

ANAS S.p.A.

DIREZIONE CENTRALE PROGRAMMAZIONE PROGETTAZIONE

PA 12/09

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA

ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001

Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

PROGETTO ESECUTIVO

Contraente Generale:



GEOTECNICA

REALZIONE GEOTECNICA

Relazione Monitoraggio Scavo in tradizionale

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

PA12_09 - E 0 0 0 G E 2 0 9 G T 0 1 Z R H 0 0 3 A Scala: -

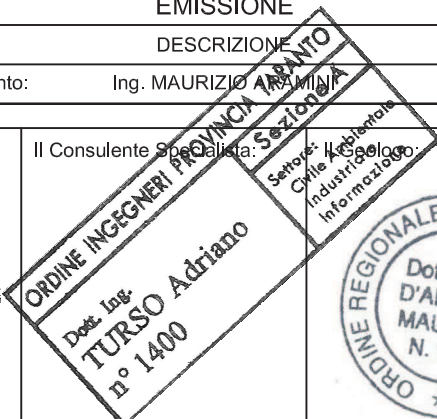
F									
E									
D									
C									
B									
A	Aprile 2011	EMISSIONE		M. D'ANGELO	A. TURSO	M. LITI	P. PAGLINI		
REV.	DATA	DESCRIZIONE		REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO		

Responsabile del procedimento: Ing. MAURIZIO D'ANGELO

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:



Il Geologo:



Il Coordinatore per la sicurezza in fase di progetto:



Il Direttore dei lavori:



SOMMARIO

1.	INTRODUZIONE	5
2.	MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA DELLE GALLERIE.....	6
2.1	Rilievo geologico-geotecnico speditivo del fronte di scavo	6
2.1.1	Definizione.....	6
2.1.2	Frequenza di esecuzione	6
2.2	Misure di convergenza.....	6
2.2.1	Definizione.....	6
2.2.2	Installazione	6
2.2.3	Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti.....	6
2.2.4	Sistema di acquisizione dati.....	7
2.3	Misure di estrusione.....	7
2.3.1	Misure di estrusione topografiche superficiali.....	7
2.3.1.1	Definizione	7
2.3.1.2	Installazione.....	7
2.3.1.3	Frequenza rilevamenti	8
2.3.1.4	Sistema di acquisizione dati	8
2.3.1.5	Restituzione dati	8
2.3.2	Misure d'estrusione profonda del fronte.....	8
2.3.2.1	Definizione	8
2.3.2.2	Installazione.....	8
2.3.2.3	Frequenza rilevamenti	9

2.3.2.4	Sistema di acquisizione	9
2.3.2.5	Restituzione dati	9
2.4	Misure di livellazione superficiale del piano campagna.....	9
2.4.1	Definizione.....	9
2.4.2	Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti.....	10
2.4.3	Sistema di acquisizione e restituzione dati	10
2.5	Misure di tensione con celle di carico, strani gauges e celle di pressione	10
2.5.1	Definizione.....	10
2.5.2	Installazione	11
2.5.3	Modalità di rilevamento	11
2.5.4	Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti.....	12
2.5.5	Acquisizione e Restituzione dati.....	12
2.6	Fessurimetri tridirezionali	13
2.6.1	Definizione.....	13
2.6.2	Installazione	13
2.6.3	Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti.....	13
2.6.4	Acquisizione e Restituzione dati.....	13
2.7	Misure di tensione con celle di pressione.....	14
2.7.1	Definizione.....	14
2.7.2	Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti.....	14
3.	MONITORAGGIO DEGLI IMBOCCHI.....	15
3.1	Misure dei movimenti profondi	15

3.1.1	Definizione.....	15
3.1.2	Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti.....	15
3.1.3	Sistema di acquisizione dati.....	15
3.1.4	Restituzione dati	15
4.	MONITORAGGIO IN FASE DI ESERCIZIO DELLE GALLERIE	16
4.1	Sezioni di controllo del rivestimento definitivo.....	16
4.1.1	Definizione.....	16
4.1.2	Installazione	16
4.1.3	Modalità di rilevamento.....	16
4.1.4	Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti.....	16
4.1.5	Acquisizione e Restituzione dati.....	16
5.	VALORI ATTESI E DI SOGLIA DEI PRINCIPALI PARAMETRI MONITORATI.....	18
	<i>La soglia di attenzione è individuata dal valore massimo.....</i>	19
6.	CONCLUSIONI.....	20

1. INTRODUZIONE

La presente relazione è parte integrante del progetto delle gallerie scavate in tradizionale presenti all'interno dell'itinerario Agrigento-Caltanissetta.

In particolare nel presente documento viene esposto il programma di monitoraggio previsto per lo scavo delle gallerie PAPAZZO, SAN FILIPPO, COZZO GARLATTI che verranno scavate in tradizionale.

Il programma si articola in una serie di rilievi e nell'installazione di strumenti atti alla valutazione delle caratteristiche del materiale attraversato dal cavo e del comportamento tenso-deformativo del fronte e del cavo durante l'esecuzione della galleria e, in parte, per il successivo controllo durante l'esercizio ferroviario.

Da un punto di vista tecnico l'intero programma si articola in:

1. Monitoraggio in corso d'opera della galleria:

- rilievo geologico-geotecnico speditivo del fronte di scavo
- misure di convergenza con mire ottiche
- misure di estrusione profonda del fronte di scavo
- misure di livellazione superficiale del piano campagna
- misure di tensione con celle di carico, barrette estensimetriche e celle di pressione
- posa di fessurimetri tridirezionali

2. Monitoraggio in corso d'opera degli imbocchi:

- posa di 3 inclinometri
- mire ottiche
- celle toroidali per carico dei tiranti

L'ubicazione delle stazioni sarà in funzione delle reali condizioni geologiche e geotecniche riscontrate durante gli avanzamenti, potranno essere ubicate in corrispondenza delle situazioni ritenute più critiche.

Nei paragrafi che seguono vengono indicate le caratteristiche e le modalità esecutive del programma di monitoraggio predisposto.

L'insieme dei dati acquisiti permetterà di verificare che il comportamento tenso-deformativo del cavo sia in linea con le previsioni progettuali, e più in generale permetterà di verificare l'adeguatezza delle sezioni tipo applicate in relazione ai terreni incontrati, suggerendo eventuali affinamenti da porre in essere in corso d'opera, in sede di progetto di dettaglio. Il monitoraggio previsto in fase di esercizio dell'opera permetterà invece di verificare il funzionamento delle strutture nel corso degli anni.

A questo proposito, si sottolinea che gli strumenti scelti per il controllo degli stati tensionali sulle strutture sono dotati di sensori a corda vibrante i quali forniscono ampie garanzie di durabilità.

2. MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA DELLE GALLERIE

2.1 Rilievo geologico-geotecnico speditivo del fronte di scavo

2.1.1 Definizione

Il rilievo geologico e geotecnico delle pareti dello scavo dovrà essere eseguito da personale specializzato (geologi o ingegneri geotecnici).

E' prevista la redazione di una scheda di acquisizione dati ogni 10 m circa di avanzamento. L'esecuzione di tale rilievo permetterà tra l'altro di controllare visivamente la riuscita degli interventi di consolidamento eseguiti.

Tali rilievi consistono nel rilevamento e restituzione grafica e numerica delle caratteristiche geologiche-geostrutturali e geomeccaniche delle pareti dello scavo, durante l'avanzamento.

2.1.2 Frequenza di esecuzione

Si prevede in particolare:

- rilievi speditivi, con cadenza di 1 ogni 10 m.

Il numero di rilievi richiesti è da intendersi come numero minimo. Eventuali passaggi litologici o litostratigrafici di particolare rilevanza verranno analizzati con un rilievo apposito. I rilievi dovranno essere compilati prevedendo l'archiviazione dei dati su apposite schede cartacee e su file. Durante l'esecuzione dei rilievi potranno essere prelevati campioni per le prove di laboratorio.

2.2 Misure di convergenza

2.2.1 Definizione

Tali misure consistono nel rilevamento e restituzione grafica e numerica degli spostamenti nel piano trasversale alla galleria, in direzione verticale e orizzontale, di 5 punti per ogni stazione di misura e attrezzati con mire ottiche rilevabili mediante strumento topografico di precisione. La convergenza, definita come la variazione della distanza fra due punti di misura, verrà quindi determinata per le 5 corde di misura (basi di misura). La convergenza diametrale del cavo si intende riferita alla base DE congiungente i due chiodi ubicati in prossimità delle murette.

2.2.2 Installazione

Le basi di misura sono costituite da 5 chiodi di convergenza (lunghezza indicativa di 80 cm) posizionati sullo spritz-beton del rivestimento di 1° fase su cui vengono montati altrettanti marcatori costituiti da prismi cardanici riflettenti o catadiottri, posizionati a ridosso del fronte di scavo alla progressiva della stazione di misura. Nel caso in cui si manifestassero comportamenti differenziati in termini deformativi tra spritz-beton e centine, a tali chiodi andranno affiancati dei supporti vincolati alle centine, su cui potranno essere montati i già citati marcatori (prismi cardanici riflettenti o catadiottri).

2.2.3 Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti

Fermo restando che l'effettiva distribuzione delle stazioni potrà essere modulata in funzione del reale comportamento dell'ammasso, le stazioni stesse andranno indicativamente installate secondo le seguenti frequenze minime:

- n.1 sezione ogni 15 m per le sezioni tipo A
- n.1 sezione ogni 10 m per le sezioni tipo B
- n.1 sezione ogni 5 m per le sezioni tipo C

Le misure dovranno essere effettuate con cadenza giornaliera nella settimana successiva alla lettura zero; in seguito è da prevedersi una lettura ogni 3 giorni sino al getto del rivestimento definitivo e, comunque, sino al raggiungimento asintotico delle misure.

Ciascuna stazione di misura viene posizionata in prossimità delle pareti dello scavo, in particolare presso l'ultima centina posizionata a circa 1.0÷1.2 m dal fronte stesso e deve immediatamente essere eseguita la lettura di zero.

2.2.4 Sistema di acquisizione dati

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da teodolite e distanziometro elettronico che misurano le posizioni assolute della base di misura rispetto ad un sistema di riferimento tridimensionale costituito da caposalda siti in galleria. La misura permette di risalire alle coordinate spaziali delle basi con tolleranza $\pm 2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$.

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i seguenti diagrammi e tabulati numerici in funzione del tempo e della distanza dal fronte:

- spostamenti trasversali
- spostamenti verticali
- spostamenti nel piano (deformata)
- convergenze delle 5 basi di misura (AE – BD –DC –EC –DE)
- velocità di convergenza (mm/giorno)

I dati elaborati per ciascuna misura di ciascuna stazione vanno forniti entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo. E' richiesta altresì una copia di tali dati anche su supporto magnetico.

2.3 Misure di estrusione

2.3.1 Misure di estrusione topografiche superficiali

2.3.1.1 Definizione

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica degli spostamenti superficiali del fronte di scavo nelle tre direzioni, valutati su nove punti per ogni stazione di misura e attrezzati con mire ottiche del medesimo tipo di quelle impiegate per il rilievo delle convergenze, che consentano la lettura mediante strumento topografico di precisione.

2.3.1.2 Installazione

Le basi di misura sono costituite da 9 tavolette in legno delle dimensioni adeguate, fissate alla superficie del fronte, costituita da spritz-beton, mediante chiodi a pressione. Su tali tavolette devono essere fissati i prismi ottici riflettenti.

In alternativa si possono utilizzare chiodi analoghi a quelle delle convergenze con lunghezza anche inferiore ($l \approx 30 \text{ cm}$). E' essenziale, per l'attendibilità delle misure, che i chiodi vengano infissi per tutta la loro lunghezza all'interno dello spritz beton e del terreno, in maniera da

risentire il meno possibile degli effetti dovuti alle lavorazioni di consolidamento ed in modo tale da non essere urtati dal posizionatore.

2.3.1.3 Frequenza rilevamenti

Tali misure sono previste in corrispondenza di fermi del fronte scavo prolungati (≥ 48 h) per le tratte non monitorate con estrusometro, e comunque per fermi superiori ad una settimana (p.es. fermi collegati alla pausa esiva, festività natalizie).

Il numero minimo di letture da eseguire è il seguente:

- 1 lettura di riferimento prima della sospensione delle lavorazioni;
- 1 lettura immediatamente prima di riprendere gli scavi.

2.3.1.4 Sistema di acquisizione dati

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da teodolite o distanziometro elettronico che rilevano le posizioni assolute delle basi di misura rispetto ad un sistema di riferimento tridimensionale fisso costituito da capisaldi siti in galleria.

Le misure permettono di risalire alle coordinate spaziali delle nove basi e quindi allo spostamento in direzione longitudinale delle stesse.

La tolleranza massima consentita è di ± 2 mm ± 2 ppm.

2.3.1.5 Restituzione dati

Il sistema di elaborazione dati avviene su apposito software e si richiede la restituzione grafica e numerica di:

- spostamenti lungo l'asse della galleria per ogni punto
- spostamenti ingrati nelle tre direzioni x , y e z.

2.3.2 Misure d'estrusione profonda del fronte

2.3.2.1 Definizione

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica degli spostamenti longitudinali, lungo basi di misura poste all'interno di una "colonna" estensimetrica posizionata in asse galleria in avanzamento rispetto al fronte, all'interno di un foro di sondaggio sub-orizzontale.

2.3.2.2 Installazione

Lo strumento necessario è un estensimetro tipo "sliding micrometer" o "sliding deformer", costituito da un tubo in PVC, muniti di ancoraggi anulari posti a distanza di 1 metro l'uno dall'altro, collegati telescopicamente sino alla lunghezza voluta e resi solidali al foro mediante l'iniezione di miscele cementizie leggermente espansive.

Eseguito il foro di sondaggio della lunghezza ≥ 30 m viene inserita la colonna, costituita da tubi in PVC preventivamente pre-assemblati in tratte di lunghezza non superiore a $5\div 6$ m, completando l'assemblamento durante l'installazione.

Nella medesima fase vengono posizionate le cannette per l'iniezione mediante nastro adesivo: se ne prevedono sempre almeno due, una sino a fondo foro e una sino a metà lunghezza.

Per favorire il centraggio della colonna nel foro si possono utilizzare distanziatori in gomma o materiale simile.

Al termine del posizionamento si procede all'iniezione di una miscela cementizia leggermente espansiva (acqua, cemento, bentonite), eventualmente additivata per accelerarne la presa.

L'iniezione viene eseguita attraverso la cannetta più profonda sino a circa metà lunghezza, quindi attraverso la cannetta superiore sino a bocca foro.

In base alla sezione tipo di scavo si prevede la posa in opera di:

- 1 estrusometro (L=30 m) ogni 50 m per la sez. tipo A
- 1 estrusometro (L=30 m) ogni 30 m per la sez. tipo B
- 1 estrusometro (L=30 m) ogni di 20 m per le sezioni tipo C

2.3.2.3 Frequenza rilevamenti

Attesa la maturazione dell'iniezione si procede alla lettura di riferimento prima della ripresa dell'avanzamento.

Le successive letture andranno effettuate almeno in numero di cinque per ogni avanzamento di 10 metri dopo lo scavo o dopo fasi particolari (p.e. prima della ripresa scavi dopo fermo prolungato, fermi per getto arco rovescio, ecc).

2.3.2.4 Sistema di acquisizione

Si compone di:

- 1 sonda della lunghezza pari a 1.00 m, composta schematicamente da due teste sferiche, da un trasduttore di spostamento di tipo induttivo e da un tubo di protezione a tenuta idraulica. L'impiego della sonda deve avvenire mediante l'uso di aste che permettono di far scorrere lo strumento da una base di misura alla successiva, di ruotarlo e di mandarlo in battuta contro due ancoraggi anulari successivi, che sono muniti di sede conica. L'accoppiamento testa sferica e ancoraggio conico deve assicurare una tolleranza massima di 0.03 mm/m.
- 1 centralina di lettura collegata ad un calcolatore portatile che permetta l'acquisizione automatica dei dati.

2.3.2.5 Restituzione dati

Si richiede la restituzione grafica (con indicazione delle fasi lavorative e della progressiva del fronte) e numerica dei seguenti dati:

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

2.4 Misure di livellazione superficiale del piano campagna

2.4.1 Definizione

Le misure di cedimento al piano campagna (livellazioni superficiali) consistono nel rilievo della quota di picchetti posizionati su allineamenti ubicati perpendicolarmente all'asse della galleria. Si prevedono stendimenti a 5 caposaldi ubicati simmetricamente rispetto al picchetto d'asse con

distanze rispetto a questo di 5.00 m e 15.00 m in destra ed in sinistra.

Si prevedono inoltre alcuni capisaldi aggiuntivi al di fuori delle sezioni previste allo scopo di monitorare eventuali spostamenti in prossimità di interferenze esistenti.

I capisaldi dovranno presentare, ben visibile sulla parte superiore, una borchia metallica con l'indicazione del numero del caposaldo ed una testa emisferica per la battuta topografica. La borchia dovrà essere collegata tramite bullonatura o elettro-saldatura ad una barra di ferro ($\phi 26$) ad aderenza migliorata di idonea lunghezza ($L \geq 100$ cm). Si dovrà eseguire un foro nel terreno di pari lunghezza avendo cura di cementare con malta il caposaldo in modo da renderlo solidale al terreno. Il tutto dovrà essere protetto da pozzetto in cls. con coperchio.

2.4.2 Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti

Le misure di livellazione andranno previste in tutte le tratte di imbocco fin tanto che le coperture non risultino maggiori di 15 m

Le misure andranno eseguite con la seguente frequenza:

- n.1 lettura al giorno, con il fronte entro ± 10 m dalla sezione di misura
- n. 2 letture a settimana, con il fronte entro ± 20 m dalla sezione di misura
- n.1 lettura a settimana fino a completa stabilizzazione delle subsidenze.

2.4.3 Sistema di acquisizione e restituzione dati

Il sistema di acquisizione dati è costituito da una stazione composta da livello elettronico in grado di restituire la quota assoluta dei caposaldi con la precisione di ± 1 mm.

Il sistema di elaborazione dati deve offrire i seguenti diagrammi e tabulati numerici in funzione del tempo e della distanza dal fronte:

- spostamenti verticali
- graficizzazione dei cedimenti su curve trasversali all'asse galleria e su curve longitudinali parallele all'asse galleria con riferimento alle fasi lavorative ed alla posizione del fronte.

I dati elaborati per ciascuna misura di ciascuna stazione vanno forniti entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo. E' richiesta altresì una copia di tali dati anche su supporto magnetico.

2.5 Misure di tensione con celle di carico, strani gauges e celle di pressione

2.5.1 Definizione

Tali misure consistono nel rilevamento e nella restituzione grafica e numerica dello stato tensionale entro i rivestimenti di prima fase. In particolare le tensioni nel rivestimento di prima fase verranno misurate con:

- 2 celle di carico sotto i piedi delle stesse
- 3 celle di pressione fra le piastre di giunzione delle centine
- 5 coppie di barrette estensimetriche per metallo a corda vibrante posizionate sulle ali delle centine in chiave di calotta e sui piedritti

2.5.2 Installazione

Si prevede l'installazione di 2 sezioni per il monitoraggio in corso d'opera del rivestimento di prima fase

Per i rilievi con le barrette estensimetriche sarà indispensabile tenere conto della variazione del modulo elastico dello spritz-beton durante la fase di maturazione, gli effetti di ritiro e gli effetti della temperatura sugli strumenti.

2.5.3 Modalità di rilevamento

Il sistema di rilevamento dei dati avviene mediante celle di carico, di pressione e barrette estensimetriche, in funzione dello stato tensionale che si vuole rilevare, poste in opera nel numero e nei punti indicati in progetto, con gli accorgimenti necessari per una perfetta installazione e funzionamento.

1. Celle di carico:

Le celle di carico sono previste sotto il piede delle centine. Sono sostanzialmente costituite da un corpo in acciaio inossidabile sensibilizzato da una serie di griglie estensimetriche applicate alla superficie interna del corpo stesso ed isolate.

Una piastra in acciaio permette l'omogenea ripartizione del carico sull'intero corpo della cella.

La deformazione, indotta dal carico alla cella, viene rilevata dagli stran-gauges, trasformata in un segnale elettrico proporzionale al carico agente e trasferita alla centralina di lettura.

In alternativa possono essere previste celle di carico idrauliche anch'esse con sensore elettrico.

2. Celle di pressione con sensore a corda vibrante:

Sono posizionate tra le piattabande delle centine. Si tratta di piatti d'acciaio saldati tra di loro all'interno del quale un fluido permette di verificare la pressione di trasferimento derivante dal carico indotto. Tale pressione viene letta da un sensore a corda vibrante e trasmessa alla centralina per la lettura

3. Barrette estensimetriche a corda vibrante:

Le barrette estensimetriche a corda vibrante sono costituite da un cavo in acciaio armonico teso tra due blocchi, fissati a loro volta alle ali delle centine, mediante bullonatura o resinatura. La frequenza di vibrazione del cavo in acciaio è funzione della deformazione della centina nella sezione considerata.

Mediante l'applicazione della legge di Hooke ($\sigma = \epsilon E$) è possibile risalire allo stato tensionale presente.

Il campo di misura e la precisione richiesta è la seguente:

a) celle di carico

- | | |
|--------------------|-----------------|
| – campo di misura | ≥ 20000 KN |
| – sovrapp. massima | 50% F.S. |
| – sensibilità | 0.1% F.S. |

- precisione 1% F.S.
- segnale di uscita 4÷20 mA
- b) celle di pressione
 - campo di misura ≥ 200 bar
 - sovrapp. massima 50% F.S.
 - sensibilità 0.1% F.S.
 - precisione 1% F.S.
- c) barrette estensimetriche
 - campo di misura -3000 ÷ +3000 $\mu\epsilon$
 - sovrapp. massima 20 % F.S.
 - precisione $\leq 1\%$ F.S.

2.5.4 Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti

Lungo il tracciato di ogni galleria è stata prevista l'installazione di 2 sezioni strumentate con i sensori sopra descritti.

La lettura zero andrà effettuata non prima di 8 ore dalla posa in opera dello spritz beton. Il numero minimo di rilevamenti da eseguire dopo la misura iniziale di riferimento per ogni cella di carico, barretta estensimetrica e cella di pressione è il seguente:

- n.1 misura al giorno, quando il fronte dista fino a 20 m
- n.1 misura ogni 4 giorni per distanze maggiori fino a stabilizzazione della misura

La frequenza delle letture successive sarà tarata in corso d'opera.

2.5.5 Acquisizione e Restituzione dati

I sensori previsti sono tutti a lettura automatica e convoglieranno i dati in un acquisitore dati multicanale (tipo SISGEO ADK10), che sarà predisposto all'esterno della galleria, in container appositamente attrezzato. Tale acquisitore dati sarà utilizzato anche per il monitoraggio della galleria esistente.

In questo modo sarà sufficiente collegare l'interfaccia "hwd" con il sistema per scaricare i dati acquisiti.

La memoria del sistema di acquisizione dati sarà tarata sulla frequenza di lettura.

Il sistema di elaborazione dati avviene su software apposito e si richiedono i seguenti diagrammi e tabulati numerici:

- Pressioni in funzione del tempo
- Pressioni in funzione della distanza dal fronte della sezione di misura, con indicazione della fase lavorativa intervenuta.
- Deformazioni in funzione del tempo e della distanza dal fronte della sezione di misura con indicazioni delle fasi lavorative intervenute.

I dati elaborati per ciascuna stazione vanno forniti entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo. E' richiesta altresì una copia di tali dati su supporto magnetico.

2.6 Fessurimetri tridirezionali

2.6.1 Definizione

Tali strumenti sono generalmente utilizzati nell'ambito del controllo del comportamento di una struttura laddove risulti utile rilevare i movimenti relativi tra i bordi di una fessura e per controllare la convergenza di una galleria.

Nello specifico i fessurimetri vengono installati a cavallo di fessure che si sono aperte nel rivestimento della galleria.

Il fessurimetro tridirezionale è costituito da due componenti distinti: il telaio esterno ed il prisma. Il telaio esterno presenta tre fori filettati disposti nelle tre direzioni ortogonali di misura. Una volta fissati a parete, gli strumenti registrano le variazioni di assetto della fessura: prisma e telaio si muoveranno pertanto in modo indipendente. Le misure consistono nel rilievo periodico della posizione relativa tra prisma e telaio lungo tre direttrici perpendicolari alle facce del prisma.

2.6.2 Installazione

La strumentazione dovrà essere ancorata sul rivestimento esistente mediante cementazione degli agganci in appositi fori o altri mezzi meccanici idonei a garantire un fissaggio stabile e durevole nel tempo, dopo apposita ispezione ed identificazione delle fessure significative, che verranno decise in contraddittorio con la D.L. Gli strumenti dovranno garantire, nelle letture dirette eseguite mediante comparatore a quadrante o digitale, una sensibilità e precisione del millesimo di millimetro (Micron) nel rilievo di eventuali allungamenti o accorciamenti.

2.6.3 Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti

Lungo il tracciato della galleria esistente è stata prevista l'installazione di 3 sezioni strumentate con la i strumentazione sopra descritta.

Il numero minimo di rilevamenti da eseguire dopo la misura iniziale di riferimento per ogni cella di pressione è il seguente:

- n.1 misura al giorno, quando il fronte della galleria in costruzione dista +/- 20 m dalla sezione di misura.
- n.1 misura ogni 4 giorni per distanze maggiori fino alla stabilizzazione del valore.

La frequenza delle letture successive sarà tarata in corso d'opera.

2.6.4 Acquisizione e Restituzione dati

I sensori previsti sono tutti a lettura automatica e convoglieranno i dati in un acquirente dati multicanale (tipo SISGEO ADK10), lo stesso utilizzato per il monitoraggio della galleria esistente, che sarà predisposto all'esterno della galleria, in container appositamente attrezzato.

In questo modo sarà sufficiente collegare l'interfaccia "hwd" con il sistema per scaricare i dati acquisiti.

La memoria del sistema di acquisizione dati sarà tarata sulla frequenza di lettura.

Il sistema di elaborazione dati avviene su software apposito e si richiedono i seguenti diagrammi

e tabulati numerici:

- Spostamenti in funzione del tempo
- Spostamenti in funzione della distanza dal fronte della galleria in costruzione dalla sezione di misura con indicazione delle fasi lavorative intervenute.

I dati elaborati per ciascuna stazione vanno forniti entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo. E' richiesta altresì una copia di tali dati su supporto magnetico.

2.7 Misure di tensione con celle di pressione

2.7.1 Definizione

Tali misure consistono nel rilevamento e nella resituzione grafica e numerica dello stato tensionale entro il rivestimento della galleria Installazione

Si prevede l'installazione di 3 sezioni per il monitoraggio in corso d'opera della galleria

2.7.2 Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti

Lungo il tracciato della galleria esistente è stata prevista l'installazione di 3 sezioni strumentate con i sensori sopra descritti.

Il numero minimo di rilevamenti da eseguire dopo la misura iniziale di riferimento per ogni cella di pressione è il seguente:

- n.1 misura al giorno, quando il fronte della galleria in costruzione dista +/- 20 m dalla sezione di misura.
- n.1 misura ogni 4 giorni per distanze maggiori fino a stabilizzazione della misura.

La frequenza delle letture successive sarà tarata in corso d'opera.

3. MONITORAGGIO DEGLI IMBOCCHI

3.1 Misure dei movimenti profondi

3.1.1 Definizione

Per il controllo degli effetti indotti dallo scavo della galleria sul versante in prossimità degli imbocchi, oltre alle livellazioni, si ritiene necessario procedere con misure inclinometriche entro 3 colonne

La lunghezza delle 3 colonne inclinometriche sarà rispettivamente pari a 20, 25 e 40 m ed il tutto dovrà essere protetto da pozzetto in cls con coperchio.

3.1.2 Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti

La strumentazione dovrà essere posta in opera prima dell'inizio delle operazioni di scavo dell'imbocco. Le letture iniziali delle colonne inclinometriche dovranno essere eseguite al termine dell'installazione del tubo (dopo l'indurimento della miscela di cementazione).

Le misure andranno eseguite con la seguente frequenza:

- n. 2 letture settimanali, durante le fasi di scavo per la realizzazione dell'imbocco.
- 1 lettura mensile dal termine dello scavo e fino a quando non verrà ripristinata la configurazione iniziale

3.1.3 Sistema di acquisizione dati

Si compone di una sonda e di una unità di lettura dedicata in grado di rilevare eventuali scostamenti avvenuti nel tubo inclinometrico per effetto di perturbazioni avvenute sul versante.

3.1.4 Restituzione dati

Il sistema di elaborazione dati avviene su software dedicato e si richiedono i diagrammi ed i tabulati relativi allo spostamento in funzione della profondità.

4. MONITORAGGIO IN FASE DI ESERCIZIO DELLE GALLERIE

4.1 Sezioni di controllo del rivestimento definitivo

4.1.1 Definizione

Tali misure consistono nel rilevamento e nella resitituzione grafica e numerica dello stato tensionale entro i rivestimenti.

In particolare le tensioni nel rivestimento definitivo verranno misurate con 8 coppie di barrette estensimetriche a corda vibrante, saldate all'armatura di estradosso ed intradosso della sezione da monitorare.

Per i rilievi sul rivestimento definitivo sarà indispensabile tenere conto della variazione del modulo elastico del cls durante la fase di maturazione, gli effetti di ritiro e gli effetti della temperatura sugli strumenti.

4.1.2 Installazione

Si prevede l'installazione di 2 sezioni per il monitoraggio in fase di esercizio del rivestimento definitivo

4.1.3 Modalità di rilevamento

Il sistema di rilevamento dei dati avviene mediante barrette estensimetriche, in funzione dello stato tensionale che si vuole rilevare, poste in opera nel numero e nei punti indicati in progetto, con gli accorgimenti necessari per una perfetta installazione e funzionamento.

– Barrette estensimetriche a corda vibrante:

Le barrette estensimetriche a corda vibrante sono costituite da un cavo in acciaio armonico teso tra due blocchi, fissati a loro volta all'armatura, mediante resinatura o saldatura. La frequenza di vibrazione del cavo in acciaio, è funzione della deformazione della centina nella sezione considerata.

Mediante l'applicazione della legge di Hooke ($\sigma = \epsilon E$) è possibile risalire allo stato tensionale presente.

4.1.4 Frequenza delle stazioni e dei rilevamenti

La lettura zero andrà effettuata non prima di 12 ore dopo il getto.

Il numero minimo di rilevamenti da eseguire dopo la misura iniziale di riferimento per ogni barretta estensimetrica è il seguente:

- n.1 misura al giorno, per i primi 7 giorni dal getto;
- n.1 misura ogni 3 giorni fino al raggiungimento del 30° giorno dall'installazione.

La frequenza delle letture successive saranno funzione delle esigenze del servizio manutenzione oltre che delle reali risposte del sostegno.

4.1.5 Acquisizione e Restituzione dati

Il sistema di acquisizione dati è analogo a quello già previsto per le sezioni strumentate del sostegno di prima fase, cioè si predispose una centralina di acquisizione dati alla quale connettere

l'interfaccia "hwd", posizionata all'esterno della galleria e utilizzata anche per il monitoraggio della galleria esistente.

L'elaborazione dati avviene su software apposito e si richiedono i seguenti diagrammi e tabulati numerici:

- deformazioni funzione del tempo
- tensioni in funzione del tempo

I dati elaborati per ciascuna stazione vanno forniti entro la giornata in cui è stato eseguito il rilievo. E' richiesta altresì una copia di tali dati su supporto magnetico.

5. VALORI ATTESI E DI SOGLIA DEI PRINCIPALI PARAMETRI MONITORATI

Sono di seguito riportati i valori dei parametri fisici principali che possono essere utilizzati come valori di soglia per le verifiche in corso d'opera delle soluzioni di progetto.

I parametri monitorati ritenuti significativi per l'individuazione e la gestione delle soglie sono:

- Il valore dello spostamento assiale al fronte - nucleo di avanzamento (estrusione),
- Il valore dello spostamento radiale dei punti di misura (convergenza),
- Il valore delle tensioni indotte sugli elementi strutturali del prerivestimento monitorati.

Sulla base dei risultati delle specifiche analisi deformative condotte (vedi "Relazione tecnica e di calcolo della galleria naturale") e con riferimento a dati deformativi riscontrati in corso d'opera in contesti analoghi sono stati definiti gli intervalli dei valori attesi di tali parametri.

Per ciascun parametro l'estremo superiore del campo di valori attesi viene definito "soglia di attenzione", il superamento della quale deve condurre ad un'analisi dei fenomeni in atto (back-analysis) e ad un aumento delle frequenze di misura.

Viene, inoltre, individuata una soglia di allarme il cui superamento dovrà comportare una ritaratura delle soluzioni progettuali individuate, eseguendo nell'ordine:

- avvicinamento della distanza dal fronte del getto del rivestimento definitivo (arco rovescio, murette e calotta),

e/o:

- ritaratura, nell'ambito degli intervalli individuati in sede di progetto, del prerivestimento (passo centine) e dei consolidamenti,

e/o:

- utilizzo di una diversa sezione tipo nell'ambito di quelle previste in progetto.

I valori attesi, le soglie di attenzione e di allarme dei parametri sopra descritti sono riassunti nelle tabelle seguenti:

Valori attesi				
<i>La soglia di attenzione è individuata dal valore massimo</i>				
	Estrusione (cm)	Convergenza radiale (cm)		Tensione centine (MPa)
		Calotta	Piedritto	
Sezioni tipo A	≤1	≤0.5	≤1.0	60÷70
Sezioni tipo B	≤2	≤0.5	≤1.5	80÷90
Sezioni tipo C	≤3	≤1.0	≤2.0	30÷70
Sezione tipo C2bis	≤3	≤1.0	≤2.0	30÷70

Soglia di allarme				
	Estrusione (cm)	Convergenza radiale (cm)		Tensione centine (MPa)
		Calotta	Piedritto	
Sezione tipo A	2	1.0	2.0	211.5 (*)
Sezione tipo B	3	1.0	3.0	211.5 (*)
Sezione tipo C	5	2.0	3.0	211.5 (*)
Sezione tipo C2bis	5	2.0	3.0	211.5 (*)

(*) tensione ammissibile

6. CONCLUSIONI

Nella presente relazione è esposto il programma di monitoraggio previsto per le gallerie PAPAZZO, SAN FILIPPO E COZZO GARLATTI all'interno dell'itinerario Agrigento-Caltanissetta

Suddetto programma si articola in una serie di rilievi e nell'installazione di strumenti atti alla valutazione delle caratteristiche dei terreni attraversati e del comportamento tenso-deformativo del cavo durante l'esecuzione della galleria ed, in parte, per il successivo controllo durante l'esercizio ferroviario.

da un punto di vista tecnico l'intero programma si articola in:

- Monitoraggio in corso d'opera della galleria nuova
 - Rilievo geologico-geotecnico speditivo del fronte di scavo
 - Misure di convergenza con mire ottiche
 - Misure di estrusione profonda del fronte di scavo
 - Misure di livellazione superficiale del piano campagna
 - Misure di tensione con celle di carico, barrette estensimetriche e celle di pressione
 - Fessurimetri tridirezionali
- Monitoraggio in corso d'opera degli imbocchi
 - 3 Inclinometri
- Monitoraggio in fase di esercizio delle gallerie
 - Strain gauges saldati all'armatura del rivestimento definitivo

Sono stati forniti anche dei riferimenti base per il confronto tra scelte progettuali e risposta reale del cavo e delle strutture.

Tutto il piano di monitoraggio andrà eseguito secondo le cadenze e le quantità minime definite nella presente relazione.

Per quanto riguarda l'ubicazione delle stazioni si rimanda alla Direzione Lavori secondo valutazioni che tengono conto delle reali condizioni che si riscontrano in cantiere.

Si dovrà tenere conto delle opere in corso di realizzazione e le condizioni al contorno nonché degli ammassi e del loro comportamento tenso-deformativo.

*Corridoio Plurimodale Tirrenico - Nord Europa / Itinerario Agrigento – Caltanissetta - A19 / S.S. n° 640 "di Porto Empedocle"
Ammodernamento e adeguamento alla Cat. B del D.M. 5.11.2001 dal km 44+000 allo svincolo con l'A19*

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE SUL MONITORAGGIO DELLE GALLERIE NATURALI
