

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

### EUROLINK S.C.p.A.

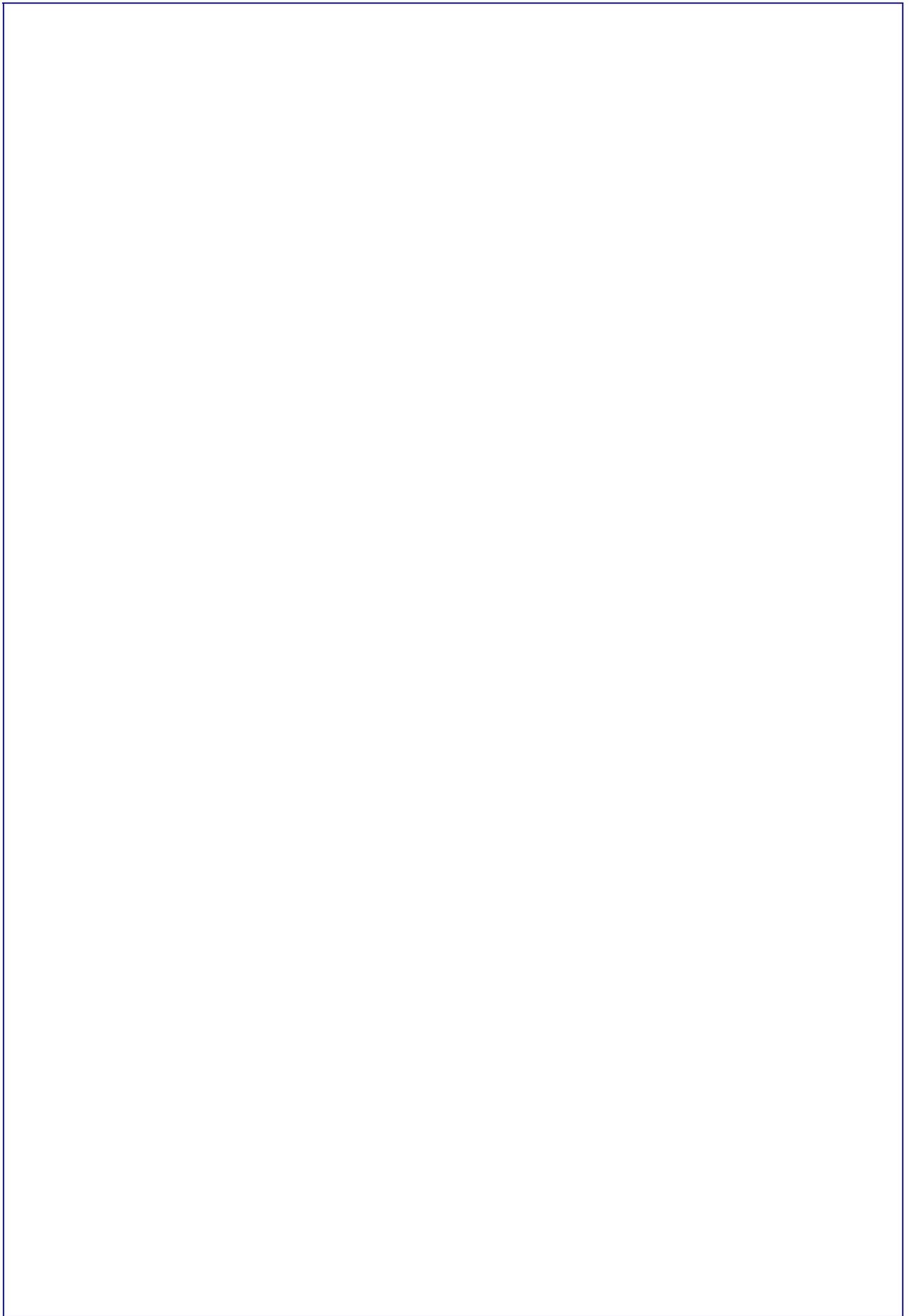
IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)  
SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)  
COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)  
SACYR S.A.U. (MANDANTE)  
ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)  
A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

<p>IL PROGETTISTA</p>  <p>S.p.A. CONSULENZA E ASSISTENZA TECNICA nel campo della GEOINGEGNERIA</p> <p>Dott. Ing. G. Cassani Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p> 	<p>IL CONTRAENTE GENERALE</p> <p>Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>
--	--	---	---

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI SICILIA	SF0132_F0
<i>Tipo di sistema</i>	INFRASTRUTTURE FERROVIARIA OPERE CIVILI	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	LINEA FERROVIARIA DA OPERA DI ATTRAVERSAMENTO A STAZIONE DI MESSINA	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	GALLERIA NATURALE	
<i>Titolo del documento</i>	GALLERIE S.AGATA E S.CECILIA - RELAZIONE TECNICA GENERALE E SULLO SCAVO MECCANIZZATO	

CODICE	C G 0 8 0 0	P	R G	D S	F C	L 2	G N	0 0	0 0	0 0	0 1	F0
--------	-------------	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	M.FRANDINO	A.BELLOCCHIO	G.CASSANI



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

INDICE.....	3
1 Premessa.....	7
2 Riferimenti normativi e documentazione di riferimento.....	8
2.1 Applicazione della Normativa .....	8
3 Caratteristiche dei materiali .....	11
4 Inquadramento generale dell'opera .....	12
5 Contesto geologico, idrogeologico e geotecnico .....	15
5.1 Inquadramento geologico .....	15
5.2 Inquadramento geomorfologico.....	18
5.3 Inquadramento stratigrafico lungo il tracciato.....	20
5.4 Inquadramento idrogeologico .....	40
5.5 Tratta dall'imbocco (lato ponte) al Km 8+000 circa .....	40
5.6 Tratta dal Km 8+000 al km 9+000 circa.....	40
5.7 Tratta dal Km 9+000 al km 9+600 circa.....	41
5.8 Tratta dal Km 9+600 al km 9+950 circa.....	41
5.9 Tratta dal Km 9+950 al km 11+400 circa.....	42
5.10 Tratta dal Km 11+400 al km 13+150 circa .....	42
5.11 Tratta dal Km 13+150 all'imbocco lato Messina .....	42
5.12 Perturbazione della piezometrica.....	43
5.13 Sintesi dei parametri geotecnici e individuazione dei parametri operativi di calcolo.....	44
6 Previsioni sul comportamento degli ammassi rocciosi allo scavo e metodi di calcolo.....	53
6.1 Importanza del fronte di scavo .....	54
6.1.1 Gallerie a fronte stabile (CASO A) .....	55
6.1.2 Gallerie a fronte stabile a breve termine (CASO B) .....	55
6.1.3 Gallerie a fronte instabile (CASO C) .....	55
6.2 Calcolo delle categorie di comportamento allo scavo .....	56
6.2.1 Linee caratteristiche della cavità .....	56
6.2.2 Categorie di comportamento .....	58
6.3 Procedura per la valutazione delle pressioni al fronte.....	59
6.4 Analisi delle subsidenze e valutazione dei danni indotti sui fabbricati.....	60
6.4.1 Analisi del quadro deformativo indotto dallo scavo delle gallerie .....	62

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6.4.2	Deformazioni indotte sui fabbricati e analisi di rischio .....	64
7	La scelta del tipo di macchina .....	70
7.1	Scavo meccanizzato di gallerie: applicabilità e metodi di condizionamento .....	70
7.1.1	Generalità .....	70
7.2	Scelta della TBM .....	72
7.3	Il condizionamento .....	75
7.4	Le schiume .....	77
7.5	Polimeri .....	78
7.6	Scelta del tipo di macchina lo scavo della tratta Siciliana .....	79
7.7	Il contenimento del volume perso .....	81
7.8	Malta cementizia di intasamento a tergo del rivestimento .....	84
7.9	Smarino del materiale di scavo .....	85
8	Linee Guida per l'applicazione delle azioni integrative e/o correttive .....	87
8.1	Criteri Progettuali .....	88
8.1.1	Processo di controllo .....	88
8.2	Parametri Operativi della Fresa .....	89
8.3	Linee Guida per l'applicazione delle azioni integrative e/o correttive .....	90
8.3.1	Definizione delle caratteristiche geologiche-geomeccaniche dell'ammasso .....	90
8.3.2	Acquisizione dati sistematici .....	92
8.4	Indagini integrative .....	93
8.5	Interventi progettuali .....	94
9	Interferenza Galleria Peloritani .....	96
10	Sismica in galleria .....	97
11	MONITORAGGIO .....	101
11.1	Tipologie di monitoraggio previsto .....	102
11.2	Monitoraggio per lo scavo meccanizzato .....	103
11.2.1	Sezione di monitoraggio esterna (da piano campagna) .....	103
11.2.2	Sezione di monitoraggio interno .....	104
11.2.3	Sezione di monitoraggio urbano .....	104
11.2.4	Monitoraggio parametri macchina .....	105
11.3	Monitoraggio delle gallerie artificiali .....	105
11.3.1	Monitoraggio superficiale galleria artificiale .....	105
11.3.2	Monitoraggio degli edifici presenti in prossimità dell'opera .....	106

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

11.3.3	Monitoraggio paratie galleria artificiale .....	106
11.4	Monitoraggio imbocchi .....	107
11.4.1	Monitoraggio superficiale imbocchi .....	107
11.4.2	Monitoraggio paratie imbocchi .....	107
11.5	Monitoraggio Aree Instabili .....	108
11.5.1	Monitoraggio delle strutture preesistenti interessate dall'area instabile .....	108
11.6	Monitoraggio strutture preesistenti.....	109
11.6.1	Monitoraggio strutture presenti.....	109
ALLEGATO 1 – MONITORAGGIO .....		111
12	Strumentazione Rilievi e Misure da effettuare .....	112
12.1	Misura topografica capisaldi e staffe di livellazione .....	112
12.2	Misura topografica Stazione Totale Automatica .....	113
12.3	Misura topografica Interferometria SAR terrestre .....	114
12.4	Misura geotecnica inclinometrica.....	115
12.5	Misura geotecnica estensimetrica incrementale tipo Increx .....	122
12.6	Misura geotecnica assestimetro multibase .....	126
12.7	Misura geotecnica misuratori di giunti (fessurimetri).....	129
12.8	Misura geotecnica tenso deformativa Barrette estensimetriche .....	130
12.9	Misura geotecnica tenso deformativa concio strumentato .....	133
12.10	Misura geotecnica piezometrica a tubo aperto .....	135
12.11	Misura geotecnica piezometrica tipo Casagrande .....	140
12.12	Misura geotecnica celle di carico .....	145
12.13	Misura geotecnica Cella di pressione .....	147
12.14	Misura Geotecnica elettrolivelle e clinometri da parete.....	149
12.15	Sistemi di acquisizione dati.....	153
12.16	Cavi elettrici di collegamento .....	156
12.17	Prescrizioni di installazione.....	157
12.18	Modalità esecutive Monitoraggio in corso d'opera (frequenze di lettura).....	157
12.18.1	Misure di cedimento (capisaldi topografici, staffe livellometriche, mire ottiche)...	158
12.18.2	Misure piezometriche.....	159
12.18.3	Misure assestimetriche ed inclinometriche .....	160
12.18.4	Misure stato tensionale (Riv. 1°-2° fase, Conci strumentati, Pali, diaframmi).....	161
12.18.5	Misure Elettrolivelle e clinometri .....	162

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>	<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

12.18.6	Fessurimetri .....	162
12.18.7	Misure Celle di carico .....	163
12.19	Definizione delle soglie di attenzione e di allarme .....	163
12.20	APPENDICE 1 – Descrizione Sistema gestione dati .....	164
12.21	APPENDICE 2 – Allegati .....	168

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 1 Premessa

Finalità della presente Relazione è fornire i chiarimenti atti a dimostrare la rispondenza del progetto alle finalità dell'intervento ed il rispetto del prescritto livello qualitativo, fornendo la giustificazione dell'inserimento dell'opera d'arte lungo l'infrastruttura con particolare riguardo alle scelte tipologiche adottate.

A tale scopo verrà fornito, per ciascuna galleria, un inquadramento delle opere nel contesto territoriale ed una descrizione delle stesse, indicandone le relative progressive di inizio e fine, i dati ed i requisiti di base nel rispetto dei quali è stata sviluppata la progettazione, le caratteristiche prestazionali e descrittive dei materiali prescelti, le ipotesi progettuali adottate per il suo dimensionamento e le principali caratteristiche geometriche e dimensionali.

La relazione, valida per le opere ferroviarie del versante Sicilia, è articolata nei seguenti punti principali:

- **Inquadramento generale dell'opera:** il capitolo comprende la localizzazione geografica dell'opera, le caratteristiche geometriche del tracciato e delle sezioni tipo d'intradosso e di scavo e l'individuazione delle eventuali interferenze con manufatti preesistenti presenti lungo il tracciato;
- **Individuazione del comportamento allo scavo e criteri di calcolo:** il capitolo riassume la metodologia di calcolo utilizzata e la filosofia di dimensionamento degli interventi di sostegno;
- **Linee guida per la scelta del metodo di scavo e analisi delle criticità:** nel capitolo verranno fornite indicazioni circa le scelte progettuali e tecniche relative al metodo di avanzamento in fresa. In generale si approfondiranno le tematiche relative alle diverse metodologie di avanzamento possibili nel contesto geomeccanico incontrato, le problematiche di scavo distinte in base alla zonizzazione geotecnica e verranno illustrate le soluzioni tecniche da adottare in corso d'opera.
- **Programma per il monitoraggio in corso d'opera;**

Per quanto concerne l'approfondimento degli aspetti di dettaglio relativi alle caratteristiche di fresabilità e condizionamento del terreno, si rimanda alla fase di Progettazione Esecutiva. Per la descrizione di dettaglio della macchina di scavo (utensili, tecnologia di spinta etc..) si rimanda ad una fase progettuale successiva.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 2 Riferimenti normativi e documentazione di riferimento

Le verifiche statiche degli interventi e la redazione della presente relazione di calcolo, compresi gli elaborati tecnici allegati, sono state effettuate nel rispetto della Normativa in vigore e delle Specifiche tecniche fornite.

La normativa di riferimento è il D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” (pubblicato sulla G.U. n.29 –Suppl. Ordinario n.30 – del 4 febbraio 2008). Si è inoltre fatto riferimento a quanto riportato all’interno della Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009: “Istruzioni per l’Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008”.

### 2.1 Applicazione della Normativa

Le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (di seguito, per brevità, NTC 2008) “definiscono i principi per il progetto, l’esecuzione e il collaudo delle costruzioni”, nei riguardi delle prestazioni richieste in termini di resistenza, stabilità, robustezza e durabilità. Le prestazioni di un’opera sono definite con riferimento a stati limite che si possono raggiungere durante la vita dell’opera, e che corrispondono a condizioni oltre le quali l’opera non soddisfa più i requisiti di progetto.

Nelle NTC 2008 i coefficienti di sicurezza sono introdotti direttamente sulle diverse fonti di incertezza (azioni, materiali, resistenza):

- $\gamma_F = \gamma_E$  per le azioni o l’effetto delle azioni (differenziati in funzione del tipo di carico (permanente o variabile) e in funzione dell’effetto (favorevole o sfavorevole);
- $\gamma_M$  per i materiali (applicati ai parametri di resistenza del terreno)
- $\gamma_R$  per le resistenze (definiti in funzione della tipologia di opera)

Le NTC 2008 richiedono, in linea con l’approccio progettuale tradizionale, che siano eseguite le analisi relative a:

- stabilità globale della cavità, con particolare riguardo al fronte e alla zona retrostante il fronte,
- valutazione dei risentimenti attesi in superficie in condizioni di bassa copertura,
- interazione terreno-struttura nelle fasi costruttive,
- interazione terreno-struttura in esercizio.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per le analisi progettuali le NTC 2008 impongono di fare ricorso a metodi analitici e/o metodi numerici, questi ultimi necessari per l'analisi dell'interazione terreno-struttura nelle fasi costruttive e in condizioni di esercizio. I metodi di calcolo utilizzati devono essere *“di comprovata validità, adeguati alla complessità del sistema opera-terreno e al livello di progettazione”*.

Nel seguito si illustra l'approccio progettuale utilizzato, inteso come modalità di verifica della sicurezza e delle prestazioni dell'opera coerente con indicazioni e prescrizioni della nuova normativa.

La verifica della sicurezza deve essere effettuata con riferimento a stati limite “ultimi” e di “esercizio”. In linea del tutto generale e non esaustiva per le opere in sotterraneo possono individuarsi i seguenti stati limite:

1. stati limite ultimi per sviluppo di meccanismi di collasso determinati dal raggiungimento della resistenza del terreno/ammasso roccioso interessato dallo scavo (GEO);
2. stati limite ultimi relativi al raggiungimento delle resistenze degli elementi strutturali (STR);
3. stati limite ultimi di erosione e sifonamento del terreno dovuta a gradienti idraulici (HYD);
4. stati limite di esercizio (SLE) connessi alla realizzazione delle opere in sotterraneo relativamente al danno funzionale dei manufatti presenti in superficie (edifici) o in profondità (tubazioni, fondazioni profonde, gallerie esistenti) con cui l'opera in sotterraneo interagisce;
5. stati limite di esercizio (SLE) relativi allo stato tensionale dei rivestimenti durante le fasi di esercizio.

In analogia con quanto indicato per le opere geotecniche per le quali l'interazione terreno-struttura è significativa (es. opere di sostegno flessibili), per le verifiche si adotta l'**Approccio 1**.

In particolare, in linea generale:

A. le verifiche di stabilità del fronte verranno condotte in accordo con gli **stati limite ultimi GEO Combinazione 2 dell'Approccio 1 (A2+M2+R2)**, nella quale i parametri di resistenza del terreno sono ridotti tramite i coefficienti parziali del gruppo M2, i coefficienti sulla resistenza globale (R2) sono unitari e solo le azioni variabili sono amplificate con coefficienti maggiori di 1 del gruppo A2. La procedura di riduzione dei parametri di resistenza tramite coefficienti parziali per l'analisi di un meccanismo di rottura agisce sulla maggiore fonte di incertezza e fornisce, di fatto, una misura della distanza dalle condizioni di collasso.

Nel caso in esame di scavo meccanizzato la stabilità del fronte non è affrontata separatamente dallo studio di interazione terreno struttura, entrando di fatto come valutazione della

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

contropressione necessaria a garantire le condizioni di stabilità durante l'avanzamento. Tale valutazione è svolta quindi come indicato al punto B.

B. Le verifiche di interazione terreno struttura della cavità e le verifiche strutturali verranno condotte in accordo con gli **stati limite ultimi STR Combinazione 1 dell'Approccio 1 (A1+M1+R1)**, nella quale i coefficienti sui parametri di resistenza (M1) e sulla resistenza globale del sistema (R1) sono unitari, mentre le azioni permanenti e le azioni variabili sono amplificate mediante i coefficienti del gruppo A1. E' opportuno, in questo caso, applicare i coefficienti amplificativi delle azioni direttamente alle sollecitazioni. Nelle analisi di interazione ai fini della valutazione delle sollecitazioni delle strutture, dove il fattore dominante è rappresentato dalle rigidzze e dai rapporti relativi delle rigidzze di terreno e struttura, la modellazione eseguita con i valori caratteristici delle azioni e delle resistenze fornisce una descrizione realistica dello stato tensionale nel terreno e negli elementi strutturali. La procedura di riduzione dei parametri di resistenza del terreno è sconsigliabile perché introdurrebbe nel calcolo parametri tra loro non congruenti e quindi risultati non attendibili.

C. Nelle verifiche degli **stati limite di esercizio** i valori di progetto delle azioni, delle proprietà dei materiali e della resistenza globale sono assunti pari ai valori caratteristici. La verifica dello SLE si esegue calcolando il valore di progetto dell'effetto delle azioni (ad es. cedimenti differenziali, distorsioni) e confrontandolo con il valore limite prefissato, da specificare come requisito di progetto. In funzione della complessità del sistema e dello scopo delle analisi la previsione degli spostamenti al contorno della galleria può essere effettuato, come è prassi, con metodi semi-empirici o metodi numerici.

Adottando tale approccio, di fatto, si conserva la distinzione tipica dell'analisi geotecnica tradizionale, in cui si affrontano separatamente, e spesso con metodi e modelli differenti, i due aspetti del dimensionamento di un'opera geotecnica: la sicurezza rispetto ad un cinemismo di collasso e l'interazione terreno-struttura dalla quale è possibile derivare il campo degli spostamenti e le condizioni di sollecitazione negli elementi strutturali. Tale modo di procedere è in conformità a quanto indicato nelle *"Recommandations de l'AFTES-Compatibilité des recommandations AFTES relatives aux revêtements des tunnels en béton avec le Eurocodes"* (2007).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3 Caratteristiche dei materiali

Le caratteristiche dei materiali utilizzati nei calcoli di verifica, sono conformi alle nuove norme NTC 2008:

- CALCESTRUZZO C40/50

Resistenza Cubica	50 MPa
Resistenza Cilindrica	40 MPa
Classe di Esposizione	XC2 (*)
Modulo Elastico	35220 MPa
Coefficiente per la resistenza compressione $\gamma_c$	1.5
Resistenza di calcolo compressione fcd	22.7 MPa

- ACCIAIO B450 C

Tensione caratteristica di snervamento	450 MPa
Modulo Elastico	210 GPa
Coefficiente per la resistenza dell'acciaio	1.15
Resistenza di calcolo dell'acciaio fyd	391.3 MPa

(\*) Si prevede classe di esposizione XA2 in casi di ambiente chimicamente aggressivo. In particolare tale condizione di riscontra:

BINARIO DISPARI: Tra le PK 8+100 e 10+000 – 10+300 e 11+800

BINARIO PARI: Tra le PK 8+200 e 10+000 – 10+400 e 11+600

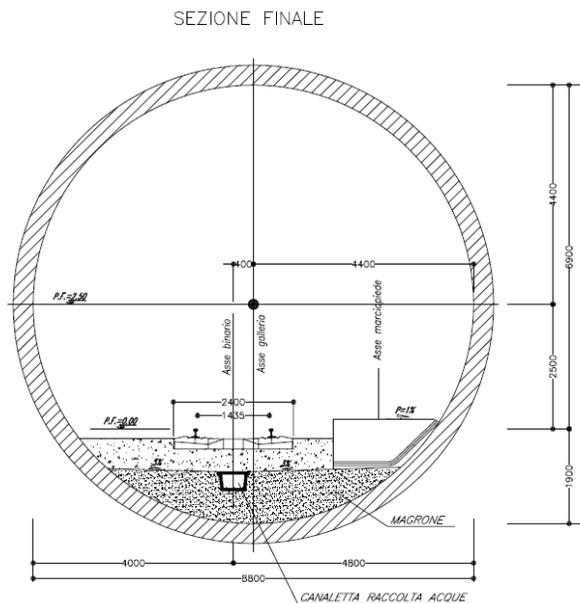
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4 Inquadramento generale dell'opera

Il tracciato inizia partendo dall'asse delle pile del ponte posizionate sul versante siciliano corrispondente al km 0+000 di progetto.

L'opera in sotterraneo è costituita da 2 gallerie naturali a doppio fornice per la cui realizzazione è previsto l'impiego di una macchina di scavo meccanizzato integrale scudata con sostegno in pressione del fronte.

Le gallerie di raggio interno pari a 4.40m e spessore del rivestimento di 40cm si sviluppano complessivamente per circa 15500 m.



In particolare alla progressiva Km 1+120 circa iniziano le due gallerie a semplice binario, denominate Sant'Agata, che, al Km 1+700, raggiungono l'interasse di 30mt mantenendolo costante per 500mt per poi raggiungere i 52mt d'interasse necessari per la realizzazione della "Fermata Papardo Km 3+401.60" con precedenza (scambi 60 UNI 400/0.094 V= 60km/h) provvista di modulo marciapiede da 250mt; successivamente i due binari si riavvicinano tramite la successione di gallerie naturali ed in artificiale per tornare nuovamente ad interasse 4 mt prima dello sbocco della galleria situato al Km 5+300 circa.

In tale tratto (parte in galleria e parte allo scoperto) sono posizionate le comunicazioni con

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

V=100km/h occorrenti per la banalizzazione degli itinerari. Nel tratto allo scoperto è previsto l'innesto dei binari del Posto di Manutenzione V=30km/h (deviatoio 60 UNI 250/0,092) e la zona di binario plateato occorrente per l'ingresso di un mezzo bimodale di intervento, nonché la viabilità pedonale separata per l'esodo in caso di emergenza.

La successiva galleria S. Cecilia di 11.900 mt circa ha inizio al Km 5+700 circa ed anche in questo caso, con un breve tratto in galleria artificiale, si ha una graduale divaricazione dei binari pervenendo alle due canne in galleria naturale a semplice binario ad interasse 30 mt costante fino al km 7+500 circa. Si prosegue con una ulteriore divaricazione dei binari in galleria fino ad ottenere un interasse di 52 mt necessari per la "Fermata Annunziata Km 9+478.10" con precedenza (scambi 60 UNI 400/0.094 V= 60km/h) provvista di modulo marciapiede da 250mt.

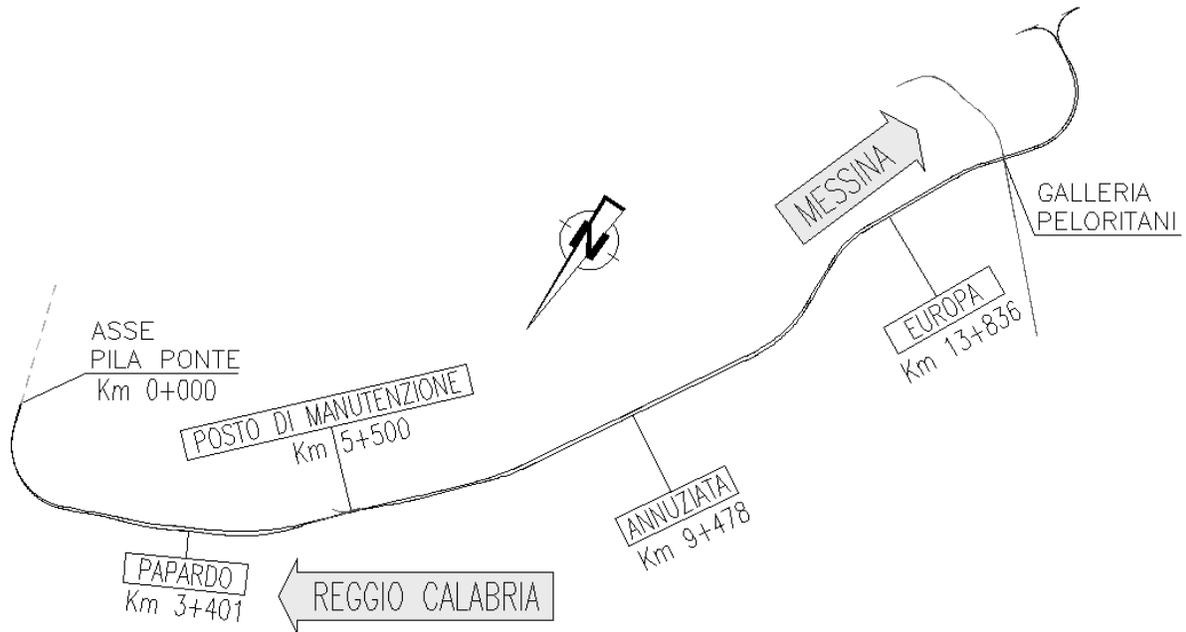
Al km 11+100 della linea inizia il tratto di decelerazione da V=200 km/h a V=100 km/h che termina al km 15+900 circa, velocità da mantenere fino al Bivio di Gazzi km 17+520 per poi proseguire a 60 km/h ed immettersi sulle direttrici per Messina e per Catania.

Dopo una graduale divaricazione dei binari in galleria fino a pervenire alle due canne in galleria naturale ad interasse 30 mt che mantengono costante fino al km 12+808 circa, l'interasse dei binari in galleria viene incrementato a 44 mt necessari per la realizzazione della "Fermata Europa Km 13+836.30" senza precedenza e provvista di modulo marciapiede di 400 mt.

Successivamente i due binari si riavvicinano ad interasse 30 mt che mantengono costante fino al km 17+300 circa, poi tramite la successione di gallerie naturali ed in artificiale per arrivare ad un interasse di circa 5 mt necessari per il Bivio di Gazzi al km 17+520.

La galleria di S. Cecilia termina in prossimità del nuovo Bivio di Gazzi.

Facendo poi una comparazione altimetrica con il progetto preliminare si evidenzia un abbassamento generalizzato della livelletta della galleria S. Agata dovuto alla necessità di aumentare la copertura della galleria al fine di evitare consolidamenti localizzati che aumenterebbero i costi ed i tempi di esecuzione dell'opera.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5 Contesto geologico, idrogeologico e geotecnico

Di seguito si riporta un sintetico inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e geotecnico dell'area interessata dallo scavo delle Gallerie naturali S. Agata e S. Cecilia relative al tracciato ferroviario. Per il dettaglio di tali caratteristiche si rimanda ai singoli elaborati: Relazione geologica generale, Relazione geomorfologica generale, Relazione idrogeologica generale e Relazione geotecnica generale. Si segnala che i le considerazioni contenute in tale capitolo fanno riferimento ai dati attualmente disponibili. A causa di importanti problemi di accesso durante la campagna di indagine 2010 alcune aree risultano scarsamente indagate. Tale aspetto è già stato affrontato prevedendo un piano integrativo di indagini per il progetto esecutivo. La planimetria con l'ubicazione di tali indagini è stata allegata al verbale di accettazione relativo agli studi di base.

### 5.1 Inquadramento geologico

Dal punto di vista geologico generale lo Stretto di Messina è ubicato in corrispondenza della terminazione meridionale dell'Arco Calabro-Peloritano, caratterizzato, come sopra specificato, dalle Unità Kabilo-Calabridi o, brevemente Calabridi, e che rappresenta un segmento dell'Orogene Appenninco-Maghrebide.

L'edificio calabro-peloritano è composto da una pila di falde di ricoprimento, caratterizzate da un basamento cristallino con un grado metamorfico crescente verso l'alto, da termini semimetamorfici fino a unità d'alto grado. Nell'area in esame affiora soltanto la falda strutturalmente più elevata, cioè l'Unità dell'Aspromonte, costituita da rocce gneissiche e da micascisti con filoni pegmatitico-aplitici. Tale unità forma il substrato, sul quale poggiano le coperture mioceniche e plio-quadernarie; esso affiora lungo la dorsale peloritana e nell'estremità meridionale della Calabria, dove si aggiungono anche plutoniti a composizione granodioritica. Lembi minori si trovano all'interno della città di Messina, dove formano una dorsale orientata ENE-WSW.

Il quadro strutturale in cui si colloca l'area peritirrenica rappresenta il risultato dello stadio collisionale tra la crosta continentale "panormide", originario basamento delle Unità Panormidi, riconosciuto nella fascia meridionale del Bacino Tirrenico ed il margine pelagiano della placca africana. A partire dal Pliocene superiore, si è registrata per la maggior parte della Sicilia la totale consumazione della crosta oceanica "paleoionica" che ospitava le coperture bacinali maghrebidi (imeresi, sicane, etc.) ed originariamente interposta tra i due blocchi (quello maghrebide e quello pelagiano). Tale stadio collisionale si è realizzato soltanto per la parte centro-occidentale dell'Isola, dove attualmente il processo di convergenza è inibito, mentre ad est dell'area di Milazzo la crosta

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>	<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

“panormide” si contrappone invece alla crosta oceanica ionica, ancora in subduzione. Pertanto l’area dello Stretto si trova in pieno al disopra del processo di subduzione ionica.

Dal punto di vista strutturale esistono più sistemi di faglie:

Il sistema orientato NW-SE a componente destra, denominato Sistema Sud-Tirrenico, ed interpretato come l’espressione superficiale del generale *shifting* dell’orogene dalle aree in collisione a quelle in subduzione, non è particolarmente evidente nelle zone attorno allo Stretto.

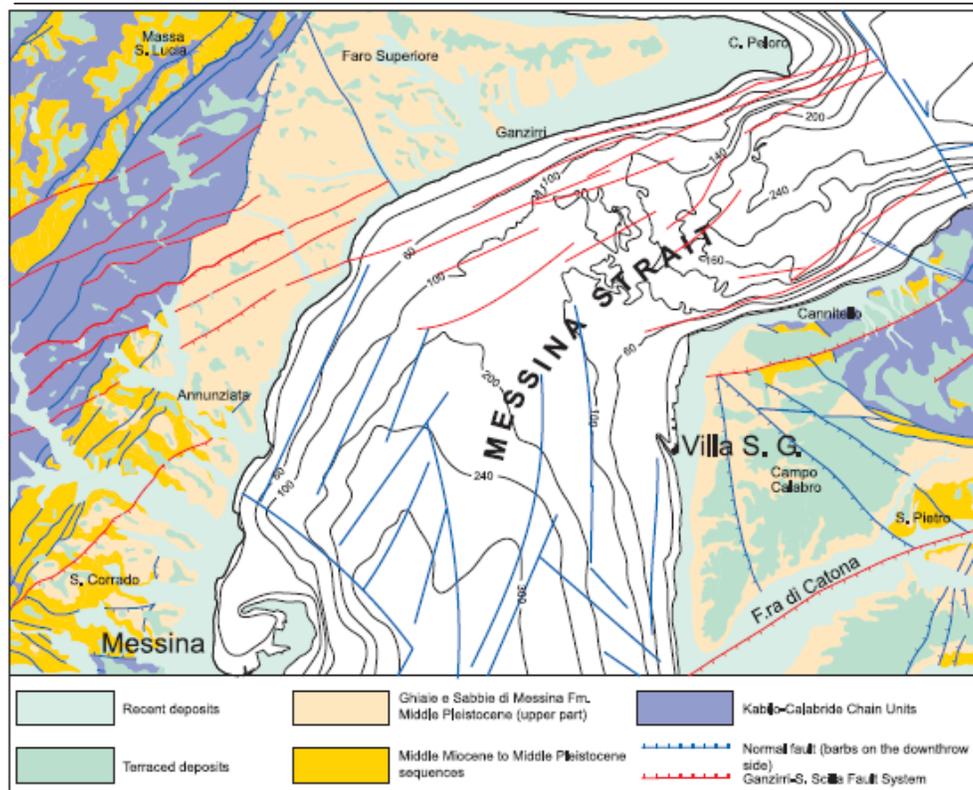
Particolarmente marcato appare il sistema orientato NE-SW.

Il sistema orientato NNE-SSW, è un elemento morfotettonico che domina la dorsale peloritana ed è responsabile della segmentazione dei depositi del Pliocene medio-inferiore, quindi la sua attivazione data dal Pliocene superiore ed è probabilmente attivo anche nel Pleistocene. Ad esso vengono associati da MONACO & TORTORICI (2000) tassi di sollevamento di 0,5-1,2 mm/anno per gli ultimi 700 ka.

Altro importante sistema di faglie è quello orientato ENE-WSW, cui appartiene il Sistema Ganzirri-Scilla e che corrisponde ad un importante elemento geomorfologico, che si esprime con scarpate sottomarine e controlla la morfologia costiera del tratto settentrionale dello Stretto di Messina. Linee sismiche, che attraversano lo Stretto, indicano chiaramente che il fondo mare è ritagliato da queste faglie.

La morfologia del fondo mare tra Villa S. Giovanni e Ganzirri mostra una superficie suborizzontale a profondità variabili da 60 ad 80 m bordata da strutture, che controllano poi la linea di costa su ambedue i lati dello Stretto. Tale piattaforma sommersa potrebbe corrispondere a quella di Campo Piale sul lato calabrese, ubicata a 120-170 m s.l.m.. Ciò implicherebbe un collasso della zona dello Stretto molto superiore ai tassi regionali.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



**Figura 1 – Schema tettonico dell'area dello Stretto di Messina. Lo schema mostra la distribuzione delle Ghiaie e sabbie di Messina e i recenti sistemi di faglie che interessano l'intera area.**

Studi multidisciplinari eseguiti negli ultimi anni hanno messo in evidenza i caratteri stratigrafici e strutturali di quest'area e di ricostruire il trend evolutivo, che in una zona come questa presenta una complessa storia geodinamica. La ricostruzione stratigrafica, in particolare dell'intervallo pliocenico-quadernario, permette di dedurre il comportamento tettonico e di ricostruire i tassi di sollevamento dei settori siciliano e calabrese, che delimitano lo Stretto. L'analisi sul terreno e i dati delle aree sommerse consentono il riconoscimento di strutture, che controllano l'evoluzione geomorfologica e possono essere messe in relazione con l'attività sismica. Le stesse strutture inoltre possono essere individuate attraverso le linee sismiche, in particolare quelle ubicate nelle aree sommerse.

Nella zona studiata l'assenza delle arenarie del Flysch di Capo d'Orlando, dovuta ad antiche fasi erosive ovvero ad una originaria non sedimentazione, non fornisce indicazioni sulla fase oligocenica di ricoprimento delle falde cristalline. La copertura sedimentaria inizia con i

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

conglomerati e le sabbie della cosiddetta “molassa”, cioè la Formazione di S. Pier Niceto, ascrivibile al Miocene medio-superiore, presente su ambedue i versanti della dorsale peloritana, e nell’Aspromonte dove è più nota come “Flysch di Motta” (BARRIER et al., 1987) ed alla quale appartiene anche il cosiddetto “Conglomerato di Pezzo”.

Sul versante tirrenico siciliano l’alimentazione di tali depositi indica che la formazione era legata alle fasi incipienti dell’apertura del Bacino Tirrenico, mentre sul versante ionico l’area d’origine poteva essere quella attualmente collassata a formare il cosiddetto *Rise* di Messina, nel bordo ionico siciliano.

Le coperture sedimentarie del Miocene superiore e quelle del Pliocene-Quaternario, distribuite lungo il versante ionico della dorsale peloritana, si presentano lacunose e/o condensate a causa delle ripetute fasi di emersione e avanzamento del mare.

Nello Stretto di Messina il controllo strutturale è estremamente evidente. Una semplice analisi morfostrutturale, condotta anche con l’aiuto di immagini DEM del fondo marino, mostra una netta connessione tra il *trend* ENE-WSW (Sistema di faglie di Scilla) e le marcate scarpate sottomarine presenti sia sul lato calabrese, che su quello siciliano del settore nord dello Stretto. Mentre nella parte a sud dell’allineamento Punta Pezzo – Foce dell’Annunziata lo Stretto assume una direzione prossima a NE-SW, parallela cioè ai *trend* che delimitano la dorsale peloritana.

## 5.2 Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico l’area dello Stretto di Messina è ubicata in corrispondenza della terminazione meridionale dell’Arco Calabro tra la catena dei Monti Peloritani in Sicilia e l’estremità occidentale del Massiccio dell’Aspromonte in Calabria. La sua delimitazione geografica meridionale si pone a Scaletta Zanclea sulla sponda siciliana e a Pellaro su quella calabrese.

I Monti Peloritani si estendono da Capo Peloro sino alla congiungente S. Fratello-Giardini in senso geologico, o sino alla zona di Novara di Sicilia con terminologia geografica. Essi presentano molti caratteri comuni ai monti calabresi: essendo simile la costituzione geologica, appaiono simili anche i lineamenti morfologici di insieme. Risulta, così, molto comune la morfologia data da ampie e profonde fiumare, colmate da spesse coltri alluvionali; mentre diversa si presenta la conformazione delle creste, molto più aguzze e sottili quelle dei Peloritani, specialmente in corrispondenza delle rocce d’alto grado metamorfico, come gli gneiss. Lo spartiacque si trova più vicino alla costa ionica, che a quella tirrenica. Sono anche minori rispetto ai rilievi calabresi le altitudini che non superano di norma i 1300 m. In particolare i rilievi più elevati di tutto il sistema montuoso peloritano sono Montagna Grande (1374 m) e Rocca Novara (1340 m).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

I tratti geomorfologici più significativi dell'area sono dati dalla dorsale dei M. Peloritani e dalle fasce alluvionali che bordano sia la zona ionica della Sicilia, sia la terminazione occidentale del Massiccio dell'Aspromonte. Entrambi le dorsali sono incise da valli con versanti molto acclivi nel tratto a monte, che conferiscono al paesaggio un aspetto aspro. Verso valle il paesaggio è caratterizzato da una successione continua di superfici subpianeggianti variamente estese, degradanti e separate da evidenti gradini, che danno al versante ionico una tipica conformazione a gradinata. Esso è disseccato da incisioni fluviali, che nel loro tratto terminale svasano in pianure alluvionali, più ampie sul versante calabrese.

Questo aspetto è in stretto rapporto con l'evoluzione tettonica recente dell'area che nel Plio-Quaternario ha subito un generale sollevamento, legato a movimenti lungo i principali sistemi di faglie connesse con l'apertura del Bacino Tirrenico e con l'individuazione dello Stretto di Messina. Considerata la varietà delle litologie delle formazioni, anche gli aspetti geomorfologici sono estremamente vari. Infatti alla scarsa erodibilità delle rocce metamorfiche massive, come i gneiss, fa riscontro il degrado delle coperture sedimentarie argilloso-sabbiose oppure ghiaiose. Ma anche tra queste i conglomerati miocenici presentano rilievi aspri e tormentati.

Caratteristica è anche la risposta delle Ghiaie e Sabbie di Messina ai fenomeni di degradazione, con formazione di estese fasce di detrito ghiaioso sia alla base dei rilievi, che lungo le ampie valli. Frequenti sono gli orli di scarpata di degradazione, che quasi sempre non sono associati a coltri di frana, ma semmai a fasce o coni di detrito, come sul versante tirrenico. Gli orli di scarpata di degradazione con andamento semicircolare sono molto diffusi nella formazione delle Ghiaie e Sabbie di Messina e si rinvergono anche laddove si ha la combinazione di faglie dirette che mettono a contatto formazioni con analoghe caratteristiche di erodibilità.

Sono state prodotte quattro carte geomorfologiche, in cui sono state cartografate e delimitate le forme salienti, i bacini evidenziati in cartografia sono stati suddivisi e distinti nel successivo capitolo.

Si tratta in generale di corsi brevi e con pendenze importanti nella parte alta del bacino.

Da Capo Peloro alla Fiumara Annunziata prevalgono gli orli dei terrazzi marini e alla base dei versanti da modesti a forti accumuli di materiali erosi e risedimentati.

L'aspetto più visibile di una morfologia prodotta dall'intervento antropico sono le cave per l'estrazione di inerti e le connesse aree di lavorazione. Nel torrente Pace sono state cartografate tre grosse aree di cava, una sulla strada panoramica dello stretto e due nella fiumara Curcuraci.

Le tavole riportano anche le spiagge e le aree alluvionali. Queste ultime sono in gran parte occupate dall'urbanizzazione e, poiché raffigurarle entrambe avrebbe comportato una

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

sovrapposizione di retini, che rendeva illeggibile le aree, si è preferito privilegiare la raffigurazione delle aree alluvionali, cioè un elemento morfologico. In alcuni casi tuttavia le aree edificate sono state ottenute sbancando dei versanti acclivi e non le alluvioni, come nel caso della cittadella universitaria dell'Annunziata.

### 5.3 Inquadramento stratigrafico lungo il tracciato

Di seguito si riporta una sintesi delle litologie incontrate lungo il tracciato delle due gallerie naturali del tracciato ferroviario.

A partire dalla zona di imbocco lato Reggio le gallerie ferroviarie si sviluppano all'interno della Formazione delle Ghiaie e sabbie di Messina fino all'incirca alla progressiva km 7,450, quindi si passa alla formazione dei Trubi ed alla formazione gessoso-solfifera, con la presenza sia di calcari evaporatici sia di argille gessose a quota cavo, fino all'incirca alla progressiva 9,900. a partire da questa progressiva lo scavo si svilupperà all'interno della Formazione di S. Pier Niceto, litofacies sabbioso-argillosa fino alla progressiva 11,400 circa. Tra le progressiva 10,750 e 10,950 si segnala la presenza di una zona a basse coperture con la presenza di depositi alluvionali recenti a quota cavo. A partire dalla progressiva 11,400 circa fino alla progressiva 13,150 circa lo scavo avverrà presumibilmente all'interno della Formazione di s. Pier Niceto, facies conglomeratici. A partire da questa ultima progressiva il tracciato entra all'interno del basamento metamorfico costituito **paragneiss** grigi passanti a subordinati **micascisti** di colore grigio scuro, fino all'incirca alla progressiva 14,750. Tra le progressiva 12,650 e 13,900 si segnala la presenza di una zona a basse coperture con la presenza di depositi alluvionali recenti a quota cavo. Dalla progressiva 14,750 circa alla progressiva 15,550 circa il tracciato si sviluppa all'interno della formazione delle sabbie e ghiaie di Messina. Tra le progressiva 15,550 e 15,800 circa si segnala ancora la presenza di una zona a basse coperture con la presenza di depositi alluvionali recenti a quota cavo. Dalla progressiva 15,800 circa il tracciato entra all'interno nuovamente della formazione di S. Pier Niceto, dapprima litofacies sabbioso-argillosa (fino alla progressiva 16,350 circa) quindi litofacies conglomeratici fino alla progressiva 17,250 circa. L'ultima di tracciato in galleria si sviluppa all'interno della formazione delle ghiaie e sabbie di Messina, prima, e dei depositi alluvionali recenti, dopo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### **Metamorfiti dell'Unità dell'Aspromonte**

Nell'area oggetto di studio l'Unità dell'Aspromonte rappresenta il basamento metamorfico che affiora a monte del tracciato medesimo dall'alto corso della F.ra dell'Annunziata a Portella Arena - Curcuraci.

In questo settore i litotipi presenti sono caratterizzati da:

- **gneiss occhiadini** affioranti da F.ra Ciccia a Marotta Sup., e subordinati paragneiss presenti tra C.da Castagna e S. Michele, in sinistra dell'alto corso della F.ra di S. Leone.
- **plutoniti tardo-varisico** costituite da masse, per lo più leucocratiche, e da una fitta rete di filoni acidi.
- **metamafiti**, potenti fino a 20 m, sono presenti nei pressi di Dinnamare e a F.ra Tracanalì (ad ovest di Dinnamare). Anfiboliti e gneiss anfibolici sono stati osservati a Camaro e a Cumia Sup. Le metamafiti presentano tessitura massiva o listata, grana media, e una struttura da granoblastica a nematoblastica con rapporti quantitativi variabili di orneblenda, plagioclasio, quarzo e biotite.
- **marmi**, in corpi di limitata estensione, affiorano a Camaro, Cumia e a S. Lucia (in destra della F.ra di S. Filippo), intercalati a paragneiss e micascisti o associati ad anfiboliti. Tali litotipi sono massivi, grigio-chiari a grana media e tessitura saccharoide, caratterizzati mesoscopicamente dalla presenza di biotite±granati±quarzo±feldspati±muscovite.



**Figura 2 – Unità tettonica dell'Aspromonte: Metamorfiti varisiche. Gneiss micascistoso poco mobilizzato con vene, pieghe ptigmatiche, e chiazze leucosomatiche. Loc.: Portella Piano Verde, a nord di Dinnamare.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### **Formazione di S. Pier Niceto**

Corrisponde ai “Depositi terrigeni medio-supramiocenici dei Monti Peloritani” affioranti estesamente su entrambi i versanti della dorsale peloritana, mentre in Calabria è limitata a sporadici e modesti affioramenti a nord di Reggio di Calabria tra Cannitello e Piaie, tra le frazioni di Zagarella e Porticello, e a Matiniti Superiore.

Costituisce una successione di spessore superiore a 500 m, caratterizzata da diverse litofacies con frequenti passaggi laterali e verticali, e da una distribuzione complessa e irregolare. In virtù dei rapporti eteropici e di una generale geometria *down lap*, tutte le litofacies possono poggiare direttamente su vari termini del basamento e/o del substrato.

Si tratta di depositi da scivolamento in massa e flussi gravitativi di scarpata e conoide sottomarina. L’ambiente deposizionale potrebbe essere ricondotto a un sistema di delta-conoide sottomarino progradante verso nord-ovest. La distribuzione delle facies e la progradazione dei corpi sedimentari, che immergono verso nord e nord-ovest lungo il versante tirrenico e verso ovest lungo quello ionico, dimostrano che la provenienza dei sedimenti, durante il Serravalliano-Tortoniano, avveniva dalle aree ioniche, oggi sommerse. La deposizione di questi sedimenti è stata controllata da un’intensa attività tettonica, prevalentemente distensiva, testimoniata dall’inclinazione dei *foreset*, che raggiunge in alcuni casi valori di 50-60°, e che non può essere attribuita soltanto all’originaria clinostratificazione. Gli effetti della tettonica uniti a quelli delle variazioni eustatiche hanno determinato un’architettura molto complessa di questi depositi che mostrano, in termini di litofacies, spessori e geometrie, differenti successioni nelle diverse aree di affioramento. Attualmente le successioni complete e più spesse si rinvergono in corrispondenza di depressioni strutturali individuate da sistemi di faglie normali ad andamento NE-SW o circa N-S, mentre nelle zone di alto si riconoscono successioni incomplete e notevolmente ridotte.

La formazione è caratterizzata da quattro litofacies: pelitica (**a**), arenaceo-pelitica (**b**), conglomeratica (**c**), biolititi coralgali e brecce carbonatiche (**d**). Nella Carta Geologica del presente Progetto la litofacies **d** non è presente, mentre le litofacies **a** e **b** non sono state differenziate.

L’età complessiva della formazione va dal Langhiano superiore al Messiniano inferiore.

#### *Litofacies pelitica (a):*

costituita da marne argilloso-siltose grigie con sottili intercalazioni di arenarie fini arcose, da argille sabbiose e/o siltose debolmente marnose e da peliti grigio bruno con livelli di sabbie o microconglomerati giallastri (Figura 3). Uno studio biostratigrafico integrato a foraminiferi e nanofossili ha permesso di riferire questo intervallo alle biozone a *Orbulina suturalis*/*G. peripheroronda* e *Dentoglobigerina a. altispira* e a *Helicosphaera walbersdorfensis*/*Sphenolithus*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

*heteromorphus* e *Sphenolithus heteromorphus/Reticulofenestra pseudoumbilica* che indicano un'età Langhiano sommitale–Serravalliano basale. Facies francamente argillose sono distribuite a diversi orizzonti stratigrafici e mostrano chiari rapporti di eteropia con la litofacies arenaceo-pelitica. In destra idrografica della F.ra di Larderìa, un intervallo, dello spessore massimo di 100 m, di peliti grigio brune con livelli di sabbie o microconglomerati giallastri, poggia direttamente sul substrato e passa verso l'alto alla facies conglomeratica. Le analisi biostratigrafiche condotte nell'ambito del presente lavoro mostrano microfaune (foraminiferi) a *Paragloborotalia partimlabiata* e *Globigerinita glutinata* nei livelli medio-bassi, e a *Neogloboquadrina acostaensis* in quelli sommitali, indicando un'età Serravalliano–Tortoniano inferiore e confermano i rapporti laterali con gli intervalli arenaceo-pelitici. In sinistra della F.ra di Larderìa, depositi analoghi e coevi poggiano su un intervallo a volte estremamente ridotto di conglomerati, che tende a chiudersi determinando il diretto appoggio sul basamento. Tra M. Spalatara e M. Banditore, livelli argillosi sommitali sono ascrivibili al Messiniano inferiore per la presenza di *Amaurolithus* spp. tra le nannoflore calcaree e di *Turborotalita multiloba* tra i foraminiferi. Orizzonti argilloso-siltosi o esclusivamente sabbiosi, di modesto spessore (circa 10 m), talvolta non cartografabili, sono presenti nella parte apicale della successione e talvolta si estendono a ricoprire direttamente le culminazioni del substrato.



**Figura 3 - Litofacies pelitica della Formazione di S. Pier Niceto. Loc.: S. Licandro.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

*Litofacies arenaceo-pelitica (b):*

È caratterizzata da un'alternanza di arenarie medio-grossolane (Figura 4) di colore grigio e/o ocra, in banchi di spessore fino a 3 m, di silt-argillosi e argille marnose grigio chiare, per uno spessore complessivo superiore a 200 m (F.ra di Niceto).



**Figura 4 - Litofacies arenaceo-pelitica della Formazione di S. Pier Niceto. Loc.: S. Licandro.**

Complessivamente l'appoggio di questi depositi sul substrato avviene con geometria *down lap* e con inclinazione degli strati mediamente di 20-25° verso NW. Nella parte alta dell'alternanza si rinvengono spesso lenti di conglomerati ad assetto caotico con ciottoli metamorfici del diametro di 20 cm massimo.

I livelli argilloso-siltosi intercalati alle arenarie contengono nannoflore calcaree caratterizzate da *Helicosphaera walbersdorfensis*, *Discoaster variabilis*, *Reticulofenestra pseudoumbilicus*, rare *Helicosphaera stalis*. Le associazioni a foraminiferi sono molto scarse; rari individui di *Neogloboquadrina acostaensis* sono stati rinvenuti nei livelli sommitali. Sulla base di questi dati l'alternanza arenaceo-pelitica può essere attribuita a un intervallo che va dal Serravalliano al Tortonianiano inferiore.

*Litofacies conglomeratica (c):*

È costituita da clasti poligenici ed eterometrici prevalentemente metamorfici di medio e alto grado e subordinatamente calcarei o quarzarenitici, immersi in un'abbondante matrice sabbioso-limosa

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

color bruno scuro. I clasti hanno dimensioni variabili da pochi cm fino a un massimo di 60-70 cm, mostrano un buon indice di arrotondamento e sono spesso appiattiti. Sono talvolta organizzati in *foreset* attualmente inclinati fino a 50-60°, di spessore dal metro alla decina di metri (Figura 5).



**Figura 5 – Litofacies conglomeratica della Formazione di S. Pier Niceto. Loc.: T. Trapani.**

In sinistra idrografica della F.ra di S. Filippo questa facies costituisce la base della sequenza, giace direttamente sul substrato cristallino e passa verso l'alto alla litofacies pelitica. L'immersione degli strati è generalmente verso ovest o sud-ovest, con valori di inclinazione più elevati del contatto basale (geometria deposizionale in *down lap*). A ovest di Monte S. Pietro (in destra della F.ra di Gazzi i conglomerati mostrano spessori anche superiori al centinaio di metri.

L'età dei conglomerati può essere dedotta esclusivamente sulla base della loro posizione stratigrafica e dei rapporti con le facies pelitica e arenaceo-pelitica, databili su base biostratigrafica.

### **Gruppo della gessoso-solfifera**

Si tratta delle ben note evaporiti relative alla crisi di salinità che ha interessato il Bacino Mediterraneo durante il Messiniano. Esse sono distribuite nelle zone periferiche rispetto alla catena peloritana; in particolare si presentano sia sulle aree esterne (ioniche) sia nelle zone di retrocatena, cioè quelle tirreniche. Non sono presenti sul versante reggino e in tutto il settore aspromontino. Sul versante siciliano la successione è ridotta e lacunosa. Sulla sponda ionica la

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

litofacies evaporitica è caratterizzata da gessi e argille gessose, prevalentemente alla base della successione, e da calcari brecciati e vacuolari affioranti discontinuamente da Ciaramita (in sinistra della F.ra dell'Annunziata) a Larderia Inferiore, in sinistra dell'omonima fiumara, dove rappresentano i lembi più meridionali. L'appoggio della formazione è sempre sulle varie litofacies della Formazione di S. Pier Niceto. L'età è Messiniano superiore.

Gessi e argille gessose:

Gesso selenitico meso- e macro-cristallino in banchi massivi o in lenti discontinue, solitamente sovrapposto ad argille gessose di colore bruno-grigiastro, cui si intercalano lenti decimetriche di gesso geminato in grossi cristalli. Lo spessore massimo è 20 m. Nei sondaggi (v. sondaggi 451, 433, 434) alla base della formazione è presente un intervallo di calcare friabile di colore bianco, spesso circa 1,5 m.



**Figura 6 – Sondaggio S 452: particolare della argille gessose in cui prevale il gesso.**

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</p>		<p>Codice documento SF0132_F0</p>	<p>Rev F0</p>	<p>Data 20/06/2011</p>



**Figura 7 - Cristallo di gesso geminato (4 cm) rivenuto nel sondaggio S 452.**



**Figura 8 - Livello gessarenitico con passaggio ad argille gessose nel sondaggio S 451.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Calccare evaporitico brecciato:

Calccare microcristallino di colore bianco-grigiastro, talora con intercalazioni di laminiti carbonatiche. La tessitura varia da massiva a laminare; generalmente si presenta brecciato e pulverulento, tipicamente vacuolare per processi di dissoluzione. Ciò viene imputato ad un fenomeno di "autobrecciazione" originata da dissoluzione di porzioni più solubili, probabilmente solfato di calcio, durante la diagenesi. Si ritiene di escludere una risedimentazione, poichè la breccia è sempre monogenica, non contiene cioè elementi estranei al litotipo cristallino carbonatico. A sud della città di Messina, il calcare evaporitico affiora in livelli continui spesso fino a 60 m nella zona tra Monte S. Pietro e Contrada Badia Brasiliani. Piccoli lembi discontinui si rinvencono sul versante orientale di M. Spalatarà, sul versante meridionale de La Montagna, e ancora più a sud nei dintorni di Larderia, con spessori variabili da 5 a 20 m. Maggiore continuità laterale presentano i livelli localizzati nel settore nord della città di Messina e affioranti tra S. Corrado e Scoppo, e tra Trapani e Ritiro, in destra della F.ra di S. Leone. Questa litofacies è risultata totalmente sterile all'analisi micropaleontologica.



**Figura 9 - Aspetto del calcare vacuolare, nel sondaggio S 450.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Trubi:**

Si tratta di calcari marnosi e marne calcaree color bianco-crema ad abbondante plancton calcareo in strati di 10-50 cm di spessore, spesso a fratturazione concoide (Figura 10 - Figura 11). Sono distribuiti, anche se in modo discontinuo, su entrambi i versanti dello spartiacque peloritano e anche sul versante reggino. Gli affioramenti più estesi si ritrovano sul lato tirrenico, dove raggiungono spessori massimi di circa 40 m, riempiendo antiche depressioni strutturali connesse alla tettonica estensionale peritirrenica. In queste località la formazione è caratterizzata da calcari marnosi e marne biancastre, con una frazione sabbiosa crescente verso i livelli sommitali, in strati di 10-30 cm talora fino a mezzo metro, intensamente fratturati. Localmente alla base è presente un livello conglomeratico a clasti metamorfici, in matrice sabbiosa.



**Figura 10 – Calcari marnosi bianco-crema della formazione Trubi. Loc.: C.da Paradiso, lungo il T. Annunziata.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



**Figura 11 – Calcari marnosi bianco-crema della formazione Trubi. Loc.: Contrada Paradiso.**

Nei dintorni di Messina i Trubi giacciono in discordanza sulle evaporiti messiniane e sui terreni miocenici o si estendono, in alcuni casi, direttamente sul basamento metamorfico. Presentano un'estensione areale notevolmente ridotta ed affiorano sulle sponde della F.ra dell'Annunziata (località S. Licandro), nella F.ra di S. Leone, presso Scoppo e fino a M. Banditore, M. Spalatara e La Montagna, con spessori non superiori ai 15-20 m. Più a sud non compaiono affatto. A M. Spalatara e a S. Licandro (Figura 12) la base è rappresentata da un conglomerato di colore grigiastro, matrice sostenuto, costituito da elementi eterometrici prevalentemente metamorfici di diametro fino a 5 cm, potente circa 3 m, che equivale probabilmente alla formazione "Arenazzolo" affiorante in Sicilia centrale.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>	<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	



**Figura 12 – Conglomerato fango sostenuto (F.ne Arenazzolo equivalente) alla base dei Trubi. Loc. basso corso della F.ra dell'Annunziata.**

Le analisi biostratigrafiche di campioni isolati indicano anche in questo caso la presenza di associazioni a nannofossili calcarei molto abbondanti e ben conservate, caratterizzate da *Helicosphaera carteri*, *Calcidiscus leptoporus*, *Discoaster surculus*, *D. pentaradiatus* e *Amaurolithus* spp. Questa associazione è riferibile alla Biozona MNN12 (Rio et al., 1990) del Pliocene inferiore. La parte alta dei Trubi presenta un'associazione sostanzialmente simile a quella appena descritta, ma caratterizzata dalla presenza di *Helicosphaera sellii*, che consente di riferire l'intervallo alla successiva Biozona MNN13 del Pliocene inferiore. I foraminiferi riconosciuti ricadono nell'intervallo MPI1-MPI3, del Pliocene inferiore con *Sphaeroidinellopsis* spp. nei livelli basali e con *Globorotalia margaritae* e *G. puncticulata* in quelli più alti.

Nel settore reggino la formazione affiora a nord di Piale, altri esigui lembi si rinvengono a sud di Reggio di Calabria, a ovest di Pellaro e lungo la Fiumarella di Lume. In questa zona la base dei Trubi ha un'età leggermente più giovane (Biozona MNN13 a nannofossili e MPI2 a foraminiferi). La diacronia presente alla base dei Trubi può essere messa in relazione con la presenza di "alti" e "bassi" strutturali già delineati al momento della loro deposizione, che venivano quindi raggiunti dalla sedimentazione in momenti differenti.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### **Calcareniti di S. Corrado:**

Col termine “Calcareniti di S. Corrado” vengono qui denominati depositi calcarenitici e sabbiosi, affioranti in maniera discontinua lungo il settore ionico, da Mandria (in sinistra della F.ra Ciccia) fino a Serra Buddasca (Larderia Inferiore), in netto appoggio discordante su differenti termini del substrato plio-pleistocenico e pre-pliocenico. Si tratta di un’alternanza di strati calcarenitici friabili e sabbie grossolane di colore giallo bruno, ad abbondante fauna rappresentata da bivalvi, gasteropodi, brachiopodi, scafopodi, echinidi, balani e coralli (Figura 13). La stratificazione è generalmente piano-parallela e localmente incrociata, specie nei livelli sommitali.



**Figura 13 – Alternanza centimetrica di strati calcarenitici friabili e sabbie grossolane della Formazione di S. Corrado. Loc. alto corso della F.ra dell’Annunziata.**

Lo spessore, estremamente variabile, varia da qualche metro a un massimo di 40 m.

I livelli sabbiosi contengono nannoflore calcaree caratterizzate da *Gephyrocapsa* sp.3, *Pseudoemiliana lacunosa* (Biozona MNN19f del Pleistocene medio) e associazioni a foraminiferi caratterizzati da *Hyalinea baltica* e *Truncorotalia truncatulinoides excelsa*.

Alla base di questi depositi è possibile osservare una litofacies conglomeratica, più potente nel settore settentrionale dell’area (M. Spalatarà, S. Corrado) dove raggiunge i 20 m di spessore, costituita da grossi blocchi di diametro fino a metrico di calcari marnosi bianchi (Trubi), arenarie mioceniche e rocce cristalline, immersi in una matrice argillosa contenente nannoflore della Biozona MNN19f (Pleistocene medio). Nella parte alta delle calcareniti si rinvenivano canali incisi riempiti di blocchi di varia dimensione, di natura sedimentaria e cristallina.

Nell’area dell’abitato di Messina, alla base della formazione appena descritta sono presenti depositi costituiti da sabbie gialle in livelli decimetrici, con orizzonti estremamente ricchi di brachiopodi integri, prevalentemente del genere *Terebratula*, e subordinatamente di coralli e

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

bivalvi, e da biocalcareniti organogene contenenti tritume dei suddetti organismi. Gli spessori non superano i 20 m e sono localizzati a nord del T. di Larderia (Serro Buddasca), lungo la F.ra S. Filippo e a La Montagna. In quest'ultima località è inoltre presente un caratteristico livello costituito da calcari biancastri a coralli quali *Madrepora oculata*, *Lophelia pertusa* e *Desmophyllum cristagalli* e da breccie carbonatiche, cui si associano livelli di conglomerati poligenici. Rare intercalazioni calcareo-marnose contengono scarsi foraminiferi planctonici caratterizzati da *Globorotalia inflata* e nannoflore delle biozone MNN19b e MNN19c del Pleistocene inferiore.

Questo orizzonte litostratigrafico, ai fini della presente carta geologica, è stato cartografato insieme all'intervallo soprastante della formazione delle Calcareniti di S. Corrado.

#### **Ghiaie e sabbie di Messina:**

Lungo la fascia costiera dei Monti Peloritani, sia sul lato ionico che tirrenico, e nel settore calabrese, affiorano notevoli volumi di sedimenti conglomeratico-sabbiosi poggianti in discordanza su diversi termini del substrato e sul basamento. Questi depositi clastici, attribuiti alle "Sabbie e Ghiaie di Messina" ed interpretati come il prodotto di antichi apparati fluvio-deltizi alimentati dalla dorsale peloritana ed aspromontina, si sono sviluppati durante le fasi di surrezione dell'area. In effetti essi sono riferibili a sistemi fluviali indipendenti, a volte coalescenti, con rapporti di letto e sviluppo verticale differenti a seconda delle diverse condizioni locali in cui essi si sono accresciuti. Apparati analoghi, con l'originaria geometria ancora perfettamente conservata, sono riconoscibili anche nelle aree sommerse e sono stati messi in evidenza sia da linee sismiche (DEL BEN et al., 1996) che da dati di perforazione. Tuttavia, i dati disponibili non sono sufficienti a stabilire se gli apparati sommersi siano duplicati tettonici, ribassati da faglie normali, di quelli affioranti a terra o piuttosto sistemi deposizionali più recenti incastrati a quota inferiore.

I dati emersi dai rilevamenti per la Carta geologica della Provincia di Messina hanno evidenziato che questi terreni clastici, raggruppati in un'unica formazione, possono costituire successioni appartenenti a sistemi deposizionali leggermente diacroni. La difficoltà di datazione di tali depositi ha consentito una correlazione delle superfici deposizionali esclusivamente su base fisica. L'analisi geometrica dei depositi in relazione alle strutture del substrato indica che tali sedimenti sono stati variamente investiti dalla tettonica tardo-pleistocenica, e generalmente sono tagliati verso mare dalle faglie normali che controllano sia la costa tirrenica che quella ionica.

Nell'area dello Stretto di Messina i depositi conglomeratico-sabbiosi affioranti costituiscono la successione tipo delle "Ghiaie e Sabbie di Messina", nota anche come "Formazione di Messina". Originariamente riferita al Calabriano è stata considerata discordante e trasgressiva sul substrato,

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>	<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

ed ascritta in modo dubitativo al Pleistocene inferiore-medio.

La formazione è stata attribuita ad un ambiente deltizio alimentato dalle fiumare e la divide in una facies deltizia marina ed una deltizia continentale, complessivamente di età infrapleistocenica.

Viene anche considerata come una "facies deltizia", regressiva e diacrona a progradazione centripeta verso l'asse dello Stretto, generata dall'accelerazione del sollevamento dell'entroterra cristallino.

Secondo alcuni autori i livelli inferiori sono dislocati dalle faglie del versante siciliano dello Stretto, mentre quelli apicali in facies continentale sicuramente suturano le faglie poste al bordo della dorsale peloritana; gli Autori, pertanto, individuano anche una discordanza all'interno della formazione.

I dati biostratigrafici raccolti e l'analisi geomorfologica condotta nell'area, nonché i dati disponibili sull'età delle "Ghiaie e Sabbie", evidenziano che i termini prima correlati in un unico sistema deposizionale, in effetti costituiscono orizzonti stratigrafici distinti. Le argille epibatiali sono ascrivibili al Pleistocene medio (650 ka); le ghiaie, sulla base del contenuto negli orizzonti sommitali di resti di *Elephas mnaidriensis*, rinvenuti a Capo Peloro, indicherebbero un'età non più antica di  $200 \pm 40$  ka (BADA et al., 1991; BONFIGLIO, 1991); infine le "Ghiaie e sabbie" risultano, nel settore tirrenico, modellate dal terrazzo di quota 180 m, ascrivibile allo stadio isotopico 7, precedente ai picchi eustatici tirreniani.



**Figura 14 - Panoramica della formazione delle Ghiaie e sabbie di Messina sul versante ionico delle due sponde dello Stretto di Messina. Loc. Monte Balena.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Nel settore ionico, su entrambi i versanti dello Stretto (Figura 14 - Figura 15), la formazione affiora con continuità e potenza, ed è caratterizzata da clinostratificazione ad alto angolo, con valori medi di inclinazione di 20°-25° verso lo Stretto, via via più bassi nella parte alta (Figura 16 - Figura 17).



**Figura 15 – Formazione delle Ghiaie e sabbie di Messina. Loc. Curcuraci.**



**Figura 16 – Clinostratificazione della formazione delle Ghiaie e sabbie di Messina. Loc. Curcuraci, in destra della F.ra della Guardia.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



**Figura 17 - Formazione delle Ghiaie e sabbie di Messina. Loc.: Cava per estrazione di inerti a Curcuraci.**

Sul versante messinese, è presente dal settore nord della città sino ad entrambe le sponde della F.ra di Zafferia, in appoggio sui terreni metamorfici di alto grado, e su vari termini della copertura miocenica e plio-pleistocenica. A sud della F.ra di Gazzi, presso M. S. Pietro, le Ghiaie e Sabbie di Messina poggiano sulla Formazione di S. Pier Niceto, sui calcari evaporitici e sui Trubi (Figura 18); sono clinostratificate con immersioni verso est e sono presenti sia la facies marina, in matrice sabbiosa giallastra, alla base, che quella continentale, in matrice rossastra, alla sommità.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



**Figura 18 – Appoggio discordante delle Sabbie e ghiaie di Messina sui Trubi. Loc. a nord-ovest di Paradiso.**

Lungo lo sperone di Capo Peloro, nell'area tra Granatari e Papardo (v. località Granatari, Agliastrella, Semaforo Forte Spuria, Case Ciro e a nord-est di Case Vento) la formazione è caratterizzata da lenti di conglomerati di colore grigio, discontinue, di estensione da plurimetrica a ettometrica, spesse da 5 a 20 m, costituiti da ciottoli poligenici di varia pezzatura, spesso embriciati, arrotondati, appiattiti o spigolosi in dipendenza della composizione e/o del grado di trasporto (Figura 19 - Figura 20). Queste lenti si presentano ben diagenizzate e più o meno cementate (cemento calcitico).



**Figura 19 - Formazione delle Ghiaie e sabbie di Messina, costituita da banconi conglomeratici cementati di spessore decimetrico-metrico. Loc.: Pantano grande, Ganzirri.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



**Figura 20 - Particolare della formazione delle Ghiaie e sabbie di Messina: banconi conglomeratici debolmente cementati. Loc.: Pantano Grande (Ganzirri).**

Con uguali caratteristiche la formazione affiora da Minissale fino a est di Larderia Inferiore, in appoggio prevalentemente sulla litofacies marnoso-arenacea della formazione di S. Pier Niceto. Nel settore a sud della F.ra di Larderia la formazione riaffiora nei pressi della costa con litologia, spessori medi e valore angolare dell'inclinazione medesimi a quelli riportati per gli affioramenti nei pressi di M. San Pietro. Lo spessore massimo lungo la costa messinese è di circa 250 m. Nel settore reggino la formazione si estende con continuità lungo tutta la fascia costiera, sia in affioramento che al di sotto della coltre alluvionale, in appoggio quasi esclusivamente sul substrato sedimentario. Alle pendici dell'Aspromonte, la formazione raggiunge i 400 m di spessore.

**Depositi marini terrazzati del Pleistocene medio-superiore:**

Sabbie di colore giallo ocra, talora ghiaiose, limi o cineriti rossastre e ghiaie grigio-giallastre o rossastre a ciottoli arrotondati ed appiattiti eterometrici, per lo più cristallini, in matrice sabbiosa. L'assetto è massivo o a stratificazione poco evidente. Lo spessore varia da qualche metro a circa 10 m nel settore peloritano e fino a 30 m in quello calabrese (Figura 21 - Figura 22).

Nel settore siciliano costituiscono sei ordini di deposito di età compresa tra 236 e 60 ky, in appoggio discordante sulle Ghiaie e sabbie di Messina, e sono ricoperti da limi, sabbie e ghiaie continentali di spessore variabile. I depositi sono distribuiti a diverse quote e si correlano alle superfici di abrasione che insistono principalmente sui terreni cristallini. Solo per limitati settori,

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

livelli coevi affiorano ad uguale quota. Questo indica che i diversi settori sono stati interessati da sollevamenti differenziali, variamente intensi, dovuti ad una diversa evoluzione neotettonica delle rispettive aree (v. Cap. Terrazzi tarso-quadernari).



**Figura 21 – Deposito marino terrazzato. Loc.: Granatari.**



**Figura 22 – Deposito marino terrazzato in appoggio discordante sulla formazione delle Ghiaie e sabbie di Messina. Loc.: Curcuraci.**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5.4 Inquadramento idrogeologico

Le gallerie ferroviarie presentano problematiche idrogeologiche differenti rispetto a quelle stradali. Ciò dipende dalle scelte progettuali che sono state effettuate in merito al metodo di scavo e alla tipologia del rivestimento definitivo. In particolare ci si riferisce al fatto che queste gallerie saranno realizzate con metodo di scavo meccanizzato in grado di contrastare le pressioni d'acqua incontrate nell'ammasso e allo stesso modo il rivestimento definitivo sarà in grado di sopportare i carichi idraulici senza permettere il drenaggio della falda.

Alla luce di tali scelte, operate in funzione di quanto preliminarmente emerso dallo studio idrogeologico generale, l'analisi idrogeologica di maggior dettaglio presentata in questo rapporto si è concentrata sulle tematiche inerenti i carichi idraulici che verranno incontrati durante lo scavo, principale aspetto di interesse progettuale per il dimensionamento dei rivestimenti e la scelta del metodo di scavo.

## 5.5 Tratta dall'imbocco (lato ponte) al Km 8+000 circa

In tutto questo settore le gallerie si svilupperanno prevalentemente sopra falda (dall'imbocco lato ponte al Km 7), oppure con pressioni idrauliche modeste e inferiori ai 4 bar (Km 7 – km 8).

## 5.6 Tratta dal Km 8+000 al km 9+000 circa

A partire dal Km 8 esistono buone probabilità che, a tratti, il livello della falda salga al di sopra dei 60-70m. Dal momento che le gallerie in questo settore si collocano ad una quota media di circa 25m è possibile che il carico idraulico si attesti su valori dell'ordine dei 4bar o di poco superiori. Le canne in questo tratto si sviluppano perlopiù all'interno di un livello acquifero costituito dai calcari evaporitici brecciati.

La situazione idrogeologica in questo settore è comunque piuttosto complessa. Sulla base dei numerosi pozzi presenti nella zona (n° 5, 6, 7, 48 ecc.) negli studi idrogeologici generali è stata eseguita una ricostruzione delle isopieze che indica livelli d'acqua che localmente possono anche aggirarsi sui 100m sulla verticale delle opere. Ciò vale in particolar modo per il settore della fiumara che corre sopra le gallerie intorno alle progressive 8+600 – 8+800. Vi è tuttavia da osservare che questa ricostruzione si riferisce all'acquifero delle ghiaie e sabbie di Messina, che è l'acquifero a falda libera più superficiale. Questo acquifero in molte zone è separato dal sottostante acquifero in calcari evaporitici dall'orizzonte impermeabile dei Trubi. E' dunque possibile che le isopiezometriche ricostruite si riferiscano in realtà al livello d'acqua di una falda sospesa che

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

potrebbe anche non essere costantemente in equilibrio con una falda più profonda che verrebbe interessata dagli scavi.

Questa ipotesi si dimostra tanto più verosimile quando si prende in considerazione il livello d'acqua misurato nel sondaggio S451 nell'agosto e settembre 2010, che corrisponde a circa 40m.s.l.m, quindi decisamente più basso di quanto indicato dalla ricostruzione piezometrica ottenibile con i pozzi superficiali. Questo sondaggio è attrezzato con piezometro di tipo Casagrande che restituisce il carico idraulico nel livello argilloso – gessoso posto sotto i calcari evaporitici brecciati. Questo dato potrebbe anche indicare che nell'acquifero evaporitico esiste un sistema di flusso con livello piezometrico inferiore rispetto a quello della prima falda libera in ghiaie e sabbie. In tal caso il livello d'acqua insistente sulla galleria sarebbe minore, dell'ordine dei 15-30m.

## **5.7 Tratta dal Km 9+000 al km 9+600 circa**

In questo settore il livello d'acqua al di sopra delle gallerie tende a ridursi rispetto alla tratta precedente. In particolare in corrispondenza del sottopasso della Fiumara dell'Annunziata i livelli d'acqua scendono al di sotto dei 50m.

La problematica principale per questa tratta è determinata dalla presenza della stazione dell'Annunziata, che costituisce un elemento impermeabile di dimensioni considerevoli, che potrebbe costituire un impedimento al deflusso con conseguente innalzamento dei livelli di falda a monte e abbassamento a valle.

La stazione si inserisce in un contesto di flusso sotterraneo che avviene all'interno di un sistema acquifero costituito, partendo dall'alto, da: i) depositi alluvionali, ii) calcari evaporitici brecciati. Questo acquifero riposa su un substrato meno permeabile costituito dal livello argilloso – gessoso della Formazione gessoso-solfifera e dal membro argilloso della Formazione di San Pier Niceto. La stazione dell'Annunziata interesserà l'intera sezione verticale dell'acquifero per una larghezza di circa 50m, e si intesterà all'interno del livello argilloso-gessoso basale impermeabile della Formazione gessoso-solfifera.

## **5.8 Tratta dal Km 9+600 al km 9+950 circa**

In questa tratta le gallerie continuano ad essere scavate nell'acquifero costituito dai calcari evaporitici brecciati. Sembra improbabile che il livello piezometrico salga in maniera consistente rispetto alla tratta precedente poiché il settore è compreso tra due fiumare poste a distanza ravvicinata, che dovrebbero rappresentare due limiti a potenziale imposto che limitano la possibilità

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

di risalita della piezometrica.

### **5.9 Tratta dal Km 9+950 al km 11+400 circa**

A partire dal Km 9+950 ca. le gallerie interesseranno la Formazione di San Pier Niceto in facies argilloso-limosa. Pertanto esse attraversano una porzione di ammasso roccioso scarsamente permeabile, che anche in assenza di rivestimento impermeabile garantirebbe la presenza di afflussi alquanto ridotti nonostante i carichi idraulici piuttosto elevati. Il passaggio dai calcari brecciati alla facies argilloso-limosa del San Pier Niceto avviene tramite una faglia che però non ha un ruolo idrogeologico individuale importante, se non quello di determinare l'interruzione dell'acquifero dei calcari. Una successiva faglia localizzata intorno al Km 10+270 allo stesso modo non ha ruolo idrogeologico significativo poiché, essendo impostata in terreni a granulometria fine non determina incrementi rilevanti della permeabilità.

Nel tratto di sottopassaggio della Fiumara di San Leone, benché le gallerie interessino parzialmente i depositi alluvionali, non si dovrebbero verificare problematiche idrogeologiche importanti alla luce delle scelte progettuali che garantiscono il contrasto della pressione idraulica e la prevenzione del drenaggio..

### **5.10 Tratta dal Km 11+400 al km 13+150 circa**

Dopo il Km 11+400 ca. le gallerie attraversano la facies sabbioso-conglomeratica della Formazione di San Pier Niceto, quindi un acquifero potenziale. Qui, almeno fino al km 12+000 ca., i dati piezometrici derivanti dal monitoraggio nei sondaggi eseguiti (S455 e S456) suggeriscono che il livello della falda potrebbe raggiungere quote dell'ordine dei 60 m.s.l.m. Poiché la quota della galleria si attesta intorno 25m s.l.m. il battente idraulico sulle opere dovrebbe rimanere attestato sotto i 4 bar, o comunque nel suo intorno.

### **5.11 Tratta dal Km 13+150 all'imbocco lato Messina**

La tratta finale delle gallerie più prossima all'imbocco est (lato Messina) non dovrebbe presentare delle criticità particolari dal punto di vista idrogeologico per due ragioni.

- Dal Km 13+150 fino al km 14+800 il tracciato interessa il substrato metamorfico, che dagli studi idrogeologici generali viene caratterizzato come un complesso perlopiù scarsamente permeabile. Peraltro, secondo quanto già discusso nella relazione idrogeologica generale, la galleria dovrebbe rimanere perlopiù al di sopra della zona

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

saturo. Resta comunque possibile che la galleria intersechi delle zone di faglia non meglio identificabili dai rilievi di superficie, alle quali potrebbero essere associati dei sistemi di flusso e conseguentemente degli afflussi in corso di scavo. Non sono note le condizioni di carico idraulico che potrebbero essere associate a tali discontinuità e pertanto è difficile ipotizzare se esista la possibilità che le pressioni sull'opera sopravanzino quelle nominali della TBM-EPB. E' tuttavia importante notare che eventuali afflussi non dovrebbero determinare impatti rilevanti perché le eventuali zone di faglia avrebbero una scarsa trasmissività quando confrontata con quella degli acquiferi porosi adiacenti che ospitano la falda vera e propria, pertanto la quota d'acqua sottratta al sistema per drenaggio delle faglie in questo settore dovrebbe risultare una frazione decisamente minoritaria rispetto a quella complessiva.

- Dal Km 14+800 all'imbocco est il livello della falda è noto con dettaglio piuttosto buono ed è sempre inferiore a 40-45m.s.l.m. (spesso anche inferiore ai 20m.s.l.m).

## 5.12 Perturbazione della piezometrica

Per le gallerie ferroviarie le valutazioni di perturbazione della piezometria tengono conto dell'input progettuale secondo cui, sia durante il loro scavo, sia dopo la loro realizzazione, esse garantiranno il confinamento verso l'esterno delle pressioni d'acqua.

Pertanto, alla luce di questi input progettuali, si deve concludere che esse non opereranno alcun drenaggio sulle falde attraversate. Il loro effetto ostacolo quando corrono in falda è del tutto trascurabile. E' stato anche verificato il possibile effetto ostacolo esercitato dalle stazioni ferroviarie, che però risulta essere anch'esso trascurabile, con modesti innalzamenti del livello di falda a monte dell'opera (5-7m) e modesti abbassamenti della falda a valle (5-7m). Peraltro questi effetti si annullano molto rapidamente allontanandosi dall'opera. Ai fini del corretto dimensionamento dei rivestimenti è stato verificato che, secondo la ricostruzione piezometrica disponibile i maggiori carichi idraulici (dell'ordine degli 8 bar) potranno verificarsi tra il Km 8+000 e il km 9+000 circa del tracciato ferroviario. Va tuttavia precisato che, benché tale situazione non possa essere esclusa, dalle ultime rilevazioni piezometriche eseguite nei sondaggi realizzati nel 2010 sembrano comunque emergere elevate probabilità che in realtà lo scavo proceda in una zona di acquifero con falda separata da quella superficiale, con carichi idraulici che potrebbero anche essere decisamente inferiori agli 8 bar.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 5.13 Sintesi dei parametri geotecnici e individuazione dei parametri operativi di calcolo

Per i diversi litotipi rinvenuti lungo il tracciato stradale in corrispondenza dell'opera, sono riportati in sintesi i parametri geotecnici di interesse ai fini progettuali utilizzati per la verifica delle sezioni di scavo e dei rivestimenti definitivi. Laddove non vi sono determinazioni dirette per le profondità di interesse, alle quali si colloca l'asse della galleria, i dati di progetto sono estrapolati tenendo conto della variabilità dei parametri stessi con la profondità dal piano campagna in base anche all'esperienza maturata in analoghi contesti. E' esclusa da tale trattazione la parametrizzazione geotecnica puntuale delle opere d'imbocco; per maggiori indicazioni si faccia riferimento alle relazioni specifiche dei singoli imbocchi.

Per maggiori dettagli sulla caratterizzazione geotecnica degli ammassi si rimanda alla relazione Geotecnica Generale

#### ***Sabbie e Ghiaie di Messina***

La caratterizzazione geotecnica della formazione delle Sabbie e Ghiaie di Messina si è basata prevalentemente sui risultati di prove SPT eseguite a profondità relativamente ridotte in relazione all'opera in oggetto. Ai fini del calcolo e della verifica delle opere in sotterraneo, basandosi anche sull'esperienza maturata in contesti simili e sulle evidenze dei rilievi geostrutturali, sono stati individuati due gruppi geomeccanici, differenziati sulla base del probabile grado di cementazione dell'ammasso in relazione alle coperture. In particolare si ritiene che ad elevate coperture la stima dei parametri di resistenza al taglio, con particolare riferimento al "range" di variabilità della coesione di picco, possa essere eccessivamente cautelativa.

In Tabella 1 sono riportati i parametri utilizzati per le verifiche svolte nei successivi Capitoli. La suddivisione in gruppo geomeccanici è da intendersi finalizzata ai fini operativi e di calcolo. Non si esclude, tuttavia, che anche ad elevate coperture si possano incontrare orizzonti poco cementati e caratterizzati da parametri appartenenti al gruppo geomeccanico 2, e viceversa.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

GRUPPI GEOMECCANICI – FORMAZIONE DELLE SABBIE E GHIAIE DI MESSINA			
DATO	CARAT. GEOT. GENERALE	GRUPPO 2 (z<120m)	GRUPPO 1 (z>120m)
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18÷20	18÷20	18÷20
$C'_{\text{picco}}$ (kPa)	0÷10	20÷60	0÷10
$\phi'_{\text{picco}}$ (°)	38÷40 (p'ff=0-272KPa) 35÷38 (p'ff=272-350KPa)	35÷38 (p'ff=272-350KPa)	38÷40 (p'ff=0-272KPa)
$C_r'$ (kPa)	0	10÷50	0
$\phi_r'$ (°)	33÷35	30÷35	33÷35
$E' *$ (Mpa)	$E = (17 \div 35) \cdot (z)^{0.65}$	650-850	100-450
$\nu'$ (-)	0.2	0.2	0.2
$K$ (m/s)	$10^{-4} \div 10^{-5}$	$10^{-4} \div 10^{-5}$	$10^{-4} \div 10^{-5}$

**Tabella 1 Parametri di calcolo**

*Simbologia:*

$\gamma$  = peso di volume naturale;

$\phi'$  = angolo di attrito operativo;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\phi_r'$  = angolo di attrito residuo;

$c_r'$  = intercetta di coesione residua;

$E' *$  = modulo di Young “operativo”; \* = si considerano valori nel range per gallerie, fronti di scavo sostenuti con opere di sostegno tipo paratie tirantate e non; valori al minimo del range per fondazioni dirette, fondazioni su pali e rilevati.

$\nu'$  = rapporto di Poisson.

#### **Formazione del San Pier Niceto Facies Conglomeratica – Sabbiosa**

Tale formazione è costituita essenzialmente da due facies distinte, una basale conglomeratica ed arenacea e l'altra superiore di natura prevalentemente argillosa. Per la porzione sabbiosa, sulla base delle prove SPT, per i parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci si sono ottenuti i seguenti valori di picco:

$\phi' = 38 \div 40^\circ$  =angolo di resistenza al taglio

Tali valori sono compatibili con uno stato di sforzo che preveda una pressione normale alla superficie di rottura compresa nel range tra 0 e 272KPa. Tali valori sono stati confermati dalle prove pressiometriche effettuate per le quali il valore medio risulta pari a 40°.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

A grande scala la formazione in esame, facies Conglomeratica – Sabbiosa, si presenta dagli affioramenti, come un ammasso eterogeneo costituito da ciottoli e ghiaie con matrice arenacea di natura sabbiosa, generalmente fratturato con discontinuità aventi una persistenza metrica dall'aspetto ruvido. L'interpretazione delle caratteristiche dell'ammasso parte dalla stima del parametro  $RMR_{89}$  che è stato valutato sulla base di un rilievo effettuato in corrispondenza dell'imbocco est della galleria stradale Serrazzo. Tale caratterizzazione, a partire da un parametro GSI pari a 46, ha fornito i seguenti risultati.

$\sigma_n$ (MPa)	Picco		Residuo	
	$c'$ (MPa)	$\phi'$ (°)	$c'$ (MPa)	$\phi'$ (°)
0,21	0,14	55	0,09	45
0,42	0,21	50	0,15	38

Tenuto conto però che tali parametri sono stati determinati facendo riferimento ad un solo rilievo determinato su un fronte di roccia di altezza di circa 10-20m ed in base ad  $m_i$  stimato in letteratura, si ritiene prudente adottare nelle analisi valori più cautelativi, come suggerito anche nella "Relazione Geotecnica Generale", considerando alle massime coperture un valore di coesione di 140kPa. L'angolo di attrito è assunto comunque come massimo valore pari a 38°, considerando valori superiori non cautelativi ai fini della caratterizzazione dell'ammasso, considerato nelle analisi come continuo equivalente. In tal senso il limite inferiore dell'angolo di attrito è assunto pari all'angolo di attrito delle discontinuità, ipotizzato in relazione a valori di letteratura per contesti analoghi.

In Tabella 2 sono riportati i parametri utilizzati per le verifiche svolte nei successivi Capitoli. La suddivisione in gruppo geomeccanici è da intendersi finalizzata ai fini operativi e di calcolo. Non si esclude, tuttavia, che anche ad elevate coperture si possano incontrare orizzonti appartenenti ad un gruppo geomeccanico differente.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale		Codice documento SF0132_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

GRUPPI GEOMECCANICI – FORMAZIONE DELLA SAN PIER NICETO FACIES CONGLOMERATICA-SABBIOSA			
DATO	CARAT. GEOT. GENERALE	GRUPPO 1 (z>70m)	GRUPPO 2 (z<70m)
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	20÷22	20÷22	20÷22
$c'_{\text{picco}}$ (kPa)	0÷50	50÷140	0÷50
$\varphi'_{\text{picco}}$ (°)	38÷40 ( $p'_{\text{ff}}=0-272\text{KPa}$ )	30÷38	30÷38
$C'_r$ (kPa)	-	20÷60	0÷30
$\varphi'_r$ (°)	-	24÷28	24÷28
$E' *$ (Mpa)	$(20-30) \cdot z^{0,7}$	350-500	100-350
$\nu'$ (-)	0.2÷0.3	0.2÷0.3	0.2÷0.3
$K$ (m/s)	$10^{-6} \div 10^{-7}$	$10^{-6} \div 10^{-7}$	$10^{-6} \div 10^{-7}$

**Tabella 2 Parametri di calcolo**

*Simbologia:*

$\gamma$  = peso di volume naturale;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi'_r$  = angolo di attrito residuo;

$c'_r$  = intercetta di coesione residua;

$E'$  = modulo di Young "operativo"; \* = si considerano valori nel range per gallerie, fronti di scavo sostenuti con opere di sostegno tipo paratie tirantate e non; valori al minimo del range per fondazioni dirette, fondazioni su pali e rilevati.

$\nu'$  = rapporto di Poisson.

#### **Formazione del San Pier Niceto Facies Limo – Argillosa**

Per i parametri di resistenza si hanno a disposizione prove di laboratorio (2TD e 2TXCU e 1 taglio torsionale) su 2 campioni prelevati fra 8m e 15m.

Per condizioni di rottura delle prove caratterizzate da  $\sigma'_2 \neq \sigma'_3$ , dall'interpolazione dei dati, nel range di pressioni di prova (100-300KPa), si ottengono i seguenti valori medi di resistenza di picco:

$$c'_{\text{picco}} = 0,050 \text{ MPa}$$

$$\varphi'_{\text{picco}} = 22^\circ$$

Per i valori di resistenza in condizioni di stato critico si ottiene:

$$c'_{\text{cv}} = 0 \text{ MPa}$$

$$\varphi'_{\text{cv}} = 30^\circ$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per i valori di resistenza in condizioni residue si ottiene:

$$c'_r = 0 \text{ MPa}$$

$$\varphi'_r = 16^\circ$$

Durante le prove i provini sono stati consolidati con tensioni normali efficaci contenute nel range fra 100 e 300 MPa, che considerando l'assenza di pressioni interstiziali, possono ritenersi a cavallo dei valori litostatici.

A queste pressioni i provini hanno evidenziato un comportamento tipico di argille sovraconsolidate soprattutto per i valori più bassi di pressione di consolidazione, evidenziando un picco e poi una caduta di resistenza fino al raggiungimento delle condizioni di stato critico.

In questo contesto la resistenza di picco per tensioni generiche  $\sigma'_n$  può esprimersi con un involucro curvilineo di picco interpolante i dati sperimentali che in questo caso diviene pari a:

$$\tau_{oc} = \sigma'_n \tan \varphi' (OCR)^{0.4}$$

essendo il fattore “m” risultato pari a circa 0.6, tipico di argille sovraconsolidate, e  $\varphi'$  l'angolo di attrito in condizioni di normalconsolidazione che si può assumere pari a  $30^\circ$ .

Per condizioni di rottura delle prove caratterizzate da  $\sigma'_2 = \sigma'_3$ , dall'interpolazione dei dati, nel range di pressioni di prova (100-300KPa), si ottengono i seguenti valori medi di resistenza di picco:

$$c'_{picco} = 0,020 \text{ MPa}$$

$$\varphi'_{picco} = 30^\circ$$

Per i valori di resistenza in condizioni di stato critico si ottiene:

$$c'_{cv} = 0 \text{ MPa}$$

$$\varphi'_{cv} = 28^\circ$$

Per la valutazione della deformabilità dell'ammasso sono state eseguite:

- prove dilatometriche
- prove di sismica a rifrazione

I valori ottenuti dalle prove risultano dispersi. Le motivazioni possono essere ricercate in:

- alla difficoltà nell'individuare il sismostrato esattamente riferibile alla formazione in esame che rende eventualmente affetta da errore l'individuazione dell'esatto valore di  $V_s$ ,
- alla presenza, all'interno del pacchetto del San Pier Niceto argilloso, di strati arenacei cementati che condizionano la risposta elastica globale.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- all'eventuale disturbo del foro in cui è stata effettuata la prova pressiometrica

Si ritiene cautelativo assumere, per la sola facies prettamente argillosa, un modulo operativo, per coperture ridotte, (in accordo con i risultati delle prove pressiometriche) pari a:

$$E' = 70 \div 120 \text{ MPa}$$

Per coperture elevate si ritiene tale assunzione troppo conservativa, tenendo conto anche dei risultati delle prove sismiche che hanno fornito un range di moduli  $G_0$  pari a 1300 e a 4600 MPa, e quindi di  $E_0$  pari a 3300 e a 11000 MPa con  $E' = 330-1100$  MPa e  $1100-3670$  MPa (rispettivamente pari a  $1/10 E_0$  ed  $1/3 E_0$ ). Si ritiene cautelativo in questo caso considerare un modulo operativo pari a:

$$E' = 150 \div 500 \text{ MPa}$$

In Tabella 3 sono riportati i parametri utilizzati per le verifiche svolte nei successivi Capitoli. La suddivisione in gruppo geomeccanici è da intendersi finalizzata ai fini operativi e di calcolo.

**Tabella 3 – Parametri di calcolo**

GRUPPI GEOMECCANICI – FORMAZIONE DELLA SAN PIER NICETO FACIES LIMO ARGILLOSA			
DATO	CARAT. GEOT. GENERALE	GRUPPO 1	GRUPPO 2
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19÷21	19÷21	19÷21
$c'$ piccolo (kPa)	20÷50	35÷50	20÷35
$\varphi'$ piccolo (°)	22÷30	22÷30	22÷30
$C_r'$ (kPa)	0	0	0
$\varphi_r'$ (°)	28÷30	16÷28	16÷28
$E' *$ (Mpa)	70-120	150-500	70-120
$\nu'$ (-)	0.2÷0.3	0.2÷0.3	0.2÷0.3
$K$ (m/s)	$10^{-6} \div 10^{-7}$	$10^{-6} \div 10^{-7}$	$10^{-6} \div 10^{-7}$

*Simbologia:*

$\gamma t$  = peso di volume naturale;

$\varphi'$  = angolo di attrito operativo;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\varphi_r'$  = angolo di attrito residuo;

$c_r'$  = intercetta di coesione residua;

$E' *$  = modulo di Young "operativo"; \* = si considerano valori nel range per gallerie, fronti di scavo sostenuti con opere di sostegno tipo paratie tirantate e non; valori al minimo del range per fondazioni dirette, fondazioni su pali e rilevati.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale		Codice documento SF0132_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

$\nu'$  = rapporto di Poisson.

### **Serie Gessosa Solifera – Calcari Brecciati**

Si tratta delle evaporiti relative alla crisi di salinità che ha interessato il Bacino Mediterraneo durante il Messiniano. La litofacies evaporitica è caratterizzata da gessi e argille gessose, prevalentemente alla base della successione, e da calcari brecciati e vacuolari affioranti discontinuamente. L'appoggio della formazione è sempre sulle varie litofacies della Formazione di S. Pier Niceto. La formazione dei Calcari Brecciati è stata caratterizzata per quanto riguarda i parametri di resistenza, in mancanza di rilievi su affioramenti, ed in relazione ad una stima del parametro  $RMR_{89}$  difficile a partire dalle informazioni ricavabili dalle stratigrafie e dalle foto delle cassette (es: RQD) anche a causa del disturbo causato dal carotaggio, in base a quanto reperibile in letteratura. Per i parametri di deformabilità i dati sono stati desunti da prove dilatometriche, pressiometriche e da prove sismiche. In Tabella 4 sono riportati i parametri utilizzati per le verifiche svolte nei successivi Capitoli.

GRUPPI GEOMECCANICI – SERIE GESSOSA-SOLFIFERA FORMAZIONE DEI CALCARI BRECCIATI			
DATO	CARAT. GEOT. GENERALE	GRUPPO 1 (Aspetto massivo)	GRUPPO 2 (Livelli Marnosi)
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19÷21	19÷21	19÷21
$c'$ picco (kPa)	20÷50	20÷50	20÷50
$\phi'$ picco (°)	25÷30	25÷30	25÷30
$C_r'$ (kPa)	-	15÷35	15÷35
$\phi_r'$ (°)	-	20÷25	20÷25
$E'$ * (Mpa)	40-70 (Liv. Marnosi) 180-600 (Liv. Massivi)	180-600	40-70
$\nu'$ (-)	0.2÷0.3	0.2÷0.3	0.2÷0.3
$K$ (m/s)	$10^{-8} \div 10^{-7}$	$10^{-8} \div 10^{-7}$	$10^{-8} \div 10^{-7}$

**Tabella 4 Parametri di calcolo**

*Simbologia:*

$\gamma$  = peso di volume naturale;

$\phi'$  = angolo di attrito operativo;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\phi_r'$  = angolo di attrito residuo;

$c_r'$  = intercetta di coesione residua;

$E'$  = modulo di Young "operativo"; \* = si considerano valori nel range per gallerie, fronti di scavo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

sostenuti con opere di sostegno tipo paratie tirantate e non; valori al minimo del range per fondazioni dirette, fondazioni su pali e rilevati.

$\nu'$  = rapporto di Poisson.

### Metamorfiti

Nell'area in oggetto l'Unità dell'Aspromonte è caratterizzata da un Complesso metamorfico intruso da un Complesso plutonico. Metamorfiti e plutoniti sono interessate da una tettonica responsabile di effetti da cataclastici e milonitici. La porzione geometricamente inferiore dell'unità è costituita da paragneiss biotitici passanti a micascisti, localmente associati a corpi di gneiss occhiadini e metagraniti, con intercalazioni di anfiboliti, quarziti e marmi.

Il modello utilizzato per la determinazione dei parametri è un continuo equivalente.

L'interpretazione delle caratteristiche dell'ammasso parte dalla stima del parametro  $RMR_{89}$  che è stato valutato sulla base di due rilievi effettuati in corrispondenza delle gallerie Le Fosse e Santa Cecilia.

Il parametro  $RMR_{89}$  è risultato pari a 50. Il parametro GSI è quindi pari a 45.

Gli involuppi di rottura dell'ammasso roccioso sono stati determinati tenendo conto:

- del valore GSI di cui in precedenza;
- dei valori della resistenza alla compressione semplice  $\sigma_c$  stimata (25MPa) e del parametro  $m_i$  della roccia intatta pari a 33.

I valori che si ottengono sono riportati nella tabella di seguito.

copertura (m)	$\sigma_n$ (Mpa)	Picco		Residuo	
		$c'$ (MPa)	$\phi'$ (°)	$c'$ (MPa)	$\phi'$ (°)
10.00	0.22	0.16	61	0.11	51
20.00	0.44	0.26	56	0.19	44
30.00	0.66	0.34	52	0.25	41
40.00	0.88	0.43	50	0.31	38
50.00	1.10	0.50	48	0.37	36
60.00	1.32	0.58	46	0.43	34
70.00	1.54	0.65	45	0.48	33
80.00	1.76	0.72	44	0.53	31

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale		Codice documento SF0132_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

90.00	1.98	0.78	43	0.58	30
100.00	2.20	0.85	42	0.63	29

Per le zone tettonizzate si assume GSI=20 (classe IV-V RMR) e quindi si ottiene:

copertura (m)	$\sigma_n$ (Mpa)	Picco		Residuo	
		c' (MPa)	$\varphi'$ (°)	c' (MPa)	$\varphi'$ (°)
10.00	0.22	0.11	52	0.07	34
20.00	0.44	0.19	46	0.12	28
30.00	0.66	0.25	42	0.16	24
40.00	0.88	0.32	39	0.20	22
50.00	1.10	0.38	37	0.24	20
60.00	1.32	0.43	35	0.27	18
70.00	1.54	0.49	34	0.30	17

Per i valori di deformabilità considerando la relazione di Serafim & Pereira, 1983 si ottiene:

$E' = 400 \div 650$  Mpa rispettivamente per  $D=1$  e  $D=0.5$  in ammassi di classe IV-V RMR (faglie)

$E' = 1800 \div 2800$  Mpa rispettivamente per  $D=1$  e  $D=0.5$  in ammassi di classe III-IV RMR

Per i calcoli si assumo i seguenti parametri, considerando una profondità di interessa compresa tra i 40m e i 120m, in assenza di zone di faglia o tettonizzate.

GRUPPI GEOMECCANICI – FORMAZIONE DEI METAMORFITI	
DATO	GRUPPO 1
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	21÷23
$c'_{picco}$ (kPa)	430÷850
$\varphi'_{picco}$ (°)	38(*)
$C_r'$ (kPa)	310÷630
$\varphi_r'$ (°)	28 (*)
$E' *$ (Mpa)	1800÷2800
$\nu'$ (-)	0.2
K(m/s)	$10^{-8} \div 10^{-7}$

(\*) Valore limitato per tenere conto delle discontinuità di ammasso

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 6 Previsioni sul comportamento degli ammassi rocciosi allo scavo e metodi di calcolo

L'apertura di una cavità in un materiale caratterizzato da un campo di tensioni naturali preesistente indisturbato, dovuto essenzialmente a carichi litostatici e a sforzi tettonici, porta ad una generale ridistribuzione degli sforzi, sia in direzione trasversale che longitudinale, con conseguente incremento delle tensioni al contorno della galleria e già oltre il fronte di scavo.

Si genera così un nuovo campo tensionale che tende a far evolvere l'ammasso intorno al cavo verso una nuova situazione di equilibrio diversa da quella naturale, dando luogo a fenomeni deformativi.

Sulla base delle conoscenze dei terreni interessati dalle gallerie, è possibile, elaborando anche le esperienze maturate in lavori analoghi, svolgere delle previsioni sul comportamento dei terreni allo scavo, necessarie alla definizione degli interventi di stabilizzazione e degli schemi di avanzamento. Queste previsioni sono strettamente connesse con lo studio dello stato tenso-deformativo instauratosi nell'ammasso al contorno della galleria e indotto dalle operazioni di scavo.

La sequenza delle varie fasi progettuali può essere di seguito riassunta nelle quattro seguenti tappe fondamentali:

**Fase conoscitiva** che consente, attraverso un'analisi dettagliata ed un esame critico dei dati disponibili, una preliminare caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso interessato dallo scavo;

**Fase di diagnosi** nella quale, utilizzando il metodo delle "linee caratteristiche", analizzando i differenti gruppi geomeccanici individuati nella fase conoscitiva ed in base ai differenti valori di copertura, si individuano delle classi di comportamento, considerando quale elemento centrale per l'analisi, la stabilità del fronte di scavo (approccio ADECO-RS):

- caso "A", fronte stabile,
- caso "B" fronte stabile a breve termine,
- caso "C" fronte instabile;

**Fase di terapia** che consente, successivamente all'individuazione delle categorie di comportamento, la definizione degli interventi progettuali più idonei da mettere in atto per garantire la stabilità globale della cavità nel breve e nel lungo termine. In questa fase sono svolte, per la verifica del comportamento del terreno allo scavo a seguito degli interventi di consolidamento e supporto previsti e per la determinazione degli stati tenso-deformativi indotti nelle strutture, analisi sia mediante il metodo delle "linee caratteristiche", sia utilizzando modelli numerici agli elementi

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

finiti per le sezioni di scavo ritenute maggiormente significative;

**Fase di controllo** ove sono forniti, per ciascuna sezione tipo, dei valori limite di deformazione e delle linee guida per l'applicazione delle stesse sezioni.

Si vuole inoltre sottolineare che la progettazione e il dimensionamento degli interventi di preconsolidamento al fronte deve tenere conto dei seguenti aspetti:

- 1- Garantire la condizione di stabilità globale del fronte, verificate mediante metodi all'equilibrio limite. Tale aspetto risulta in genere dimensionante per le basse coperture, alle quali le analisi analitiche del comportamento deformativo del cavo e del fronte (Teoria delle Linee Caratteristiche) non sono applicabili, venendo meno le condizioni di stato tensionale isotropo in mezzo omogeneo;
- 2- Garantire il controllo deformativo del cavo e del fronte, legato a sua volta all'estensione del raggio plastico. Tale aspetto viene tenuto in debito conto nelle analisi analitiche sviluppate nella fase di terapia mediante il metodo delle Linee caratteristiche.
- 3- Verifiche locali di stabilità correlabili in prima approssimazione alla "densità di intervento", intesa come numero di consolidamenti rapportato alla superficie di scavo. I valori limite superiori ed inferiori di densità dipendono dalla tipologia di consolidamento, dalle caratteristiche dell'ammasso e da considerazioni legate all'esperienza in contesti similari.

## 6.1 Importanza del fronte di scavo

La valutazione di come si evolve lo stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile solo attraverso l'attenta analisi dei fenomeni deformativi in quanto essi ci possono dare indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine.

In particolare, l'elemento centrale per l'analisi dell'evoluzione dei fenomeni deformativi al contorno del cavo, attraverso la quale è possibile valutare la stabilità della galleria, è il comportamento del fronte di scavo.

Tale comportamento è condizionato da:

- le caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso connesse con le varie strutture geologiche che interessano le gallerie;
- i carichi litostatici corrispondenti alle coperture in gioco;
- la forma e le dimensioni della sezione di scavo;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- lo schema di avanzamento.

Il comportamento del fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente di tre tipi: stabile, stabile a breve termine e instabile.

### 6.1.1 Gallerie a fronte stabile (CASO A)

Se il fronte di scavo è stabile, ciò significa che lo stato tensionale al contorno della cavità si mantiene in campo elastico e i fenomeni deformativi osservabili sono di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente.

In questo caso anche il comportamento del cavo sarà stabile (rimanendo in campo elastico) e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di consolidamento, se non localizzati e in misura molto ridotta; il rivestimento definitivo costituirà allora il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

### 6.1.2 Gallerie a fronte stabile a breve termine (CASO B)

Questa condizione si verifica quando lo stato tensionale indotto dall'apertura della cavità supera le caratteristiche di resistenza meccanica del materiale al fronte, che in tal modo non può più avere un comportamento di tipo elastico, ed assume un comportamento di tipo elasto-plastico.

I fenomeni deformativi connessi con tale ridistribuzione delle tensioni sono più accentuati che nel caso precedente e producono nell'ammasso roccioso al fronte una decompressione che porta ad una riduzione della resistenza interna causata dal fatto che localmente viene superata la resistenza di picco.

Questa decompressione può essere opportunamente controllata e regimata con adeguati interventi di preconsolidamento al fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal caso verrà fornito l'opportuno contenimento all'ammasso che potrà così essere condotto verso la stabilità, ed il rivestimento definitivo costituirà il margine di sicurezza a lungo termine.

In caso contrario lo stato tenso-deformativo potrà evolvere verso situazioni d'instabilità del cavo.

### 6.1.3 Gallerie a fronte instabile (CASO C)

L'instabilità progressiva del fronte di scavo è attribuibile ad una accentuazione dei fenomeni deformativi nel campo plastico, che risultano immediati e più rilevanti manifestandosi già prima

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

ancora che avvenga lo scavo, oltre il fronte stesso. Di conseguenza tali deformazioni producono una decompressione più spinta nell'ammasso roccioso al fronte e portano ad un decadimento rapido e progressivo delle caratteristiche meccaniche d'ammasso, provocando in tal modo la mobilitazione della resistenza di fasce di terreno concentriche alla galleria e sempre più esterne, a scapito di ulteriori deformazioni inducendo quindi forme di instabilità irreversibili fino a causare il crollo della galleria.

## 6.2 Calcolo delle categorie di comportamento allo scavo

Il comportamento dell'ammasso allo scavo, per ognuno dei gruppi a caratteristiche geomeccaniche omogenee individuati, può essere determinato in funzione dei carichi litostatici dovuti alle differenti coperture riscontrate lungo il tracciato.

Per ogni singolo gruppo sarà quindi possibile ottenere diverse classi di comportamento allo scavo in funzione delle diverse coperture in gioco (Fase di diagnosi).

E' di tutta evidenza che si dovrà tenere conto e valutare, nel corso dello scavo delle gallerie naturali, dell'extrascavo/extraprofilo e dello sfrido di spritz-beton come diretta conseguenza sia delle caratteristiche geostrutturali e geomeccaniche delle formazioni presenti che della metodologia di avanzamento adottata.

Per la determinazione del comportamento dell'ammasso allo scavo è stato utilizzato il "metodo delle linee caratteristiche" (per i risultati e i dettagli sul metodo vedi "Relazione di calcolo").

Per i passaggi singolari e per le sezioni di scavo maggiormente significative sono state condotte analisi numeriche agli elementi finiti, per i cui dettagli si rimanda alla Relazione di Calcolo.

### 6.2.1 Linee caratteristiche della cavità

Per linee caratteristiche di una cavità si intendono delle curve che legano le pressioni di contenimento, esercitate in senso radiale sul bordo della galleria dalle opere di stabilizzazione e di rivestimento, agli spostamenti radiali al suo contorno (convergenze).

Esse possono quindi essere utilizzate, oltre che per valutare il comportamento dell'ammasso allo scavo, anche per determinare lo stato di sollecitazione sui diversi interventi costituenti la galleria, mediante la sovrapposizione degli effetti delle linee caratteristiche della cavità e dei singoli interventi che la costituiscono.

Per ogni galleria è possibile costruire due linee caratteristiche principali:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- quella valida presso il fronte di scavo, detta linea caratteristica del fronte, che tiene conto dell'effetto tridimensionale delle tensioni vicino ad esso e che permette di risalire, mediante considerazioni sulla resistenza del nucleo, all'entità della convergenza già subita dalla galleria nella sezione in corrispondenza al fronte di scavo;
- quella valida per qualsiasi sezione sufficientemente lontana dal fronte, detta linea caratteristica della cavità, per la quale lo stato di tensione può considerarsi piano.

In generale, ove la linea caratteristica non intersechi in un valore finito l'asse delle deformazioni radiali, la galleria risulta instabile senza adeguati interventi di stabilizzazione.

In virtù dei sistemi di avanzamento proposti, volti a conservare le caratteristiche meccaniche del terreno indisturbato, limitando al minimo il rimaneggiamento e l'alterazione dello stesso conseguente alle operazioni di scavo, diviene estremamente importante sapere quanto il terreno è effettivamente in grado di incassare nelle sue condizioni naturali e indisturbate, prima di giungere alla rottura.

La conoscenza delle caratteristiche di resistenza al taglio del terreno nelle sue condizioni naturali è indispensabile per determinare con discreta accuratezza il contributo al contenimento del cavo che i vari interventi adottati saranno in grado di fornire.

Il discorso così impostato sulla sensibilità del terreno dovrà essere poi allargato per mettere in conto anche l'eterogeneità strutturale dell'ammasso, che in rapporto alle coperture in gioco, è determinante nella parametrizzazione geotecnica dell'ammasso.

Non essendo realmente praticabile l'ipotesi di una perfetta conoscenza delle condizioni del terreno ad ogni avanzamento è stato necessario individuare, anche facendo ipotesi di lavoro sulla base ad esperienze maturate in casi analoghi, condizioni geotecniche standard sulle quali svolgere i calcoli.

Si precisa inoltre che i calcoli svolti fanno riferimento a condizioni puramente statiche, considerando il consolidamento del fronte come un irrigidimento del nucleo e non come uno strumento di stabilizzazione del paramento, che pertanto rimane pur sempre una fonte di pericolo da tenere costantemente sotto controllo, evitando che le maestranze permangano entro il suo raggio di azione in particolare durante le operazioni di scavo.

Infatti quando il fronte è assoggettato all'opera di demolizione si vanno a modificare le condizioni iniziali, che quindi in tale contesto perdono la loro validità anche a prescindere dalla stabilità dimostrata dal fronte prima della sua demolizione.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 6.2.2 Categorie di comportamento

Sono stati definiti tre tipi di comportamento dell'ammasso allo scavo.

#### ***CASO A) fronte stabile:***

I fenomeni deformativi avvengono in campo elastico; il materiale ha comportamento di tipo lapideo per cui si possono ipotizzare locali fenomeni di instabilità al contorno riconducibili per lo più al distacco gravitativo di blocchi o volumi rocciosi, individuati dall'intreccio di superfici di discontinuità preesistenti nell'ammasso oppure create dai fenomeni di distensione prodotti dalle modalità di scavo. I carichi gravanti sulla struttura in questi contesti geomeccanici sono prevalentemente di tipo gravitativo, funzione della frequenza dei giunti e delle fratture ed in particolare modo della resistenza al taglio delle superfici di discontinuità. Il rilascio di tali solidi di carico, in categorie di comportamento tipo A, non avviene generalmente all'apertura del cavo, bensì in un secondo tempo quale conseguenza del richiamo di umidità al contorno dello scavo, della circolazione d'acqua nelle fratture, dall'alterazione della roccia a contatto con gli agenti atmosferici, nonché dalle sollecitazioni dinamiche conseguenti alle vibrazioni prodotte durante le operazioni di scavo.

#### ***CASO B) fronte stabile a breve termine:***

Si possono ipotizzare fenomeni di instabilità più o meno diffusi al contorno del cavo, dovuti alla plasticizzazione dell'ammasso roccioso e conseguenti fenomeni deformativi (convergenze radiali) di ordine centimetrico.

Tali deformazioni, se non regimate mediante opportuni e tempestivi interventi al fronte, possono innescare decompressioni progressivamente crescenti all'interno dell'ammasso roccioso, sviluppando di conseguenza carichi maggiori sia nel breve termine che nel lungo termine.

#### ***CASO C) fronte instabile:***

I fenomeni deformativi, in assenza di interventi, sono di entità maggiore rispetto al caso precedente, fino ad arrivare alla rottura e al collasso del cavo, legata all'instabilità del fronte di scavo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

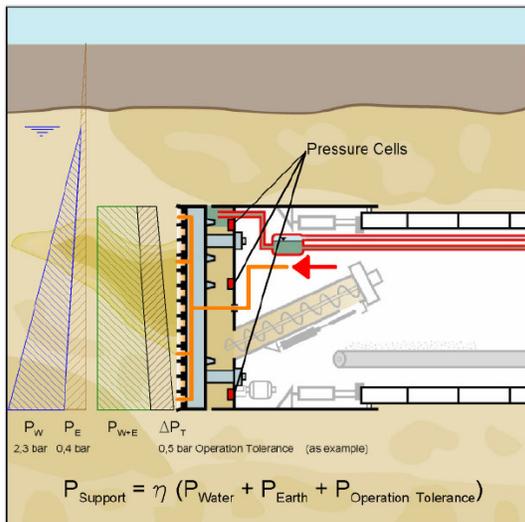
### 6.3 Procedura per la valutazione delle pressioni al fronte

La determinazione degli equilibri che governano la stabilità del fronte di scavo, sia in condizioni d'avanzamento che di fermo macchina con relativa entrata in camera di scavo, risulta alquanto complessa. Non esiste una formulazione unica per la risoluzione di tale problema; ogni caso va studiato di volta in volta mediante l'utilizzo di modelli matematici adattati ad ogni singola esigenza. Le difficoltà sono legate ai molteplici fattori che governano tali equilibri. In linea generale le variabili che governano tali equilibri possono essere raggruppate in due famiglie:

parametri esterni	parametri interni
<ul style="list-style-type: none"> <li>• natura geologica dei terreni</li> <li>• parametri di resistenza e deformabilità <ul style="list-style-type: none"> <li>• rapporto K0</li> </ul> </li> <li>• presenza della falda</li> <li>• permeabilità dei terreni</li> <li>• preesistenze superficiali <ul style="list-style-type: none"> <li>• diametro del cavo</li> <li>• copertura</li> <li>• stratigrafia</li> </ul> </li> <li>• presenza di consolidamenti del terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• coefficiente di riempimento della camera di scavo</li> <li>• materiali utilizzati per la stabilizzazione <ul style="list-style-type: none"> <li>• pressione interna alla camera</li> </ul> </li> <li>• coefficiente di apertura della testa <ul style="list-style-type: none"> <li>• forma delle aperture</li> </ul> </li> <li>• pressione dei martinetti idraulici</li> <li>• velocità di avanzamento della macchina</li> <li>• velocità di rotazione</li> </ul>

La pressione da applicare al fronte è stata valutata mediante l'utilizzo di formulazioni in forma chiusa, determinato le pressioni esterne (PE-Pw) mediante le classiche formulazioni legate alla spinta attiva e a riposo (Ka-K0) e ponendole uguali alle pressioni in camera di scavo (PS=Pw+PE); a queste si sono aggiunte delle tolleranze di pressione (0,2-0,8 bar) ed un opportuno coefficiente di sicurezza "η". Tale metodo è utilizzato per fornire il range di lavoro delle pressioni in camera di scavo (considerate, in questo caso ad andamento trapezoidale). Questa metodologia è stata utilizzata per tunnel poco profondi o nei casi in cui la pressione dell'acqua abbia grande peso sulla stabilità del fronte stesso se rapportata alle pressioni del terreno.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Per gallerie con coperture più elevate è stato utilizzato un metodo, spesso adottato per terreni granulari o a coperture elevate, che si basa sulla teoria di Terzaghi. Questa può essere utilizzata per stimare l'effettiva colonna di terreno che grava sulla TBM. La pressione attiva del terreno e la pressione idrostatica sono aggiunti per fornire la stima della pressione totale agente alla profondità analizzata. Questo metodo assume l'equilibrio limite del terreno sul fronte della TBM.

Nel caso in esame, tenuto conto della mancanza di informazioni di dettaglio circa il comportamento dei materiali, si ritiene sufficiente ed adeguato l'utilizzo della teoria di Terzaghi. Modellazioni più raffinate potranno essere eseguite in fase di Progettazione Costruttiva.

Le pressioni riportate nel paragrafo successivo sono calcolate al netto della pressione idrostatica eventualmente agente.

#### 6.4 Analisi delle subsidenze e valutazione dei danni indotti sui fabbricati

Allo scopo di esaminare il comportamento deformativo dei terreni, ossia l'entità dei cedimenti e delle distorsioni indotti dagli scavi, è stata condotta un'analisi del potenziale rischio di interferenze con le pre-esistenze, in termini di possibili risentimenti sui fabbricati limitrofi al tracciato indotti da cedimenti provocati a piano campagna dallo scavo della futura galleria. Quali elementi di valutazione sono state considerate la "pericolosità", intesa come la possibilità che il cedimento si manifesti, la "intensità", cioè la severità geometrica del fenomeno, e la "vulnerabilità" in quanto effetto che potrebbe essere indotto sui diversi fabbricati in relazione alle caratteristiche

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

geometriche/strutturali ed alle loro posizioni rispetto ai bacini di subsidenza previsti. Le valutazioni in merito all'intensità dei cedimenti previsti sono state condotte con riferimento ai cosiddetti "metodi empirici".

Tali metodi, estesamente discussi e descritti in letteratura (Peck 1969, Attewell e Fermer, 1974; Attewell, 1977; O'Reilly e New 1982), sono basati sull'osservazione sperimentale di opere già eseguite e si sono dimostrati sufficientemente cautelativi ed attendibili in contesti analoghi a quello in esame.

Determinato il regime di cedimenti indotto dallo scavo delle future gallerie e valutate le deformazioni associabili agli stessi, si è proceduto ad individuare l'effetto indotto sui fabbricati mediante il calcolo delle categorie di danno secondo quanto riportato in letteratura (Mair e Taylor e Burland, 1996). Secondo tali approcci, la categoria di danno è correlata con la deformazione unitaria massima di allungamento  $\varepsilon_{max}$ . Per i singoli edifici analizzati, sulla base della deformazione massima di trazione  $\varepsilon_{max}$  e del relativo bacino di subsidenza, è stato possibile associare ad un valore di volume perso  $V_p$  (definito sulla base di contesti analoghi e tarato in relazione alle analisi numeriche) un determinato valore del parametro "categoria di danno" secondo quanto esposto nelle tabelle di sintesi riportate in letteratura (Boscardin e Cording, 1989), ottenendo così una prima valutazione delle situazioni di rischio.

Il metodo di calcolo adottato per la valutazione della subsidenza indotta dallo scavo e dei possibili danni indotti sui fabbricati si struttura sinteticamente nel seguente modo:

- **FASE 0:** Valutazione progettuale del quadro deformativo indotto dallo scavo delle gallerie. Tale valutazione progettuale porta alla definizione del probabile bacino di subsidenza (condizione di *greenfield*) con ipotesi di variabilità del Volume perso  $V_p = 0.5/1.0/1.5/2.0\%$  e parametro  $k$ , dipendente dal tipo di terreno, variabile tra 0.2 e 0.6.
- **FASE 1A:** Raccolta dei dati di input relativi agli edifici interessati dal bacino di subsidenza indotto dallo scavo ottenuti dagli elaborati grafici (sezioni e planimetrie di progetto) e dalle relative schede di censimento.
- **FASE 1B:** Analisi preliminare dei dati attraverso un procedimento sviluppato sulla base di numerose esperienze in vera grandezza (Burland, 1995; Mair, Taylor, Burland, 1996); tale procedimento permette di stimare i cedimenti indotti allo scavo delle singole gallerie, o quelli indotti dallo scavo di entrambe le gallerie sovrapponendone gli effetti, e da questi di definire delle categorie di danno correlato. In questa fase si ipotizza una variabilità del Volume perso  $V_p=0.5-0.9\%$  e parametro  $k$  pari a 0.3.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

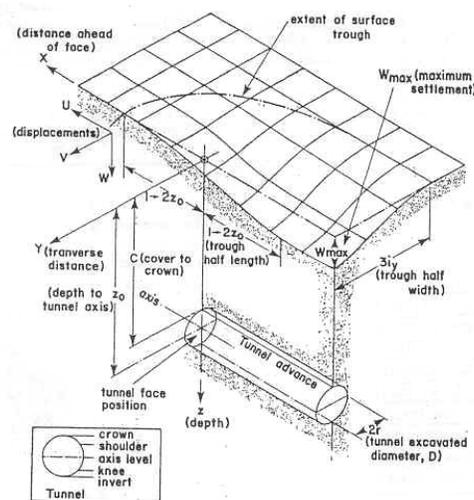
- **FASE 2:** Individuazione degli edifici aventi categoria di danno maggiore di un certo valore definito a priori e, a valle degli studi di approfondimento condotti sugli edifici, definizione di eventuali interventi di massima per il controllo e la mitigazione dei cedimenti indotti dallo scavo.

#### 6.4.1 Analisi del quadro deformativo indotto dallo scavo delle gallerie

Le valutazioni in merito all'intensità dei cedimenti previsti sono state condotte con riferimento ai cosiddetti "metodi empirici".

I metodi empirici si basano sull'osservazione sperimentale dei bacini di subsidenza di opere già eseguite ed aventi una notevolissima bibliografia in merito (Peck 1969, Attewell e Fermer 1974; Attwell 1977; Attwell & Woodman 1982; O'Reilly e New 1982; Rankin 1987; Shirlaw e Doran, 1988). Le correlazioni che sono state dedotte consentono di valutare la distribuzione spaziale, l'ampiezza e l'evoluzione delle subsidenze sulla base di parametri di semplice determinazione.

Definiti quindi i parametri geometrici della galleria e le caratteristiche del terreno attraversato è possibile individuare i profili di subsidenza trasversale.



**Fig. 23 - Curva di subsidenza**

L'involuppo della zona interessata dalle deformazioni è quindi funzione della distanza dall'asse verticale della galleria e dipende dalle dimensioni della galleria stessa, dalla sua quota, dal volume perso, dai parametri di resistenza-deformabilità del terreno attraversato.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Gli andamenti della curva di subsidenza in direzione trasversale rispetto all'asse di una galleria sono ben rappresentabili da una funzione normale di probabilità di tipo gaussiano, caratterizzata da due parametri: il cedimento massimo  $S_{max}$  (in corrispondenza dell'asse della galleria) e la distanza  $i$  tra l'asse della galleria ed il punto di flesso della curva, da cui dipende la larghezza della conca.

La funzione di subsidenza può quindi essere espressa dalla relazione:

$$S(x) = S_{max} \cdot e^{-\left(\frac{y^2}{2i^2}\right)} \quad (1)$$

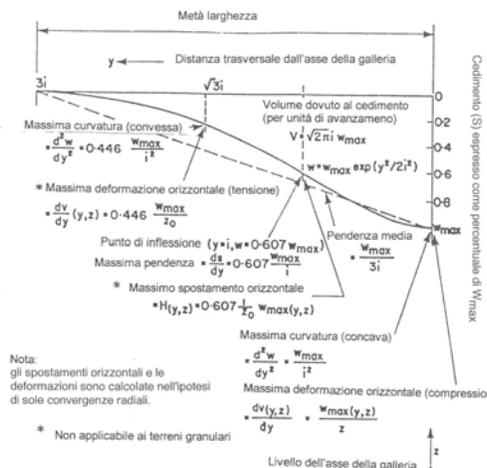
dove  $S(x)$  è il generico spostamento verticale a distanza  $y$  dall'asse della galleria,  $S_{max}$  è lo spostamento massimo (ad  $y = 0$ ) ed  $i$  rappresenta la deviazione standard della curva.

Il volume totale della conca di subsidenza per unità di lunghezza della galleria  $V_s$  può essere ottenuto dall'integrazione della (1) e risulta essere pari a:

$$V_s = \sqrt{2\pi} \cdot i \cdot S_{max} \cong 2.5 \cdot i \cdot S_{max} \quad (2)$$

La grandezza  $S_{max}$  può essere quindi ricavata stabilendo a priori il valore di  $V_s$  atteso:

$$S_{max} = \frac{V_s}{2.5 \cdot i} \quad (3)$$



**Fig. 24 - Profilo trasversale di subsidenza**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il valore del volume della conca  $V_s$  viene assunto pari al volume perduto allo scavo, ovvero come una percentuale del volume scavato  $V_{exc}$ .

Per la valutazione del parametro  $i$ , questo dipende dalla tipologia del terreno e dalla profondità della galleria; in accordo con quanto proposto da O'Reilly e New (1991), per valori della copertura maggiori del diametro della galleria, si ha una relazione lineare tra larghezza della conca e profondità della galleria, con coefficiente diverso a seconda del tipo di terreno:

$$i = k \cdot Z \quad (4)$$

dove  $Z$  è la profondità della galleria e  $k$  è un coefficiente che dipende dal tipo di terreno.

#### 6.4.2 Deformazioni indotte sui fabbricati e analisi di rischio

Per la definizione delle deformazioni indotte si considera di appoggiare la trave equivalente all'edificio sulla deformata "green-field". Il bacino di subsidenza viene limitato ad una fascia compresa tra  $+2.5i$  e  $-2.5i$  ( $i$  = distanza fra il punto di flesso della curva e l'asse della galleria) posta a cavallo dell'asse della galleria ne derivano le seguenti assunzioni:

- gli spostamenti orizzontali e verticali di punti esterni ai limiti del bacino sono nulli;
- la porzione di edificio interessata dalle deformazioni è quella compresa tra i suddetti estremi.

La nuova configurazione della trave (equivalente all'edificio) implica la mobilitazione di sollecitazioni flessionali e di taglio e corrispondenti deformazioni. Le deformazioni indotte si calcolano mediante le seguenti equazioni:

$$\varepsilon_f = \frac{\Delta/L_i}{\left[ \frac{L_i}{12t} + \frac{3IE}{2tL_iHG} \right]}$$

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta/L_i}{\left[ 1 + \frac{HL_i^2G}{18IE} \right]}$$

dove:

$\varepsilon_f$  = deformazione flessionale

$\varepsilon_t$  = deformazione di taglio

$\Delta/L_i$  = rapporto di inflessione (si veda la **Figura 25**)

$L_i$  = porzione ( $\leq L$  = lunghezza edificio) di edificio ricadente nella zona analizzata

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$I$  = modulo di inerzia (H3/12 in zona sagging ; H3/3 in zona hogging)

$E/G$  = rapporto tra il modulo di elasticità longitudinale e tangenziale (12.5 per fabbricati in c.a. e 2.6 per fabbricati in muratura)

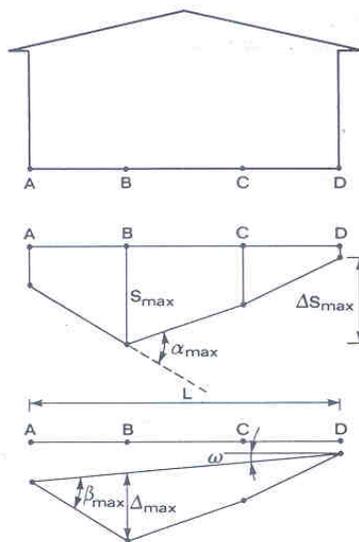
$t$  = distanza dell'asse neutro dal bordo teso della trave (H/2 in zona sagging; H in zona di hogging)

I campi di deformazione vengono composti, per ogni campo deformativo (hogging a dx – sagging – hogging a sx), secondo le seguenti equazione:

$$\varepsilon_{totale} = \varepsilon_y + \varepsilon_f \quad (\text{condizione di flessione})$$

$$\varepsilon_{totale} = 0.35 \cdot \varepsilon_y + \left[ (0.65 \cdot \varepsilon_y)^2 + \varepsilon_r^2 \right]^{0.5} \quad (\text{condizione di taglio, } \nu = 0.3)$$

In zona di “hogging” le deformazioni indotte dai cedimenti verticali (deformazioni in estensione) si sommano alle deformazioni indotte dagli spostamenti orizzontali (deformazioni in estensione), mentre in zona di “sagging” alle deformazioni indotte dai cedimenti verticali (deformazioni in estensione) si sottraggono le deformazioni indotte dagli spostamenti orizzontali (deformazioni in compressione).



S= CEDIMENTO     $\omega$ = ROTAZIONE RIGIDA  
 $\Delta$ S= CEDIMENTO DIFFERENZIALE  
 $\beta$ = ROTAZIONE RELATIVA  
 $\alpha$ = DEFORMAZIONE ANGOLARE  
 $\Delta$ = INFLESSIONE  
 $\Delta/L$ = RAPPORTO DI INFLESSIONE  
(CURVATURA) .....

**Figura 25: Rapporto di inflessione**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>	<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Il sistema di classificazione del danno indotto sulle strutture è basato sulla “facilità di riparazione” di quanto visibile, prendendo in considerazione alcuni aspetti quali l’apertura delle fessure, l’inclinazione, i danni ai servizi.

Al fine di stabilire le ripercussioni degli scavi sulle preesistenze in superficie, risulta importante individuare i valori limite di spostamento e distorsione.

Oltre al cedimento massimo, un parametro molto significativo per la valutazione dei danni a fabbricati e manufatti, è la “distorsione angolare” fra due punti dell’edificio/manufatto, essendo principalmente il cedimento differenziale la causa dell’insorgere di lesioni e rotture.

Al riguardo, facendo riferimento alla bibliografia esistente sull’argomento, Skempton e MacDonald (1956), basandosi sull’osservazione di 98 edifici ed con riferimento anche allo studio di Ricceri e Sorazo (1985) su 25 strutture realizzate in Italia, evidenziano che non si ha comparsa di fessure sulle strutture di tamponamento fino a valori di  $\beta < 1/300$  e per vedere danni sulle strutture portanti in calcestruzzo è necessario arrivare a valori di  $\beta$  pari a 1/150.

In Polschin e Tokar (1957) si considera un approccio più conservativo, indicando valori ammissibili pari a 1/500 per strutture a telaio in calcestruzzo armato con tamponature e pari a 1/200 per telai aperti. Stessi valori vengono indicati anche nell’ambito dell’Eurocodice 7, appendice H, dove si indica come ammissibile una distorsione pari a 1/500, evidenziando una condizione di stato limite ultimo pari a 1/150.

Si riporta nel seguito una sintesi dei criteri di classificazione del danno rispettivamente basati sulla determinazione della distorsione limite e sulla stima delle deformazioni di trazione generate nelle strutture secondo le formulazioni di bibliografia.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Tabella 5 – Criterio di classificazione del danno edifici – Burland 1977 (principalmente utilizzata per edifici con fondazioni continue)**

Categoria di rischio	Intensità del danno	Descrizione
0 (estetico)	Trascurabile	Fessure capillari con aperture $\leq 0.1$ mm.
1 (estetico)	Molto lieve	Fessure sottili cui si rimedia facilmente con lavori di pitturazione. Il danno è limitato agli intonaci delle pareti interne. Fessure alle parti esterne rilevabili con attento esame. Tipica apertura delle lesioni $\leq 1$ mm.
2 (estetico)	Lieve	<u>Fessure facilmente stuccabili, ripittura necessaria. Le fessure ricorrenti possono essere mascherate con opportuni rivestimenti.</u> Fessure anche visibili all'esterno; può essere necessaria qualche ripresa della spillatura per garantire l'impermeabilità. Possibili difficoltà nell'apertura di porte e finestre. Tipica apertura delle lesioni $\leq 5$ mm.
3 (estetico/funzionale)	Moderata	<u>Le fessure richiedono cucì e scuci della muratura.</u> 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 $\leq 3$ .
4 (funzionale)	Severa	<u>Necessarie importanti riparazioni, compresa demolizione e ricostruzione di parti di muri, specie al di sopra di porte e finestre.</u> I telai di porte e finestre si distorcono; percepibile pendenza di pavimenti. Muri inclinati o spanciati; qualche perdita d'appoggio di travi. Tubazioni distrutte. Tipica apertura delle lesioni $15 \div 25$ mm, dipendente anche dal numero di lesioni.
5 (strutturale)	Molto severa	<u>Richiesti importanti lavori con parziale e totale demolizione e ricostruzione.</u> Le travi perdono l'appoggio, i muri si inclinano fortemente e richiedono puntellatura. Pericolo di instabilità. Tipica apertura delle lesioni superiori a 25 mm, dipendente anche dal numero di lesioni.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Tabella 6 –Boscardin e Cording 1989**

Damage category		Description of typical damage	Approx. crack width	$\Delta$	Limiting tensile strain $\epsilon_{tm}(\%)$	$\beta = \delta/L$
0	Negligible	Hairline cracks	<0.1 mm	< 3 cm	0-0,05	< 1/300
1	Very slight	Very slight damage includes fine cracks that can be easily treated during normal decoration, perhaps an isolated slight fracture in building, and cracks in external brickwork visible on close inspection	1 mm	3-4 cm	0,05-0,075	1/300 to 1 /240
2	Slight	Slight damage includes cracks that can be easily filled and redecoration would probably be required; several slight fractures may appear showing on the inside of the building; cracks that are visible externally and some repointing may be required; doors and windows may stick	3 mm	4-5 cm	0,075-0,15	1/240 to 1/175
3	Moderate	Moderate damage includes cracks that require some opening up and can be patched by mason; recurrent cracks that can be masked by suitable linings; repointing of external brickwork and possibly a small amount of brickwork replacement may be required; doors and windows stick; service pipes may fracture; weathertightness is often impaired	5 to 15 mm or a number of cracks > 3mm	5-8 cm	0,15-0,3	1/175 to 1/120
4	Severe	Severe damage includes large cracks requiring extensive repair work involving breaking out and replacing sections of walls (especially over doors and windows); distorted windows and door frames, noticeably sloping floors; leaning or bulging walls; some loss of bearing in beams; disrupted service pipes	15 to 25 mm but also depends on number of cracks	8-13 cm	>0,3	1/120 to 1/70
5	Very severe	Very severe damage often requires a major repair job involving partial or complete rebuilding; beams lose bearing; walls lean and require shoring; windows are broken with distortion; there is danger of structural instability	Usually > 5 mm but also depends on number of cracks	> 13 cm	>0,3	> 1/70

Il metodo di calcolo utilizzato è basato sulle seguenti ipotesi:

- gli spostamenti e le deformazioni indotte sugli edifici sono assunte pari a quelle corrispondenti alla *condizione "green-field"*;
- la rigidità degli edifici analizzati è considerata nulla, mentre in realtà le opere di fondazioni interagiscono con il terreno riducendo il rapporto di inflessione e le deformazioni orizzontali ottenute nella condizione *"green-field"*;
- nessuna distinzione tra fondazioni su plinti, su trave e su platea che presentano chiaramente comportamenti differenti soprattutto nei confronti degli spostamenti orizzontali;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>	<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- tutti gli edifici vengono considerati come disposti perpendicolarmente all'asse della galleria scavata (configurazione che determina per uno stesso edificio le condizioni peggiori in termini di entità di deformazione).

Tenendo conto delle suddette ipotesi si può affermare che tale approccio risulta molto conservativo ed i risultati ottenuti si riferiscono alla peggiore configurazione di danno possibile.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 7 La scelta del tipo di macchina

### 7.1 Scavo meccanizzato di gallerie: applicabilità e metodi di condizionamento

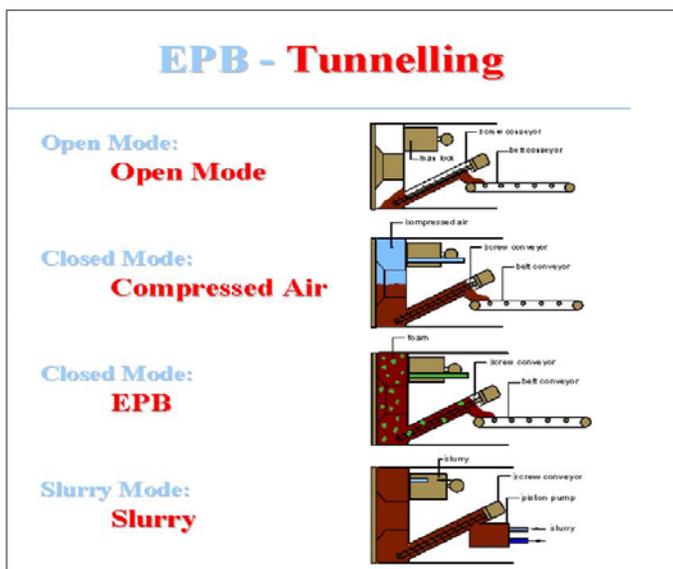
#### 7.1.1 Generalità

Qualsiasi attività di scavo di gallerie comprende tre operazioni:

- scavo della canna della galleria attraverso il terreno, con il minimo disturbo del terreno al fronte ed attorno alla galleria stessa;
- rimozione del materiale di scavo dalla galleria e suo successivo smaltimento;
- messa in opera di un rivestimento della galleria stessa.

In caso di terreno molto compatto, o meglio in roccia, è possibile l'uso di una fresa di tipo aperto con testa rotante.

In caso di terreno meno stabile, come argille tenere, terreni incoerenti o rocce altamente fratturate (specialmente al di sotto della falda idrica), il fronte deve essere sostenuto durante le operazioni di scavo. Tale sostenimento può essere eseguito in uno dei tre modi seguenti: attraverso un sostegno di tipo meccanico fornito dalla testa della macchina di tipo "chiuso"; attraverso la



pressione di un fluido, solitamente fango bentonitico; oppure attraverso la pressione del materiale di scavo all'interno della camera di lavoro dello scudo. L'efficacia dell'aria compressa in roccia fratturata o granulometrie grossolane è altamente discutibile e deve essere perciò usata cautela. Gli ultimi due tipi sono solitamente indicati rispettivamente come 'slurry machine' (scudo a contropressione di fango) e scudi a contropressione di terra (EPBM). Uno sviluppo dello scudo a contropressione di fango, conosciuto

come scudo a contropressione di fango compensata 'hydroshield', utilizza un cuscino d'aria all'interno della testa della macchina. Questa crea un sottostrato nel quale la pressione può essere

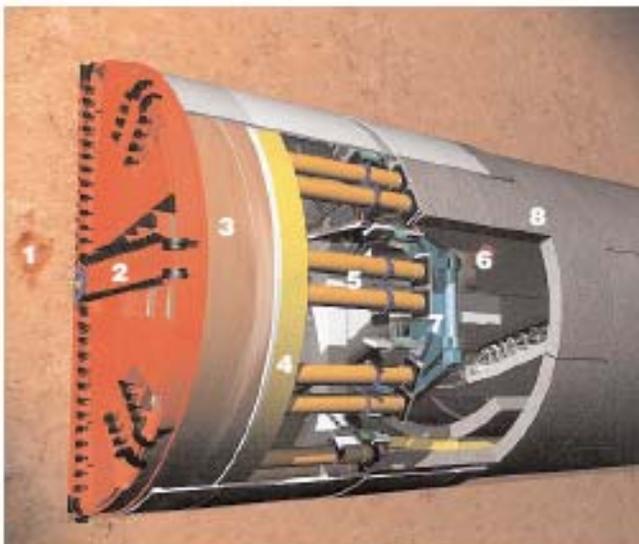
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

controllata più accuratamente rispetto ad una macchina a fango puro o rispetto ad uno scudo EPB, e che aiuta a mantenere una pressione di confinamento ragionevolmente costante in presenza di variazioni nell'avanzamento della testa fresante e nella rimozione dello smarino.

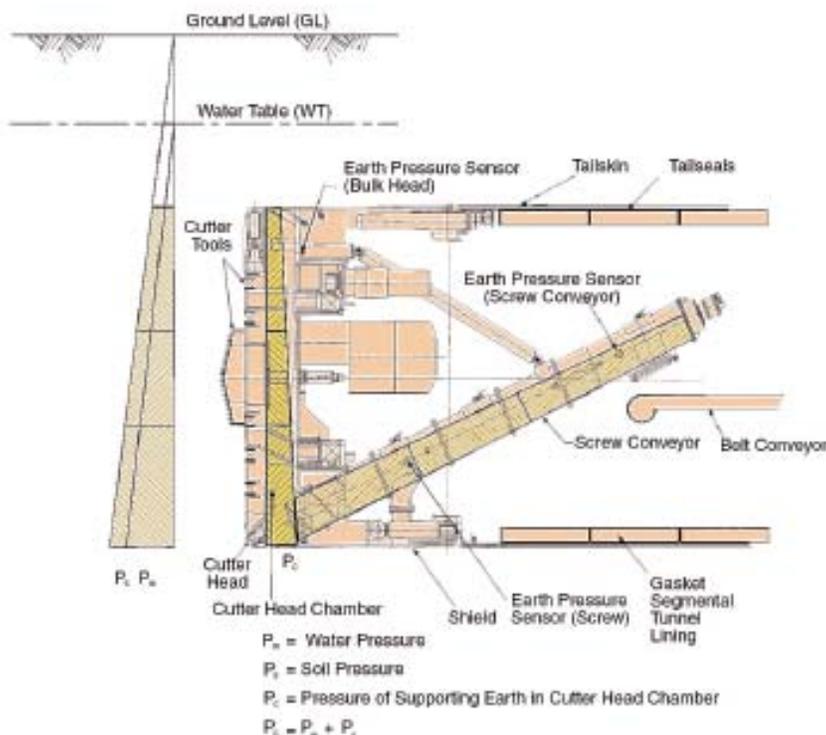
Un certo numero di macchine é stato progettato anche per lavorare in due o più modalità diverse, 'mix-shield', con la conversione tra le modalità che può idealmente avvenire in sotterraneo in modo da adattarsi ai cambiamenti delle condizioni del terreno.

La conversione richiede comunque dei tempi di fermo macchina considerevoli e non si presta ad essere eseguita più di 1-2 volte nell'ambito di uno stesso progetto.

I metodi di rimozione del materiale di risulta dipendono dal metodo di scavo e dalle condizioni dello smarino. In uno scudo con impiego di fango il materiale di scavo è trasportato dal fronte a livello del piano campagna attraverso il fango che opera la contropressione; lo smarino è poi solitamente separato dal terreno fanghificato cosicché il fango possa essere riutilizzato e lo smarino relativamente pulito venga poi smaltito. Le parti più grossolane (ciottoli e blocchi) possono essere ridotte ad una dimensione opportuna per il trasporto attraverso le tubazioni dei fanghi, tramite un'unità di frantumazione posta all'interno della camera di lavoro in corrispondenza del punto di carico. Negli scudi EPBM, lo smarino è estratto dalla camera di pressione per mezzo di una vite a coclea e rimosso attraverso l'impiego di vagoni o di un opportuno sistema convogliatore. Il terreno molto tenero può essere estratto tramite pompaggio, e sono stati talora impiegati anche sistemi di trasporto di tipo pneumatico. Mezzi simili possono essere utilizzati nel caso di macchine di tipo 'open' o di scudi con supporto di tipo meccanico.



1. Ground
2. Cutterhead
3. Pressurized earth
4. Bulkhead
5. Thrust rams
6. Screw conveyor
7. Segmented erector
8. Tunnel lining



## 7.2 Scelta della TBM

In definitiva nella generalità dei casi la scelta di una macchina per terreni coesivi e/o granulari viene effettuata tra il tipo a contropressione di fango oppure a contropressione di terra EPB. Gli scudi a contropressione di fango possono essere utilizzati in un ampio intervallo di terreni. Gli scudi a contropressione di fango compensata aumentano ulteriormente il campo di impiego migliorando il controllo della pressione al fronte e assicurando stabilità in terreni ghiaiosi. Gli scudi EPB sono efficaci in terreni con un contenuto di fine ragionevolmente alto, e un contenuto sufficientemente alto d'acqua per il terreno fanghificato dopo il passaggio attraverso la macchina in modo che sia tenero e plastico. Gli scudi EPB furono originariamente sviluppati negli anni '70 in Giappone, dove le condizioni del terreno incontrate furono spesso prossime a quelle ideali. Per altri tipi di terreno il condizionamento deve avvenire tramite aggiunte di acqua, argilla o altri agenti per fornire la consistenza richiesta dalla macchina.

Kusakabe et al (1999) presentano un'utile tabella della Japanese Society of Civil Engineers Standard Specification for Tunnels, riprodotta nella Tabella 1 (da Milligan, 2000), la quale mette a

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

confronto le condizioni del terreno in cui è possibile impiegare sia scudi 'slurry' che EPB.

**Tabella 7** *tabella per la selezione geotecnica di sistemi per lo scavo di gallerie (da Standard Specifications for Tunnels, Japanese Society of Civil Engineers, 1999)*

<b>Tipo di scudo</b>		<b>EPBM</b>		<b>Slurry</b>	
		<i>Tipo di terreno</i>	<i>SPT N</i>		<i>Senza additivi</i>
Terreno alluvionale coesivo	Argilla e limo	0 – 2	S	S	S
	Limo sabbioso, argilla sabbiosa	0 – 5	S	S	S
		5 – 10	S	S	S
Terreno alluvionale pleistocenico	Marna e argilla	10 – 20	<b>N</b>	S	S
	Marna sabbiosa, argilla sabbiosa	15 – 25	<b>N</b>	S	S
		Oltre 25	<b>N</b>	S	S
Terreno sabbioso	Sabbia con argilla limosa	10 – 15	S	S	S
	Terreno sabbioso sciolto	10 – 30	<b>N</b>	S	S
	Sabbia consolidata	Oltre 30	<b>N</b>	S	S
Ghiaia con ciottoli	Ghiaia sciolta	10 – 40	<b>N</b>	S	S
	Ghiaia consolidata	Oltre 40	<b>N</b>	S	S
	Ghiaia con ciottoli	-	<b>N</b>	S	<b>N</b>
	Ciottoli	-	<b>N</b>	<b>N</b>	<b>N</b>

Senza additivi (agenti per il condizionamento del terreno), l'uso degli scudi EPBM è ristretto a terreni relativamente teneri e a grana fine mentre le macchine di tipo 'slurry' possono essere utilizzate in tutti i tipi di terreno eccetto quelli con importanti frazioni di ciottoli, per il pericolo della repentina perdita del fango bentonitico e conseguente instabilità del fronte.

Inoltre la presenza di numerosi grossi ciottoli che devono essere frantumati, all'interno della testa, riduce la velocità di avanzamento della macchina.

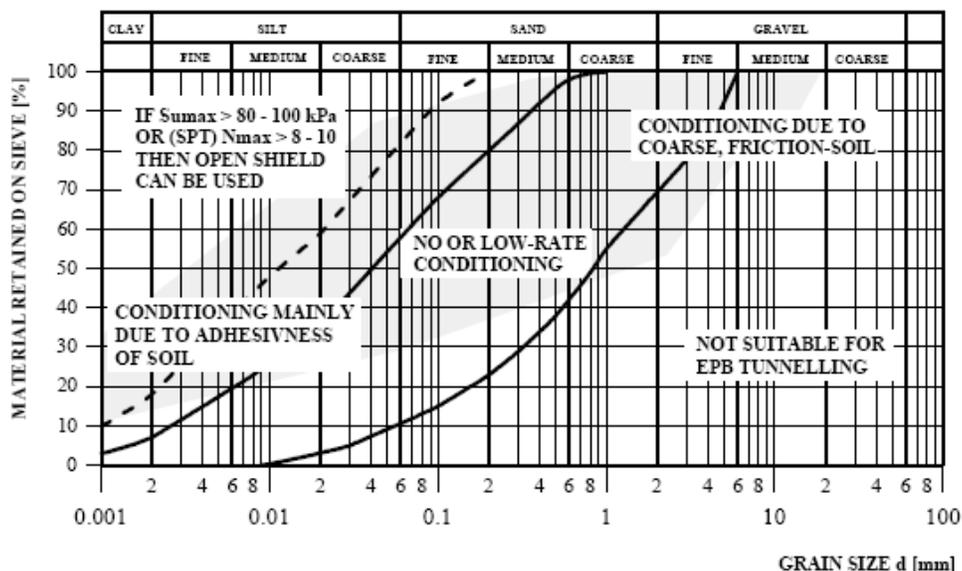
Gli scudi di tipo 'slurry' richiedono complessi impianti di separazione, ed il trattamento del terreno a

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

grana fine può essere molto difficoltoso oltre che costoso. La stabilità del fronte può essere difficile da raggiungere in terreni a grana grossa al di sotto del livello della falda idrica. Attraverso opportuni additivi, le macchine EPB possono essere utilizzate in tutto l'intervallo di tipi di terreno, inclusi quelli con ciottoli di notevoli dimensioni. Steiner (1995) sostiene che in terreni glaciali con un ampio intervallo di granulometrie, l'utilizzo efficace di uno scudo EPB senza additivi richiede che il terreno abbia un limite liquido superiore al 30%. I miglioramenti negli agenti di condizionamento del terreno e nelle loro applicazioni hanno gradatamente ampliato l'intervallo di tipi di terreno trattabili. Maidl et al. (1998) hanno riassunto i requisiti per il condizionamento del terreno in relazione alle stesse tre curve di distribuzione granulometrica delle particelle componenti come:

- Terreni a grano fine con indice di liquidità nell'intervallo da 0,4 a 0,75 – aggiungere acqua e argilla più polimero o schiuma tensioattiva;
- Permeabilità inferiore a 10<sup>-5</sup> m/s, pressione idrostatica inferiore a 2 bar (200 kPa) – aggiungere argilla e polimero o schiume polimeriche;
- Per terreni più permeabili e/o battenti d'acqua oltre i 2 bar – usare slurry ad alta densità, sospensioni polimeriche ad elevato peso molecolare, schiume polimeriche.

I limiti granulometrici indicati ad oggi sono quelli presentati nella figura sottostante:



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 7.3 Il condizionamento

I primi tentativi di additivazione del terreno in posto furono eseguiti in Giappone verso la fine degli anni '70, mediante l'iniezione di sole argille e bentoniti, ma tale operazione si rivelò insoddisfacente, data la consistenza del marino e i problemi relativi al suo trasporto e messa in discarica. (Babendererde L., 1998).

Attualmente i materiali utilizzati per il condizionamento del terreno appartengono essenzialmente a tre famiglie: bentonite o argille, polimeri (organici e sintetici), schiume (tensioattivi).

L'additivazione permette il conseguimento di importanti vantaggi, riassunti di seguito (Milligan, 2000):

- riduzione dell'usura di tutte le parti meccaniche dello scudo a contatto con il materiale scavato (testa di scavo, utensili, sistema di smarino);
- miglioramento della stabilità del fronte, con conseguente beneficio del controllo delle subsidenze;
- miglior flusso di materiale scavato attraverso la testa di scavo;
- riduzione della potenza richiesta dalla testa di scavo;
- riduzione degli attriti e conseguente riduzione della temperatura all'interno della camera di scavo;
- trasformazione del materiale scavato in una massa plastica;
- miglioramento delle proprietà del terreno nella camera di scavo, con molteplici conseguenze:
  - maggior uniformità di pressione nella camera di scavo;
  - miglior controllo delle venute di acqua attraverso la riduzione della permeabilità;
  - minor rischio di formazione di grumidi terreno nella camera di scavo;
  - miglioramento del controllo del materiale scavato nella coclea;
  - semplicità nel maneggiamento del marino.

Per conseguire tutti i risultati positivi riportati precedentemente durante lo scavo di gallerie con EPB occorre una valutazione attenta sia della qualità degli additivi utilizzati, sia delle tipologie di condizionamento, intese come proporzioni tra i diversi additivi e tra miscela finale e terreno, sia infine del comportamento del terreno additivato, in termini di impermeabilità, resistenza a taglio, consistenza, maneggiabilità, omogeneità.

Il dosaggio degli additivi dipende dal tipo dei terreni attraversati e può presentare problemi nel caso di brusche variazioni della granulometria e delle condizioni idrauliche, situazioni queste

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

tipiche dei terreni che dovranno essere attraversati dalle gallerie del versante Sicilia.

Di seguito sono presentate due tabelle riferite all'impiego di additivi nello scavo con EPB che riassumono i miglioramenti ottenibili con gli additivi nonché evidenziano le problematiche dei diversi tipi di terreno che possono essere incontrati nello scavo.

**Tabella 8 : : possibili applicazioni del condizionamento del terreno con macchine per lo scavo di gallerie (Milligan, 2000)**

<b>Posizione</b>	<b>TBM di tipo aperto o chiuso<sup>1</sup></b>	<b>Scudi slurry/ mixshield</b>	<b>EPBM<sup>2</sup></b>
Fronte del tunnel	Lubrifica gli utensili e lo smarino; riduce l'usura e le richieste di potenza	Migliora le proprietà dello slurry per la formazione di un adeguato tampone nel terreno; riduce l'usura e le richieste di potenza	Lubrifica gli utensili e lo smarino; riduce l'usura e le richieste di potenza; permea il terreno e riduce le venute d'acqua; dà inizio al processo di modifica del materiale di scavo
Testa della macchina	Migliora il flusso del fango di smarino attraverso la testa; riduce l'attrito e l'usura	Previene gli incagliamenti nel caso di argille plastiche; riduce l'usura con terreni abrasivi	Aiuta il terreno ad ottenere uno stato plastico di una consistenza adatta; previene gli incagliamenti; riduce attrito ed usura; fornisce materiale comprimibile per ridurre le fluttuazioni di pressione
Sistema di movimentazione	Riduce il contenuto d'acqua per facilitare il maneggiamento	Migliora la dispersione del terreno di scavo nel fango; riduce l'usura con terreni abrasivi; migliora le prestazioni dell'impianto di separazione	Produce un adeguato stato plastico nello smarino per un flusso controllato attraverso la coclea; riduce la permeabilità dello smarino per prevenire un flusso eccessivo d'acqua attraverso la coclea; riduce l'attrito, l'usura e le richieste di potenza della coclea; riduce il contenuto d'acqua del fango di smarino per un facile vaneggiamento
Smaltimento smarino	Migliore qualità dello smarino per un più facile smaltimento o ri-uso per scopi costruttivi	Migliore qualità dello smarino per un più facile smaltimento o ri-uso per scopi costruttivi	Migliore qualità dello smarino per un più facile smaltimento o ri-uso per scopi costruttivi
Canna della galleria	Impiego del fango per sostenere lo scavo della galleria e fornire lubrificazione dei tubi nel caso della tecnica spingitubo	Impiego nel fango per sostenere lo scavo della galleria e fornire lubrificazione dei tubi nel caso della tecnica spingitubo	Impiego nel fango per sostenere lo scavo della galleria e fornire lubrificazione dei tubi nel caso della tecnica spingitubo

1. TBM= Tunnel Boring Machine

2. EPBM = earth pressure balance machine

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Tabella 9 : sommario degli impieghi del condizionamento del terreno su EPB (da Morrison -1997)**

Tipo di terreno	Caratteristiche dal punto di vista dello scavo	Trattamento	
Argille plastiche	Tendono a ricompattarsi nella camera di scavo con lieve perdita di resistenza	Dosaggio elevato di schiuma in testa per mantenere il materiale di scavo in pezzi separati	
Argille stratificate, limose o sabbiose	Miglior rottura, ma ancora tendono a ricompattarsi, leggermente abrasive, formano un "tappo"	Possibilmente nessun altro al di fuori dell'acqua per ridurre la resistenza al taglio ad un valore accettabile; in argille più compatte, dosaggio medio di schiuma in testa. Possibilmente aggiungere lubrificante alla schiuma per ridurre l'abrasione	
Sabbie argillose e ghiaie	Fluiscono facilmente, possono formare il tappo impermeabile se il contenuto fine è superiore al 10%; altamente abrasive	Aggiungere lubrificante polimerico in testa per ridurre l'usura; aggiungere polimero idroassorbente alla coclea se è richiesta la formazione di un tappo impermeabile ed il controllo delle venute d'acqua	
Sabbie limose fini	Non fluiscono, non formano un tappo impermeabile, permettono l'ingresso d'acqua, altamente abrasive; i problemi aumentano con particelle di dimensioni maggiori	Schiuma con additivo polimerico per consolidare/irrigidire la schiuma e fornire lubrificazione; dosaggi approssimativi per il polimero	0,1%
Sabbia/ghiaia			0,25%
Ghiaia e ciottoli			1 – 3%
Ciottoli e blocchi	Tendono ad amalgamarsi in grumi in testa e/o ostruire la coclea	Alti dosaggi di additivo per mantenere i ciottoli separati in testa e garantire il controllo dell'acqua e un'adeguata lubrificazione	

## 7.4 Le schiume

Il termine "schiuma" implica una miscela di materiale tensioattivo, a sua volta eventualmente additivato con polimeri, con acqua e aria. Le quantità dei diversi fluidi sono ovviamente variabili in funzione delle caratteristiche finali da ottenere e del geomateriale con cui devono interagire, tuttavia a grandi linee si può definire una composizione media con acqua 9%, agente schiumogeno 1%, aria 90%, eventuale polimero < 1%. La presenza del polimero serve in questo caso ad aumentare la resistenza delle bolle di aria nella schiuma, e tale aliquota non va confusa con l'utilizzo del polimero per il condizionamento di materiali ghiaiosi, per i quali le percentuali di utilizzo sono diverse.

Le sostanze schiumogene possono essere di diversa natura e caratteristiche chimico-fisiche (sostanze anioniche, cationiche o anfoteriche). Attualmente le sostanze sintetiche sono maggiormente diffuse, poiché le schiume a base proteica sono più difficili da modificare con l'aggiunta di polimeri ed inoltre presentano proprietà elettrostatiche non ben conosciute.

La caratteristica più importante richiesta alla schiuma per il suo utilizzo durante lo scavo è la

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA          FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

stabilità nel tempo. Tale stabilità è influenzata dalle dimensioni delle bolle di aria e dall'aggiunta di polimeri. La dimensione delle bolle in realtà non è direttamente responsabile della stabilità della schiuma (nonostante come linea di principio le schiume formate da bolle più piccole siano più stabili e anche più viscosi), ma è cruciale l'uniformità delle bolle stesse, in quanto bolle più grosse possono inglobare bolle più piccole nelle vicinanze, in tal modo crescendo ancora e inglobandone altre a catena, fino a collassare. La dimensione delle bolle dipende dal tasso di diluizione della miscela, dalla densità della schiuma, dal generatore di schiuma e dall'apparato di iniezione. I parametri principali che descrivono una schiuma sono (Quebaud *et al.*, 1998):

- **Capacità dello schiumogeno**, ossia la produzione di schiuma con una certa quantità di liquido in condizioni note
- **Persistenza**, che è la capacità di mantenere un volume costante e prevenire il deflusso di liquido dalla matrice della schiuma
- **Grado di dispersione della schiuma**, caratterizzata principalmente dalla dimensione media delle bolle d'aria.

I parametri di condizionamento principali sono essenzialmente il tasso di espansione della schiuma (FER: Foam Expansion Ratio), ossia il rapporto tra volume di schiuma e volume di sostanza schiumogena, e il tasso di iniezione (FIR: Foam Injection Ratio), cioè il rapporto tra il volume di schiuma iniettato e volume di terreno scavato. I valori di riferimento possono essere:

**FER:** 5 – 30

**FIR:** 30% - 80%

ma come si nota sono valori molto indicativi, in quanto variano in funzione delle condizioni di scavo e delle caratteristiche geotecniche del mezzo da scavare.

## 7.5 Polimeri

I polimeri sono essenzialmente molecole a catena lunga formate da monomeri o da molecole più piccole. La famiglia di polimeri maggiormente utilizzati ai fini del condizionamento del terreno sono le poliacrilammidi e i loro derivati, già utilizzati nell'industria come agenti flocculanti. Il loro utilizzo è legato alle loro caratteristiche sia come agenti di anti-aggregazione (specialmente nell'utilizzo di fanghi bentonitici) sia per la loro capacità di assorbire acqua, sia infine per migliorare la stabilità

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

delle schiume rinforzando gli strati tra bolla e bolla. In argille molto consolidate possono rendere la consistenza dell'impasto più plastica, ma l'utilizzo principale avviene, attraverso la miscelazione con schiuma, su materiali a grana grossa con elevato contenuto d'acqua. Tale trattamento può trasformare il terreno sabbioso-ghiaioso in una pasta viscosa, permettendo il trasferimento della pressione sul fronte. Inoltre la capacità di assorbire l'acqua porta ad una sorta di sigillatura del materiale, riducendo in questo modo la permeabilità del terreno condizionato. Infine la viscosità del materiale permette ai singoli blocchi, sia per materiali a grana grossa, sia per blocchi di argilla compatta, di scivolare l'uno sull'altro, con considerevole riduzione degli attriti e conseguente risparmio di potenza.

I polimeri sono confezionati in vari modi, essenzialmente come solido granulare, ma in tal caso occorre porre attenzione alla miscelazione con le sostanze schiumogene, in quanto si possono creare dei grumi di materiale (*cf. Obladen et al., 2003*) che, oltre a non amalgamarsi bene, possono peggiorare le prestazioni del fluido, in quanto la sostanza interna al grumo è impossibilitata ad assorbire acqua. Occorre in questo caso utilizzare dei miscelatori particolari, evitando che un'eccessiva forza degli agitatori possa rompere le catene polimeriche. Tali problemi non si presentano qualora il polimero sia utilizzato sotto forma di liquido, disperso in acqua o olio.

## **7.6 Scelta del tipo di macchina lo scavo della tratta Siciliana**

I terreni di scavo delle gallerie S.Agata e S.Cecilia presentano un'estrema variabilità; infatti sono presenti diverse tipologie di terreno. A partire dalla zona di imbocco lato Reggio le gallerie ferroviarie si sviluppano all'interno della Formazione delle Ghiaie e sabbie di Messina fino all'incirca alla progressiva km 7,450, quindi si passa alla formazione dei Trubi ed alla formazione gessoso-solfifera, con la presenza sia di calcari evaporatici sia di argille gessose a quota cavo, fino all'incirca alla progressiva 9,900. a partire da questa progressiva lo scavo si svilupperà all'interno della Formazione di S. Pier Niceto, litofacies sabbioso-argillosa fino alla progressiva 11,400 circa. Tra le progressiva 10,750 e 10,950 si segnala la presenza di una zona a basse coperture con la presenza di depositi alluvionali recenti a quota cavo. A partire dalla progressiva 11,400 circa fino alla progressiva 13,150 circa lo scavo avverrà presumibilmente all'interno della Formazione di s. Pier Niceto, facies conglomeratici. A partire da questa ultima progressiva il tracciato entra all'interno del basamento metamorfico costituito paragneiss grigi passanti a subordinati micascisti di colore grigio scuro, fino all'incirca alla progressiva 14,750. Tra le progressiva 12,650 e 13,900 si segnala la presenza di una zona a basse coperture con la presenza di depositi alluvionali recenti a quota cavo. Dalla progressiva 14,750 circa alla progressiva 15,550 circa il tracciato si sviluppa

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

all'interno della formazione delle sabbie e ghiaie di Messina. Tra le progressiva 15,550 e 15,800 circa si segnala ancora la presenza di una zona a basse coperture con la presenza di depositi alluvionali recenti a quota cavo. Dalla progressiva 15,800 circa il tracciato entra all'interno nuovamente della formazione di S. Pier Niceto, dapprima litofacies sabbioso-argillosa (fino alla progressiva 16,350 circa) quindi litofacies conglomeratici fino alla progressiva 17,250 circa. L'ultima di tracciato in galleria si sviluppa all'interno della formazione delle ghiaie e sabbie di Messina, prima, e dei depositi alluvionali recenti, dopo.

In sostanza il tracciato attraverserà diverse formazioni dotate di caratteristiche di resistenza assolutamente differenti fra loro.

Questa non omogeneità delle condizioni geologiche, unitamente alla presenza di diffuse interferenze superficiali dovute alla massiccia antropizzazione dell'area risulta notevolmente problematica per la scelta del tipo di macchina di scavo.

Come esposto nel capitolo precedente, ogni macchina viene appositamente progettata per delle condizioni geologiche ben definite e difficilmente si adatta alla variabilità dei terreni di scavo.

Anche le macchine Mix-shield, teoricamente più adattabili, richiedono lunghi periodi di fermo lavori (> di 1 mese) per eseguire le modifiche meccaniche necessarie per variare la modalità di funzionamento e non è pensabile di poter eseguire tali operazioni più volte durante lo scavo di una galleria di media lunghezza.

Partendo dalla necessità di dover scavare in terreni sciolti e ammassi lapidei o semi-lapidei e di dover garantire un controllo continuo del fronte per evitare cedimenti o peggio sfornellamenti dovuti alla decompressione del terreno al fronte all'atto dello scavo, si è reputato di poter prendere in considerazione solamente due tecnologie: EPB e Hydroshield.

Da una prima analisi basata solamente sulla valutazione delle granulometrie presenti è stato giudicato consigliabile l'utilizzo della tecnologia EPB, nonostante questa necessiti l'adozione di particolari condizionamenti del terreno al fine di potersi adattare a tutte le condizioni riscontrabili sul tracciato. Peraltro, come previsto ed evidenziato sui profili geomeccanici, sono previste delle zone in cui, probabilmente, la macchina EPB-s potrà essere utilizzata in configurazione "aperta".

Prima del passaggio da zone granulari a zone semi-lapidee o lapidee dovrà prevedersi un adattamento della testa fresante (in termini di adozione di cutters e/o modifiche delle aperture di testa) per poter attraversare questi delicati contesti.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 7.7 Il contenimento del volume perso

Il contenimento del Volume perso imposto daprogetto si ottiene intervenendo sulle tre componenti che determinano il volume perso complessivo:

- **Il volume perso al fronte**, derivante dai valori di pre-convergenza ed estrusione al fronte (interessanti il nucleo a monte del fronte di scavo della galleria); esso viene contenuto mantenendo un adeguato valore di pressione di confinamento tale da bilanciare le pressioni agenti del terreno e dell'acqua
- **Il volume perso al contorno dello scudo**, nel tratto di galleria dove è presente la macchina EPB-S; esso deriva dalla possibile chiusura del profilo di scavo (convergenza) verso l'estradosso dello scudo metallico. Esso viene contenuto dalla schiuma che rifluisce a tergo del fronte e potrebbe essere contrastato da eventuali iniezioni a pressione controllata a tergo dello scudo qualora la macchina EPB risulti dotata di valvole di iniezione
- **Il volume perso a tergo dell'anello di rivestimento**, nel tratto di galleria dove si procede alla messa in opera dei conci prefabbricati; esso deriva dalla convergenza del cavo. Viene contrastato mediante iniezioni con malta cementizia a tergo dell'anello, in coda alla macchina e immediatamente a seguito della posa dei conci, che garantisca un perfetto intasamento e il confinamento della convergenza del cavo.

Il principio a base degli EPB implica che il materiale scavato dalla fresa venga mischiato ed accumulato in pressione nella camera di smarino ed estratto in maniera controllata attraverso portelli a pressione o da un trasportatore a coclea.

Gli scudi EPB iniettano al fronte un agente fluidificante che consente di liquefare il terreno da scavare. Questi fluidificanti vengono iniettati tramite ugelli che si trovano sulla testa della macchina, all'interno della camera di scavo e all'interno della coclea di smarino.

La prima iniezione viene eseguita dagli ugelli posti sulla testa di scavo, direttamente verso il materiale prospiciente il fronte. La rotazione della testa provoca il mescolamento del fluido all'interno del terreno consentendo il formarsi, dinnanzi alla testa, di uno strato di terreno parzialmente fluidificato (il cosiddetto "cake") che avrà consistenza di un calcestruzzo fresco.

Il "cake" passerà attraverso le aperture della testa ed entrerà in un vano chiuso posteriormente da un diaframma metallico, nella cui parte inferiore si inserisce la bocca della coclea. Questo vano è denominato *camera di scavo* ed è particolarmente importante nello sviluppo del sistema di scavo.

La spinta dei martinetti principali di avanzamento si scarica, attraverso il diaframma posteriore della camera, sul materiale fluidificato all'interno di questa. Il materiale reagirà in modo idrostatico,

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

trasferendo la pressione al fronte.

Questa pressione di contenimento sarà sempre maggiore della spinta che il fronte esercita sullo scudo (terreno+acqua); il fronte sarà sempre sostenuto, quindi, dalla pressione della camera di scavo evitando instabilità del fronte e contenendo il volume perso e conseguentemente i cedimenti della superficie. Il valore della pressione da mantenere al fronte, in camera di scavo, sarà valutata in dettaglio in funzione delle coperture presenti, del livello di falda e delle caratteristiche dei terreni attraversati.

In questo tipo di scudo, la testa fresante non ha funzioni di sostegno del fronte, dato che questo è sottoposto alla pressione del materiale all'interno della camera di scavo. La testa quindi ha solo funzioni di scavo e di rimescolamento sia del "cake" all'esterno, sia del terreno completamente fluidificato all'interno della camera.

Le aperture della testa sono dimensionate in modo da impedire l'ingresso di ciotoli potenzialmente nocivi per il funzionamento della coclea. Questi ciotoli verranno frantumati all'esterno della testa per mezzo di taglienti a dischi appositamente posizionati sulla testa stessa.

Il terreno fluidificato (cake) entrerà nella camera di scavo attraverso le aperture della testa. Qui verrà mantenuto in pressione dalla spinta dei martinetti principali che agiscono sul rivestimento prefabbricato.

Un set di pressostati controllerà che la pressione della camera rimanga entro i limiti predefiniti e calcolati sulla base del carico del terreno.

La coclea di smarino è regolabile in modo che il materiale estratto dalla camera sia equivalente a quello che entra attraverso la testa, mantenendo costante la pressione nella camera di scavo.

Per sostenere il fronte è necessario garantire, in camera di scavo, una pressione costante, con valori predeterminati. Per ottenere questo risultato occorre che tutte le variabili in gioco siano intercorrelate e controllate dall'operatore.

Queste variabili sono principalmente le seguenti:

- velocità di rotazione della testa che determina (insieme alla spinta dei martinetti) la quantità di terreno in entrata nella camera di scavo;
- velocità di rotazione della coclea che determina la quantità di terreno in uscita dalla camera di scavo;
- portata e caratteristiche fisiche dell'agente fluidificante che determinano il comportamento idrostatico del cake e ne garantiscono l'adeguata plasticità, fluidità e permeabilità; la fluidità del materiale influisce, inoltre, sia sul momento torcente della testa sia sulle quantità di

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

terreno in entrata e in uscita;

- momento torcente applicato all'albero della testa fresante. Da questo dato si può capire la fluidità del cake all'intorno della camera;
- spinta dei martinetti principali che contribuisce a determinare sia la pressione di terreno in entrata nella camera di scavo, che la quantità di terreno in entrata nella camera stessa.

Variando questi dati l'operatore dovrà mantenere la pressione della camera all'interno dei limiti prefissati.

Se la pressione dovesse calare si può aumentare la spinta dei martinetti o la velocità della testa per aumentare la quantità di terreno in entrata, oppure ridurre la portata della coclea, mentre se la pressione dovesse superare il limite prefissato si possono compiere le operazioni opposte a quelle riportate appena sopra.

Sebbene lo scudo EPB viene progettato ed attrezzato per lavorare in modo ottimale in terreni assolutamente privi di coesione e quindi è in grado di prevenire gli assestamenti immediati sul fronte (pressione di terra bilanciata) e alla coda dello scudo (iniezioni di malte cementizie), esso risulta idoneo anche per lo scavo in tufo o in terreni coesivi modificando la forma e la disposizione degli utensili di taglio sulla testa di scavo.

Data la consistente presenza di materiali sciolti lungo il tracciato (di tipo granulare, quali sabbie, piroclastiti e cineriti) anche una macchina TBM del tipo Slurry, a fanghi bentonitici, risulta idonea per condurre lo scavo.

Si è preferito suggerire l'adozione di una macchina del tipo EPB in quanto presenta, rispetto alla Slurry, i seguenti vantaggi:

- Limitazione della quantità di materiale liquido da iniettare in camera di scavo e da estrarre con lo smarino che necessiterebbero di un imponente impianto di separazione
- Confinamento del fronte ottenuto con minor pressione
- Minore Impatto Ambientale
- Migliori prestazioni con terreni a granulometria fine prevalente
- Minori costi

Inoltre si osserva che, recentemente, la messa a punto di nuovi prodotti per la fluidificazione del cake al fronte ha, di fatto, allargato il range di impiego delle macchine di tipo EPB anche a terreni di natura granulare, una volta più facilmente gestibili con macchine del tipo Slurry.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 7.8 Malta cementizia di intasamento a tergo del rivestimento

In ogni scavo di galleria con scudi meccanizzati e rivestimento con conci prefabbricati, rimane uno spazio tra la superficie interna dello scavo e l'estradosso del rivestimento prefabbricato. Questo spazio, dell'ordine di 10-15cm di spessore, è dovuto sia allo spessore del manto dello scudo, sia alle tolleranze di montaggio del rivestimento.

Quando lo scavo avviene in roccia o comunque in terreni coesivi con un tempo di autosostentamento dello scavo di almeno alcune ore, questo spazio anulare viene riempito con malte di iniezione, pompate attraverso appositi fori lasciati nei conci.

Ciò invece non è possibile in terreni sciolti, assolutamente non coesivi: in tal caso un qualunque extrascavo si tradurrebbe immediatamente in un assestamento del terreno con elevata perdita di volume e conseguenti cedimenti della superficie e lesione dei manufatti presenti.

Per questa ragione lo scudo dovrà avere un' attrezzatura in grado di colmare lo spazio anulare tra scavo e rivestimento nel momento stesso in cui la macchina avanza lasciando lo spazio tra estradosso concio e scavo.

Occorre effettuare il pompaggio delle miscele di cemento attraverso sei o otto ugelli posti lungo la circonferenza della coda dello scudo in modo da riempire lo spazio anulare tra scavo e rivestimento immediatamente dietro lo scudo. La miscela cementizia in pressione contrasta così la tendenza del terreno ad assestarsi attorno al rivestimento prefabbricato e quindi impedisce i cedimenti.

La miscela cementizia è un normale betoncino con inerte di dimensioni massime pari a 15-20 mm. Non avendo funzioni strutturali, esso non necessita di grandi resistenze ( $R_{ck} \geq 15 \text{MPa}$ ), deve essere sufficientemente lavorabile per essere pompato senza difficoltà e non deve presentare fenomeni di bleeding.

Per garantire un buon controllo di qualità del calcestruzzo da pompare, sarà bene installare l'impianto di confezionamento sul back-up dello scudo e trasportare dal portale gli inerti ed il cemento in modo separato.

Questo sistema permette di confezionare la miscela cementizia solo al momento dell'utilizzo e di poter variare il dosaggio e la qualità degli additivi così da predeterminare il tempo di presa della miscela.

L'impianto di miscelazione scaricherà l'impasto in una tramoggia agitatrice che alimenta una normale pompa per cls a pistoncini.

La pompa invierà la miscela cementizia su una normale tubazione fino ad un distributore rotante posizionato sullo scudo. Dal distributore si dipartono 6-8 tubazioni flessibili di alimentazione fino a

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6-8 ugelli posizionati sul cassero circolare di testata.

Il distributore alimenta alternativamente ciascuna delle 6-8 diramazioni in modo da ottenere una distribuzione uniforme della miscela cementizia sull'anello del cassero di testata che ha uno spessore di 15 cm circa.

Un set di pressostati, governati da un calcolatore, controlla l'andamento delle pressioni di iniezione determinando attraverso quale ugello deve essere pompata nuova miscela cementizia e la relativa quantità.

Naturalmente il tutto deve funzionare in un equilibrio dinamico dovuto al fatto che lo scudo si muove con il procedere dello scavo. Indipendentemente da ciò la pressione della miscela cementizia deve essere mantenuta entro i limiti prefissati determinati dalla copertura e dalla natura del terreno.

Se lo scudo dovesse interrompere le operazioni di scavo per un breve periodo (qualche ora), si potrà pompare una certa quantità di miscela cementizia con presa fortemente ritardata in modo da evitare il giunto freddo. Durante pause prolungate (fine settimana per esempio), si interromperà il pompaggio e si puliranno le tubazioni in modo da poter riprendere agevolmente il lavoro.

La miscela base di aggregati viene preparata all'esterno del tunnel e trasportata all'impianto di miscelazione.

Il cemento e il filler sono stoccati in silos e vengono caricati attraverso una coclea su un vagone speciale. Il cemento e il filler non vengono pesati all'esterno del tunnel ma all'atto del confezionamento del calcestruzzo in quanto il loro dosaggio è funzione di vari fattori, noti solamente poco prima della messa in opera.

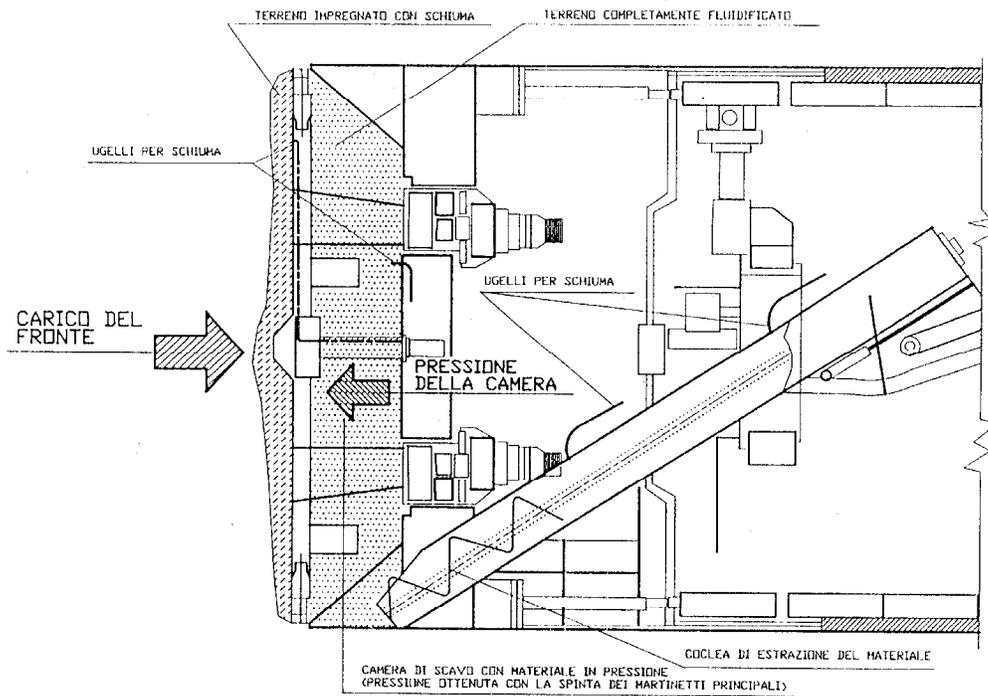
Il treno adibito al trasporto degli aggregati e del cemento sarà indicativamente composto da 1 locomotore, 1 carro trasporto aggregati, 1 carro trasporto cemento, e sarà completamente indipendente dal treno smarino.

## **7.9 Smarino del materiale di scavo**

Il materiale di scavo verrà trasportato all'esterno da un treno composto da locomotori e vagoni a cassone ribaltabile lateralmente o in alternativa da un nastro trasportatore.

All'esterno del tunnel ci sarà una fossa dove i vagoni verranno scaricati lateralmente con l'ausilio di ribaltatori.

Il materiale sarà sollevato al piano di campagna con una benna mordente e depositato in una tramoggia intermedia che alimenta un sistema di nastri per il trasporto del materiale in una batteria di silos da dove verrà ripreso da dumper per il trasporto verso la destinazione finale.



**Figura 7-1 Schema testa fresante EPB**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 8 Linee Guida per l'applicazione delle azioni integrative e/o correttive

Con le presenti "linee guida" s'intende creare uno strumento che definisce in sede di progetto, quali saranno i criteri che l'operatore e/o il progettista adotteranno in corso d'opera per:

- confermare le caratteristiche dimensionali e di resistenza previste per il rivestimento costituito da conci prefabbricati e le modalità operative standards di avanzamento;
- variare tali modalità operative nell'ambito delle possibilità della macchina, adeguandole alle necessità riscontrate;
- eseguire delle indagini integrative miranti ad accertare in modo puntuale e significativo l'effettiva natura dell'ammasso in termini geologici, geomeccanici ed idrogeologici;
- adottare opportuni interventi progettuali che, senza modificare strutturalmente le caratteristiche finali dell'opera, consentono di adeguarsi alle reali condizioni geomeccaniche e deformative riscontrate;

Le presenti linee guida descrivono e quantificano gli elementi principali che saranno registrati in corso d'opera.

- raccolta dei dati relativi ai parametri di avanzamento della fresa, che consentono un controllo continuo e sistematico di alcune caratteristiche dell'ammasso e del suo comportamento allo scavo;
- raccolta dei dati ottenuti da indagini geofisiche o carotaggi (a distruzione o continui) realizzati ove si riscontrassero segnali di peggioramento delle condizioni geomeccaniche-geostrutturali d'ammasso o in vicinanza di disturbi tettonici, che unitamente ai dati della fresa completano un quadro qualitativo (in parte quantitativo) delle caratteristiche geomeccaniche, geostrutturali ed idrogeologiche dell'ammasso;

Se verranno osservati valori registrati sensibilmente differenti da quelli ipotizzati e riferibili a condizioni geomeccaniche locali particolari, comunque previste in progetto (zone di faglia e/o tettonizzate, fronte caratterizzato da una notevole eterogeneità litostratigrafica e/o strutturale, .....), l'operatore e/o il progettista dovranno adottare le idonee azioni correttive e/o integrative tra quelle previste nella tratta in esame.

Come in seguito descritto più approfonditamente, tale azioni potranno consistere in adeguamenti operativi delle modalità di avanzamento della macchina, in indagini integrative in avanzamento, in eventuali interventi progettuali.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

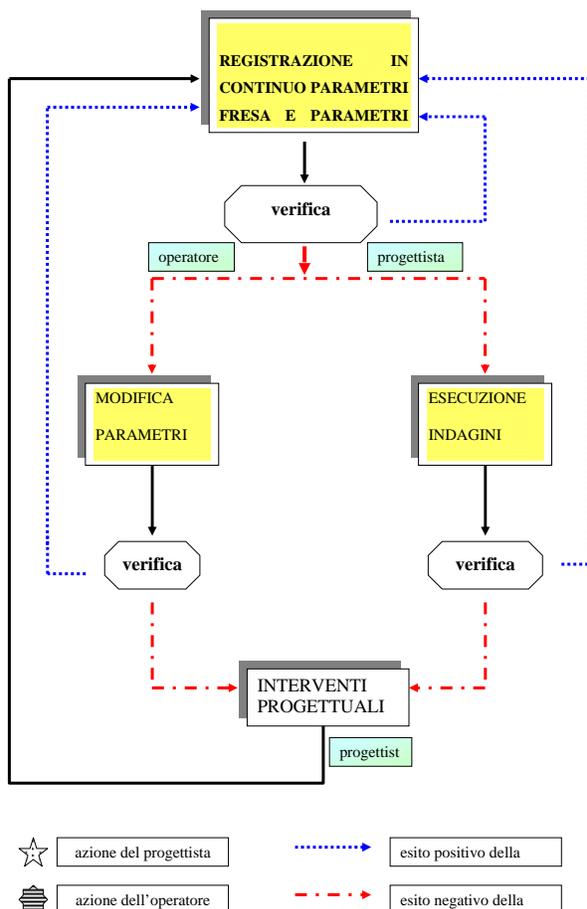
Qualora il contesto riscontrato non corrisponda a nessuno di quelli ipotizzati nella tratta in esame e di conseguenza nessuna delle suddette azioni possa essere applicata, il progettista individuerà attraverso gli adeguati strumenti una diversa soluzione che esula dalle presenti linee guida.

## 8.1 Criteri Progettuali

Una volta definiti in sede di progetto i contesti geomeccanici prevedibili nella tratta in esame ed i relativi eventuali interventi progettuali, assume una rilevante importanza l'individuazione in tempo reale della effettiva situazione riscontrata.

### 8.1.1 Processo di controllo

Il processo di controllo previsto si articola con il flusso logico temporale riportato di seguito.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Punto di partenza ed elemento fondamentale è l’acquisizione in tempo reale ed in modo continuo di alcuni parametri di funzionamento della fresa ritenuti significativi al fine di una prima verifica di massima della situazione dell’ammasso interessato dallo scavo, e per i quali eventuali discostamenti dai valori medi indicati possono essere rappresentativi di variazioni nelle caratteristiche locali e/o d’insieme dell’ammasso.

Unitamente a tali registrazioni, sempre nell’ambito delle misure sistematiche, si prevede l’esecuzione di indagini di tipo sismico, che consentono di avere informazioni su una zona più estesa rispetto al profilo di scavo del cunicolo.

Sulla base dell’analisi dei dati raccolti nella precedente fase di acquisizione sistematica, qualora si riscontrassero elementi indicativi di variazioni nell’ammasso interessato dallo scavo, si potranno percorrere due strade, anche in parallelo.

Si potrà ricorrere immediatamente ad interventi di tipo operativo, agendo sulla regolazione di alcune caratteristiche della fresa stessa in funzione di un loro adeguamento alle effettive condizioni locali riscontrate.

Oppure potrà ritenersi necessario realizzare preventivamente delle indagini integrative sulle caratteristiche dell’ammasso roccioso, mediante opportune indagini geofisiche indirette (sismica, geo-radar) e carotaggi diretti.

I risultati di tali indagini potranno confermare la necessità di adeguamenti operativi delle modalità di avanzamento della fresa stessa, la cui efficacia sarà poi successivamente confermata dal monitoraggio sistematico.

Potrebbe invece accadere che le evidenze delle indagini e/o le misure sistematiche indichino la necessità di ricorrere ad interventi di tipo progettuale, avendo riscontrato una delle situazioni geomeccaniche e geostrutturali con problematiche particolari, previste in sede di progetto.

Per quanto riguarda il controllo a medio (rivestimento in conci completato) ed a lungo termine si rimanda a quanto previsto nel sistema di monitoraggio, riportato nei relativi elaborati di progetto.

## **8.2 Parametri Operativi della Fresa**

Durante la fase di avanzamento della macchina, in maniera sistematica e continua, saranno registrati alcuni dei parametri operativi di funzionamento della fresa, dalla cui analisi (singola o multipla) si otterranno indicazioni relative alla resistenza offerta dall’ammasso allo scavo, e quindi ai litotipi presenti e/o alle condizioni geostrutturali (zone allentate, zone fratturate, zone di faglia o di disturbo tettonico), ed al suo comportamento deformativo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

In particolare sono di interesse i seguenti parametri:

**Registrazioni sistematiche**

- 1) Spinta sulla testa fresante
- 2) Coppia applicata alla testa fresante
- 3) Velocità di avanzamento della testa fresante
- 4) Velocità di rotazione della testa fresante
- 5) Potenza elettrica assorbita dalla macchina per la rotazione della testa fresante

**Registrazioni occasionali**

- 6) Monitoraggio della pressione dei gripper

**Parametri indice deducibili indirettamente dalle registrazioni**

- 7) Avanzamento per giro
- 8) Energia specifica di scavo per la rotazione
- 9) Energia specifica di scavo per l'avanzamento
- 10) Energia specifica di scavo totale

### 8.3 Linee Guida per l'applicazione delle azioni integrative e/o correttive

In premessa è stata richiamata l'impostazione del progetto della galleria scavata con fresa. Nei paragrafi seguenti vengono illustrati i principali criteri che l'operatore e/o il progettista potranno adottare in corso d'opera per il controllo in fase di avanzamento e la gestione delle modifiche (operative e/o progettuali), nell'ambito delle previsioni del progetto costruttivo.

#### 8.3.1 Definizione delle caratteristiche geologiche-geomeccaniche dell'ammasso

- 1) Gli ammassi rocciosi incontrati lungo il tracciato sono descritti sulla base delle caratteristiche geologiche e geomeccaniche individuate in progetto;
- 2) Per comodità di rappresentazione gli ammassi rocciosi incontrati lungo il tracciato sono stati raggruppati in "gruppi geomeccanici";
- 3) A ciascuna formazione sono stati attribuiti in sede di progetto campi di variazione dei principali parametri geomeccanici ( $c$ ,  $\varphi$ ,  $E$ ), corrispondenti alle diverse configurazioni che una formazione può presentare nell'ambito dello stesso gruppo;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>	<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- 4) Tali campi di variazione individuano così una "fascia intrinseca", compresa tra la curva di resistenza inferiore e la curva di resistenza superiore, che definisce univocamente ciascuna porzione di ammasso da un punto di vista geomeccanico;
- 5) Nel corso dei lavori, gli ammassi rocciosi e i terreni vengono descritti sulla base delle caratteristiche litologiche, geostrutturali, geomeccaniche e idrogeologiche che si evidenziano nel corso dell'avanzamento, attraverso il sistema di controllo previsto;
- 6) In particolare, per la parametrizzazione dell'ammasso, cioè per la definizione della sua curva intrinseca, non si farà ricorso a nessun tipo di classificazione, ma a valutazioni dirette attraverso determinazioni sperimentali (prove in situ e/o laboratorio) su campioni opportunamente prelevati.
- 7) I controlli che vengono svolti in corso d'opera consentono di evidenziare qualitativamente le diverse situazioni in cui una formazione può presentarsi nell'ambito di uno stesso gruppo, definito dalla propria fascia intrinseca, come descritto, a titolo esemplificativo, nei punti seguenti:
  - un ammasso che si presenta allentato, con giunti aperti e riempiti e/o fratturato, evidenzierà valori dei parametri geomeccanici del relativo gruppo prossimi alla curva intrinseca inferiore;
  - un ammasso che al contrario si presenta serrato, poco fratturato e con giunti privi di riempimento, evidenzierà valori dei parametri geomeccanici prossimi alla curva intrinseca superiore;
  - la presenza di acqua, anche sotto forma di stillicidi, soprattutto in presenza di litologie ricche di minerali argillosi, comportano valori dei parametri geomeccanici più prossimi alla curva intrinseca inferiore;
  - in un ammasso roccioso stratificato sollecitato in campo elastico, una sfavorevole anisotropia strutturale gioca un ruolo determinante, comportando valori dei parametri geomeccanici più prossimi alla curva intrinseca inferiore;
  - al contrario in un ammasso roccioso stratificato con stati tensionali più elevati che lo sollecitano in campo elasto-plastico, l'effetto di una sfavorevole anisotropia strutturale è inferiore e il comportamento può essere meglio rapportato a un mezzo omogeneo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 8.3.2 Acquisizione dati sistematici

Il controllo continuo sistematico in corso d’opera, unitamente ad eventuali rilievi di tipo sismico o carotaggio, ha lo scopo di mettere a punto le modalità di avanzamento in funzione delle condizioni d’ammasso effettivamente riscontrate.

Essa dipende dalle caratteristiche geomeccaniche e geostrutturali dell’ammasso in rapporto agli stati tensionali indotti all’atto dello scavo.

Le risultanze di questi rilievi consentiranno di analizzare la reale risposta dell’ammasso allo scavo, ai fini della conferma della stabilità a lungo termine dell’opera finita, e di individuare zone “complesse” all’interno delle quali è necessario ricorrere ad azioni correttive e/o interventi integrativi.

Tale analisi consentirà di valutare anche quei fattori difficilmente schematizzabili e non prevedibili a priori, sempre presenti in natura, che agiscono sul comportamento dell’ammasso (e quindi del cavo) previsto teoricamente nel progetto esecutivo.

Tali rilievi consentiranno di verificare qualitativamente le condizioni geomeccaniche-geostrutturali dell’ammasso, mediante analisi dei valori registrati e del loro andamento:

- valori più o meno costanti, con variazioni tendenti ad una rapida stabilizzazione e/o comunque all’interno dei range previsti, evidenziano una situazione di massima omogenea;
- valori al di fuori dei range previsti, con scostamenti rapidamente crescenti o decrescenti e non tendenti ad una stabilizzazione, sono da considerarsi indicativi di situazioni “complesse” in corrispondenza di:
  - a) zone in cui l’ammasso, sollecitato in campo elastico, si presenta lapideo ma fratturato, con stratificazione e sistemi di discontinuità ad orientazione sfavorevole, con conseguenti problemi di sovrascavo;
  - b) zone in cui l’ammasso si presenta con scadenti caratteristiche geomeccaniche e sollecitato in campo elasto-plastico, con conseguenti problemi di avanzamento della fresa, al limite anche oltre le situazioni estreme di blocco previste per la fresa;
  - c) zone in cui l’ammasso, con caratteristiche geomeccaniche particolarmente scadenti, si presenta intensamente fratturato, al limite sciolto, e crea problemi di guidabilità della fresa e rischio di “richiami” non controllabili di materiale dal contorno della sezione, con creazione di estese zone decomprese, e con le conseguenti problematiche legate nel breve termine a difficoltà di avanzamento della fresa, e nel lungo termine ai carichi indotti sul rivestimento definitivo del cunicolo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Se le condizioni geologiche e geomeccaniche ipotizzabili sulla base dei dati raccolti si mantengono nell’ambito di quanto previsto, si prosegue con le modalità in corso di applicazione.
- Se la analisi dei dati dovesse indicare una variazione delle condizioni geologiche e geomeccaniche verso i contesti peggiori previsti, si dovranno apportare alle modalità di avanzamento applicate le opportune azioni correttive e/o integrative, nell’ambito di quanto indicato nei successivi paragrafi.
- Qualora la situazione riscontrata non corrisponda a nessuna di quelle ipotizzate nella tratta in esame, e di conseguenza nessuna delle soluzioni previste possa essere adottata, si dovrà procedere alla definizione degli adeguati interventi in funzione degli effettivi riscontri in corso d’opera.

#### **8.4 Indagini integrative**

Qualora la analisi delle misure sistematiche ne evidenziasse la necessità, si potranno realizzare opportune indagini in avanzamento, al fine di ottenere informazioni dirette sulle caratteristiche geomeccaniche, geostrutturali ed idrogeologiche d’ammasso.

Si potranno eseguire:

- indagini geofisiche di tipo sismico in foro o dalla galleria di prospezione già realizzata;
- indagini geofisiche con geo-radar in foro;
- carotaggi con prelievo di campioni;

la cui disposizione, estensione e sequenza temporale potrà essere definita solo in corso d’opera, alla luce degli ipotizzati scenari da indagare.

In parallelo agli adeguamenti operativi, o in alternativa, sulla base della analisi dei dati sistematici, potranno essere realizzate delle indagini integrative in avanzamento, che in funzione dei contesti geomeccanici – geostrutturali ipotizzati dovranno fornire le informazioni per completare il quadro generale.

- Per valutare il grado di fratturazione dell’ammasso, l’estensione della zona allentata all’intorno dello scavo, nonché le caratteristiche litostratigrafiche in zone di rischio manifesto

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

o potenziale, qualora ritenute sufficienti tali informazioni, saranno realizzate indagini geofisiche in foro, con geo-radar.

- Se ritenuto necessario, al fine di consentire la parametrizzazione geomeccanica diretta dell’ammasso, si realizzeranno inoltre carotaggi in avanzamento con prelievo di campioni, che consentiranno l’osservazione delle caratteristiche litologiche e geo-strutturali, e la determinazione sperimentale delle caratteristiche meccaniche a livello di litotipo rappresentativo.

La disposizione ed estensione di tali indagini integrative potranno essere valutate solo in corso d’opera, alla luce della situazione effettivamente riscontrata o ipotizzata in base ai dati rilevati.

## 8.5 Interventi progettuali

Alla luce di effettive necessità emerse dalla analisi delle misure di controllo sistematiche e/o di manifesta inefficacia degli eventuali interventi di tipo operativo a fronte della situazione ricostruita mediante indagini dirette sulle caratteristiche dell’ammasso, sarà necessario ricorrere alle soluzioni progettuali già previste per particolari contesti critici, consistenti sostanzialmente in:

- interventi di consolidamento al fronte, in avanzamento;
- interventi di consolidamento al contorno del cavo, in avanzamento;
- previsione conci metallici per garantire la sovraspinta di ripartenza.

Si tratta di interventi di tipo provvisoriale, aventi la funzione di consentire l’avanzamento della fresa ed il completamento del rivestimento del cavo in particolari condizioni quali l’attraversamento di zone disturbate tettonicamente, repentine e sfavorevoli variazioni litologiche e stratigrafiche.

La geometria, l’intensità, l’estensione e la tipologia degli interventi in esame potrà essere compiutamente definita solo in corso d’opera, alla luce della situazione effettivamente riscontrata o di quella ipotizzata in base agli elementi raccolti dal sistema di controllo. Nel seguito si riporta una descrizione di massima delle caratteristiche di tali interventi.

Per gli interventi di stabilizzazione in corrispondenza di zone intensamente fratturate, caratterizzate da fenomeni di instabilità del fronte e del cavo, si è prevista la possibilità di realizzazione di pre-consolidamenti in avanzamento mediante elementi strutturali in VTR o tubi in acciaio, valvolati, utilizzati per l’esecuzione di iniezioni selettive a pressione. La fresa verrà prevista con la predisposizione all’installazione di una macchina perforatrice idraulica dotata di sistema “PREVENTER”.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>	<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

In funzione di quanto riscontrato od ipotizzato, si potrà consolidare solo il nucleo di avanzamento, ritenendo tale intervento sufficiente a garantire la stabilità del fronte e del cavo in funzione delle caratteristiche della fresa, oppure realizzare una fascia consolidata anche al contorno del cavo, qualora le condizioni geostrukturali dell'ammasso lo richiedessero.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>	<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 9 Interferenza Galleria Peloritani

Il tracciato della linea ferroviaria sovrappassa alla pk 15+513 circa la galleria esistente dei Peloritani. La distanza tra la calotta della galleria e il concio è pari a circa 1.5m.

Da un punto di vista geotecnico l'intersezione cade all'interno della formazione delle ghiaie e sabbie di Messina con copertura di circa 45m.

In relazione alla metodologia di scavo utilizzata gli interventi previsti sono mirati al controllo dello stato tensionale e deformativo indotto dallo scavo della TBM sulla galleria esistente e la messa in sicurezza del cavo per garantire la fase di esercizio.

In particolare si prevede di eseguire una centinatura continua del cavo della galleria esistente per una lunghezza pari a 50m mediante centine HEA 180/50cm. Dovranno inoltre essere previste misure dello stato tensionale e deformativo del rivestimento della galleria esistente mediante, almeno in parte, strumenti in grado di permettere la lettura in continuo dell'evoluzione dei dati durante le fasi di passaggio TBM.

Si prevede lo sviluppo di una sezione di monitoraggio tensionale e deformativa ogni 10m (TOT 5 minimo).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 10 Sismica in galleria

Scopo del presente paragrafo è definire le linee guida e le considerazioni tecniche/teoriche che hanno condotto alla valutazione degli effetti dell'azione sismica sulle opere in sotterraneo.

Le strutture sotterranee, come noto, hanno caratteristiche che fanno in modo che il loro comportamento sismico sia diverso dalla maggior parte delle strutture di superficie. Tra queste caratteristiche le più evidenti sono

- la completa realizzazione in terreni o rocce;
- la significativa lunghezza delle opere;
- la risposta di un'opera in sotterraneo ad un evento sismico è principalmente governata dal comportamento del terreno circostante e non dalle caratteristiche inerziali della struttura. Ciò è riconducibile al fatto che la massa della struttura è generalmente di ordine di grandezza inferiore rispetto alla massa del terreno circostante, la quale risulta inoltre completamente confinata dal terreno con relativi evidenti effetti di smorzamento del fenomeno sismico.

Vari studi hanno documentato i danni riportati alle strutture sotterranee in seguito ad eventi sismici. ASCE (1974) descrive i danni avvenuti nell'area di Los Angeles come risultato del terremoto di San Fernando del 1971; JSCE (1988) descrive la performance di diverse strutture sotterranee, compreso un tunnel immerso, durante un sisma in Giappone; diversi autori hanno presentato lavori propri per caratterizzare il comportamento di tali strutture, fornendo così la possibilità di creare un database sui danni avvenuti in oltre 200 casi storici.

Dall'analisi di tali dati è emerso che storicamente le opere in sotterraneo hanno evidenziato un minor livello di danneggiamento rispetto alle opere fuori terra. I motivi principali di questo maggior livello di sicurezza rispetto alle opere in superficie possono essere sintetizzati come di seguito:

- la probabilità di raggiungere la frequenza di risonanza della struttura decresce al crescere del confinamento laterale offerto dal terreno circostante; il danno riportato cala con l'aumento della profondità alla quale si trova il tunnel. Tunnel profondi sono meno vulnerabili nei confronti dello scuotimento sismico rispetto ai tunnel superficiali.
- al crescere della profondità diminuiscono le onde secondarie superficiali che risultano la maggior causa di danneggiamento delle opere infrastrutturali fuori terra;
- movimenti ad alta frequenza possono implicare la frantumazione locale di roccia o di

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

calcestruzzo lungo i piani di debolezza. Queste frequenze, che rapidamente si attenuano con la distanza, si manifestano con più probabilità a piccole distanze dalla faglia che ha provocato il sisma;

- mediamente le caratteristiche del terreno aumentano con la profondità.

In generale, nonostante le deduzioni sopra riportate, non è possibile considerare un'opera in sotterraneo non sensibile alle azioni sismiche lungo l'intero sviluppo della galleria. In particolare la cause di danneggiamento possono essere suddivise in tre categorie (G.Barla et al – *“Soluzioni analitiche e numeriche nella progettazione sismica delle opere in sotterraneo”* – MIR2008):

- danneggiamento dovuto allo scuotimento (influenza soprattutto nelle sezioni “sensibili” come i passaggi infrastrutturali, litostratigrafici, etc.);
- danneggiamento dovuto allo spostamento di faglia (situazione locale – risolvibile con accorgimenti progettuali legati alla tipologia del movimento previsto che deve essere eventualmente puntualmente approfondito in fase di progettazione di dettaglio);
- danneggiamento conseguente ad una instabilità che si verifica nel terreno (liquefazione, frane, ecc...presente solo in condizioni particolari. Non riscontrabile nelle opere in oggetto).

**Lo scuotimento** del terreno si riferisce alla deformazione del terreno prodotta dalle onde sismiche che si propagano nella crosta terrestre. I fattori principali che influenzano il danno dovuto a scuotimento sono:

- la forma, le dimensioni e la profondità della struttura;
- le proprietà del terreno o della roccia circostante;
- le proprietà della struttura; il grado di scuotimento sismico.

Come noto, tali effetti evidenziano maggiori conseguenze in termini di danneggiamenti in:

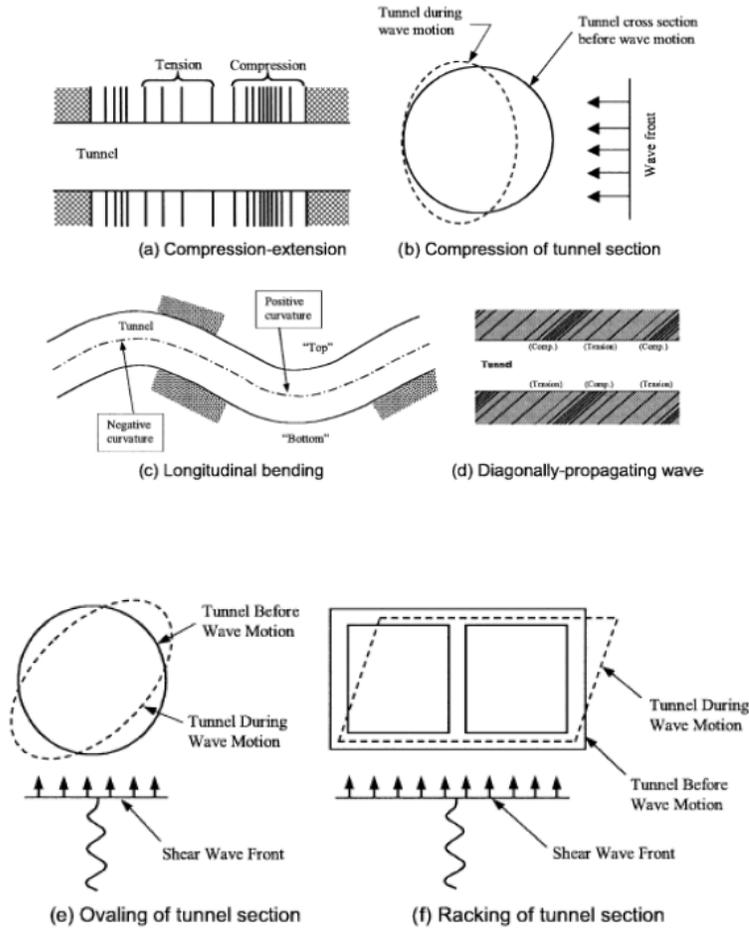
- zone di attraversamento di faglia;
- zone in cui si hanno differenti caratteristiche meccaniche o geometriche;
- zone di bassa copertura;

Per ciò che concerne l'incremento dello stato di sollecitazione indotto in fase sismica, nella pratica progettuale, è comune approssimare il comportamento di un tunnel a quello di una trave elastica soggetta a deformazioni imposte dal terreno circostante. Si considerano tre tipi di deformazioni che

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

esprimono la risposta delle strutture sotterranee nei confronti dell'input sismico:

- a. compressione ed estensione assiale;
- b. flessione longitudinale;
- c. distorsione sezionale.



Le deformazioni assiali sono generate dalle componenti delle onde sismiche che producono movimenti paralleli all'asse del tunnel e che causano alternativamente compressione e trazione. Le deformazioni flessionali sono causate da quelle componenti che producono movimento perpendicolare all'asse del tunnel. Le distorsioni della sezione si sviluppano quando le onde di taglio si propagano perpendicolarmente o quasi all'asse del tunnel. Considerazioni di progetto per questo tipo di deformazione sono fatte nella direzione trasversale. Il comportamento generale

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>	<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

dell'allineamento può essere simulato come quello di una struttura interrata soggetta a deformazioni del terreno in condizioni di stato tensionale bidimensionale. Le onde che si propagano diagonalmente sottopongono diverse parti della struttura a spostamenti fuori fase, assimilabili agli effetti di un'onda longitudinale di compressione e rarefazione che viaggia lungo la struttura. In generale, l'ampiezza più grande di spostamenti è associata a lunghezze d'onda maggiori, mentre le massime curvature si hanno in corrispondenza di lunghezze d'onda brevi, con ampiezze degli spostamenti relativamente piccole. La valutazione della risposta sismica della struttura richiede perciò la comprensione e la capacità di valutazione dello scuotimento sismico previsto. Si presentano tre passaggi principali:

1. Definizione dell'ambiente sismico e sviluppo dei parametri sismici utili nell'analisi.
2. Valutazione della risposta del terreno allo scuotimento, che include la rottura delle faglie e le deformazioni del terreno.
3. Valutazione del comportamento strutturale indotto dallo scuotimento sismico che comprende lo sviluppo di un criterio di applicazione del carico sismico, la previsione della risposta alle deformazioni del terreno e le considerazioni di particolari questioni di progetto sismico.

La valutazione analitica e numerica di dettaglio delle sollecitazioni assiali e flessionali indotte nel rivestimento in fase sismica è rimandata ad una fase successiva di progettazione. Nella fase di progettazione definitiva si è tenuto conto dell'effetto di tali azioni basandosi su esperienze pregresse in contesti similari; sono state, infatti, previste sezioni armate in tutte le zone ritenute sensibili; gli approfondimenti della fase conoscitiva che saranno eseguiti in sede di progettazione esecutiva permetteranno di valutare con dettaglio i parametri che influenzano le analisi numeriche dinamiche.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 11 MONITORAGGIO

Nel seguente Capitolo si descrive il piano di monitoraggio Geotecnico e Topografico da adottare, per il controllo delle varie fasi costruttive e di esercizio, per la realizzazione delle opere necessarie ai collegamenti stabili fra Sicilia e Continente.

Lo scopo del monitoraggio, in accordo con il metodo ADECO-RS adottato in progettazione è quello di tenere sotto controllo l'evolversi della risposta tenso-deformativa dell'ammasso allo scavo e di verificare la corrispondenza tra il comportamento reale delle strutture in fase di realizzazione ed il comportamento ipotizzato nelle varie fasi progettuali.

Il sistema di monitoraggio è stato progettato in modo da poter fornire, nel modo più completo e rapido possibile, tutti gli elementi necessari ad effettuare un'analisi della situazione in corso d'opera e della sua possibile evoluzione, finalizzata alla definizione di eventuali azioni correttive (intensificazione delle misure, installazione di ulteriore strumentazione, interventi sulle fasi esecutive, modalità di avanzamento, etc.) mirate ad evitare il manifestarsi di situazioni di pericolo.

L'organizzazione del sistema in questione prevede l'utilizzo di strumentazione topografica e geotecnica disposta a formare sezioni di monitoraggio distribuite lungo tutto il tracciato dell'opera. La disposizione delle sezioni è correlata alle condizioni al contorno quali le condizioni geomeccaniche, la posizione rispetto al tracciato, la presenza di interferenze antropiche mentre la frequenza di lettura è correlata principalmente alla successione delle fasi lavorative.

Il piano di monitoraggio prevede un monitoraggio "in corso d'opera" effettuato durante la realizzazione dell'opera stessa e un monitoraggio "in fase d'esercizio dell'opera" da effettuare anche dopo la fine delle lavorazioni in modo da consentire la registrazione degli effetti legati ad eventuali variazioni a lungo termine dei parametri monitorati.

Nel Capitolo verranno trattati i seguenti argomenti:

- Tipologie di monitoraggio previsto;
- Monitoraggio delle gallerie naturali;
- Monitoraggio delle gallerie artificiali e imbocchi;
- Monitoraggio delle aree instabili;
- Monitoraggio delle strutture preesistenti;
- Definizione e descrizione della strumentazione e dei parametri di monitoraggio
- Frequenze di lettura in corso d'opera;
- Definizione delle soglie di attenzione e di allarme.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Descrizione del sistema di gestione dati.

## 11.1 Tipologie di monitoraggio previsto

Il monitoraggio geologico, geotecnico e strutturale è suddiviso in tre tipologie in base alle tempistiche in cui viene eseguito:

- monitoraggio “preventivo” effettuato precedentemente all’inizio delle lavorazioni;
- monitoraggio “in corso d’opera” effettuato durante le fasi di costruzione dell’opera;
- monitoraggio “in fase di esercizio dell’opera” effettuato dopo il termine dei lavori di realizzazione dell’opera;

Il monitoraggio preventivo è previsto per tutte quelle aree e strutture particolarmente a rischio (come ad esempio aree potenzialmente instabili, infrastrutture fatiscenti e fabbricati che ricadono nelle immediate prossimità delle gallerie da realizzare) in modo da acquisire dati ancor prima della costruzione dell’opera, al fine di intervenire preventivamente e/o valutare al meglio gli eventuali effetti indotti. Una sezione di monitoraggio preventivo è ad esempio la sezione di monitoraggio esterna superficiale adottata per il monitoraggio di eventuali aree instabili. La strumentazione geotecnica installata permetterà di definire la tipologia, la geometria e l’evoluzione nel tempo di eventuali movimenti franosi, precedentemente alla realizzazione dell’opera.

Il monitoraggio in corso d’opera invece sarà finalizzato a valutare gli andamenti dei vari parametri considerati significativi, in relazione alle fasi costruttive, ai materiali scelti ed alle geometrie in gioco, con particolare riguardo alla sicurezza.

La strumentazione geotecnica prevista per il monitoraggio in corso d’opera sarà tale da consentire l’acquisizione dei dati relativi ai parametri significativi sia per la verifica delle corrispondenze tra comportamento reale e comportamento ipotizzato, sia per l’eventuale attivazione di procedure di gestione del progetto (fasi esecutive, modalità di avanzamento, ecc.) mirate ad evitare il manifestarsi di situazioni di pericolo.

Attraverso il monitoraggio in corso d’opera si ottiene la risposta tenso-deformativa degli ammassi all’azione dello scavo, che è prima oggetto di previsione (al momento della progettazione), quindi oggetto di lettura e interpretazione (al momento della costruzione), ai fini di tarare il modello progettuale in corso d’opera.

Il monitoraggio in fase di esercizio invece avrà l’obiettivo principale di registrare eventuali variazioni a lungo termine dei parametri geotecnici e quindi di permettere la valutazione delle cause,

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

strutturali o esterne di qualsiasi natura, che abbiano determinato tali variazioni.

Il monitoraggio in fase di esercizio si basa sulla stessa strumentazione geotecnica del monitoraggio in corso d'opera, ma necessariamente su sistemi centralizzati di acquisizione dati e postazioni remote.

Un'altra differenza tra monitoraggio in corso d'opera ed in esercizio è la cadenza di esecuzione delle misure, in generale più fitta in corrispondenza delle fasi costruttive, e più a lungo termine per quanto riguarda il monitoraggio in fase di esercizio.

Le sezioni strumentate previste nel monitoraggio di esercizio sono costituite essenzialmente da strumenti che permettono misure di deformazione, come le barrette estensimetriche per calcestruzzo, utilizzate per ottenere misure sullo stato tenso-deformativo dei rivestimenti definitivi delle gallerie. La loro distribuzione è riportata nei profili geomeccanici delle gallerie da realizzare.

Inoltre sono previste sezioni strumentate con sistemi centralizzati e postazioni remote, che consentiranno di registrare i dati in tempo reale ed in maniera automatica in tutte quelle aree a maggiore rischio come ad esempio le aree geologicamente instabili.

## **11.2 Monitoraggio per lo scavo meccanizzato**

Nello scavo meccanizzato delle gallerie, si prevede l'utilizzo della macchina scudata che permette lo scavo, la stabilizzare della zona d'avanzamento e la realizzazione del rivestimento definitivo. Durante l'avanzamento è lo scudo a bilanciare le pressioni dell'ammasso roccioso sostenendo lo scavo, mentre non sono necessarie tecniche particolari per il sostegno del fronte. Ultimato lo scavo si procede con il montaggio degli anelli del rivestimento definitivo che completano l'opera. Le fasi dello scavo meccanizzato necessitano di un monitoraggio continuo capace di tenere sotto controllo le deformazioni. Di seguito verranno espone le sezioni di monitoraggio da utilizzare per tali attività.

### **11.2.1 Sezione di monitoraggio esterna (da piano campagna).**

Queste sezioni dovranno essere previste per tratti di galleria particolari in corrispondenza di coperture fino ad almeno 1.5 volte il diametro della galleria.

- N° 5 capisaldi sul piano campagna, disposti lungo un allineamento ortogonale alla galleria; (1 allineamento ogni 20 m e comunque in funzione della morfologia locale);

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- N° 3 assestimetri, e 2 inclinometri spinti ad una profondità tale da superare di almeno 5 metri l'estradosso dell'arco rovescio (almeno due allineamenti in corrispondenza di ogni imbocco);
- N°1 piezometro (nel medesimo allineamento e con uguali profondità degli assestimetri e degli inclinometri).

### 11.2.2 Sezione di monitoraggio interno.

La sezione prevedrà la messa in opera di strumentazioni solo interne al cavo e sarà finalizzata al controllo tensionale del rivestimento definitivo in galleria. A tale scopo si adotteranno “conci strumentati”, cioè particolari conci al cui interno, in fase di costruzione degli stessi, verranno inseriti strumenti per la misura dello stato tenso-deformativo (n.8 barrette estensimetriche, con sensore della temperatura per ogni concio strumentato). Inoltre sarà previsto il fissaggio di una cella di pressione per la misura delle variazioni di pressione tra ammasso roccioso e struttura.

- N° 3 conci strumentati con n° 8 barrette estensimetriche per concio, n° 4 mire ottiche agli spigoli dei conci e n°1 cella di pressione per concio;
- N°1 sistema di acquisizione dati per ogni concio per la centralizzazione della strumentazione.

La strumentazione verrà attivata all'uscita dei conci dallo scudo.

### 11.2.3 Sezione di monitoraggio urbano.

Prevede in superficie l'installazione della stessa strumentazione prevista per la sezione di monitoraggio esterno. In galleria invece prevede la strumentazione della sezione del monitoraggio interno.

Mentre nelle prossimità di fabbricati ed al loro interno:

- Capisaldi installati a terra aventi equidistanza  $\leq 10$ m.
- Staffe di livellazione da fissare a parete aventi equidistanza  $\leq 10$ m.
- Fessurimetri per il controllo delle lesioni preesistenti (dove necessario).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Elettrolivelle e clinometri da parete (dove necessario).

#### 11.2.4 Monitoraggio parametri macchina.

Alcuni dei parametri macchina da tenere sotto controllo sono:

- lunghezza di perforazione [mm];
- velocità istantanea di avanzamento [mm/min];
- velocità di rotazione della testa;
- coppia applicata alla testa [MNm];
- spinta applicata sulla testa (totale e per gruppi di martinetti);
- spinta dei martinetti sui conci (totale e per gruppi di martinetti);
- pressione all'interno della camera di scavo [bar];
- quantità di smarino[m<sup>3</sup>];
- quantità di additivi fluidificanti aggiunti;
- pressioni e volumi per ogni punto di iniezione di intasamento,

Eventuali ulteriori dati saranno funzione del particolare tipo di macchina prescelto.

La loro acquisizione sarà effettuata in continuo e la gestione verrà effettuata mediante sistema di gestione dati GIS tipo TBM Web.

### 11.3 Monitoraggio delle gallerie artificiali

#### 11.3.1 Monitoraggio superficiale galleria artificiale

Il monitoraggio superficiale da piano campagna prevede l'installazione di strumentazione topografica e geotecnica e prevede la seguente strumentazione:

- n°6 capisaldi per allineamento a tergo dei singoli lati delle paratie installati a piano campagna, disposti lungo un allineamento perpendicolare al tracciamento delle paratie. Si prevede la realizzazione di almeno n.1 allineamento ogni 30 metri di galleria artificiale.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- n°2 tubi inclinometrici (per ogni allineamento), eventualmente attrezzati con sonde biassiali removibili, posti esternamente alla zona dello scavo in prossimità di eventuali interferenze, spinti ad una profondità che superi di almeno 5m la base delle paratie.
- n°1 piezometro tipologia da definirsi in funzione della permeabilità (per ogni allineamento) spinto in profondità di almeno 5m al di sotto della quota di base dei diaframmi.

### 11.3.2 Monitoraggio degli edifici presenti in prossimità dell'opera

Si prevede la seguente strumentazione:

- Staffe livellometriche sulla sommità della facciata esterna degli edifici e capisaldi a terra corrispondenti il cui numero e posizione sarà necessariamente definito in funzione delle caratteristiche dei singoli edifici e dell'area di intervento. La strumentazione dovrà essere installata in numero non inferiore a tre per lato edificio, ed ad una distanza non superiore a 10m.
- Fessurimetri elettrici, ove vengono evidenziate lesioni sugli edifici;
- N°1 inclinometri da parete o elettrolivelle biassiali per ogni fabbricato.

### 11.3.3 Monitoraggio paratie galleria artificiale

In corrispondenza di ogni allineamento relativi al monitoraggio superficiale si prevede l'installazione dei seguenti strumenti:

- n°2 Barrette estensimetriche annegate nel getto in corrispondenza dei livelli della gabbia coincidenti con le profondità a cui verranno poi posti i livelli di puntelli o ancoraggi provvisori. Le barrette installate nei pannelli strumentati sono poste a coppie (una lato contro terra, l'altro lato scavo). La direzione delle barrette è parallela all'asse di scavo del pannello strumentato.
- n° 1 mira ottica immediatamente al di sotto dei puntelli o ancoraggi provvisori, ad interasse, orizzontale, di circa 10m .
- n°1 inclinometro (eventuale) installato all'interno del pannello strumentato. Da posizionare immediatamente dopo la posa in opera della gabbia d'armatura del pannello e prima del getto dello stesso, in modo da essere inglobato nella struttura. Il tubo è spinto fino alla base di scavo del pannello.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- n°2 celle di carico per puntello previsto in progetto. Poste all'estremità nell'intercapedine tra il puntello strumentato e la paratia, per la misura dei carichi agenti sui puntelli.
- n.1 cella di carico toroidale, da installare sui tiranti in corrispondenza dei pannelli strumentati.

## 11.4 Monitoraggio imbocchi

Le opere di imbocco sono tutte quelle lavorazioni necessarie alla trasformazione di un versante naturale, capaci di renderlo stabile per il successivo attacco del fronte. Le basse coperture e la presenza di infrastrutture nelle vicinanze complicano il quadro. In tali aree per la stabilizzazione dell'ammasso si necessita di diversi elementi quali: paratie, tiranti gallerie artificiali ecc.

Il monitoraggio geotecnico e topografico risulta necessario per la buona riuscita delle lavorazioni.

### 11.4.1 Monitoraggio superficiale imbocchi

Queste sezioni strumentate sono costituite da almeno n. 2 allineamenti. Ogni allineamento prevede la seguente strumentazione geotecnica (si veda anche sezione esterna da piano campagna del monitoraggio galleria naturale).

- n° 5 capisaldi sul piano campagna, disposti lungo un allineamento ortogonale alla galleria;
- n° 3 assestimetri, e 2 inclinometri spinti ad una profondità che superi di almeno 5m l'estradosso dell'arco rovescio.
- n°1 piezometro (nel medesimo allineamento e con uguali profondità degli assestimetri e degli inclinometri)

Si prevede di installare le sezioni ad una distanza di circa 40m l'una dall'altra e comunque in funzione della morfologia locale.

### 11.4.2 Monitoraggio paratie imbocchi

Le paratie di imbocco saranno attrezzate mediante mire ottiche sulla trave di coronamento della paratia di imbocco, poste tra loro ad una distanza di circa 10m.

Sono da prevedersi inoltre celle di carico toroidali da installare sui tiranti. Almeno n.1 cella per ogni ordine di tiranti.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 11.5 Monitoraggio Aree Instabili

Il monitoraggio ante operam delle aree instabili è stato sviluppato nel corso della campagna geognostica del 2010 ed è illustrato nella relazione Geotecnica Generale. Ad integrazione di quanto contenuto in tale documento, dove i tracciati delle gallerie interagiscono direttamente con i corpi di frana riconosciuti e cartografati è da considerare che la realizzazione delle opere di progetto comporterà una variazione degli stati tensionali agenti sulla scarpata potenzialmente in grado di indurre deformazioni che si traducono in riattivazioni e/o attivazioni di fenomeni franosi. Pertanto per controllare la risposta deformativa del versante si prevede un piano di monitoraggio, che si esplica tramite l'installazione di strumentazione di monitoraggio topografico e geotecnico da posizionare nei punti più significativi del versante. Le sezioni strumentate tipo previste per le aree geologicamente instabili sono costituite dalla seguente strumentazione:

- Estenso-inclinometri eventualmente attrezzati con sonde estenso-inclinometriche triassiali removibili, spinti ad una profondità tale da oltrepassare l'eventuale superficie di scivolamento (ovvero fino al raggiungimento del substrato stabile del movimento franoso).
- Piezometri.
- Posizionamento di una rete di mire ottiche per il controllo periodico o continuo di eventuali spostamenti tramite stazione totale topografica automatica.
- Stazione interferometrica terrestre SAR da impiegare nei casi più critici.

### 11.5.1 Monitoraggio delle strutture preesistenti interessate dall'area instabile

Si prevedono i seguenti strumenti:

- Staffe livellometriche sulla sommità della facciata esterna degli edifici e capisaldi a terra corrispondenti il cui numero e posizione sarà necessariamente definito in funzione delle caratteristiche dei singoli edifici e dell'area di intervento. La strumentazione dovrà essere installata in numero non inferiore a tre per lato edificio, ed ad una distanza non superiore a 10m.
- Fessurimetri elettrici, ove vengono evidenziate lesioni sugli edifici;
- Inclinometri da parete o elettrolivelle biassiali per ogni fabbricato;
- Posizionamento di una rete di mire ottiche per il controllo periodico o continuo di eventuali spostamenti tramite stazione totale topografica automatica.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- In funzione dell'importanza del movimento franoso in esame e della sua criticità verrà stabilito il numero di strumenti da installare.

Si evidenzia che per la corretta gestione ed interpretazione dei dati di monitoraggio è raccomandabile seguire le seguenti fasi di rilievo:

- Letture in fase ante operam ovvero un monitoraggio preventivo e conoscitivo per valutare l'effettivo stato di attività dei movimenti franosi;
- Letture in corso d'opera per valutare l'entità degli eventuali spostamenti e comprenderne le relazioni con le attività esecutive di lavoro;
- Letture in fase di esercizio per verificare l'evoluzione dei dissesti eventualmente attivati o riattivati e valutare l'idoneità delle contromisure poste in opera in fase di realizzazione.

## 11.6 Monitoraggio strutture preesistenti

Tutte le lavorazioni sia principali che secondarie legate alle opere in sotterraneo possono interferire con le preesistenze, per tenere sotto controllo gli effetti prodotti occorre munirsi di un sistema di monitoraggio.

Il tipo di strumentazione è differenziato in funzione dell'elemento/i da monitorare, prevedendone una distribuzione spaziale che dipende dalle diverse situazioni costruttive riscontrate. In generale, sono previste applicazioni di strumenti su delle porzioni di struttura come, facciate di edifici, marciapiedi, infrastrutture preesistenti di ogni tipo. Tale conformazione standard andrà comunque adattata al contesto, cercando ove possibile di rispettare le distanze tra gli strumenti riportate nelle sezioni strumentate.

### 11.6.1 Monitoraggio strutture presenti

Si prevede la seguente strumentazione:

- Staffe livellometriche sulla sommità della facciata esterna degli edifici e capisaldi a terra corrispondenti il cui numero e posizione sarà necessariamente definito in funzione delle caratteristiche dei singoli edifici e dell'area di intervento. La strumentazione dovrà essere installata in numero non inferiore a tre per lato edificio, ed ad una distanza non superiore a 10m.

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</p>	<p><i>Codice documento</i> SF0132_F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>	

- Fessurimetri elettrici, ove vengono evidenziate lesioni sugli edifici;
- inclinometri da parete o elettrolivelle biassiali sulle facciate esterne degli edifici dove si ritiene necessario;
- Stazioni totali topografiche per monitorare automaticamente eventuali movimenti;

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</p>	<p><i>Codice documento</i> SF0132_F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>	

## ALLEGATO 1 – MONITORAGGIO

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 12 Strumentazione Rilievi e Misure da effettuare

Il programma di monitoraggio progettato prevede la verifica dei seguenti parametri tramite misure effettuate con idonea strumentazione.

Vengono descritte di seguito le strumentazioni per le tipologie di misure previste.

### 12.1 Misura topografica capisaldi e staffe di livellazione

#### Generalità

Si prevede l'installazione in superficie di capisaldi topografici a terra e di staffe di livellazione sulla facciata della struttura corrispondente, per controllare la subsidenza del piano campagna e gli effetti conseguenti sulla struttura stessa. Il rilievo consiste nel controllo della subsidenza del piano campagna tramite letture eseguite con livello elettronico, comparando le quote registrate con quelle relative alla lettura di zero.

#### Campi di impiego

Saranno eseguite livellazioni topografiche in corrispondenza sia delle opere da realizzare, che di alcune strutture ricadenti all'interno dell'eventuale bacino di subsidenza indotto degli scavi.

#### Descrizione e modalità esecutive

I capisaldi dovranno presentare, ben visibile sulla parte superiore, una borchia metallica con testa semisferica per la battuta topografica, si distinguono nel tipo CSA e CSB.

Per il tipo CSA la borchia dovrà essere collegata tramite bullonatura o elettro-saldatura ad una barra di ferro ad aderenza migliorata di idonea lunghezza ( $L \geq 120\text{cm}$ ). Successivamente verrà inserita all'interno di un foro nel terreno di pari lunghezza e cementata con malta in modo da renderlo solidale al terreno. Il tutto dovrà essere protetto da pozzetto in cls., con coperchio carrabile in ghisa.

Per il tipo CSB la borchia dovrà essere collegata tramite bullonatura o elettro-saldatura su apposita barra in ferro, che verrà immersa all'interno del getto di un pilastro realizzato in cls. di idonea lunghezza 80cm e diametro 10cm.

L'utilizzo del primo tipo CSA, con pozzetto carrabile è indicato per situazioni in cui risulta necessario garantire la protezione dello strumento e la circolazione di veicoli nelle sue immediate vicinanze.

Il secondo tipo CSB, invece si addice a situazioni in cui non è previsto il transito veicolare.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le staffe invece dovranno essere collocate mediante barra metallica infissa direttamente sulla struttura portante dell'opera da monitorare.

#### Documentazione

Per ogni caposaldo deve essere redatta una apposita monografia contenente tutte le informazioni idonee che permetteranno di rintracciarne la posizione. Detta monografia dovrà essere corredata da uno schizzo planimetrico con almeno tre distanze da punti particolari ben riconoscibili sul territorio, inoltre dovrà riportare le coordinate spaziali, correlati con la rete geodetica nazionale dell'I.G.M. e con quella utilizzata per la redazione della cartografia.

I dati vengono graficati nel diagramma “spostamenti verticali - tempo” che permette di valutare l'andamento delle deformazioni per la ricostruzione del bacino di subsidenza legato alle lavorazioni.

## **12.2 Misura topografica Stazione Totale Automatica**

#### Campi di impiego

La stazione totale permetterà di monitorare automaticamente eventuali movimenti di preesistenze (come ad esempio fabbricati) interessate dalla realizzazione delle gallerie in aree urbane o interessate da aree geologicamente instabili.

#### Descrizione e modalità esecutive

Il monitoraggio prevede l'utilizzo di una stazione di misura in postazione fissa montata su speciali alloggiamenti da predisporre. Lungo l'area da monitorare interessata dallo scavo delle gallerie, saranno fissati dei prismi ottici disposti sulle facciate degli edifici in numero da concordare. Esternamente alla area da monitorare dovranno essere messi in opera n. 3-4 prismi per verificare la stabilità della stazione fissa attraverso il controllo automatico della stazione totale medesima.

Tali prismi esterni alla area da monitorare saranno installati su manufatti esistenti ritenuti stabili e cioè non influenzati dai lavori in esecuzione.

La stazione totale automatica sarà programmata per eseguire misure di tutti i prismi installati in continuo, 24 ore su 24, senza interruzioni se non programmata per eventuali interruzioni.

L'architettura del sistema prevede che la stazione di misura venga gestita completamente da un personal computer a cui è collegata mediante una connessione via radio o via cavo.

I dati rilevati vengono immediatamente archiviati in un database. Al termine di ogni ciclo di lettura, il computer replicherà il database aggiornato e procederà all'analisi automatica dei dati in esso

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

contenuti. Tale funzione è svolta da un software che calcolerà una serie di parametri e verificherà la loro congruenza con le soglie definite in fase progettuale e controllerà lo stato di funzionamento di tutte le componenti costituenti il sistema (pc e strumento topografico ad esso collegato).

Successivamente a questa validazione automatica del dato, che sarà effettuata al termine di ogni ciclo di misura, è prevista una validazione manuale effettuata dall'Amministratore del Sistema (A.S) con cadenza programmata ed ogni qualvolta la procedura di validazione automatica del dato rilevasse delle anomalie funzionali o valori fuori soglia.

#### Documentazione

Verranno redatti report grafici e numerici degli spostamenti dei punti monitorati nelle tre componenti spaziali.

### **12.3 Misura topografica Interferometria SAR terrestre**

L'interferometria SAR terrestre è una tecnica innovativa (che sfrutta gli stessi principi dell'interferometria SAR da satellite) per il monitoraggio delle deformazioni utilizzata da alcuni anni per il monitoraggio di frane, scarpate in roccia, edifici storici e opere ingegneristiche. Questa tecnica consente di generare in continuo (sia di giorno che di notte ed in qualsiasi condizione atmosferica) mappe 2D degli spostamenti dell'area indagata e completamente in remoto (senza cioè la necessità di installare sensori o target), fornendo così un significativo vantaggio rispetto alle tradizionali tecniche topografiche e costituendo un valido strumento per il monitoraggio di allerta in tempo reale.

Questa tecnica si basa sulla misura delle variazioni di fase d'onda elettromagnetica, da cui vengono ricavati gli spostamenti dello scenario investigato lungo la linea di vista dello strumento, anche nelle più avverse condizioni meteo.

I principi di funzionamento della tecnica T-InSAR (Terrestrial interferometric synthetic aperture radar) sono simili a quelli dell'interferometria SAR da satellite. L'apertura sintetica è ottenuta muovendo un'antenna lungo un binario, mentre nella tecnica da satellite l'antenna si muove lungo un'orbita.

La tecnica interferometria SAR da terra presenta, rispetto a quella satellitare, il vantaggio di frequenza di acquisizione del dato elevata (pochi minuti). Tuttavia, il sistema terrestre, sebbene con un campo di operabilità di qualche km, è in grado di osservare un areale limitato rispetto a quello ottenuto da satellite. La tecnica interferometria SAR da terra è quindi maggiormente indicata per lo studio di singole frane (o versanti di limitata estensione). Grazie alla tecnica SAR si ottengono

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

immagini 2D dello scenario illuminato dal radar con alta risoluzione.

La risoluzione dei pixel varia da meno di un metro a pochi metri in funzione della distanza dello scenario investigato. La mappa di spostamento è calcolata attraverso la differenza di fase delle immagini radar acquisite in tempi diversi su tutti i pixel dell'immagine; questo processo è denominato Interferometria.

Si possono ottenere inoltre serie temporali di spostamento e confrontarle con i fattori che controllano l'evoluzione del versante: attività antropiche, regime pluviometrico, temperatura, livello di falda ecc. L'accuratezza degli spostamenti è dell'ordine del millimetro o minore, e varia in funzione della distanza dello scenario e delle condizioni atmosferiche.

La tecnica di interferometria SAR terrestre può operare in continuo e in qualsiasi condizione atmosferica e di illuminazione, completamente in remoto (non richiede l'installazione di sensori o target nello scenario da investigare). L'acquisizione del dato è automatica con una massima frequenza di campionamento di 5-6 minuti.

## 12.4 Misura geotecnica inclinometrica

### Generalità

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.

Tali misure vengono effettuate introducendo nel tubo una apposita sonda inclinometrica che, dotata di sensori servoaccelerometrici di elevata precisione, consente di misurare l'inclinazione del tubo in corrispondenza di una determinata sezione.

### Campi di impiego

Le principali applicazioni degli inclinometri sono essenzialmente:

- monitoraggio delle deformazioni degli strati di terreno sovrastanti e adiacenti le gallerie, opere in sotterraneo durante le fasi di scavo, con applicazioni degli strumenti in fori verticali eseguiti dal piano campagna;
- controllo della stabilità delle opere di contenimento, con applicazioni analoghe al punto precedente;
- controllo dei movimenti del terreno in generale;
- verifica dello stato deformativo degli strati di terreno adiacenti ad uno scavo ed è quindi impiegato per l'analisi e la risoluzione di molte problematiche di carattere geotecnico.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Lo stato deformativo del tubo è rilevato mediante misure condotte con sonde rimovibili o fisse. Di solito si effettuano misure mediante sonde rimovibili, anche se è prevista la possibilità, una volta individuate le zone critiche o per necessità di acquisizione automatica in tempo reale, di attrezzare il tubo con sonde inclinometriche fisse, che verranno posizionate nel tubo di misura alle quote ritenute critiche (catena inclinometrica). Le postazioni fisse potranno essere così lette o periodicamente o mediante acquisizione automatica in modo da sorvegliare costantemente il possibile movimento in atto. La catena inclinometrica fissa, una volta terminata la sua funzione potrà essere asportata ed inserita in qualsiasi altro tubo inclinometrico di cui si voglia ottenere un monitoraggio continuo.

#### Descrizione e modalità esecutive

##### *Tubi*

Esistono tubi di diverso tipo, per l'utilizzo nella tratta in esame si prestano di più quelli in ABS, hanno in genere lunghezza di 3m, spessore circa 4mm e diametri nominali 76mm, giuntati mediante manicotti. Possiedono, al loro interno, 4 scanalature di guida entro cui scorre sia la sonda rimovibile, sia le sonde fisse. Le 4 scanalature sono tra loro ortogonali ed hanno la funzione di guidare ed orientare le sonde durante le letture.

Ai fini della precisione delle misure è importante che le scanalature dei tubi presentino una spirality inferiore a 0.5° per metro.

##### *Caratteristiche tecniche*

- |   |  |
|---|--|
| • materiale                               | ABS - Alluminio                          |
| • diametro interno                        | min. 60mm - max. 80mm                    |
| • lunghezza spezzoni                      | 3 metri                                  |
| • spessore                                | min. 3mm                                 |
| • max. torsione ammissibile               | >1°/1m                                   |
| • max. compressione lungo l'asse del tubo | 1% della lunghezza spezzone              |
| • manicotto di giunzione                  | auto-allineante sui due spezzoni di tubo |
| • lunghezza manicotto                     | min. 200mm                               |

##### *Sonda Inclinometrica (acquisizione manuale dati)*

La sonda inclinometrica è costituita da un contenitore cilindrico con lunghezza compresa tra 70 e 100cm, munito di due carrelli per lo scorrimento nelle guide dei tubi; al suo interno è alloggiato il

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

sensore di misura (biassiale) che dovrà essere di tipo servoaccelerometrico.

La distanza tra il carrellino superiore e quello inferiore della sonda (lunghezza operativa), che è generalmente di 0.5 metri, costituisce il passo minimo con il quale è possibile effettuare le misure.

La sonda dovrà permettere le misure all'interno di tubi aventi diametro tra le guide da 40 a 85 mm. Dato che le letture inclinometriche sono di tipo comparativo (gli eventuali spostamenti nel tempo vengono riferiti alla lettura iniziale), fondamentale requisito delle misurazioni è la ripetibilità.

Pertanto la sonda deve essere realizzata secondo elevati standard qualitativi e i materiali impiegati devono rispondere a severe specifiche prestazionali rispetto ai diversi fattori d'esercizio che possono alterare nel tempo la sensibilità e precisione della sonda. In particolare, per la sonda biassiale, devono essere garantiti elevati standard qualitativi miranti ad assicurare la massima ortogonalità tra gli assi dei sensori e l'allineamento con il piano carrello.

Inoltre, per assicurare la precisione delle letture inclinometriche, è altrettanto essenziale che la sonda sia sottoposta periodicamente ad un accurato controllo di taratura.

#### *Caratteristiche tecniche*

- tipo di misura	inclinometrica continua in tubo scanalato
- tipo di sensore	servoaccelerometro biassiale
- campi di misura	$\pm 30^\circ$
- precisione sensore	$\pm 0.1$ mm / 500 mm
- campo di temperatura	-20 +70 °C
- carrello porta sensore	sonda a rotelle basculanti in acciaio inox
- interasse rotelle	500 mm
- sensibilità	$\pm 0.05$ mm per 500mm
- precisione	$\pm 0.1\%$ f.s.
- ripetibilità	0.01% f.s.

#### *Catena Inclinometrica (acquisizione automatica dati)*

Si tratta di un inclinometro composto da una serie di sonde biassiali potenziometriche removibili (catena inclinometrica) predisposte per essere posizionate all'interno di una tubazione inclinometrica e atte a rilevare le deformazioni del terreno con acquisizione dati anche remota.

L'installazione è del tutto simile a quella degli inclinometri (i tubi inclinometrici usati sono infatti gli

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

stessi), la catena inclinometrica può essere asportata ed installata in qualsiasi altro tubo inclinometrico.

Il posizionamento delle sonde all'interno del tubo avviene sospendendo ciascuna sonda ad un cavo in acciaio o ad aste in VTR, il tutto collegato ad una testa di sospensione montata all'estremità superiore della colonna.

L'acquisizione e l'elaborazione dei dati sono esattamente uguali alle altre sonde rimovibili.

#### *Caratteristiche tecniche*

- tipo di misura                                inclinometrica in tubo a quote fisse su 2 assi
- tipo di sensore                                biassiale potenziometrico a pendolo
- campo di misura                                 $\pm 10^\circ$
- sensibilità                                        0.05% del f.s.
- precisione                                        <0.5% del f.s.
- campo di temperatura                        -20 +70°C
- carrello porta sensore                        sonda a rotelle basculanti in acciaio inox
- interasse rotelle                                1000 mm
- attacco sonde                                    testa di sospensione con cavo di acciaio o aste in VTR

#### *Centralina di misura*

E' uno strumento di misura di precisione, contenuto in un involucro realizzato in robusto materiale con adeguato grado di protezione, con il quale si:

- alimentano i sensori della sonda;
- amplificano i segnali rilevati
- registrano o visualizzano i valori di lettura.

A secondo delle modalità di acquisizione dei valori di lettura, abbiamo due tipi di centraline: manuale ed automatico.

#### *Cavo di connessione*

Il cavo sostiene la sonda nel tubo durante le varie posizioni di misura, fornisce l'alimentazione ai sensori e trasmette i segnali rilevati alla centralina di misura.

Un idoneo cavo deve assicurare un carico a rottura di almeno 200 – 250 kgf ed allungamento del 5% con un carico di 20 kg, mentre i connettori devono essere a tenuta stagna almeno fino a 10

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

bar.

#### *Installazione*

##### *Perforazione*

La colonna inclinometrica deve essere installata in un foro di perforazione costituito da un sondaggio a distruzione di nucleo, con diametro minimo 101 mm.

La perforazione in cui sarà installato il tubo inclinometrico dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- diametro sufficiente all'inserimento del tubo inclinometrico; vi deve essere spazio sufficiente anche per l'inserimento del tubetto di iniezione;
- deviazione globale dalla verticale  $\leq 1,5\%$ .

I rivestimenti di perforazione, se presenti, dovranno essere estratti solo a trazione e non a rotazione per non indurre effetti di torsione sul tubo inclinometrico.

#### *Operazioni preliminari*

Prima dell'installazione, dovrà essere controllato quanto segue:

- i tubi e i manicotti non devono avere lesioni o schiacciamenti dovuti al trasporto;
- le estremità dei tubi e dei manicotti non dovranno avere sbavature che possano compromettere il buon accoppiamento dei tubi e lo scorrimento delle sonde di misura;
- l'efficienza del tubo per l'iniezione della miscela di cementazione da applicare all'esterno della colonna inclinometrica;
- la composizione della miscela di cementazione che sarà costituita da acqua, cemento e bentonite (rapporto 100-30-5 parti in peso);
- il tipo e la scadenza del collante da utilizzare, l'efficienza della morsa di sostegno.

#### *Posa in opera*

Precedentemente o contemporaneamente all'esecuzione del sondaggio i vari segmenti di tubo devono essere assemblati secondo la seguente procedura :

- collegare due tubi inclinometrici tramite l'apposito manicotto. Il collegamento viene eseguito grazie alle 4 guide di tubo e manicotto, che devono coincidere. Sulla testa del tubo che viene infilato nel manicotto deve essere spalmato uno strato di colla o silicone. Fissare i manicotti con quattro rivetti siliconati, ponendo attenzione affinché le due facce dei due spezzoni di tubi siano perfettamente combacianti;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- sigillare con nastro adesivo la giunzione dei due tubi così uniti al fine d'impedire l'entrata di boiaccia all'interno della colonna inclinometrica;
- collegare la canna d'iniezione (in pvc) al tubo di fondo foro (chiuso con l'apposito tappo) tramite robusti legacci realizzati con nastro adesivo o fascette tenditrici. Lo sfiato della cannetta dovrà essere posizionato ad almeno 50 cm di distanza dal tappo del tubo inclinometrico e la canna stessa dovrà essere incisa nel suo primo tratto tramite taglierino in due - tre punti equidistati tra loro circa 20 cm;
- infilare le prime due tubazioni all'interno del foro e mantenerle sospese a boccaforo tramite l'apposita forchetta; prendere un terzo tubo e collegarlo agli altri due seguendo le indicazioni appena menzionate e proseguire in questa maniera con gli altri segmenti fino a fondo foro;
- se la lunghezza della colonna inclinometrica supera i 30 m, si provvederà ad accoppiare due tubi d'iniezione, uno partente dal foro ed uno circa da metà lunghezza. Se nel foro c'è presenza d'acqua, anche i tubi verranno riempiti d'acqua pulita, in modo da non forzare durante la discesa della colonna, evitando l'effetto galleggiamento della colonna di tubi. Per favorire il centraggio della colonna nel foro si potranno utilizzare distanziatori in gomma o materiale simile;
- al termine del posizionamento si procede alla cementazione a bassa pressione (2 – 3 atm) tramite la cannetta d'iniezione, con miscela cementizia leggermente espansiva (acqua, cemento e bentonite). L'iniezione viene eseguita attraverso la cannetta più profonda sino a circa metà altezza, quindi, per colonne inclinometriche maggiori di 30m, attraverso la cannetta di metà lunghezza, sino all'avvenuto spurgo a boccaforo. Alla fine della cementazione, il tubo, sarà protetto con adeguato pozzetto (cls, o ghisa) e chiuso con coperchio carrabile in ghisa;

Dopo la presa del cemento utilizzato per il riempimento, verranno inserite o la sonda rimovibile o ove richiesto le sonde inclinometriche fisse. In particolare, le sonde fisse saranno mantenute sospese nel tubo mediante appositi cavi in acciaio o aste in VTR di lunghezza predeterminata; i cavi elettrici verranno fascettati o ai cavi in acciaio o alle aste in modo da garantire una sufficiente sospensione. Particolare attenzione dovrà essere riservata all'orientamento delle sonde nel tubo: queste dovranno avere tutte la stessa orientazione; a tal fine si dovrà indicare, sulla testa del tubo, in modo inequivocabile e permanente, la guida scelta come guida 1, la quale corrisponderà all'asse X di ogni singolo sensore. Le successive 3 guide saranno indicate partendo dalla 1 in senso orario. Il cavo o l'asta di sostegno saranno fissati alla testa del tubo mediante l'apposito incavo ricavato sul tappo di chiusura del tubo. I cavi elettrici di connessione verranno cablati verso

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

il sistema di acquisizione tramite dei condotti interrati.

*Collaudo della tubazione inclinometrica e lettura iniziale di riferimento*

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione, non prima di 10 ÷ 14 giorni dalla installazione del tubo, si dovrà verificare la funzionalità della tubazione inclinometrica attraverso il controllo della continuità e dell'allineamento degli spezzoni di tubo e la verifica della rispondenza dell'inclinazione e della spiratura della tubazione alle specifiche di accettazione. La strumentazione necessaria per il collaudo della tubazione inclinometrica dovrà comprendere una sonda testimone per il controllo dell'integrità della tubazione, una sonda inclinometrica, con le caratteristiche tecniche specificate, per il controllo della verticalità ed una sonda spiralometrica, a controllo meccanico od elettronico, che consenta la misura dell'azimut del tubo in ogni sezione con una sensibilità inferiore a 0.5°/m. Il controllo verrà eseguito calando nel foro una sonda testimone (di caratteristiche analoghe a quella da utilizzarsi per le successive misure), facendola scorrere lungo le guide del tubo fino a fondo foro, estraendola e quindi ripetendo l'operazione altre tre volte, dopo aver ruotato la sonda di 90° ogni volta che viene estratta dal foro. Il tubo inclinometrico verrà dichiarato idoneo se la sonda testimone sarà passata in tutte e quattro le guide senza incontrare ostacoli sia in discesa sia in risalita. In questa fase, inoltre, verrà scelta la guida di riferimento (guida 1), preferibilmente orientata secondo la probabile direzione di movimento, se ne misurerà l'azimut, e si numereranno tutte le guide in senso orario.

Successivamente dovrà essere verificata anche la verticalità e la spiratura del tubo, verrà dichiarato idoneo se la deviazione dalla verticale rilevata sarà inferiore al 1,5% e la spiratura totale sarà inferiore a 0.5°/metro lineare.

Le letture sulla tubazione estensimetrica dovranno essere eseguite partendo da fondo foro, con passo di 1 m.

Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- Informazioni generali (sito, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- caratteristiche del tubo inclinometrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo inclinometrico;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- coordinate assolute della estremità superiore del tubo inclinometrico (guida di riferimento);
- azimuth della guida di riferimento e schema della numerazione delle guide;
- misura iniziale di deviazione dalla verticale;
- misura della spiratura;
- risultati della lettura iniziale di riferimento;
- numero di codice e matricola, certificato di taratura e calibrazione, schema di installazione, orientamento nella guida dei sensori installati (nel caso di utilizzo delle sonde fisse)
- osservazioni e note eventuali.

I dati vengono graficati nel diagramma “spostamenti orizzontali - profondità” che permette di valutare l’andamento delle deformazioni dell’ammasso lungo la verticale dello strumento.

## 12.5 Misura geotecnica estensimetrica incrementale tipo Increx

### Generalità

La posa in opera all'interno di un foro di sondaggio comunque inclinato di una tubazione per misure estensimetriche incrementali consente, attraverso l'uso di una apposita sonda removibile, il rilievo delle variazioni di lunghezza lungo la tubazione conseguenti a deformazioni nel terreno in cui è inserita. Il principio di funzionamento si basa sull'induzione elettromagnetica che consente di determinare la posizione e gli spostamenti di appositi anelli metallici installati originariamente ad 1 metro l'uno dall'altro attorno al tubo guida e cementati alle pareti del foro. La misura può essere accoppiata a misure inclinometriche, in modo da determinare gli spostamenti secondo tre componenti tra loro ortogonali. Anche in questo caso gli spostamenti verticali misurati sono rappresentati come differenza tra la lettura n-esima e la lettura di zero.

### Campi di impiego

Le principali applicazioni dell'estensimetro incrementale tipo Increx sono essenzialmente:

- monitoraggio delle deformazioni degli strati di terreno sovrastanti e adiacenti le gallerie, opere in sotterraneo durante le fasi di scavo, con applicazioni degli strumenti in fori verticali eseguiti dal piano campagna;
- monitoraggio delle deformazioni degli strati di terreno interessati dalla realizzazione di opere civili durante le fasi di scavo, con applicazioni degli strumenti in fori verticali eseguiti dal piano campagna;
- controllo della stabilità delle opere di contenimento, con applicazioni analoghe al punto

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

precedente;

- controllo dei movimenti del terreno in generale.

### Descrizione e modalità esecutive

#### *Tubi*

I tubi per l'estensimetro incrementale tipo increx sono dello stesso tipo di quelli utilizzati per l'inclinometro infatti è possibile condurre sia letture inclinometriche che estensimetriche nello stesso tubo (vale quanto detto precedentemente a riguardo dell'inclinometro), a differenza che per le misure estensimetriche è necessario in fase di installazione posizionare degli anelli metallici all'esterno del tubo ad una distanza di 1m l'uno dall'altro.

#### *Sonda Estensimetrica*

La sonda estensimetrica è costituita da un contenitore cilindrico con lunghezza di 1,55m, munito di due carrelli per lo scorrimento nelle guide dei tubi; al suo interno è alloggiato il sensore di misura ad induzione elettromagnetica.

La distanza tra il carrello superiore e quello inferiore della sonda, è circa 1,40m. La sonda dovrà permettere le misure all'interno di tubi aventi diametro tra le guide da 63,5mm. Le letture estensimetriche sono di tipo comparativo (gli eventuali spostamenti nel tempo verranno riferiti alla lettura iniziale), fondamentale requisito delle misurazioni è la ripetibilità. Pertanto la sonda deve essere realizzata secondo elevati standard qualitativi e i materiali impiegati devono rispondere a severe specifiche prestazionali rispetto ai diversi fattori d'esercizio che possono alterare nel tempo la sensibilità e precisione della sonda. Inoltre per assicurare la precisione delle letture estensimetriche, è altrettanto essenziale che la sonda sia sottoposta periodicamente ad un accurato controllo di taratura.

#### *Caratteristiche tecniche*

- |                          |  |
|--------------------------|--|
| - tipo di misura         | estensimetrica                             |
| - tipo di sensore        | ad induzione elettromagnetica              |
| - campi di misura        | ± 20mm/m                                   |
| - precisione sensore     | ±0.01 mm                                   |
| - campo di temperatura   | -5 +105 °C                                 |
| - carrello porta sensore | sonda a rotelle basculanti in acciaio inox |
| - interasse rotelle      | 140 mm                                     |

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- sensibilità sensore                    0.001mm
- precisione sistema                    ±0.02mm.

#### *Centralina Di Misura*

E' uno strumento di misura di precisione, contenuto in un involucro realizzato in robusto materiale con adeguato grado di protezione, con il quale si:

- alimentano i sensori della sonda;
- amplificano i segnali rilevati
- registrano o visualizzano i valori di lettura.

#### *Aste*

Il sistema prevede l'utilizzo di aste in ABS lunghe 2m, con aggancio maschio femmina. Durante la fase di lettura, saranno esse a sostenere in peso della sonda senza caricare eccessivamente il cavo di connessione garantendo una precisione maggiore.

#### *Cavo di connessione*

Il cavo, fornisce l'alimentazione ai sensori e trasmette i segnali rilevati alla centralina di misura. Deve avere 6 poli, mentre i connettori devono essere a tenuta stagna almeno fino a 15bar.

#### *Installazione*

Le fasi di installazione sono quelle previste anche per gli inclinometri, l'unica differenza riguarda la fase di assemblaggio dei tubi durante la quale bisogna posizionare gli anelli metallici a distanza di 1 metro l'uno dall'altro mediante l'utilizzo di un'apposita dima. (per il resto vale quanto detto precedentemente a riguardo dell'inclinometro).

#### *Collaudo della tubazione estensimetrica e lettura iniziale di riferimento*

Le operazioni di controllo relativa all'accessibilità del foro e alla sua idoneità alle misure sono quelle previste per l'inclinometro.

Inoltre si dovrà effettuare la calibrazione iniziale della tubazione mediante sonda estensimetrica incrementale avente precisione non inferiore a 1 µm, registrando le differenze di lunghezza di tutti i tratti strumentati rispetto alla lunghezza di riferimento di un metro. Prima dell'esecuzione della lettura di zero la sonda estensimetrica incrementale dovrà essere introdotta in apposito tubo di calibrazione e dovrà essere controllato, ed eventualmente regolato, il valore letto al display della

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

centralina, a stabilizzazione termica avvenuta, tenendo conto della dilatazione termica del tubo di calibrazione. La determinazione dello zero di riferimento dovrà avvenire eseguendo almeno tre letture sulla medesima tubazione con calcolo del valore medio. Le letture sulla tubazione estensimetrica dovranno essere eseguite partendo da fondo foro, a stabilizzazione termica avvenuta, con passo di 1 m.

La tubazione estensimetrica verrà dichiarata idonea se tutte le distanze relative tra i riscontri di misura installati risulteranno comprese entro la tolleranza di  $\pm 5.0$  mm rispetto alla distanza nominale di 1 m.

#### *Estensimetri fissi da foro (acquisizione automatica dati)*

Gli Estensimetri fissi da foro vengono installati all'interno di tubi inclinometrici attrezzati con speciali anelli magnetici allo scopo di effettuare misure in continuo di cedimenti o spostamenti del suolo lungo l'asse della tubazione. A seconda delle applicazioni, la catena di sonde viene ancorata al fondo del foro per ottenere un riferimento profondo, oppure sospesa alla testa del tubo con un cavetto in acciaio per un riferimento di superficie. Gli estenso-inclinometri fissi sono dotati inoltre di un sensore inclinometrico biassiale; tale soluzione permette di assemblare delle catene strumentali in grado di fornire un profilo tridimensionale dei movimenti della perforazione entro cui vengono installati. Collegando gli estensimetri al sistema di acquisizione dati è possibile acquisire automaticamente le misure e trasmetterle via modem GSM presso il proprio ufficio ed attivare un sistema di allertamento.

#### Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali (sito, ubicazione, data, nominativo dell'operatore);
- stratigrafia del foro di sondaggio (se eseguito a carotaggio continuo);
- caratteristiche del tubo estensimetrico installato;
- caratteristiche della miscela utilizzata per la cementazione del tubo e quantità assorbita durante la cementazione;
- schema di installazione nel foro del tubo estensimetrico;
- coordinate assolute della estremità superiore del tubo estensimetrico (guida di riferimento);
- risultati della lettura iniziale di riferimento;
- osservazioni e note eventuali.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

I dati vengono graficati nel diagramma “cedimenti verticali - profondità” che permette di valutare l’andamento delle deformazioni dell’ammasso lungo la verticale dello strumento.

## 12.6 Misura geotecnica assestometro multibase

### Campi di impiego

L’assestometro multibase, realizzato per rilevare micromovimenti del terreno in senso assiale alla perforazione in cui è inserito, viene utilizzato per la verifica dello stato deformativo degli strati di terreno sovrastanti o adiacenti ad uno scavo ed è quindi impiegato per l’analisi e la risoluzione di molte problematiche di carattere geotecnico.

Le principali applicazioni dell’assestometro multibase sono essenzialmente:

- monitoraggio automatico delle deformazioni degli strati di terreno sovrastanti e adiacenti le gallerie durante le fasi di scavo, con applicazioni degli strumenti in fori verticali eseguiti dal piano campagna;
- monitoraggio automatico delle deformazioni degli strati di terreno interessati dalla realizzazione di opere civili durante le fasi di scavo, con applicazioni degli strumenti in fori verticali eseguiti dal piano campagna;
- controllo della stabilità delle opere di contenimento, con applicazioni analoghe al punto precedente;
- controllo dei movimenti del terreno in generale.

### Descrizione e modalità esecutive

Lo strumento è costituito da una serie di aste, dette basi, in vetroresina (VTR) o acciaio, ciascuna delle quali collegata ad una zavorra di ancoraggio in acciaio ad aderenza migliorata, ad una profondità diversa l’una dall’altra, da cementare in foro mediante degli appositi tubi di iniezione e sfiato. Il vantaggio di avere più basi di misura si traduce nella possibilità dello strumento di valutare i cedimenti differenziali degli strati di terreno posti a profondità differenti. Si utilizzeranno prevalentemente strumenti a tre e due basi di misura.

Tali zavorre sono collegate, tramite le basi in VTR o acciaio che scorrono liberamente all’interno di tubi di protezione in PVC, ad una testa di misura ubicata a vista, sulla quale è possibile mediante un comparatore centesimale rimovibile o tramite trasduttori elettrici di spostamento, installati uno per ogni asta di misura, valutare ogni piccolo movimento in profondità.

In questo caso la misura viene rilevata con una centralina portatile o con un sistema automatico di

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

acquisizione.

#### Caratteristiche tecniche

- materiale testa di misura acciaio - pvc
- materiale asta di misura acciaio - vetroresina
- materiale guaina pvc
- materiale ancoraggio acciaio ad aderenza migliorata
- campi di misura 0 ÷ 50mm
- tipo trasduttore potenziometrico
- sensibilità 0.02% f.s.
- precisione ±0.3% f.s.
- campi di temperatura -20 +50°C

#### Installazione

L'assestometro multibase deve essere installato in un foro di perforazione, costituito da un sondaggio a distruzione di nucleo, con diametro minimo di 140 mm. Per il sostegno delle pareti del foro è previsto o l'utilizzo di un rivestimento provvisorio o la cementazione preliminare con successiva alesatura.

Lo strumento sarà fornito dalla ditta costruttrice già preassemblato con la lunghezza di tutte le basi già a misura e pronto per la posa in opera. Immediatamente a valle della perforazione, la sequenza di posa è la seguente:

- disimballaggio ed inserimento dello strumento nel foro, subito dopo l'esecuzione del foro; si dovrà prestare massima attenzione a non far piegare o spezzare le guaine durante la fase di infilaggio;
- esecuzione della cementazione degli ancoraggi, utilizzando tutti gli accorgimenti previsti per questo tipo di attività. In particolare, la cementazione dovrà avvenire, quando viene utilizzato, il rivestimento provvisorio secondo step diversi avendo cura, di sfilare il rivestimento, solo dopo aver saturato la zona in corrispondenza della zavorra di ancoraggio. E' previsto l'uso di boiaccia di cemento - acqua con eventuale aggiunta di bentonite. La cementazione si riterrà conclusa solo dopo aver verificato a boccaforo o alla cannetta di sfiato la completa fuoriuscita dell'aria ed acqua prima e poi della miscela

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

cementizia;

- sistemazione e cementazione della testa di misura completa di caposaldo per la battuta topografica;
- creazione di un pozzetto intorno alla testa per la protezione della stessa. Il pozzetto sarà di tipo carrabile;
- dopo la presa della miscela cementizia della boiaccia utilizzata per il riempimento, si potrà eseguire la misura di zero o con il comparatore centesimale e boccola di appoggio, o con apposita centralina dopo aver montato i trasduttori di spostamento elettrici. Nel caso di trasduttori elettrici il coperchio è dotato di un'asola che consente il passaggio dei cavi. I cavi verranno cablati verso il sistema di acquisizione tramite dei conduit interrati.

La strumentazione necessaria all'esecuzione delle misure è composta sostanzialmente: o dal comparatore centesimale e apposita boccola di raccordo o dai sensori di spostamento e collegamento agli acquisitori (centralina portatile o unità d'acquisizione automatica).

#### Documentazione

Le misure verranno eseguite direttamente sui trasduttori di spostamento meccanici, mentre per i trasduttori elettrici è prevista inizialmente l'utilizzo di una centralina portatile per la fase di taratura e lettura di zero; successivamente, tramite cavi elettrici i trasduttori verranno collegati al sistema automatico di acquisizione dati. A completamento delle misure relative al singolo assestometro è prevista la battuta topografica delle testa che permetterà di valutare i reali spostamenti delle basi di misura.

- informazioni a carattere generale, data di installazione, problematiche varie;
- tipo di assestometro; numero di codice e matricola dei sensori installati;
- certificato di taratura e calibrazione di ogni sensore installato;
- schema geometrico d'installazione; profondità di posa delle basi di misura;
- quota assoluta dell'estremità superiore del pozzetto di protezione (quota p.c.);
- data di posa; lettura di zero; tabelle con la data di esecuzione letture.

I dati ottenuti vengono graficati in un diagramma "cedimenti – tempo", in cui si visualizzano nel tempo le variazioni dei cedimenti del terreno in prossimità delle zavorre.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 12.7 Misura geotecnica misuratori di giunti (fessurimetri)

### Campi di impiego

L'evoluzione delle fessure che possono interessare qualsiasi tipo di struttura (fabbricati, CLS definitivo delle gallerie, ecc.), viene tenuta sotto controllo mediante fessurimetri elettrici disposti a cavallo delle stesse fessure.

### Descrizione e modalità esecutive

Ogni fessurimetro è costituito da un cilindro solidale ad un lato della fessura e contenente un trasduttore di spostamento potenziometrico, un'asta scorrevole collegata al trasduttore ed una piastra di riscontro solidale all'altro lato della fessura.

In questo modo eventuali allargamenti o restringimenti della fessura vengono seguiti dall'asta e dal trasduttore e convertiti in un segnale elettrico; le misure, essendo elettriche, vengono eseguite tramite una centralina di misura portatile o mediante collegamento elettrico ad un sistema automatico di acquisizione dati.

### *Caratteristiche tecniche*

- campo di misura                      0-25 mm
- sensibilità                              0.01 mm
- precisione                              ±0.05 mm
- range di temperatura                -10 +40 °C
- materiale cilindro                    acciaio inox / alluminio / pvc
- materiale asta di misura            acciaio inox
- materiale riscontro                 acciaio inox

### Installazione

Le procedure da osservare, per l'installazione, sono le seguenti :

- stabilire la geometria del movimento fessurativo, effettuare l'installazione secondo la direzione del massimo spostamento;
- eseguire con il trapano due fori profondi sui due lati delle pareti della fessura da monitorare;
- infilare i due bulloni di ancoraggio nei fori e cementarli con resine o cemento a presa rapida; aspettare quindi che il cemento faccia presa;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- infilare lo strumento di misura negli ancoraggi e stringere fino a fondo corsa le viti corrispondenti;
- eseguire la taratura mediante collegamento ad una centralina di misura.

### Misure

Il dato da misurare è la distanza esistente tra i due bulloni di ancoraggio e quindi l'ampiezza della fessura e le sue variazioni nel tempo.

L'apparecchiatura di misura viene sottoposta a taratura con scadenza annuale o presso il Fornitore o presso un laboratorio autorizzato.

Il valore letto in mA viene trasformato in mm moltiplicandolo per una costante ricavabile direttamente dalla scheda tecnica di ogni strumento.

### Documentazione

La documentazione finale deve comprendere:

- informazioni generali; data di posa in opera;
- ubicazione e schema geometrico d'installazione;
- certificato di taratura e calibrazione di ogni sensore installato;
- quota del punto di installazione; lettura di zero;
- tabelle con letture.

I dati acquisiti vengono graficati nel diagramma "ampiezza della fessura - tempo" dove è possibile verificare nel tempo l'andamento delle eventuali deformazioni.

## **12.8 Misura geotecnica tenso deformativa Barrette estensimetriche**

### Generalità

Gli estensimetri a corda vibrante sono costituiti da un filo d'acciaio, teso tra due supporti ancorati alla struttura da monitorare e messo in vibrazione da un elettromagnete. Le deformazioni della struttura causano un analogo movimento dei due supporti, facendo variare il tensionamento del filo. Questa variazione di tesatura provoca una variazione della frequenza di vibrazione della corda proporzionale, portando quindi a ricavare le deformazioni della corda e conseguentemente la tensione agente all'interno del rivestimento definitivo. Ne esistono varie tipologie, quelle descritte di seguito sono per il controllo delle tensioni sulle armature dette per metallo e per il controllo delle tensioni sul getto dette per calcestruzzo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### Campi di impiego

- controlli tensionali di strutture prefabbricate, (anello strumentato galleria), ecc.

### Descrizione e modalità esecutive

Lo strumento, è costituito da sensori estensimetrici installati al centro della barretta secondo una particolare disposizione che consente la compensazione del segnale elettrico degli effetti termici e di flessione. La barretta estensimetrica può lavorare indifferentemente sia a trazione che a compressione, inoltre la parte sensibilizzata è resinata al fine di preservare la funzionalità dello strumento nel caso di urti o immersione.

### *Caratteristiche tecniche*

- |                        |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|
| - tipo di misura       | deformazione: trazione o compressione |
| - tipo di sensore      | corda vibrante o resistiva            |
| - campo di misura      | $\pm 1500 \mu\epsilon$                |
| - sensibilità          | 2% f.s.                               |
| - precisione           | 2% f.s..                              |
| - sovraccarico ammesso | 150% F.S.                             |
| - campo di temperatura | -20 +70 °C                            |

### *Installazione*

#### *Installazione su armatura metallica:*

- la posizione e l'orientazione delle barrette deve essere marcata sull'armatura dove saranno saldati i supporti delle barrette, mediante apposita dima;
- le barrette devono essere estratte dall'imballo e misurate con la centralina portatile; il segnale deve risultare stabile;
- le estremità delle barrette devono essere avvitate ai suddetti supporti mediante i dadi ed i controdadi in dotazione; prima di serrare la barretta ai suoi blocchetti saldati, accertarsi che la saldatura sia a tenuta e la temperatura dei supporti sia tale da non determinare variazioni dopo il fissaggio della barretta;
- si esegue la taratura della barretta serrando dadi e controdadi, annotandosi quindi la lettura;
- il cavo elettrico, dotato di una protezione con guaina metallica anti-urto ed anti-schiacciamento e ricoperta in PVC, deve essere fissato lungo lo sviluppo interno dei ferri in modo da essere completamente protetto.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- una serie di letture deve essere eseguita immediatamente dopo l'avvenuta installazione, per verificarne il collegamento ed il corretto funzionamento.

*Installazione delle barrette per calcestruzzo:*

le barrette devono essere estratte dall'imballo e misurate con la centralina portatile; il segnale deve risultare stabile;

- Le barrette estensimetriche per cls vengono installate tramite delle fascette, metalliche o in plastica, su delle strutture di supporto, al fine di mantenere in posizione lo strumento durante le fasi di getto del calcestruzzo. Le strutture di supporto possono essere sia le armature del c.a. sia appositi tondini ( $\varnothing$  8mm) opportunamente predisposti. Per tarare le successive letture in funzione della temperatura e dell'effetto del ritiro del cls in fase di presa, è buona norma provvedere, con opportuna periodicità, alla posa in opera di termometri e/o barrette di controllo aggiuntive.
- il cavo elettrico, dotato di una protezione con guaina metallica anti-urto ed anti-schiacciamento e ricoperta in PVC, deve essere fissato lungo lo sviluppo interno dei ferri in modo da essere completamente protetto.
- una serie di letture deve essere eseguita immediatamente dopo l'avvenuta installazione, per verificarne il collegamento ed il corretto funzionamento.

Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni generali; data di posa in opera;
- codice e matricola di ogni strumento installato;
- certificato di taratura e calibrazione di ogni sensore installato;
- ubicazione e schema geometrico d'installazione;
- lettura di zero, tabelle con letture.

Lungo una stessa sezione tutti i cavi delle barrette vengono fatti convergere in un unico punto, in un'apposita cassetta di derivazione. La misura si effettua o con una centralina portatile o con il sistema di acquisizione automatico, alimentando in tensione il ponte estensimetrico e rilevandone il segnale in uscita. Dal valore in uscita dello strumento si risale alla deformazione assiale della zona centrale sensibilizzata e quindi alla deformazione in quel punto nel materiale entro il quale la barretta è stata installata o su di cui lo strumento è stato applicato. Il valore letto, viene trasformato

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

in unità ingegneristiche moltiplicandolo per una costante ricavabile direttamente dalla scheda tecnica di ogni singolo strumento.

I dati vengono graficati nel diagramma “deformazioni - tempo” che permette di valutare nel tempo l’andamento delle deformazioni della struttura sotto osservazione.

## **12.9 Misura geotecnica tenso deformativa concio strumentato**

### Generalità

Per concio si intende un elemento in calcestruzzo armato prefabbricato, che fa parte di una struttura assemblabile, accostando fra loro vari elementi dello stesso tipo. Strumentato perché, al suo interno sono stati inseriti al momento della prefabbricazione, degli strumenti sensibili alle grandezze fisiche che si vogliono investigare.

### Campi di impiego

Nelle gallerie di linea, dove è previsto lo scavo con scudo a piena sezione, e nelle gallerie di stazione a volta attiva, nelle quali il rivestimento sarà effettuato con conci prefabbricati, si prevede l’adozione di una particolare soluzione per il monitoraggio degli stessi conci.

### Descrizione e modalità esecutive

Le sezioni da monitorare in galleria, prevedono l’utilizzo di “conci strumentati”, cioè di particolari conci al cui interno, in fase di costruzione, viene inserita la seguente strumentazione geotecnica:

- barrette estensimetriche per calcestruzzo per la misura dello stato tenso-deformativo del concio in opera;
- celle di pressione per la misura delle variazioni di pressione tra ammasso roccioso e struttura;
- acquirettore che provvede ad alimentare i sensori ed a memorizzarne le misure.

I segnali, provenienti dai sensori elettrici e memorizzati nell’unità di misura, vengono periodicamente scaricati a mezzo di un PC portatile ed elaborati secondo formati idonei a fogli elettronici di uso comune.

### *Barrette estensimetriche*

Le caratteristiche tecniche generali dei singoli strumenti previsti all’interno dei conci strumentati sono state già riportate nei capitoli precedenti. Le barrette estensimetriche all’interno del concio saranno disposte a coppie una longitudinalmente all’asse galleria e l’altra trasversale, distribuite su

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4 punti di misura. Per un totale di 8 strumenti ogni concio, pari a 24 strumenti nell'intero anello strumentato (n.3 conci strumentati per anello di rivestimento definitivo).

#### *Cella di pressione*

N.1 cella di pressione viene fissata sull'estradosso dell'armatura del concio prefabbricato con apposite fascette metalliche ed in seguito annegata nel getto del concio medesimo. Il cavo del trasduttore di pressione viene raccolto nell'alloggio in ferro creato per la centralina di lettura.

#### *Acquisitore*

- L'acquisitore dovrà provvedere autonomamente ad acquisire i dati provenienti dai sensori e registrarli in memoria per poi poterli trasferire su di un PC portatile. Trova alloggiamento all'interno di un vano ricavato fra i ferri di armatura in fase di prefabbricazione su ogni concio strumentato.

#### *Installazione*

##### *Nello stabilimento*

- le barrette devono essere estratte dall'imballo e misurate con la centralina portatile;
- fissaggio delle barrette a coppie formando una croce;
- posizionare le coppie di barrette sui 4 punti di misura previsti tramite l'utilizzo di fascette metalliche o in plastica, su delle strutture di supporto, al fine di mantenere in posizione lo strumento durante le fasi di getto del calcestruzzo. Le strutture di supporto possono essere sia le armature del cemento armato, sia appositi tondini (diametro 8 mm) opportunamente predisposti;
- posizionare la cella di pressione sull'estradosso dell'armatura del concio strumentato;
- i cavi elettrici, dotati di una protezione con guaina metallica anti-urto ed anti-schiacciamento e ricoperta in PVC, deve essere fissato lungo lo sviluppo interno dei ferri in modo da essere completamente protetto e raccolto nell'alloggio in ferro creato per la centralina.
- una serie di letture deve essere eseguita immediatamente dopo l'avvenuta installazione, per verificarne il collegamento ed il corretto funzionamento.

Dopo il getto del calcestruzzo i conci iniziano il periodo di maturazione, in tale periodo verranno eseguite 2 letture una in fase iniziale l'altra alla fine.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### *Prima dell'installazione in galleria*

- inserimento delle centraline nell'alloggio previsto;
- settaggio della frequenza d'acquisizione;
- sigillatura dell'alloggio per le centraline, con materiale impermeabile e placca metallica per la protezione da urti.

I conci strumentati saranno montati insieme agli altri conci a costituire l'intero arco della struttura. Poiché i conci strumentati si presentano identici a quelli non strumentati non sono necessarie particolari operazioni aggiuntive in fase di installazione.

#### *Collaudo e lettura iniziale di riferimento*

Durante le fasi di installazione verranno effettuate delle misure, sia con centralina manuale che automatica per verificare la corrispondenza e il corretto funzionamento della strumentazione. Come lettura di zero si può considerare una qualsiasi lettura prima del montaggio in galleria.

#### Documentazione

- informazioni generali; data di posa in opera;
- codice e matricola di ogni strumento installato;
- certificato di taratura e calibrazione di ogni sensore installato;
- ubicazione e schema geometrico d'installazione;
- lettura di zero; tabelle con letture.

I dati vengono graficati nel diagramma “deformazioni - tempo” che permette di valutare nel tempo l'andamento delle deformazioni subite dal calcestruzzo dei conci.

## **12.10 Misura geotecnica piezometrica a tubo aperto**

### Generalità

Il piezometro a tubo aperto, installato in un foro di sondaggio verticale, consente il rilievo della profondità della superficie piezometrica, mediante misurazione con apposita sonda elettrica (freatimetro).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### Campi di impiego

- individuazione e la definizione degli acquiferi presenti nei terreni attraversati, la misurazione dei livelli di falda e delle loro variazioni, quindi l'entità e la distribuzione della pressione dell'acqua contenuta nei vuoti (pori o fessure) del terreno;
- per controllare gli effetti prodotti dall'emungimento di pozzi nell'intorno;
- il piezometro a tubo aperto è generalmente adatto a terreni di elevata permeabilità ( $k > 10^{-6}$  m/s).

### Descrizione e modalità esecutive

I piezometri a tubo aperto sono costituiti da tubi di materiale plastico (generalmente PVC rigido) posti in fori trivellati nel terreno, giuntati in forma solidale fino all'ottenimento della lunghezza richiesta; i tubi sono fessurati ed eventualmente rivestiti di tessuto non tessuto per la parte in falda e ciechi nel rimanente tratto.

### *Caratteristiche tecniche*

#### *Tubi*

Il diametro interno dei tubi varia tra i 40 è 100 mm, deve essere tale da consentire il passaggio dello strumento per la misurazione del livello dell'acqua (freatimetro o piezometro elettrico). Nella zona di misura, la parete del tubo deve essere microfessurata (i tagli avranno aperture da 0,4 a 1,0 mm ca.) ed eventualmente protetta con tessuto non tessuto, circondata da materiale filtrante e, superiormente, isolata da un tampone impermeabile di altezza sufficiente ad evitare l'infiltrazione di acque superficiali.

- |  |  |
|--|--|
| - lunghezza tubi                               | 3-6 m                                    |
| - apertura fessure                             | da 0,4 a 1,0 mm                          |
| - passo fessure                                | da 4 a 11 mm                             |
| - diametro efficace dei pori del geotessile da | 0.07 a 0.12 mm                           |
| - diametro interno                             | 40-100 mm o superiore per usi ambientali |
| - materiale                                    | pvc rigido                               |

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### *Freatimetri*

La misura del livello dell'acqua nel tubo viene eseguita attraverso freatimetri (sensore elettrico con fettuccia centimetrata) oppure con piezometri elettrici inseriti in maniera fissa all'interno della tubazione. Il tempo di risposta, dato il tipo di strumento e terreno, è relativamente breve.

- sonda                                    a sez. circolare 8mm
- sensore                                segnalatore acustico e visivo del raggiungimento del livello
- cavo                                    a sez. circolare 5mm, centimetrato

### *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                            ±0.05% f..s.
- diametro esterno                    ≅ 30 mm
- lunghezza                            190 mm
- campi di temperatura            -20 +50°C

### *Installazione*

#### *Operazioni preliminari*

- il foro o il tratto di foro, dove deve essere installato il tubo piezometrico, deve essere perforato ad acqua;
- il foro, in materiali sciolti, deve essere sostenuto da un rivestimento provvisorio;
- il diametro del foro ( $\varnothing \geq 141$ ) deve essere idoneo a garantire una perfetta installazione del tipo e delle quantità di piezometri previsti;
- assemblaggio della tubazione, rivestimento del tratto fenestrato con tessuto non tessuto;
- preparazione della miscela cemento-bentonite-acqua, da utilizzare per il riempimento, dovranno essere tali affinché si ottenga una consistenza della miscela, a presa avvenuta, simile a quella del terreno nella zona del piezometro, la cementazione verrà eseguita a bassa pressione 2-3bar dal basso verso l'alto. Indicativamente una miscela costituita da 30

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

parti di peso cemento, 5 di bentonite e 100 di acqua, può essere considerata adeguata nei terreni medi (altre raccomandazioni indicano rapporti 50-10-100 o 50-5-100).

Durante l'esecuzione delle perforazioni a distruzione di nucleo, a cui farà seguito l'installazione dei piezometri, si possono ottenere informazioni preliminari sui valori della pressione neutra attraverso il controllo del livello del fluido (solo acqua) di perforazione e delle sue eventuali variazioni. Le osservazioni devono essere effettuate ad ogni interruzione di esecuzione della perforazione di durata superiore ad alcune ore e devono essere menzionate nei rapportini di perforazione unitamente ad indicazioni sulla situazione meteorologica.

Il tempo di risposta del piezometro, cioè l'intervallo di tempo che intercorre fra l'istante in cui avviene una variazione della pressione neutra e l'istante in cui il piezometro la segnala, è funzione delle caratteristiche della apparecchiatura utilizzata e della permeabilità del terreno in cui il sensore viene inserito.

#### *Fasi d'installazione*

- si introduce il tubo piezometrico sino al terreno di base. Una volta posizionato il piezometro si procede all'immissione, nell'intercapedine tubo fessurato – rivestimento, di materiale granulare pulito (filtro con  $\varnothing$  2 - 4 mm) fino a 1 m dall'estremità superiore del tratto fessurato, estraendo progressivamente il rivestimento senza rotazione;
- si procede, dopo aver effettuato il filtro, all'esecuzione di un tappo impermeabile di spessore pari a circa 0,5m, formato da palline di bentonite o argilla opportunamente pestellata, onde isolare la zona filtrante dal resto del foro;
- l'estremità del/i tubo/i sarà protetta con apposito tappo;
- in ultimo, si pone in opera un pozzetto in cls, pvc o ghisa con copertura carrabile in ghisa.

#### *Collaudo della tubazione piezometrica e lettura iniziale di riferimento*

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione, non prima di 12 ÷ 24 ore dall'installazione del tubo, si dovrà verificare la funzionalità della tubazione piezometrica attraverso il controllo della continuità degli spezzoni di tubo. La strumentazione necessaria per il collaudo della tubazione piezometrica consiste nell'utilizzo di un freatimetro a sensore elettrico. Il controllo verrà eseguito calando il puntale del freatimetro dentro il tubo guida e controllando che arrivi alla quota stabilita senza problemi. Successivamente si procede alla misura della quota della falda.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

La misura da effettuare consiste nell'individuazione del livello della falda acquifera nel terreno tramite apposita sonda (freatimetro) o piezometri elettrici fissi.

*Utilizzando il freatimetro, le operazioni da effettuare sono le seguenti :*

- accendere il freatimetro e verificarne il corretto funzionamento immergendo il puntale in un qualsiasi recipiente pieno d'acqua pulita;
- introdurre il freatimetro all'interno del tubo piezometrico;
- lasciare scivolare in profondità per gravità il freatimetro all'interno del foro fino ad udire il segnale acustico che indica il raggiungimento, da parte della sonda, della superficie piezometrica;
- constatare che il suono sia continuo, escludendo così la possibilità che si tratti di una falsa misura, quindi sollevare la sonda fino a far cessare il cicalino;
- muovere lentamente su e giù il cavo per tratti millimetrici fino ad intercettare con precisione il punto di innesco del cicalino;
- appoggiare e fermare il cavo al bordo superiore del tubo piezometrico in misura;
- leggere la distanza dal bocca tubo rilevata direttamente sul cavo centimetrato collegato alla sonda, quindi trascrivere tale valore sull'apposito modulo.

*Utilizzando i trasduttori di livello (costituiti da un corpo in acciaio inossidabile a tenuta stagna contenente il trasduttore di pressione montato su supporto ceramico), si seguirà la seguente procedura :*

- stendere il cavo collegato al trasduttore e misurarne l'esatta distanza, pari alla profondità di posa rispetto al p.c.; marcare con nastro il punto sul cavo;
- calare il trasduttore entro il tubo in PVC alla profondità prestabilita, reggendolo per il cavo;
- raggiunta la quota, sospendere lo strumento per mezzo di un idoneo sistema di fissaggio da applicare in superficie all'estremità del tubo medesimo;
- leggere sul display della centralina il valore di misura che indicherà il battente idraulico al di sopra della quota di posa del sensore; riportare tale valore sugli appositi moduli.

#### Documentazione

- informazioni a carattere generale, data di posa, problematiche varie;
- tipo di piezometro; numero di codice e matricola;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- schema geometrico d'installazione; profondità di posa;
- quota assoluta dell'estremità superiore del pozzetto di protezione (quota al p.c.) e del boccaforo;
- tabelle con letture piezometriche

I dati ricavati dalle misure vengono graficati nel diagramma “quota dal p.c.- tempo” nel quale si visualizzano nel tempo le variazioni di profondità subite dalla superficie piezometrica.

### **12.11 Misura geotecnica piezometrica tipo Casagrande**

#### Generalità

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

#### Campi di impiego

- individuazione e la definizione degli acquiferi presenti nei terreni attraversati, la misurazione dei livelli di falda e delle loro variazioni, quindi l'entità e la distribuzione della pressione dell'acqua contenuta nei vuoti (pori o fessure) del terreno.
- per controllare gli effetti prodotti dall'emungimento di pozzi nell'intorno;

L'impiego del piezometro tipo cella di Casagrande è adatto a terreni con permeabilità medio-bassa ( $k > 10^{-8}$  m/sec).

#### Descrizione e modalità esecutive

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) ha lunghezza di circa 20cm e diametro esterno compreso tra 5 e 6.5 cm. Il diametro dei tubi dipende dal tipo d'impiego: solo per letture manuali ( $\varnothing 1.0''$ ) o per letture manuali e automatiche ( $\varnothing 1.5''$  gas), e spessore non inferiore a 3mm.

Lo strumento viene calato in fori trivellati a distruzione di nucleo. La posizione del piezometro dipenderà dalla profondità alla quale si vuole eseguire la misura. La misura del livello dell'acqua nel tubo viene eseguita attraverso freatimetri (sensore elettrico con fettuccia centimetrata) oppure

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

con trasduttori di livello.

Il tempo di risposta delle variazioni piezometriche rilevabili con celle tipo Casagrande, in questi tipi di terreni, è relativamente breve.

#### Caratteristiche tecniche

##### *Tubi*

- lunghezza tubi 3-6 m o rotolo
- diametro interno per letture manuali 1,0"
- diametro interno per letture automatiche 1,5"
- materiale pvc rigido

##### *Cella di "Casagrande"*

- cella ceramica porosa o plastica porosa
- lunghezza  $\cong$  200mm
- porosità 20 micron
- diametro esterno 50 - 65mm

##### *Freatimetro*

- sonda a sez. circolare 8mm
- sensore segnalatore acustico e visivo del raggiungimento del livello
- cavo a sez. circolare 5mm, centimetrato

##### *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  $\cong$  30 mm
- lunghezza 190 mm
- campi di temperatura -20 +50°C

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### *Installazione*

Prima della posa in opera è necessario eseguire alcune operazioni preliminari come di seguito descritto:

- il foro, dove deve essere installata la cella piezometrica, deve essere perforato ad acqua;
- il foro, in materiali sciolti, deve essere sostenuto da un rivestimento provvisorio;
- il diametro del foro deve essere idoneo a garantire una perfetta installazione del tipo e delle quantità di piezometri previsti (es.: 2 celle di Casagrande  $\varnothing \geq 141$ ; solo cella di Casagrande  $\varnothing \geq 110$ );
- per l'installazione di due piezometri nello stesso foro, si dovrà procedere prima dell'installazione del secondo piezometro (cc), al riempimento, a meno di 1,5m, del tratto di foro compreso tra i due piezometri (ritirando, quando presenti, man mano i rivestimenti provvisori) con argilla in modo da isolare le 2 celle.

Le proporzioni della miscela cemento-bentonite-acqua, da utilizzare per il riempimento, dovranno essere tali affinché si ottenga una consistenza della miscela, a presa avvenuta, simile a quella del terreno nella zona del piezometro. Indicativamente una miscela costituita da 30 parti di peso cemento, 5 di bentonite e 100 di acqua, può essere considerata adeguata nei terreni medi (altre raccomandazioni indicano rapporti 50-10-100 o 50-5-100). Iniettate da fondo foro a bassa pressione 2-3bar.

### *Fasi d'installazione*

- posa del tappo impermeabile inferiore costituito da palline preconfezionate di bentonite (1-2 cm) in strati, per lo spessore complessivo di 0,5 m;
- posa di uno strato di sabbia per uno spessore di 0,5 metri;
- discesa a quota del piezometro (mantenuto fino a quel momento in acqua pulita), assicurandosi che i giunti di collegamento dei relativi tubi garantiscano una perfetta tenuta idraulica;
- posa di sabbia pulita attorno e sopra (0,5 m) il piezometro, ritirando man mano la colonna di rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che il piezometro non risalga assieme ai rivestimenti e che in colonna ci sia sempre un po' di sabbia;
- posa del tappo impermeabile superiore costituito da palline preconfezionate di bentonite (1-2 cm) in strati per lo spessore complessivo di 0,5 m, ritirando man mano i rivestimenti (senza ruotare) e costipando sui livelli di ghiaietto. Il rivestimento viene man mano ritirato

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

con la solita avvertenza. (Nel caso di vicinanza alla quota di posa del secondo piezometro - ove prescritto - il tappo impermeabile può essere prolungato fino a 0,5 m al di sotto di tale quota; la posa del secondo piezometro avverrà ripetendo le operazioni precedentemente descritte);

- riempimento del foro al di sopra del tappo impermeabile superiore fino alla sommità, mediante malta costituita da cemento-bentonite-acqua con le proporzioni sopra menzionate, colata attraverso aste discese al fondo del foro.
- Sistemazione e protezione dell'estremità del o del piezometro con la creazione di pozzetto di cls, ben cementato nel terreno, munito di coperchio carrabile in ghisa;

#### *Collaudo della tubazione piezometrica e lettura iniziale di riferimento*

Al termine delle operazioni di installazione e cementazione si procede con lo spurgo mediante acqua in pressione e collaudo per la determinazione della prima lettura significativa a seguito dell'esecuzione di una serie di almeno tre letture, la prima delle quali deve avvenire a non meno di 2 ore dalla realizzazione del piezometro e le successive a distanza di 24 ore l'una. Si dovrà verificare la funzionalità della tubazione piezometrica attraverso il controllo della continuità degli spezzoni di tubo. La strumentazione necessaria per il collaudo della tubazione piezometrica consiste nell'utilizzo di un freatimetro a sensore elettrico. Il controllo verrà eseguito calando il puntale del freatimetro dentro i tubi guida e controllando che arrivi alla quota stabilita per la cella senza problemi. Successivamente si procede alla misura della quota della falda.

La misura da effettuare consiste nell'individuazione del livello della falda acquifera nel terreno tramite apposita sonda (freatimetro centimetrato) o trasduttori di livello.

*Utilizzando il freatimetro, le operazioni da effettuare sono le seguenti :*

- accendere il freatimetro e verificarne il corretto funzionamento immergendo il puntale in un qualsiasi recipiente pieno d'acqua; introdurlo quindi all'interno del tubo piezometrico;
- lasciare scivolare in profondità per gravità il freatimetro all'interno del foro fino ad udire il segnale acustico indicante il raggiungimento da parte della sonda della superficie piezometrica della falda da misurare.
- constatare che il suono sia continuo, escludendo così la possibilità che si tratti di una falsa misura;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- sollevare la sonda fino a far cessare il cicalino e muovere lentamente su e giù il cavo per tratti millimetrici fino ad intercettare con precisione il punto di innesco del cicalino;
- appoggiare e fermare il cavo al bordo superiore del tubo piezometrico in misura e leggere la quota rilevata direttamente sul cavo collegato alla sonda, trascrivendo tale valore sull'apposito modulo. Ripetere la misura su entrambe i tubi di misura scarti accettabili sono dell'ordine di 10-15cm in altri casi lo strumento risulta da spurgare.

*Utilizzando i trasduttori di livello (costituiti da un corpo in acciaio inossidabile a tenuta stagna contenente il trasduttore di pressione montato su supporto ceramico "filtro"), si deve seguire la seguente procedura :*

- al posto di uno dei due tubi da 3/4", bisogna collegare, immediatamente al di sopra della cella porosa, un tubo da almeno 1.5", in modo che lo stesso possa essere utilizzato per calare al fondo il sensore piezometrico;
- stendere il cavo collegato al trasduttore e misurare l'esatta distanza pari alla profondità di posa rispetto al p.c.; marcare con nastro il punto sul cavo;
- calare il trasduttore entro il tubo in PVC da 1.5", alla profondità prestabilita, reggendolo per il cavo; raggiunta la quota, sospendere lo strumento per mezzo di un idoneo sistema di fissaggio da applicare in superficie all'estremità del tubo medesimo;
- leggere sul display della centralina il valore di misura e riportare tale valore sugli appositi moduli.

#### Documentazione

informazioni a carattere generale, data di installazione, problematiche varie;  
tipo di piezometro; numero di codice e matricola;  
schema geometrico d'installazione; profondità di posa;  
quota assoluta dell'estremità superiore del pozzetto di protezione (quota al p.c.) e quota/e boccaforo;  
tabelle con letture piezometriche.

I dati ricavati dalle misure vengono graficati nel diagramma "quota dal p.c.- tempo" nel quale si visualizzano nel tempo le variazioni di profondità subite dalla superficie piezometrica.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 12.12 Misura geotecnica celle di carico

### Campi di impiego

Le celle di carico si compongono di un corpo cilindrico in acciaio e di una piastra in acciaio che permette una più omogenea ripartizione del carico. Vengono utilizzate per garantire la sicurezza di opere di sostegno sia provvisorie che permanenti. Si suddividono in:

- celle di carico per centine, composta da due piastre di dimensioni analoghe al piede delle centine. Permettono di misurare la variazione di carico che la struttura sopporta.
- cella di carico per tiranti, costituita da un corpo di forma toroidale che consente il controllo della fase di tesatura di tiranti e del loro rilascio tensionale in fase di esercizio.

### Descrizione e modalità esecutive

In generale lo strumento è costituito da sensori tipo “strain gauges” alloggiati sulla superficie della cella in una particolare configurazione (griglia estensimetrica) da consentire la misura delle deformazioni della cella sottoposta al carico di lavoro. La griglia è configurata in modo da poter conservare la piena funzionalità dello strumento in caso di urti o d’immersione.

Sotto carico la cella subisce una deformazione che viene rilevata dagli estensimetri i quali variando il loro valore di resistenza, generano in uscita un segnale elettrico proporzionale al carico applicato.

#### *Caratteristiche tecniche cella di carico per tirante toroidale*

- portata da 100 a 1000KN
- diametro interno minimo 40 mm
- sensibilità 0.01% f.s..
- precisione  $\pm 0.5\%$  f.s.
- campo di temperatura -20 +70 °C
- carico di rottura 150 % f.s.
- materiale acciaio inox

#### *Caratteristiche tecniche celle di carico per centine*

- portata da 500 a 3000 KN
- dimensioni adattabili al piede della centina
- sensibilità 0.01% f.s..

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- precisione  $\pm 0.5\%$  f.s.
- campo di temperatura -20 +70 °C
- carico di rottura 150 % f.s.
- materiale acciaio inox

#### *Installazione*

Le modalità di installazione si differenziano a seconda se la cella viene posizionata sulla testa di un bullone di ancoraggio o ai piedi di una centina.

Nel primo caso si deve osservare la seguente procedura:

- spianare e lisciare la superficie di contatto nell'intorno del foro predisposto per il tirante da strumentare, scalpellando le asperità maggiori;
- stendere un leggero strato di calcestruzzo onde garantire la planarità della superficie;
- appoggiare la cella di carico alla superficie predisposta e installare la piastra di distribuzione;
- iniziare le operazioni di messa in tiro del bullone, valutando subito l'opportunità di regolarne la posizione onde garantirne la perfetta planarità e conseguentemente la perfetta distribuzione del carico; tale operazione sarà eseguita controllando i valori elettrici della cella;
- procedere con la messa in carico fino al valore di progetto.

Nel secondo caso la messa in opera dovrà essere preceduta dalla realizzazione di un apposito plinto di base su cui appoggiare la piastra di ripartizione. Si deve porre massima attenzione nella collocazione della base della centina o di una trave ad essa saldata che dovrà quindi essere appoggiata sulla piastra di ripartizione superiore.

#### Documentazione

Lungo una stessa sezione tutti i cavi delle celle vengono fatti convergere in un unico punto, in un'apposita nicchia o scatola.

Il dato da misurare è il carico a cui è sottoposto lo strumento e quindi la struttura (tirante o centina) a cui esso è collegato e le sue variazioni nel tempo.

La misura si effettua o con una centralina portatile o con il sistema di acquisizione automatico, sia provvisorio che definitivo, alimentando e rilevandone il segnale in uscita.

Dal valore in uscita dello strumento si risale alla pressione in quel punto "materiale-struttura" entro

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

il quale lo strumento è stato applicato.

Il valore letto, viene trasformato in unità ingegneristiche moltiplicandolo per una costante ricavabile direttamente dalla scheda tecnica di ogni singolo strumento.

L'apparecchiatura di misura viene sottoposta a taratura con scadenza annuale o presso il Fornitore o presso un laboratorio autorizzato.

I dati acquisiti vengono graficati nel diagramma "variazione carico - tempo" dove è possibile verificare nel tempo l'andamento delle eventuali variazioni di carico che subisce la struttura.

La documentazione finale deve comprendere:

- informazioni generali; data di posa in opera;
- codice e matricola di ogni strumento;
- certificato di taratura e calibrazione di ogni sensore installato;
- ubicazione e schema geometrico d'installazione;
- lettura di zero; tabelle con letture.

## **12.13 Misura geotecnica Cella di pressione**

### Campi di impiego

Le celle di pressione viene generalmente usata per il controllo delle pressioni agenti all'interfaccia tra le strutture definitive e/o provvisorie ed il terreno.

### Descrizione e modalità esecutive

Il polmone d'acciaio, generalmente di forma rettangolare, non è altro che una camera idraulica (riempita d'olio speciale) in comunicazione diretta tramite un tubicino in rilsan ad alta pressione, con un trasduttore elettrico di pressione che trasforma ogni variazione di pressione agente sul polmone, in una variazione di segnale elettrico.

### Caratteristiche tecniche

#### *piatto sensore*

- dimensioni tangenziali : 100x200 mm
- radiali : 150x150 mm
- spessore < 8 mm
- ripressurizzazione con pompa idraulica a mezzo olio idraulico disaerato

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- materiale                            acciaio zincato

*collegamento piatto sensore-trasduttore*

- tubo rilsan                            diametro esterno 6 mm, spessore 2 mm
- liquido circuito                    olio idraulico disaerato

*trasduttore di pressione*

- tipo di misura                    pressione totale assoluta
- tipo di sensore                    a strain gauges foto incisi collegati a ponte intero o a corda vibrante
- diaframma                        ceramico, isolamento > 3 KV
- filtro                                polietilene sinterizzato, porosità 40 micron
- campi di misura                0 - 200 bar
- sovrappressione massima        30% f.s.
- sensibilità                         0.01% f.s.
- precisione                        ± 0.5% f.s.
- campo di temperatura            -10 +50 °C
- materiale                         acciaio inossidabile

Installazione

La cella di pressione viene installata nei conci strumentati.

Documentazione

Lungo una stessa sezione tutti i cavi delle celle vengono fatti convergere in un unico punto, in un'apposita nicchia o scatola.

Il dato da misurare è il carico a cui è sottoposto lo strumento e quindi la struttura a cui esso è collegato e le sue variazioni nel tempo.

La misura si effettua o con una centralina portatile o con il sistema di acquisizione automatico, sia provvisorio che definitivo, alimentando e rilevandone il segnale in uscita.

Dal valore in uscita dello strumento si risale alla pressione in quel punto "materiale-struttura" entro il quale lo strumento è stato applicato.

Il valore letto, viene trasformato in unità ingegneristiche moltiplicandolo per una costante ricavabile direttamente dalla scheda tecnica di ogni singolo strumento.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L'apparecchiatura di misura viene sottoposta a taratura con scadenza annuale o presso il Fornitore o presso un laboratorio autorizzato.

I dati acquisiti vengono graficati nel diagramma “variazione carico - tempo” dove è possibile verificare nel tempo l'andamento delle eventuali variazioni di carico che subisce la struttura.

La documentazione finale deve comprendere:

- informazioni generali; data di posa in opera;
- codice e matricola di ogni strumento;
- certificato di taratura e calibrazione di ogni sensore installato;
- ubicazione e schema geometrico d'installazione;
- lettura di zero; tabelle con letture.

## **12.14 Misura Geotecnica elettrolivelle e clinometri da parete**

### **ELETTROLIVELLE:**

#### Generalità

L'elettrolivella consente la misura della variazione di inclinazione e della rotazione di strutture.

#### Campi di impiego

- monitoraggio di strutture sotto l'effetto di scavi sotterranei;
- monitoraggio della stabilità di strutture in aree franose;
- monitoraggio della flessione e della deformazione di muri di contenimento;

#### Descrizione e modalità esecutive

L'elettrolivella è composta da un sensore elettrolitico monoassiale o biassiale di inclinazione.

Esso è saldamente ancorato ad una barra metallica che può essere facilmente montata grazie agli ancoraggi alle due estremità.

La barra è stata espressamente concepita per permettere una misura su base prolungata di 1, 2, 3 metri svincolando la misura stessa dagli effetti termici grazie alla struttura appoggiata su speciali sistemi di cuscinetti a sfere. Il sensore fornisce in uscita una tensione proporzionale all'inclinazione dello strumento. La tensione in uscita viene letta e convertita in una misura di inclinazione, sotto forma di mm/m. L'elettrolivella può essere usata singolarmente o in serie con altre per monitorare

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

le deformazioni di strutture estese come ponti e viadotti.

#### *Componenti della strumentazione*

- corpo esterno della elettrolivella;
- sensore biassiale interno
- convertitore, terminali elettrici e collegamenti.

#### *Caratteristiche tecniche*

- Tipologia di sensore
- Elettrolitico monoassiale/
- biassiale
- Campo di misura  $\pm 2^\circ$
- Alimentazione 8-24 V cc
- Uscita elettrica  $\pm 2,5$  Volt  $0^\circ \pm 1,5$  Volt
- Risoluzione  $\pm 0,005$  mm/m
- Barra di ancoraggio su richiesta: 1, 2, 3 metri
- Classe di protezione IP65
- Temperatura di funzionamento da  $-20^\circ\text{C}$  a  $+50^\circ\text{C}$
- Ripetibilità  $\pm 0,015$  mm/m

#### Installazione

Per l'installazione delle elettrolivelle nella fornitura è compresa un'asta avente lunghezza pari a 1, 2, 3 m, che permette l'ancoraggio alle pareti delle strutture da monitorare.

Prima della posa in opera è necessario eseguire alcune operazioni preliminari come di seguito descritto:

#### *Installazione a parete*

- sul lato della struttura ad una altezza  $\leq 1,50\text{m}$  realizzare con il trapano dei fori a parete di diametro necessario per l'inserimento dei tasselli delle staffe;
- fissare le staffe montando su di esse l'asta di 1, 2, 3 m cercando di posizionarla il più possibile orizzontale;
- inserire il perno filettato al quale è collegata l'elettrolivella nel foro superiore dell'asta;
- ruotare lo strumento fino a disporre gli assi X ed Y lungo la direzione desiderata, tramite

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

una livella sferica mettere in bolla lo strumento correggendo eventuali inclinazioni del sistema staffe-asta, agendo sul giunto sferico del perno filettato, serrare lievemente i bulloni di fissaggio;

- collegare lo strumento alla centralina e controllare la messa in bolla tramite il sensore biassiale;
- una volta in bolla serrare bene i bulloni;

#### *Collaudo e lettura iniziale di riferimento*

Al termine delle operazioni di installazione si procede col settaggio della centralina d'acquisizione e alla verifica dei dati. La lettura di zero è la prima lettura successiva all'installazione.

#### Documentazione

La documentazione dovrà comprendere:

- informazioni a carattere generale, data di installazione, problematiche varie;
- tipo di elettrolivella; numero di codice e matricola;
- schema geometrico d'installazione; disposizione degli assi;
- coordinate assolute elettrolivella (nel caso siano fuori terra).
- tabelle con letture.

I dati ricavati dalle misure vengono graficati nel diagramma “inclinazione (°)-tempo(GG)” nel quale si visualizzano nel tempo le variazioni di inclinazione lungo gli assi X ed Y.

#### **CLINOMETRI DA PARETE:**

##### Campi di impiego

Lo strumento permette di valutare i movimenti della struttura (fabbricato, muro ecc..) su cui è posizionato, consentendo di individuare l'entità e la direzione degli eventuali spostamenti.

L'apparecchio (*inclinometro da parete*) utilizza un sensore potenziometrico biassiale per misurare le minime variazioni di pendenza delle strutture su cui viene posto in opera.

Ogni sensore è dotato di particolarità costruttive, caratteristiche tecniche e robustezza tali da poter essere applicato agevolmente nel campo civile e nelle situazioni più gravose ed avverse.

Si prevede l'utilizzo di questo tipo di sensori per il:

- monitoraggio dei fabbricati.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA  FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Lo strumento inclinometrico montato su una apposita piastra viene fissato ad una parete del fabbricato. Uno o più strumenti, installati sullo stesso fabbricato, misurano quindi tutte le eventuali inclinazioni, in termini di entità e direzione, che lo stesso fabbricato potrebbe subire.

#### Descrizione e modalità esecutive

Lo strumento è costituito da un corpo in acciaio inossidabile contenente un sensore potenziometrico mono o biassiale di precisione e da una piastra di fissaggio a parete completa di supporto (eventualmente snodato) con relative bolle livellometriche per il posizionamento. Permette la registrazione della variazione angolare dell'asse di misura dei sensori rispetto la verticale gravitazionale.

La lettura dei dati avviene o direttamente tramite apposita centralina manuale o rilevati a distanza in automatico. L'acquisizione continua dei dati permette, al superamento dei limiti di soglia preimpostati, di attivare segnali di allarme.

#### *Caratteristiche tecniche*

- |                        |  |
|------------------------|--|
| - tipo di misura       | variazioni angolari su strutture esterne |
| - tipo di sensore      | potenziometrico biassiale                |
| - campi di misura      | $\pm 10^\circ$                           |
| - sensibilità          | 0.05% f.s.                               |
| - precisione           | < 0.5% f.s.                              |
| - campo di temperatura | 0°C +50°C                                |

#### *Installazione*

Le procedure da osservare sono le seguenti:

- eseguire con il trapano il numero di fori necessari per l'installazione della piastra sulla parete della struttura da tenere sotto osservazione;
- infilare i bulloni di ancoraggio nei fori predisposti e cementarli con resine o cemento a presa rapida; aspettare quindi che il cemento faccia presa;
- infilare la piastra dello strumento di misura negli ancoraggi e stringere fino a fondo corsa le viti corrispondenti;
- installare lo strumento alla piastra e mettere in bolla; eseguirne la taratura mediante collegamento dei cavi elettrici ad una centralina di misura.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### *Misure*

Il dato da misurare è la variazione di angolo dello strumento e quindi della struttura a cui esso è collegato e le sue variazioni nel tempo.

L'apparecchiatura di misura viene sottoposta a taratura con scadenza annuale o presso il Fornitore o presso un laboratorio autorizzato.

Il segnale elettrico letto sulla centralina, uno per ogni canale corrispondente ad un piano verticale, viene trasformato in unità ingegneristiche (in gradi) moltiplicandolo per una costante ricavabile direttamente dalla scheda tecnica di ogni strumento.

### Documentazione

La documentazione finale deve comprendere:

- informazioni generali;
- data di posa in opera;
- ubicazione e schema geometrico d'installazione;
- certificato di taratura e calibrazione di ogni sensore installato;
- orientamento dell'asse X e dell'asse Y;
- quota del punto di installazione; lettura di zero;
- tabelle con letture.

I dati acquisiti vengono graficati nel diagramma "variazione angolare - tempo" dove è possibile verificare nel tempo l'andamento delle eventuali variazioni di inclinazione.

## **12.15 Sistemi di acquisizione dati**

### Generalità

L'acquisizione dati centralizzati consiste in un sistema hardware/software, che consente di acquisire a frequenze più elevate, convertire e memorizzare i valori forniti da più sensori di natura diversa, distribuiti nell'area oggetto di lavoro, anche in zone difficilmente raggiungibili.

### Campi di impiego

- opere di grande estensione areale con una grande numero di strumentazione elettrica installata;
- tempi di acquisizioni frequenti;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- zone poco accessibili;
- esigenze di trasferimenti rapidi delle informazioni;

#### Descrizione e modalità esecutive

Per quanto riguarda i sistemi di lettura e di acquisizione dei dati, si prevede l'utilizzo dei seguenti sistemi:

- unità portatile di lettura sensori;
- sistema acquisizione dati (SAD);
- cassette di derivazione.
- Ufficio di gestione monitoraggio locale (UGM).

#### *Unità portatile di lettura sensori*

Durante le fasi di costruzione delle singole opere, finalizzato quindi al monitoraggio in fase costruttiva, si prevede l'utilizzo di una unità di acquisizione dati portatile (centralina). Mediante il suo utilizzo gli operatori potranno interrogare i sensori della strumentazione elettrica appuntare i valori necessari per la successiva elaborazione in ufficio.

#### *Sistema di acquisizione dati (SAD)*

Il SAD ha il compito di gestire, per ogni sezione, tutti i sensori elettrici che ad essa sono collegati.

#### *Caratteristiche tecniche*

- unità di acquisizione dati allocata in contenitore di alluminio pressofuso IP 65;
- Interfaccia Seriale RS232 (bluetooth opzionale)
- Memoria 2Mbyte FLASH per il sistema operativo e 4Mbyte SRAM per memoria dati
- Input analogici 6 canali differenziali espandibili con multiplexer (MUX) fino a 192
- Range di alimentazione  $\pm 5$  V c.c.
- precisione 0.06% lettura + offset
- Porta comunicazione RS232/USB
- Alimentazione 110-220 V c.a.  
opzionale: pannello solare + batteria tampone

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- protezione sulla linea di alimentazione: scaricatore a gas;
- grado di protezione armadio = IP 65;
- Temperatura di esercizio -25°C +50°C

Sul SAD, verrà adottato un sistema in grado di memorizzare i dati in collegamento con l'UGM tramite linea telefonica GSM - UMTS.

#### *Cassette di derivazione*

Si prevede l'utilizzo, di cassette alle quali collegare i sensori da centralizzare, garantendo la protezione elettrica da sovratensioni e da correnti vaganti. Hanno la funzione proteggere contemporaneamente dalle sovratensioni sia i sensori che i (SAD) installati sulle sezioni, quindi in ambienti esposti ad influssi elettromagnetici ed elettrostatici. Per facilitare le operazioni tali cassettoni verranno collegate ai SAD mediante un unico cavo multipolare.

#### *Ufficio di gestione monitoraggio locale (UGM)*

L'ufficio di gestione monitoraggio viene allestito in un locale appositamente individuato. In esso viene ubicato l'elaboratore centrale (Server) e le unità periferiche (Pc) dove giungono in automatico tutti i dati della strumentazione remotizzata, fungendo quindi da banca dati gestita con apposito software GIS. Qui vengono inoltre elaborati i dati delle letture effettuate manualmente dagli operatori.

#### Documentazione

Tutte le connessioni devono essere effettuate secondo schemi prestabiliti e documentati. Per l'ingresso dei cavi devono essere utilizzati gli appositi pressacavi. Le connessioni devono essere eseguite avendo cura di non distorcere o danneggiare i cavi. Le scatole (anche quelle eventuali di "secondo livello") devono essere collegate all'impianto di terra di cantiere secondo quanto specificato dal produttore ed in accordo alle norme vigenti.

L'unità di acquisizione dati verrà installata nel locale ad essa preposto seguendo le prescrizioni particolari del fornitore. L'installazione deve essere completata da un'opportuna procedura di validazione e verifica che comprenda il collaudo di tutti gli elementi hardware e software nonché dei sistemi di comunicazione sia verso le unità di gestione in cantiere che verso i terminali di terzi.

L'apparecchiatura di misura viene sottoposta a taratura con scadenza annuale o presso il Fornitore o presso un laboratorio certificato.

*Allegare:*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- informazioni generali; data di posa in opera;
- codice e matricola di ogni strumento;
- certificato di taratura e calibrazione;
- ubicazione e schema geometrico d'installazione.

## 12.16 Cavi elettrici di collegamento

### Generalità

I cavi elettrici dovranno essere adatti per la trasmissione del segnale e realizzati in esecuzione robusta, adatti per ambienti umidi e per l'immersione in getti di calcestruzzo. Dovranno essere del tipo schermato, con guaina esterna in poliuretano o silicone. Lo schermo potrà essere realizzato con treccia di rame o foglio di alluminio: in questo ultimo caso è richiesto il filo di drenaggio in rame.

La sezione dei conduttori sarà sufficiente a garantire la corretta tensione di alimentazione del sensore considerando la lunghezza del tratto di cavo e quindi la relativa caduta di potenziale.

### Caratteristiche tecniche

#### cavi a 4 conduttori:

Tali cavi, di diametro non superiore a 9 mm, sono costituiti da 4 conduttori di sezione pari a 0.22 mm<sup>2</sup>.

#### cavi multipolari:

Tali cavi, di diametro non superiore a 15 mm, sono costituiti da 15 coppie di conduttori di sezione pari a 0.22 mm<sup>2</sup>.

Tutti i cavi impiegati dovranno soddisfare le seguenti specifiche tecniche:

- conduttori in rame elettrolitico ricotto in formazione flessibile;
- isolamento in silicone o poliuretano per la guaina esterna e in PVC o poliolefina reticolata per i conduttori;
- schermo in treccia di rame (è consentito in alternativa l'uso di schermo in alluminio, con conduttore di drenaggio in rame stagnato);
- norme applicabili: CEI 20-11 CEI 20-29 CEI 46-6;
- isolamento guaina esterna:
  - tensione di prova: 300 V;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

### 12.17 Prescrizioni di installazione

Nell'esecuzione delle operazioni precedenti l'installazione si deve tenere conto che se si opera in ambito urbano in vicinanza degli edifici ed in prossimità delle loro fondazioni. Prima della posa in opera della strumentazione e dell'inizio degli scavi vanno localizzate tutte le possibili interferenze con sottoservizi, manufatti interrati, cavidotti ed emergenze archeologiche. Se necessario, occorre pertanto procedere preliminarmente all'installazione di qualsivoglia strumento ad un prescavo a mano della profondità adeguata onde evitare danneggiamenti alle preesistenze della rete sotterranea.

L'installazione dovrà avvenire almeno 1 mese prima dell'inizio dei lavori della relativa opera o tratto di opera da monitorare, al fine di acquisire un numero di dati rilevante per la corretta definizione della situazione "ante-operam", e/o una verifica del corretto funzionamento dello strumento.

Le frequenze di installazione delle singole sezioni potranno essere adattate ai riscontri in corso d'opera. La strumentazione geotecnica sarà installata secondo le tempistiche e le necessità correlate allo sviluppo delle fasi esecutive.

### 12.18 Modalità esecutive Monitoraggio in corso d'opera (frequenze di lettura)

Per il monitoraggio in corso d'opera verranno impiegate unità portatili di lettura e/o acquisitori automatici provvisori sia per la strumentazione posta all'interno dell'opera che per quella all'esterno.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Mediante l'eventuale utilizzo di acquisitori automatici la cadenza di esecuzione delle letture per il monitoraggio in corso d'opera può essere pre-impostata attraverso un apposito software. Per le misure effettuate manualmente dovranno essere predisposte squadre di personale addetto alle letture. Le frequenze delle misure in seguito vengono descritte in funzione delle fasi esecutive delle diverse opere previste e dei diversi tipi di grandezze da monitorare; sono inoltre parametrizzate in funzione del diametro delle gallerie ( $\Phi$ ). Al progressivo avvicinarsi del fronte di avanzamento della galleria alla progressiva della sezione strumentata, le frequenze di lettura si intensificano per poi diradarsi al progressivo allontanamento del fronte dalla sezione di monitoraggio in questione.

Raggiunta la stabilizzazione delle misure, le eventuali ulteriori letture di controllo proseguiranno con frequenze da definire in corso d'opera.

Le cadenze previste potranno subire modifiche in funzione del reale comportamento tenso-deformativo riscontrato, degli avanzamenti dei lavori e della stabilizzazione delle grandezze monitorate.

Inoltre qualora si riscontrino anomalie nei valori registrati si procederà alla verifica del dato e all'eventuale intensificazione delle misure.

#### 12.18.1 Misure di cedimento (capisaldi topografici, staffe livellometriche, mire ottiche)

Luogo di Installazione	Descrizione	Frequenza letture
Lettura di "0" dopo l'installazione, N°2 lett./mese fino ad inizio lavori.		
Gallerie Naturali	<i>Sezioni esterne</i> -5 $\Phi$ < distanza dal Fronte di scavo < -2 $\Phi$ -2 $\Phi$ < distanza dal Fronte di scavo < +2 $\Phi$ +2 $\Phi$ < distanza dal Fronte di scavo < +5 $\Phi$ Distanza dal Fronte di scavo > +5 $\Phi$ fino a stabilizzazione misure. Per 3 mesi di tempo successivi al superamento della sez. strumentata	1-2lett./sett. 1-2lett./gg. 1-2lett./sett.  1-2lett./mese  1-2lett./mese
Gallerie Artificiali	Assenza lavorazioni Lavorazioni in esercizio (consolidamenti, scavi e realizzazione diaframmi, ecc.)	1lett./mese  1lett./giorno

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale		Codice documento SF0132_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

	Lavorazioni ultimate (fino ad avvenuta stabilizzazione delle letture o durante il fermo delle lavorazioni)	1lett./sett
Imbocchi	Assenza lavorazioni	1lett./mese
	Lavorazioni in esercizio (consolidamenti, scavi e realizzazione diaframmi, ecc.)	1lett./giorno
	Lavorazioni ultimate (fino ad avvenuta stabilizzazione delle letture o durante il fermo delle lavorazioni)	1lett./sett
Strutture preesistenti	In prossimità delle Gallerie Naturali	(Frequenze. Sez. Galleria)
	In prossimità degli imbocchi e delle gallerie artificiali	
	Durante la realizzazione di Paratie e scavi	1lett./gg.
	Fino al ultimazione delle lavorazioni.	2lett./sett.
In funzione alle necessità legate alle lavorazioni, le frequenze potranno variare in corso d'opera.		

### 12.18.2 Misure piezometriche

Luogo di Installazione	Descrizione	Frequenza letture
Letture di "0" dopo l'installazione, N°2 lett./mese fino ad inizio lavori.		
Gallerie Naturali	-5 $\Phi$ < distanza dal Fronte di scavo < -2 $\Phi$	1-2lett./sett.
	-2 $\Phi$ < distanza dal Fronte di scavo < +2 $\Phi$	1-2lett./gg.
	+2 $\Phi$ < distanza dal Fronte di scavo < +5 $\Phi$	1-2lett./sett.
	Distanza dal Fronte di scavo > +5 $\Phi$ fino a stabilizzazione misure.	1-2lett./mese
	Per 3mesi di tempo successivi al superamento della sez. strumentata	1-2lett./mese
Gallerie Artificiali	Assenza lavorazioni	1lett./mese
	Lavorazioni in esercizio (consolidamenti, scavi e realizzazione diaframmi, ecc.)	1lett./giorno

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

	Lavorazioni ultimate (fino ad avvenuta stabilizzazione delle letture o durante il fermo delle lavorazioni)	1lett./sett
<b>Imbocchi</b>	Assenza lavorazioni  Lavorazioni in esercizio (consolidamenti, scavi e realizzazione diaframmi, ecc.)  Lavorazioni ultimate (fino ad avvenuta stabilizzazione delle letture o durante il fermo delle lavorazioni)	1lett./mese  1lett./giorno  1lett./sett
<b>Strutture preesistenti</b>	In prossimità delle Gallerie Naturali  In prossimità degli imbocchi e delle gallerie artificiali Durante la realizzazione di Paratie e scavi Fino al ultimazione delle lavorazioni.	(Frequenze. Sez. Galleria)   1lett./gg. 2lett./sett.
In funzione alle necessità legate alle lavorazioni, le frequenze potranno variare in corso d'opera.		

### 12.18.3 Misure assestometriche ed inclinometriche

Luogo di Installazione	Descrizione	Frequenza letture
Lettura di "0" dopo l'installazione, N°2 lett./mese fino ad inizio lavori.		
<b>Gallerie Naturali</b>	-5 $\Phi$ < distanza dal Fronte di scavo < -2 $\Phi$ -2 $\Phi$ < distanza dal Fronte di scavo < +2 $\Phi$ +2 $\Phi$ < distanza dal Fronte di scavo < +5 $\Phi$ Distanza dal Fronte di scavo > +5 $\Phi$ fino a stabilizzazione misure. Per 3mesi di tempo successivi al superamento della sez. strumentata	1-2lett./sett. 1-2lett./gg. 1-2lett./sett.  1-2lett./mese  1-2lett./mese
<b>Gallerie Artificiali</b>	Assenza lavorazioni  Lavorazioni in esercizio (consolidamenti, scavi e realizzazione diaframmi, ecc.)	1lett./mese  1lett./giorno

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

	Lavorazioni ultimate (fino ad avvenuta stabilizzazione delle letture o durante il fermo delle lavorazioni)	1lett./sett
<b>Imbocchi</b>	Assenza lavorazioni  Lavorazioni in esercizio (consolidamenti, scavi e realizzazione diaframmi, ecc.)  Lavorazioni ultimate (fino ad avvenuta stabilizzazione delle letture o durante il fermo delle lavorazioni)	1lett./mese  1lett./giorno  1lett./sett
In funzione alle necessità legate alle lavorazioni, le frequenze potranno variare in corso d'opera.		

#### 12.18.4 Misure stato tensionale (Riv. 1°-2° fase, Conci strumentati, Pali, diaframmi)

Luogo di Installazione	Descrizione	Frequenza letture
Galleria Naturale scavo meccanizzato  <i>(Conci Strumentati)</i>	<i>Installazione strumentazione</i> Test strumentazione Lettura "0"	Da effettuare prima dell'installazione
	<i>Maturazione conci</i> Inizio periodo di maturazione. Fine periodo maturazione.	1lett. 1lett.
	<i>Installazione anello strumentato in galleria</i> Primi 30m successivi al montaggio dell'anello strumentato  Primi 100m successivi al montaggio dell'anello strumentato  Fino al completamento della linea	1lett./gg  1lett./sett 1lett./mese

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Gallerie Artificiali/ Imbocchi ( <i>Pali – Pannelli</i> )	Lavorazioni in esercizio (consolidamenti, scavi e realizzazione diaframmi, ecc.)  Lavorazioni ultimate (fino ad avvenuta stabilizzazione delle letture o durante il fermo delle lavorazioni)	1lett./giorno  1lett./sett
In funzione alle necessità legate alle lavorazioni, le frequenze potranno variare in corso d'opera.		

### 12.18.5 Misure Elettrolivelle e clinometri

Luogo di Installazione	Descrizione	Frequenza letture
Strutture e Manufatti	Assenza lavorazioni  Lavorazioni in esercizio (consolidamenti, scavi e realizzazione diaframmi, ribassi, ecc.)  Lavorazioni ultimate (fino ad avvenuta stabilizzazione delle letture, durante il fermo delle lavorazioni o fino alla disinstallazione del puntello)	1lett./sett.  3lett./giorno  1lett./sett
In funzione alle necessità legate alle lavorazioni, le frequenze potranno variare in corso d'opera.		

### 12.18.6 Fessurimetri

Luogo di Installazione	Descrizione	Frequenza letture
Strutture e Manufatti	Assenza lavorazioni  Lavorazioni in esercizio (consolidamenti, scavi e realizzazione diaframmi, ecc.)  Lavorazioni ultimate (fino ad avvenuta stabilizzazione delle letture o durante il fermo delle lavorazioni)	1lett./mese  3lett./giorno  1lett./sett
In funzione alle necessità legate alle lavorazioni, le frequenze potranno variare in corso d'opera.		

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 12.18.7 Misure Celle di carico

Luogo di Installazione	Descrizione	Frequenza letture
Puntelli	Assenza lavorazioni	1lett./sett.
	Lavorazioni in esercizio (jet-grouting, scavi e realizzazione diaframmi, ribassi, ecc.)	2lett./giorno
	Lavorazioni ultimate (fino ad avvenuta stabilizzazione delle letture, durante il fermo delle lavorazioni o fino alla disinstallazione del puntello)	1lett./sett
Tiranti	Durante lo scavo per gli ordini successivi della paratia	1lett./gg.
	A scavo effettuato fino alla realizzazione dei solai	1lett./sett.
In funzione alle necessità legate alle lavorazioni, le frequenze potranno variare in corso d'opera.		

### 12.19 Definizione delle soglie di attenzione e di allarme

Il controllo mediante monitoraggio si basa principalmente sulla definizione di soglie aventi lo scopo di segnalare l'instaurarsi di una situazione deformativa e/o tensionale particolare. Sulla base dei valori raggiunti dai parametri di controllo in funzione dei valori di soglia definiti, vengono attuate eventuali azioni e contromisure.

I valori fissati per tali soglie sono funzione dei risultati previsti dai calcoli di progetto, relativamente a spostamenti, deformazioni, tensioni,....).

Questi limiti sono definiti come:

Soglia di attenzione: è definito come una quota parte delle risultanze delle sollecitazioni (o delle deformazioni) di progetto; il superamento di questo limite implica l'incremento della frequenza delle misure, allo scopo di stabilire e monitorare la velocità con la quale il fenomeno si evolve, in modo da valutare il potenziale instaurarsi di eventi e rapida evoluzione che potrebbero, in determinate circostanze, risultare incontrollabili.

Soglia di allarme: definita in funzione del livello deformativo, tensionale,...., più gravoso per una determinata situazione; il suo superamento implica il coinvolgimento della Direzione Lavori per la valutazione di opportune contromisure.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le contromisure da adottare in caso di superamento dei limiti di allarme, hanno lo scopo di riportare la situazione reale entro i limiti previsti in progetto.

## **12.20 APPENDICE 1 – Descrizione Sistema gestione dati**

### GESTIONE DEI DATI DI MONITORAGGIO

Il Ponte dello Stretto di Messina e le sue opere di collegamento ferroviarie e stradali necessitano di un sistema di monitoraggio molto complesso e articolato per le problematiche geotecniche e geologiche che interessano l'infrastruttura medesima, che si traduce in una grande mole di dati da archiviare, elaborare ed interpretare.

Tutti i dati di monitoraggio verranno gestiti all'interno di un sistema informativo geo-referenziato (tipo Hi-Cap Monitor) che, una volta validati (al fine di eliminare errori di acquisizione e/o restituzione) e resi disponibili, ne consente la consultazione, l'analisi e la verifica da parte dei soggetti interessati (Progettista, Direzione dei Lavori) entro poche ore dall'acquisizione sul campo. La piattaforma GIS di tale sistema consente di visualizzare la situazione aggiornata della strumentazione installata con riferimento al tracciato delle gallerie e delle opere.

Le caratteristiche della strumentazione sono consultabili in apposite schede contenute nel database del sistema. Analogamente, i dati relativi alle letture effettuate sulla strumentazione sono inseriti sistematicamente all'interno dello stesso database, in modo da consentire diverse tipologie di interrogazione del sistema (e, conseguentemente, di risposta): per singolo strumento, per gruppi di strumenti, per tipologia di strumenti, per opera, per area, per data, per periodo temporale, o per più di uno di tali elementi insieme.

Il Sistema Informativo Geografico (GIS) applicato al monitoraggio ha lo scopo di archiviare, rendere consultabili ed elaborabili i dati del monitoraggio; consente inoltre di confrontare i dati tra loro, fornendo così un supporto alle decisioni in tempo reale. I dati gestiti sono tutti quelli del monitoraggio geotecnico, topografico, ambientale, nonché dei parametri di macchina (nel caso dell'utilizzo di TBM).

### CARATTERISTICHE E ARCHITETTURA DEL SISTEMA

Lo scopo dell'utilizzo di un programma GIS (tipo Hicap Monitor) è quello di avere sempre sotto controllo l'andamento delle attività di monitoraggio connessa alla realizzazione dell'opera civile.

L'interfaccia informatica del software GIS, permette in modo intuitivo all'utente che accede al sistema di condurre una ricerca delle informazioni e della reportistica strumentale attraverso

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

almeno tre modalità:

- Possibilità di ricercare uno strumento all'interno del menù (struttura ad albero). Infatti muovendosi all'interno di un elenco di strumenti, divisi per opera, sarà possibile accedere alle informazioni di interesse.
- Possibilità di visualizzare l'elenco degli strumenti per tipologia (strumenti per tipo ad esempio tipo inclinometri);
- Possibilità di selezionare lo strumento direttamente dalla planimetria (visualizza la mappa);

Il software GIS consentirà di visualizzare i dati relativi alle letture e di generare, sia in video che in formato esportabile, le tabelle dei dati di monitoraggio; i file prodotti dovranno contenere al loro interno una o più rappresentazioni grafiche, a seconda del tipo di strumento editato, fornendo così un'immediata risposta dell'andamento delle grandezze monitorate. I dati dovranno essere esportabili in formato compatibile per l'elaborazione ulteriore con software specifici, rendendo possibili post-elaborazioni senza modifiche dell'archivio del database.

Il Sistema Informativo è costituito da tre diversi moduli:

- Modulo locale (uffici di cantiere);
- Modulo remoto (trasferimento dati dal server centrale all'ufficio remoto di gestione Web);
- Modulo Web (pubblicazione dati su web).

La postazione locale è collocata presso gli uffici di cantiere ed ogni postazione sarà dotata di un Personal Computer, munito di tutti i software applicativi dedicati all'interrogazione automatica dei datalogger (unità di acquisizione dati UAD) e alla loro gestione.

Le postazioni locali, il cui numero è funzione delle necessità di cantiere, consentirà di strutturare l'area di monitoraggio organizzandola in maniera gerarchica, suddividendola logicamente, per esempio, in tronchi, cantieri, WBS, progressiva WBS, fino alla singola sezione strumentata o opera da monitorare (viadotto, rilevato, trincea). All'interno della struttura gerarchica ad albero, gli strumenti potranno essere organizzati per gruppi omogenei (ad esempio strumenti topografici, geotecnici, ambientali, ecc.) o per sezioni di misura. Inoltre le postazioni locali permetteranno l'archiviazione dei dati di monitoraggio all'interno di un banca dati (server centrale).

Il modulo remoto di trasferimento dati, installato presso gli uffici del gestore del sito web, consente di inviare i dati dal server centrale al server web mediante l'utilizzo di appositi programmi e strumenti.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il modulo Web invece consentirà la pubblicazione sul web dei dati residenti nella banca dati del server web e la loro consultazione usufruendo di strumenti GIS.

La banca dati risiederà fisicamente su un unico server ma sarà consultabile da chiunque abbia una connessione internet, secondo diversi livelli di accesso e conseguentemente di disponibilità delle informazioni. Qualsiasi utente avrà accesso al sistema senza la necessità di avere i software dedicati installati sul suo computer ma utilizzando i programmi residenti sul server.

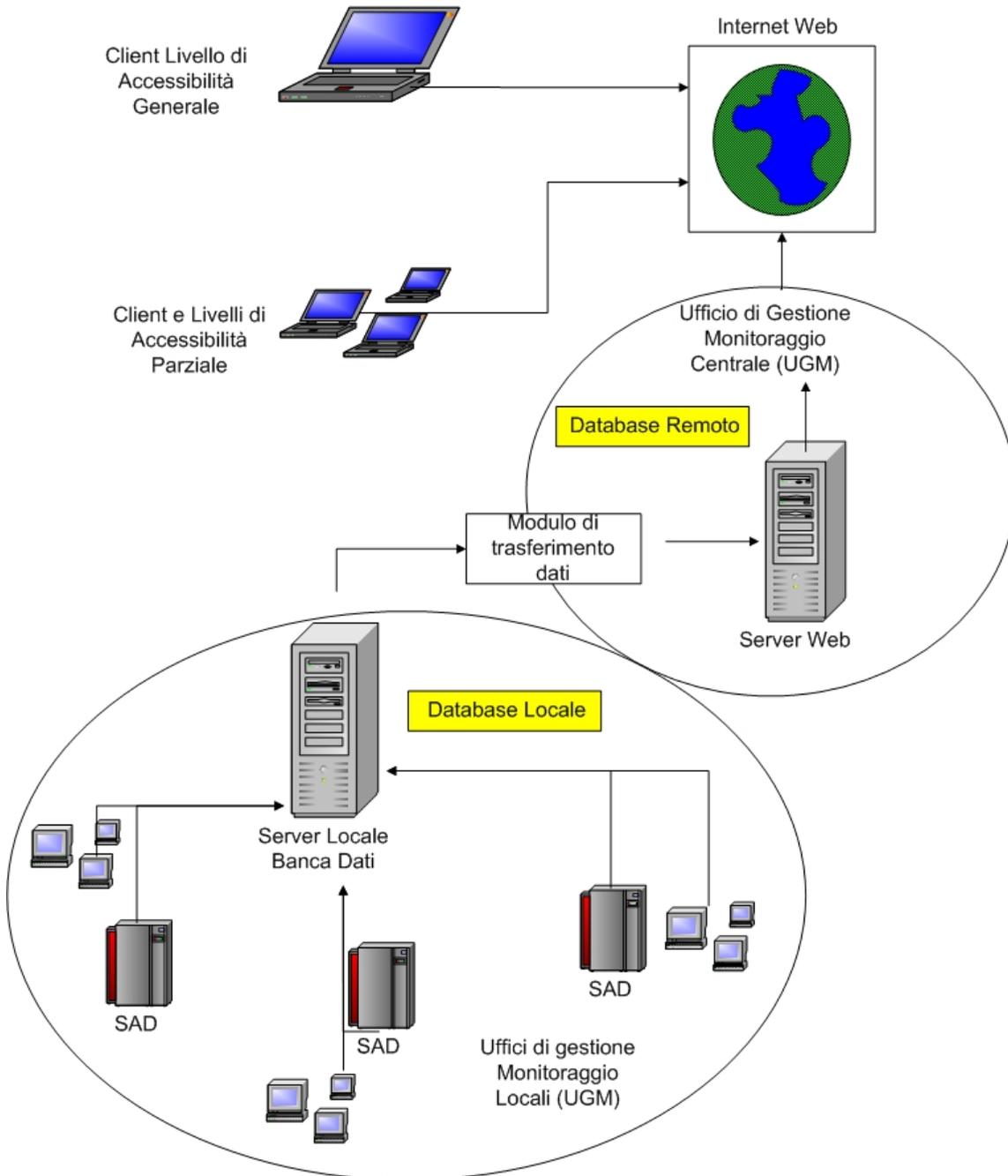
Il sistema GIS si adatta perfettamente alla gestione delle informazioni di opere complesse, infatti la sua struttura permette in modo molto versatile di creare diversi livelli di accesso dedicati agli utenti finali (client). Si potrà accedere al sistema mediante un livello di accesso a carattere generale oppure mediante dei livelli di accesso parziale.

Il livello d'ingresso generale, consentito esclusivamente al concedente (committente), permetterà di avere a disposizione l'intera panoramica dei parametri di monitoraggio connessi alle fasi costruttive di tutte le macro-opere del Ponte in senso stretto e di tutti i suoi collegamenti stradali e ferroviari.

I livelli di accesso parziale invece riguardano le diverse micro-opere, ad esempio distinte in funzione della collocazione geografica (lato Calabria o lato Sicilia), oppure in funzione della tipologia di galleria (stradale o ferroviaria) o del tipo di ramo di galleria (A, B, C e ecc.). I client ad accesso parziale potranno visualizzare esclusivamente i dati inerenti la porzione di infrastruttura di propria competenza.

Segue schema dell'architettura del sistema informativo adottato.

Architettura Generale del Sistema Informativo



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>COLLEGAMENTI SICILIA – INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – Relazione tecnica generale</b>		<i>Codice documento</i> SF0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 12.21 APPENDICE 2 – Allegati

