

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)

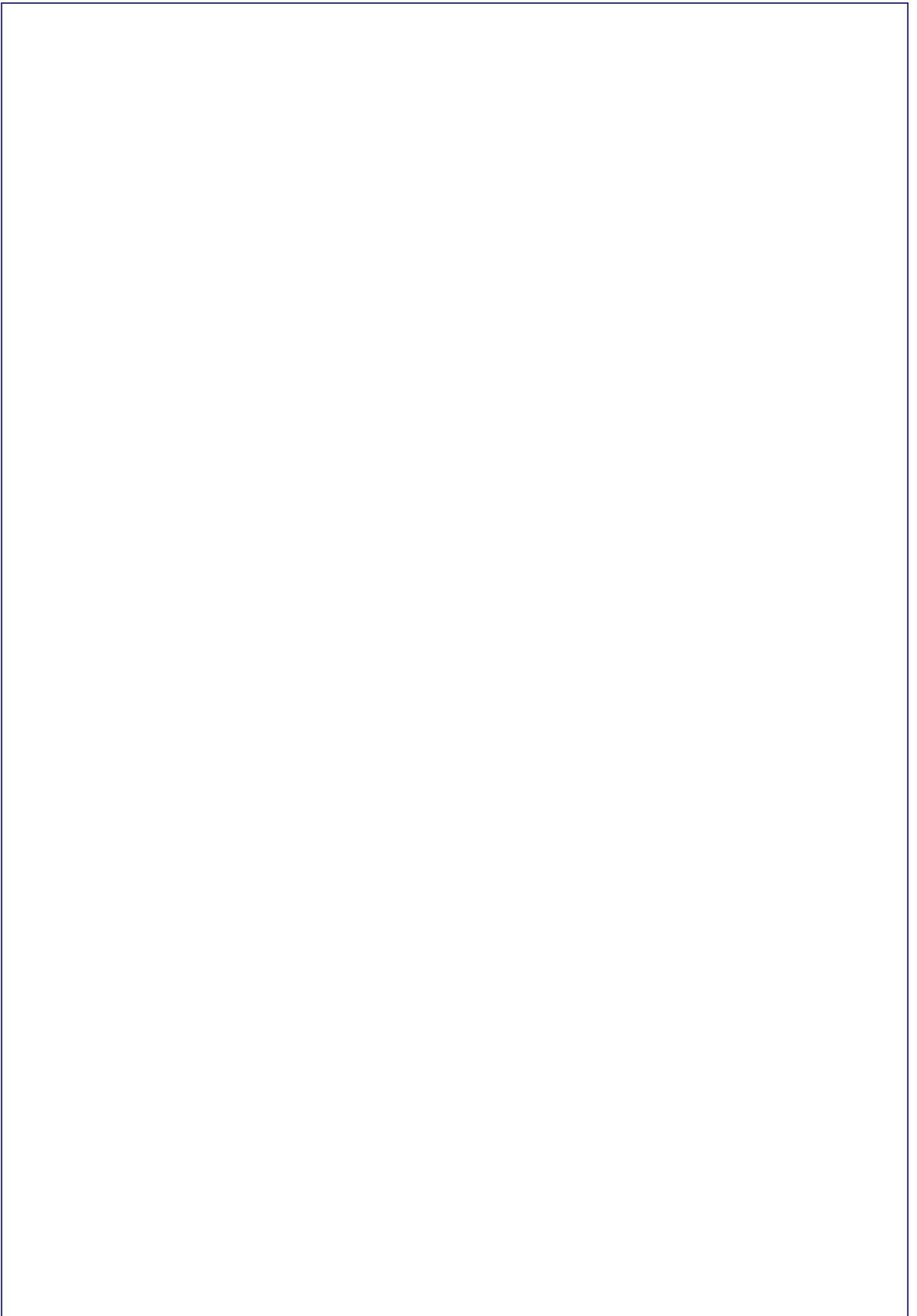
<p>IL PROGETTISTA</p>  <p>CONSULENZA E ASSISTENZA TECNICA nel campo della GEINGEGNERIA S.p.A.</p> <p>Dott. Ing. G. Cassani Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p> 	<p>IL CONTRAENTE GENERALE</p> <p>Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Direttore Generale e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

<p><i>Unità Funzionale</i></p> <p><i>Tipo di sistema</i></p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i></p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i></p> <p><i>Titolo del documento</i></p>	<p>COLLEGAMENTI SICILIA</p> <p>PARTE GENERALE FERROVIARIA – OPERE CIVILI</p> <p>SEZIONI TIPO COSTRUTTIVE DELLE OPERE D'ARTE IN SOTTERRANEO</p> <p>GALLERIA NATURALE</p> <p>GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p>SF0119_F0</p>
---	--	------------------

CODICE

C G 0 8 0 0 P C L D S G F T 7 G N 0 0 0 0 0 1 F 0

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



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

INDICE

INDICE.....	3
1 Premessa.....	7
1.1 Inquadramento generale	8
2 Riferimenti normativi e documentazione di riferimento.....	11
2.1 Applicazione della Normativa	11
2.2 Elaborati di riferimento	13
3 Caratteristiche dei materiali	16
4 FASE CONOSCITIVA: Contesto geologico, idrogeologico e geotecnico	17
4.1 Inquadramento geologico.....	17
4.2 Inquadramento geomorfologico.....	20
4.3 Inquadramento stratigrafico lungo il tracciato.....	22
4.4 Inquadramento idrogeologico.....	43
4.5 Tratta dall'imbocco (lato ponte) al Km 8+000 circa	43
4.6 Tratta dal Km 8+000 al km 9+000 circa	43
4.7 Tratta dal Km 9+000 al km 9+600 circa	44
4.8 Tratta dal Km 9+600 al km 9+950 circa	44
4.9 Tratta dal Km 9+950 al km 11+400 circa	45
4.10 Tratta dal Km 11+400 al km 13+150 circa	45
4.11 Tratta dal Km 13+150 all'imbocco lato Messina.....	45
4.12 Perturbazione della piezometrica	46
4.13 Sintesi dei parametri geotecnici e individuazione dei parametri operativi di calcolo	47
5 FASE DI DIAGNOSI: Previsioni sul comportamento degli ammassi allo scavo	57
5.1 Individuazione delle sezioni di calcolo e analisi mediante linee caratteristiche.....	58
6 VALUTAZIONI SULLO SCAVO IN MECCANIZZATO	65
6.1 Procedura per la valutazione delle pressioni al fronte.....	65
6.2 Definizione delle pressioni al fronte.....	66
7 FASE DI TERAPIA	68
7.1.1 Verifica tensionale dei rivestimenti	75
7.1.1.1 Verifica dei rivestimenti definitivi.....	75
8 Analisi numeriche	76
8.1 Curve di "relax" nel modello di calcolo	78

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

8.2	Risultati delle analisi numeriche	79
8.2.1	Risultati deformativi	80
8.2.2	Risultati tensionali	80
8.2.2.1	Verifica dei rivestimenti definitivi S.L.U.....	80
8.2.2.2	Verifica dei rivestimenti definitivi S.L.E.....	83
8.3	Validazione del modello semplificato	85
9	Verifiche dei conci prefabbricati.....	90
9.1	Verifiche a scasseratura, movimentazione e stoccaggio	90
9.1.1	Verifiche agli SLU.....	92
9.1.2	Verifiche agli SLE	93
9.1.2.1	Verifica tensionale	93
9.1.2.2	Verifica a fessurazione	93
9.2	Spinta dei martinetti.....	93
9.3	COLLEGAMENTI FRA CONCI PREFABBRICATI.....	94
9.3.1	Collegamenti longitudinali	94
9.3.2	Verifica in fase transitoria	95
9.3.3	Collegamenti trasversali	96
9.3.4	Barra guida.....	96
9.3.5	Dispositivi di messa a terra	97
10	Opere complementari.....	98
10.1	FASE DI DIAGNOSI: Previsioni sul comportamento degli amassi allo scavo.....	98
10.1.1	Galleria S. Agata	98
10.1.2	Galleria S. Cecilia	100
10.2	FASE DI TERAPIA.....	103
10.2.1	Galleria S. Agata	105
10.2.1.1	Verifica tensionale dei rivestimenti	107
10.2.1.2	Verifica dei rivestimenti di prima fase	107
10.2.1.3	Verifica dei rivestimenti definitivi.....	107
10.2.2	Galleria S. Cecilia	108
10.2.2.1	Verifica tensionale dei rivestimenti	113
10.2.2.2	Verifica dei rivestimenti di prima fase	114
10.2.2.3	Verifica dei rivestimenti definitivi.....	115
10.3	Analisi di stabilità del fronte.....	116

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

10.4	Condotta di smaltimento acque di piattaforma	116
	ALLEGATO – RIFERIMENTI TEORICI E DI CALCOLO	120
11	Metodo delle curve caratteristiche	121
11.1	Aspetti generali.....	121
11.2	Consolidamento del fronte di scavo	124
12	Analisi di stabilità del fronte.....	126
13	Software di calcolo	128
13.1	PLAXIS.....	128
	ALLEGATO – LINEE CARATTERISTICHE	133
	ALLEGATO – ANALISI NUMERICHE	134

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p>COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p><i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc</p>		<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 08/04/2011</p>

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

1 Premessa

Nella presente relazione si analizzano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle gallerie ferroviarie lato Sicilia, nell'ambito dei lavori di costruzione dei collegamenti stradali tra il Ponte sullo Stretto e la città di Messina.

Il presente documento svolge secondo il NTU 2008 le analisi e le verifiche relative allo scavo con fresa e fornisce indicazioni sull'utilizzo di una macchina TBM; le considerazioni all'interno riportate sono finalizzate all'individuazione delle problematiche di scavo con TBM ed alle relative risoluzioni.

I principali aspetti affrontati sono;

1. valutazione del comportamento del terreno allo scavo in assenza di interventi;
2. definizione del "range" di pressioni al fronte da applicare per l'avanzamento;
3. definizione delle tipologie di armature necessarie all'interno dei conci prefabbricati in funzione della profondità del tunnel;

Per la definizione dei risentimenti in superficie (bacini di subsidenza), la definizione di un programma di monitoraggio superficiale per la salvaguardia e controllo delle preesistenze, e per le specifiche tecnologiche della macchina si rimanda alle specifiche relazioni.

Le modalità e le fasi realizzative sono comunque e necessariamente oggetto di studio di una fase di progettazione più approfondita quale quella esecutiva.

In generale i principali aspetti geotecnici da affrontare nella gestione dello scavo meccanizzato sono:

- elevata possibilità di incontrare terreni incoerenti acquiferi, anche al di fuori dei punti già segnalati dall'indagine, senza alcuna eccezione lungo tutto il tracciato; questi terreni potranno interessare in tutto o in parte la sezione trasversale delle gallerie. Nel contesto geologico di deposizione l'incontro di ghiaie o sabbie acquifere durante lo scavo di terreni a grana fine e viceversa, può essere improvviso e non prevedibile, per la difficoltà di determinare con esattezza l'estensione tridimensionale dei diversi materiali. Nei terreni acquiferi incoerenti possono verificarsi cadute della consistenza del terreno nella camera di scavo; risulta pertanto necessario che la macchina sia dotata di un adeguato sistema di monitoraggio e di condizionamento del terreno;
- le caratteristiche stratigrafico-geotecniche lungo il tracciato, di disomogeneità dei terreni all'interno della stessa sezione di scavo e di gradienti idraulici differenziati, non permettono

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

di affidarsi esclusivamente a modellazioni geotecniche per simulare le condizioni di interazione terrenomacchina.

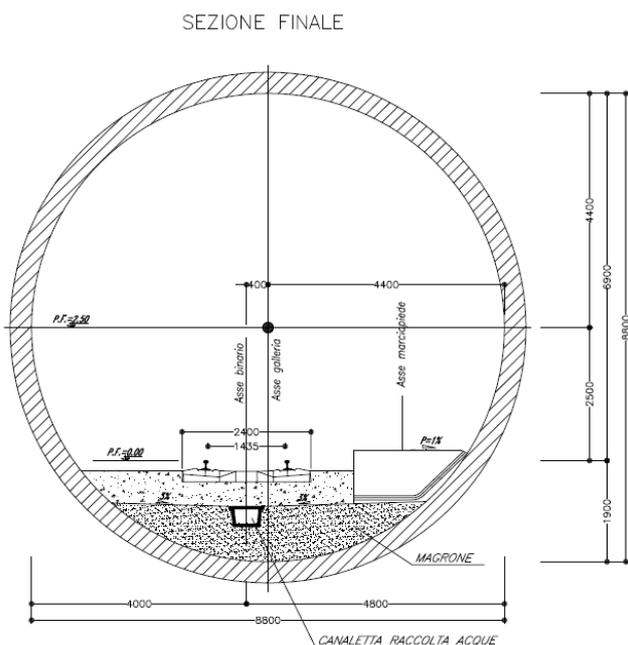
- La definizione del valore della pressione da applicare al fronte e i restanti parametri di macchina andranno pertanto ricercati in fase di scavo e costantemente verificati con il monitoraggio in corso d'opera;
- la presenza in alcune zone di argille ad alta plasticità può creare problemi per il raggiungimento della lavorabilità del terreno nella camera di scavo. Per ovviare a ciò si richiede che vengano utilizzati idonei additivi e fillers.

1.1 Inquadramento generale

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.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

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 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.

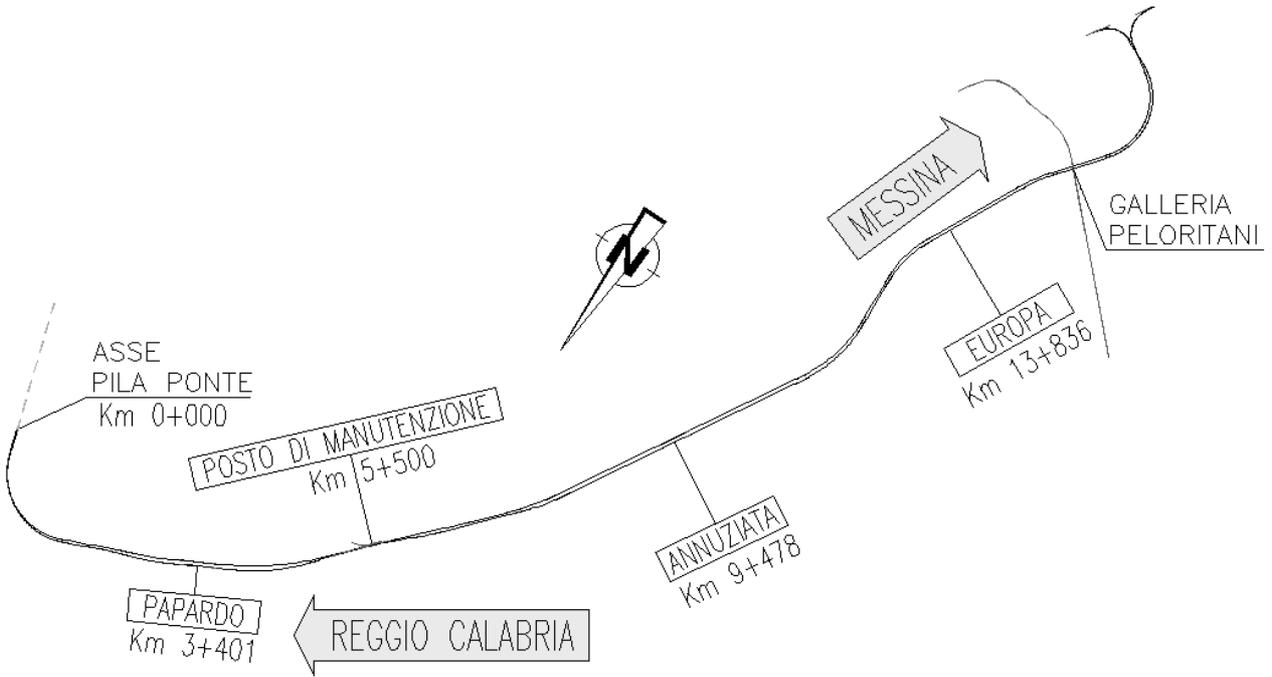
Dopo una graduale divaricazione dei binari in galleria fino a pervenire alle due canne in galleria naturale ad interasse 30 mt che mantengono costante fino al km 12+808 circa, l'interasse dei binari in galleria viene incrementato a 44 mt necessari per la realizzazione della "Fermata Europa Km 13+836.30"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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

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):

- γ_F = γ_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);
- γ_M per i materiali (applicati ai parametri di resistenza del terreno)
- γ_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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	

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 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

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 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 cinematiso 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).

2.2 Elaborati di riferimento

Di seguito si riporta l'elenco degli elaborati a cui si fa riferimento:

**COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA"
E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO**

Codice documento
SF0119_F0.doc

Rev
F0

Data
08/04/2011

39 PARTE GENERALE FERROVIARIA - OPERE CIVILI														
39 Sezioni tipo costruttive delle opere d'arte in sotterraneo														
39 Galleria Naturale														
39	Scavo meccanizzato - Conci prefabbricati - quadro sinottico	CG0800	P	SC	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	01	A
39	Scavo meccanizzato - Conci prefabbricati - carpenteria concio tipo	CG0800	P	BK	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	01	B
39	Scavo meccanizzato - Conci prefabbricati - armatura concio tipo	CG0800	P	BK	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	02	A
39	Scavo meccanizzato - Prefabbricato di base - carpenteria e armatura	CG0800	P	BB	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	01	B
39	Galleria S. Agata - profilo geotecnico e geomeccanico - binario pari tav. 1/2	CG0800	P	F6	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	01	B
39	Galleria S. Agata - profilo geotecnico e geomeccanico - binario pari tav. 2/2	CG0800	P	F6	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	02	B
39	Galleria S. Agata - profilo geotecnico e geomeccanico - binario dispari tav. 1/2	CG0800	P	F6	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	03	B
39	Galleria S. Agata - profilo geotecnico e geomeccanico - binario dispari tav. 2/2	CG0800	P	F6	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	04	B
39	Galleria S. Cecilia - profilo geotecnico e geomeccanico - binario pari tav. 1/5	CG0800	P	F6	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	05	B
39	Galleria S. Cecilia - profilo geotecnico e geomeccanico - binario pari tav. 2/5	CG0800	P	F6	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	06	B
39	Galleria S. Cecilia - profilo geotecnico e geomeccanico - binario pari tav. 3/5	CG0800	P	F6	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	07	B
39	Galleria S. Cecilia - profilo geotecnico e geomeccanico - binario pari tav. 4/5	CG0800	P	F6	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	08	B
39	Galleria S. Cecilia - profilo geotecnico e geomeccanico - binario pari tav. 5/5	CG0800	P	F6	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	09	B
39	Galleria S. Cecilia - profilo geotecnico e geomeccanico - binario dispari tav. 1/5	CG0800	P	F6	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	10	B
39	Galleria S. Cecilia - profilo geotecnico e geomeccanico - binario dispari tav. 2/5	CG0800	P	F6	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	11	B
39	Galleria S. Cecilia - profilo geotecnico e geomeccanico - binario dispari tav. 3/5	CG0800	P	F6	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	12	B
39	Galleria S. Cecilia - profilo geotecnico e geomeccanico - binario dispari tav. 4/5	CG0800	P	F6	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	13	B
39	Galleria S. Cecilia - profilo geotecnico e geomeccanico - binario dispari tav. 5/5	CG0800	P	F6	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	14	B
39	Gallerie S. Agata e S. Cecilia - Relazione di calcolo	CG0800	P	CL	D	S	GF	T7	GN	00	00	00	01	B

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

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 γ_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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

4 FASE CONOSCITIVA: 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.

4.1 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 "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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

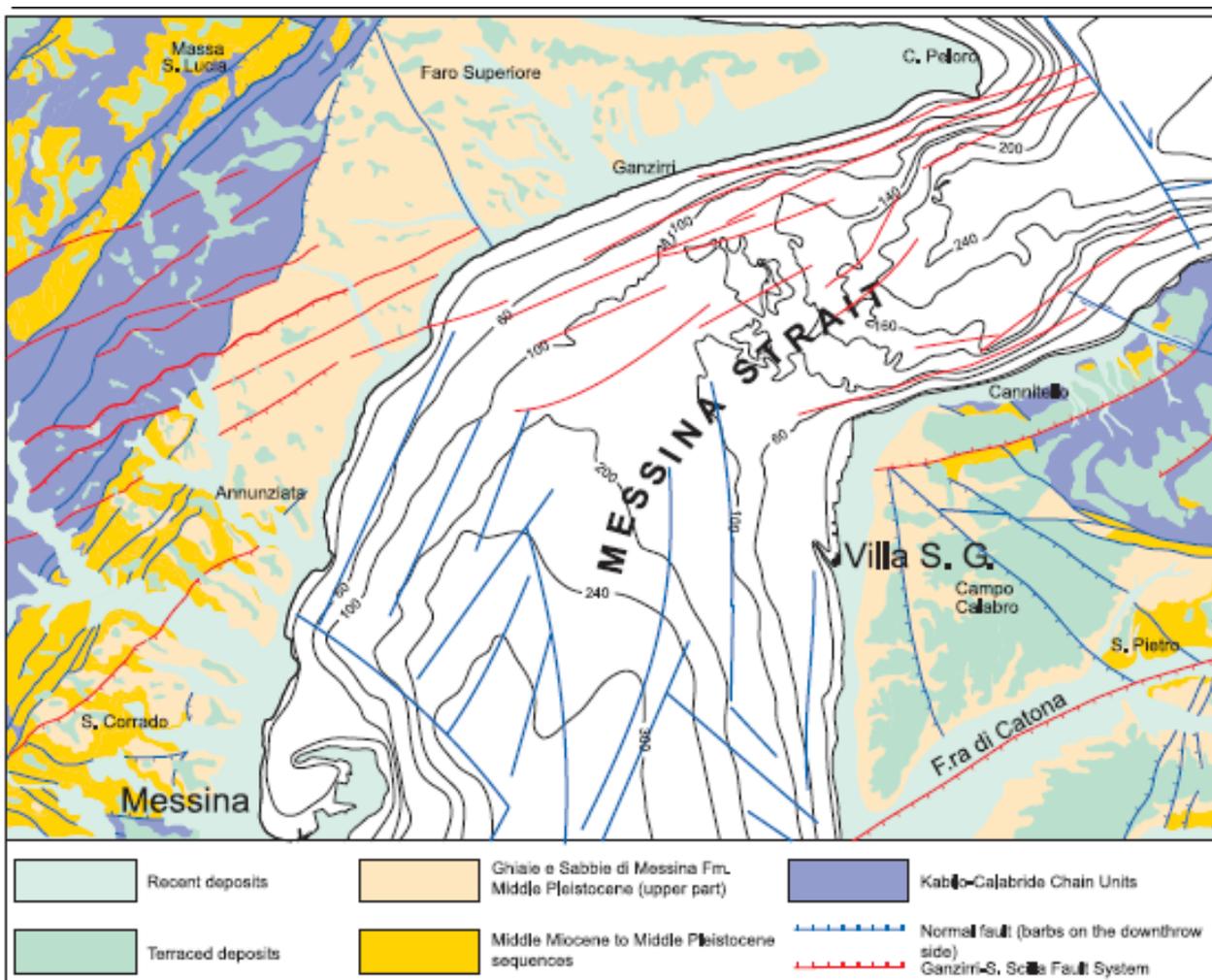


Figura 1 – Schema tettonico dell’area dello Stretto di Messina. Lo schema mostra la distribuzione delle Ghiaie e sabbie di Messina e i recenti sistemi di faglie che interessano l’intera area.

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	

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 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.

4.2 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 fiamme, 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

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).

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 rinvencono 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	

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 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.

4.3 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

all'interno della formazione delle ghiaie e sabbie di Messina, prima, e dei depositi alluvionali recenti, dopo.

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 Ciccìa 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 Tracanali (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 saccaroide, caratterizzati mesoscopicamente dalla presenza di biotite±granati±quarzo±feldspati±muscovite.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	



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.*

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

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 rinvengono 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 breccie 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 arcosiche, da argille sabbiose e/o siltose debolmente marnose e da peliti grigio brune con livelli di sabbie o microconglomerati giallastri (Figura 3). Uno studio biostratigrafico integrato a foraminiferi e nannofossili ha permesso di riferire questo intervallo alle biozone a *Orbulina suturalis*/G. *peripheroronda* e *Dentoglobigerina a. altispira* e a *Helicosphaera walbersdorfensis*/*Sphenolithus 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 Larderia, 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 Larderia, 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. Spalataro 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	



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

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).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	



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 rinvencono 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 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).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	



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 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento SF0119_F0.doc	Rev 1	Data 08/04/2011



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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

Calcarea evaporitico brecciato:

Calcarea 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 calcarea 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 Larderìa, 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 calcarea vacuolare, nel sondaggio S 450.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	



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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	



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 Piaie, altri esigui lembi si rinvencono 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

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-pleiocenico. 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. Spalataro, 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 rinvengono 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	

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 nanoflore 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 poggiati 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,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

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 ± 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	

Messina. Loc. Monte Balena.

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011



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 Zafferìa, 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	



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 embriati, 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	



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,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

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 tardo-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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

4.4 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.

4.5 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).

4.6 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 fiamara 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

isopiezometriche ricostruite si riferiscano in realtà al livello d'acqua di una falda sospesa che 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.

4.7 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 interesterà all'interno del livello argilloso-gessoso basale impermeabile della Formazione gessoso-solfifera.

4.8 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

ravvicinata, che dovrebbero rappresentare due limiti a potenziale imposto che limitano la possibilità di risalita della piezometrica.

4.9 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..

4.10 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.

4.11 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

idrogeologica generale, la galleria dovrebbe rimanere perlomeno al di sopra della zona satura. 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).

4.12 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

4.13 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 similari 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

GRUPPI GEOMECCANICI – FORMAZIONE DELLE SABBIE E GHIAIE DI MESSINA			
DATO	CARAT. GEOT. GENERALE	GRUPPO 2 (z<120m)	GRUPPO 1 (z>120m)
γ (kN/m ³)	18÷20	18÷20	18÷20
c^{picco} (kPa)	0÷10	20÷60	0÷10
φ^{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)
$C_r^{\text{'}}$ (kPa)	0	10÷50	0
$\varphi_r^{\text{'}}$ (°)	33÷35	30÷35	33÷35
E^* (Mpa)	$E = (17 \div 35) \cdot (z)^{0.65}$	650-850	100-450
$\nu^{\text{'}}$ (-)	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:

γ_t = peso di volume naturale;

$\varphi^{\text{'}}$ = angolo di attrito operativo;

$c^{\text{'}}$ = intercetta di coesione operativa;

$\varphi_r^{\text{'}}$ = angolo di attrito residuo;

$c_r^{\text{'}}$ = 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.

$\nu^{\text{'}}$ = 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:

$\varphi^{\text{'}} = 38 \div 40^{\circ}$ =angolo di resistenza al taglio

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

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°.

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.

σ_n (Mpa)	Picco		Residuo	
	c' (MPa)	ϕ' (°)	c' (MPa)	ϕ' (°)
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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

GRUPPI GEOMECCANICI – FORMAZIONE DELLA SAN PIER NICETO FACIES CONGLOMERATICA-SABBIOSA			
DATO	CARAT. GEOT. GENERALE	GRUPPO 1 (z>70m)	GRUPPO 2 (z<70m)
γ (kN/m ³)	20÷22	20÷22	20÷22
c^{\prime} picco (kPa)	0÷50	50÷140	0÷50
φ^{\prime} picco (°)	38÷40 (p'ff=0-272KPa)	30÷38	30÷38
C_r^{\prime} (kPa)	-	20÷60	0÷30
φ_r^{\prime} (°)	-	24÷28	24÷28
$E^{\prime} *$ (Mpa)	$(20-30) \cdot z^{0,7}$	350-500	100-350
ν^{\prime} (-)	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:

γ = peso di volume naturale;

φ^{\prime} = angolo di attrito operativo;

c^{\prime} = intercetta di coesione operativa;

φ_r^{\prime} = angolo di attrito residuo;

c_r^{\prime} = intercetta di coesione residua;

E^{\prime} = 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.

ν^{\prime} = 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:

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

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

$$\phi'_{cv} = 30^\circ$$

Per i valori di resistenza in condizioni residue si ottiene:

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

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

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 σ'_n può esprimersi con un involuppo curvilineo di picco interpolante i dati sperimentali che in questo caso diviene pari a:

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

essendo il fattore "m" risultato pari a circa 0.6, tipico di argille sovraconsolidate, e ϕ' l'angolo di attrito in condizioni di normalconsolidazione che si può assumere pari a 30° .

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:

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

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

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

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

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

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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

- 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.
- 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
γ (kN/m ³)	19÷21	19÷21	19÷21
c'_{picco} (kPa)	20÷50	35÷50	20÷35
ϕ'_{picco} (°)	22÷30	22÷30	22÷30
C_r' (kPa)	0	0	0
ϕ_r' (°)	28÷30	16÷28	16÷28
$E' *$ (Mpa)	70-120	150-500	70-120
ν' (-)	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:

γ_t = peso di volume naturale;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

φ' = angolo di attrito operativo;

c' = intercetta di coesione operativa;

φ_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.

ν' = 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)
γ (kN/m ³)	19÷21	19÷21	19÷21
c'_{picco} (kPa)	20÷50	20÷50	20÷50
φ'_{picco} (°)	25÷30	25÷30	25÷30
C_r' (kPa)	-	15÷35	15÷35
φ_r' (°)	-	20÷25	20÷25
$E' *$ (Mpa)	40-70 (Liv. Marnosi) 180-600 (Liv. Massivi)	180-600	40-70
ν' (-)	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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

Simbologia:

γ_t = peso di volume naturale;

φ' = angolo di attrito operativo;

c' = intercetta di coesione operativa;

φ^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.

ν' = 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 σ_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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

copertura (m)	σ_n (Mpa)	Picco		Residuo	
		c' (MPa)	φ' (°)	c' (MPa)	φ' (°)
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
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)	σ_n (Mpa)	Picco		Residuo	
		c' (MPa)	φ' (°)	c' (MPa)	φ' (°)
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 zone tettonizzate.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

5 FASE DI DIAGNOSI: Previsioni sul comportamento degli ammassi allo scavo

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 previsione delle modalità di avanzamento in sotterraneo è stata condotta secondo l'approccio del "Metodo per l'Analisi delle Deformazioni Controllate nelle Rocce e nei Suoli (ADECO-RS)". Sulla base dei dati raccolti in fase di studio geologico e di caratterizzazione geomeccanica degli ammassi da attraversare, sono state effettuate le previsioni di comportamento tenso-deformativo della galleria in assenza di interventi, ed in particolare modo la previsione sul "comportamento deformativo del fronte di scavo", il quale riveste notevole importanza nella definizione delle condizioni di stabilità, a breve e lungo termine, e degli interventi più idonei per garantirle.

Si vuole ora determinare il comportamento dell'ammasso allo scavo in funzione delle caratteristiche geotecniche del terreno attraversato, della sezione di scavo e dei carichi litostatici dovuti alle differenti coperture riscontrate lungo il tracciato della galleria in oggetto.

Per ogni singolo gruppo sarà possibile ottenere diverse classi di comportamento allo scavo in funzione delle diverse coperture in esame. Nella successiva fase di terapia, in cui si definiranno gli interventi necessari per l'avanzamento nelle diverse classi di comportamento, ad una stessa classe di comportamento potranno corrispondere diverse sezioni tipo, adeguate alle caratteristiche geologiche e fisiche di ogni formazione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	

5.1 Individuazione delle sezioni di calcolo e analisi mediante linee caratteristiche

Per la determinazione del comportamento dell'ammasso allo scavo è stata utilizzata la teoria delle linee caratteristiche applicata con coperture minime pari a circa 3 diametri; per maggiori chiarimenti su tale metodologia di calcolo si rimanda alla teoria riportata in "Allegato – Riferimenti teorici e di calcolo".

Per le verifiche con il metodo delle curve caratteristiche è stata adottata la soluzione fornita da Lombardi (1974) che permette di determinare la curva caratteristica in condizioni piane, e quelle in prossimità del fronte tenendo conto di uno stato di tensione tridimensionale dovuto alla deviazione delle linee di forza delle tensioni longitudinali. Il materiale viene considerato elasto-plastico con criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

I dati di input delle analisi sono assunti in accordo con la Combinazione 1 dell'Approccio 1 (A1-M1-R1), come specificato nel Paragrafo 2.1.

I dati di input delle analisi sono assunti in accordo con la Combinazione 1 dell'Approccio 1 (A1-M1-R1), come specificato nel Paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** I parametri geotecnici utilizzati rappresentano parametri di calcolo operativi assunti all'interno del "range" di variabilità descritto nel paragrafo di caratterizzazione geotecnica. La scelta operativa all'interno del "range" è legata sia alla tipologia di analisi, sia alle incertezze e al "peso" del parametro nella tipologia di analisi stessa.

Le linee caratteristiche sono riportate in "Allegato – Linee caratteristiche"; di seguito si propone una tabella riepilogativa delle analisi effettuate.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

GALLERIA SANT'AGATA - SINTESI LC_DIAGNOSI - GHIAIE DI MESSINA

Geometrical Data			TBM			
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4,95	4,95	4,95	4,95
Overburden	H	[m]	30	45	70	80
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	19	19	19	19

Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	5	5	5	5
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0	0	0	0
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	39	39	39	39
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	34	34	34	34

Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	100	275	350	450
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	100	275	350	450
Poisson's ratio	ν	[-]	0,2	0,2	0,2	0,2
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0	0

DEFORMATION RESULTS

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0,21	0,31	0,49	0,56
Max cavity def. (2D)	u2d∞	[cm]	INST	INST	INST	INST
Rpl (2D)/Ro	R pmax/r0	[-]	10,1	11,8	14,1	14,9
Cavity def. at the face	uf	[cm]	54,2	37,4	58,9	56,6
Rpl (Face)/Ro	R pface/r0	[-]	3,8	4,2	4,8	4,9

INST = Deformazione maggiore di 80cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

GALLERIA SANTA CECILIA - SINTESI LC DIAGNOSI - CALCO ARE EVAPORITICO BRECCIATO

Geometrical Data			TBM			
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4,95	4,95	4,95	4,95
Overburden	H	[m]	40	60	80	120
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m ³]	20	20	20	20

Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	C _{el}	[kPa]	35	35	35	35
Cohesion in the plastic zone	C _{pl}	[kPa]	20	20	20	20
Friction angle in the elastic zone	Φ _{el}	[°]	28	28	28	28
Friction angle in the plastic zone	Φ _{pl}	[°]	23	23	23	23

Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	E _{el}	[MPa]	390	390	390	390
Deformation moduls in plastic zone	E _{pl}	[MPa]	390	390	390	390
Poisson's ratio	ν	[-]	0,3	0,3	0,3	0,3
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0	0

DEFORMATION RESULTS

Critical pressure	P _{cr}	[MPa]	0,39	0,61	0,82	1,24
Max cavity def. (2D)	u _{2d?}	[cm]	30,1	INST	INST	INST
R _{pl} (2D)/R _o	R _{pmax} /r ₀	[-]	5,7	7,8	9,7	13,2
Cavity def. at the face	u _f	[cm]	4,7	10,4	18,2	39,9
R _{pl} (Face)/R _o	R _{pface} /r ₀	[-]	2,2	2,7	3,0	3,6

INST = Deformazione maggiore di 80cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

GALLERIA SANTA CECILIA - SINTESI LC_DIAGNOSI - GHIAIE DI MESSINA

Geometrical Data			TBM					
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95
Overburden	H	[m]	30	45	70	100	120	160
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	19	19	19	19	19	19

Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	5	5	5	5	5	40
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0	0	0	0	0	30
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	39	39	39	39	39	36
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	34	34	34	34	34	32

Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	100	275	350	450	650	650
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	100	275	350	450	650	650
Poisson's ratio	ν	[-]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0	0	0	0

DEFORMATION RESULTS

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0,21	0,31	0,49	0,70	0,84	1,22
Max cavity def. (2D)	u2d∞	[cm]	INST	INST	INST	INST	INST	46,9
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	10,1	11,8	14,1	16,3	17,5	4,3
Cavity def. at the face	uf	[cm]	54,2	37,4	58,9	80,3	74,1	11,0
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	3,8	4,2	4,8	5,3	5,5	2,0

INST = Deformazione maggiore di 80cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

GALLERIA SANTA CECILIA - SINTESI LC_DIAGNOSI - METAMORFITI

Geometrical Data			TBM		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4,95	4,95	4,95
Overburden	H	[m]	40	80	120
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	22	22	22

Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	C _{el}	[kPa]	640	640	640
Cohesion in the plastic zone	C _{pl}	[kPa]	470	470	470
Friction angle in the elastic zone	Φ _{el}	[°]	38	38	38
Friction angle in the plastic zone	Φ _{pl}	[°]	28	28	28

Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	E _{el}	[MPa]	1800	1800	1800
Deformation moduls in plastic zone	E _{pl}	[MPa]	1800	1800	1800
Poisson's ratio	ν	[-]	0,2	0,2	0,2
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0

DEFORMATION RESULTS

Critical pressure	P _{cr}	[MPa]	0,00	0,17	0,51
Max cavity def. (2D)	u _{2d∞}	[cm]	0,3	0,7	1,4
R _{pl} (2D)/R _o	R _{pmax} /r ₀	[-]	1,0	1,1	1,3
Cavity def. at the face	u _f	[cm]	0,6	0,3	0,5
R _{pl} (Face)/R _o	R _{pface} /r ₀	[-]	1,0	0,8	0,9

INST = Deformazione maggiore di 80cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

GALLERIA SANTA CECILIA - SINTESI LC_DIAGNOSI - SAN PIER NICETO (ARG)

Geometrical Data			TBM		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4,95	4,95	4,95
Overburden	H	[m]	40	80	120
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	20	20	20

Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	C _{el}	[kPa]	28	42	42
Cohesion in the plastic zone	C _{pl}	[kPa]	0,4	0,4	0,4
Friction angle in the elastic zone	Φ _{el}	[°]	26	26	26
Friction angle in the plastic zone	Φ _{pl}	[°]	22	22	22

Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	E _{el}	[MPa]	95	325	325
Deformation moduls in plastic zone	E _{pl}	[MPa]	95	325	325
Poisson's ratio	ν	[-]	0,25	0,25	0,25
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0

DEFORMATION RESULTS

Critical pressure	P _{cr}	[MPa]	0,42	0,86	1,31
Max cavity def. (2D)	u _{2d∞}	[cm]	INST	INST	INST
R _{pl} (2D)/R _o	R _{pmax} /r ₀	[-]	157,7	284,4	403,7
Cavity def. at the face	u _f	[cm]	941,8	1050,9	2302,1
R _{pl} (Face)/R _o	R _{pface} /r ₀	[-]	14,0	19,4	23,5

INST = Deformazione maggiore di 80cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

GALLERIA SANTA CECILIA - SINTESI LC_DIAGNOSI - SAN PIER NICETO (CGL)

Geometrical Data			TBM			
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4,95	4,95	4,95	4,95
Overburden	H	[m]	40	80	100	140
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	22	22	22	22

Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	C _{el}	[kPa]	5	50	50	70
Cohesion in the plastic zone	C _{pl}	[kPa]	0	40	40	40
Friction angle in the elastic zone	Φ _{el}	[°]	33	33	33	33
Friction angle in the plastic zone	Φ _{pl}	[°]	26	26	26	26

Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	E _{el}	[MPa]	200	450	450	550
Deformation moduls in plastic zone	E _{pl}	[MPa]	200	450	450	550
Poisson's ratio	ν	[-]	0,3	0,3	0,3	0,3
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0	0

DEFORMATION RESULTS

Critical pressure	P _{cr}	[MPa]	0,40	0,76	0,96	1,34
Max cavity def. (2D)	u _{2d∞}	[cm]	INST	38,5	63,2	INST
R _{pl} (2D)/R _o	R _{pmax} /r ₀	[-]	52,5	4,4	5,1	6,2
Cavity def. at the face	u _f	[cm]	201,2	7,6	11,4	2,4
R _{pl} (Face)/R _o	R _{pface} /r ₀	[-]	8,9	2,0	2,2	2,4

INST = Deformazione maggiore di 80cm

Visti i risultati delle analisi svolte in assenza di interventi di sostegno, risulta evidente lo sviluppo di fenomeni deformativi plastici di entità rilevante che riguardano sia il fronte dello scavo che la cavità.

Nell'ambito dell'attraversamento delle metamorfiti, lo sviluppo delle deformazioni risulta contenuto. La contropressione al fronte dovrà essere tale da contrastare il battente idraulico ove presente.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

6 VALUTAZIONI SULLO SCAVO IN MECCANIZZATO

In base alle caratteristiche geotecniche dei materiali, nonché alle coperture in esame è possibile definire le pressioni utili alla stabilizzazione del fronte. La variabilità della copertura è compresa fra 0m e 160m.

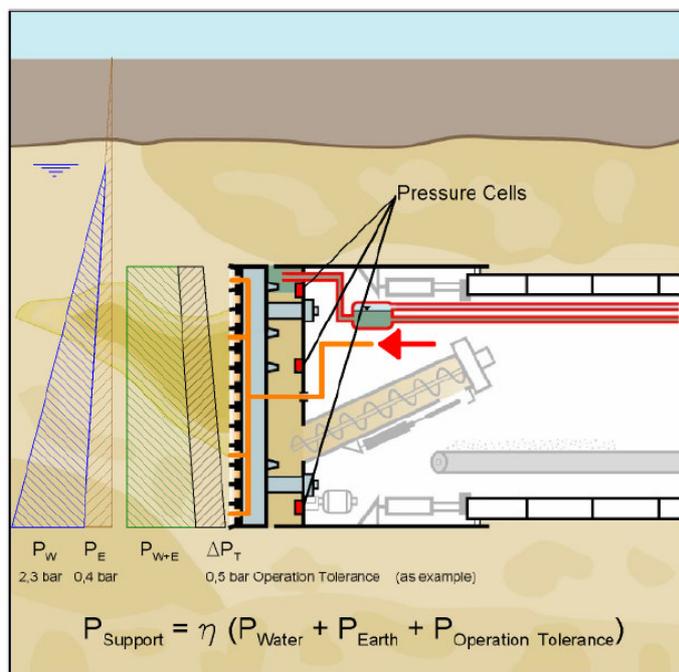
6.1 Procedura per la valutazione delle pressioni al fronte

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

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011



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.

6.2 Definizione delle pressioni al fronte

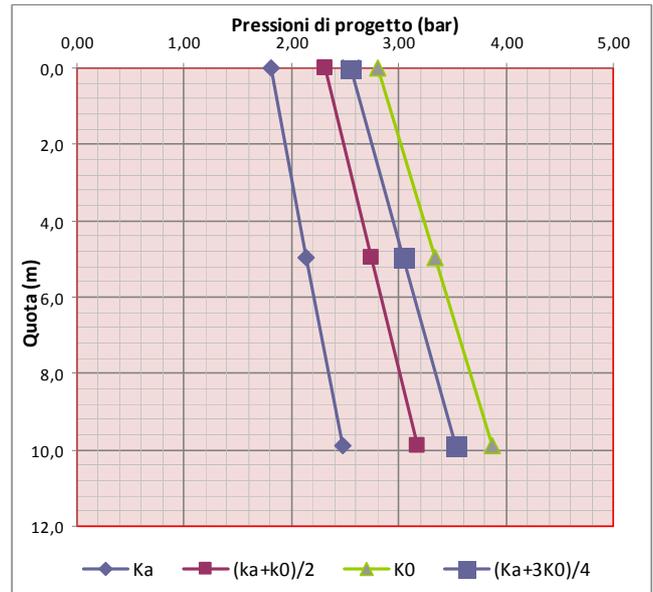
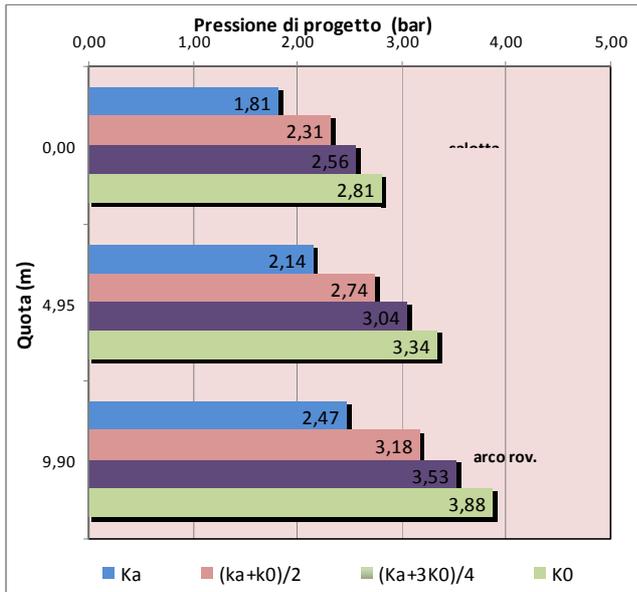
Il calcolo delle pressioni al fronte è stato effettuato per ciascuna formazione incontrata alle diverse coperture.

Mediante le formulazioni proposte da Terzaghi è stato valutato il regime di spinta in condizioni di spinta attiva (K_a) e spinta a riposo (K_0) a tre quote differenti del fronte. Il valore di progetto è da intendersi come media dei valori che tiene in conto di una tolleranza operativa e di un coefficiente

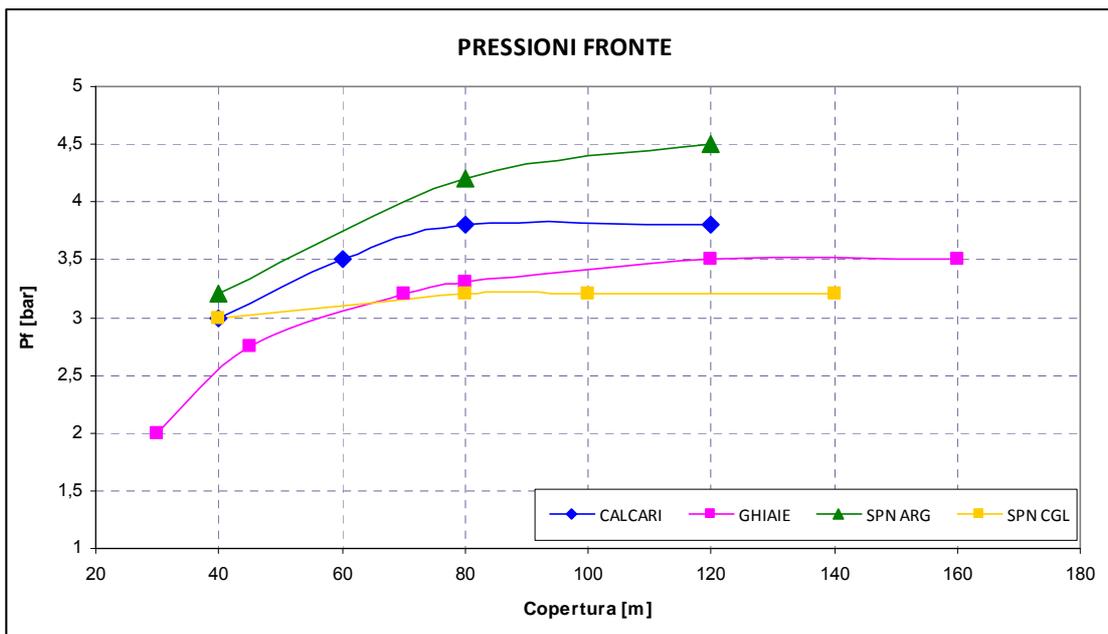
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

di sicurezza assunto pari ad 1.5.

Di seguito si riporta un esempio dell'output del programma di calcolo.



I valori di pressione distinti in funzione della copertura e della formazione sono riportati nel grafico di seguito.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

7 FASE DI TERAPIA

Per le analisi sono stati utilizzati i coefficienti di sicurezza relativi alla Combinazione 1 dell'Approccio 1 (A1-M1-R1), come specificato nel Paragrafo 2.1.

Le analisi complete svolte mediante le linee caratteristiche sono riportate in "Allegato – Linee caratteristiche"; di seguito si propone una tabella riepilogativa delle analisi effettuate.

L'incremento di sollecitazione assiale sul rivestimento definitivo, legato alla presenza della falda, non è stato considerato all'interno delle analisi svolte. Per quanto riguarda la galleria Santa Cecilia, essa non interferisce con la falda statica. Alcuni tratti della gallerie Annunziata risultano invece interferenti con la falda statica; l'incremento di sollecitazione assiale nei rivestimenti definitivi prodotta dalla presenza della falda, sommata alle sollecitazioni dedotte dalle linee caratteristiche non produce tensioni superiori a quanto previsto da normativa

L'incremento di sollecitazione assiale in presenza di 20m di falda è infatti valutabile nell'ordine di:

$$N = p_w \cdot R = \gamma_w \cdot H \cdot R = 10 \cdot 20 \cdot 5 = 1000 \text{ kN}$$

il che comporta un incremento di sforzi di compressione all'interno del rivestimento definitivo pari a:

$$\sigma = N / A = 1000 / 0.4 \cdot 10^{-3} = 2.50 \text{ MPa}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

GALLERIA SANT'AGATA - SINTESI LC_TERAPIA - GHIAIE DI MESSINA

Geometrical Data			TBM			
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4,95	4,95	4,95	4,95
Overburden	H	[m]	30	45	70	80
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m ³]	19	19	19	19

Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	C _{el}	[kPa]	5	5	5	5
Cohesion in the plastic zone	C _{pl}	[kPa]	0	0	0	0
Friction angle in the elastic zone	Φ _{el}	[°]	39	39	39	39
Friction angle in the plastic zone	Φ _{pl}	[°]	34	34	34	34

Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	E _{el}	[MPa]	100	275	350	450
Deformation moduls in plastic zone	E _{pl}	[MPa]	100	275	350	450
Poisson's ratio	ν	[-]	0,2	0,2	0,2	0,2
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0	0

DEFORMATION RESULTS (DIAGNOSIS PHASE)

Design Face Pressure	P _f	[MPa]	2,00	2,75	3,20	3,30
Critical pressure	P _{cr}	[MPa]	0,21	0,31	0,49	0,56
Max cavity def. (2D)	u _{2d∞}	[cm]	INST	INST	INST	INST
R _{pl} (2D)/R _o	R _{pmax} /r _o	[-]	10,1	11,8	14,1	14,9
Cavity def. at the face	u _f	[cm]	2,1	1,2	1,8	1,7
R _{pl} (Face)/R _o	R _{pface} /r _o	[-]	1,0	1,0	1,1	1,1

DEFORMATION RESULTS (THERAPY PHASE)

Def.face+gap	u _{f+gap}	[cm]	3,3	2,4	3,0	2,9
Def.at equilibrium point	u _{eq}	[cm]	3,4	2,5	3,1	3,0
Conv.at equilibrium point	C _{eq}	[cm]	2,6	2,6	2,6	2,6
R _{pl} (eq)/R _o	R _{peq} /r _o	[-]	1,2	1,3	1,4	1,4
Equilibrium pressure	C ₁	[MPa]	0,1	0,1	0,2	0,2

SHIELD RESULTS

SHIELD.el. deformation	σ _{st}	[cm]	4,1	3,3	3,8	3,8
SHIELD stress	σ _{sc}	[MPa]	22,9	22,9	22,9	22,9

SUPPORT RESULTS

Concrete stress	σ _b	[MPa]	1,9	2,1	3,3	3,4
Reinforcement stress	σ _s	[MPa]	-	-	-	-

INST = deformazione maggiore di 80cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	

GALLERIA SANTA CECILIA - SINTESI LC_TERAPIA - CALCARE BRECCIATO

Geometrical Data			TBM			
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4.95	4.95	4.95	4.95
Overburden	H	[m]	40	60	80	120
Unit weight of the rock mass	γ	[kN/m ³]	20	20	20	20

Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	35	35	35	35
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	20	20	20	20
Friction angle in the elastic zone	Φ_{el}	[°]	28	28	28	28
Friction angle in the plastic zone	Φ_{pl}	[°]	23	23	23	23

Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	390	390	390	390
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	390	390	390	390
Poisson's ratio	ν	[-]	0.3	0.3	0.3	0.3
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0	0

DEFORMATION RESULTS (DIAGNOSIS PHASE)

Design Face Pressure	Pf	[MPa]	3.00	3.50	3.80	3.80
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.39	0.61	0.82	1.24
Max cavity def. (2D)	u2d ∞	[cm]	30.1	INST	INST	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	5.7	7.8	9.7	13.2
Cavity def. at the face	uf	[cm]	0.7	1.5	2.4	5.7
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1.1	1.2	1.3	1.6

DEFORMATION RESULTS (THERAPY PHASE)

Def.face+gap	uf+gap	[cm]	2.0	2.7	3.7	6.9
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	2.0	2.8	3.8	7.1
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	2.6	2.7	2.8	2.8
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1.6	1.6	1.6	1.8
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0.2	0.3	0.4	0.6

SHIELD RESULTS

SHIELD.el. deformation	σ_{st}	[cm]	2.8	3.5	4.5	7.7
SHIELD stress	σ_{sc}	[MPa]	22.9	22.9	22.9	22.9

SUPPORT RESULTS

Concrete stress	σ_b	[MPa]	2.8	4.7	6.3	8.4
Reinforcement stress	σ_s	[MPa]	-	-	-	-

INST = deformazione maggiore di 80cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

GALLERIA SANTA CECILIA - SINTESI LC_TERAPIA - GHIAIE DI MESSINA

Geometrical Data			TBM					
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95
Overburden	H	[m]	30	45	70	80	120	160
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m ³]	19	19	19	19	19	19

Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	5	5	5	5	5	40
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0	0	0	0	0	30
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	39	39	39	39	39	36
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	34	34	34	34	34	32

Elastic parameters

Deformation modulus in elastic zone	Eel	[MPa]	100	275	350	450	650	650
Deformation modulus in plastic zone	Epl	[MPa]	100	275	350	450	650	650
Poisson's ratio	ν	[-]	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0	0	0	0

DEFORMATION RESULTS (DIAGNOSIS PHASE)

Design Face Pressure	Pf	[MPa]	2.00	2.75	3.20	3.30	3.50	3.50
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.21	0.31	0.49	0.56	0.84	1.22
Max cavity def. (2D)	u2d∞	[cm]	INST	INST	INST	INST	INST	46.9
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	10.1	11.8	14.1	14.9	17.5	4.3
Cavity def. at the face	uf	[cm]	2.1	1.2	1.8	1.7	2.3	3.5
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3

DEFORMATION RESULTS (THERAPY PHASE)

Def.face+gap	uf+gap	[cm]	3.3	2.4	3.0	2.9	3.5	4.7
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	3.4	2.5	3.1	3.0	3.6	4.8
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.8
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4

SHIELD RESULTS

SHIELD.el. deformation	σst	[cm]	4.1	3.3	3.8	3.8	4.3	5.5
SHIELD stress	σsc	[MPa]	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9

SUPPORT RESULTS

Concrete stress	σb	[MPa]	1.9	2.1	3.3	3.4	4.5	6.4
Reinforcement stress	σs	[MPa]	-	-	-	-	-	-

INST = deformazione maggiore di 80cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

GALLERIA SANTA CECILIA - SINTESI LC_TERAPIA - METAMORFITI

Geometrical Data			TBM		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4.95	4.95	4.95
Overburden	H	[m]	40	80	120
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m ³]	22	22	22

Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	640	640	640
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	470	470	470
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	38	38	38
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	28	28	28

Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	1800	1800	1800
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	1800	1800	1800
Poisson's ratio	ν	[-]	0.2	0.2	0.2
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0

DEFORMATION RESULTS (DIAGNOSIS PHASE)

Design Face Pressure	Pf	[MPa]	0.00	0.00	0.00
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.00	0.17	0.51
Max cavity def. (2D)	u _{2d∞}	[cm]	0.3	0.7	1.4
Rpl (2D)/Ro	R _{pmax} /r ₀	[-]	1.0	1.1	1.3
Cavity def. at the face	uf	[cm]	0.1	0.3	0.5
Rpl (Face)/Ro	R _{pface} /r ₀	[-]	0.7	0.8	0.9

DEFORMATION RESULTS (THERAPY PHASE)

Def.face+gap	uf+gap	[cm]	1.4	1.5	1.8
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	1.2	1.5	1.8
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	2.2	2.3	2.6
Rpl (eq)/Ro	R _{peq} /r ₀	[-]	1.4	1.4	1.2
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	-	-	0.1

SHIELD RESULTS

SHIELD.el. deformation	σ _{st}	[cm]	2.2	2.4	2.6
SHIELD stress	σ _{sc}	[MPa]	22.9	22.9	22.9

SUPPORT RESULTS

Concrete stress	σ _b	[MPa]	-	-	1.5
Reinforcement stress	σ _s	[MPa]	-	-	-

INST = deformazione maggiore di 80cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

GALLERIA SANTA CECILIA - SINTESI LC_TERAPIA - SAN PIER NICETO (ARG)

Geometrical Data			TBM		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4.95	4.95	4.95
Overburden	H	[m]	40	80	120
Unit weight of the rock mass	γ	[kN/m ³]	20	20	20

Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	28	42	42
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0	0	0
Friction angle in the elastic zone	Φ_{el}	[°]	26	26	26
Friction angle in the plastic zone	Φ_{pl}	[°]	22	22	22

Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	95	325	325
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	95	325	325
Poisson's ratio	ν	[-]	0.25	0.25	0.25
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0

DEFORMATION RESULTS (DIAGNOSIS PHASE)

Design Face Pressure	Pf	[MPa]	3.20	4.20	4.50
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.42	0.86	1.31
Max cavity def. (2D)	$u_{2d\infty}$	[cm]	INST	INST	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	157.7	284.4	403.7
Cavity def. at the face	uf	[cm]	3.2	3.1	7.1
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1.1	1.4	1.6

DEFORMATION RESULTS (THERAPY PHASE)

Def.face+gap	uf+gap	[cm]	4.4	4.4	8.3
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	4.5	4.5	8.5
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	2.7	2.8	2.9
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1.3	1.6	1.8
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0.3	0.5	0.6

SHIELD RESULTS

SHIELD.el. deformation	σ_{st}	[cm]	5.2	5.2	9.1
SHIELD stress	σ_{sc}	[MPa]	22.9	22.9	22.9

SUPPORT RESULTS

Concrete stress	σ_b	[MPa]	4.6	7.0	9.4
Reinforcement stress	σ_s	[MPa]	-	-	-

INST = deformazione maggiore di 80cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	

GALLERIA SANTA CECILIA - SINTESI LC_TERAPIA - SAN PIER NICETO (CGL)

Geometrical Data			TBM			
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4.95	4.95	4.95	4.95
Overburden	H	[m]	40	80	100	140
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m ³]	22	22	22	22

Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	5	50	50	70
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0	40	40	40
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	33	33	33	33
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	26	26	26	26

Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	200	450	450	550
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	200	450	450	550
Poisson's ratio	ν	[-]	0.3	0.3	0.3	0.3
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0	0

DEFORMATION RESULTS (DIAGNOSIS PHASE)

Design Face Pressure	Pf	[MPa]	3.00	3.20	3.20	3.20
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.40	0.76	0.96	1.34
Max cavity def. (2D)	u2d∞	[cm]	INST	38.5	63.2	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	52.5	4.4	5.1	6.2
Cavity def. at the face	uf	[cm]	1.9	2.4	3.6	5.6
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1.1	1.2	1.3	1.5

DEFORMATION RESULTS (THERAPY PHASE)

Def.face+gap	uf+gap	[cm]	3.1	3.6	4.9	6.8
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	3.2	3.7	5.0	7.0
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	2.6	2.7	2.8	2.8
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1.4	1.5	1.6	1.7
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0.2	0.4	0.4	0.5

SHIELD RESULTS

SHIELD.el. deformation	σst	[cm]	3.9	4.4	5.7	7.6
SHIELD stress	σsc	[MPa]	22.9	22.9	22.9	22.9

SUPPORT RESULTS

Concrete stress	σb	[MPa]	3.6	5.3	6.5	8.0
Reinforcement stress	σs	[MPa]	-	-	-	-

INST = deformazione maggiore di 80cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

7.1.1 Verifica tensionale dei rivestimenti

Le verifiche agli stati limite sono state condotte confrontando le tensioni di calcolo, opportunamente amplificate secondo i coefficienti previsti da normativa ($\gamma_{G1} = 1.3$ - vedi tabella di seguito), con le resistenze di progetto.

Si riporta la Tabella 2.6.1 delle Norme tecniche delle costruzioni. In essa sono contenuti i Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU.

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli sfavorevoli	γ_{G1}	0,9 1,1	1,0 1,3	1,0 1,0
Carichi permanenti non strutturali(1)	favorevoli sfavorevoli	γ_{G2}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3
Carichi variabili	favorevoli sfavorevoli	γ_{Qi}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

7.1.1.1 Verifica dei rivestimenti definitivi

Di seguito si riportano i valori delle sollecitazioni agenti sul rivestimento definitivo ottenuti dalle analisi delle linee caratteristiche.

Per le verifiche di resistenza delle sezioni armate, si è fatto riferimento a quanto riportato nel paragrafo 4.1.11 delle NTC2008. Per effetto delle azioni di calcolo sotto la combinazione rara, le tensioni che insorgono nel calcestruzzo devono risultare inferiori a:

- Acciaio: $f_{yd} = f_{yk} * 0.8 = 450 * 0.8 = 360 \text{ MPa}$
- Calcestruzzo: $f_{cd} = f_{ck} * 0.60 = 40 * 0.60 = 24 \text{ MPa}$

Il massimo della sollecitazione nel calcestruzzo, pari a 9,4 MPa, è stato valutato nelle analisi svolte considerando una copertura di 120 m nella formazione di S. Pier Niceto ARG.

Le sollecitazioni di progetto risultano quindi inferiori a quanto prescritto dalla normativa vigente.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

8 Analisi numeriche

Le analisi sono svolte mediante la realizzazione di un modello bidimensionale agli elementi finiti, implementato con il codice di calcolo **PLAXIS2D** versione 9.00, sviluppato dall'Università di DELFT, che ha consentito di simulare lo stato di sforzo e di deformazione generato all'interno della struttura dalle sollecitazioni dovute sia alla propria massa, sia a quanto trasmesso dal terreno circostante.

Nell'analisi condotta, quale modello costitutivo del terreno è stato assunto un modello di comportamento elasto-plastico incoerente di tipo "*Hardening Soil*", che riproduce in condizioni di primo carico triassiale, un legame tensione-deformazione di tipo iperbolico. L'incrudimento è funzione sia delle deformazioni distorsionali plastiche sia delle deformazioni volumetriche plastiche. Per maggiori dettagli a riguardo si rimanda a quanto riportato all'interno del documento "Allegato – Riferimenti teorici e di calcolo".

Per i parametri geomeccanici di calcolo utilizzati nelle analisi si rimanda a quanto riportato nel paragrafo 4. I valori operativi di calcolo sono assunti in accordo con i "range" di variabilità dichiarati in detto paragrafo, e tengono conto delle finalità del tipo di analisi svolta. Fanno eccezione i parametri delle metamorfite, per le quali nell'analisi numerica, in contraddizione con quanto fatto per le linee caratteristiche, si è scelto di utilizzare i parametri minimi dell'ammasso, al fine di valutare il comportamento tenso-deformativo della struttura in caso la classe di appartenenza dell'ammasso IV/V secondo la classificazione RMR.

Ghiaie di Messina								
Applicazione	Copertura	γ	c'	c'_{res}	Φ'	Φ'_{res}	E'	ν'
	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[kPa]	[°]	[kPa]	[MPa]	[-]
	0-150	19	0-40	0-25	38	30	100-650	0.3
Copertura 0-30m	0-30	19	10	8	38	30	100	0.3
Copertura 30-50m	30-50	19	10	8	38	30	275	0.3
Copertura 50-70m	50-70	19	10	8	38	30	350	0.3
Copertura 70-120m	70-120	19	10	8	38	30	450	0.3
Copertura superiore a 120m	>120	19	40	8	38	30	650	0.3

Metamorfite						
Gruppo	Copertura	γ	c'	Φ'	E'	ν'
-	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
	40-120	22	180	38	650	0.2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

Serie Solifera Gessosa - Calcar Brecciati						
Gruppo	Copertura	γ	c'	ϕ'	E'	ν'
	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[-]
2	40-60	20	35	28	200	0.3
1	60-150	20	35	28	390	0.3

Le gallerie naturali in oggetto interferiscono a tratti con la falda statica. La falda, nelle tratte in cui sia possibile un'interferenza con lo scavo delle gallerie, è stata considerata incrementando la sollecitazione assiale in fase di verifica del rivestimento definitivo. Tale ipotesi, sicuramente semplificativa, permette una rapida presa in carico di tali effetti di lungo termine senza la modifica dei modelli di calcolo e mantenendo comunque validi i risultati delle analisi, essendo, nei casi in esame, trascurabili gli effetti di tale ipotesi. Le principali ipotesi semplificative di tale assunzione sono:

- Lo stato tensionale efficace iniziale non è coerentemente riprodotto;
- Gli effetti della presenza della falda assunti come sforzo normale trascurano gli effetti flessionali che si possono generare nel rivestimento.

Al fine di validare le assunzioni fatte è stato comunque riportato un calcolo tipologico mediante un modello agli elementi finiti in cui sono state eliminate tale ipotesi semplificative (vedi Paragrafo 8.3).

Il rivestimento è stato schematizzato con elementi *PLATE* con modello costitutivo elastico-lineare ed isotropo.

Gli elementi rappresentativi dei rivestimenti sono attivati "*free stress*" (senza sforzi iniziali) e sono soggetti al peso proprio ed agli spostamenti indotti dalle variazioni di rigidità e di sollecitazione che intervengono nello stesso step di calcolo e nei successivi.

Le analisi sono state condotte in condizioni di deformazione piane (*PLANE STRAIN*), ma con accorgimenti tali da rappresentare il progressivo passaggio dal problema tridimensionale, vicino al fronte, a quello piano, lontano dal fronte. L'effetto del fronte di scavo è stato considerato nel calcolo con una progressiva riduzione delle "forze di scavo", ottenuta modificando il coefficiente ΣM_{stage} progressivamente da 0 ad 1. Per ulteriori dettagli sull'utilizzo di tale coefficiente si faccia riferimento al manuale tecnico del programma di calcolo.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle analisi effettuate.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

GALLERIA	COPERTURA [m]	LITOTIPO PREVALENTE	CONDIZIONE DI CARICO
TBM	160	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA
	120	CALCARE BRECCIATO	SIMMETRICA
	100	METAMORFITE	SIMMETRICA

Tabella 5 - Analisi di calcolo effettuate

8.1 Curve di "relax" nel modello di calcolo

Per simulare il progressivo allontanamento del fronte di scavo dalla sezione di verifica e la contemporanea posa in opera dei sostegni con un'analisi bidimensionale, è necessario introdurre numericamente l'"effetto fronte", rilassando progressivamente le forze di scavo.

L'introduzione del concetto di "effetto fronte" nel calcolo richiede la definizione di una legge di rilassamento del nucleo in grado di simulare il progressivo incremento della deformazione della cavità, con conseguente diminuzione della pressione esercitata sui rivestimenti. Tale concetto risulta adeguatamente espresso in termini analitici dalla curva $1-\lambda = \sigma_r/\sigma_0$ di Panet, che rappresenta in termini di sforzi radiali il passaggio dal comportamento tridimensionale a quello piano. L'adozione della sola curva λ , così come comunemente espressa quale criterio di riduzione delle caratteristiche elastiche e di resistenza del nucleo nel corso dell'analisi, non produce tuttavia i dovuti risultati tenso-deformativi, né per confronto con quanto ottenuto in base alla teoria delle Curve Caratteristiche o a simulazioni con modelli assialsimmetrici, né per confronto con quanto effettivamente rilevato in corso d'opera. Tale curva deve essere tarata in funzione delle caratteristiche geomeccaniche del materiale, dello stato tensionale in sito e del criterio di rottura del materiale.

Per tale motivo si è stabilito di tarare la riduzione delle forze di scavo facendo in modo di ottenere un valore di convergenza al fronte prossimo a quello determinato mediante il calcolo delle Curve Caratteristiche.

La riduzione così ottenuta va applicata al termine della time geostatica. Si ha pertanto:

$$R_{\text{forze, fronte}} = R_{\text{PANET, fronte}} \cdot \alpha$$

con $\alpha = (\text{Rid.}\%) / R_{\text{PANET, fronte}} \%$.

Una volta determinata la riduzione iniziale, le riduzioni alle Time successive verranno determinate proporzionalmente all'andamento della curva $1-\lambda$ di Panet in funzione della distanza dal fronte.

Si ha pertanto:

$$R_{\text{forze}} = R_{\text{forze, fronte}} + \beta \cdot (R_{\text{PANET}} - R_{\text{PANET, fronte}})$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

in cui il termine $\beta = (100\% - \text{Rid. } \%) / (100\% - R_{\text{PANET, fronte}} \%)$ tiene conto delle percentuali di riduzione residue, dopo il rilassamento del fronte.

Al fine di determinare le sollecitazioni sugli elementi strutturali costituenti il rivestimento della galleria, le analisi sono state condotte utilizzando un coefficiente di rilascio tensionale (λ), pari al 70% del valore iniziale per l'analisi condotta all'interno delle Metamorfite (copertura 100m) e dei Calcari Brecciati (copertura 120m), e al 75% per la sezione scavata all'interno delle Ghiaie di Messina (copertura 160m). In Tabella 6 è riportato l'elenco delle analisi svolte, i cui risultati saranno illustrati nel seguito:

GALLERIA	COPERTURA [m]	LITOTIPO PREVALENTE	CONDIZIONE DI CARICO	RELAX
TBM	160	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	75%
	120	CALCARE BRECCIATO	SIMMETRICA	70%
	100	METAMORFITE	SIMMETRICA	70%

Tabella 6

8.2 Risultati delle analisi numeriche

In questo paragrafo si illustrano gli esiti delle analisi numeriche condotte con il metodo degli elementi finiti, impiegando il codice di calcolo PLAXIS 2D, e le conseguenti verifiche statiche volte a dimostrare l'adeguatezza della soluzione progettuale indicata.

In allegato alla presente relazione si riportano i dati di input / output delle analisi numeriche svolte. Le verifiche del rivestimento definitivo sono state condotte secondo i metodi imposti dalla normativa vigente (NTC 2008). Come già illustrato nel Paragrafo 2.1, le analisi sono svolte con riferimento alla Combinazione 1 dell'Approccio1.

I coefficienti amplificativi dei carichi utilizzati fanno riferimento alla tabella di seguito (combinazione A1).

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali(1)	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

Carichi variabili	favorevoli sfavorevoli	γ_{Qi}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3
(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.					

8.2.1 Risultati deformativi

Si riporta di seguito una sintesi delle deformazioni massime ottenute dai modelli numerici. In particolare si riportano i valori degli spostamenti verticali e delle convergenze del cavo e del rivestimento di prima fase.

ANALISI DEFORMATIVA

GALLERIA	COPERTURA [m]	LITOTIPO PREVALENTE	CONDIZIONE DI CARICO	Def. Fronte [cm]	Def. Tot [cm]
TBM	160	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	3.94	4.81
	120	CALCARE BRECCIATO	SIMMETRICA	5.95	6.75
	100	METAMORFITE	SIMMETRICA	2.75	3.37

8.2.2 Risultati tensionali

Nei paragrafi successivi sono presentate le verifiche tensionali dei rivestimenti definitivi.

8.2.2.1 Verifica dei rivestimenti definitivi S.L.U.

Si riportano di seguito i domini di rottura con la verifica dei valori tensionali per i rivestimenti definitivi di calotta ed arco rovescio.

I valori di momento flettente ottenuti dalla simulazione numerica, sono stati amplificati, in modo da considerare la maggiore rigidità offerta dai singoli elementi strutturali in confronto a quella caratteristica dei giunti di unione tra gli stessi, ai quali, di contro, competerà una quota parte di momento minore. In particolare si è utilizzata la seguente formulazione:

$$M_{\text{CONCIO}} = (1 + \xi) M_C$$

con ξ pari a 0.3.

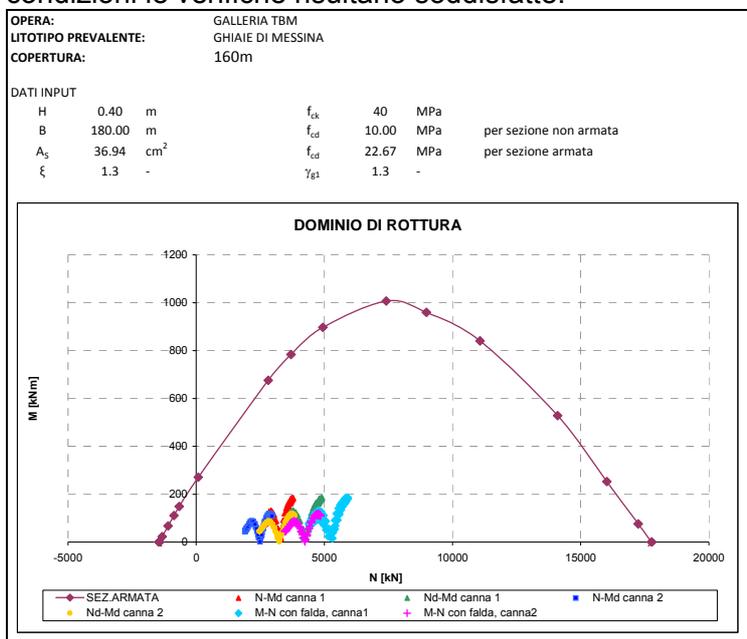
Tale approccio è da considerarsi cautelativo essendo di fatto la modellazione numerica svolta, in accordo con le prescrizioni progettuali, trascurando la diminuzione di rigidità flessionale dell'anello dovuto alla presenza dei giunti di collegamento tra concio e concio.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> <i>Data</i> F0 08/04/2011

Nella formazione delle Ghiaie di Messina si ipotizza un'altezza media di falda di 20m, che produce un incremento di sollecitazione assiale valutabile nell'ordine di:

$$N = p_w \cdot R = \gamma_w \cdot H \cdot R = 10 \cdot 20 \cdot 5 = 1000 \text{ kN}$$

Come indicato nel paragrafo di inquadramento idrogeologico localmente il valore della piezometrica potrebbe raggiungere valori massimi di 30-40m. Si fa presente che anche in queste condizioni le verifiche risultano soddisfatte.



Nella formazione dei Calcari Brecciati si ipotizza un'altezza di falda media pari a 20m, che produce un incremento di sollecitazione assiale valutabile nell'ordine di:

$$N = p_w \cdot R = \gamma_w \cdot H \cdot R = 10 \cdot 20 \cdot 5 = 1000 \text{ kN}$$

Come descritto nel capitolo dell'inquadramento idrogeologico il battente idraulico in questa zona potrebbe raggiungere circa 80m. 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 potrebbe anche non essere costantemente in equilibrio con una falda più profonda che verrebbe interessata dagli scavi.

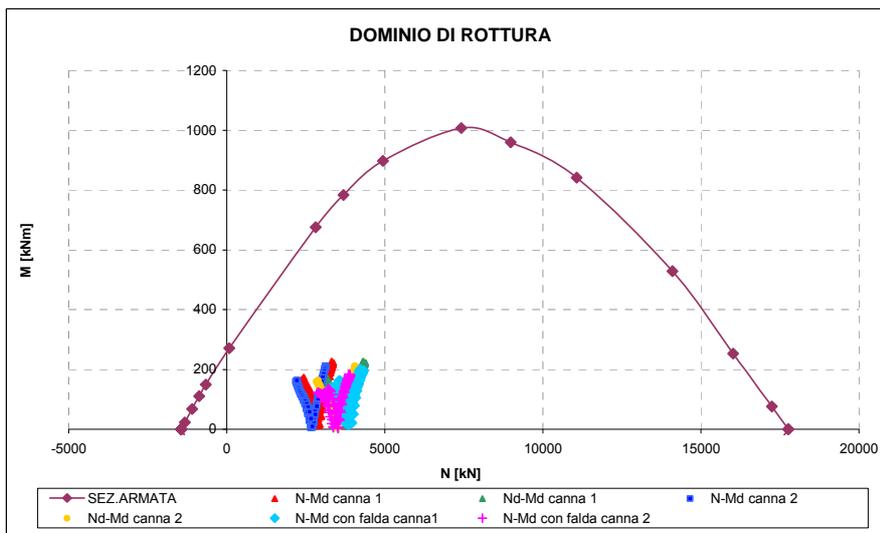
Questa ipotesi si dimostra tanto più verosimile quando si prende in considerazione il livello d'acqua misurato nel sondaggio S451 nell'agosto e settembre 2010, che corrisponde a circa 40m.s.l.m, quindi decisamente più basso di quanto indicato dalla ricostruzione piezometrica ottenibile con i

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.

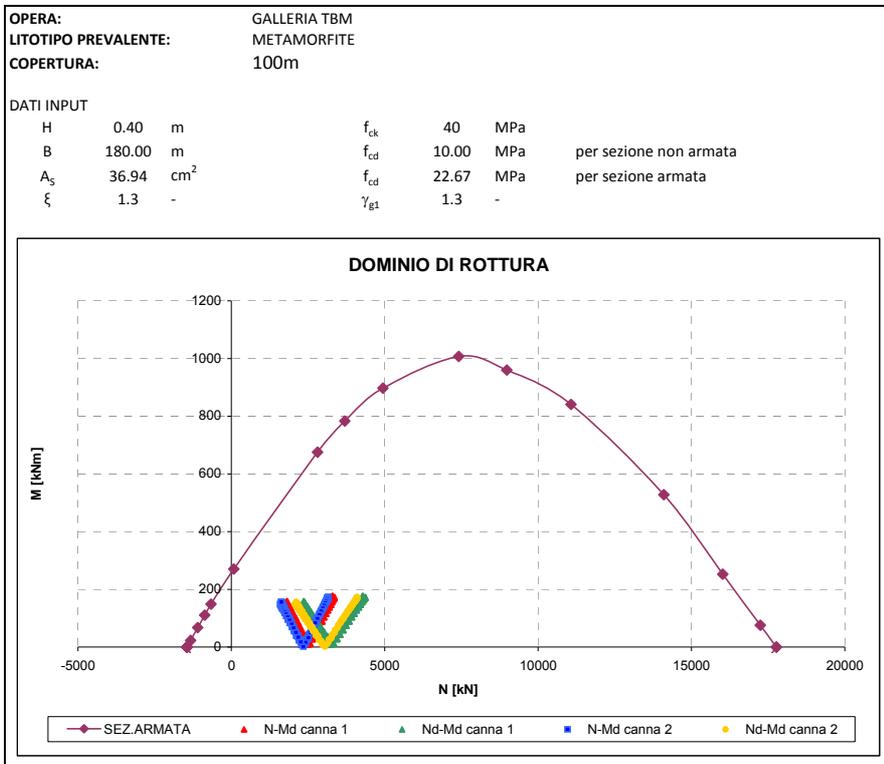
OPERA: GALLERIA TBM
LITOTIPO PREVALENTE: CALCARI BRECCIATI
COPERTURA: 120m

DATI INPUT

H	0,40	m	f_{ck}	40	MPa	
B	180,00	m	f_{cd}	10,00	MPa	per sezione non armata
A_s	36,94	cm ²	f_{cd}	22,67	MPa	per sezione armata
ξ	1,3	-	γ_{g1}	1,3	-	



La tratta di galleria naturale scavata all’interno delle Metamorfiti non interferisce con la falda.



In Tabella 7 sono riportate le verifiche a taglio. Il contributo dello sforzo assiale e dell'azione tagliante sono amplificati secondo i coefficienti previsti da normativa ($\gamma_{G1} = 1.3$). I valori del taglio corrispondono alle sollecitazioni massime agenti per ogni analisi.

GALLERIA	COPERTURA [m]	LITOTIPO PREVALENTE	CONDIZIONE DI CARICO	CONCIO L=180cm					
				N [kN]	T [kN]	A_s [cm ² /m ²]	V_{Rd} [kN]	V_{Rsd} [kN]	V_{Rcd} [kN]
TBM	160	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	7769.97	167.05	-	324.5	-	-
	120	CALCARE BRECCIATO	SIMMETRICA	7904.00	166.01	-	324.5	-	-
	100	METAMORFITE	SIMMETRICA	7862.40	96.13	-	324.5	-	-

Tabella 7 - Verifica taglio S.L.U.

8.2.2.2 Verifica dei rivestimenti definitivi S.L.E.

Di seguito si riportano le verifiche agli stati limite di esercizio relative al rivestimento definitivo nella

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

combinazione più sfavorevole. Per la determinazione dei coefficienti amplificativi previsti da normativa si è fatto riferimento alla combinazione di carico *rara* ($\gamma_{g1} = 1$).

In particolare le massime tensioni, ricavate dalle sollecitazioni fornite dal codice di calcolo, dovranno rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0.60f_{ck} = 24 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s < 0.8f_{yk} = 360 \text{ MPa}$$

I valori di momento flettente ottenuti dalla simulazione numerica della fase di esercizio, sono stati amplificati, in modo da considerare la maggiore rigidità offerta dai singoli elementi strutturali in confronto a quella caratteristica dei giunti di unione tra gli stessi, ai quali, di contro, competerà una quota parte di momento minore. In particolare si è utilizzata la seguente formulazione:

$$M_{\text{CONCIO}} = (1 + \xi)M_C$$

con ξ pari a 0.3.

				CONCIO L=180cm				
GALLERIA	COPERTURA [m]	LITOTIPO PREVALENTE	CONDIZIONE DI CARICO	M [kNm]	N [kN]	A _s [cm ²]	σ_c [MPa]	σ_s [MPa]
TBM	160	GHIAIE DI MESSINA	SIMMETRICA	258.18	-6804.00	36.94	-13.46	-
	120	CALCARE BRECCIATO	SIMMETRICA	278.20	-6080.00	36.94	-12.96	-
	100	METAMORFITE	SIMMETRICA	240.79	-6045.84	36.94	-12.17	-

Tabella 8 - Verifica S.L.E

L'incremento di sollecitazione assiale prodotta nei rivestimenti definitivi dalla presenza della falda, sommato alla sollecitazioni dedotte dal calcolo numerico, non produce stati tensionali superiori a quelli previsti da normativa, inducendo un incremento di sforzi di compressione all'interno del rivestimento definitivo pari a:

$$\sigma = N / A = 1000 / 0.4 \cdot 10^{-3} = 2.50 \text{ MPa} \text{ (per 20m di battente idraulico – ipotesi più probabile)}$$

$$\sigma = N / A = 4000 / 0.4 \cdot 10^{-3} = 10.00 \text{ MPa} \text{ (per 80m di battente idraulico – ipotesi non probabile in relazione ai nuovi sondaggi effettuati)}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

La verifica a fessurazione è stata omessa in quanto la sezione risulta interamente compressa.

8.3 Validazione del modello semplificato

Al fine di validare le ipotesi semplificative utilizzate per la valutazione degli effetti legati alla presenza della falda è stato sviluppato un modello tipologico in cui la presenza e la modifica del regime delle pressioni interstiziali è stato modellato mediante il codice di calcolo PLAXIS.

La scelta del modello di calcolo da sviluppare come esempio rappresentativo ha tenuto in conto sia le condizioni più rappresentative d'ammasso, sia le condizioni più gravose in termini di carico piezometrico. In linea con tali criteri si è scelto di analizzare il comportamento della sezione caratterizzata da copertura media di 120m nella formazione del calcare brecciato.

A partire quindi dal modello già presentato nei paragrafi precedenti è stata sviluppata un'analisi in cui nella fase geostatica viene modellata la presenza di un livello piezometrico posto a quota +20m, essendo la quota 0.0 la quota del piano ferro (Figura 23).

Tale livello è stato mantenuto costante durante tutte le fasi di scavo, in accordo con la tecnologia di avanzamento utilizzata.

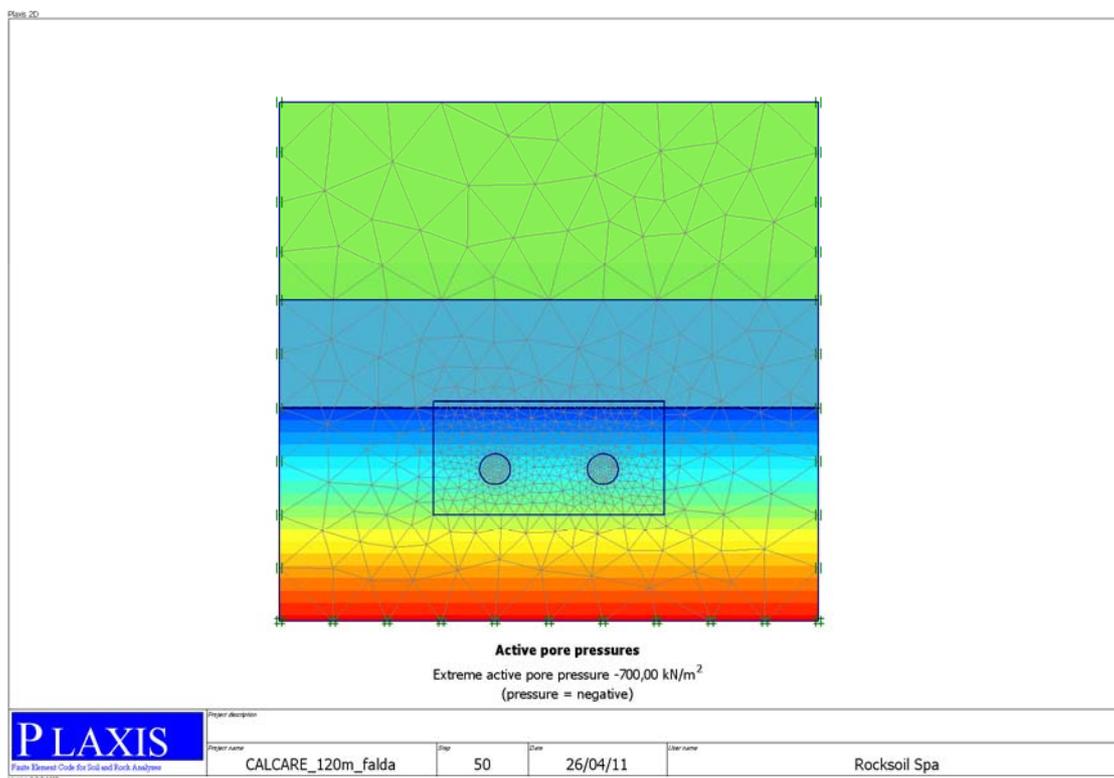
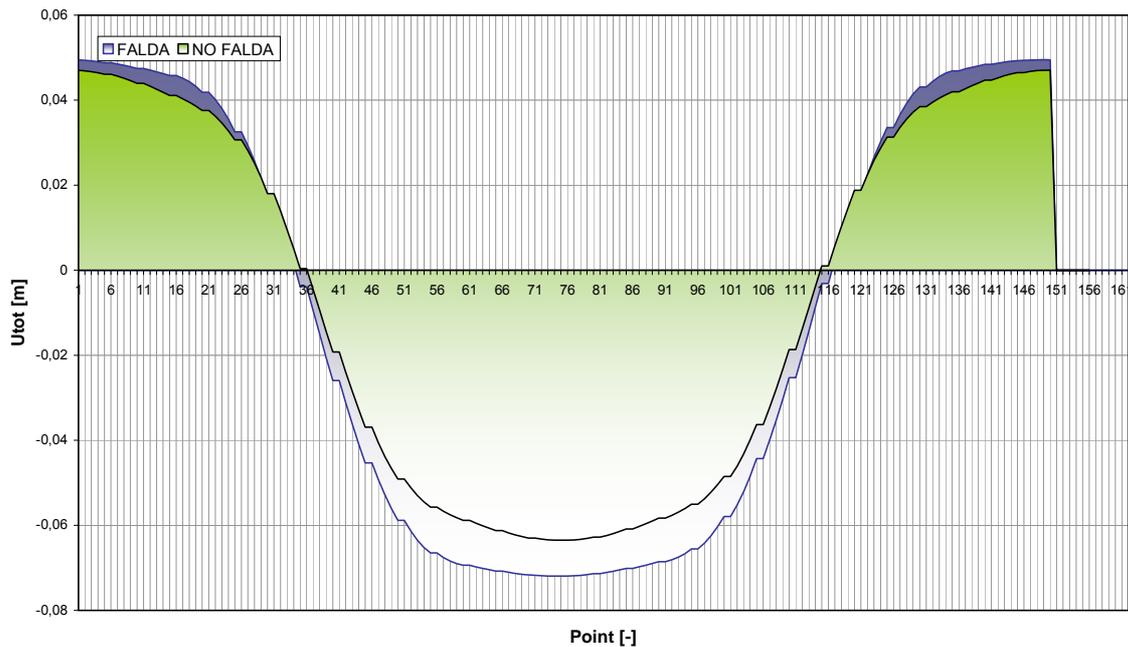


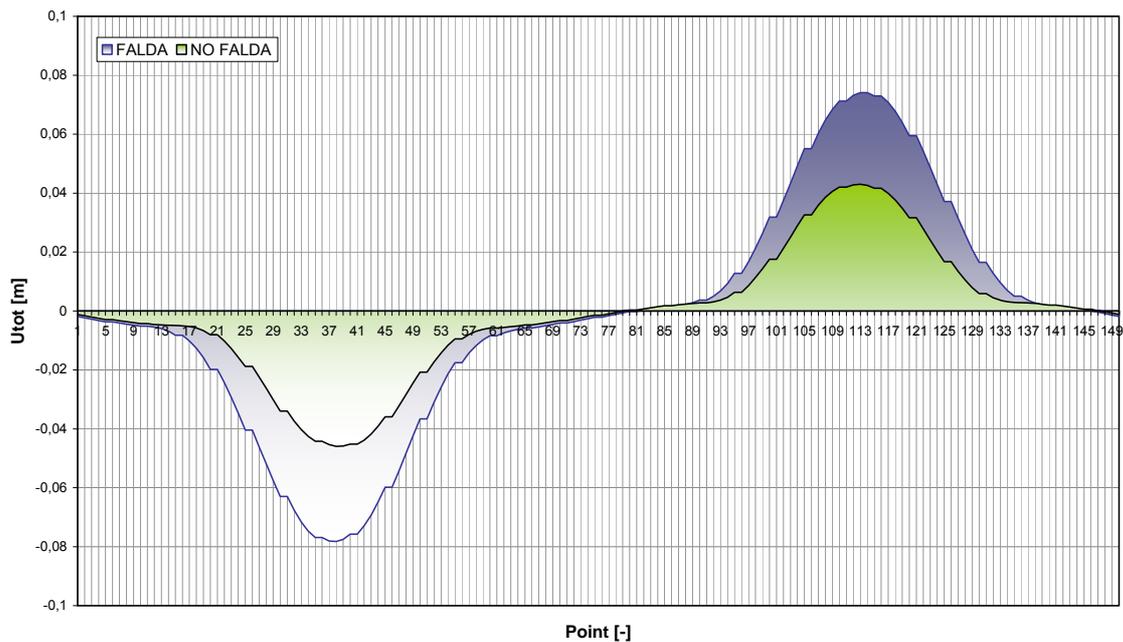
Figura 23 – Modello di calcolo con simulazione della falda – FASE GEOSTATICA

Di seguito si riporta un confronto grafico tra i risultati ottenuti dalla due modellazioni relativi alla canna 1, la quale risulta in ambedue i casi più sollecitata della seconda canna.

CONFRONTO SPOSTAMENTI VERTICALI CONCIO

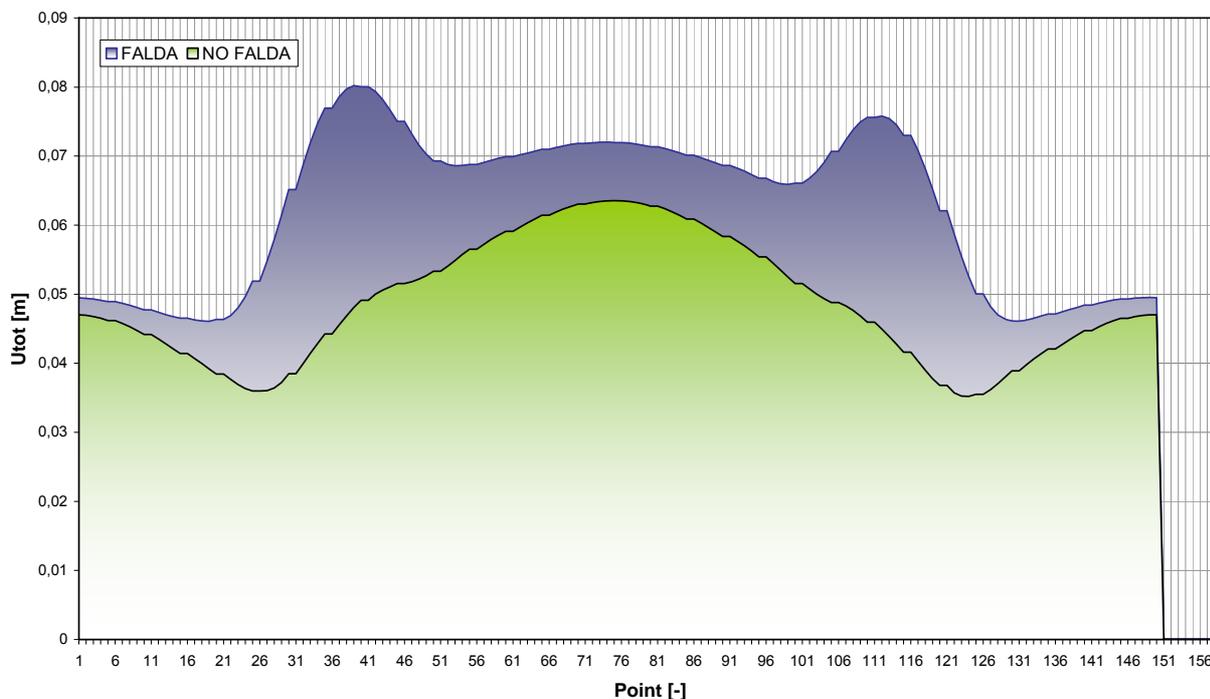


CONFRONTO SPOSTAMENTI ORIZZONTALI CONCIO



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

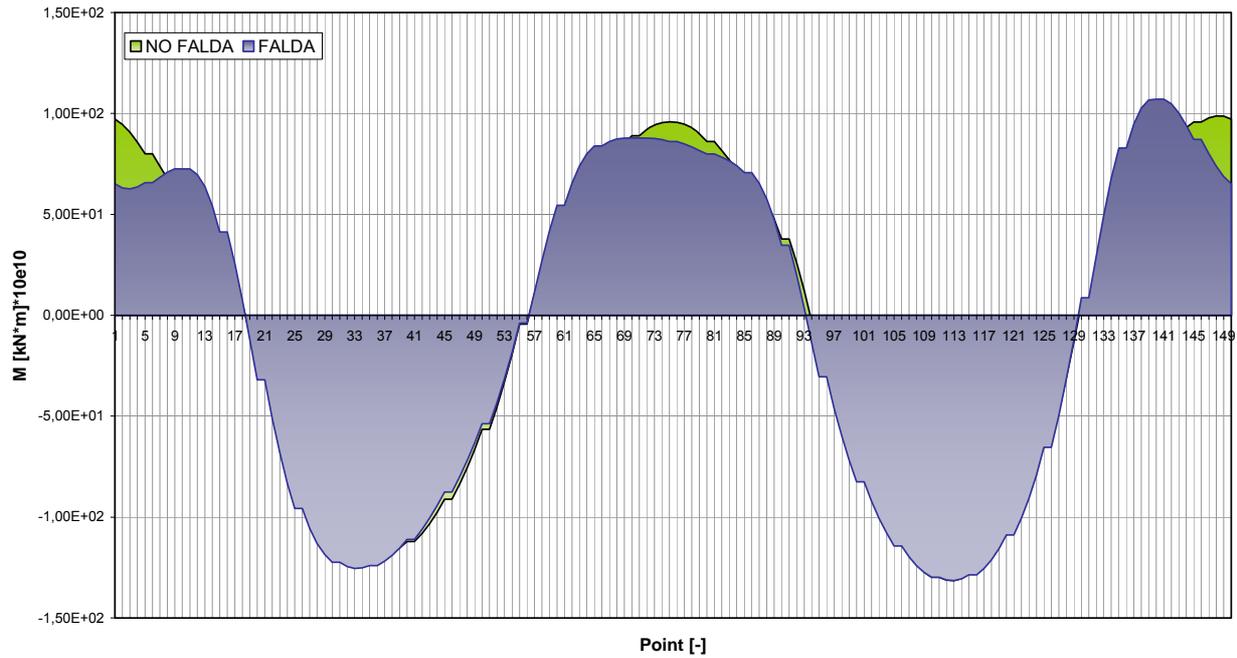
CONFRONTO SPOSTAMENTI TOTALI CONCIO



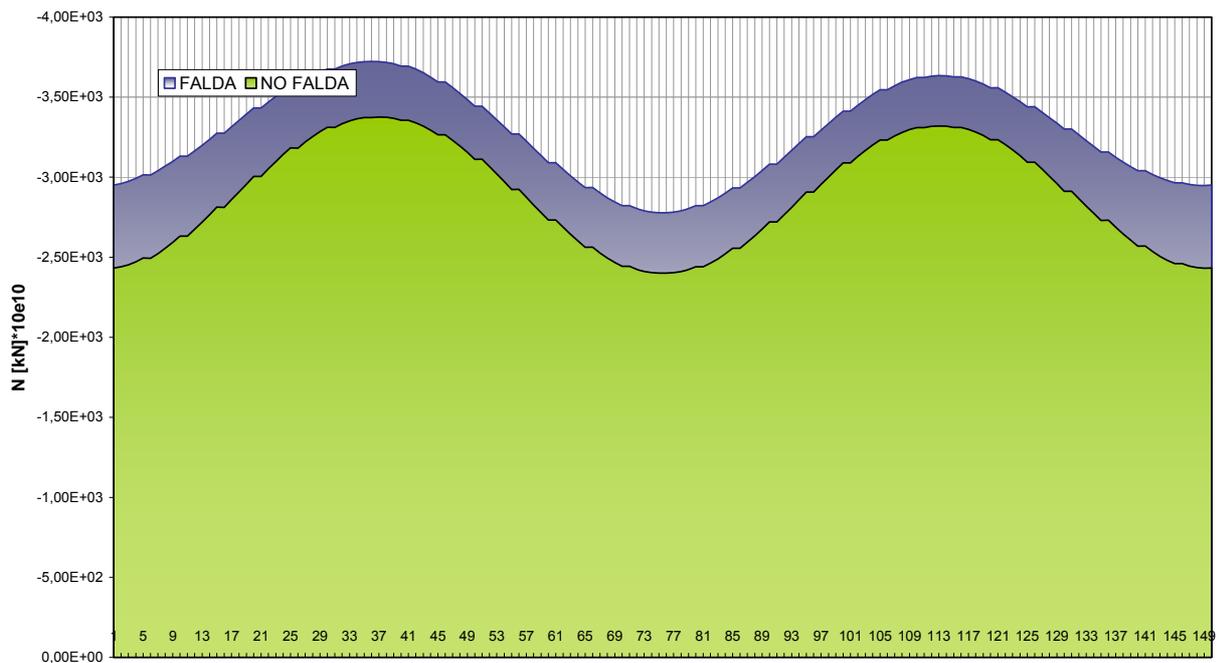
I valori di deformazione verticali sono comparabili tra i due modelli, seppure in presenza di falda essi risultino leggermente superiori a causa della maggior azione assiale a cui è soggetto il concio. Al contrario è evidente come la presenza della falda accentui in maniera decisa le deformazioni orizzontali, per cui l'anello risulta maggiormente ovalizzato.

I grafici relativi alle sollecitazioni agenti nel concio evidenziano una sostanziale equivalenza delle due modellazioni, tali da confermare l'esattezza delle assunzioni fatte: infatti il grafico del momento rimane pressoché invariato mentre si assiste ad un aumento dell'azione assiale, così come si era previsto in fase di verifica andando ad incrementare unicamente le sollecitazioni assiali e lasciando inalterati i momenti.

CONFRONTO MOMENTI CONCIO



CONFRONTO SFORZI NORMALI CONCIO

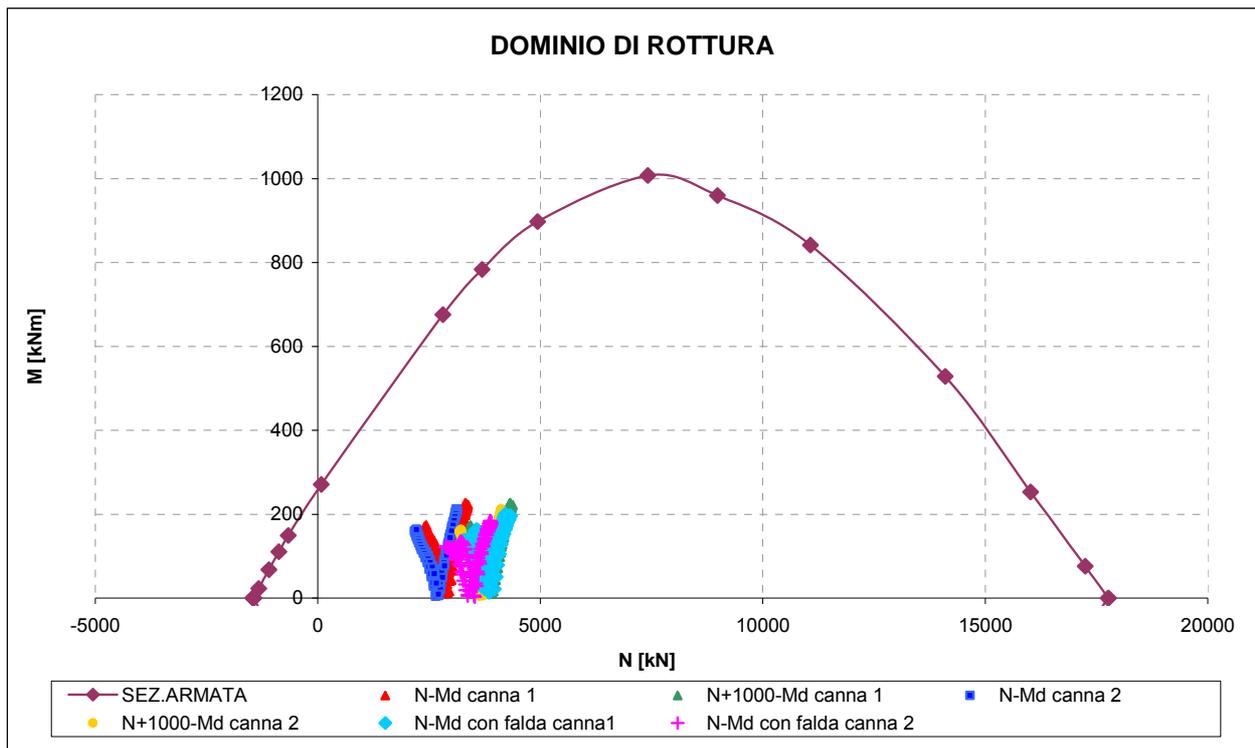


Si riporta in seguito il dominio resistente e le azioni sollecitanti, anche queste ultime valutate sia nel modello in cui era presente la falda che in quello in cui non era stata inserita.

OPERA: GALLERIA TBM
LITOTIPO PREVALENTE: CALCARI BRECCIATI
COPERTURA: 120m

DATI INPUT

H	0,40	m	f_{ck}	40	MPa	
B	180,00	m	f_{cd}	10,00	MPa	per sezione non armata
A_s	36,94	cm ²	f_{cd}	22,67	MPa	per sezione armata
ξ	1,3	-	γ_{g1}	1,3	-	



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

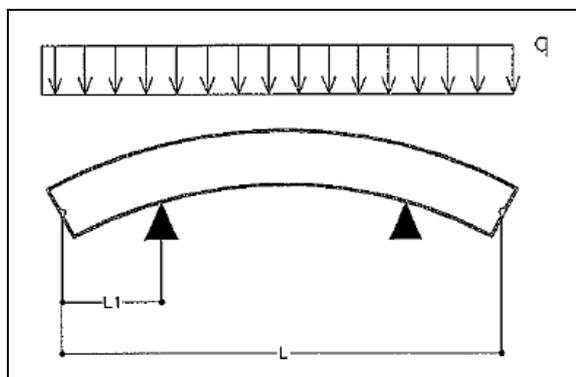
9 Verifiche dei conci prefabbricati

9.1 Verifiche a scasseratura, movimentazione e stoccaggio

Vengono riportate di seguito le verifiche relative alle fasi di scasseratura movimentazione e stoccaggio del concio sia in esercizio che agli stati limite ultimi. I dati geometrici e i coefficienti di sicurezza utilizzati nei calcoli sono riportati nella seguente tabella:

γ [kN/m ³]	s [m]	L [m]	B [m]	$\gamma_{g,SLU}$ [-]	γ_{SLU} [-]
25	0.4	1.8	4.762	1.3	1.5

Il calcolo in fase di scasseratura viene eseguito supponendo che il concio venga sollevato da due punti posti a circa 1/5 della lunghezza totale, che sia soggetto al peso proprio maggiorato dal carico dinamico e tenendo conto delle forze di adesione:

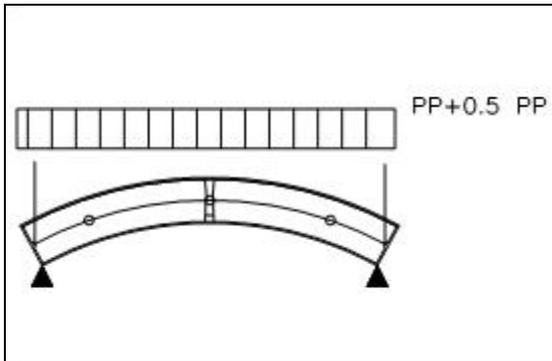


p_p [kN/m]	S [kN/m]	D [kN/m]	q_g [kN/m]	q_q [kN/m]	q_d [kN/m]
18	27	7.2	18	34.2	74.7

M_{SLE} [kN*m]	T_{SLE} [kN]
29.59	74.57

$MS_{d,SLU}$ [kN*m]	$TS_{d,SLU}$ [kN]
42.4	106.7

Il calcolo in fase di stoccaggio viene condotta supponendo il concio appoggiato alle estremità, sottoposto al peso proprio e maggiorato dal carico dinamico.

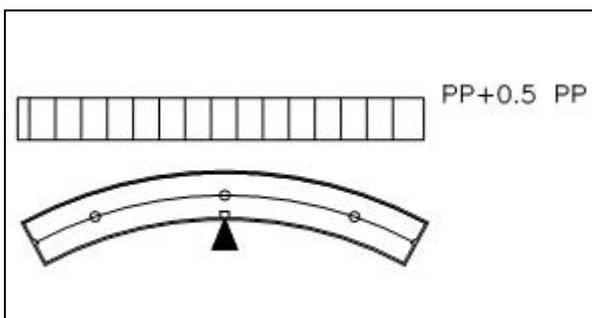


pp	D	qg	qa	qd
[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
18	9	18	9	36.9

M _{SLE}	T _{SLE}
[kN*m]	[kN]
76.5	64.3

MS _{d,SLU}	TS _{d,SLU}
[kN*m]	[kN]
104.6	87.9

In fase di movimentazione invece si suppone il conchio incastrato nella mezzeria.



pp	D	qg	qa	qd
[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
18	9	18	9	36.9

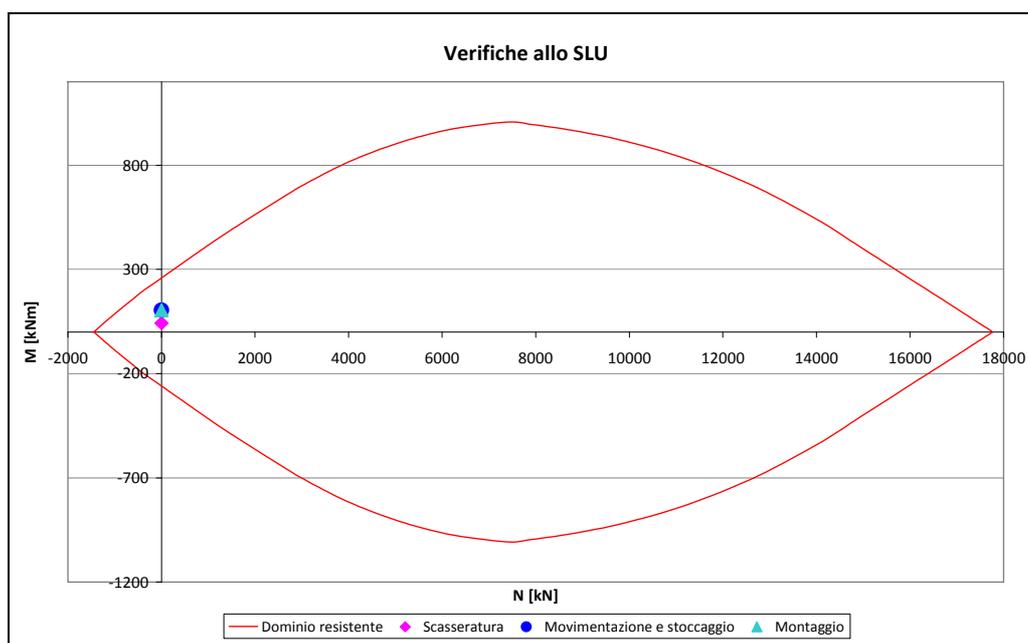
M _{SLE}	T _{SLE}
[kN*m]	[kN]
76.5	64.3

MS _{d,SLU}	TS _{d,SLU}
[kN*m]	[kN]
104.6	87.9

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

9.1.1 Verifiche agli SLU

Considerando l'armatura simmetrica prevista, composta da 12Φ14, le verifiche agli stati limite ultimi risultano soddisfatte:



Il valore massimo del taglio agente sui conci nelle fasi di scasseratura movimentazione e stoccaggio è pari a:

$$V_{Sd} = 106.7 \text{ kN}$$

Il taglio resistente della sezione non armata risulta superiore a tale valore: $V_{Rd} = 324.5 \text{ kN}$.

Non risulta pertanto necessario predisporre una specifica armatura a taglio per verificare l'elemento nelle fasi transitorie.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

9.1.2 Verifiche agli SLE

9.1.2.1 Verifica tensionale

La verifica tensionale risulta soddisfatta in tutte le fasi transitorie esaminate:

$$\sigma_c = 0.45 \cdot f_{ck} = 18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 0.8 \cdot f_{yk} = 360 \text{ MPa}$$

	N _{SLE} [kN]	M _{SLE} [kN*m]	σ _c [MPa]	σ _s [MPa]
Scasseratura	0	29.6	-1.1	50.2
Movimentazione e stoccaggio	0	76.5	-2.8	129.8
Montaggio	0	76.5	-2.8	129.8

9.1.2.2 Verifica a fessurazione

Durante le fasi di movimentazione, stoccaggio e montaggio, ovvero le fasi in cui si registrano valori più elevati di azione flettente, le sollecitazioni non raggiungono valori tali da causare l'insorgenza di fessure sui conci.

b	h	E _s	R _{ck}	m	A _s	n° file	h _f	A's	h' _f
[mm]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		[mm ²]		[mm]	[mm ²]	[mm]
1800	400	210000	50	6.95	1847	1	65	1847	65

copriferro	interasse	k ₂	k ₃	f	asse neutro	F _{ceff}	r _r	b ₁	b ₂
[mm]	[mm]			[mm]	[mm]	[mm ²]			
50	150	0.4	0.125	30	84.4	284040	0.01	1	1

S _n	F _i	vi	J _i	W _i	M _{erm}	M _{erm}	M 1 ^a FESS.	M _{ex}
[mm ³]	[mm ²]	[mm]	[mm ⁴]	[mm ³]	[N*mm]	[kN*m]	[kN*m]	[kN*m]
1.5E+08	7.4E+05	200.0	1.0E+10	5.0E+07	1.8E+08	183.2	153.9	76.5

σ _f	σ _{fr}	S _{rm}	e _{fm}	W _k
[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]	[m]	[mm]
129.800	259.600	360.677	-	0

9.2 Spinta dei martinetti

Questo calcolo è mirato ad un predimensionamento dell'armatura aggiuntiva da porre in corrispondenza delle piastre in modo da contrastare le trazioni che nascono in seguito alla spinta dei martinetti sui conci.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

Ipotizzando un forza massima di spinta sul singolo gruppo di martinetti è $N=4500$ kN e un'area della piastra di ripartizione di 0.3m^2 si ha:

σ_{piastra}	
[kN/m ²]	[MPa]
15000.0	15.0

σ_d		σ_{res}
[MPa]		[MPa]
22.5	<	36.36

Dalla formula proposta da Leonardht:

Forza di fenditura

F	F _d
[kN]	[kN]
338	506

Va pertanto prevista al di sotto di ogni martinetto un'armatura per il frettaggio di almeno 13cm^2 . Da cui:

A _s	∅	s	n°	A _s *
[mm ²]	[mm]	[mm]	[-]	[mm ²]
1293.8	12	150	7	1515.5

Predisponendo tale armatura, la forza resistente risulta maggiore della forza sollecitante.

F _d	F _{res}
[kN]	[kN]
506	593

9.3 COLLEGAMENTI FRA CONCI PREFABBRICATI

9.3.1 Collegamenti longitudinali

I collegamenti longitudinali fra gli anelli saranno previsti mediante messa in opera di spinotti in materiale plastico, secondo la tipologia del Biblock System o equivalente.

Il Biblock System è prodotto con speciali materie plastiche ad alta resistenza, infrangibili e dielettriche ed è composto dai seguenti elementi:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

- due cuffie annegate nel calcestruzzo, che vengono prodotte con materie plastiche resistenti agli urti ed all'abrasione e con alte caratteristiche di elasticità; le cuffie vengono inserite nel getto, tra i ferri di armatura, mediante una dima di posizionamento.
- un perno di connessione prodotto con materie plastiche addittivate con fibra di vetro che permette di aumentare sia la resistenza a trazione che il valore del modulo elastico; il perno sarà inserito nelle cuffie al momento del montaggio dei conci.

Le caratteristiche dei connettori e del sistema Biblock devono essere determinate mediante prove di pull-out per verificare la resistenza all'estrazione del perno di collegamento, attraverso prove di flessione (volte a simulare l'azione dei connettori di supporto del concio in fase di posa in opera e montaggio) e attraverso prove di taglio.

Le caratteristiche minime di resistenza dei connettori impiegati devono essere:

Resistenza pull-out > 75 KN

Taglio > 75 KN

Essi devono inoltre presentare deformazioni allo sfilamento e taglio sotto le sopra indicate sollecitazioni compatibili con i limiti imposti dalla tenuta idraulica delle guarnizioni (1-2 mm).

9.3.2 Verifica in fase transitoria

Viene di seguito presa in considerazione la sollecitazione agente sui connettori nell'ipotesi di un temporaneo sostegno del concio da parte dei soli connettori (errata manovra dei martinetti).

Tale condizione di carico non è prevista nella normale procedura di montaggio, che prevede sempre il contatto tra martinetti e superficie di spinta del concio. Risulta tuttavia opportuno verificare che la resistenza dei connettori garantisca la sicurezza impedendo la caduta del concio stesso.

Il peso del concio è pari a

$$P=25 \text{ kN/m}^3 \times 0.4\text{m} \times 1.8\text{m} \times 4.7 \text{ m} = 84,6 \text{ kN}$$

così che si ha uno sforzo di taglio per ciascuno dei 3 connettori

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

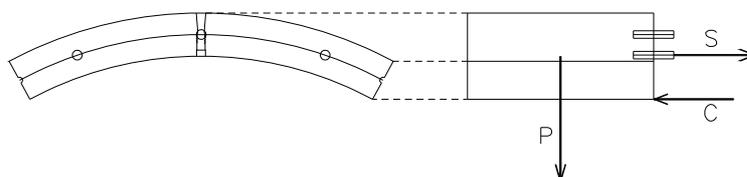
$$T = P/3 = 28.2 \text{ kN} < 75 \text{ KN}$$

Al momento flettente si oppone la coppia di forze data dalla trazione sui connettori e dalla compressione sui punti più bassi dove il concio si appoggia all'anello adiacente.

Quale braccio della coppia si è assunto a favore di sicurezza il valore minimo relativo ai 2 connettori più bassi, pari a 40 cm.

$$M = P \times (1.8/2) = 76.14 \text{ kN m}$$

$$M = 3 \times S \times z$$



Si ricava quindi la forza di trazione sul singolo connettore:

$$S = M/(3 \times z) = 76.14 / (3 \times 0.4) = 63.45 \text{ kN} < 75 \text{ KN}$$

9.3.3 Collegamenti trasversali

In considerazione delle modalità di montaggio dei conci e delle verifiche in fase transitoria riportate al paragrafo precedente, non si ritiene necessario disporre di collegamenti trasversali.

9.3.4 Barra guida

Come da Progetto Definitivo si adotteranno barre guida al fine di garantire il corretto posizionamento ed il centraggio circonferenziale dei conci. Le barre guida sono realizzate in speciali materie plastiche infrangibili e ad alto snervamento, in grado quindi di sopportare elevati sforzi di taglio. Questo permette lo svolgimento della loro funzione senza generare rotture localizzate.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

Si prevede l'azione di barre guida del diametro di 50 mm e lunghezza di 1200 mm; le barre guida potranno essere poste in opera in un pezzo unico o in 2-3 pezzi in funzione della fornitura.

Gli elaborati riportano anche le caratteristiche geometriche della cava; si è impostato un gioco circonferenziale di 1.0 m, inoltre la cava si sviluppa fino all'estradosso longitudinale del concio lato avanzamento, al fine di favorire la messa in opera della barra.

Una speciale cava, di maggiore lunghezza, è prevista per il concio di chiave, in modo da porlo in opera evitando strisciamenti lungo la barra guida già posizionata sui conci attigui posizionati.

9.3.5 Dispositivi di messa a terra

Il dispositivo di messa a terra sarà realizzato mettendo in continuità elettrica le gabbie di armatura dei conci prefabbricati.

La continuità fra conci appartenenti allo stesso anello avviene predisponendo una piastrina metallica in corrispondenza dell'intradosso del concio, collegata ad alcuni anelli principali della gabbia di armatura; le piastrine dei vari conci sono poi collegate mediante ponticelli di continuità costituiti da una barra metallica, diametro 10 mm o in alternativa da piattine di analoga sezione.

La continuità fra gli anelli viene effettuata predisponendo una barra di collegamento longitudinale, diametro 30 mm, posta sul lato opposto a quello della banchina, a sua volta collegata ad 1-2 piastrine di continuità dei conci.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

10 Opere complementari

Nel presente capitolo si analizzano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione dei bypass di collegamento tra le due canne delle gallerie ferroviarie e della condotta di smaltimento delle acque di piattaforma prevista nella galleria Sant'Agata.

Per quanto riguarda la galleria Annunziata è prevista la realizzazione di sette bypass pedonali, che presentano un'area di scavo variabile tra 43m² e 52 m², a seconda del tipo di interventi previsti.

Per quanto riguarda la galleria Cecilia è prevista la realizzazione di ventidue bypass pedonali, aventi anch'essi un'area di scavo variabile tra 43m² e 52 m², a seconda del tipo di interventi previsti.

I bypass di collegamento previsti verranno scavati all'interno di tutte le formazioni che interessano lo scavo delle gallerie naturali in oggetto e sono interessati da coperture variabili tra 30 e 140m circa.

Di seguito si riportano i risultati delle analisi svolte sulle strutture complementari.

Le linee caratteristiche sono riportate in "Allegato – Linee caratteristiche"; di seguito si propone una tabella riepilogativa delle analisi effettuate.

10.1 FASE DI DIAGNOSI: Previsioni sul comportamento degli amassi allo scavo

10.1.1 Galleria S. Agata

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa delle analisi svolte per i bypass della galleria naturale S. Agata:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

GALLERIA S. AGATA -BYPASS TIPO 1- SINTESI LC_DIAGNOSI -GHIAIE DI MESSINA GR 2

Geometrical Data			TIPO 1		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	3.7	3.7	3.7
Overburden	H	[m]	30	50	70
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	19	19	19
Resistance Parameters					
Cohesion in the elastic zone	C _{el}	[kPa]	5	5	5
Cohesion in the plastic zone	C _{pl}	[kPa]	0	0	0
Friction angle in the elastic zone	Φ _{el}	[°]	39	39	39
Friction angle in the plastic zone	Φ _{pl}	[°]	34	34	34
Elastic parameters					
Deformation moduls in elastic zone	E _{el}	[MPa]	100	275	350
Deformation moduls in plastic zone	E _{pl}	[MPa]	100	275	350
Poisson's ratio	ν	[-]	0.2	0.2	0.2
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0
DEFORMATION RESULTS					
Critical pressure	P _{cr}	[MPa]	0.21	0.35	0.49
Max cavity def. (2D)	u _{2d8}	[cm]	INST	INST	INST
R _{pl} (2D)/R _o	R _{pmax} /r ₀	[-]	10.1	12.3	14.1
Cavity def. at the face	u _f	[cm]	40.3	32.8	43.8
R _{pl} (Face)/R _o	R _{pface} /r ₀	[-]	3.8	4.3	4.8

INST = Deformazione maggiore di 80cm

Visti i risultati delle analisi svolte in assenza di interventi di sostegno all'interno delle formazioni delle Ghiaie di Messina, risulta evidente lo sviluppo di fenomeni deformativi plastici di entità rilevante che riguardano sia il fronte dello scavo che la cavità. Il comportamento del fronte di scavo, a cui è legato quello della cavità, può essere classificato di tipo C, ovvero "instabile".

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1

10.1.2 Galleria S. Cecilia

Di seguito si riportano le tabelle riepilogative delle analisi svolte per i bypass della galleria naturale S. Cecilia:

GALLERIA S.CECILIA - BYPASS - SINTESI LC_DIAGNOSI - GHIAIE DI MESSINA

Geometrical Data			BYPASS TIPO 1						BYPASS TIPO 2		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	4.1	4.1	4.1
Overburden	H	[m]	30	40	80	100	120	140	30	40	80
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m ³]	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Resistance Parameters											
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	5	5	5	5	5	40	5	5	5
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	39	39	39	39	39	36	39	39	39
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	34	34	34	34	34	32	34	34	34
Elastic parameters											
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	100	275	450	450	450	650	100	275	450
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	100	275	450	450	450	650	100	275	450
Poisson's ratio	v	[-]	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DEFORMATION RESULTS											
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.21	0.28	0.56	0.70	0.84	1.06	0.21	0.28	0.56
Max cavity def. (2D)	u2d8	[cm]	INST	INST	INST	INST	INST	INST	INST	INST	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	10.1	11.3	14.9	16.3	17.5	26.8	10.1	11.3	14.9
Cavity def. at the face	uf	[cm]	40.3	23.1	42.0	59.7	79.5	102.3	44.7	25.6	46.7
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	3.8	4.1	4.9	5.3	5.5	7.0	3.8	4.1	4.9

INST = Deformazione maggiore di 80cm

GALLERIA S. CECILIA - BYPASS TIPO 2 - SINTESI LC_DIAGNOSI- SAN PIER NICETO (ARG)

Geometrical Data			GRUPPO2		GRUPPO 1
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4.1	4.1	4.1
Overburden	H	[m]	30	40	80
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m ³]	20	20	20
Resistance Parameters					
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	28	28	42
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0	0	0
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	26	26	26
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	22	22	22
Elastic parameters					
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	95	95	325
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	95	95	325
Poisson's ratio	v	[-]	0.25	0.25	0.25
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0
DEFORMATION RESULTS					
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.31	0.42	0.86
Max cavity def. (2D)	u2d8	[cm]	INST	INST	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	122.0	157.7	284.4
Cavity def. at the face	uf	[cm]	442.7	776.6	866.6
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	12.2	14.0	19.3

INST = Deformazione maggiore di 80cm

GALLERIA FERROVIARIA S.CECILIA- BYPASS TIPO 2 - SINTESI LC_DIAGNOSI - CALCARI BRECCIATI

Geometrical Data			GRUPPO 2	GRUPPO 1
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4.1	4.1
Overburden	H	[m]	60	60
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	20	20

Resistance Parameters				
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	35	35
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	20	20
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	28	28
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	23	23

Elastic parameters				
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	50	390
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	50	390
Poisson's ratio	v	[-]	0.3	0.3
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0

DEFORMATION RESULTS				
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.61	0.61
Max cavity def. (2D)	u2d8	[cm]	INST	67.9
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	7.8	7.8
Cavity def. at the face	uf	[cm]	67.1	8.6
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	2.7	2.7

INST = Deformazione maggiore di 80cm

GALLERIA S. CECILIA - BYPASS - SINTESI LC_DIAGNOSI -S. PIER NICETO FACIES CONGLOMERATICA GR 1

Geometrical Data			TIPO 2	
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4.1	4.1
Overburden	H	[m]	90	140
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	22	22

Resistance Parameters				
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	50	70
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	40	40
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	33	33
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	26	26

Elastic parameters				
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	450	550
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	450	550
Poisson's ratio	v	[-]	0.3	0.3
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0

DEFORMATION RESULTS				
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.86	1.34
Max cavity def. (2D)	u2d8	[cm]	41.4	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	4.8	6.2
Cavity def. at the face	uf	[cm]	7.7	14.2
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	2.1	2.4

INST = Deformazione maggiore di 80cm

GALLERIA S. CECILIA - BYPASS - SINTESI LC_DIAGNOSI - S. PIER NICETO FACIES CONGLOMERATICA GR 2

metrical Data			TIPO 1	TIPO 2	
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	3.7	4.1	4.1
Overburden	H	[m]	40	50	60
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	22	22	22

Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	5	5	5
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0	0	0
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	33	33	33
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	26	26	26

Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	200	200	350
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	200	200	350
Poisson's ratio	v	[-]	0.3	0.3	0.3
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0

DEFORMATION RESULTS

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.40	0.50	0.60
Max cavity def. (2D)	u2d8	[cm]	INST	INST	INST
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	52.5	60.6	68.2
Cavity def. at the face	uf	[cm]	149.3	247.5	196.1
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	8.9	9.7	10.4

INST = Deformazione maggiore di 80cm

I risultati delle analisi svolte in assenza di interventi di sostegno, evidenziano lo sviluppo di fenomeni deformativi plastici di entità rilevante che riguardano sia il fronte dello scavo che la cavità. Il comportamento del fronte di scavo, a cui è legato quello della cavità, può essere classificato di tipo B/C.

GALLERIA FERROVIARIA S.CECILIA- BYPASS TIPO 2 - SINTESI LC_DIAGNOSI - METAMORFITI

Geometrical Data

Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4.1	4.1
Overburden	H	[m]	60	80
Unit weight of the rock mass	g	[kN/m3]	22	22

Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	640	640
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	470	470
Friction angle in the elastic zone	Φel	[°]	38	38
Friction angle in the plastic zone	Φpl	[°]	28	28

Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	1800	1800
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	1800	1800
Poisson's ratio	v	[-]	0.2	0.2
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0

DEFORMATION RESULTS

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.00	0.17
Max cavity def. (2D)	u2d8	[cm]	0.4	0.6
Rpl (2D)/Ro	Rpmax/r0	[-]	1.0	1.1
Cavity def. at the face	uf	[cm]	0.1	0.2
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	0.7	0.8

INST = Deformazione maggiore di 80cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

Nell'ambito dell'attraversamento delle metamorfiti, lo sviluppo delle deformazioni risulta contenuto. Il comportamento del fronte di scavo, a cui è legato quello della cavità, può essere classificato di tipo A.

10.2 FASE DI TERAPIA

Per quanto concerne la variabilità della sezione tipo, i criteri applicativi, i dettagli sugli interventi, e per tutto quanto non esplicitamente riportato si rimanda alla Relazione Tecnica Generale, parte integrante del Progetto.

Si ricorda che quanto indicato negli elaborati grafici rappresenta la sezione media di intervento; pertanto eventuali variazioni negli interventi utilizzati in sede di verifica sono da ritenersi frutto della variabilità prevista.

Per le analisi sono stati utilizzati i coefficienti di sicurezza relativi alla Combinazione 1 dell'Approccio 1 (A1-M1-R1), come specificato nel Paragrafo 2.1.

L'effetto stabilizzante dovuto alla presenza di trattamenti di rinforzo del fronte (VTR, Jet-grouting, micro-jet armati con tubi in VTR, ecc.) posti in opera in avanzamento è stato tenuto in conto incrementando la coesione del nucleo di scavo. Tale contributo è stato valutato come il minimo tra la resistenza allo sfilamento della fondazione e la resistenza a rottura del tubo. Inoltre è stato assunto che la tensione tangenziale lungo la superficie di contatto tra la fondazione ed il terreno circostante sia distribuita uniformemente e solo sulla lunghezza di sovrapposizione.

Per mancanza di prove dirette a sfilamento, nella formazione delle Sabbie e Ghiaie di Messina, è stato assunto un valore cautelativo della tensione tangenziale del terreno, per profondità fino a 60m, compreso tra 150kPa e 200kPa e tra 250kPa e 450kPa per profondità maggiori. I valori sono ipotizzati tenendo conto anche dei grafici riportati in letteratura (Bustamante – Doix), che mettono in relazione la tensione laterale di aderenza con il grado di addensamento del terreno, legato alle prove SPT.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

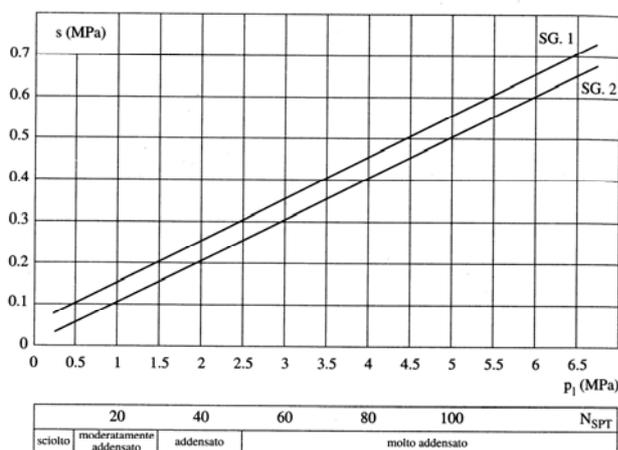


Fig. 13.16. Abaco per il calcolo di s per sabbie e ghiaie

Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento è stato valutato applicando dei coefficienti correttivi ai valori medi della resistenza del terreno. Cautelativamente tale valore riduttivo è stato posto pari ad 1.8, pertanto si ha che:

$$\tau_{lim,Rd} = \frac{\tau_{lim}}{\xi_{a3}} = \begin{cases} 180 / 1.8 = 100kPa & \text{per } D \leq 60m \\ 360 / 1.8 = 200kPa & \text{per } D > 60m \end{cases}$$

Con :

$$\xi_{a3} = 1.8$$

Per quanto riguarda invece la formazione di San Pier Niceto, è stato assunto un valore cautelativo della tensione tangenziale del terreno, per il gruppo geomeccanico 1, compreso tra 200 e 300 e per il gruppo geomeccanico 2 e la serie solfifera gessosa compreso tra 130 e 250.

$$\tau_{lim,Rd} = \frac{\tau_{lim}}{\xi_{a3}} = \begin{cases} 190 / 1.8 = 150kPa & \text{per GR2 e calcari brecciati} \\ 315 / 1.8 = 250kPa & \text{per GR1} \end{cases}$$

Con :

$$\xi_{a3} = 1.8$$

Per maggiori dettagli sulla valutazione del contributo dei consolidamenti all'incremento di coesione si faccia riferimento alla teoria riportata in "Allegato – Riferimenti teorici e di calcolo".

Il calcolo delle tensioni agenti sul rivestimento definitivo fa riferimento allo spessore medio della

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

calotta.

Alla base della teoria delle linee caratteristiche vi è l'ipotesi di scavo circolare in mezzo omogeneo, isotropo e in condizioni di spinta assialsimmetriche; questo comporta che la sezione risulti, per definizione, interamente compressa. In questa fase di analisi non si è pertanto tenuto conto dell'eventuale presenza di armatura all'interno del rivestimento definitivo. Nelle sezioni singolari, alle basse coperture ed in tutti i casi in cui verranno condotte delle analisi numeriche di approfondimento, eventuali armature necessarie verranno dimensionate caso per caso.

Le analisi complete svolte mediante le linee caratteristiche sono riportate in "Allegato – Linee caratteristiche".

10.2.1 Galleria S. Agata

Di seguito si propone una tabella riepilogativa delle analisi effettuate.

GALLERIA S. AGATA - BYPASS TIPO 1- SINTESI LC_TERAPIA -GHIAIE DI MESSINA GR 2

Geometrical Data			TIPO 1		
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	3,7	3,7	3,7
Overburden	H	[m]	30	50	70
Unit weight of the rock mass	γ	[kN/m3]	19	19	19

Resistance Parameters					
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	5	5	5
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0	0	0
Friction angle in the elastic zone	Φ_{el}	[°]	39	39	39
Friction angle in the plastic zone	Φ_{pl}	[°]	34	34	34

Elastic parameters					
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	100	275	350
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	100	275	350
Poisson's ratio	ν	[-]	0,2	0,2	0,2
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0

PRECONFINEMENT (Therapy Phase)					
Number of reinforcements	n°	[-]	23	28	28
Design Length	L	[m]	4	4	4
Cohesion improvement	Δc	[kPa]	211	257	515

SUPPORT DATA (Therapy Phase)					
Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25	25
Compression strenght (medium)	fcm	[MPa]	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN180	IPN180	IPN180
Number of profiles	n	-	2,00	2,00	2,00
Steel ribs spacing	s	[m]	1,00	1,00	1,00

DEFORMATION RESULTS					
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0,21	0,35	0,49
Cavity def. at the face	uf	[cm]	0,8	0,7	0,7
Rpl (Face)/Ro	Rpface/ro	[-]	1,0	1,0	1,0
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	0,8	0,7	0,7
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	0,8	0,7	0,7
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	1,3	1,3	1,2
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	1,0	1,1	1,1
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/ro	[-]	0,9	1,1	1,2
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0,3	0,3	0,3

TEMPORARY LINING RESULTS					
Steel ribs stress	σ_{st}	[MPa]	36,5	37,5	37,9
Shotcrete stress	σ_{sc}	[MPa]	3,6	3,7	3,8

SUPPORT RESULTS					
Concrete stress	σ_b	[MPa]	2,2	2,3	2,3
Reinforcement stress	σ_s	[MPa]	-	-	-

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

			TIPO 1		
Overburden	H	[m]	30	50	70
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	47,4	48,7	49,2
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	4,7	4,9	4,9

$\gamma_{G1} \quad 1,3$

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DE FINITIVI

			TIPO 1		
Overburden	H	[m]	30	50	70
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	2,9	3,0	3,0
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-

$\gamma_{G1} \quad 1,3$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

10.2.1.1 Verifica tensionale dei rivestimenti

Le verifiche agli stati limite sono state condotte confrontando le tensioni di calcolo, opportunamente amplificate secondo i coefficienti previsti da normativa ($\gamma_{G1} = 1.3$ - vedi tabella di seguito), con le resistenze di progetto.

10.2.1.2 Verifica dei rivestimenti di prima fase

Di seguito si riportano i valori delle sollecitazioni agenti sul rivestimento di prima fase ottenuti dalle analisi delle linee caratteristiche, amplificate per il coefficiente moltiplicativo previsto da normativa.

GALLERIA S. AGATA - BYPASS TIPO 1 - SINTESI LC_TERAPIA - GHIAIE DI MESSINA GR 2

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

Overburden	H	[m]	TIPO 1		
			30	50	70
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	47,4	48,7	49,2
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	4,7	4,9	4,9

$\gamma_{G1} = 1,3$

Le sollecitazioni di progetto risultano compatibili con le resistenze dei materiali utilizzati:

- Acciaio: $f_{yd} = f_{yk} / 1.05 = 275 / 1.05 = 262 \text{ MPa}$
- Spritzbeton: $f_{sb,d} = f_{ck} / 1.0 = 25 / 1.0 = 25 \text{ MPa}$

10.2.1.3 Verifica dei rivestimenti definitivi

Di seguito si riportano i valori delle sollecitazioni agenti sul rivestimento definitivo ottenuti dalle analisi delle linee caratteristiche.

Per le verifiche di resistenza delle sezioni non armate, si è fatto riferimento a quanto riportato nel paragrafo 4.1.11 delle NTC2008. Per effetto delle azioni di calcolo sotto la combinazione rara, le tensioni che insorgono nel calcestruzzo devono risultare inferiori a:

$$\sigma_{c,lim} = 0.25 \cdot f_{ck} = 0.25 \cdot 25 = 6.25 \text{ MPa}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

GALLERIA S. AGATA -BYPASS TIPO 1- SINTESI LC_TERAPIA -GHIAIE DI MESSINA GR 2

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

	H	[m]	TIPO 1		
			30	50	70
Overburden			30	50	70
Concrete stress	$\xi_b \cdot \xi_{G1}$	[MPa]	2,9	3,0	3,0
Reinforcement stress	$\xi_s \cdot \xi_{G1}$	[MPa]	-	-	-

/G1 1,3

Le sollecitazioni di progetto risultano inferiori a quanto prescritto dalla normativa vigente.

10.2.2 Galleria S. Cecilia

Di seguito si propone una tabella riepilogativa delle analisi effettuate.

GALLERIA S.CECILIA - BYPASS TIPO 2 - LC_TERAPIA - CALCARI BRECCIATI

Geometrical Data			GRUPPO 2	GRUPPO 1
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4.1	4.1
Overburden	H	[m]	60	60
Unit weight of the rock mass	γ	[kN/m ³]	20	20

Resistance Parameters				
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	35	35
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	20	20
Friction angle in the elastic zone	Φ_{el}	[°]	28	28
Friction angle in the plastic zone	Φ_{pl}	[°]	23	23

Elastic parameters				
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	50	390
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	50	390
Poisson's ratio	ν	[-]	0.3	0.3
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0

PRECONFINEMENT (Therapy Phase)				
Number of reinforcements	n°	[-]	23	23
Design Length	L	[m]	6	6
Cohesion improvement	Δc	[kPa]	123	123

SUPPORT DATA (Therapy Phase)				
Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25
Compression strenght (medium)	fcm	[MPa]	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN180	IPN180
Number of profiles	n	-	2.00	2.00
Steel ribs spacing	s	[m]	1.00	1.00

DEFORMATION RESULTS				
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.61	0.61
Cavity def. at the face	uf	[cm]	16.4	2.1
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1.5	1.5
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	16.4	2.1
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	16.4	2.1
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	17.2	2.8
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	1.5	1.3
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1.5	1.7
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0.3	0.3

TEMPORARY LINING RESULTS				
Steel ribs stress	σ_{st}	[MPa]	47.2	40.8
Shotcrete stress	σ_{sc}	[MPa]	4.7	4.1

SUPPORT RESULTS				
Concrete stress	σ_b	[MPa]	2.9	2.5
Reinforcement stress	σ_s	[MPa]	-	-

GALLERIA S. CECILIA - BYPASS - SINTESI LC_TERAPIA - GHIAIE DI MESSINA

Geometrical Data	BYPASS TIPO 1								BYPASS TIPO 2			
	Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	4.1	4.1
Overburden	H	[m]	30	40	60	80	100	120	140	30	60	80
Unit weight of the rock mass	γ	[kN/m ³]	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Resistance Parameters												
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	5	5	5	5	5	5	40	5	5	5
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0
Friction angle in the elastic zone	Φ_{el}	[°]	39	39	39	39	39	39	36	39	39	39
Friction angle in the plastic zone	Φ_{pl}	[°]	34	34	34	34	34	34	32	34	34	34
Elastic parameters												
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	100	275	350	450	450	450	650	100	350	450
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	100	275	350	450	450	450	650	100	350	450
Poisson's ratio	ν	[-]	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRECONFINEMENT (Therapy Phase)												
Number of reinforcements	n [*]	[-]	23	23	23	28	28	28	28	23	23	23
Design Length	L	[m]	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6
Cohesion improvement	Δc	[kPa]	211	211	211	515	515	515	482	103	103	207
SUPPORT DATA (Therapy Phase)												
Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Compression strenght (medium)	f _{cm}	[MPa]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN180	IPN180	IPN180	IPN180						
Number of profiles	n	-	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Steel ribs spacing	s	[m]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
DEFORMATION RESULTS												
Critical pressure	P _{cr}	[MPa]	0.21	0.28	0.42	0.56	0.70	0.84	1.06	0.21	0.42	0.56
Cavity def. at the face	u _f	[cm]	0.8	0.6	1.0	0.7	0.9	1.3	1.2	1.9	1.7	1.3
R _{pl} (Face)/R _o	R _{pface} /r ₀	[-]	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.1
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	0.8	0.6	1.0	0.7	0.9	1.3	1.2	1.9	1.7	1.3
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	0.8	0.6	1.0	0.7	0.9	1.3	1.2	1.9	1.7	1.3
Def.at equilibrium point	u _{eq}	[cm]	1.4	1.0	1.5	1.4	1.9	2.4	2.2	2.3	2.1	2.0
Conv.at equilibrium point	C _{eq}	[cm]	1.1	0.9	1.1	1.4	1.8	2.2	2.1	0.8	0.9	1.4
R _{pl} (eq)/R _o	R _{peq} /r ₀	[-]	0.9	1.1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.3	1.1	1.3	1.3
Equilibrium pressure	C ₁	[MPa]	0.3	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.2	0.2	0.3
TEMPORARY LINING RESULTS												
Steel ribs stress	σ_{st}	[MPa]	37.3	30.3	36.8	48.1	63.9	75.0	71.7	24.7	29.4	43.1
Shotcrete stress	σ_{sc}	[MPa]	3.7	3.0	3.7	4.8	6.4	7.5	7.2	2.5	2.9	4.3
SUPPORT RESULTS												
Concrete stress	σ_b	[MPa]	2.3	1.9	2.2	2.9	3.9	4.6	4.4	1.5	1.8	2.6
Reinforcement stress	σ_s	[MPa]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

GALLERIA S.CECILIA - BYPASS TIPO 2 - LC_TERAPIA - METAMORFITI

Geometrical Data

Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4.1	4.1
Overburden	H	[m]	60	80
Unit weight of the rock mass	γ	[kN/m ³]	22	22

Resistance Parameters

Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	640	640
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	470	470
Friction angle in the elastic zone	Φ_{el}	[°]	38	38
Friction angle in the plastic zone	Φ_{pl}	[°]	28	28

Elastic parameters

Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	1800	1800
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	1800	1800
Poisson's ratio	ν	[-]	0.3	0.3
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0

PRECONFINEMENT (Therapy Phase)

Number of reinforcements	n°	[-]	0	0
Design Length	L	[m]	0	0
Cohesion improvement	Δc	[kPa]	0	0

SUPPORT DATA (Therapy Phase)

Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25
Compression strenght (medium)	fcm	[MPa]	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN180	IPN180
Number of profiles	n	-	2.00	2.00
Steel ribs spacing	s	[m]	1.00	1.00

DEFORMATION RESULTS

Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.00	0.17
Cavity def. at the face	uf	[cm]	0.2	0.3
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1.0	1.0
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	0.3	0.4
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	0.3	0.4
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	0.4	0.5
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	0.4	0.6
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1.0	1.1
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0.1	0.1

TEMPORARY LINING RESULTS

Steel ribs stress	σ_{st}	[MPa]	7.7	9.6
Shotcrete stress	σ_{sc}	[MPa]	0.8	1.0

SUPPORT RESULTS

Concrete stress	σ_b	[MPa]	0.5	0.6
Reinforcement stress	σ_s	[MPa]	-	-

Le analisi svolte nel complesso delle metamorfiti non tengono conto di interventi di consolidamento. Non si esclude tuttavia la necessità in corso d'opera di prevedere consolidamenti localizzati nel caso di zone ad intensa fratturazione.

GALLERIA S. CECILIA - BYPASS TIPO 2 - SINTESI LC_TERAPIA - SAN PIER NICETO (ARG)

Geometrical Data			GRUPPO 2		GRUPPO 1
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	4.1	4.1	4.1
Overburden	H	[m]	30	40	80
Unit weight of the rock mass	γ	[kN/m ³]	20	20	20

Resistance Parameters					
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	28	28	42
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0	0	0
Friction angle in the elastic zone	Φ_{el}	[°]	26	26	26
Friction angle in the plastic zone	Φ_{pl}	[°]	22	22	22

Elastic parameters					
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	95	95	325
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	95	95	325
Poisson's ratio	ν	[-]	0.25	0.25	0.25
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0

PRECONFINEMENT (Therapy Phase)					
Number of reinforcements	n ^r	[-]	28	28	28
Design Length	L	[m]	4	4	4
Cohesion improvement	Δc	[kPa]	96	96	96

SUPPORT DATA (Therapy Phase)					
Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25	25
Compression strenght (medium)	f _{cm}	[MPa]	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN180	IPN180	IPN180
Number of profiles	n	-	2.00	2.00	2.00
Steel ribs spacing	s	[m]	1.00	1.00	1.00

DEFORMATION RESULTS					
Critical pressure	P _{cr}	[MPa]	0.31	0.42	0.86
Cavity def. at the face	u _f	[cm]	3.7	7.0	8.9
R _{pl} (Face)/R _o	R _{pface} /r _o	[-]	1.4	1.6	2.2
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	3.7	7.0	8.9
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	3.7	7.0	8.9
Def.at equilibrium point	u _{eq}	[cm]	4.2	7.5	9.6
Conv.at equilibrium point	C _{eq}	[cm]	0.9	1.0	1.3
R _{pl} (eq)/R _o	R _p eq/r _o	[-]	1.5	1.7	2.5
Equilibrium pressure	C ₁	[MPa]	0.2	0.2	0.3

TEMPORARY LINING RESULTS					
Steel ribs stress	σ_{st}	[MPa]	27.4	31.5	41.8
Shotcrete stress	σ_c	[MPa]	2.7	3.2	4.2

SUPPORT RESULTS					
Concrete stress	σ_b	[MPa]	1.7	1.9	2.5
Reinforcement stress	σ_s	[MPa]	-	-	-

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

GALLERIA S. CECILIA - BYPASS - SINTESI LC_TERAPIA - SAN PIER NICETO (CNG.)

Geometrical Data			TIPO 1	TIPO 2			
			GRUPPO 2	GRUPPO2		GRUPPO 1	
Equivalent Tunnel Radius	ri	[m]	3.7	4.1	4.1	4.1	4.1
Overburden	H	[m]	40	50	60	90	140
Unit weight of the rock mass	γ	[kN/m ³]	22	22	22	22	22

Resistance Parameters							
Cohesion in the elastic zone	Cel	[kPa]	5	5	5	50	70
Cohesion in the plastic zone	Cpl	[kPa]	0	0	0	40	40
Friction angle in the elastic zone	Φ_{el}	[°]	33	33	33	33	33
Friction angle in the plastic zone	Φ_{pl}	[°]	26	26	26	26	26

Elastic parameters							
Deformation moduls in elastic zone	Eel	[MPa]	200	200	350	450	550
Deformation moduls in plastic zone	Epl	[MPa]	200	200	350	450	550
Poisson's ratio	ν	[-]	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Volume increase in plastic zone	ΔV	[%]	0	0	0	0	0

PRECONFINEMENT (Therapy Phase)							
Number of reinforcements	n°	[-]	28	28	28	28	28
Design Length	L	[m]	4	4	4	4	4
Cohesion improvement	Δc	[kPa]	339	110	110	184	184

SUPPORT DATA (Therapy Phase)							
Shotcrete Thickness	t	[cm]	25	25	25	25	25
Compression strenght (medium)	fcm	[MPa]	25	25	25	25	25
Steel ribs profile	-	-	IPN180	IPN180	IPN180	IPN180	IPN180
Number of profiles	n	-	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Steel ribs spacing	s	[m]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

DEFORMATION RESULTS							
Critical pressure	Pcr	[MPa]	0.40	0.50	0.60	0.86	1.34
Cavity def. at the face	uf	[cm]	0.7	3.9	3.2	2.6	4.9
Rpl (Face)/Ro	Rpface/r0	[-]	1.0	1.4	1.5	1.3	1.5
Deformation at (x) m	u(x)	[cm]	0.7	3.9	3.2	2.6	4.9
Def.at (x)m regarding gap	u'(x)	[cm]	0.7	3.9	3.2	2.6	4.9
Def.at equilibrium point	ueq	[cm]	1.4	4.5	3.8	3.5	6.1
Conv.at equilibrium point	Ceq	[cm]	1.4	1.2	1.2	1.9	2.4
Rpl (eq)/Ro	Rpeq/r0	[-]	1.0	1.6	1.7	1.5	1.7
Equilibrium pressure	C1	[MPa]	0.4	0.2	0.3	0.4	0.5

TEMPORARY LINING RESULTS							
Steel ribs stress	σ_{st}	[MPa]	50.4	35.8	37.3	58.8	75.1
Shotcrete stress	σ_{sc}	[MPa]	5.0	3.6	3.7	5.9	7.5

SUPPORT RESULTS							
Concrete stress	σ_b	[MPa]	3.1	2.2	2.3	3.6	4.6
Reinforcement stress	σ_s	[MPa]	-	-	-	-	-

10.2.2.1 Verifica tensionale dei rivestimenti

Le verifiche agli stati limite sono state condotte confrontando le tensioni di calcolo, opportunamente amplificate secondo i coefficienti previsti da normativa ($\gamma_{G1} = 1.3$ - vedi tabella di seguito), con le resistenze di progetto.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

10.2.2.2 Verifica dei rivestimenti di prima fase

Di seguito si riportano i valori delle sollecitazioni agenti sul rivestimento di prima fase ottenuti dalle analisi delle linee caratteristiche, amplificate per il coefficiente moltiplicativo previsto da normativa.

GALLERIA S.CECILIA - BYPASS TIPO 2 - LC_TERAPIA - CALCARI BRECCIATI

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

			GRUPPO 2	GRUPPO 1
Overburden	H	[m]	60	60
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	61.4	53.1
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	6.1	5.3

γ_{G1} 1.3

GALLERIA S. CECILIA - BYPASS - SINTESI LC_TERAPIA - GHIAIE DI MESSINA

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

			BYPASS TIPO 1							BYPASS TIPO 2		
Overburden	H	[m]	30	40	60	80	100	120	140	30	60	80
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	48.5	39.4	47.8	62.5	83.1	97.5	93.2	32.0	38.2	56.0
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	4.8	3.9	4.8	6.3	8.3	9.8	9.3	3.2	3.8	5.6

γ_{G1} 1.3

GALLERIA S.CECILIA - BYPASS TIPO 2 - LC_TERAPIA - METAMORFITI

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

Overburden	H	[m]	60	80
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	9.9	12.4
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	1.0	1.2

γ_{G1} 1.3

GALLERIA S. CECILIA - BYPASS TIPO 2 - SINTESI LC_TERAPIA - SAN PIER NICETO (ARG)

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

			GRUPPO 2	GRUPPO 1
Overburden	H	[m]	30	80
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	35.7	54.3
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	3.6	5.4

γ_{G1} 1.3

GALLERIA S. CECILIA - BYPASS - SINTESI LC_TERAPIA - SAN PIER NICETO (CNG.)

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DI PRIMA FASE

			TIPO 1	TIPO 2			
			GRUPPO 2	GRUPPO2		GRUPPO 1	
Overburden	H	[m]	40	50	60	90	140
Steel ribs stress	$\sigma_{st} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	65.5	46.5	48.5	76.5	97.6
Shotcrete stress	$\sigma_{sc} \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	6.6	4.7	4.9	7.7	9.8

γ_{G1} 1.3

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

Le sollecitazioni di progetto risultano compatibili con le resistenze dei materiali utilizzati:

- Acciaio: $f_{yd} = f_{yk} / 1.05 = 275 / 1.05 = 262 \text{ MPa}$
- Spritzbeton: $f_{sb,d} = f_{ck} / 1.0 = 25 / 1.0 = 25 \text{ MPa}$

10.2.2.3 Verifica dei rivestimenti definitivi

Di seguito si riportano i valori delle sollecitazioni agenti sul rivestimento definitivo ottenuti dalle analisi delle linee caratteristiche.

Per le verifiche di resistenza delle sezioni non armate, si è fatto riferimento a quanto riportato nel paragrafo 4.1.11 delle NTC2008. Per effetto delle azioni di calcolo sotto la combinazione rara, le tensioni che insorgono nel calcestruzzo devono risultare inferiori a:

$$\sigma_{c,lim} = 0.25 \cdot f_{ck} = 0.25 \cdot 25 = 6.25 \text{ MPa}$$

GALLERIA S.CECILIA - BYPASS TIPO 2 - LC_TERAPIA - CALCARI BRECCIATI

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

			GRUPPO 2	GRUPPO 1
Overburden	H	[m]	60	60
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	3.7	3.2
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-

$\gamma_{G1} \quad 1.3$

GALLERIA S. CECILIA - BYPASS - SINTESI LC_TERAPIA - GHIAIE DI MESSINA

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

			BYPASS TIPO 1							BYPASS TIPO 2		
Overburden	H	[m]	30	40	60	80	100	120	140	30	60	80
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	3.0	2.4	2.9	3.8	5.1	5.9	5.7	2.0	2.3	3.4
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

$\gamma_{G1} \quad 1.3$

GALLERIA S.CECILIA - BYPASS TIPO 2 - LC_TERAPIA - METAMORFITI

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

			60	80
Overburden	H	[m]	60	80
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	0.6	0.8
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-

$\gamma_{G1} \quad 1.3$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

GALLERIA S. CECILIA - BYPASS TIPO 2 - SINTESI LC_TERAPIA - SAN PIER NICETO (ARG)

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

			GRUPPO 2		GRUPPO 1
Overburden	H	[m]	30	40	80
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	2.2	2.5	3.3
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-

γ_{G1} 1.3

GALLERIA S. CECILIA - BYPASS - SINTESI LC_TERAPIA - SAN PIER NICETO (CNG.)

VERIFICHE DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

			TIPO 1	TIPO 2				
			GRUPPO 2	GRUPPO 2			GRUPPO 1	
Overburden	H	[m]	40	50	60	90	140	
Concrete stress	$\sigma_b \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	4.0	2.8	3.0	4.7	5.9	
Reinforcement stress	$\sigma_s \cdot \gamma_{G1}$	[MPa]	-	-	-	-	-	

γ_{G1} 1.3

Le sollecitazioni di progetto risultano inferiori a quanto prescritto dalla normativa vigente.

10.3 Analisi di stabilità del fronte

I bypass in esame presentano tutti coperture superiori a tre diametri; pertanto non sono state effettuate analisi di stabilità del fronte mediante le formulazioni di Tamez. Le indicazioni sul comportamento sono desumibili mediante le linee caratteristiche.

10.4 Condotta di smaltimento acque di piattaforma

Nel presente paragrafo vengono descritte le modalità esecutive previste per la realizzazione delle condotte di smaltimento acque di piattaforma prevista nella galleria Sant'Agata.

La condotta è realizzata a partire da un pozzo di accesso realizzato nel collegamento trasversale posto alla PK 2+897 (BP) mediante microtunnel DN 200cm all'interno del quale viene alloggiata la condotta (vedi Figura 24 e Figura 25). La copertura massima lungo lo sviluppo dell'opera è pari a circa 100m e lo scavo avverrà prevalentemente nella formazione delle ghiaie e sabbie di messina.

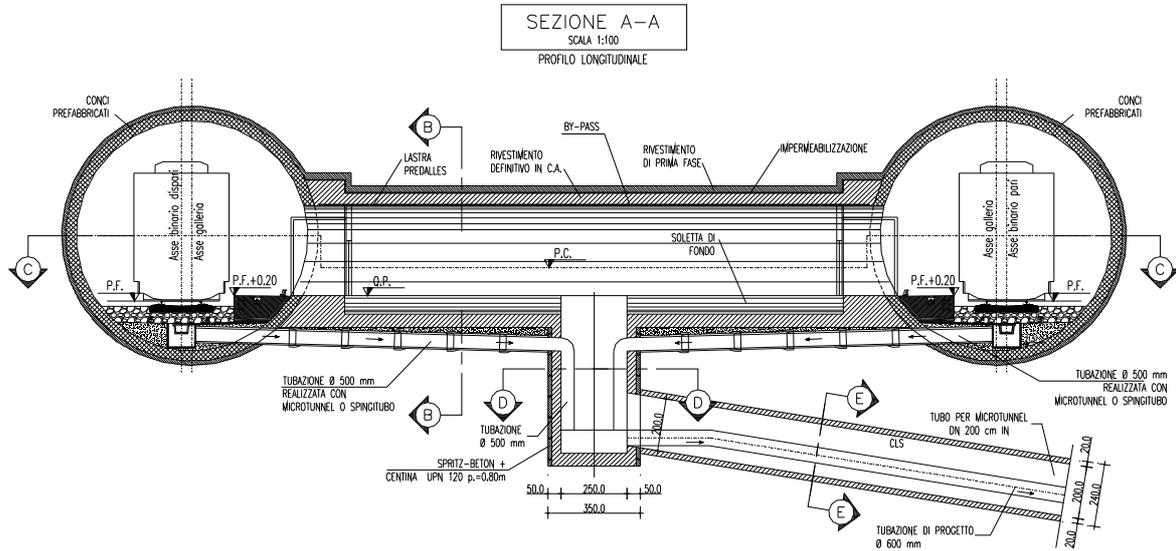


Figura 24 – Sezione trasversale intervento

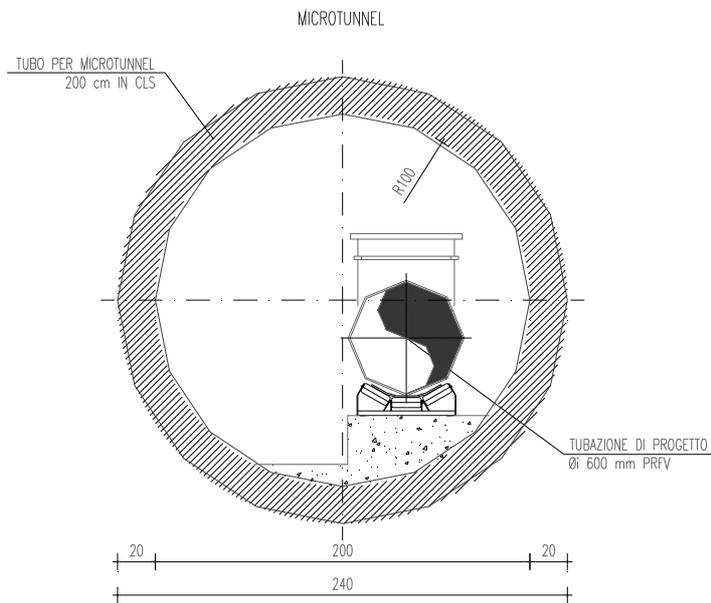


Figura 25 – Sezione del Microtunnel

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	

La tecnologia prevista richiede per ciascun tratto da realizzare due pozzi: uno di partenza (o di spinta) e uno di arrivo (uscita), come indicato nello schema di seguito.



Nel pozzo di spinta vengono calate e alloggiate tutte le attrezzature necessarie per lo scavo del tunnel e la spinta di vari tipi di tubo (pilota, camicia, della rete in progetto) oltre agli elementi della vite senza fine, per costruire la coclea. Qui troviamo anche parte della strumentazione di controllo, gli allacci per l'immissione delle miscele, l'apparecchiatura di puntamento del raggio laser che controlla l'avanzamento regolare dello scavo, i sistemi di raccolta dello smarino da portare in superficie.

Lo scavo del microtunnelling avviene mediante l'avanzamento di uno scudo cilindrico a cui è applicata frontalmente una fresa rotante dello stesso diametro dello scudo oppure altre attrezzature di scavo. La scelta dell'impiego del sistema di smarino a secco o idraulico con acqua o miscela acqua-bentonite o altro sistema è in funzione delle caratteristiche del terreno perforato e di quelle tecniche del sistema di evacuazione dei materiali scavati. Per ridurre l'attrito tubo-terreno può essere impiegata una miscela bentonitica come lubrificante esterno anche nel caso di smarino a secco.

Lo spessore del concio installata è stato valutato in prima approssimazione ipotizzando un carico pari a:

$$N = \gamma \cdot H \max \cdot \lambda e l \cdot R_{med}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

da cui

$$N = 19 \text{ KN/m}^3 * 100\text{m} * 0.72 * 2.1\text{m} = 2872.8 \text{ kN}$$

da cui lo sforzo massimo agente nel cls è pari a

$\sigma_{\text{cls}} = 14.36 \text{ MPa}$ compatibile con lo il calcestruzzo utilizzato per i conci prefabbricati.

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p>COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p><i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> 1</p>	<p><i>Data</i> 08/04/2011</p>	

ALLEGATO – RIFERIMENTI TEORICI E DI CALCOLO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011	

11 Metodo delle curve caratteristiche

11.1 Aspetti generali

Le curve caratteristiche consistono nel simulare lo scavo di una galleria nell'ipotesi di simmetria assiale e di stato di deformazione piana.

Per curve 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).

Lo scavo è rappresentato come una graduale riduzione di una pressione fittizia " p " applicata alle pareti della galleria, tramite cui si simula il progressivo deconfinamento dell'ammasso prodotto dall'avvicinarsi del fronte di scavo alla sezione di calcolo ed al successivo avanzamento del fronte stesso, cui corrisponde una convergenza radiale " u " crescente in funzione delle caratteristiche dell'ammasso. Questo fenomeno può essere descritto in un piano $p-u$ e la linea che ne risulta prende il nome di *curva caratteristica della cavità*.

Tali curve 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 curve caratteristiche della cavità e dei singoli interventi che la costituiscono.

Per ogni galleria è possibile costruire due curve caratteristiche principali:

- quella valida presso il fronte di scavo, detta curva 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 curva caratteristica della cavità, per la quale lo stato di tensione può considerarsi piano.

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

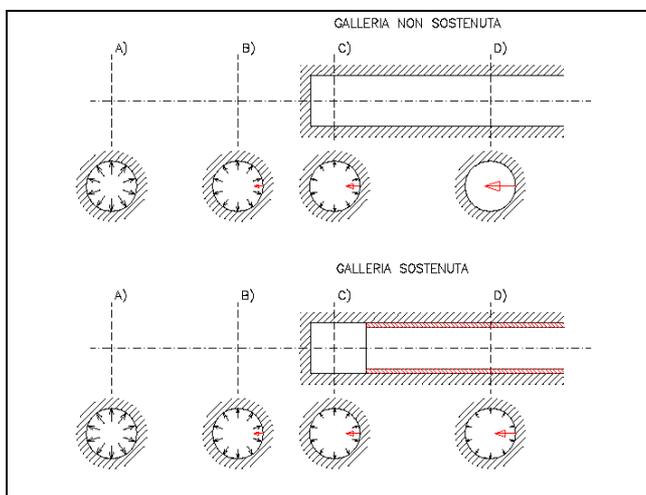


Figura 26 - Progressivo deconfinamento del bordo di scavo per simulare l'avanzamento della galleria

Se la galleria è scavata in assenza di sostegni, il valore finale della pressione di confinamento è pari a zero; in caso contrario allo stato finale è presente una pressione di confinamento maggiore di zero che rappresenta la pressione di equilibrio del cavo ottenuta dall'intersezione della curva caratteristica della cavità e dei rivestimenti impiegati. Quest'ultima curva, a sua volta, dipende dalle proprietà dei materiali impiegati e dalle deformazioni subite dall'ammasso prima della posa in opera dei sostegni provvisori e quindi, in ultima analisi, è legata al comportamento del fronte di scavo e al tipo di interventi previsti in avanzamento.

Mediante la sovrapposizione degli effetti delle curve "caratteristiche" della galleria, dei sostegni provvisori e definitivi e del fronte è possibile ridurre il problema tridimensionale in prossimità del fronte di scavo ad un problema bidimensionale; l'intersezione delle varie curve permette di determinare graficamente il comportamento della galleria allo scavo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

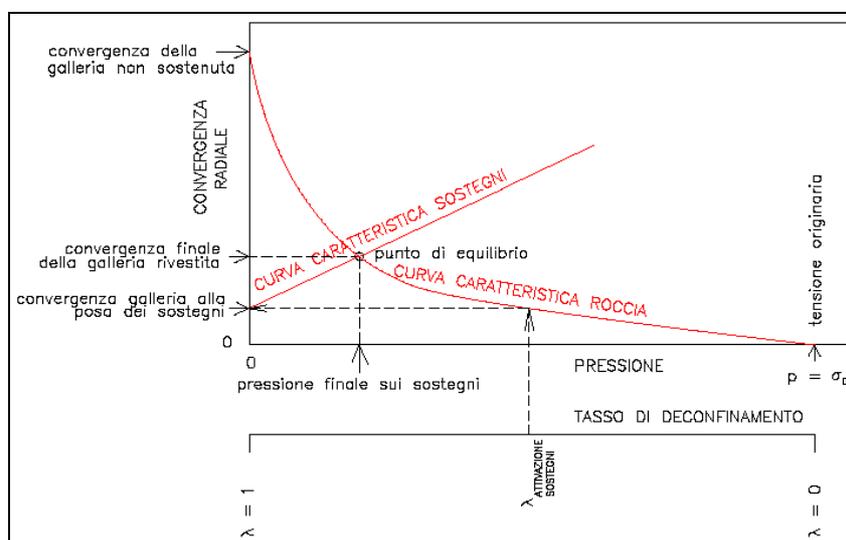


Figura 27 Curve caratteristiche

La curva caratteristica del rivestimento, o curva di confinamento, è individuata dalla rigidità della struttura K_{st} e dallo spostamento radiale u_{d0} che si è già generato nell'intorno del cavo prima dell'installazione del supporto, messo in opera a distanza d_0 dal fronte di avanzamento della galleria.

$$u_r = u_{d0} + R \frac{p}{K_{st}}$$

Il valore della convergenza alla distanza di posa in opera del rivestimento, u_{d0} , viene determinato simulando l'effetto di deconfinamento dovuto allo scavo e all'allontanamento del fronte per mezzo di una pressione fittizia applicata alla parete della galleria. Tale pressione, inizialmente pari allo stato di sforzo originario, viene ridotta fino ad un valore P^* definito da un tasso di rilascio λ :

$$P^* = (1 - \lambda) \cdot \sigma_0$$

In tutti i casi è necessario valutare lo spostamento al fronte u_f per risalire allo spostamento radiale alla distanza d_0 .

Tracciando la curva caratteristica del fronte, non solo si ricava il valore u_f (ovvero l'intersezione della curva del fronte con quella del nucleo), tenendo conto del tipo di preconsolidamento eventualmente effettuato in avanzamento dal fronte stesso, ma è anche possibile individuare a priori il comportamento della galleria, distinguendo tra fronte stabile (A), stabile a breve termine (B) ed instabile (C), secondo l'approccio A.De.Co.Rs.

Noto lo spostamento al fronte e determinato l'andamento della curva di convergenza longitudinale della galleria tramite la funzione che fornisce il tasso di deconfinamento λ , si calcola il valore della convergenza radiale già subita dal cavo, prima della posa in opera del rivestimento; la curva di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	

confinamento risulta a questo punto completamente definita.

La condizione di equilibrio, individuata dallo spostamento radiale u_{re} o dalla pressione radiale $P=P_e$, è determinata dall'intersezione della curva caratteristica del terreno e di quella del rivestimento. Tale condizione risulta verificata se la pressione di equilibrio è inferiore alla resistenza massima propria del rivestimento.

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. Non essendo realmente praticabile l'ipotesi di una perfetta conoscenza delle condizioni del terreno ad ogni avanzamento sarà necessario individuare, anche facendo ipotesi di lavoro sulla base di esperienze maturate in casi analoghi, condizioni geotecniche standard in base alle 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.

La formulazione delle curve caratteristiche è stata desunta dall'articolo di G. Lombardi e A. Amberg: *"Une méthode de calcul élasto-plastique de l'état de tension et de déformation autour d'une cavité souterraine"*, mentre per il calcolo della convergenza a distanza x dal fronte $C(x)$, si è fatto riferimento a quanto descritto dall'articolo: Panet M., Guenot A.: *"Analysis of convergence behind the face of a tunnel"*.

11.2 Consolidamento del fronte di scavo

Nel caso di presenza di trattamenti di rinforzo del fronte (VTR, Jet-grouting ecc.) posti in opera in avanzamento, il loro effetto stabilizzante può utilmente essere tenuto in conto incrementando la resistenza coesiva dell'ammasso.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

Infatti la chiodatura esercita un'azione di contenimento passivo del fronte, rappresentabile, nel caso di impiego di elementi strutturali in VTR, da una tensione di confinamento σ_3^{VTR} fittizia, funzione dei parametri tecnici del trattamento secondo le equazioni:

$$\sigma_3^{VTR_A} = \frac{\tau_a \cdot L_A \cdot 2p_A}{A_i}$$

$$\sigma_3^{VTR_B} = \frac{\sigma_t \cdot A_t}{A_i}$$

$$\sigma_3^{VTR} = \text{minimo} (\sigma_3^{VTR_A}, \sigma_3^{VTR_B})$$

dove:

- τ_a = tensione di aderenza ammasso-fondazione
- L_A = semi-lunghezza dell'elemento di rinforzo (si assume che mezzo elemento costituisca la fondazione)
- $2p_A$ = perimetro della sezione reagente a sfilamento

σ_t = resistenza a trazione dell'elemento di rinforzo

A_i = area di influenza di un elemento strutturale

A_t = sezione dell'elemento resistente a trazione

L'effetto di σ_3^{VTR} può essere considerato come incremento di coesione dell'ammasso:

$$\Delta\sigma_C^{\text{Fronte}} = \frac{\sigma_3^{VTR}}{2} * \sqrt{K_p}$$

Se il fronte di scavo è rinforzato con trattamenti colonnari in jet-grouting, allora i parametri di coesione sono migliorati specificando un incremento della coesione di picco pari alla differenza tra la coesione dell'ammasso non trattato e quella dell'ammasso trattato; quest'ultima è valutata come media pesata della coesione originaria del terreno e di quella del trattamento:

$$\Delta c = c_{\text{ammasso trattato}} - c_{\text{ammasso}} = \frac{c_{\text{jet}} \cdot A_{\text{jet}} + c_{\text{ammasso}} \cdot A_{\text{ammasso}}}{A_{\text{tot}}} - c_{\text{ammasso}}$$

dove:

- c_{jet} = coesione dei trattamenti colonnari in jet grouting
- c_{ammasso} = coesione dell'ammasso senza trattamenti
- $A_{\text{jet}}, A_{\text{ammasso}}, A_{\text{tot}}$ = sono le aree, rispettivamente, dei trattamenti colonnari, della sezione di scavo al netto dei trattamenti e della sezione di scavo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	

12 **Analisi di stabilità del fronte**

A partire dai parametri geotecnici e geomeccanici di caratterizzazione dei materiali interessati dallo scavo delle gallerie è doveroso effettuare analisi della risposta dell'ammasso roccioso allo scavo. Tali analisi di stabilità del fronte di scavo sono eseguibili mediante l'applicazione di criteri semiempirici e delle linee caratteristiche.

Si intende per instabilità del fronte la possibilità di collasso del nucleo. Lo scavo di una galleria comporta la modifica dello stato tensionale naturale. Al fronte l'ammasso subisce una forte decompressione verso la galleria con conseguente estrusione del materiale che costituisce il nucleo. Fintanto che si ammetta la presenza di un sufficiente sostegno radiale immediatamente a tergo del fronte, l'estrusione del nucleo costituisce l'unico elemento critico nel sistema. La deviazione verso l'esterno delle tensioni longitudinali lungo l'asse della galleria, dalla situazione naturale (non scavata) alla situazione equilibrata dello scavo sostenuto, provoca un particolare stato tensionale del nucleo. Esso subisce, infatti, una compressione radiale che, sommandosi all'assenza di un sufficiente contenimento verso lo scavo, ne può provocare il collasso similmente alla rottura di tipo passivo che si verifica in una cella triassiale con la diminuzione della tensione assiale lasciando invariata la compressione radiale.

La valutazione della stabilità del fronte di scavo può essere condotta mediante l'impiego di metodi analitici semplificati all'equilibrio limite.

Per casi di basse coperture (inferiori ai 3ϕ) si fa riferimento alle teorie di Tamez e Cornejo che ipotizzano che esistano dei prismi di terreno in distacco secondo sezioni longitudinali, giungendo a definire un coefficiente di sicurezza FSF nei confronti della stabilità del fronte di scavo. Tali metodi consentono inoltre di tenere in conto degli interventi di preconsolidamento assumendo per il terreno trattato caratteristiche meccaniche incrementate rispetto a quelle del terreno naturale.

Si riporta nel seguito una breve sintesi di riepilogo del metodo adottato.

Il metodo dell'equilibrio limite proposto da Tamez tiene conto della riduzione dello stato di confinamento triassiale del nucleo di terreno oltre il fronte per mezzo di un meccanismo di rottura del tipo effetto volta, con il quale il volume di terreno gravante sulla corona della galleria è definito da un paraboloide, approssimato mediante tre solidi prismatici, come illustrato nelle figure seguenti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

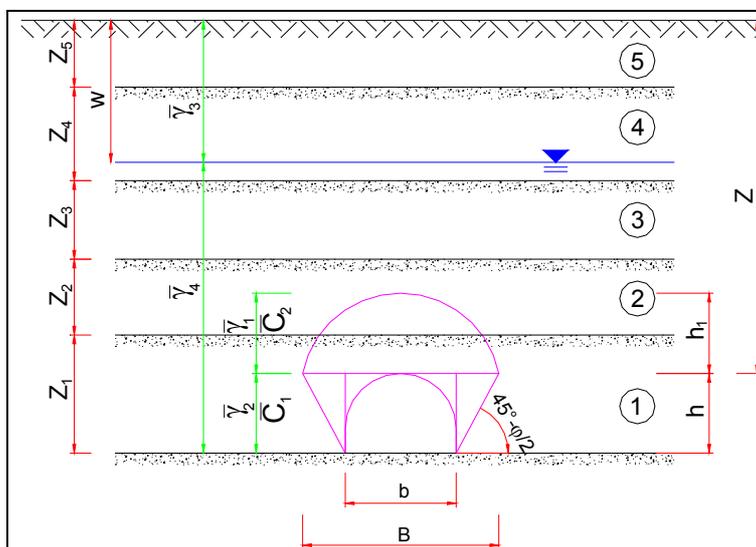


Figura 28 – Schema proposto da Tamez.

In questo modo si determinano le massime tensioni tangenziali che si possono sviluppare sulle facce di ogni prisma senza che avvengano scorrimenti (forze resistenti) e le forze di massa di ogni prisma (forze agenti). Il rapporto tra i momenti delle forze resistenti e delle forze agenti fornisce un coefficiente di sicurezza, denominato FSF (face security factor).

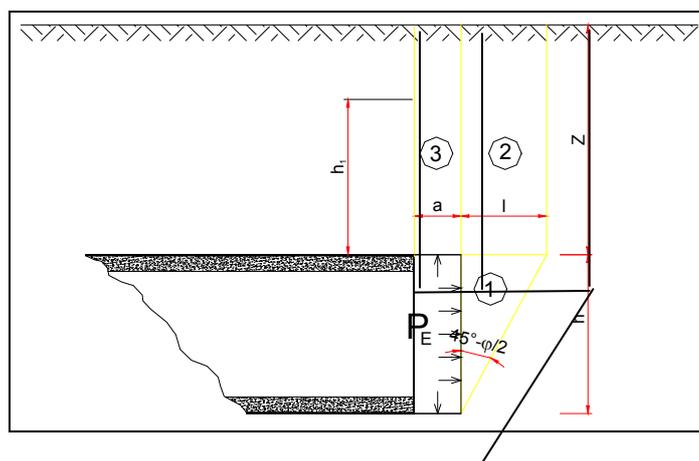


Figura 29 – Schema proposto da Tamez.

Anche per le analisi con il metodo dell'equilibrio limite è possibile tener conto di eventuali interventi di preconsolidamento del fronte mediante un approccio del tutto analogo a quanto illustrato per le linee caratteristiche.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011

13 Software di calcolo

13.1 PLAXIS

Le analisi tensio-deformative riportate di seguito sono state condotte per mezzo del codice di calcolo *PLAXIS2D* versione 9, sviluppato dalla *Delft University of Technology & Plaxis bv*, Olanda, il quale consente di eseguire analisi di stabilità e di deformazione per applicazioni geotecniche in condizioni di deformazioni piane e condizioni assialsimmetriche.

Il problema in stato di deformazione piana viene studiato costruendo un modello agli elementi finiti, specificando le proprietà dei materiali e le condizioni al contorno.

Il modello in stato piano può essere adoperato nel caso in cui la geometria sia riconducibile ad una sezione trasversale (nel piano x,y) che si ripete in modo più o meno uniforme nella direzione ad essa normale. (direzione z) per una lunghezza significativa. In tal senso lo scavo della galleria viene simulato la definizione di una legge di rilassamento del nucleo in grado di simulare il progressivo incremento della deformazione della cavità, con conseguente diminuzione della pressione esercitata sui rivestimenti, attraverso un coefficiente $\Sigma Mstage$ che viene progressivamente incrementato da 0 ad 1.

Il rivestimento di prima fase è stato schematizzato con elementi BEAM, mentre il rivestimento definitivo è simulato con elementi di mesh a cui vengono attribuite le proprietà del calcestruzzo. Per entrambi i rivestimenti si è adottato un modello costitutivo elastico-lineare ed isotropo.

L'interazione tra terreno e struttura può essere simulata per mezzo di elementi interfaccia che consentono di modellare un comportamento intermedio tra un contatto perfettamente liscio ed un contatto perfettamente scabro. La scabrezza dell'interazione è modellata mediante un opportuno valore del fattore di riduzione della resistenza all'interfaccia (R_{inter}). Questo fattore mette in relazione la resistenza all'interfaccia (attrito ed adesione con il muro) con quella del terreno (angolo di resistenza a taglio e coesione).

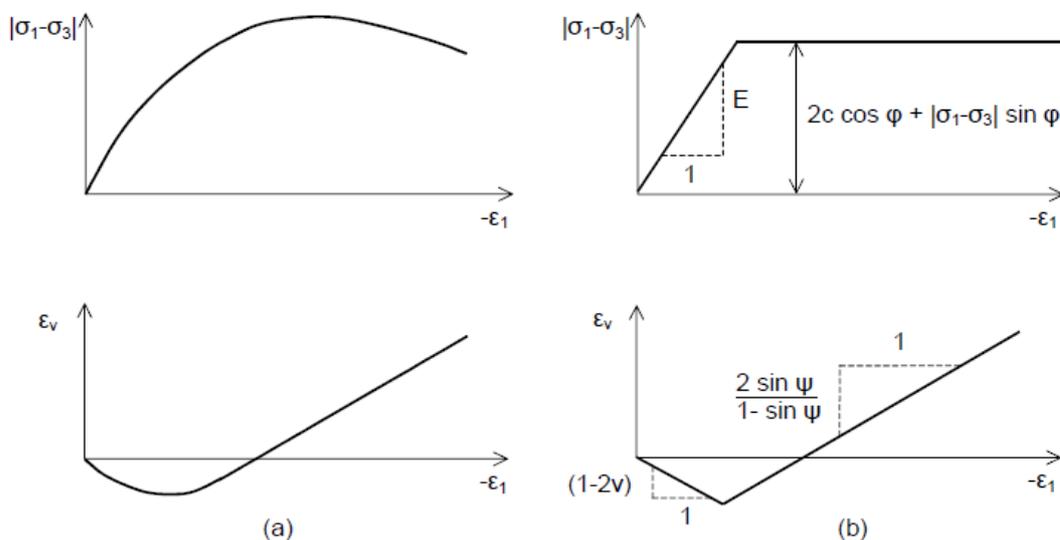
Il comportamento tensio-deformativo dei terreni può essere modellato per mezzo di vari legami costitutivi:

Modello Linear elastic (Elastico lineare): Questo modello rappresenta la legge di Hooke dell'elasticità isotropa lineare. Il modello richiede due parametri di rigidità elastici, che sono il modulo di Young E , ed il coefficiente di Poisson ν . Il modello elastico lineare è molto limitato nei riguardi della simulazione del comportamento del terreno; è utilizzato principalmente per simulare strutture rigide nel terreno.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

Modello Mohr-Coulomb: Questo modello viene utilizzato come una prima approssimazione del comportamento del terreno in generale. Il modello richiede cinque parametri, che sono il modulo di Young E , il coefficiente di Poisson ν , la coesione c , l'angolo di attrito φ , e l'angolo di dilatanza ψ .

Modello Jointed Rock model (Roccia fratturata): E' un modello elasto-plastico anisotropo in cui può manifestarsi soltanto plasticizzazione per taglio lungo un limitato numero di direzioni (piani). Questo modello può essere adottato per simulare il comportamento di rocce stratificate o fratturate.



Modello Hardening Soil (Terreno incrudente): E' un modello elastoplastico incrudente che riproduce in condizioni di primo carico triassiale un legame tensioni deformazioni di tipo iperbolico. L'incrudimento è funzione sia delle deformazioni distorsionali plastiche sia delle deformazioni volumetriche plastiche. Il modello è quindi in grado di simulare, tra l'altro, la riduzione irreversibile di volume di un terreno sottoposto a compressione lungo percorsi di carico proporzionali (e.g. carico isotropo, edometrico) a partire da una condizione di normal-consolidazione. Questo modello di 'secondo livello' può essere utilizzato per simulare il comportamento sia di sabbie e di ghiaie sia di terreni più compressibili come argille e limi.

Modello Soft Soil (Terreno compressibile): E' un modello tipo Cam-clay che può essere utilizzato per simulare il comportamento di terreni compressibili quali argille normalmente consolidate e torba. Il modello è particolarmente adatto ad analizzare situazioni nelle quali il terreno è sollecitato lungo percorsi tensionali che lo mantengono in condizioni di normal-consolidazione.

Modello Soft Soil Creep (Creep per terreno compressibile): E' un modello di 'secondo livello'

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	

formulato nell'ambito della viscoplasticità. Il modello può essere utilizzato per simulare il comportamento nel tempo di terreni molto compressibili come argille normalconsolidate e torba. Il modello riproduce in condizioni di primo carico edometrico il legame lineare tra deformazioni volumetriche e logaritmo della tensione principale massima.

I parametri del modello in PLAXIS sono intesi a rappresentare la risposta del terreno in termini di tensioni efficaci, e cioè la relazione tra le tensioni e le deformazioni associate allo scheletro solido del terreno. Per consentire di tenere conto, nella risposta del terreno, dell'interazione acqua-scheletro solido, è possibile scegliere tra tre tipi di comportamento:

- **Drained behaviour (Comportamento drenato):** non vengono generate sovrappressioni neutre. Questo è il caso di terreni asciutti ed anche il caso in cui sia possibile un rapido drenaggio per l'elevata permeabilità dei terreni (sabbie) e/o per la bassa velocità di applicazione dei carichi. Questa scelta può anche essere utilizzata per simulare il comportamento del terreno a lungo termine senza la necessità di modellare l'esatta storia delle sollecitazioni in condizioni non drenate e della consolidazione.

- **Undrained behaviour (Comportamento non drenato):** viene utilizzato per simulare la generazione di sovrappressioni neutre in condizioni di flusso idraulico impedito. Tali condizioni possono verificarsi per la bassa permeabilità dei terreni (argille) e/o per l'elevata velocità di applicazione dei carichi. Oltre alla rigidità ed alla resistenza dello scheletro solido del terreno, PLAXIS aggiunge un modulo di compressibilità volumetrica per l'acqua e distingue tra tensioni totali, tensioni efficaci e sovrappressioni neutre:

$$\text{Tensioni totali: } \Delta p = K_u \Delta \varepsilon_v$$

$$\text{Tensioni efficaci: } \Delta p' = (1 - B) \Delta p = K' \Delta \varepsilon_v$$

$$\text{Sovrappressioni neutre: } \Delta p_w = B \Delta p = K_w / n \Delta \varepsilon_v$$

dove Δp è un incremento della tensione totale media, $\Delta p'$ è un incremento della tensione efficace media e Δp_w è un incremento della sovrappressione neutra. B è il parametro di Skempton, che mette in relazione l'incremento della tensione totale media con l'incremento delle sovrappressioni neutre. K_u è il modulo di rigidità volumetrica non drenato, K' è il modulo di rigidità volumetrica dello scheletro solido del terreno, K_w è il modulo di rigidità volumetrica del fluido interstiziale, n è la porosità del terreno e $\Delta \varepsilon_v$ è l'incremento della deformazione volumetrica.

Per simulare il comportamento non drenato PLAXIS non usa un valore realistico per il modulo di rigidità volumetrica dell'acqua, in quanto questo potrebbe condurre al cattivo condizionamento della matrice delle rigidità ed a problemi numerici. Infatti, in caso di compressione isotropa, la

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/04/2011

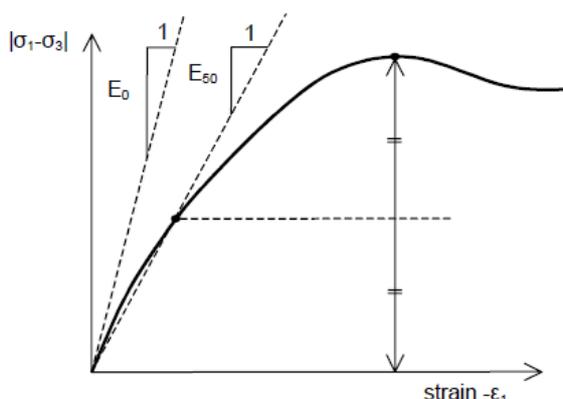
rigidezza del mezzo monofase equivalente è, per default, assunta pari ad un modulo di rigidezza volumetrica non drenato:

$$K_u = \frac{2G(1+\nu_u)}{3(1-2\nu_u)} \quad \text{dove} \quad G = \frac{E'}{2(1+\nu')} \quad \text{e} \quad \nu_u = 0.495$$

L'acqua interstiziale è quindi considerata leggermente compressibile ed il coefficiente B appena inferiore a 1,0. Quindi, in condizioni di carico isotrope, una piccola percentuale del carico sarà trasferito alle tensioni efficaci, almeno nel caso di piccoli valori del coefficiente di Poisson efficace.

- **Non-porous behaviour (Comportamento non poroso):** non sono considerate né pressioni neutre iniziali né sovrappressioni neutre. Applicazioni possibili di questo caso sono la modellazione del comportamento del calcestruzzo o di elementi strutturali in genere. Il comportamento non poroso viene spesso utilizzato in combinazione con il modello Linear elastic (Elastico-lineare). L'introduzione di un peso dell'unità di volume saturo e della permeabilità non è rilevante per materiali non porosi. Il tipo di materiale non poroso può essere applicato anche alle interfacce.

Il modulo di Young è utilizzato come modulo di rigidezza fondamentale dei modelli Elastic e Mohr-Coulomb, ma è possibile anche adottare alcuni moduli di rigidezza alternativi. Nella meccanica dei terreni, la pendenza iniziale della curva tensione-deformazione è indicata con E_0 (modulo tangente iniziale) ed il modulo secante al 50% della resistenza è denotato con E_{50} . Per argille fortemente sovraconsolidate e per alcune rocce con un ampio intervallo di carico elastico-lineare, è realistico utilizzare E_0 , invece per sabbie ed argille pressoché normalconsolidate, soggette a carico, è più appropriato utilizzare E_{50} .



Per i terreni, sia il modulo tangente iniziale che il modulo secante tendono ad aumentare con la tensione media efficace. Quindi, gli strati profondi di terreno tendono ad avere una rigidezza maggiore degli strati superficiali. Inoltre, la rigidezza osservata dipende dal percorso di sollecitazione seguito. La rigidezza è molto più alta per la fase di scarico e di ricarico piuttosto che

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc	<i>Rev</i> 1	<i>Data</i> 08/04/2011	

per la fase di primo carico. Inoltre la rigidità del terreno osservata in termini di modulo di Young è generalmente più bassa per compressione in condizioni drenate piuttosto che per taglio. Quindi, se si utilizza un modulo di rigidità costante per rappresentare il comportamento del terreno sarebbe opportuno scegliere un valore che sia coerente con il livello tensionale e con il percorso di sollecitazione atteso. La dipendenza del comportamento dei terreni dal livello tensionale è portata in conto dal software. Per il modello Mohr-Coulomb, è possibile prevedere una rigidità che aumenta con la profondità.

Le tensioni iniziali in un ammasso di terreno sono determinate dal peso del materiale e dalla storia della sua formazione. Questo stato tensionale è di solito caratterizzato da una tensione verticale efficace iniziale $\sigma'_{v,0}$. La tensione efficace orizzontale iniziale $\sigma'_{h,0}$ è legata alla tensione efficace verticale iniziale attraverso il coefficiente di spinta a riposo, K_0 ($\sigma'_{h,0} = K_0 \sigma'_{v,0}$). In PLAXIS le tensioni iniziali possono essere generate specificando K_0 oppure utilizzando la procedura Gravity loading (Generazione delle tensioni iniziali per incremento della gravità).

Per il tipo di calcolo da adottare in una fase viene fatta una distinzione fra tre tipi fondamentali:

- **Plastic calculation (Calcolo plastico):** utilizzato per eseguire un'analisi di deformazione elasto-plastica in cui non sia necessario prendere in considerazione la dissipazione delle sovrappressioni neutre nel tempo. La matrice di rigidità in un calcolo plastico normale è riferita alla geometria indeformata originaria. Questo tipo di calcolo è appropriato nella maggior parte delle applicazioni pratiche di tipo geotecnico.
- **Consolidation analysis (Analisi di consolidazione):** Quando è necessario analizzare l'evoluzione o la dissipazione delle sovrappressioni neutre nel tempo in terreni saturi di tipo argilloso, si deve effettuare un'analisi di consolidazione. PLAXIS consente di effettuare analisi di consolidazione elasto-plastiche. In generale, un'analisi di consolidazione senza ulteriori sollecitazioni viene eseguita dopo un calcolo plastico non drenato.
- **Phi-c reduction (Analisi di stabilità per riduzione dei parametri di resistenza):** Un'analisi di stabilità in PLAXIS può essere eseguita riducendo i parametri di resistenza del terreno; tale processo è denominato Phi-c reduction.

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p>COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p><i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 08/04/2011</p>	

ALLEGATO – LINEE CARATTERISTICHE

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p>COLLEGAMENTI SICILIA - GALLERIE "S.AGATA" E "S.CECILIA" - RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p><i>Codice documento</i> SF0119_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> 1</p>	<p><i>Data</i> 08/04/2011</p>	

ALLEGATO – ANALISI NUMERICHE