Cedimento dell'edificio | Descrizione del rischio | Soglia |
|----------------------|-----------------------------------|---|---|------------|
| 1 | $\beta < 1/500$ | $S < 1.0\text{cm}$ | Non visibile | |
| 2 | $1/500 \leq \beta \leq 1/200$ | $1.0\text{cm} \leq S \leq 5.0\text{cm}$ | Leggero: crepe facilmente rimovibili con una tinteggiatura | Attenzione |
| 3 | $1/200 \leq \beta \leq 1/50$ | $5.0\text{cm} \leq S \leq 7.5\text{cm}$ | Moderato: danni a porte e finestre, danni da infiltrazione di umidità | Allarme |
| 4 | $\beta > 1/50$ | $S > 7.5\text{cm}$ | Alto: danni strutturali, necessità di riparazioni notevoli, pericoli di instabilità | |

Tabella 2: Valori di soglie di attenzione ed allarme per la misurazione diretta delle distorsioni angolari

Verranno condotte anche misure vibrazionali per verificare gli effetti in fase di infissione ed estrazione delle palancole. Con riferimento alla norma UNI 9916 le velocità dovranno risultare minori a quelle riportate nella seguente tabella:

RELAZIONE PIANO DI MONITORAGGIO

| Categoria | Tipi di strutture | Velocità di vibrazione in mm/s* | | | |
|--|--|---------------------------------|-------|----------|---------------------------------------|
| | | Misura alla fondazione | | | Misura al pavimento dell'ultimo piano |
| | | Campi di frequenza (Hz) | | | Frequenze diverse |
| | | < 10 | 10-50 | 50-100** | |
| 1 | Edifici utilizzati per scopi commerciali, edifici industriali e simili | 20 | 20-40 | 40-50 | 40 |
| 2 | Edifici residenziali e simili | 5 | 5-15 | 15-20 | 15 |
| 3 | Strutture particolarmente sensibili alle vibrazioni, non rientranti nelle categorie precedenti e di grande valore intrinseco | 3 | 3- 8 | 8-10 | 8 |
| * Si intende la massima delle tre componenti della velocità nel punto di misura. ** Per frequenze maggiori di 100 Hz possono applicarsi i valori riportati in questa colonna. | | | | | |

Tabella: Valori ammissibile della velocità di picco – Norma UNI 9916

5.4 STRUMENTI PER IL MONITORAGGIO DEGLI EDIFICI

5.4.1 EDIFICI DI PRIMA FASCIA

Su tutti gli edifici di prima fascia è prevista la messa in opera di almeno n.4 mire topografiche, di n.1 strumento per misure direttamente eventuali distorsioni angolari (clinometro o tazza livellometrica), di n.1 accelerometro tridimensionale e di strumentazione finalizzata alla valutazione dell'entità ed estensione delle fessure eventualmente manifestatesi sugli elementi strutturali.

Le misure che verranno condotte riguardano gli spostamenti verticali e orizzontali delle strutture e la distorsione angolare e la misura della velocità di picco di vibrazione in fase di infissione delle palancole in prossimità dell'edificio.

5.4.2 EDIFICI DI SECONDA FASCIA

Su tutti gli edifici di prima fascia è prevista la messa in opera di almeno n.4 mire topografiche.

Le misure che verranno condotte riguardano gli spostamenti verticali e orizzontali delle strutture e la distorsione angolare.

5.5 STATO DI CONSISTENZA

Prima dell'inizio dei lavori verrà redatto, in contraddittorio con i proprietari, lo stato di consistenza di tutti gli edifici di prima fascia. A seguito degli esiti di tale lavoro il piano di monitoraggio potrà essere modificato e/o integrato al fine di rilevare situazioni particolari ad oggi non note.

RELAZIONE PIANO DI MONITORAGGIO

5.6 MODALITA' DI ACQUISIZIONE DEI DATI / FREQUENZA DELLE LETTURE

La frequenza delle misure verrà stabilita in funzione delle differenti fasi costruttive. La cadenza minima delle misure per il monitoraggio delle strutture, durante le fasi che interferiscono con le stesse, è di una lettura alla settimana; tale frequenza potrà essere aumentata in accordo con la DL in corrispondenza delle fasi più critiche (esecuzione delle opere di sostegno, raggiungimento del fondo scavo, scavo galleria naturale, fase di rimozione delle palancole etc.).

Le misure vibrometriche verranno condotte solo in corrispondenza delle fasi di infissione in prossimità degli edifici di prima fascia.

6 MONITORAGGIO FALDA

Il monitoraggio dei livelli di falda verrà condotto attraverso:

- il sistema di 4 piezometri superficiali e 1 piezometro profondo messi in opere nel corso della campagna di indagine geognostica implementata per il progetto esecutivo;
- il sistema di piezometri previsto per il monitoraggio delle opere di sostegno;
- il sistema di piezometri previsto per la verifica e il controllo del sistema di sfioro delle falde profonde.

La cadenza minima delle misure per il monitoraggio della falda è settimanale e la frequenza potrà essere aumentata in accordo con la DL corrispondenza delle fasi più critiche.

7 PROCEDURE SPECIFICHE

Nell'ambito del monitoraggio sono state definite delle soglie di attenzione e delle soglie di allarme per determinati valori di spostamento, variazioni di inclinazione ed eventualmente variazioni di stati di sforzo oltre i quali si attiva la procedura relativa. Vengono in seguito descritte per ciascuna delle tre situazioni le procedure specifiche.

7.1 SUPERAMENTO DEI VALORI DI ATTENZIONE

Nel caso di superamento di almeno una delle soglie di attenzione indicate per ciascuna delle strutture verrà attivata la seguente procedura:

1. Visita di controllo per la verifica dello stato fessurativo;
2. Ispezione visiva presso tutti i punti di monitoraggio della rete topografica e presso altre strutture ed attrezzature limitrofe per verificare la presenza di segni di danneggiamento anche mediante confronto con il report fotografico redatto prima dell'inizio delle lavorazioni;
3. Eventuale incremento della strumentazione di monitoraggio già presente;

RELAZIONE PIANO DI MONITORAGGIO

7.2 SUPERAMENTO DEI VALORI DI ALLERTA

Nel caso di superamento di almeno una delle soglie di allerta indicate per ciascuna delle strutture verrà attivata la seguente procedura:

1. Messa in sicurezza dell'edificio;
2. Installazione di fessurimetri (o strumenti analoghi) per valutare l'entità delle lesioni degli elementi strutturali.

La procedura si articola quindi come riportato di seguito:

Caso I: sono stati rilevati danni alle strutture o alle attrezzature critiche

1. Si comunica tempestivamente alla Direzione Lavori ed alla Supervisione Lavori lo stato di danno rilevato e si procede ad una valutazione congiunta (progettisti-esecutori-DL-CSE) sull'opportunità della ripresa dei lavori o della messa in sicurezza delle strutture od attrezzature danneggiate. La valutazione sull'opportunità di procedere o meno con i lavori si basa anche sul quadro deformativo che emerge dall'elaborazione degli altri dati di monitoraggio. Una volta effettuata la scelta di ripresa dei lavori o messa in sicurezza, i soggetti coinvolti confermeranno il proprio consenso compilando, ognuno, la Scheda di Controllo. L'azione successiva sarà intrapresa solo quando la Direzione Lavori avrà confermato l'avvenuta accettazione della verifica della procedura da parte di tutti i soggetti coinvolti.
2. Nel caso in cui i lavori riprendano, la frequenza delle misure di monitoraggio sarà incrementata. Ispezione visiva almeno ogni 24h (anche mediante confronto con il report fotografico redatto prima dell'inizio delle lavorazioni) per verificare la presenza di eventuali ulteriori danni e conseguente eventuale sospensione dei lavori.
3. Anche nel caso di interruzione dei lavori, le frequenze delle misure di monitoraggio saranno incrementate per poter definire e prevedere eventuali ulteriori deformazioni residue o, come minimo, verrà mantenuto il programma di monitoraggio standard.

Caso II: non sono stati rilevati danni alle strutture o alle attrezzature critiche

1. Analisi del quadro deformativo generale che emerge dall'elaborazione degli altri punti di monitoraggio.
2. Ripresa delle lavorazioni con incremento della frequenza di cicli di misura.
3. Ispezione visiva ogni 48h (anche mediante confronto con il report fotografico redatto prima dell'inizio delle lavorazioni) per verificare la presenza di segni di danneggiamento. In caso di danneggiamento si procederà secondo quanto indicato nel paragrafo precedente.

RELAZIONE PIANO DI MONITORAGGIO

Non appena superata la soglia di ALLERTA, precedentemente descritta, e prima di raggiungere la successiva soglia di ALLARME, si dovrà valutare l'opportunità di delocalizzare gli abitanti dell'edificio; la delocalizzazione, peraltro, non potrà essere legata in automatico a semplici valori di spostamento ma andrà decisa caso per caso, tenendo anche conto dello stato di conservazione dell'edificio e della qualità dei materiali impiegati oltre, ovviamente, che dello stato di sollecitazione delle strutture.

7.3 SUPERAMENTO DEI VALORI DI ALLARME

Nel caso di superamento di almeno una delle soglie di allarme indicate per ciascuna delle strutture/impianti critici verrà attivata la seguente procedura:

1. Lettura dei fessurimetri;
2. Valutazione delle correlazioni esistenti tra ampiezza delle fessure e spostamenti verticali w e orizzontali h ;
3. Valutazioni in merito alla necessità di sospendere, solo temporaneamente, i lavori di scavo.

Caso I: sono stati rilevati danni alle strutture o alle attrezzature critiche

Nel caso di danneggiamento alle strutture critiche si procede come indicato nel paragrafo sui superamenti delle soglie di attenzione.

Caso II: non sono stati rilevati danni alle strutture o alle attrezzature critiche

1. Analisi del quadro deformativo generale che emerge dall'elaborazione degli altri punti di monitoraggio.
2. Valutazione congiunta (DL-progettisti-esecutori-CSE) sull'opportunità della ripresa dei lavori. Una volta effettuata la scelta di ripresa dei lavori, i soggetti coinvolti confermeranno il proprio consenso compilando, ognuno, la Scheda di Controllo. La ripresa dei lavori avverrà solo quando la Supervisione Lavori avrà confermato l'avvenuta accettazione della verifica della procedura da parte di tutti i soggetti coinvolti.
3. Nel caso in cui i lavori riprendano, la frequenza delle misure di monitoraggio sarà incrementata.
4. Anche nel caso di interruzione dei lavori, le frequenze delle misure di monitoraggio saranno incrementate per poter definire e prevedere eventuali ulteriori deformazioni residue o, come minimo, verrà mantenuto il programma di monitoraggio standard.