



PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO PRELIMINARE

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

<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 VERSANTE CALABRIA</p> <p>AREA DIREZIONALE FASE B</p> <p>OPERE CIVILI EDILI</p> <p>GENERALE</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">AD0002_F0</div>
---	---	--

CODICE	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td>C</td><td>G</td><td>0</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>P</td><td>R</td><td>B</td><td>P</td><td>C</td><td>C</td><td>D</td><td>1</td><td>C</td><td>G</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>F0</td> </tr> </table>	C	G	0	8	0	0	P	R	B	P	C	C	D	1	C	G	0	0	0	0	0	0	0	1	F0
C	G	0	8	0	0	P	R	B	P	C	C	D	1	C	G	0	0	0	0	0	0	0	1	F0		

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	L. BELLARO	F. PENNINO	G. CASSANI

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0		<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

INDICE

INDICE.....	3
1 PREMESSA.....	5
1.1 Normativa nazionale di riferimento	7
2 Inquadramento geologico – strutturale regionale	9
3 Successione stratigrafica	15
3.1 Substrato cristallino-metamorfico	16
3.2 Conglomerato di Pezzo	19
3.3 Trubi	25
3.4 Formazione di Le Masse	30
3.5 Calcareniti di San Corrado	32
3.6 Sabbie e ghiaie di Messina.....	36
3.7 Depositi marini terrazzati	40
3.8 Depositi alluvionali	42
3.9 Eluvio-colluvio.....	43
3.10 Depositi di piana costiera recenti ed attuali	44
3.11 Depositi di versante	47
4 Assetto geologico - strutturale di dettaglio	49
5 Caratteristiche generali dell'ambiente.....	57
5.1 Morfologia.....	57
5.2 Climatologia.....	58
5.3 Idrografia	59
6 Idrogeologia	61
6.1 Permeabilità relativa delle unità litostratigrafiche	61
6.2 Complessi idrogeologici.....	61
6.3 Idrostrutture principali	62
6.4 Censimento dei punti d'acqua	71
6.5 Acquiferi e relative caratteristiche.....	71
6.5.1 Acquifero delle metamorfiti.....	72
6.5.2 Acquifero conglomeratici – sabbioso miocenico	72
6.5.3 Acquifero calcarenitico – sabbioso pleistocenico	73
6.5.4 Acquifero ghiaioso – sabbioso pleistocenico.....	73

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6.5.5	Acquiferi alluvionali.....	74
6.6	Parametri idrogeologici.....	74
6.7	Condizioni idrodinamiche	76
6.8	Caratteristiche chimico – fisiche delle acque sotterranee	77
6.9	Prelievi ed utilizzazioni	80
6.10	Monitoraggio piezometrico	80
6.11	Modello concettuale degli Acquiferi	92
6.12	Vulnerabilità degli acquiferi.....	93
6.12.1	Cenni sulla metodologia	93
6.12.2	Valutazione della vulnerabilità.....	94
7	Bibliografia	97

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0		<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1 **PREMESSA**

Il presente documento costituisce la relazione geologica ed idrogeologica del Progetto Preliminare del Ponte sullo Stretto di Messina, relativamente al Centro Direzionale ubicato sul versante Calabria.

L'area di pertinenza del Centro Direzionale si trova a ridosso delle Rampe stradali di collegamento al Ponte ed alla zona di imbocco della Linea Ferroviaria AV. Pertanto, in questa relazione si riprendono i risultati delle indagini geologiche condotte dal Dipartimento di Scienze della Terra della Sapienza Università di Roma a supporto della progettazione definitiva delle opere infrastrutturali di collegamento al Ponte sullo Stretto di Messina, lato Calabria.

Dal punto di vista idrogeologico ci si riferisce allo studio eseguito dell'estremità nord-occidentale della Calabria per la redazione del Progetto Definitivo dei collegamenti stradali e ferroviari al Ponte sullo Stretto di Messina. A tale scopo sono stati eseguiti rilievi e indagini allo scopo di definire le condizioni di esistenza e circolazione delle acque sotterranee nei vari termini delle relative successioni stratigrafiche, utilizzando dati di superficie e di sottosuolo derivanti da rilievi geologici e da sondaggi geognostici effettuati in precedenza e durante l'esecuzione del presente studio. I dati acquisiti sono stati opportunamente elaborati per ottenere un quadro idrogeologico sufficientemente dettagliato delle caratteristiche degli acquiferi, delle condizioni idrodinamiche e di alimentazione, del chimismo delle acque sotterranee e del loro sfruttamento, come riportato nei paragrafi 5 e 6.

Il settore di indagine è circoscritto alla cosiddetta "area di intervento" del versante calabrese dell'opera, per una estensione complessiva circa 16 km² (Fig 1.1)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

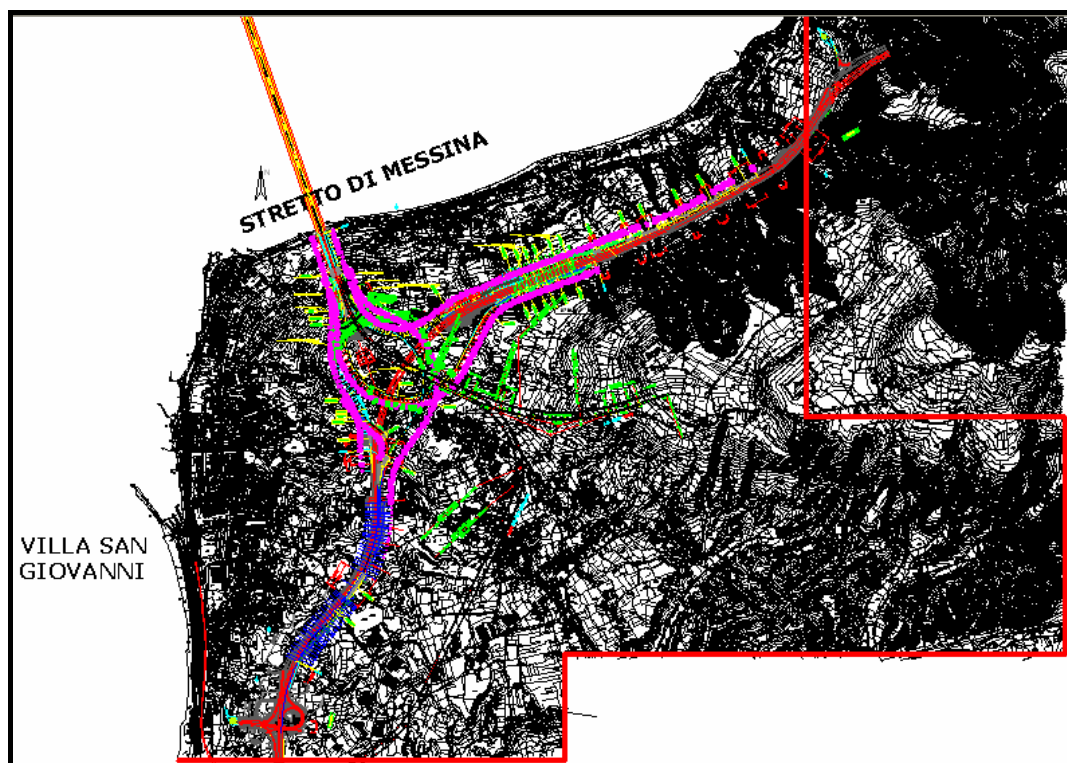


Fig 1.1: Area di indagine (perimetro in rosso)

Le indagini condotte nell'ambito di questo incarico hanno previsto le seguenti attività:

- analisi della documentazione geologica allegata al progetto preliminare dell'opera;
- esame della bibliografia specialistica aggiornata sull'area di indagine;
- interpretazione aereofotogeologica preliminare di immagini stereoscopiche dell'area utile per identificare i siti di affioramento;
- esame di dettaglio delle stratigrafie di sondaggio relative sia alle campagne geognostiche del 1984, 1987, 1988-1989, 1992, 2003 condotte nell'ambito delle precedenti fasi progettuali per la realizzazione del Ponte dello Stretto di Messina sia alle campagne geognostiche condotte per l'ammodernamento del tratto autostradale SA-RC nel tratto di interesse per un totale di 135 stratigrafie di sondaggio;
- esecuzione di rilievi geologici di sito;
- collaborazione alla progettazione della campagna geognostica per la progettazione definitiva delle opere di collegamento al Ponte condotta a partire dal mese di aprile 2010;
- assistenza continua alla realizzazione dei sondaggi geognostici a partire da aprile 2010 e fino all'inizio di settembre 2010;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- esecuzione di rilievi geomeccanici su fronti naturali;
- datazioni micropaleontologiche su campioni prelevati in foro di sondaggio (n. 5 campioni) e da affioramento (16 campioni);
- datazioni assolute su campioni prelevati in foro di sondaggio.

L'interpretazione complessiva dei dati acquisiti nell'ambito dello svolgimento di queste attività ha condotto, attraverso successivi passaggi, alla ricostruzione di dettaglio dell'assetto geologico – strutturale dell'area in esame discusso in questa relazione e rappresentato nelle cartografie geologiche prodotte in scala 1:5,000 ed 1:2,000 e nelle sezioni geologiche in scala 1:2,000 lungo i tracciati stradali delle rampe da A B C D F G M U V, Aacc Cdec Ddec , di quelli ferroviari Rami 1 2 3 4 e, in scala 1:200, in corrispondenza della torri dell'opera di fondazione (5 sezioni) e degli ancoraggi (2 sezioni), elaborati contenuti nella documentazione "Studi di Base" lato Calabria.

A tali prodotti cartografici si fa riferimento in questa relazione.

Dalle ricostruzioni geologiche condotte emerge un quadro geologico dell'area di intervento fortemente condizionato dalla presenza di numerose faglie che hanno dislocato, con entità di rigetto in alcuni casi anche molto consistenti, le unità geologiche ivi presenti (cfr. par 4). Il fitto reticolo di faglie riportato nei prodotti cartografici contribuisce a risolvere alla scala di progetto i complessi rapporti geometrici tra le unità geologiche così come dedotti dai rilievi geologici e dalle stratigrafie di sondaggio.

L'interpretazione delle foto aeree è stata eseguita nelle fasi precedenti ai rilievi di campagna, come base di partenza per l'interpretazione preliminare, verificata successivamente con il rilievo di campagna.

La presente Relazione geologica comprende elementi di sismotettonica di ampio spettro con riferimenti bibliografici, per una argomentazione più dettagliata si rimanda alla Relazione sismotettonica, elaborato CG4500PRGDPSB00G00000001 ("Studi di base").

1.1 Normativa nazionale di riferimento

Per gli studi geologici occorre fare riferimento alla normativa nazionale, "Norme tecniche per le costruzioni" DM 14/01/2008, paragrafo 6.2.1.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE	
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2 Inquadramento geologico – strutturale regionale

In questo paragrafo è sinteticamente esposto il quadro geologico e strutturale d'insieme entro cui si inserisce l'area in esame. Tale quadro d'insieme è delineato con riferimento alla vasta bibliografia, anche molto recente, esistente sull'assetto geologico-strutturale, sull'evoluzione geodinamica di questa parte della penisola Italiana, nonché sul quadro sismotettonico dell'area dello Stretto.

A tale vasta letteratura specialistica, riportata al paragrafo 8.2, si rimanda per approfondimenti che esulano dagli specifici obiettivi di questa relazione.

L'area in esame è collocata sulla terminazione meridionale dell'arco calabro – peloritano, segmento della catena appenninico – maghrebide originatasi attraverso il succedersi di fasi tettoniche deformative a partire dall'Oligocene superiore e fino all'attuale. Essa ricade nella porzione denominata catena Kabilo – Calabride, costituita da unità cristalline, strutturalmente delimitata a nord dalla linea di Sangineto (Calabria settentrionale) e sud, in Sicilia, dalla linea di Taormina. La catena Kabilo – Calabride è stata interpretata nel complesso come un frammento di unità alpine costituito da rocce di età da pre-mesozoica fino a cretacico-paleogenica, sovrascorso sulla catena appenninico – maghrebide (Fig 2.1).

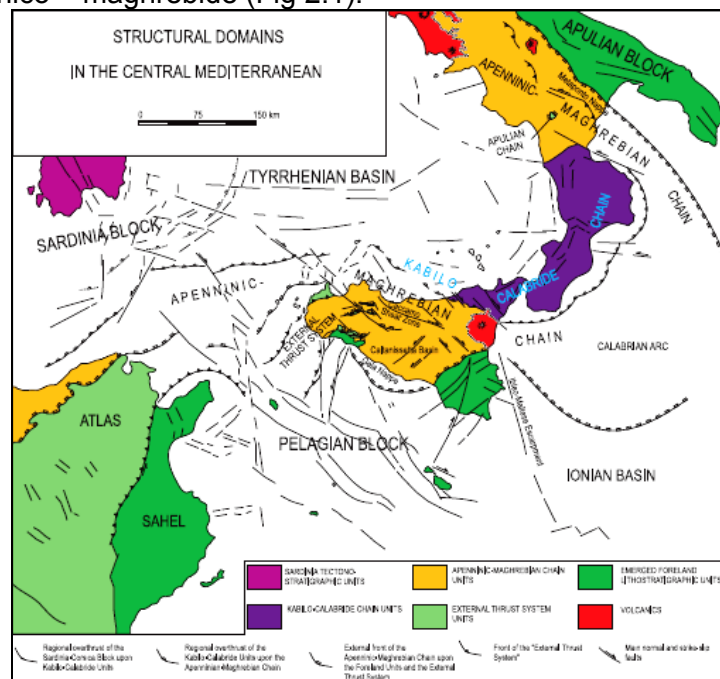


Fig. 2.1: Domini strutturali principali del Mediterraneo centrale (da Guarnieri et alii, 2004)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L'evoluzione pliocenica e quaternaria dell'area è da ricollegarsi a quella estensionale del margine meridionale del bacino tirrenico, a sua volta connessa all'arretramento verso SW del fronte di subduzione ionico e alla conseguente formazione di bacini di retroarco nell'area tirrenica. In questo quadro, sia il bacino del Mèsima sia quello di Reggio Calabria, di più stretta pertinenza per l'area in esame, rappresentano depressioni strutturali allungate all'incirca in direzione NE-SW caratterizzate da successioni deposizionali marine di età dal Miocene superiore fino al Pleistocene (Guarnieri, 2006) (Fig 2.2). La sedimentazione al loro interno appare controllata da una notevole mobilità verticale e lo sviluppo dei bacini è da relazionare all'attività di importanti sistemi di faglie normali. Le due fosse risultano separate da una zona di alto strutturale relativo, con affioramento di basamento cristallino, che si estende da Bagnara Calabria, a nord, fino all'altezza di Santa Trada (Ghisetti, 1979) a costituire la parte sud-occidentale dell'Aspromonte.

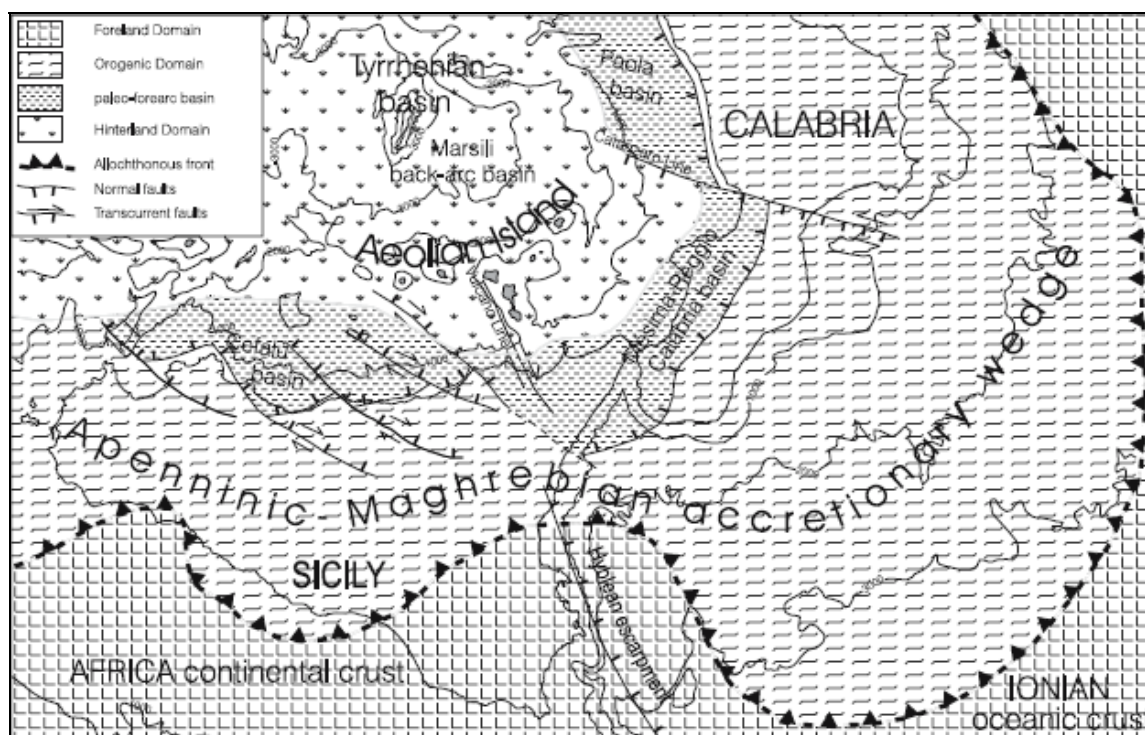


Fig 2.2: Schema geodinamico dell'Arco Calabro e della Sicilia (da Guarnieri, 2006).

Sulla porzione più occidentale del bacino di Reggio Calabria si sovrappone, alla fine del Pliocene, la fossa dello Stretto di Messina; tale fossa risulta troncata a nord in corrispondenza esattamente dell'area di interesse da sistemi di faglie a direzione circa E-W e si apre a ventaglio verso sud, divaricata verso lo Ionio (Ghisetti, 1981a). Essa rappresenta l'unica fossa trasversale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE	
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

alla catena dell'arco calabro tutt'oggi subsidente, assimilata ad un graben, delimitato, sul versante calabrese, da sistemi di faglie da NW-SE a NE-SW. Al suo interno ha avuto luogo la deposizione pleistocenica delle Sabbie Ghiaie di Messina, depositi clastici di delta sottomarini alimentati sia dal rilievo dei M. Peloritani sia da quello dell'Aspromonte (Fig 2.3).

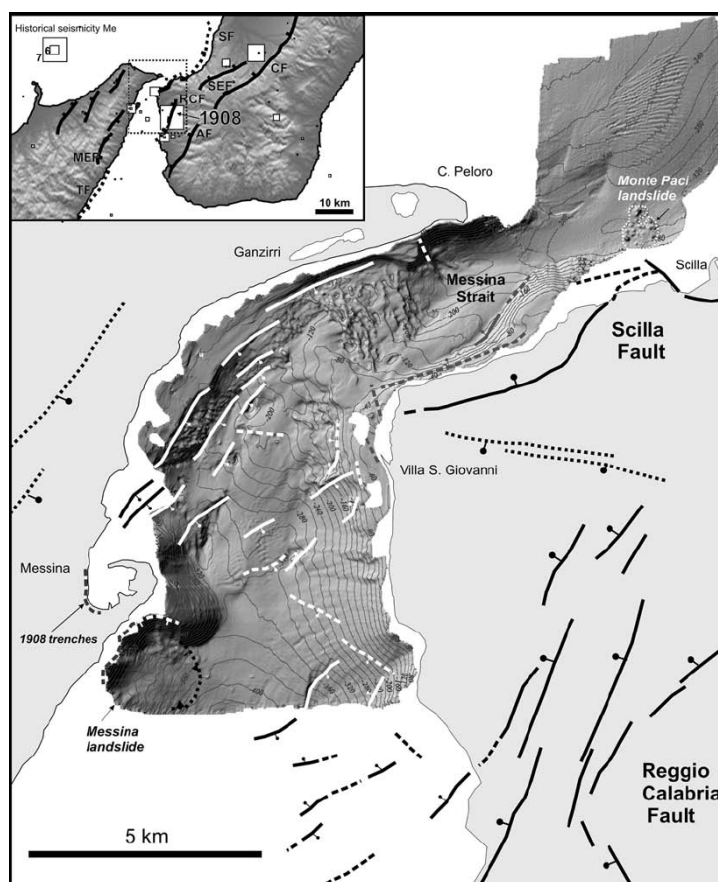


Fig 2.3: Assetto morfostrutturale dello Stretto di Messina (da Ferranti *et alii*, 2008)

L'evoluzione quaternaria dell'area è caratterizzata, a scala regionale, dagli ingenti sollevamenti verticali i cui tassi sono stati stimati tra 0.5 e 1.2 mm/anno nell'intervallo 1-0.7 Ma. Il ventaglio di terrazzi marini del versante dell'Aspromonte che degrada nell'area di interesse (Miyiauchi, 1996; Dumas, 2005) (Fig 2.4), rappresenta una diretta testimonianza della continuità del sollevamento, perlomeno nell'intervallo temporale compreso tra 700,000 anni e l'attuale. All'intervallo temporale 125,000 BP e l' Attuale sono stati localmente attribuiti tassi di sollevamento tra 0.9 e 1.4 mm/a.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE	
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

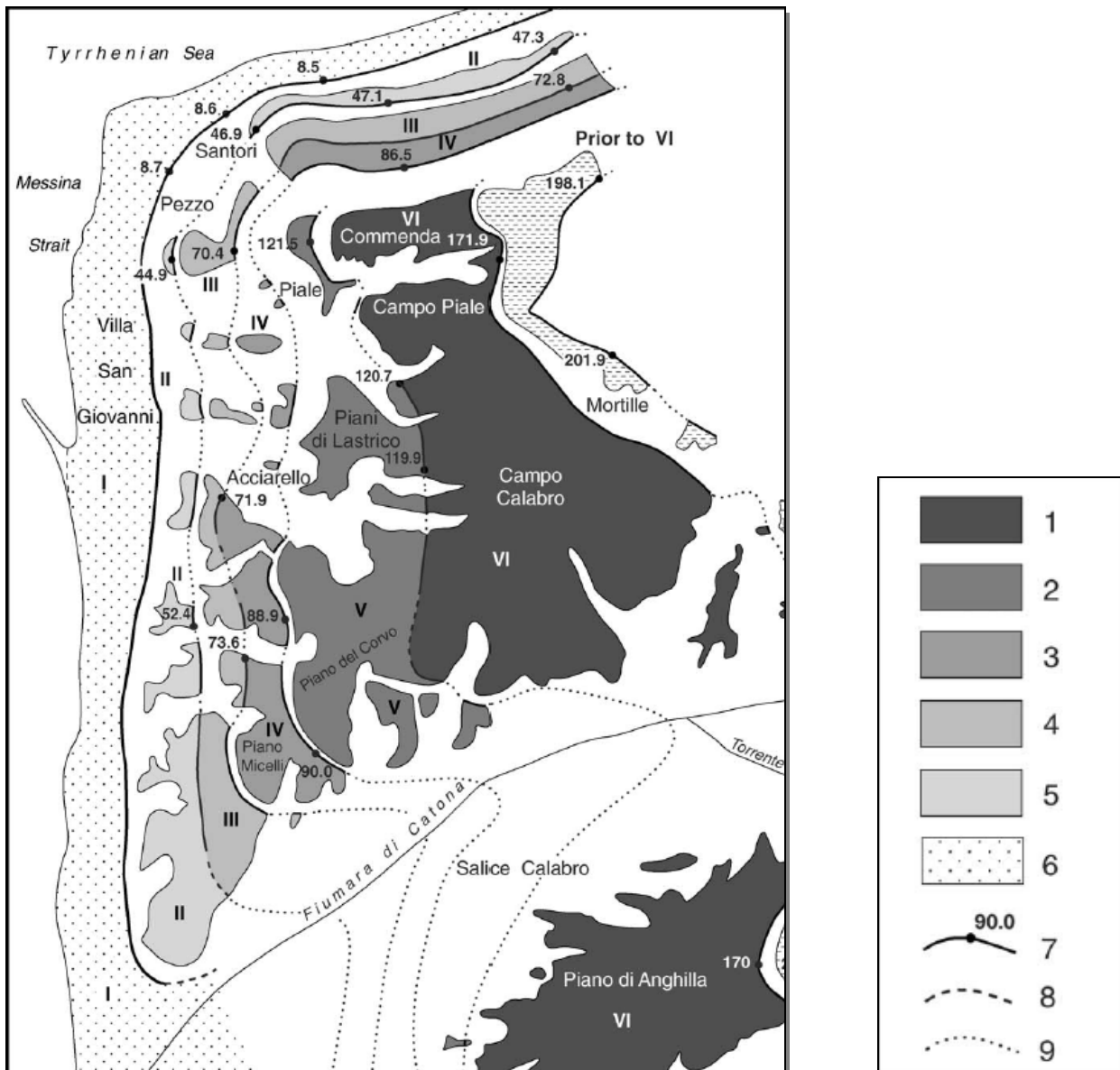


Fig 2.4: L'insieme dei terrazzi principali (in numeri romani), lungo la costa calabrese del Stretto di Messina (da Dumas et alii, 2005)

E' ben noto che attualmente l'area dello Stretto di Messina è in estensione in direzione WNW-ESE con velocità che sono state stimate, attraverso misure geodetiche, in circa 1-2 mm/anno (D'Agostino & Selvaggi, 2004).

Si ritiene che il complesso di deformazioni in atto nell'area sia accomodato da faglie normali che controllano l'evoluzione dei bacini sedimentari ed anche la subsidenza della fossa dello Stretto di Messina.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE	
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

In questo quadro, recenti studi hanno evidenziato l'attività estensionale quaternaria fino ad olocenica di alcuni elementi tettonici riconosciuti nell'area in esame. Tra questi, il più rilevante sembra essere la cosiddetta faglia di Scilla (Ferranti et alii, 2007; 2008) (Fig. 2.5), lunga oltre 30 km ed il cui tratto più occidentale, a direzione localmente ENE-WSW, ricade esattamente nell'area trattata in questa relazione. Tale faglia, in questo settore, è stata collocata in corrispondenza della scarpata che borda internamente l'ampio affioramento di superfici terrazzate marine recenti fino a quella di età tirreniana (circa 125,000 anni BP). Diversamente, la faglia ritenuta responsabile del terremoto di Reggio e Messina del 1908 (cfr. Bertolaso et alii, 2008), posta lungo il ramo circa N-S dello Stretto, non interesserebbe direttamente l'opera, pur trovandosi nella sua propaggine più settentrionale immediatamente ad W di essa.

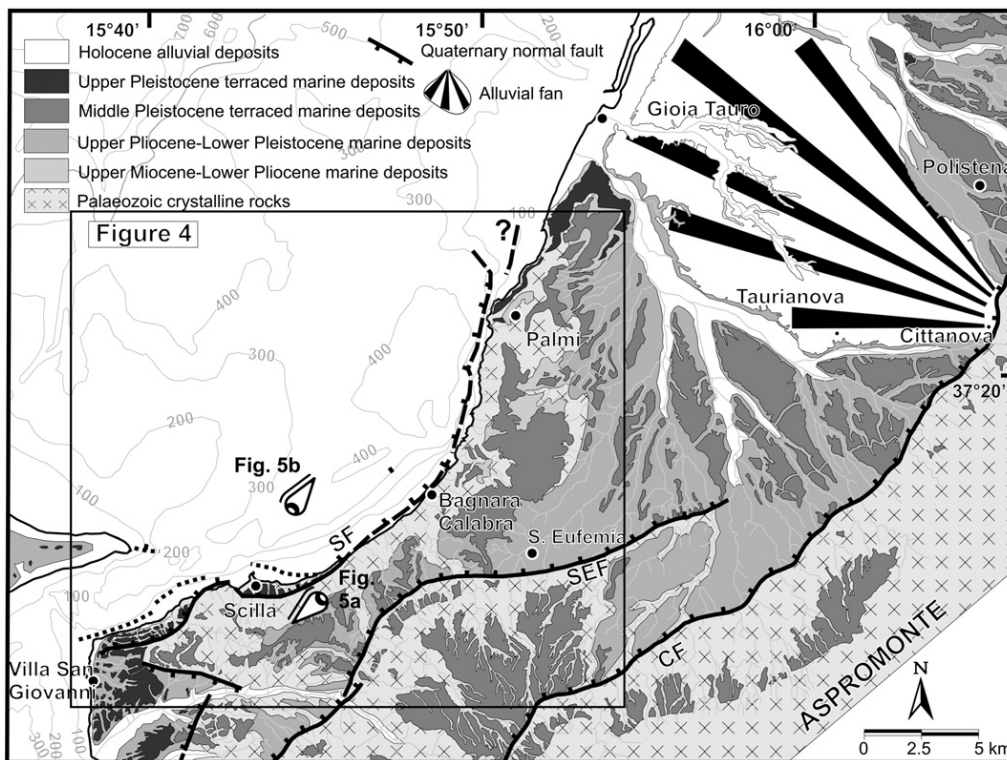


Fig 2.5: Carta geologica schematica della Calabria sud-occidentale (Ferranti *et alii*, 2008)

A questa tipologia di tettonica sono stati ricondotti i principali terremoti che storicamente hanno colpito l'area; è da constatare tuttavia che le soluzioni geometriche proposte per le faglie ritenute responsabili dei recenti e distruttivi terremoti storici (sequenza sismica del 1783; terremoto di Reggio e Messina del 1908 per il quale si rimanda al volume di Bertolaso et alii, 2008) differiscono

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0		<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

tra i diversi Autori che si sono occupati della materia.

Recentemente, è stata evidenziata (Finetti, 2008) l'importanza anche di una componente trascorrente destra nel regime tettonico attuale dell'area dello Stretto di Messina.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

3 Successione stratigrafica

Le indagini geologiche condotte nell'area di intervento hanno consentito la ricostruzione della successione stratigrafica e la caratterizzazione litologica degli orizzonti distinti, attraverso l'osservazione di affioramenti e l'analisi diretta di carote di sondaggio relative alla campagna geognostica annessa al progetto definitivo.

La successione stratigrafica riconosciuta comprende, dal basso verso l'alto, i seguenti termini ai quali, se esistente, è stata attribuita la denominazione formazionale di letteratura: 1) Substrato cristallino, 2) Conglomerato di Pezzo, 3) Trubi, 4) Calcareni di S.Corrado, 5) Formazione di Le Masse, 6) Ghiaie e sabbie di Messina, 7) Terrazzi marini.

In aggiunta, sono stati distinti i seguenti depositi superficiali: 8) Depositi alluvionali, 9) Eluvio-colluvio, 10) Depositi di piana costiera recenti ed attuali, 11) Depositi di versante, 12) Riperti antropici.

L'intervallo temporale coperto dalla successione sedimentaria cenozoico-quadernaria, sovrastante il substrato paleozoico cristallino-metamorfico, è Tortoniano (Miocene sup.) – Olocene.

Lo schema dei rapporti stratigrafici riportato in Fig.3.1 sintetizza le tipologie di contatti geologici laterali e verticali interpretati tra i suddetti termini stratigrafici ed, in particolare, mette in luce il carattere trasgressivo di tutte le sovrapposizioni litologiche riconosciute. Di particolare rilievo è il contatto disconforme tra i termini cristallino-metamorfici paleozoici (substrato cristallino) ed i sovrastanti depositi sedimentari, ascrivibili al Conglomerato di Pezzo, alla Formazione di Le Masse o anche alle Ghiaie e Sabbie di Messina.

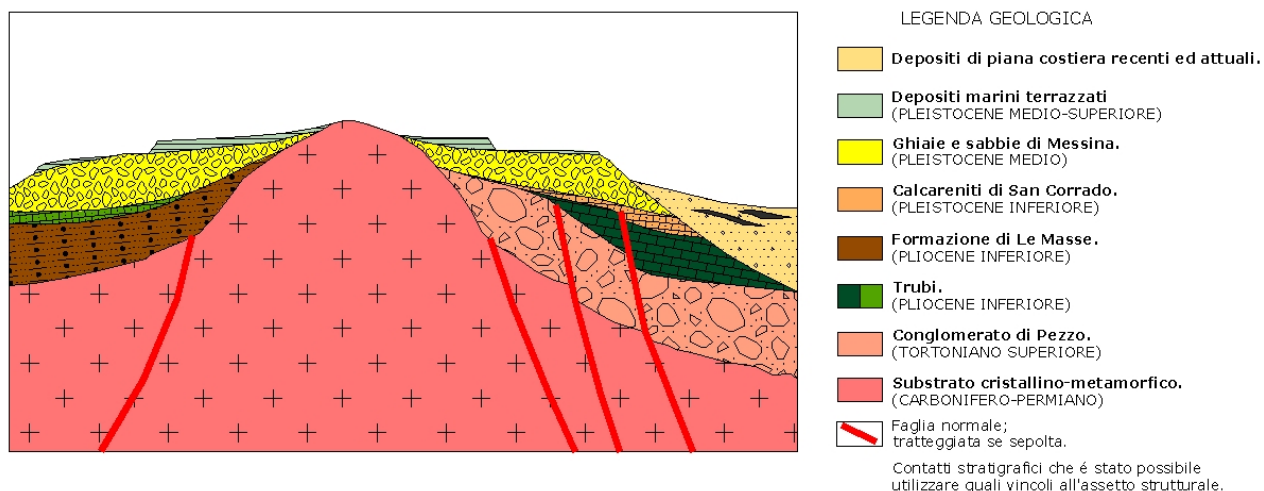


Fig.3.1 - Schema dei rapporti stratigrafici.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

3.1 Substrato cristallino-metamorfico

Sono state distinte in affioramento due litologie ascrivibili al substrato paleozoico (Atzori *et alii*, 1978; Atzori & Vezzani, 1974; Messina *et alii*, 1996; Carbone *et alii*, 2008): metamorfiti di medio-alto grado (Fig.3.2) e rocce cristalline granitoidi (Fig.3.3), rispettivamente nei settori settentrionale e centro-meridionale dell'area di intervento.

Le metamorfiti affioranti nel settore settentrionale sono costituite da paragneiss che lateralmente tendono a passare a micascisti biotitici attraversando petrofacies intermedie. Tali litotipi si presentano di colore grigio, a grana media-fina e tessitura da massiva a foliata.

Le rocce cristalline granitoidi del settore centro-meridionale sono, invece, costituite da leucogranodioriti a due miche e graniti-monzograniti. Esse contengono xenoliti metamorfici, allungati, a prevalente biotite con inclusi rotondeggianti, e a biotite e plagioclasti; hanno una struttura granulare a tessitura prevalentemente isotropa e costituiscono masse o filoni da decimetrici a metrici intrusi nelle metamorfiti di medio e alto grado (Fig.3.4).



Fig. 3.2 - Affioramento di paragneiss sul versante sud del vallone Santa Trada

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Fig. 3.3 - Affioramento di rocce granitoidi in corrispondenza del Vallone Piria



Fig. 3.4 – Carote di rocce granitoidi del substrato ercinico ottenute dal sondaggio C428

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il contatto tra le masse granitoidi e le rocce metamorfiche si sarebbe realizzato in ambito di metamorfismo regionale; a tale contatto, ipotizzato sulla base dell'evidenza di affioramento dei due litotipi, non è stato possibile attribuire una geometria definita. Pertanto, il limite geologico cartografato è da ritenersi valido in prima approssimazione. Tuttavia, esso non interferisce con le opere in sotterraneo all'interno dell'area di intervento.

All'interno dei termini granitoidi è stato localmente riscontrato un sensibile grado di alterazione idrotermale che conferisce alla roccia un aspetto brecciato, a luoghi con colorazione biancastra e farinosa al tatto. Tali caratteristiche si osservano, in particolare, lungo una fascia a direzione N-NE S-SW, in corrispondenza di un allineamento tettonico ben visibile anche da foto aeree in corrispondenza della testata del Vallone Piria. Tale fascia può essere, quindi, associata ad un'ampia zona cataclastica, ipotesi questa avvalorata ulteriormente dalla presenza di un'intensa fratturazione degli ammassi rocciosi immediatamente adiacenti (Fig.3.5).



Fig. 3.5 - Fascia cataclastica nel substrato cristallino granitoide, in prossimità della testata del Vallone Piria.

Le evidenze di affioramento e di sondaggio consentono di ritenere, ai fini della caratterizzazione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

geomeccanica dell'ammasso roccioso costituito dal substrato cristallino e metaformico, la presenza di un fratturazione, a luoghi molto intensa (Fig.3.6, parte destra), legata alla coesistenza di più sistemi di discontinuità pervasivi che, tuttavia, non conferiscono all'ammasso una spiccata anisotropia.

Lungo il sistema tettonico Piale – Mortille, il substrato granitico si presenta in affioramento fortemente cementato per ricristallizzazione di calcite in un fitto reticolo di fratture (Fig.3.6, parte sinistra).

Una valutazione di sintesi delle caratteristiche geomeccaniche dei termini litologici ascritti al substrato derivante dalle osservazioni macroscopiche condotte su affioramento ed in carota di sondaggio porta a considerarli come rocce litoidi a grado di fratturazione variabile in funzione anche del locale assetto tettonico, a grado e profondità di alterazione variabile in funzione della attuale o pregressa esposizione agli agenti esogeni e, se non affioranti, del tipo di rocce sovrastanti. Peculiare è la fascia a colorazione rossastra assunta dal substrato granitico al di sotto dei depositi dei terrazzi marini.



Fig. 3.6 - Affioramento del substrato granitico intensamente fratturato affiorante nel settore meridionale (sinistra) e nord-orientale (destra) dell'area esaminata.

3.2 Conglomerato di Pezzo

E' costituito da un conglomerato poligenico ed eterometrico, a matrice arenacea, da poco a mediamente fino a ben cementato, a stratificazione poco distinta a volte completamente assente. I clasti sono costituiti quasi esclusivamente da rocce del substrato cristallino-metamorfico. I singoli clasti si presentano da sub a scarsamente arrotondati, hanno dimensione variabile, anche superiore al metro. (Figg.3.7,3.8,3.9,3.10,3.11). Raramente è stata rinvenuta nella matrice tra i

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

clasti la presenza di frammenti lignei carboniosi (Fig.3.13). Localmente, inoltre, nella parte alta, al di sotto del contatto trasgressivo con i soprastanti depositi ascritti ai Trubi, si rinviene in affioramento ed in sondaggio la presenza di un livello di spessore metrico costituito da sabbie grigie monogranulari a laminazione piano-parallela che a luoghi passano a sabbie gialle ascrivibili ai depositi trasgressivi dei Trubi (Fig.3.12).

Queste evidenze portano ad ipotizzare un ambiente di sedimentazione condizionato dalla vicinanza di rilievi cristallini, caratterizzati da una forte energia del rilievo, soggetti ad intensa erosione. Il materiale smantellato si sarebbe depositato al piede dei rilievi, al margine di una piana costiera o in un ambiente marino litorale, dove subiva una scarsa evoluzione da parte del moto ondoso. Il materiale si sarebbe accumulato prevalentemente allo sbocco delle aree di impluvio con flussi ad alta efficienza, presumibilmente con meccanismi di trasporto in massa gravitativi (*flussi di detrito, valanghe di detrito*).



Fig. 3.7 - Affioramenti del Conglomerato di Pezzo nei pressi di Campo Piale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Fig. 3.8 - Affioramento del Conglomerato di Pezzo nei pressi di Campo Piale (Hotel Panorama).

I depositi del Conglomerato di Pezzo affiorano estesamente nel settore più occidentale dell'area (località Pezzo e Cannitello, versante a monte dell'autostrada SA-RC).



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Fig.3.9 – Carote di Conglomerato di Pezzo ad elevato grado di cementazione dei clasti, ottenute dai sondaggi C406 e OTC_LPT1_505 (rispettivamente in alto ed in basso).



Fig.3.10 – Carote di Conglomerato di Pezzo contenente clasti rubefatti, ottenute dal sondaggio Cn450.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Fig.3.11 - Affioramento del Conglomerato di Pezzo nei pressi della località Mortille.

Data la limitata estensione degli affioramenti di Conglomerato di Pezzo la sua caratterizzazione litologica è stata significativamente coadiuvata dall'analisi macroscopica delle carote di sondaggio (Figg. 3.9,3.10).

Ciononostante, permane in alcuni siti (cfr. Opera Terminale) l'oggettiva difficoltà a distinguere inequivocabilmente il Conglomerato di Pezzo dal sottostante substrato cristallino, a causa della mancanza in carota di sondaggio di evidenza di clasti natura metamorfica, all'elevato grado di cementazione che tende ad obliterare l'eventuale natura clastica del deposito ed al ridotto stato di fratturazione osservabile sulle carote.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Fig. 3.12 - Affioramento di sabbie gialle alla base dei Trubi, soprastanti le sabbie grigie a laminazione piano-parallela (affioranti limitatamente alla porzione in basso a destra della foto) presenti al tetto del Conglomerato di Pezzo. È ben visibile il passaggio verso l'alto dalla facies marnoso-limoso a quella calcarenitica dei Trubi. Affioramento ubicato qualche centinaio di metri a nord della stazione di servizio autostradale.

In base all'insieme dei dati stratigrafici disponibili non è possibile stimare direttamente la potenza massima dell'Unità; tuttavia, le indagini geognostiche hanno reso possibile attribuire al Conglomerato di Pezzo spessori variabili da un minimo di qualche metro ad un massimo di diverse decine di metri. L'aumento di spessore si osserva da est verso ovest ed è presumibilmente connesso a geometrie deposizionali del corpo detritico, a loro volta connesse all'evoluzione tettonica sin-sedimentaria.

In corrispondenza degli affioramenti disponibili nell'area non è mai stato osservato uno stato di fratturazione pervasiva caratterizzata da giunti persistenti (extraclastici) nell'ammasso roccioso, evidenza che rende più approssimativa rispetto al substrato la definizione di ampiezza delle fasce cataclastiche in corrispondenza degli elementi tettonici principali (Fig. 3.11).

Per quanto attiene invece al grado di cementazione, l'insieme delle evidenze di affioramento e, soprattutto, di sondaggio induce a tenere conto di una ampia variabilità di questa caratteristica relativamente alla quale, tuttavia, non è stato possibile restituire una affidabile zonazione alla scala

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

di lavoro.

E' da rilevare che, ad oggi, né in sondaggio né in affioramento è stato osservato il contatto disconforme tra il Conglomerato di Pezzo ed il substrato paleozoico.



Fig.3.13 – Dettaglio di una carota di Conglomerato di Pezzo ottenuta dal sondaggio C406 (profondità di circa 35 m dal p.c.) contenente, tra due clasti, materia organica carboniosa.

Il contenuto fossilifero dell'Unità è pressoché assente (Atzori & Vezzani, 1974). Pertanto l'età di tali depositi (ovvero Tortoniano sup.) è desunta in via indiretta, dalla loro posizione stratigrafica.

Una valutazione di sintesi delle caratteristiche geomeccaniche del Conglomerato di Pezzo derivante dalle osservazioni macroscopiche condotte su affioramento ed in carota di sondaggio porta a considerarlo come roccia da tenera a litoide in funzione dell'estremamente variabile grado di cementazione, "strutturalmente complessa" a causa della sua peculiare composizione data da un insieme variegato per tipologia e dimensione di blocchi di substrato in matrice a vario grado di cementazione, nel complesso non attraversata da discontinuità sistematiche distinguibili a scala mesoscopica e macroscopicamente non alterata.

3.3 Trubi

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Sono caratterizzati da marne, marne argillose e marne siltose di colore bianco-giallastro, a frattura concoide, localmente con abbondanti livelli sabbiosi fini di colore grigio chiaro (Trubi (a) in legenda delle carte geologiche). La stratificazione, non ovunque netta, è medio-sottile (10-50 centimetri) (Fig.3.14). Questa unità costituisce un livello guida determinante ai fini della ricostruzione dell'assetto geologico-strutturale dell'area.

In tutta l'area di intervento essi poggiano discordanti sul Conglomerato di Pezzo, con uno *hiatus* deposizionale relativo all'intero intervallo temporale del Messiniano. A monte dell'abitato di Pezzo, in un affioramento a NW dell'area di servizio della SA-RC, i Trubi poggiano sul Conglomerato di Pezzo con interposizione alla base di un orizzonte di circa 1,5 metri di sabbie giallastre e presentano al tetto, ed in contatto trasgressivo, un orizzonte calcarenitico ricco in fossili (Trubi (b) in legenda delle carte geologiche) (Figg. 3.12,3.14,3.15).



Fig.3.14 - Affioramenti della formazione dei Trubi. Si notano i sistemi di faglia mesoscopici e la stratificazione da sub-orizzontale a debolmente immergente verso S.

Lo spessore massimo in affioramento è stato valutato nell'ordine di 20m; in alcuni sondaggi sono stati raggiunti spessori fino a 30-40m (Fig.3.16). Tale variabilità di spessori può essere connessa sia all'articolazione in alti e bassi della superficie morfologica sulla quale essi si sarebbero depositi al di sopra del Conglomerato di Pezzo, livellando la paleomorfologia in esso scolpita (Fig.3.17), sia alla differente entità di erosione subita nell'intervallo temporale precedente alla deposizione dei termini sovrastanti. Di particolare rilievo, è l'ispessimento della formazione nel settore posto a sud della zona dell'ancoraggio, nel quale è stata riconosciuta una paleo-depressione orientata NE-SW nella quale i Trubi raggiungono spessore massimo. In alcuni settori dell'area, tale unità risulta mancante per erosione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Fig. 3.15 - Affioramento del contatto trasgressivo tra la facies marnosa (Trubi (a) in legenda delle carte geologiche) e quella calcarenitica dei Trubi (Trubi (b) in legenda delle carte geologiche) a nord della stazione di servizio autostradale.

La deposizione dei Trubi è legata alla trasgressione del Pliocene inferiore (biozona a *Sphaerodinellopsis*), con cui si ristabiliscono condizioni deposizionali di tipo marino normale, dopo l'esaurimento della crisi di salinità del Messiniano superiore. Localmente, la rilevata mancanza di depositi sedimentari attribuiti al Messiniano, potrebbe essere imputabile sia ad una fase erosionale pre-pliocenica, sia ad una mancata deposizione in questo intervallo temporale, in quanto questo settore, già nel Messiniano, avrebbe potuto costituire un alto strutturale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE	
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> <i>Data</i> F0 20/06/2011



Fig. 3. 16 – Marne della Formazione dei Trubi, carotate dal sondaggio C420

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		Codice documento AD0002_F0.doc_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

Datazioni condotte per mezzo della analisi di biozone a microforaminiferi planctonici hanno consentito di individuare, limitatamente al settore di interesse per l'intervento (ovvero in località Campo Piale a Cannitello), un intervallo cronologico di competenza dei Trubi compreso tra lo Zancleano ed il Piacenziano, dunque intrapliocenico¹. In particolare, i termini più recenti dei Trubi si sovrappongono cronologicamente alla base della Formazione di Le Masse, lungo la scarpata morfologica correlabile all'elemento tettonico Campo Piale-Mortille, mentre i più antichi si rinvengono in affioramento e sondaggio dagli affioramenti all'altezza della stazione di servizio autostradale al settore di competenza della Opera Terminale (OPTC).



Fig. 3.17 – Contatto tra Trubi e Conglomerato di Pezzo osservato nel sondaggio C411 a circa 25m dal p.c.. Si notano sovrapposte la facies calcarenitica e quella marnosa dei Trubi nell'intervallo di profondità 22-25 m dal p.c..

¹ In particolare, tra i campioni prelevati da affioramento, i campioni, ID_9, ID_10, ID28 e ID29 sono databili al Pliocene inferiore (Zancleano) per la presenza di *Uvigerina rutila*, di *Sphaeroidinellopsis seminula*, di *Globorotalia margaritae*. Al campione ID_5, prelevato in affioramento all'interno di un orizzonte calcarenitico presente al tetto (Fig. 3.15) della formazione dei Trubi, per la presenza di *Globorotalia punctulata padana*, è stata attribuita un'età tra Zancleano superiore/ Piacenziano inferiore (Iaccarino et al., 2007). Tra i campioni prelevati da sondaggio, il solo campione proveniente dal sondaggio OTC_CH1_501 (14 m dal p.c.) è databile allo Zancleano, per la presenza di *Globorotalia margaritae* e *Uvigerina rutila*.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

In affioramento i Trubi presentano sistemi di faglie mesoscopiche con rigetti centimetrici a cui non sono associate fasce cataclastiche; nel complesso il grado di fratturazione è basso.

Una valutazione di sintesi delle caratteristiche geomeccaniche dei due termini litologici ascritti ai Trubi derivante dalle osservazioni macroscopiche condotte su affioramento ed in carota di sondaggio porta a considerarli come rocce tenere, a basso grado di fratturazione, scarsamente alterate (l'alterazione si concentra nei livelli più sabbiosi che possono assumere una colorazione marcatamente giallastra).

3.4 Formazione di Le Masse

Si tratta di un'alternanza di spesse bancate di marne argillose, arenarie debolmente cementate, con rare bancate arenaceo-conglomeratiche, passanti verso l'alto a calcareniti e sabbie con sottili intercalazioni argillose, affioranti estesamente nel settore sud-orientale dell'area di intervento (Figg. 3.18, 3.19). I livelli calcarenitici presentano laminazioni piano parallele. L'attribuzione formazionale è tratta dalla letteratura (Di Stefano & Lentini, 1995; Lentini et alii, 2000; Carbone et alii, 2008) che ne riporta anche un contenuto fossilifero ricco in nannoflore del Pliocene medio.



Fig. 3.18 - Affioramento della Formazione di Le Masse in cui è ben visibile la presenza di uno strato arenaceo-conglomerato di spessore metrico intercalato all'interno della successione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Fig. 3.19 - Formazione di Le Masse affiorante nel settore sud-orientale dell'area di intervento. A destra si nota il passaggio graduale verso l'alto ad alternanze tra sabbie e livelli calcarenitici.

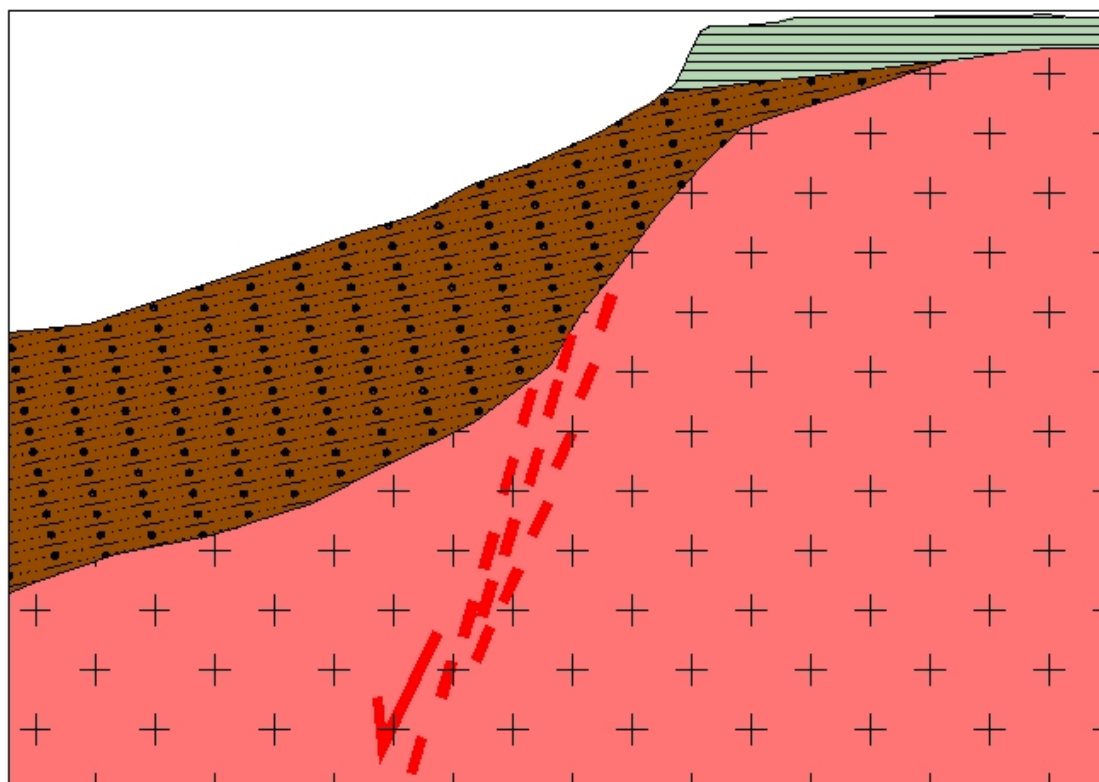


Fig. 3.20 - Schema dei rapporti tra i depositi riferiti alla Formazione di Le Masse (in marrone) ed il substrato cristallino granitico (in rosa) lungo il sistema tettonico Piaie-Mortille. In verde sono riportati i depositi dei terrazzi marini.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tale unità è stata riconosciuta in affioramento in prossimità del sistema tettonico Piale - Mortille, ove essa poggia in discordanza angolare sul substrato cristallino granitico intensamente fagliato e ribassato verso SW (Fig.3.20). La chiusura verso nord, al disopra del suddetto sistema di faglia, è riconducibile a una geometria di tipo on-lap con gradi di inclinazione che non superano 10° verso SW. La formazione di Le Masse non risulta comunque interessata da evidenti sistemi di fagliazione.

Per quanto attiene alla attribuzione cronologica dei termini riconosciuti nell'area in esame, l'analisi di alcuni campioni prelevati da affioramento², ha permesso di attribuire la base della formazione al Piacenziano (Pliocene superiore).

Lo spessore massimo in affioramento è superiore a 200m.

L'estensione complessiva della formazione è stata desunta tramite l'ausilio di sondaggi geognostici che hanno intercettato tali depositi anche nel settore orientale, al disotto dei depositi dei terrazzi marini, o delle Sabbie e Ghiaie di Messina.

Verso l'alto il passaggio con le sovrastanti Sabbie e Ghiaie di Messina è erosivo.

Gli strati arenaceo-sabbiosi presentano laminazioni piano parallele ben distinguibili, mantenendo frequentemente in affioramento una giacitura sub-orizzontale.

Una valutazione di sintesi delle caratteristiche geomeccaniche dei termini litologici ascritti a questa formazione derivante dalle osservazioni macroscopiche condotte su affioramento ed in carota di sondaggio porta a considerarli come rocce tenere, a basso grado di fratturazione e a basso grado di alterazione anche in affioramento.

3.5 Calcareniti di San Corrado

Si tratta di calcareniti e calciruditi clastiche e bioclastiche, da moderatamente cementate a cementate, con stratificazione incrociata (Figg.3.21, 3. 22 destra). Sono presenti orizzonti di sabbie giallastre, grossolane, addensate e laminate, a luoghi di qualche metro di spessore (Fig.3.23). Alla base è stato a luoghi rinvenuto una banco di brecce cementate costituite da clasti spigolosi di roccia metamorfica e granitici di dimensione da centimetrica a decimetrica, in matrice micritica (Fig. 3.22 sinistra).

² I campioni da affioramento ID04 ed ID07 sono databili al Pliocene superiore (Piacenziano) per la presenza di *Globorotalia aemiliana*.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Fig. 3.21 - Affioramento di Calcareniti di S.Corrado presso Cannitello (livelli lapidei di natura bioclastica).

La frazione clastica dei livelli calcarenitici è costituita da elementi eterogenei, eterometrici (diametri da millimetrici a pluricentrimetrici), sub angolari e subordinatamente subarrotondati.

La frazione bioclastica è rappresentata da coralli, bivalvi, principalmente ostreidi, gasteropodi, brachiopodi, scafopodi, echinidi, balani e coralli.

Il colore prevalente è avana, a luoghi avana-biancastro e la stratificazione, ben visibile, è generalmente piano-parallela e localmente incrociata.

Il deposito è trasgressivo sia sui sottostanti Trubi sia sul Conglomerato di Pezzo (Fig.3.24). La discordanza angolare rispetto alla formazione di appoggio è tra 5 e 10°. Non è mai stato osservato un appoggio diretto delle Calcareniti di San Corrado sul substrato cristallino.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Fig. 3.22 - Dettagli di affioramenti della Formazione di S. Corrado in cui è ben visibile l'abbondante contenuto bioclastico (foto di destra) e la presenza, a luoghi, di blocchi cristallino-metamorfici cementati da matrice micritica (foto di sinistra).



Fig. 3.23 - Affioramento di Calcareniti di S. Corrado lungo la statale SS18 presso Cannitello (orizzonti sabbiosi giallastri).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Fig. 3.24 – Carote di Calcareniti di S.Corrado ottenute dai sondaggi FC_SPT_503 in facies bioclastica e brecciata (rispettivamente foto in alto ed in basso).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L'unità è attribuita cronologicamente al Pleistocene inferiore (Ghisetti, 1981a, b; Carbone et alii, 2008); nella letteratura la formazione è stata localmente indicata anche come Calcareniti di Vinco. Tuttavia, l'analisi micropaleontologica dei depositi calcarenitici qui ascritti alla formazione di San Corrado rileva la sterilità di microrganismi³.

Analogamente ai Trubi, le Calcareniti di San Corrado potrebbero costituire un livello guida nella successione stratigrafica locale. E' possibile, ma allo stato attuale delle conoscenze non documentabile, che questo deposito possa essere considerato largamente diacrono nell'areale di indagine ove esso è stato riconosciuto sia in affioramenti di modestissima ampiezza sia in sondaggio fino al sito delle torri di fondazione, in analogia a quanto ricostruito da Di Stefano & Longhitano (2009) sui rilievi ad W e a SW di Messina,.

I depositi ascritti alla Formazione delle Calcareniti di San Corrado si rinvencono in affioramento in lembi discontinui in prossimità della Strada Statale 18 e lungo il versante settentrionale che, dall'autostrada SA-RC, degrada verso il mare. L'unità è stata riconosciuta grazie alle peculiari caratteristiche litologiche in numerosi sondaggi.

Lo spessore varia da qualche metro a 10 metri circa (località Pezzo).

Una valutazione di sintesi delle caratteristiche geomeccaniche dei termini litologici ascritti a questa formazione derivante dalle osservazioni macroscopiche condotte su affioramento ed in carota di sondaggio porta a considerarli, a seconda degli orizzonti, come rocce tenere vacuolari (calcareniti), terre a grana grossa addensate (livelli sabbiosi) e rocce litoidi (brecce), intatti e a basso grado di alterazione anche in affioramento.

3.6 Sabbie e ghiaie di Messina

Sono costituite da ghiaie da medie a grossolane in matrice sabbiosa. Si presentano generalmente ben stratificate anche se, più raramente, agli strati ghiaiosi si intercalano livelli lenticolari conglomeratici o sabbiosi. I clasti, da sub-arrotondati ad appiattiti, sono di natura poligenica e risultano prevalentemente costituiti da termini cristallino-metamorfici (Figg. 3.25,3.26,3.27). La giacitura presenta tipicamente una inclinazione di 25°-30° verso l'asse dello Stretto di Messina ed è spesso ben evidente una stratificazione incrociata con embricatura dei clasti (Fig.3.25). L'insieme delle caratteristiche sedimentologiche ed i rapporti con gli altri depositi affioranti,

³ In particolare, tra i campioni prelevati in sondaggio, i soli campioni FC_BH1_501 (a 47 m dal p.c.) e FC_BH1_510 (a 18.7 m dal p.c.) mostrano un'analogia presenza, nella frazione litoide, di serpulidi, gusci di molluschi prevalentemente frammentati e briozoi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

indicano per tali depositi un ambiente deposizionale riferibile ad un sistema deltizio fortemente alimentato dalle fiumare.

Le Ghiaie e Sabbie di Messina affiorano estesamente nell'intero settore occidentale e sud-occidentale dell'area di intervento, gli spessori deducibili da affioramento e sondaggio aumentano spostandosi verso ovest, e variano da pochi metri, in prossimità dei punti in cui si osservano a diretto contatto con il substrato cristallino-metamorfico (località Campo Piale), fino a 100m tra gli abitati di Cannitello e Villa S.Giovanni. Nell'area di intervento, le Sabbie e Ghiaie di Messina si osservano in discordanza su tutti i termini litologici presenti nell'area di studio e di età precedente, ovvero dal substrato cristallino alla Formazione di S. Corrado. Nell'intera area di intervento le Sabbie e Ghiaie di Messina non si presentano interessate da elementi tettonici anche se, sul lato siciliano, diversi Autori (Carbone et alii, 2008) rilevano la presenza di fagliazione al loro interno (Fig.3.25).



Fig. 3.25 - Affioramento di Sabbie e Ghiaie di Messina in cui è ben visibile la pendenza a basso angolo degli strati verso l'asse dello Stretto di Messina.

Il sistema deltizio delle ghiaie di Messina, legato alla sua progradazione verso l'asse dello Stretto di Messina, è deducibile a più grande scala considerando l'estensione e la disposizione areale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

dell'intero corpo deposizionale stratificato. Relativamente all'area di Villa S.Giovanni-Cannitello, i depositi affioranti possono essere attribuiti alle facies clinostratificate del *foreset* (ovvero della porzione più esterna del corpo deltizio). Le Ghiaie e Sabbie di Messina vengono attribuite da diversi Autori (in particolare Barrier *et alii*, 1987) al Pleistocene medio, esse non presentano faune significative, ma sono trasgressive al disopra della Formazione di Le Masse e ricoperte a loro volta da depositi dei terrazzi marini olocenici.



Fig. 3.26 - Dettaglio di un livello ghiaioso intercalato con sabbie nelle Sabbie e Ghiaie di Messina.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Rev</i></th> <th><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



Fig. 3.27 - Affioramento in parete sub-verticale delle Sabbie e Ghiaie di Messina. Nella foto a sinistra è osservabile la stratificazione incrociata.



Fig. 3.28 – Carote di Sabbie e Ghiaie di Messina ottenute dal sondaggio C415, è ben evidente la natura sciolta dei depositi e l'eterometria dei clasti.

Dal punto di vista litotecnico, i depositi delle Ghiaie e Sabbie di Messina sono da considerarsi terre da moderatamente a fortemente addensate, con cementazione da scarsa ad assente (Fig. 3.28). All'accentuata eterometria dei clasti ed alla stratificazione del deposito si deve la capacità di sostenere pareti sub-verticali fino a 10-20 m di altezza (Fig. 3. 27).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

3.7 Depositi marini terrazzati

Sono rappresentati da depositi marini sabbiosi e sabbioso ghiaiosi fortemente pedogenizzati in prossimità della superficie dove assumono una caratteristica colorazione rossastra, che ricoprono buona parte della superficie esposta nell'area di intervento (Fig.3.29). A luoghi il contatto trasgressivo con il substrato cristallino-metamorfico è marcato dalla presenza di un orizzonte clastico a grossi blocchi arrotondati, in una scarsa matrice sabbiosa arrossata (Fig.3.30). Non si osserva, in generale, una chiara stratificazione; tuttavia, quando presente, essa risulta sub-orizzontale o al più si osserva una debole immersione dei depositi verso mare.



Fig. 3.29 - Spessi depositi marini terrazzati presso Campo Piale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Fig. 3.30 - Affioramento del contatto trasgressivo tra terrazzo marino e substrato cristallino-metamorfico, marcato dalla facies conglomeratica a grossi blocchi arrotondati.



Fig. 3.31 – Carote di depositi di terrazzo marino ottenute dal sondaggio C428; è evidente la presenza di livelli limosi, più sciolti, e di livelli argilloso-limosi, più coesivi.

I depositi marini si presentano terrazzati a diverse quote sul livello del mare, in trasgressione sul

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

substrato cristallino, sul conglomerato di Pezzo, sui Trubi, sulla formazione di Le Masse, sulle Calcareniti di San Corrado e sulle Sabbie Ghiaie di Messina. Sulla base dell'ampia letteratura esistente in materia (Ghisetti & Vezzani, 1980; Bonfiglio & Violanti, 1983;; Martison et alii, 1987; Bonfiglio, 1991;; Catalano & Cinque, 1995; Catalano & Di Stefano, 1997; Catalano et alii, 2003; Carbone et alii, 2008; Miyauchi et alii, 1994; Dumas et alii, 2005) l'età attribuibile ai terrazzi cartografati nell'area di intervento copre l'intervallo Pleistocene medio-superiore. Dettagli più specifici relativi agli ordini gerarchici di suddetti terrazzi e alla loro attribuzione cronologica sono contenuti nella relazione geomorfologica.

Dal punto di vista litotecnico, i depositi dei terrazzi marini rappresentano terre da sciolte a debolmente coesive con cementazione da debole ad assente (Fig.3.31), fortemente alterate e pedogenizzate nella porzione superficiale. L'eterometria degli orizzonti ghiaioso-sabbiosi e la loro alternanza garantiscono comunque la capacità da parte dei depositi di mantenere pareti sub-verticali anche in corrispondenza di tagli antropici (Fig.3.32).



Fig. 3.32 - Pareti di trincea artificiale realizzate nei depositi dei terrazzi marini presso Campo Piaie.

3.8 Depositi alluvionali

Si tratta prevalentemente di depositi sabbioso-ghiaiosi olocenici di fondo alveo (Fig.3.33), contenenti a luoghi grossi blocchi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Fig. 3.33 - Depositi alluvionali terrazzati che colmano una vallecola sospesa presso Campo Piale.

Tali depositi risultano spesso terrazzati a diverse altezze rispetto all'attuale alveo fluviale. Essi poggiano al disopra di diversi termini della successione presente nell'area e spesso l'incisione lineare operata dai corsi d'acqua determina la diretta sovrapposizione di tali depositi sul substrato cristallino-metamorfico. Gli spessori massimi dedotti da affioramento e sondaggi non è superiore alla decina di metri.

Dal punto di vista litotecnico, questi depositi rappresentano terre granulari sciolte.

3.9 Eluvio-colluvio

Comprende depositi olocenici derivanti dalla degradazione meteorica dei litotipi affioranti; coltri superficiali di alterazione; materiali eluvio-colluviali a composizione prevalentemente sabbioso-limosa e solo subordinatamente argillosa (Fig. 3.34). Lo spessore è fortemente variabile in funzione della locale topografia ed, in generale, esso è compreso entro il metro, mentre raggiunge alcuni metri soprattutto in corrispondenza di impluvi e vallecole. Dal punto di vista litotecnico, questi depositi rappresentano terre granulari sciolte e terre a grana fine mediamente consistenti .

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	



Fig. 3.34 - Depositi eluvio-colluviali soprastanti depositi di versante clinostatificati, eterometrici ed a clasti visibilmente spigolosi, osservabili presso il Vallone Piria

3.10 Depositi di piana costiera recenti ed attuali

Depositi distribuiti entro 200 m dall'attuale linea di costa di età olocenica (Fig. 3.35), il cui spessore massimo misurato in sondaggio è di circa 60 m. Sono costituiti da sabbie con ciottoli di composizione prevalentemente quarzoso-feldspatica a cui si intercalano livelli o lenti di argille limose e di torbe.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Fig. 3.35 - Vista panoramica dalla SS18 della piana costiera colmata da depositi olocenici presso Cannitello (in corrispondenza del sito designato per le fondazioni dell'opera di attraversamento).

Nella piana costiera prospiciente l'abitato di Cannitello sono stati individuati in sondaggio fino a tre distinti livelli di torba, compresi entro i primi 50 m dal p.c. (Fig.3.37).

La formazione della recente ed attuale piana costiera si deve alla complessa interazione tra risalita post-wurmiana del livello marino e strutturazione tettonica della fascia costiera, a sua volta frutto della tettonica estensionale che ha interessato il substrato cristallino-metamorfico e la soprastante successione sedimentaria plio-pleistocenica.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Rev</i></th> <th><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



Fig. 3.36 – Depositi sabbioso-ghiaiosi di piana costiera in contatto sul Conglomerato di Pezzo, carotati nel sondaggio FC_CH2_509.



Fig. 3.37 – Argille con torba carotati nei depositi di piana costiera nel sondaggio FC_CH1_508. In corrispondenza del tratto di piana costiera di interesse per l'intervento non sono mai state rinvenute in sondaggio Ghiaie e Sabbie di Messina al di sotto dei depositi costieri olocenici che,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

invece, risultano poggiare direttamente sul Conglomerato di Pezzo (Fig.3.36) o sulle calcareniti della Formazione di S.Corrado. Si fa presente tuttavia che la distinzione in carota di sondaggio tra depositi sabbioso-ghiaiosi olocenici e Sabbie e Ghiaie di Messina, in assenza di intercalazioni di livelli di argilla con torba, è alquanto arbitraria.

Dal punto di vista litotecnico, nel corpo della piana costiera sono distinguibili terre granulari da sciolte ad addensate, terre coesive a bassa-media consistenza e terre organiche a bassa consistenza.

3.11 Depositi di versante

Sono depositi detritici alimentati da processi di degradazione e trasporto dovuto sia alle acque di dilavamento che alla gravità ed accumulati, in genere, alla base dei versanti, dove costituiscono perlopiù falde a luoghi coalescenti. In località Case Alte, nel settore nord-orientale dell'area di intervento, è stato distinto un deposito di sabbie di colore rossastro da medie a grossolane, addensate, solo subordinatamente fini, con rare intercalazioni di livelli di conglomeratici o limosi (Fig.3. 38).



Fig. 3.38 – Carote di depositi detritici di versante clinostatificati ottenute dal sondaggio C407.

La clinostatificazione è resa evidente dalla presenza di livelli da medi e sottili, inclinati di 20°-25°,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

e dalla presenza, a luoghi, di una laminazione incrociata.

I clasti sono ben classati ed a composizione perlopiù quarzoso-feldspatica. Lo spessore massimo deducibile dagli affioramenti di tali depositi è valutabile nell'ordine dei 10 metri.

Tali depositi affiorano estesamente lungo l'intero versante a monte dell'attuale tracciato autostradale, interrompendosi in corrispondenza dei valloni e dei versanti a maggiore acclività.

Dal punto di vista litotecnico, questi depositi possono essere qualificate come terre granulari addensate. Oppure, laddove debolmente cementate, come rocce tenere.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

4 Assetto geologico - strutturale di dettaglio

L'area in oggetto si colloca in un dominio di transizione tra la struttura tettonicamente rilevata dell'horst di Campo Piale ed i bacini di Reggio Calabria e dello Stretto di Messina (vedi paragrafo 2 "Inquadramento Geologico Generale").

L'assetto strutturale dell'area è stato ricostruito attraverso: 1) rilevazione diretta sul terreno di elementi disgiuntivi (faglie) o di indicatori della loro presenza (cataclasiti e brecce). In alcuni siti, in condizioni di affioramento favorevoli, è stata condotta una rilevazione ed interpretazione degli indicatori cinematici di movimento (strie di abrasione, docce e rari gradini di calcite) sui piani di faglia; 2) interpretazione dei complessi rapporti geometrici tra le formazioni distinte nella carta geologica, ricostruiti attraverso dati di affioramento e interpretazione di stratigrafie di sondaggio relative alla campagna geognostica di Progetto Definitivo e a quelle pregresse; 3) rilevazione da fotografie aeree e da immagini multi spettrali Landsat ETM5+ e rilievo in sito di indizi morfologici di lineazioni associabili ad elementi tettonici (lineamenti); 4) analisi e confronto con la bibliografia inerente.

Al fine di schematizzare l'assetto strutturale del complesso reticolo di faglie interconnesse (Fig. 4.1), le faglie riconosciute sono state raggruppate in sistemi secondo criteri di posizione e di dislocazione reciproca. I sistemi sono stati così raggruppati per orientazione:

- 1) Sistemi ad andamento NW-SE (appenninico). Comprende i sistemi, Campo Calabro, Case Alte e di Matiniti
- 2) Sistemi ad andamento NE-SW. Comprende i sistemi di Musala, di S. Pietro, di La Torre, di Pezzo-Faro Rosso ed il Sistema Costiero
- 3) Faglie distribuite sull'area ad andamento N-S.
- 4) Sistema ad andamento E-W: sistema di Piale-Villa S. Giovanni, Piale – Mortille e faglia di S.Trada.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

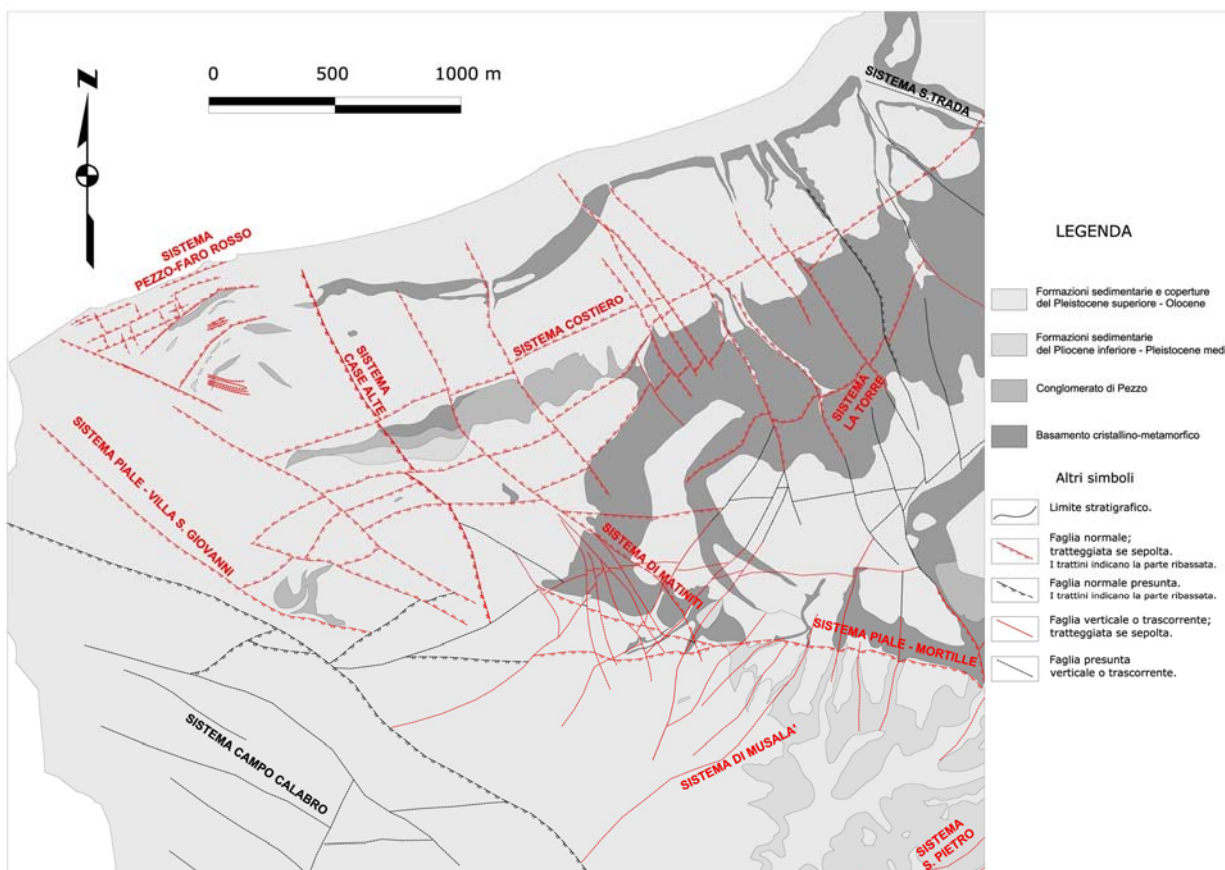


Fig 4.1 Schema tettonico semplificato dell'area interessata dalle opere principali ed ausiliarie del Ponte sullo Stretto di Messina.

La porzione strutturalmente più rilevata dell'area si localizza nel settore centrale, in corrispondenza degli estesi affioramenti di substrato cristallino-metamorfoico sui quali si chiudono i depositi ascrivibili alla successione sedimentaria riconosciuta. Tale alto strutturale bordato da faglie riferibili ai sistemi ad andamento E-W, NW-SE e NE-SW corrisponde alla porzione più occidentale dell'horst di Campo Piale.

Il Sistema Case Alte, ad andamento NW-SE ed essenzialmente coincidente con l'omonima faglia, delimita verso ovest l'horst di Campo Piale; con una direzione media pari a N135° ed immersione verso SW. Tale sistema rappresenta l'unico elemento distensivo riconosciuto nell'area che disloca il substrato cristallino-metamorfoico senza coinvolgere il Conglomerato di Pezzo. Il piano di faglia, rimodellato dall'erosione, avrebbe determinato una paleo-scarpata su cui il Conglomerato di Pezzo si sarebbe depositato, mostrando variazioni di spessore notevoli. La sua ricostruzione è basata esclusivamente sulla correlazione di dati di sondaggio e non si osserva in affioramento. In

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

particolare il Conglomerato di Pezzo presenta spessori massimi valutabili nell'ordine dei 20-30m in corrispondenza del blocco di letto della faglia mentre raggiunge spessori superiori a 90m immediatamente a SW della paleo-scarpata. La continuazione verso sud del Sistema Case Alte, nel bacino di Reggio ovvero nel blocco di tetto del Sistema Piale-Mortille, non è nota.

Il Sistema Piale-Mortille, ad andamento EW, delimita verso sud l'horst di Campo Piale e costituisce l'elemento tettonico principale su cui si appoggia, chiudendosi verso nord, la successione sedimentaria che colma il bacino tettonico di Reggio (la cui terminazione settentrionale è qui denominata Graben di S.Lucia). La faglia è messa in particolare risalto sia da un forte contrasto morfologico sia da chiare evidenze geologiche di terreno. Sulla base delle unità litostratigrafiche osservabili al letto ed al tetto di questo lineamento tettonico, è possibile valutare un rigetto verticale superiore ai 50m. La sua continuità di affioramento è dell'ordine di qualche chilometro, tuttavia l'evidenza si perde verso ovest e la sua continuazione si suppone, sulla base di dati di sondaggio, in corrispondenza del Sistema Piale-Villa S.Giovanni. A sud di quest'ultimo sistema si sviluppa un sistema ad orientazione parallela (Sistema Campo Calabro) che, assieme al sistema riferibile Piale-Mortille-Villa S.Giovanni avrebbe condizionato la formazione del basso strutturale coincidente con il Graben di S.Lucia.

Elementi trasversali a direzione N-S e NE-SW dislocano i Sistemi Piale-Mortille e Piale-Villa S. Giovanni, specialmente per quanto riguarda il settore più orientale dell'area di studio. Non si può escludere tuttavia la sovrapposizione di più eventi deformativi, sempre a carattere estensionale, che avrebbero riattivato precedenti lineamenti tettonici riutilizzando in toto o in parte piani di faglia preesistenti.

Il sistema Costiero, coincidente circa con la faglia di Scilla-Campo Piale (vedi paragrafo 2 "Inquadramento geologico generale"), delimita l'horst verso una zona di basso strutturale, comprendente la fascia di piana costiera e la retrostante zona dei terrazzi marini, all'incirca fino all'attuale sede della tratta autostradale SA-RC. Il ribassamento del substrato e di parte della sovrastante successione sedimentaria (almeno fino alle Calcareniti di S.Corrado) è da ricondursi all'effetto cumulato di più elementi tettonici sub paralleli (Sistema La Torre, Sistema Costiero, Sistema Pezzo-Faro Rosso), come reso ancor più evidente anche in corrispondenza dell'Opera Terminale e delle Torri di fondazione dove, grazie ai numerosi sondaggi, è stato possibile ricostruire in dettaglio l'assetto strutturale del substrato. Inoltre sulla base dell'interpretazione stratigrafica dell'assetto dei depositi olocenici di piana costiera (Ghiaie eterometriche e poligeniche, prevalentemente cristallino-metamorfiche e sabbie a grana da media a grossolana con livelli lenticolari di torba) vi sono forti indizi per poter escludere che l'attività del Sistema

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Pezzo – Faro Rosso coinvolga anche i depositi olocenici.. Le faglie riferibili a questi sistemi hanno pendenze elevate, comprese tra 65° ed 80° ed immergono prevalentemente verso NW, anche se elementi minori presentano immersioni verso SE. Diverse faglie ad andamento appenninico si allineano, almeno parzialmente, a scarpate morfologiche le quali risultano anche separare diversi ordini di terrazzamento marino. Tra queste, di particolare evidenza anche per la continuità della scarpata ad essa associata, è la faglia del Sistema Costiero. L'interpretazione più plausibile appare quella di una scarpata di erosione di faglia, su cui si è impostata una antica falesia marina, e che attualmente è localmente in arretramento rispetto alla proiezione del piano di faglia per l'azione combinata di agenti erosivi legati alle acque superficiali e alla gravità. Analoga interpretazione della origine della scarpate morfologiche vale anche per la scarpata compresa tra la piana costiera e il ripiano su cui è in progetto l'opera terminale e quella ad esso retrostante. Diversamente, al sistema tettonico la Torre sono associate sia analoghe evidenze morfologiche di scarpata sia la presenza di una estesa fascia cataclastica, affiorante alle testate dei valloni Piria e Zagarella, alla quale può essere attribuita la locale cancellazione delle originarie morfologie marine.

Un altro insieme di faglie ad orientamento NW-SE si individua nel settore nord-orientale dell'area di studio. E' caratterizzato da sistemi di faglie a direzione N130°-150°, con inclinazione media compresa tra i 70° e i 90°, che ribassano sia verso SW sia verso NE il substrato cristallino e le sovrastanti successioni sedimentarie fino alle Calcareniti di San Corrado. Tali elementi, sulla base delle osservazioni condotte sul terreno, rappresentano gli elementi tettonici più recenti riscontrati in quanto disarticolano elementi tettonici ascrivibili ai sistemi sopra descritti, compresi i piani di faglia appartenenti al Sistema Costiero. Nel settore nord-orientale dell'area questi sistemi di faglie delimitano horst e graben a scala locale, orientati in senso appenninico (NW-SE). A tale insieme di faglie appartiene il Sistema di Matiniti che rappresenterebbe un sistema trascorrente e transtensivo sia destro che sinistro. Nella Fig.4.2 si riporta un dettaglio alla scala di affioramento (mesoscala) delle dislocazioni connesse al suddetto sistema. Il carattere trascorrente e transtensivo del Sistema di Matiniti potrebbe giustificare l'azione di trasferimento cinematico tra il Sistema di Piale-Mortille e il Sistema Costiero. Il reticolo idrografico del settore settentrionale, sviluppato prevalentemente in direzione NW-SE, potrebbe essersi impostato lungo discontinuità appartenenti a questo sistema.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE	
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

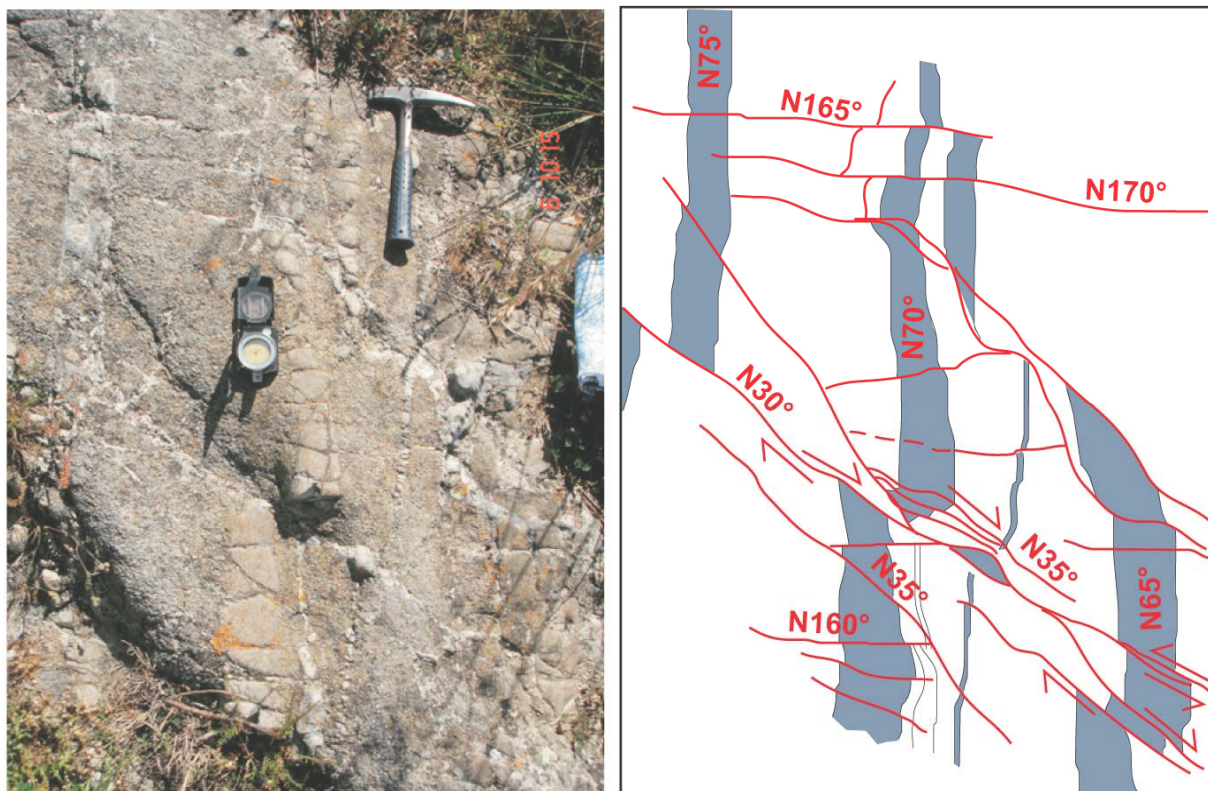


Fig 4.2 Foto e schema interpretativo dell'intensa fatturazione registrata all'interno del substrato granitico in corrispondenza del Sistema di Matiniti. In grigio sono evidenziati gli elementi guida identificati nell'ammasso roccioso completamente disarticolato da fratture estensionali e faglie mesoscopiche con rigetti centimetrici. Gran parte degli elementi presentano caratteri cinematici di tipo trascorrente sia sinistro sia destro a testimoniare la polifasicità dei processi di deformazione.

Una cronologia interpretata sulla base dello schema strutturale sopra esposto è di seguito riportata, dal sistema ritenuto più "antico" a quello più recente:

- 1) sistema Case Alte, attribuibile ad una strutturazione tettonica pre-tortonina;
- 2) sistemi ad orientazione NE-SW (sistema Costiero, di La Torre, di Pezzo-Faro Rosso, di Musala, di S. Pietro) e sistemi E-W (sistema di Piale-Villa S. Giovanni, Piale – Mortille e faglia di S.Trada), attribuibile ad una strutturazione almeno fino al Pliocene ed il Pleistocene inferiore. Resta ancora l'eventuale attività anche olocenica del sistema Pezzo – Faro Rosso;
- 3) faglie a direzione N-S e NE-SW che dislocano nel centro sud-orientale il sistema Piale – Mortille e insieme di faglie ad orientamento NW-SE del settore nord-orientale dell'area di studio e ascritte al sistema di Matiniti, che dislocano il sistema costiero e il sistema La Torre.

I rapporti tra corpi deposizionali e elementi tettonici che hanno in parte permesso di scandire l'attività tettonica sono: deposizione del Conglomerato di Pezzo successiva alla dislocazione del

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

substrato cristallino da parte del sistema Case Alte e precedente alle dislocazioni legate ai sistemi ad orientazione NE-SW e ai sistemi E-W; deposizione della Formazione di Le Masse coeva all'attività del sistema Piaie - Mortille (Fig.3.20); deposizione delle Sabbie e Ghiaie di Messina coeva e/o successiva all'attività dei sistemi di faglie riconosciute nell'area indagata (Fig. 4.3); deposizione del sistema olocenico di piana costiera in rapporto incerto rispetto al sistema Pezzo – Faro Rosso e presumibilmente anche rispetto alle faglie ad orientamento NW-SE del settore nord-orientale dell'area di studio, la cui dislocazione coinvolge certamente la successione sedimentaria fino ad un'altezza stratigrafica perlomeno fino al Pliocene, ipoteticamente anche al Pleistocene inferiore (cfr. paragrafo 3.5) oppure, soltanto come ipotesi non comprovata da dati, più recente.

Si sottolinea che lo schema a cronologico ricostruito esplicita i rapporti di reciprocità tra elementi tettonici riconosciuti; non viene esclusa a priori una riattivabilità futura di taluni di questi elementi, ad eccezione del sistema Case Alte suturato dalla intera successione sedimentaria. Da questo tipo di valutazione può derivare la stima di un eventuale potenziale sismogenetico; la trattazione di queste argomentazione è tuttavia demandata alla ricostruzione del quadro sismotettonico dell'area.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE	
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

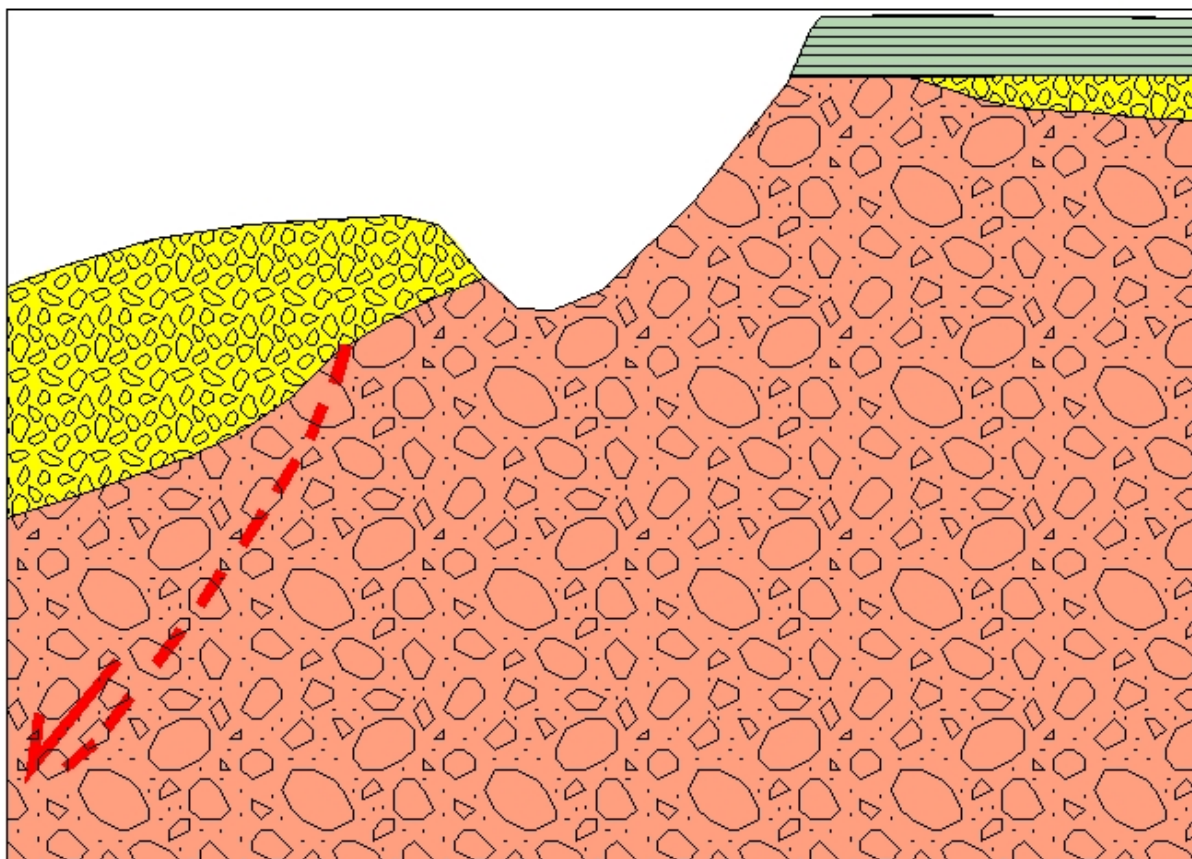


Fig. 4.3 - Schema rappresentativo dei rapporti esistenti tra le Ghiaie e Sabbie di Messina (in giallo) con il sottostante Conglomerato di Pezzo (in rosa) fagliato. In verde sono i depositi de terrazzi marini.

Per l'andamento delle successione stratigrafica e geostrutturale in profondità si farà riferimento alle sezioni geologico – geotecniche delle rampe stradali e della linea ferroviaria.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5 Caratteristiche generali dell'ambiente

5.1 Morfologia

L'estremità meridionale del territorio calabro è caratterizzato dai rilievi dell'Aspromonte i cui versanti diminuiscono rapidamente di altezza procedendo verso Ovest, con una tipica conformazione a gradinata, da una quota di 1200-1300 m ai 250-300 m s.l.m.. Questa conformazione è interpretata come una sequenza di spianate di abrasione marina la cui origine è collegata al sollevamento regionale. Nell'area prossima allo Stretto sono presenti scarpate morfologiche singolarmente di altezza limitata, che nell'insieme determinano variazioni di quota significative sul versante prospiciente il litorale tirrenico. Incisioni vallive di breve lunghezza e con accentuata pendenza dei thalwegs solcano detto versante, raggiungendo la stretta fascia costiera. Morfologia più blanda caratterizza il versante ionico, dove le poche superfici terrazzate determinano variazioni di quota contenute che non modificano l'assetto morfologico di tipo subpianeggiante fino al margine delle colline, la cui altezza è compresa tra 100 e 300 m fino al limite orientale dell'area studiata. Qui prevalgono i processi di deposizione dei materiali detritici trasportati dalle acque di deflusso superficiale, principalmente in occasione di eventi di piena stagionali, determinati dalle brusche variazioni di quota al passaggio dalle colline alla zona costiera.

Nel territorio sono distinguibili tre condizioni morfologiche procedendo dalla costa verso l'entroterra: una semipianeggiante, una collinare ed una decisamente montuosa.

La prima condizione si riscontra a quote di pochi metri sul livello del mare, con ampiezza variabile ma spesso limitata a poche decine di metri, se non addirittura assente. Qui predominano i depositi alluvionali dei corsi d'acqua, il cui trasporto solido comporta localmente spessori consistenti di materiali a diversa granulometria, principalmente nei tratti terminali in prossimità della costa. Il territorio è ampiamente antropizzato con insediamenti residenziali e attività produttive.

Nella seconda condizione, che si estende dai 10-15 m s.l.m. a circa 400-600 m s.l.m., il paesaggio è di tipo collinare, con frequente variazioni di pendenza collegate alle incisioni del reticolo idrografico ed alla presenza di dislocazioni tettoniche, alle quali si associano spesso forme di dissesto. Qui sono presenti attività agricole oltre a terreni incolti e a nuclei abitati di modeste dimensioni.

La terza condizione, rappresentata dalle quote più elevate fino ad oltre 1000 m, è quella che presenta la morfologia più aspra e accidentata, con rilievi costituiti da rocce cristalline

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

intensamente fratturate e spesso profondamente alterate, solcati da valli strette con fianchi ripidi e pendenza accentuata. Qui non sono presenti insediamenti degni di nota, soltanto zone incolte con vegetazione spontanea e zone boschive.

5.2 Climatologia

Il clima dell'area oggetto di studio è fortemente influenzato dall'orografia ed in particolare dall'esistenza di rilievi a ridosso della costa, ai quali si collega l'effetto barriera nei confronti delle correnti aeree provenienti dal Tirreno o dallo Ionio. Ne consegue un'azione mitigatrice del mare sulla temperatura ed una variabilità dei caratteri pluviometrici e termometrici alle diverse quote lungo lo sviluppo dei rilievi.

Nei suoi caratteri generali il clima può tuttavia essere ricondotto al tipo mediterraneo, avendosi all'incirca un semestre (ottobre-marzo) con precipitazioni meteoriche generalmente abbondanti e spesso concentrate in brevi periodi, a cui si accompagnano temperature relativamente basse seppure variabili con l'altitudine. A questo si contrappone un semestre (aprile-settembre) con precipitazioni scarse e occasionali, che configurano spesso condizioni di siccità per un periodo di 2-3 mesi, associate ad alti valori di temperatura e sensibili escursioni giornaliere.

La distribuzione delle precipitazioni si desume dai dati rilevati in 6 stazioni del Servizio Idrografico dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPACAL), relativi a periodi diversi. Le serie di dati disponibili per alcune stazioni, con periodo di funzionamento di molti decenni, forniscono valori medi variabili tra 1600-1000 mm alle quote maggiori (Gambarie d'Aspomonte, 1200 m s.l.m.; San Roberto, 325 m s.l.m.) e 780-670 mm alle quote più basse (Scilla, 73 m s.l.m.; Villa San Giovanni, 4 m s.l.m.).(Figg. 5.1 – 5.4).

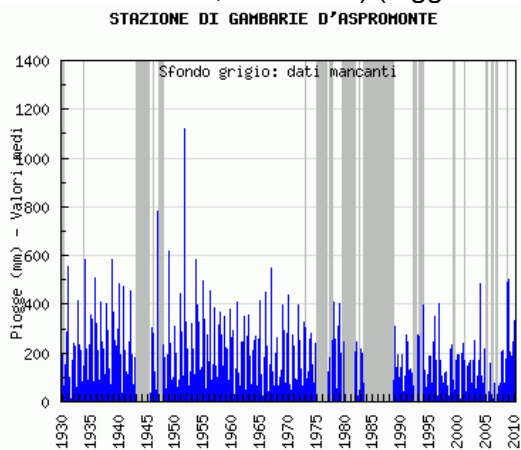


Fig. 5.1

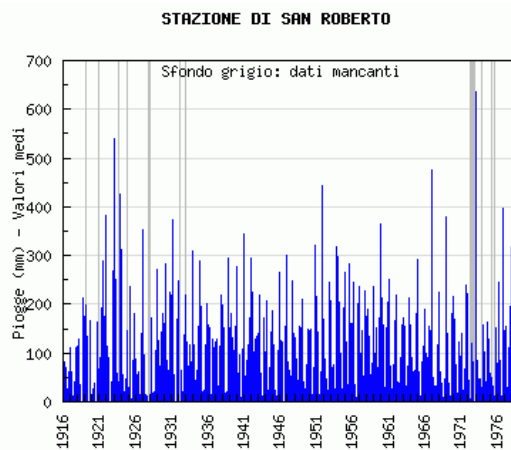


Fig. 5.2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

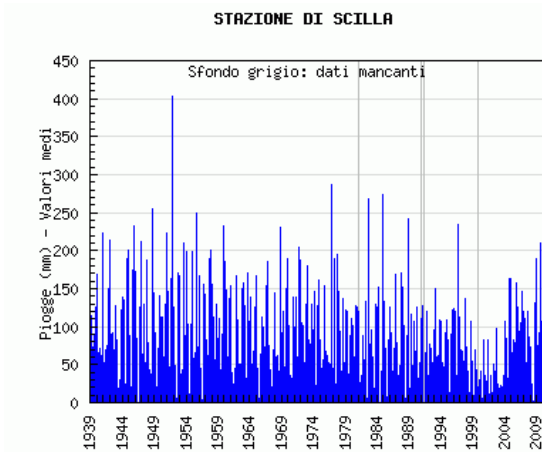


Fig. 5.3

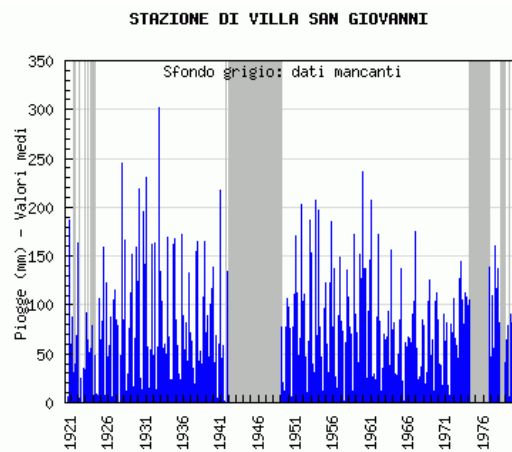


Fig. 5.4

Anche la distribuzione delle temperature risulta condizionata dall'altitudine. Dai dati disponibili nelle poche stazioni dotate di strumentazioni termometriche, ubicate a quote diverse, si rileva una diminuzione dei valori medi annui all'aumentare dell'altitudine. L'andamento dei valori medi mensili mette in evidenza la variabilità stagionale delle temperature, con valori massimi che raggiungono 35 °C nei mesi di luglio e agosto lungo la costa e nell'immediato entroterra, limitandosi a 18 °C in agosto alle quote maggiori. Le temperature minime si aggirano mediamente sugli 11 °C a febbraio lungo la costa, scendendo a 2-3 °C nella stagione invernale. I valori medi si mantengono sui 25-26 °C nei mesi estivi e non scendono al di sotto dei 15-18 °C nei mesi invernali (Figg. 5.5 e 5.6)

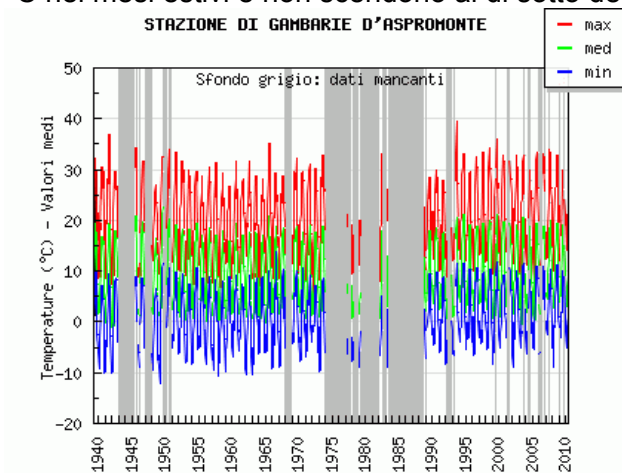


Fig. 5.5

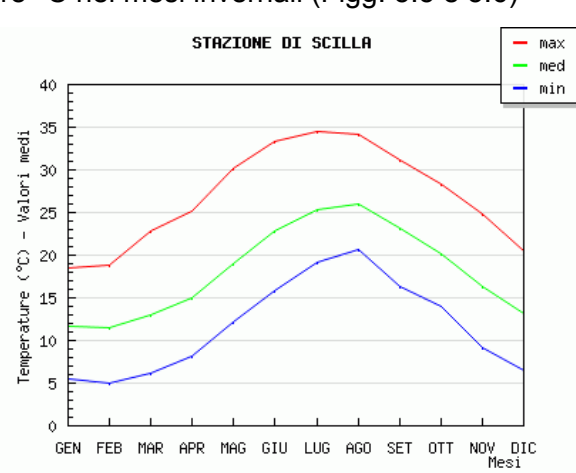


Fig. 5.6

5.3 Idrografia

Le caratteristiche idrografiche dell'area interessata dai collegamenti viari sono da correlare agli

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0		<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

aspetti orografici del Massiccio dell'Aspromonte dove i corsi d'acqua che incidono i versanti occidentale e meridionale presentano un decorso lineare, con disposizione circa parallela, rispettivamente da Est verso Ovest e da Sud verso Nord. In prossimità della costa occidentale le fiumare formano pianure alluvionali con un letto sempre più ampio procedendo verso la foce, occupato da consistenti depositi alluvionali costituiti in prevalenza da materiali sabbioso-ciottolosi. Tale conformazione è tipica delle aree di recente sollevamento, con presenza di corsi d'acqua a regime torrentizio, caratterizzati da deflussi modesti o del tutto assenti per diversi mesi dell'anno, mentre sono spesso consistenti per brevi periodi della stagione piovosa, durante i quali si possono verificare forti piene in coincidenza di eventi meteorici intensi e concentrati.

Il maggiore corso d'acqua, presente al limite meridionale dell'area studiata, è rappresentato dalla Fiumara di Catona, con l'affluente in destra idrografica Vallone di Maio. Ha origine sugli alti versanti dell'Aspromonte, ad una quota di 1785 m s.l.m., e ha un bacino di 68 Km². Incisioni torrentizie di breve lunghezza con foce nell'area di Villa San Giovanni sono rappresentati dai torrenti Solaro, S. Antonio e Campanella. Altre incisioni analoghe, con foce al litorale tirrenico, sono rappresentate dai torrenti Zagarella, Piria, Valle Gibia e Fiumara di S. Trada, che incidono profondamente i versanti settentrionali. In relazione alla morfologia della zona, detti corsi d'acqua presentano andamento quasi rettilineo, lunghezza limitata, thalweg ad elevata pendenza, alvei stretti e incassati nei depositi di antiche conoidi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6 Idrogeologia

6.1 Permeabilità relativa delle unità litostratigrafiche

In relazione alla variabilità litologica ed alle complesse condizioni stratigrafico-strutturali prima descritte, i terreni affioranti nel settore in esame presentano sostanziali differenze di comportamento nei confronti dell'infiltrazione delle acque meteoriche e della circolazione idrica al loro interno. Ciò dipende principalmente dalla permeabilità dei litotipi, ma anche dall'estensione, continuità e spessore dei termini permeabili, che condizionano l'esistenza di corpi idrici estesi e dotati di apprezzabile potenzialità.

Alle quote maggiori, dove affiorano in prevalenza rocce cristalline e metamorfiche, la permeabilità è sostanzialmente bassa, dipendendo principalmente dalle condizioni di fessurazione dell'ammasso roccioso, ossia dalla frequenza, distribuzione e tipologia delle discontinuità di origine tettonica. Queste sono spesso riempite da depositi limoso-argilloso-sabbiosi e generalmente tendono a chiudersi in profondità. Nelle zone collinari, caratterizzate da estese coperture di depositi recenti con permeabilità complessivamente medio-alta, le condizioni risultano molto variabili da luogo a luogo per la spiccata eterogeneità granulometrica e per la variabilità dello spessore. Nelle pianure costiere e lungo i fondovalle, dove più estesi e consistenti sono i depositi alluvionali, si riscontrano condizioni di permeabilità per porosità alta, che favoriscono l'esistenza di falde relativamente estese e localmente di apprezzabile produttività.

In base alle caratteristiche di permeabilità, le unità litostratigrafiche presenti possono essere così classificate:

- Terreni con grado di permeabilità alto per porosità: Depositati alluvionali attuali e recenti dei corsi d'acqua e delle pianure costiere.
- Terreni con grado di permeabilità medio-alto per porosità ed in parte per fessurazione: Depositati alluvionali e marini terrazzati, Ghiaie e sabbie di Messina, Calcareniti di San Corrado.
- Terreni con grado di permeabilità medio-basso per porosità: Formazione di Le Masse.
- Terreni con grado di permeabilità da basso a molto basso: Trubi, Conglomerato di Pezzo, Terreni cristallino-metamorfici.

6.2 Complessi idrogeologici

Le unità litologiche costituenti la successione stratigrafica dell'area in esame sono state assimilate

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

a diversi complessi idrogeologici in base alle condizioni spaziali e giaciture ed alle relative caratteristiche di permeabilità. Sono stati così distinti i seguenti complessi:

- **COMPLESSO DEI DEPOSITI DETRITICI (OLOCENE)**
 Depositi alluvionali attuali e recenti dei corsi d'acqua e delle piane costiere.
- **COMPLESSO DEI SEDIMENTI GHIAIOSO – SABBIOSO – SILTOSI E CALCARENITICI (PLIOCENE-
 PLEISTOCENE)**
 Depositi alluvionali e marini terrazzati, sabbie e ghiaie con abbondante matrice siltosa e livelli di ciottoli, calcareniti organogene e sabbie.
- **COMPLESSO MARNOSO-SABBIOSO E CALCAREO-MARNOSO (PLIOCENE INFERIORE)**
 Marne sabbiose, sabbie e calcareniti, marne e calcari marnosi.
- **COMPLESSO CONGLOMERATICO-ARENACEO SABBIOSO (MIOCENE MEDIO-SUPERIORE)**
 Conglomerati, arenarie e sabbie.
- **COMPLESSO CRISTALLINO-METAMORFICO**
 Paragneiss biotitici e micascisti, gneiss occhialini e metagraniti, plutoniti.

6.3 Idrostrutture principali

Le variabili e complicate interrelazioni esistenti fra le diverse unità litostratigrafiche, derivanti dalla prolungata e complessa evoluzione tettonica dell'area, rendono difficoltosa l'identificazione di idrostrutture definite da limiti certi, principalmente nelle zone collinari e montane. In considerazione del significato idrogeologico di tali unità si è ritenuto opportuno considerare come limiti di idrostrutture gli spartiacque idrografici dei principali corsi d'acqua, mentre alle quote più basse sono stati generalmente considerati limiti idrodinamici.

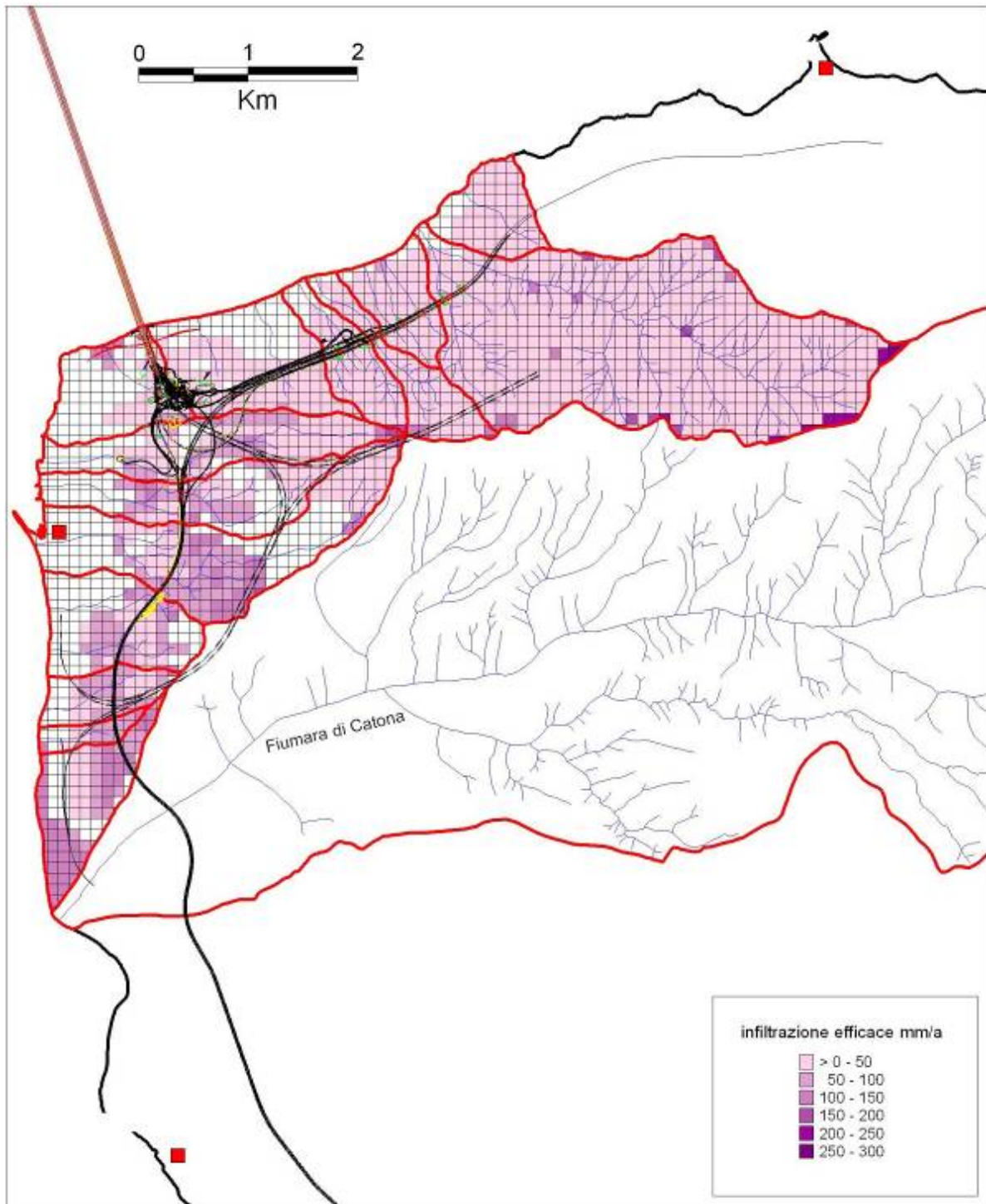
Le idrostrutture così definite sono di tipo semplice nella parte settentrionale dell'area e di tipo complesso in quella meridionale.

In particolare, le idrostrutture semplici, afferenti ai bacini delle fiumare con foce al litorale ionico, da Villa San Giovanni alla Fiumara di Catona, sono costituite essenzialmente da due complessi idrogeologici comprendenti acquiferi simili per litologia e caratteristiche di permeabilità, in relazione fra loro, tali da determinare la formazione di un unico corpo idrico di tipo libero, sostenuto da termini a minore permeabilità o dall'interfaccia acqua dolce /acqua salata.

Le idrostrutture complesse, afferenti ai bacini dei corsi d'acqua con foce al litorale tirrenico, da Pezzo a Porticello, con estensione da Piaie ai rilievi orientali, sono costituite da tutti i complessi

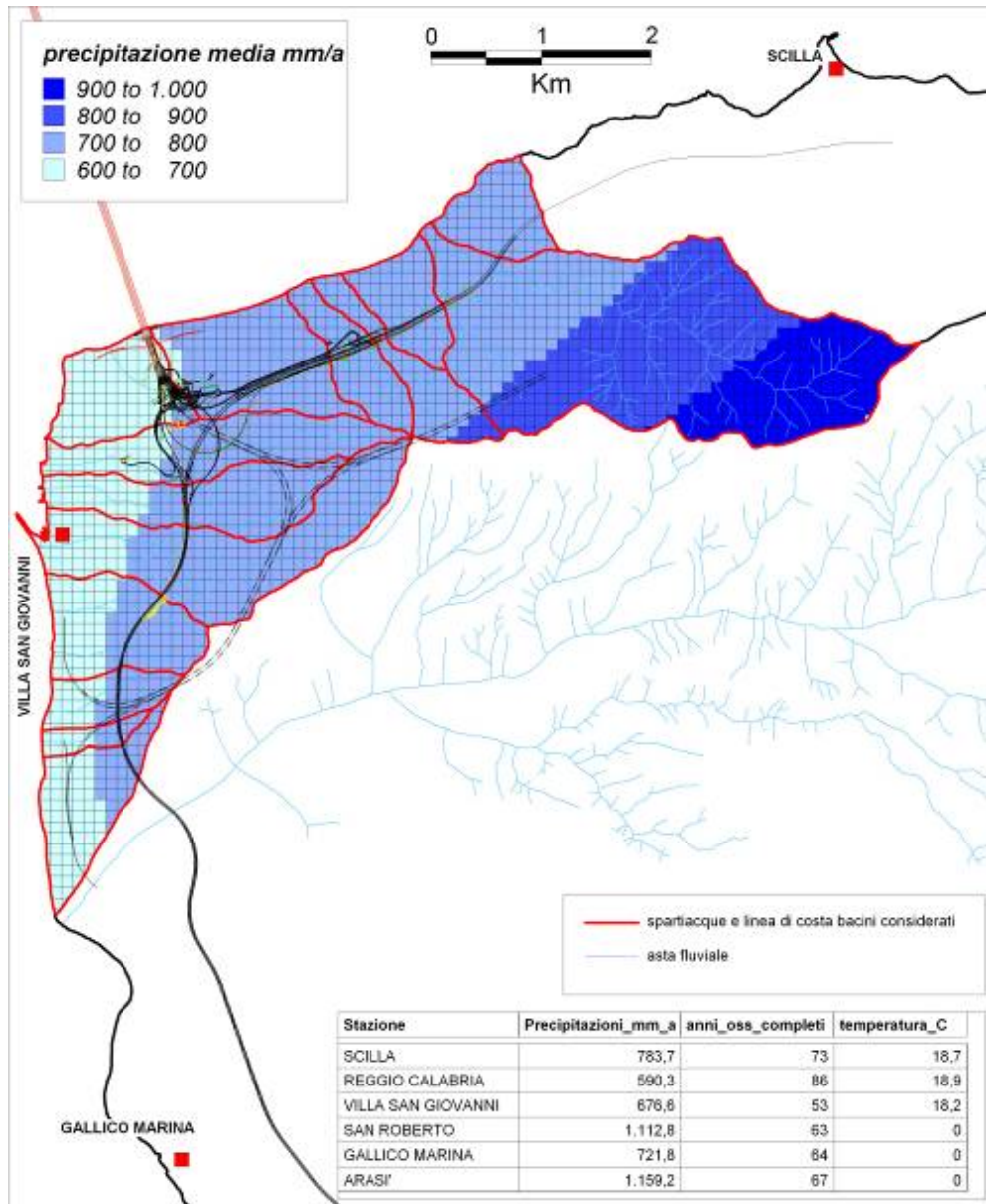
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0		<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

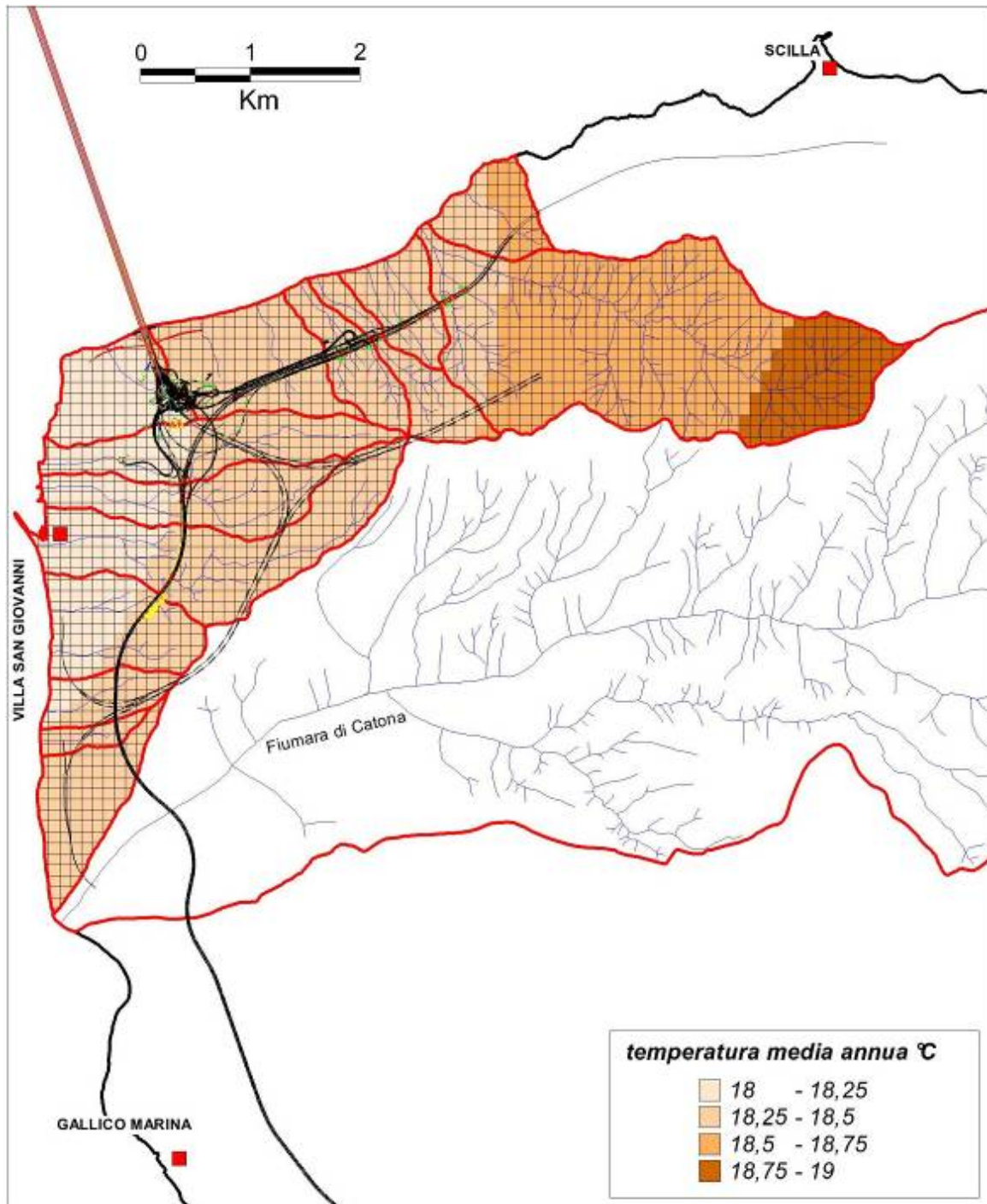
idrogeologici distinti, comprendenti acquiferi con diversa litologia e variabili caratteristiche di permeabilità. Si hanno così acquiferi liberi con capacità produttiva da discreta a bassa, sede di corpi idrici sostenuti da termini semipermeabili o impermeabili con scarsa capacità produttiva, salvo locali condizioni determinate da fattori strutturali che favoriscono la trasmissione delle acque. La ricarica media annua delle idrostrutture è stata valutata mediante il bilancio idrogeologico, utilizzando un modello numerico implementato in GIS. A tale scopo il territorio sotteso dai bacini idrografici afferenti alle idrostrutture meridionale e settentrionale è stato discretizzato secondo una griglia a maglie quadrate di 100 x 100 m, effettuando l'elaborazione spaziale dei dati relativi ai vari fattori mediante il software utilizzato e tools collegati. Per ogni singola maglia è stata calcolata l'infiltrazione efficace dalla differenza tra precipitazione media annua ed evapotraspirazione e deflusso superficiale ($I_e = P - E_r - R$).



Per le precipitazioni e le temperature sono stati utilizzati i dati disponibili delle stazioni termopluviometriche afferenti alla rete dell'ARPACAL ricadenti nell'area e nell'intorno di questa. I dati

sono stati interpolati utilizzando il metodo delle triangolazioni con smoothing polinomiale di quinto ordine, ottenendo un modello, senza soluzioni di continuità, della distribuzione dei due parametri, che ha permesso di assegnare ad ogni cella i relativi valori.



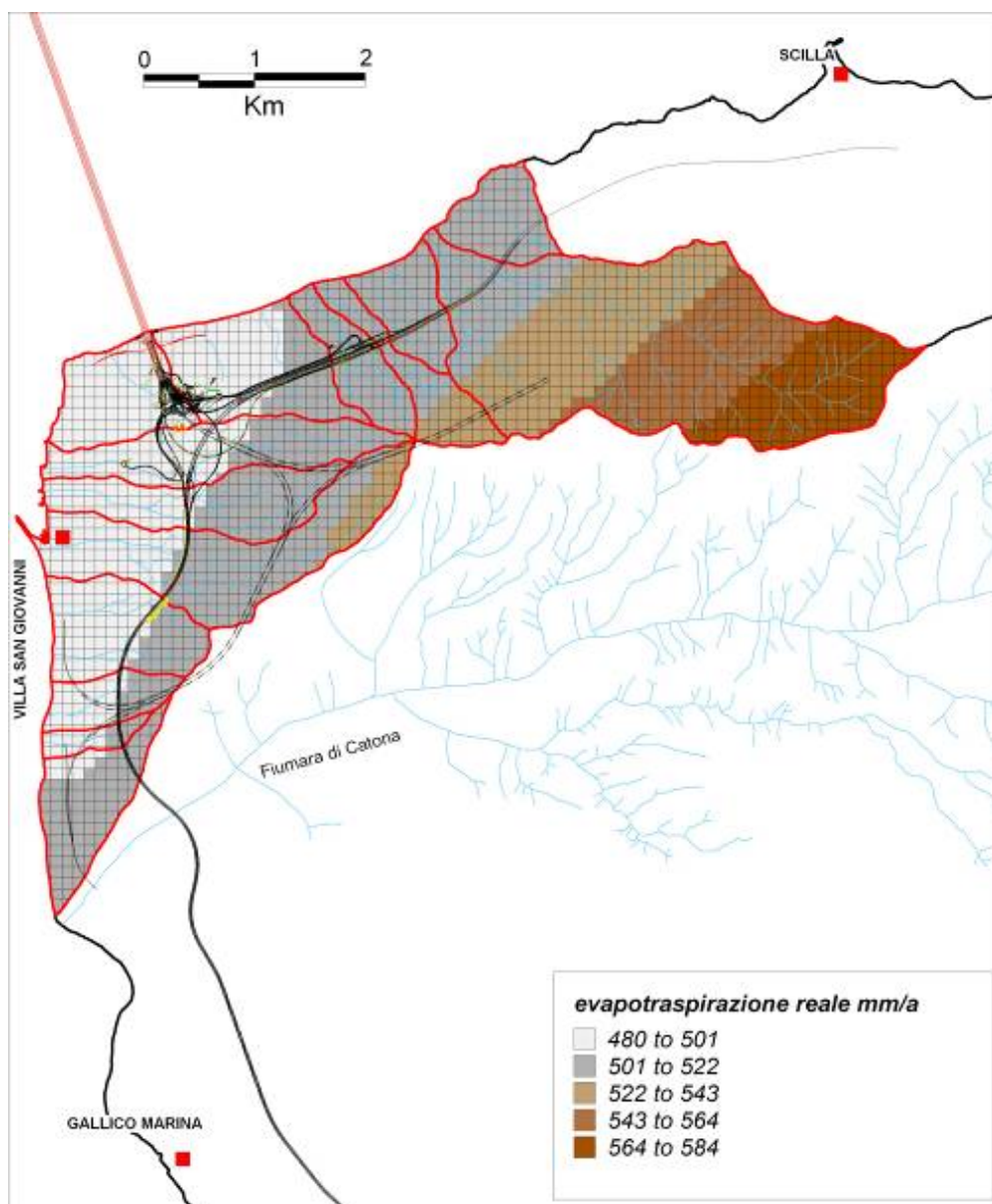


L'evapotraspirazione reale è stata calcolata utilizzando il modello empirico di Turc (1954)

$$E_r = \frac{P}{\sqrt{09 + (P^2 / L^2)}}$$

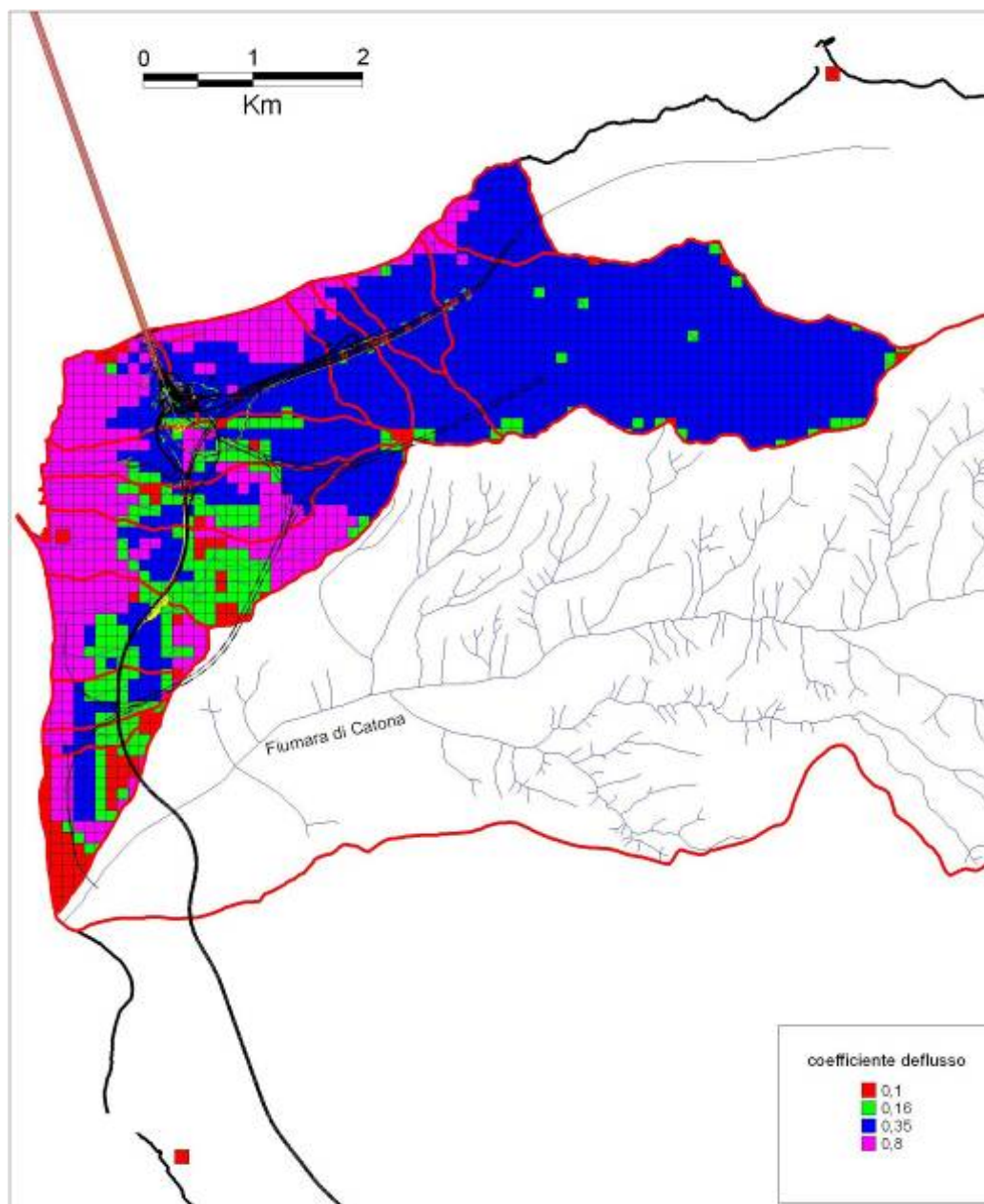
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE	
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

con $L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$, secondo la modifica indicata da Santoro (1970).



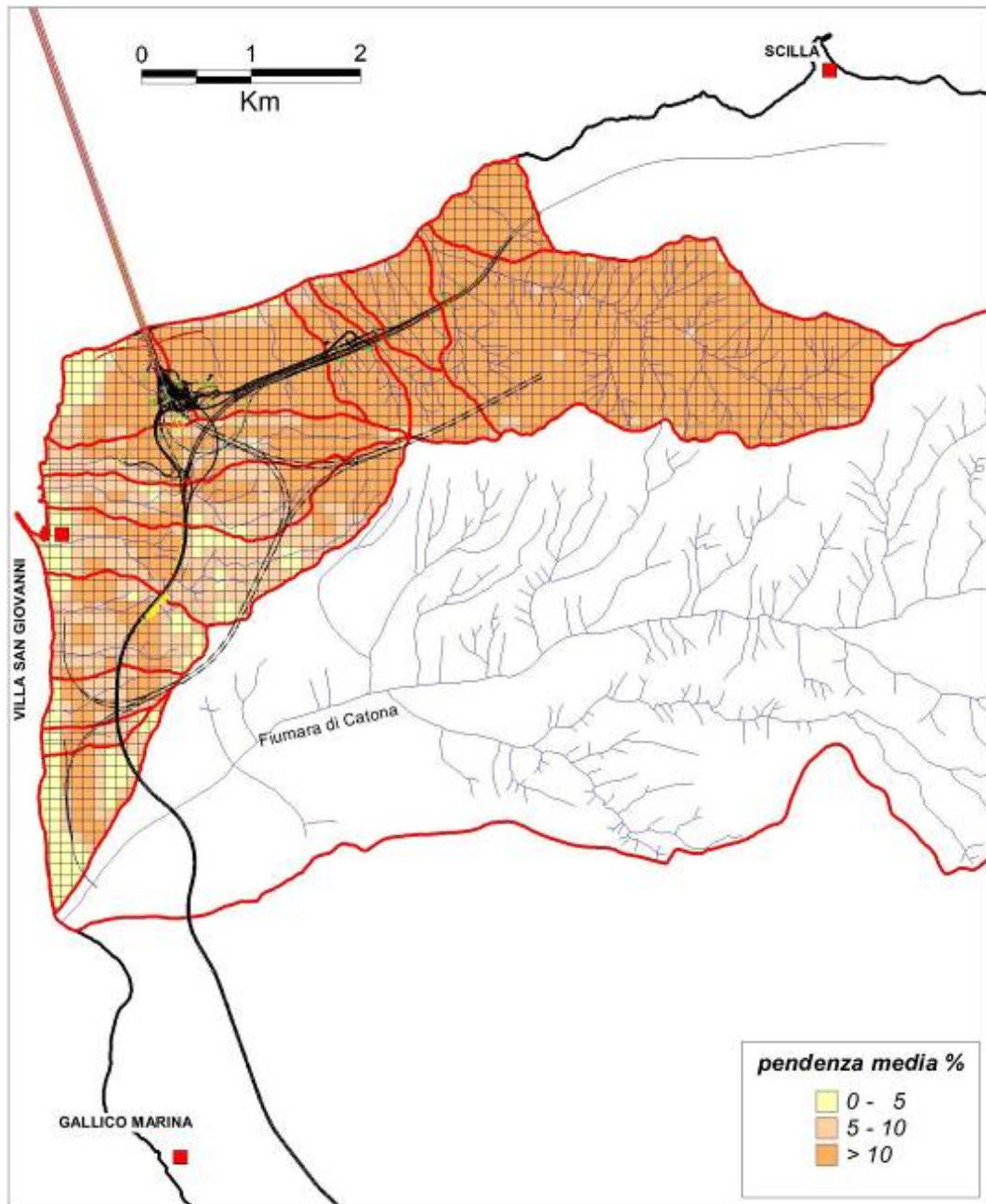
Il deflusso superficiale è stato calcolato per ogni maglia dal prodotto tra il valore di precipitazione prima assegnato ed il coefficiente di deflusso della maglia medesima. Questo è stato determinato in base all'uso del suolo, al tipo di suolo, alla pendenza media riscontrata in ogni maglia.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE	
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

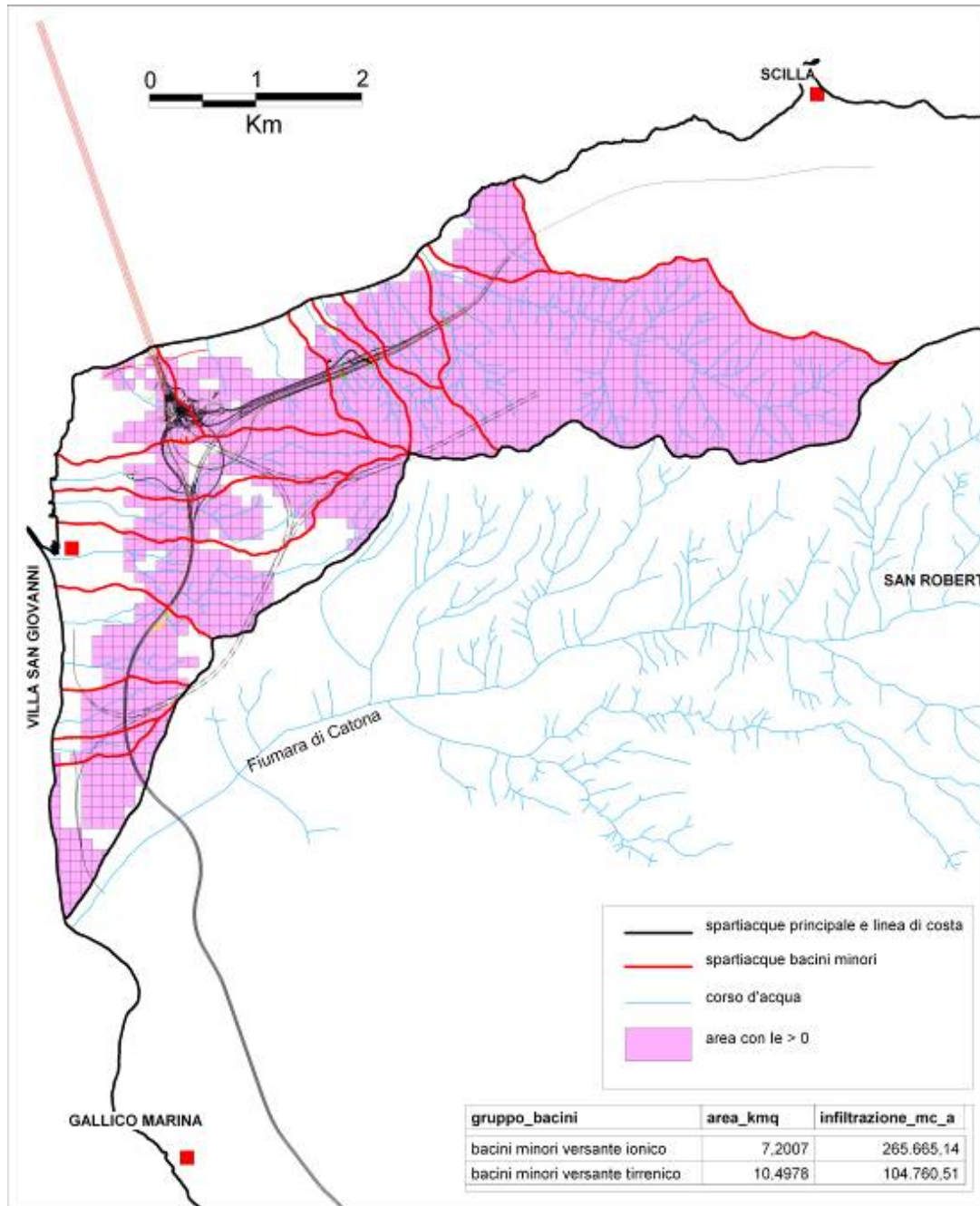


La pendenza media è stata calcolata da un modello digitale del terreno; per l'uso del suolo si è utilizzato Corine Land Cover e per il tipo di suolo si è fatto riferimento alla litologia affiorante. Nell'ambito urbano o assimilabile non si è tenuto conto della pendenza e del tipo di suolo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE	
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Il valore della ricarica media annua da precipitazioni (i.e. infiltrazione efficace) nel territorio comprendente le idrostrutture considerate viene stimato in complessivi 246.222 m³/anno, dei quali 141.107 m³/anno nella idrostruttura settentrionale e 105.115 m³/anno in quella meridionale.



La maggior parte dell'infiltrazione diretta avviene nei terreni dotati di permeabilità medio-alta e principalmente nei depositi alluvionali di fondo valle e delle piane costiere, dove le acque di precipitazione meteorica tendono a confluire in relazione alle condizioni morfologiche.

All'alimentazione dei corpi idrici contenuti in tali terreni concorrono pertanto parte dei deflussi superficiali e le acque che si infiltrano negli altri terreni dotati di un grado di permeabilità medio,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

sotto forma di circolazione epidermica che talora dà origine a modeste manifestazioni sorgentizie.

6.4 Censimento dei punti d'acqua

Il censimento di pozzi, sorgenti e sondaggi geognostici, iniziato alla fine del mese di aprile 2010, ha permesso di individuare complessivamente N. 91 punti d'acqua costituiti da N. 43 pozzi scavati a largo diametro o trivellati e da N. 48 sondaggi geognostici, nei quali si è riscontrata presenza d'acqua (N. 25 pregressi e N. 23 recenti). Tali opere sono state realizzate da privati per scopi domestici, irrigui o industriali, in qualche caso da comuni per scopi idropotabili e in maggioranza da società ed enti pubblici per indagini relative a progetti di infrastrutture.

Dei 91 punti d'acqua censiti, per 28 di essi è stato possibile accedere alle opere e aggiornare i dati, verificando le variazioni dei livelli idrici intervenuti nel tempo, il che ha permesso di calibrare la piezometria anche nelle zone i cui punti di misura erano inaccessibili. In N. 20 sondaggi in precedenza utilizzati per monitoraggio non si è riscontrato alcun livello d'acqua.

La completezza dei dati è stata infatti condizionata in molti casi dall'impossibilità di acquisire tutte le informazioni previste, per insormontabili difficoltà legate alla disponibilità dei proprietari o alle condizioni e alle modalità di equipaggiamento delle opere. In questi casi è stato possibile acquisire soltanto dati parziali e verificare l'ubicazione riportata.

I dati ottenuti dall'attività di censimento sono riportati nelle schede allegate alla presente relazione. Nessuna sorgente è stata riscontrata all'interno dell'area considerata, essendo questa solo marginalmente interessata da affioramenti di terreni cristallini, ai quali sono generalmente collegate sorgenti, alcune delle quali, con portata maggiore e continua, affioranti al di fuori del territorio studiato, sono captate per approvvigionamento idropotabile e addotte ai punti di utilizzazione mediante lunghi acquedotti.

6.5 Acquiferi e relative caratteristiche

In base ai dati acquisiti con le indagini idrogeologiche ed il censimento dei punti d'acqua, nell'area studiata si riconoscono acquiferi con diverse caratteristiche e differente comportamento nei confronti della circolazione idrica sotterranea, contenenti corpi idrici dotati di diversa potenzialità, oggetto di sfruttamento per i fabbisogni locali.

Le risorse idriche di maggiore interesse sono contenute nei depositi alluvionali di fondovalle delle fiumare, sotto forma di corpi idrici relativamente indipendenti, che in parte confluiscono in corrispondenza della fascia costiera.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le aree di alimentazione sono rappresentate dai bacini imbriferi, i cui spartiacque idrografici sono stati considerati come limiti di idrostrutture in base alle caratteristiche morfologiche, litostratigrafiche e strutturali oltre che di permeabilità dei terreni. La ricarica è costituita principalmente dalle precipitazioni efficaci dirette e dall'infiltrazione di un'aliquota dei deflussi superficiali lungo gli alvei. Un limitato contributo deriva inoltre dalle acque di ruscellamento lungo i versanti delle valli e dalle acque di infiltrazione nei terreni meno permeabili e nelle relative coperture detritiche e di alterazione che, in base alle predette condizioni morfologiche, stratigrafiche e strutturali, raggiungono gli acquiferi di fondovalle. Nella zone più estesamente antropizzate un ulteriore contributo può essere rappresentato dalle perdite delle reti di acquedotto e fognarie dei centri abitati.

6.5.1 Acquifero delle metamorfiti

I terreni metamorfici costituiscono un acquifero anisotropo, caratterizzato da circolazione idrica discontinua e localizzata, che esclude l'esistenza di corpi idrici estesi e produttivi.

La permeabilità è principalmente localizzata nella parte superficiale alterata degli affioramenti e diminuisce rapidamente con la profondità. Fanno eccezione situazioni locali in cui la roccia è interessata da particolare disturbo tettonico con estese fratture, spesso beanti e prive di riempimento, che permettono una maggiore capacità di immagazzinamento delle acque di infiltrazione ed una circolazione più attiva, lasciando tuttavia immutato il ruolo di acquiferi scarsamente produttivi, dato il limitato volume dei serbatoi ricettori.

Dette caratteristiche determinano l'esistenza nelle zone di affioramento di questi terreni, al di fuori dell'area studiata, di numerose sorgenti, la maggior parte delle quali di modesta portata e a carattere temporaneo. Quelle con portata maggiore sono captate per scopi idropotabili e per usi locali. Tutte presentano un'elevata variabilità stagionale della portata, essendo questa strettamente dipendente dalla quantità e distribuzione delle precipitazioni meteoriche. Il rapido decremento dei valori di portata dimostra sia il limitato volume dei serbatoi naturali, sia la rapidità con la quale le acque di infiltrazione sono restituite al deflusso superficiale, concorrendo all'alimentazione degli acquiferi alluvionali di fondovalle delle incisioni torrentizie.

6.5.2 Acquifero conglomeratici – sabbioso miocenico

Fra i depositi terrigeni che si sovrappongono alle metamorfiti, il conglomerato sabbioso miocenico, affiorante nella zona nord-occidentale dell'area, si riscontra spesso al di sotto delle coperture

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

recenti in larga parte dell'area, con spessori anche rilevanti. In questo deposito, in parte sciolto ed in parte cementato, costituito da livelli e lenti di ghiaie, ciottoli e blocchi anche di grosse dimensioni e generalmente alterati, la circolazione idrica è discontinua essendo la permeabilità bassa per la frequente presenza di materiale pelitico frammisto al materiale grossolano e di livelli livelli di sabbie limose intercalati nella successione. La circolazione idrica si attua preferenzialmente nelle zone interessate da dislocazioni tettoniche, con direzione di flusso parallela a queste ultime.

Le risorse idriche complessivamente immagazzinate nell'acquifero sono da ritenere di non trascurabile interesse, seppure l'accentuato frazionamento della circolazione idrica limita detto interesse a situazioni strettamente locali.

6.5.3 Acquifero calcarenitico – sabbioso pleistocenico

L'acquifero costituito dalle calcareniti organogene e sabbie pleistoceniche affiora limitatamente nella zona Sud-occidentale dell'area, in relazione ad un sistema di dislocazioni tettoniche orientate all'incirca Est-Ovest, che pongono a brusco contatto i sedimenti con le metamorfiti ed i conglomerati, ma anche con le sabbie e ghiaie di Messina. L'acquifero poggia verosimilmente sulle marne infraplioceniche (Trubi) poco permeabili, affioranti in un piccolo lembo più ad Est, ed è in connessione idraulica con l'acquifero sabbioso-ghiaioso pleistocenico. Il grado di permeabilità media per porosità e per fessurazione favorisce una circolazione idrica sotterranea discretamente attiva, che si traduce nell'esistenza di un corpo idrico di potenzialità non trascurabile, seppure limitata dalla continuità dell'acquifero. Condizioni più favorevoli si riscontrano generalmente nelle zone dove l'acquifero riceve alimentazione per travaso dalle metamorfiti e per percolazione dai depositi clastici soprastanti.

6.5.4 Acquifero ghiaioso – sabbioso pleistocenico

L'acquifero delle sabbie e ghiaie di Messina affiora per una discreta estensione tra Pezzo superiore e Acciarelo, a ridosso della fascia costiera, e più all'interno tra Musalà e Campo Piale. In gran parte dell'area è presente al di sotto dei depositi alluvionali recenti e dei terrazzi, con spessori molto diversi in relazione alla quota dei sottostanti terreni dislocati da faglie con diverso rigetto. La variabilità granulometrica comporta continue differenze di permeabilità sia verticale che orizzontale che influiscono sulla circolazione idrica sotterranea, la quale risulta più attiva dove predominano la granulometria grossolana rispetto alle pareti nelle quali predomina la componente sabbioso-siltosa. Nell'acquifero possono riscontrarsi a varia profondità livelli idrici discontinui, di estensione e

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

spessore diverso, assimilabili a falde sospese, la cui temporanea esistenza e produttività dipendono strettamente dall'andamento delle precipitazioni meteoriche. Alla base è presente un corpo idrico relativamente continuo con produttività generalmente modesta ma di interesse locale, sostenuto dall'interfaccia acqua dolce/acqua salata e connesso idraulicamente con i soprastanti depositi alluvionali e costieri.

6.5.5 Acquiferi alluvionali

Gli acquiferi alluvionali presenti sul fondo valle dei corsi d'acqua ed in corrispondenza delle zone costiere rappresentano i principali serbatoi naturali del territorio, in cui sono contenute le risorse idriche di maggiore interesse. Essi sono caratterizzati da permeabilità tendenzialmente alta per porosità, seppure molto variabile in relazione alla granulometria. Sono sede di un'attiva circolazione idrica che comporta il rapido trasferimento delle acque verso la costa. L'alimentazione è rappresentata principalmente dalle piogge dei mesi autunnali e invernali, dal ruscellamento lungo i versanti dei bacini imbriferi e dal deflusso superficiale lungo gli alvei dei corsi d'acqua. Ciò determina l'esistenza all'interno dei depositi di corpi idrici con persistente deflusso in subalveo, seppure variabile nell'arco delle stagioni, con conseguenti fluttuazioni del livello piezometrico. L'importanza delle risorse idriche contenute in questi acquiferi dipende, oltre che dal regime delle precipitazioni meteoriche, dall'estensione dei bacini idrografici dei corsi d'acqua e dal volume dei depositi alluvionali.

6.6 Parametri idrogeologici

Valori di conducibilità idraulica e di trasmissività degli acquiferi sono stati ottenuti mediante prove di emungimento e slug test in pozzi e piezometri accessibili, mentre altri dati sono stati desunti da studi precedenti e confrontati con quelli direttamente acquisiti. Sono stati inoltre considerati i risultati di prove Lefranc effettuate in perforazioni della campagna di indagini geognostiche per il Progetto Definitivo, con le limitazioni imposte dalla metodologia.

La determinazione dei valori di trasmissività degli acquiferi principali è stata effettuata mediante Prove di emungimento a portata costante sono state eseguite su alcuni pozzi comunali che intercettano l'acquifero alluvionale e su pozzi privati perforati nell'acquifero delle ghiaie e sabbie di Messina (vedi Allegati).

L'assenza a distanza utile dal pozzo di prova di pozzi o sondaggi da utilizzare come piezometri per la misura degli abbassamenti ha costretto ad adottare il metodo di prova su pozzo singolo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

misurando i valori di abbassamento in regime transitorio nel pozzo utilizzato.

Le prove, eseguite misurando la depressione del livello statico educendo una portata costante di valore tale da indurre basse depressioni, hanno permesso di calcolare con sufficiente approssimazione valori della trasmissività e valutare la conducibilità idraulica dallo spessore dell'acquifero. Misure sono state anche effettuate in fase di risalita del livello idrico a fine prova.

I dati ottenuti sono stati interpretati con la formula di approssimazione logaritmica di Jacob (1950) e Cooper-Jacob (1946):

$$\Delta hp = \frac{0,183Q}{T} \cdot \log \cdot \frac{2,25Tt}{r^2 S}$$

da cui

$$T = \frac{0.183Q}{C}$$

dove C rappresenta l'accrescimento della depressione (Δhp) in un ciclo logaritmico.

I risultati delle prove di emungimento effettuate su alcuni pozzi più significativi sono riportati in forma grafica in allegato.

Al fine di estendere le informazioni sull'intera area interessata dal progetto, una stima dei valori di trasmissività e di conducibilità idraulica è stata effettuata utilizzando i dati di portata e di depressione stabilizzata, desunti da prove per la messa in produzione di nuove opere o da monitoraggio in pozzi per uso potabile in produzione continuativa. Dai valori di portata specifica, calcolata in base alla depressione del livello idrico corrispondente ad un basso valore della portata erogata, si sono ricavate correlazioni con la trasmissività in condizioni di regime stazionario, basate sull'equazione di Thiem e considerando le successive espressioni semplificatrici di Dupuit e di Jacob, come riportato nella letteratura specialistica (Castany, 1967; Custodio e Llamas, 1996).

I dati ottenuti con il predetto metodo sono stati confrontati con quelli determinati mediante le prove di emungimento effettuate, utilizzando la relazione di correlazione statistica per i due diversi acquiferi (Pollak, 1967; Huntley et al., 1992), rilevando una buona concordanza di valori.

Si è potuto così ottenere un quadro sufficientemente indicativo dei parametri idrogeologici dei principali acquiferi dell'area considerata.

I valori di trasmissività degli acquiferi alluvionali, ottenuti dalle prove di emungimento sui pozzi utilizzati, risultano variare tra $1,08 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ e $1,32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ dai quali si desumono valori della conducibilità idraulica variabili tra $1,27 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ e $2,54 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. Considerando anche i dati ricavati dalle stime su un numero maggiore di casi i valori variano tra $3,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ e $5,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, dai quali si desumono valori della conducibilità idraulica variabili tra $2,2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ e $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ in relazione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

alla composizione e allo spessore dei depositi.

Nel caso delle ghiaie e sabbie di Messina i dati di trasmissività ottenuti dalle prove di emungimento risultano mediamente di $2,30 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ al quale può essere correlato un valore della conducibilità idraulica di $2,01 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$, mentre considerando le stime si ha mediamente un valore di trasmissività di $3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ al quale può essere correlato un valore della conducibilità idraulica di $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$. I test idraulici eseguiti durante la campagna di sondaggi per il Progetto Definitivo hanno invece restituito valori della conducibilità idraulica inferiori, dell'ordine degli $1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$. Per tutti gli altri acquiferi porosi, nei quali non si è riscontrata la presenza di un corpo idrico produttivo, indicazioni sulla conducibilità idraulica sono stati stimati in base ad esperienze effettuate in zone esterne all'area studiata.

Si è potuto così ottenere un quadro sufficientemente indicativo delle caratteristiche idrogeologiche dei principali acquiferi presenti nell'area considerata.

Per tutti gli altri acquiferi, dove non si ha alcun dato derivante da prove di emungimento, si possono soltanto avere indicazioni sulla trasmissività e sulla conducibilità idraulica dalla portata specifica di alcuni pozzi.

Dai dati ottenuti emerge una certa variabilità tra la zona collinare e quella costiera, come anche tra le idrostrutture del versante ionico e di quello tirrenico, imputabile alle modalità di deposizione dei materiali ed in parte alla litologia prevalente nelle aree di provenienza di questi ultimi.

In linea generale, valori più elevati si hanno mediamente in corrispondenza delle piane costiere dove i depositi si sono formati con il contributo dei corsi d'acqua i cui bacini idrografici hanno estensione diversa, nei quali predominano terreni cristallini o sedimentari.

6.7 Condizioni idrodinamiche

Le curve isopiezometriche, ricostruite mediante i dati di livello idrico rilevati nel corso del censimento dei punti d'acqua, indicano direzioni di deflusso sotterraneo da Est verso Ovest nel versante ionico prospiciente lo Stretto e da Sud verso Nord nel versante tirrenico, analogamente ai deflussi superficiali.

La circolazione idrica sotterranea è particolarmente attiva nei depositi alluvionali e più ridotta nei sedimenti ghiaioso-sabbiosi pleistocenici, mentre in tutti gli altri complessi idrogeologici essa risulta ancora più ridotta e frazionata, tranne nelle zone tettonicamente disturbate e particolarmente lungo le principali linee di faglia.

Le direzioni di deflusso delle acque sotterranee si identificano generalmente con gli assi delle valli dei piccoli corsi d'acqua dove si hanno spessori più consistenti di depositi alluvionali.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

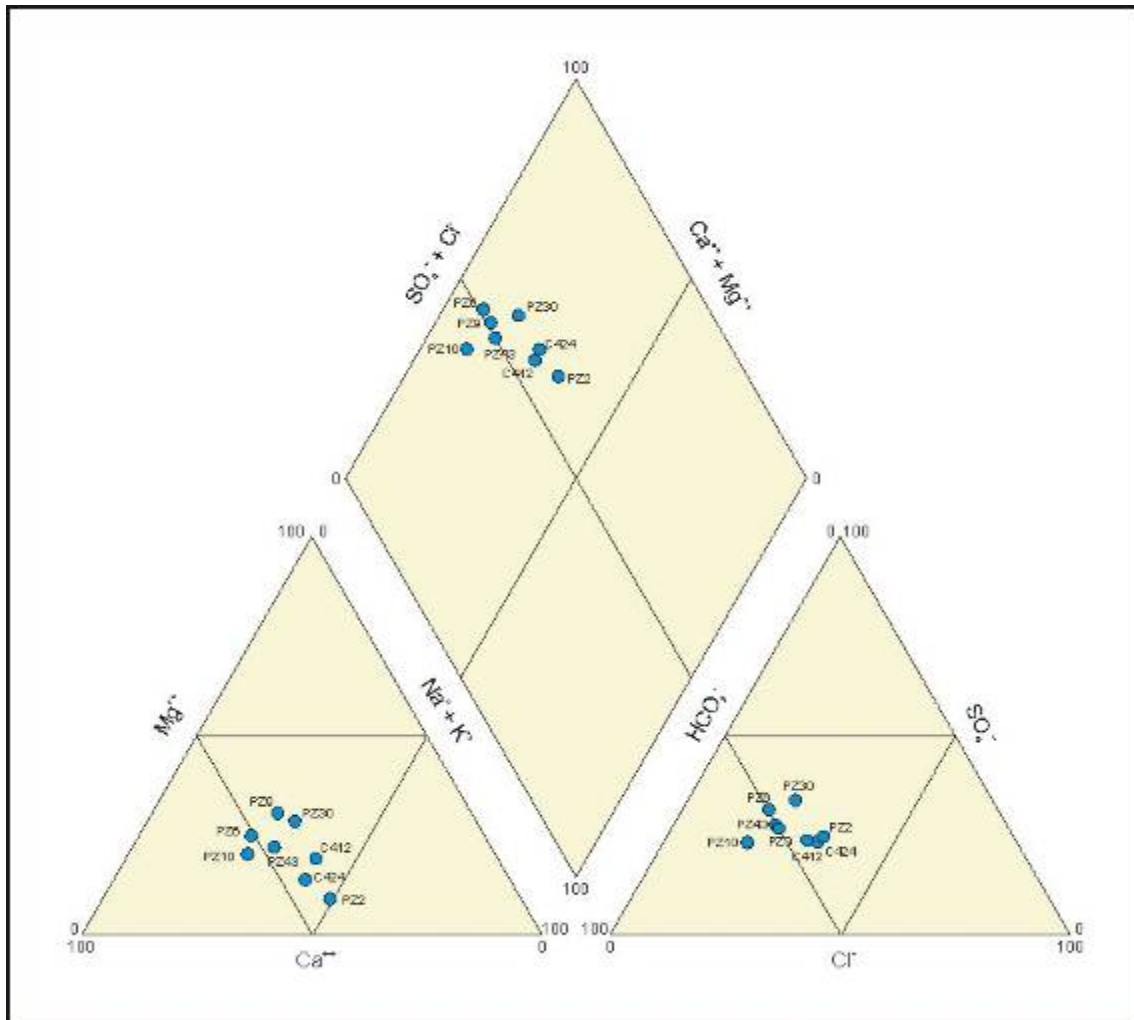
I corpi idrici contenuti in tali depositi sono di tipo libero, con comportamento influenzato dalle variazioni granulometriche dei depositi e dalle modalità di alimentazione. In base ai dati di precedenti studi, la piezometria mostra mediamente variazioni stagionali limitate fra il periodo asciutto e quello piovoso in corrispondenza dei tratti montani, mentre queste sono di poco più accentuate allo sbocco dei corsi d'acqua nelle piane costiere, data la scarsa incidenza dei prelievi esistenti. I valori del gradiente idraulico sono generalmente alti a monte (2-4‰) e tendono a diminuire procedendo verso valle fino a meno dell'1‰.

6.8 Caratteristiche chimico – fisiche delle acque sotterranee

Le caratteristiche chimico-fisiche delle acque sotterranee sono state verificate mediante le determinazioni in campo di temperatura, pH e conducibilità elettrica, eseguite durante il censimento dei punti d'acqua, e mediante analisi di laboratorio su alcuni campioni prelevati da pozzi e piezometri, sempre nel corso della recente campagna di indagini. Le determinazioni hanno riguardato i principali parametri che permettono la determinazione della facies idrochimica delle acque, oltre ad alcuni parametri indicativi di processi naturali o antropici. Dato il limitato numero di campioni che è stato possibile prelevare, si è fatta una correlazione con dati precedenti, riscontrando una sufficiente coerenza con i dati dei campioni d'acqua prelevati negli stessi acquiferi.

I risultati delle determinazioni in campo e delle analisi di laboratorio sono riportati nella tabella e nelle schede allegate alla presente relazione.

In linea generale si rileva una certa omogeneità di composizione delle acque campionate, potendo riferire la maggior parte di esse alla facies solfato calcica, con tendenza verso la facies bicarbonato calcica. Un solo campione (PZ10) mostra una decisa appartenenza al secondo tipo, mentre in tutti gli altri i solfati raggiungono valori circa il doppio rispetto al campione anzidetto.



Il gruppo più numeroso di campioni presenta valori di salinità totale, più frequenti tra 600 e circa 800 mg/l, anche se in alcuni il valore si dimezza e fra questi rientrano i due campioni sopra evidenziati. La correlazione con la conducibilità elettrica esalta ancor più queste differenze che tuttavia trovano riscontro nel contenuto dei parametri dominanti. I punti di prelievo ricadono in zone diverse, sia in vicinanza della costa, sia nell'entroterra. Il contenuto in cloruri e in solfati dei campioni prelevati in prossimità della costa hanno rivelato valori più alti, che risultano tuttavia più contenuti rispetto ai valori accertati nel passato quando l'effetto dell'intrusione salina nell'acquifero alluvionale e ghiaioso sabbioso era più accentuato a causa dei più consistenti e continui prelievi da questi acquiferi.

Due campioni prelevati nella zona di Piale hanno mostrato un contenuto di Ferro totale e di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Manganese particolarmente elevato, correlabile probabilmente ai depositi conglomeratici con frequenti clasti di rocce cristalline alterate. Un contenuto elevato dei due parametri si riscontra anche in un pozzo dell'area industriale ricadente nell'estrema parte meridionale dell'area.

Per quanto concerne la valutazione della qualità delle acque sotterranee dell'area in relazione agli usi a cui possono essere destinate, sia nella loro condizione naturale sia a seguito di opportuni trattamenti, è stata utilizzata la metodologia di classificazione proposta da Civita et al. (1993). Utilizzando lo schema della tabella seguente sono state riconosciute diverse classi di qualità e la loro presenza nelle varie zone del territorio.

In base a tale classificazione le acque campionate sono generalmente di qualità media (B1 B2), ad eccezione di alcuni campioni in cui i valori di parametri, quali Ferro totale, Manganese e Nitrati, presentano valori particolarmente alti. In questi casi si evidenzia una qualità scadente delle acque, presumibilmente per condizioni naturali ed in parte per cause antropiche, risultando esse appartenere alla classe B1 C2, per eccedenza del Ferro e dell'Ammoniaca, alla classe C1 B2 per eccedenza di Nitrati e alla classe C1 C2 per eccedenza di Ferro, Manganese e Ammoniaca.

Schema di classificazione della qualità delle acque sotterranee (da CIVITA et al., 1993)

		Gruppo Parametri							
		1 (chimico-fisici)					2 (sostanze indesiderabili)		
Giudizio	Classe	TH °F	C.E.S. µScm-1	SO4 mg/l	Cl mg/l	NO3 Mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	NH4 mg/l
Ottimale	A	15+÷30*	<1000*	<50**	<50	<10*	<0,05	<0,02	<0,05
Media	B	30*÷50	1000÷2000*	50**÷250	50÷200	10*÷50	0,05÷0,2	0,02÷0,05	0,05÷0,5
Scadente	C	>50	>2000	>250	>200	>50	>0,2	>0,05	>0,5
Note: +) valore minimo consigliato; *) valore intermedio tra Concentrazione Massima Ammissibile (CMA) e Valore guida (VG) - D.P.R. 236/88; **) valore doppio rispetto al VG									
Giudizio d'uso									
A	Acqua potabile senza alcun trattamento; idonea a quasi tutti gli usi industriali ed irrigui.								
B	Acqua potabile senza alcun trattamento; alcune limitazioni per gli usi industriali ed irrigui.								
C - Acqua non idonea ad essere utilizzata tal quale per usi potabili e con limitazioni per altri usi:									

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

C1 - da sottoporre a trattamenti specifici;

C2 - da sottoporre a trattamento di ossidazione semplice o spinta.

6.9 Prelievi ed utilizzazioni

Le acque utilizzate per scopo potabile dai comuni dell'area provengono tutte da sorgenti captate sui rilievi di terreni cristallini al di fuori dell'area studiata, tranne un solo pozzo, utilizzato in casi di emergenza dal Comune di Campo Calabro, ubicato in località Valle degli Ammalati, subito a Sud del limite dell'area di indagine.

Le risorse idriche del territorio sono utilizzate per scopi irrigui e industriali mediante pozzi ubicati nelle zone costiere e sul fondo valle dei corsi d'acqua.

Si tratta di pozzi, in parte scavati a largo diametro (1-3 m) e più frequentemente perforati, di profondità variabile da pochi metri nel primo caso ad alcune decine di metri per le perforazioni. Queste interessano gli acquiferi alluvionali per alcune decine di metri e alcuni si spingono a maggiore profondità captando le acque di acquiferi sottostanti. Si tratta spesso di pozzi incompleti, in quanto non raggiungono un terreno impermeabile.

Le portate prelevate dagli acquiferi alluvionali sono generalmente di qualche l/s con rare eccezioni in dipendenza non soltanto della locale produttività dell'acquifero ma anche della profondità delle opere e delle esigenze dei fondi coltivati, la cui variabilità dipende anche dalle condizioni climatiche dell'annata. L'esercizio di questi pozzi è generalmente limitato alla stagione asciutta per alcune ore al giorno.

Il volume complessivo di risorse prelevate annualmente dagli acquiferi è quindi compatibile con il volume di risorse rinnovabili derivante dal calcolo dell'infiltrazione efficace nelle aree di alimentazione. Nelle zone costiere questi prelievi influenzano tuttavia l'equilibrio tra acque dolci e acque salate per variazioni del carico idraulico dei corpi idrici in considerazione della variabilità delle precipitazioni meteoriche nei diversi anni, con conseguenti effetti di ingressione del cuneo salino, che in passato si sono rivelati molto incidente sulla qualità delle acque utilizzate.

6.10 Monitoraggio piezometrico

Nel corso della campagna di indagini eseguita nel periodo aprile – febbraio 2010 ("Studi di base" lato Calabria) sono stati installati una serie di piezometri, a tubo aperto e con celle tipo Casagrande, all'interno delle verticali di sondaggio previste. La strumentazione installata è operativa per il controllo della piezometrica ante-operam e pertanto dell'assetto idrogeologico che

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

verrà incontrato lungo le gallerie autostradali e ferroviarie.

Per quanto riguarda la ricostruzione dei livelli piezometrici attesi in corrispondenza delle opere si è presa come riferimento la carta delle isopieze riportata negli elaborati a cura del Prof. Ferrara. Questa piezometria è stata ricostruita utilizzando i livelli d'acqua registrati nei pozzi censiti (vedi schede censimento) e corrisponde ad un livello mediato su rilievi eseguiti nei mesi di aprile maggio e giugno 2010. Tale riferimento piezometrico è stato utilizzato anche come riferimento di calibrazione nelle simulazioni numeriche di seguito illustrate.

Poiché il dato di calibrazione piezometrico rappresenta un dato essenziale nelle ricostruzioni modellistiche e dal momento che la carta delle isopieze utilizzata mediava dati su tre mesi è stata eseguita una accurata verifica della sua validità in funzione dei dati piezometrici raccolti da Eurolink nei mesi di ottobre, novembre, dicembre 2010, gennaio e febbraio 2011. Tale verifica aveva il duplice scopo da un lato di valutare se nella zona di interesse le oscillazioni della superficie di falda sono di entità consistente o meno, dall'altro di valutare se i livelli d'acqua indicati dalla ricostruzione della superficie di falda corrispondano o meno a quelli osservati nei piezometri.

Per quanto attiene al primo aspetto (oscillazioni della falda) i dati dei piezometri indicano che le oscillazioni piezometriche non sono consistenti; esse sono perlopiù circoscritte nell'ordine dei 50cm (almeno per il periodo in cui i dati sono disponibili) che, se confrontate con i forti gradienti idraulici della falda in questo settore (dell'ordine del 15%), possono essere considerate del tutto trascurabili ai fini della modellizzazione numerica.

Per quanto attiene al secondo aspetto (corrispondenza tra ricostruzione della falda e dati piezometrici) si osserva in linea generale una buona corrispondenza, con scarti perlopiù dell'ordine di 1 o 2 metri, ancora una volta ampiamente tollerabili ai fini della modellizzazione se si considerano i forti gradienti della falda. Alcuni dati piezometrici, concentrati perlopiù all'estremità est dell'area di progetto e ben al di fuori del settore in cui sono state eseguite le modellizzazioni numeriche, mostrano scarti piuttosto forti rispetto alla ricostruzione della piezometria. Si tratta dei piezometri C427, C429, C432 e C435. Anomalo risulta invece il dato del piezometro C401, unico piezometro nella zona degli imbocchi delle gallerie a restituire un valore piezometrico molto elevato rispetto alla superficie di falda ricostruita. Tale dato non può tuttavia essere ragionevolmente correlato con quelli dei piezometri adiacenti e pertanto è da ritenersi indicativo di una situazione locale o di un malfunzionamento della cella Casagrande.

Pertanto solo nella zona est dell'area di interesse la ricostruzione della superficie piezometrica è da ritenersi imprecisa mentre nel resto dell'area (rilevante ai fini della modellizzazione numerica) la ricostruzione è da ritenersi affidabile.

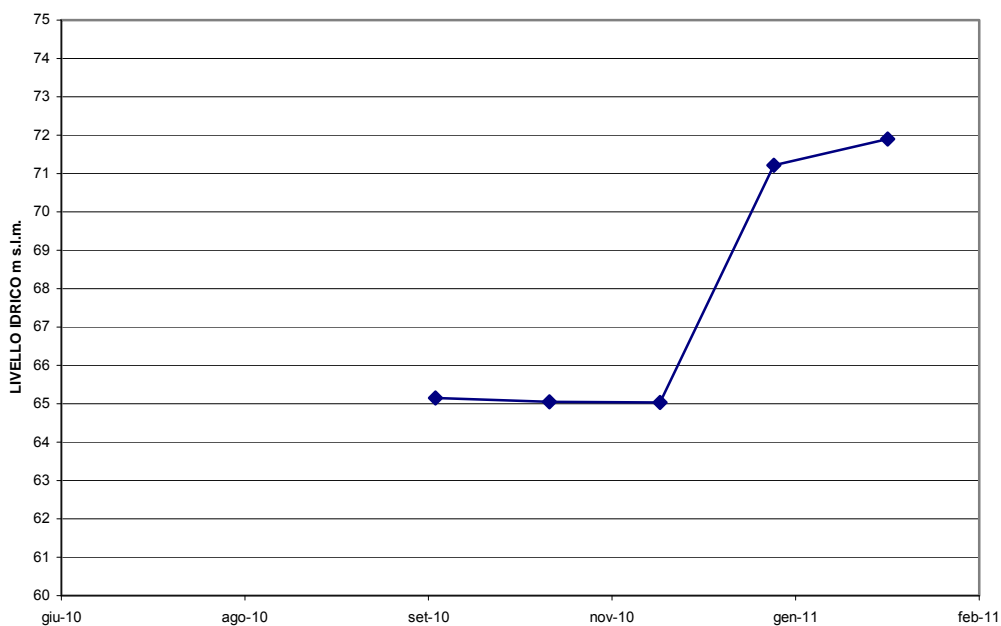
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Di seguito si riportano l'ultima lettura piezometrica disponibile alla data del 16/02/2011.

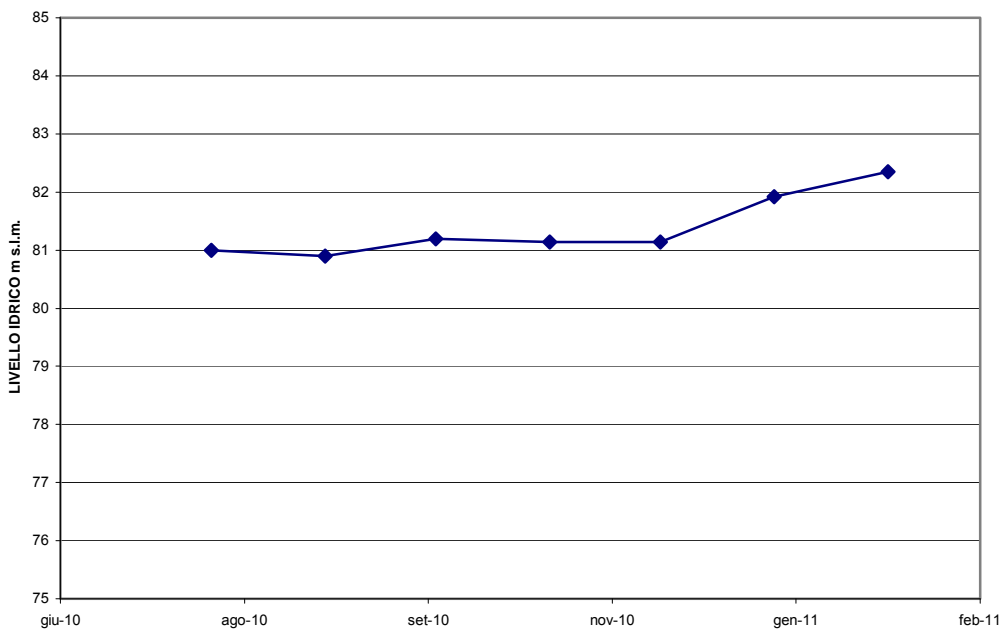
Sondaggio	Piezometro	Profondità (m)	Livello falda da p.c.
C401	Casagrande	60	-8.25
C404	Casagrande	30	-17.40
C405	Casagrande	45	-26.16
C406	Casagrande	50	-4.69
C407	Casagrande	65	-17.27
C408	Tubo aperto	60	-8.27
C410	Casagrande	35	assente
C411	Casagrande	35	-20.34
C412	Tubo aperto	70	-30.43
C414	Tubo aperto	25	assente
C424	Tubo aperto	31	-14.48
C425	Casagrande	29.9	-23.45
C427	Tubo aperto	40	-13.69
C428	Tubo aperto	60	-13.36
C429	Casagrande	40	-4.58
C432	Casagrande	40	-19.08
C434	Casagrande	35	-10.50
C435	Tubo aperto	40	-13.66

Di seguito si riportano inoltre, i grafici relativi ai singoli piezometri al fine di valutare la variazione della piezometrica nel periodo agosto 2010 – febbraio 2011.

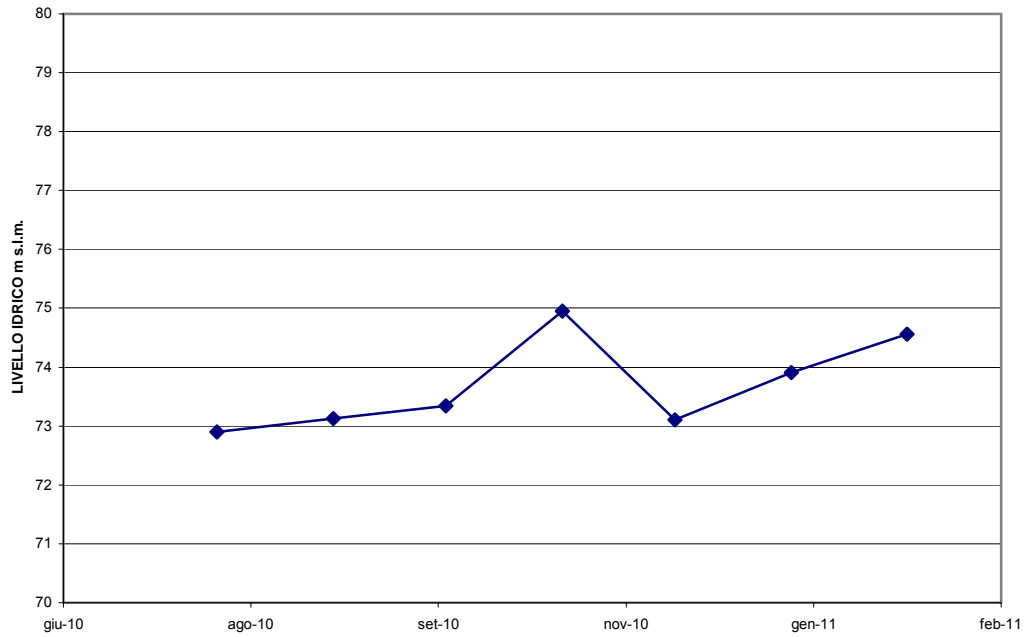
PIEZOMETRO (Tubo aperto) C401



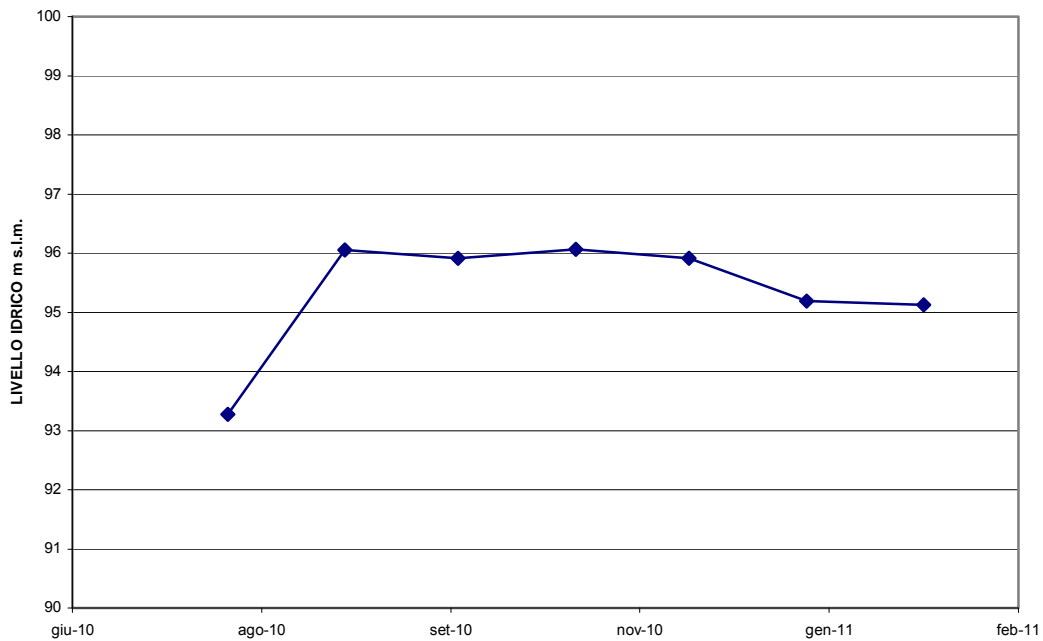
PIEZOMETRO (Casagrande) C404



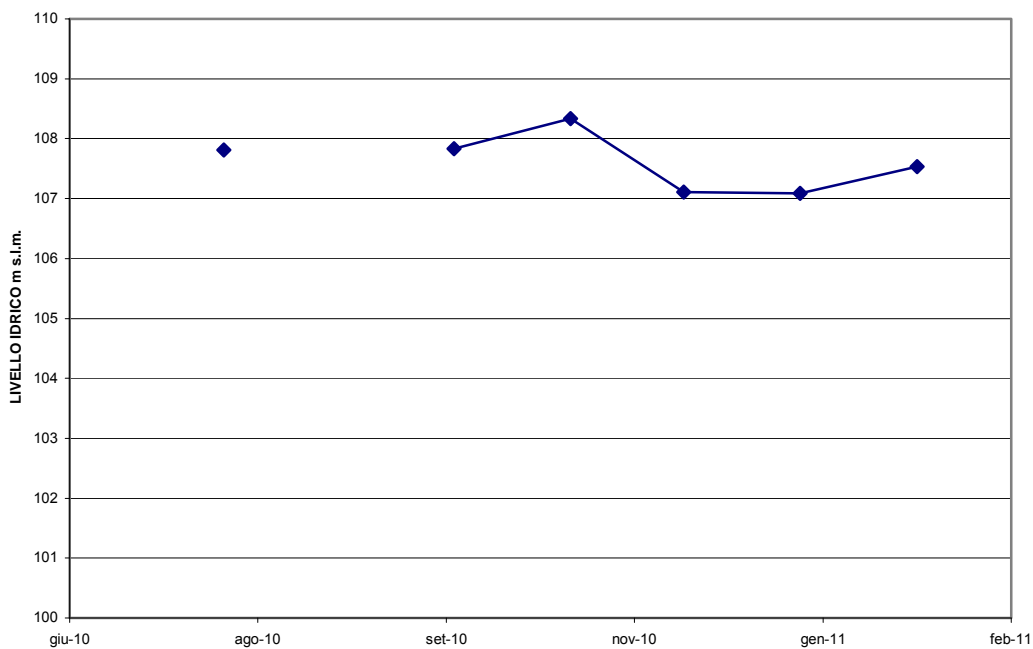
PIEZOMETRO (Casagrande) C405



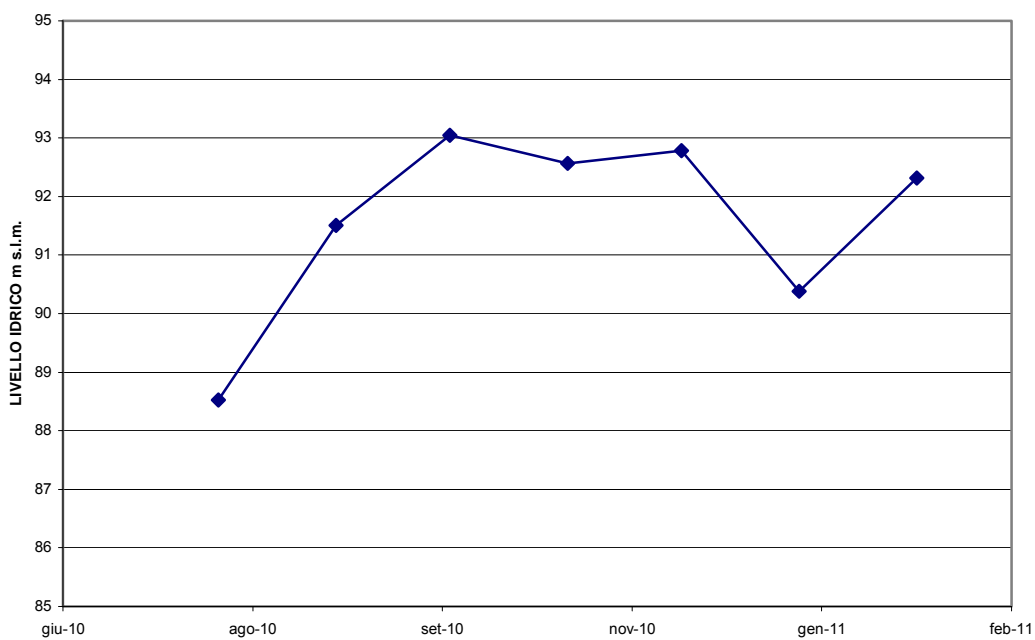
PIEZOMETRO (Casagrande) C406



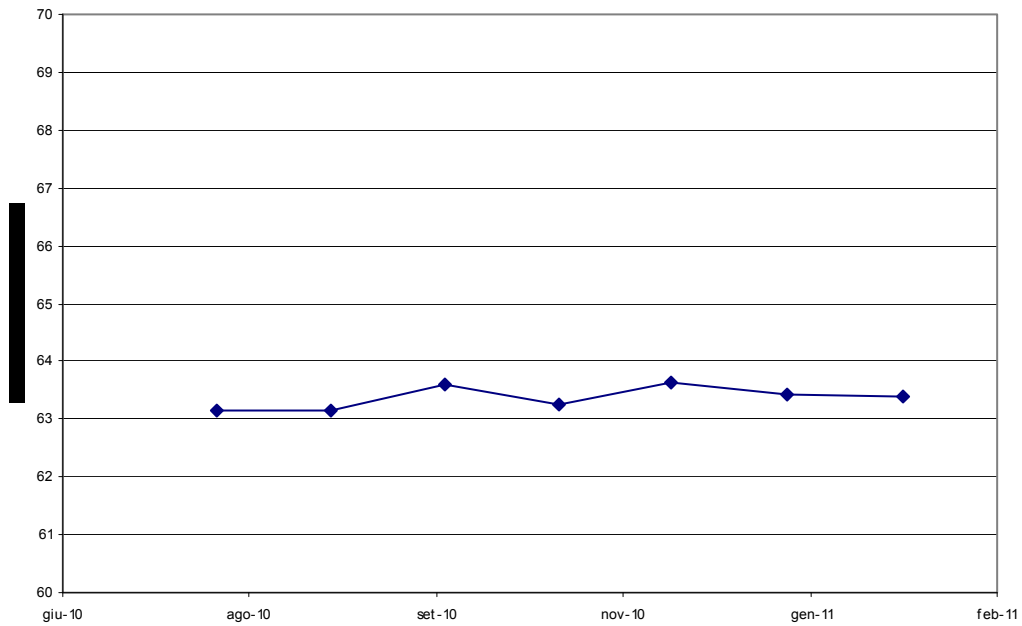
PIEZOMETRO (Casagrande) C407



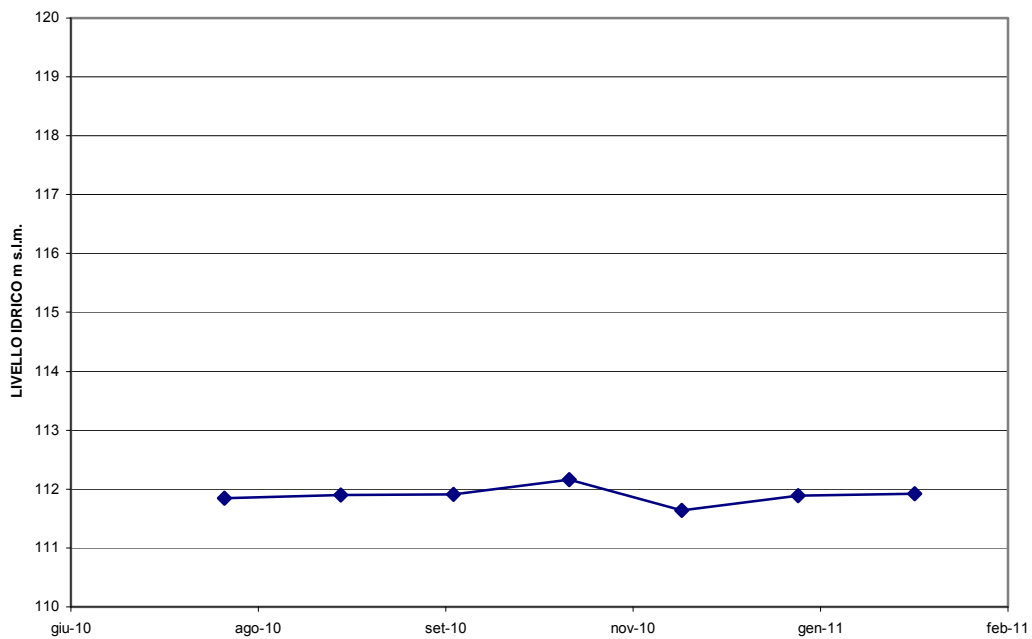
PIEZOMETRO (Tubo aperto) C408



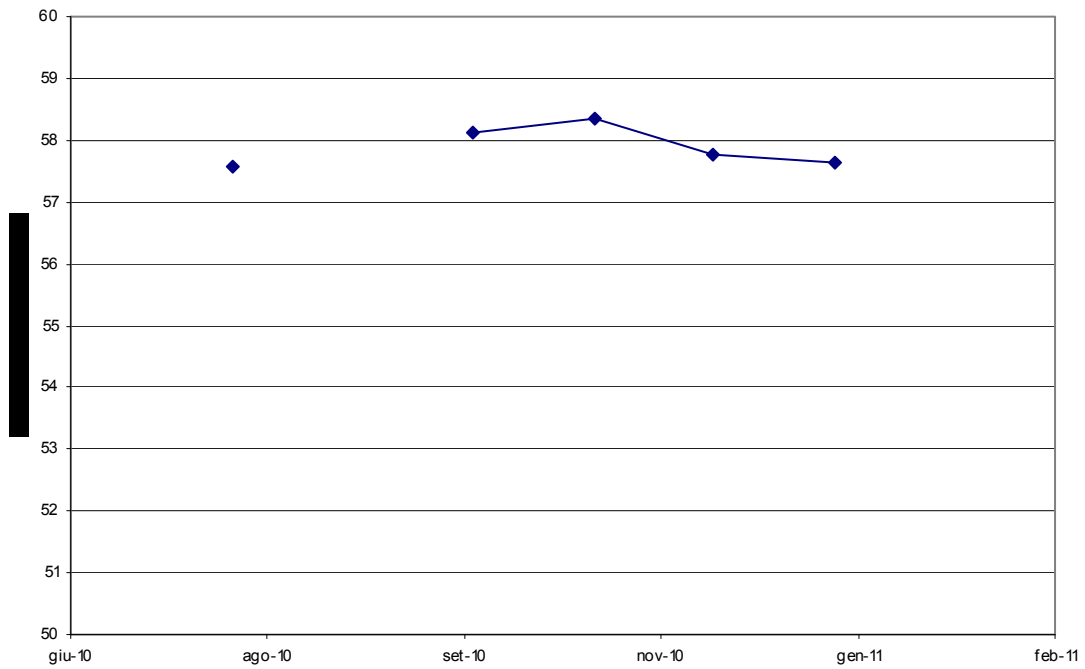
PIEZOMETRO (Casagrande) C411



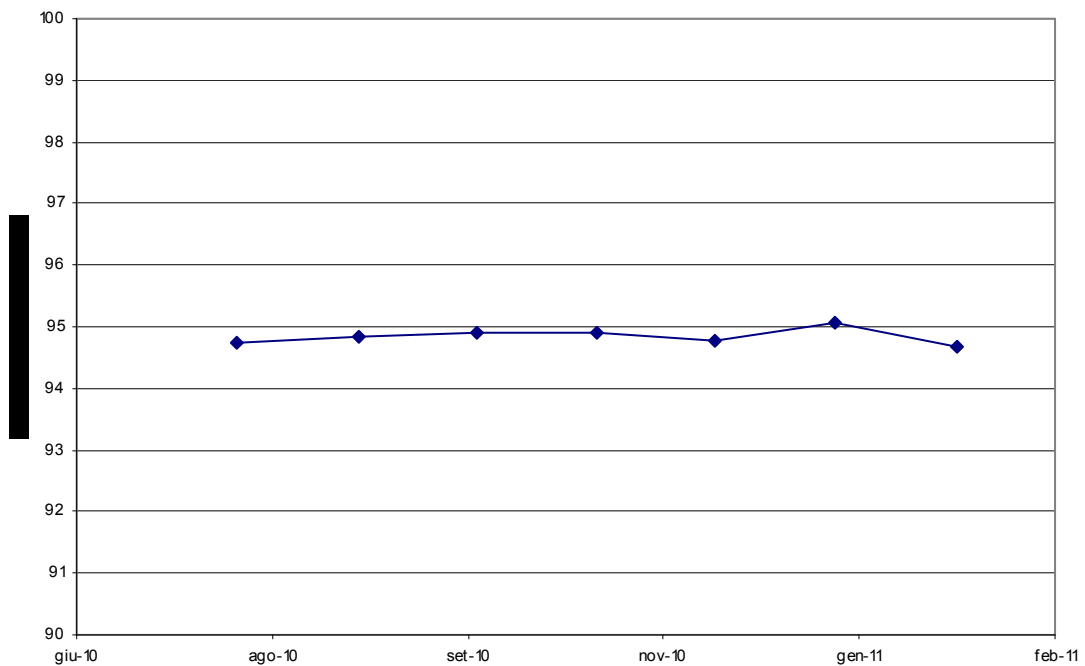
PIEZOMETRO (Tubo aperto) C412



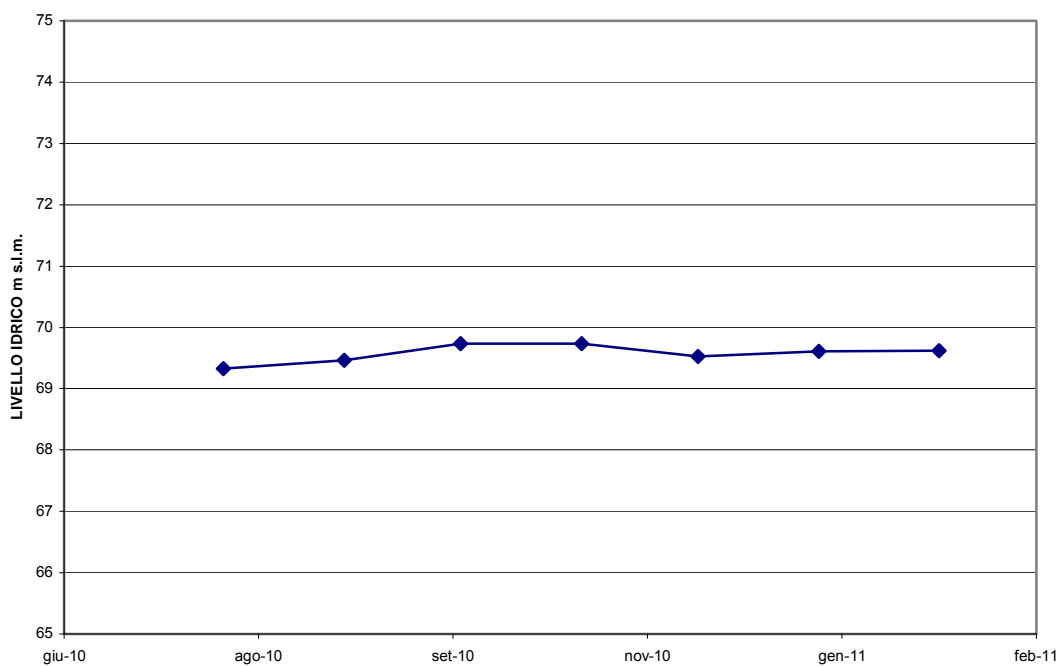
PIEZOMETRO (Tubo aperto) C414



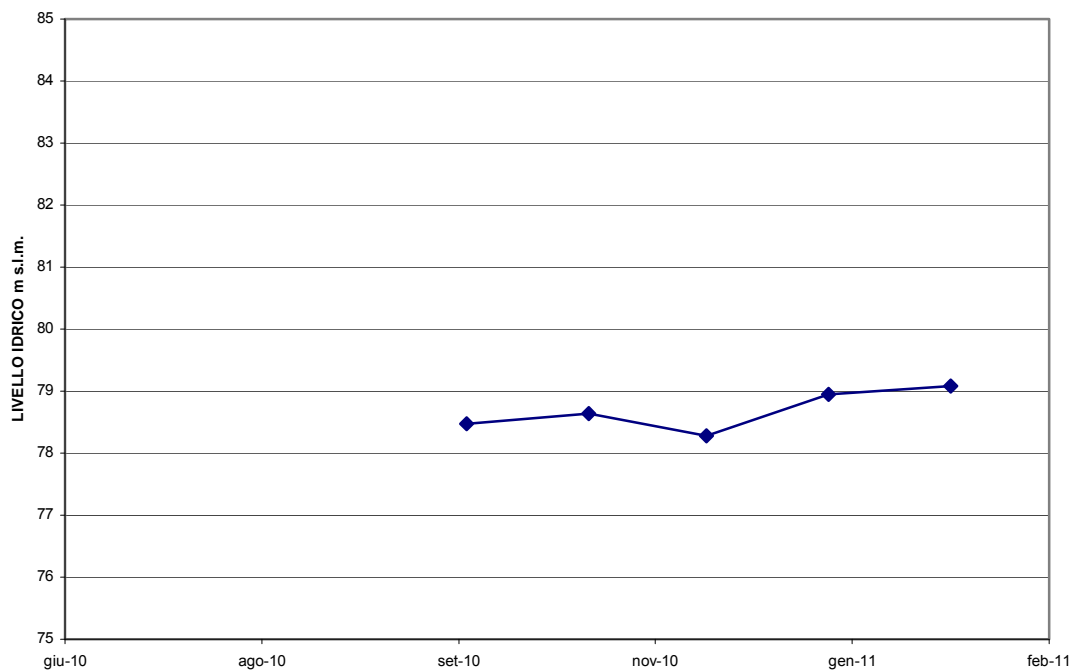
PIEZOMETRO (Tubo aperto) C424



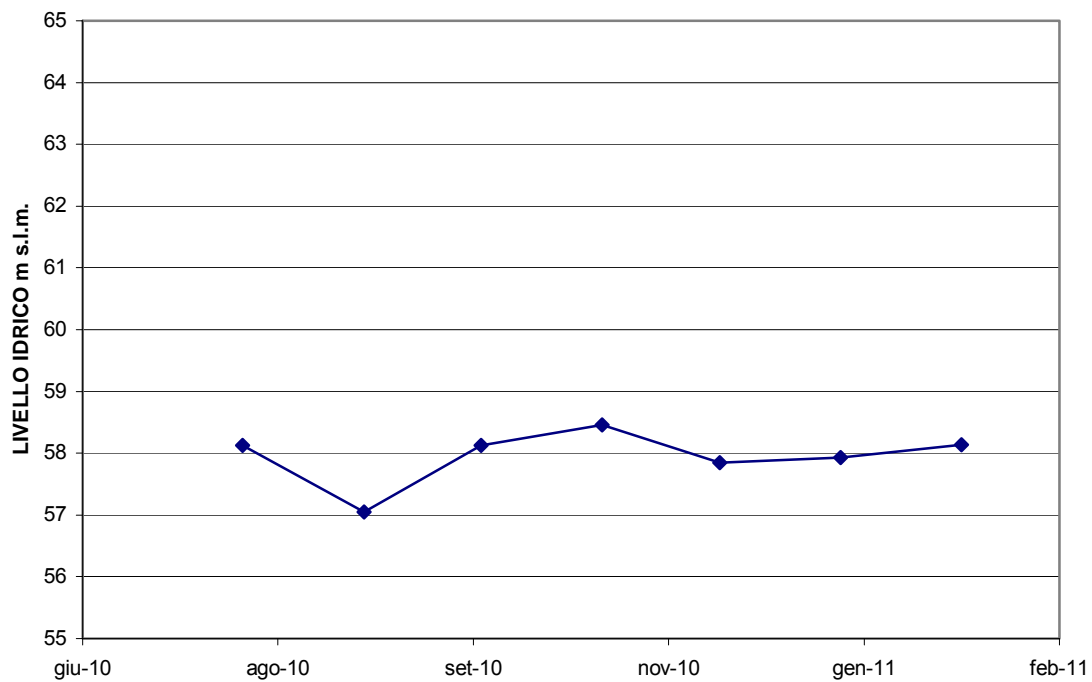
PIEZOMETRO (Casagrande) C425



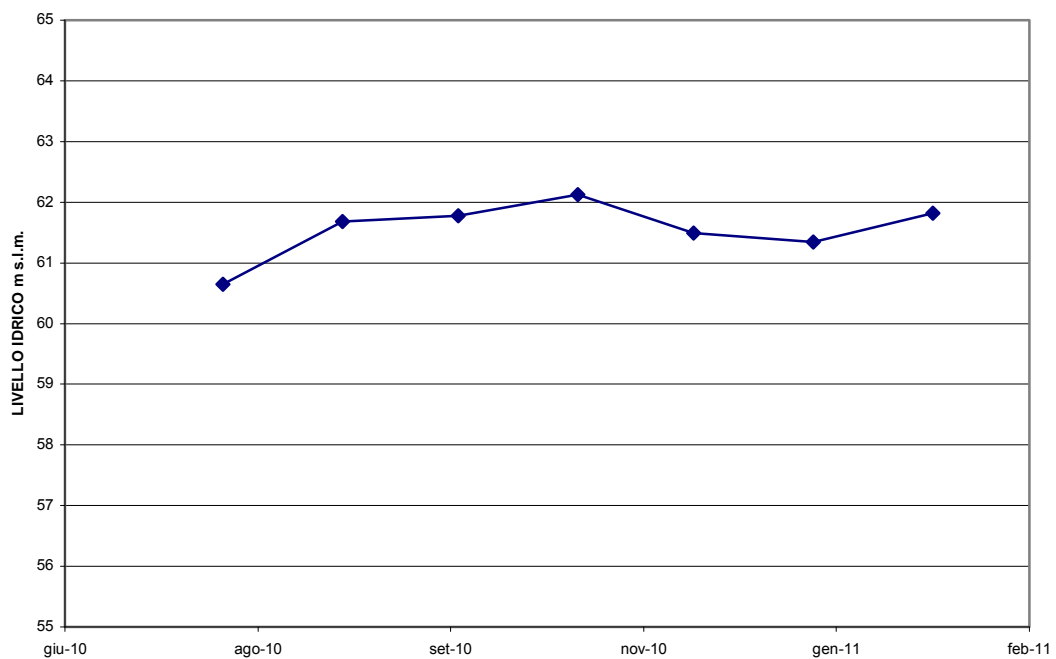
PIEZOMETRO (Tubo aperto) C427



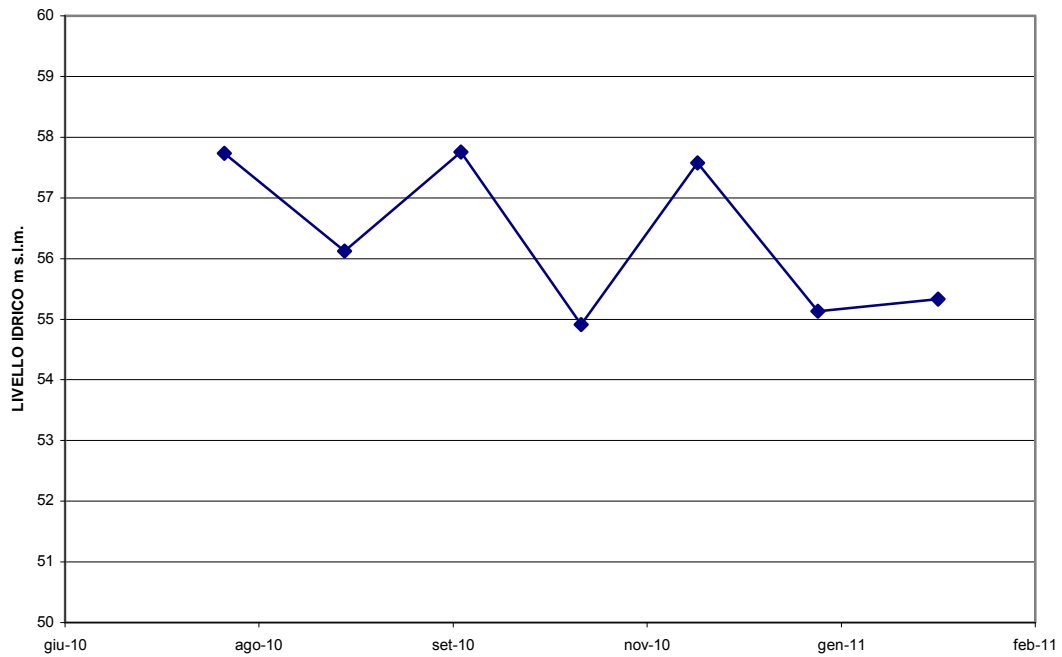
PIEZOMETRO (Tubo aperto) C428



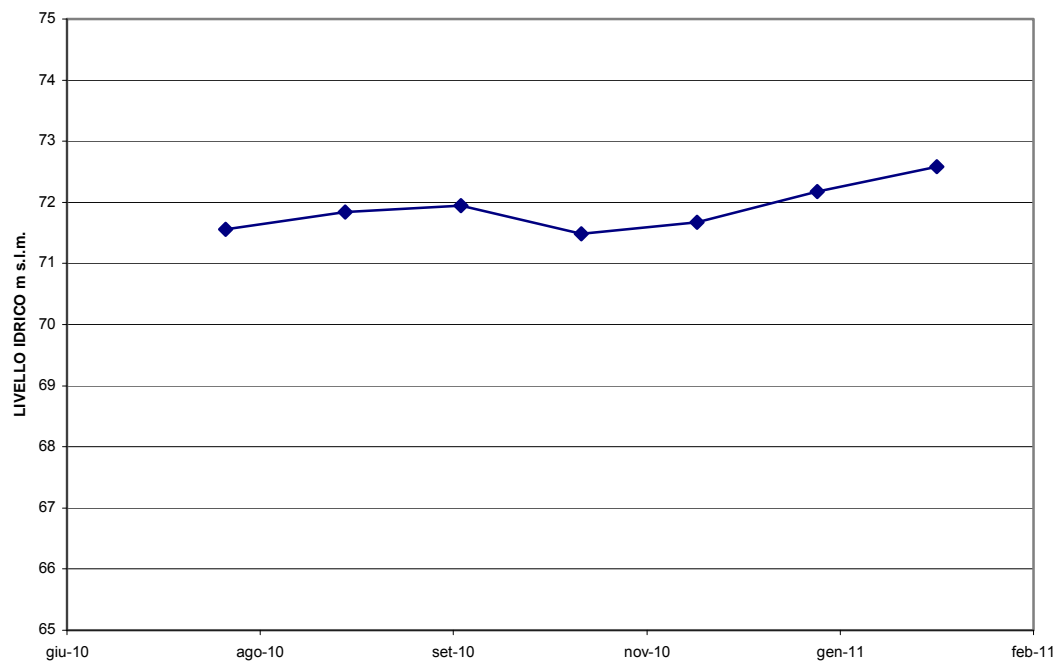
PIEZOMETRO (Casagrande) C429



PIEZOMETRO (Casagrande) C432

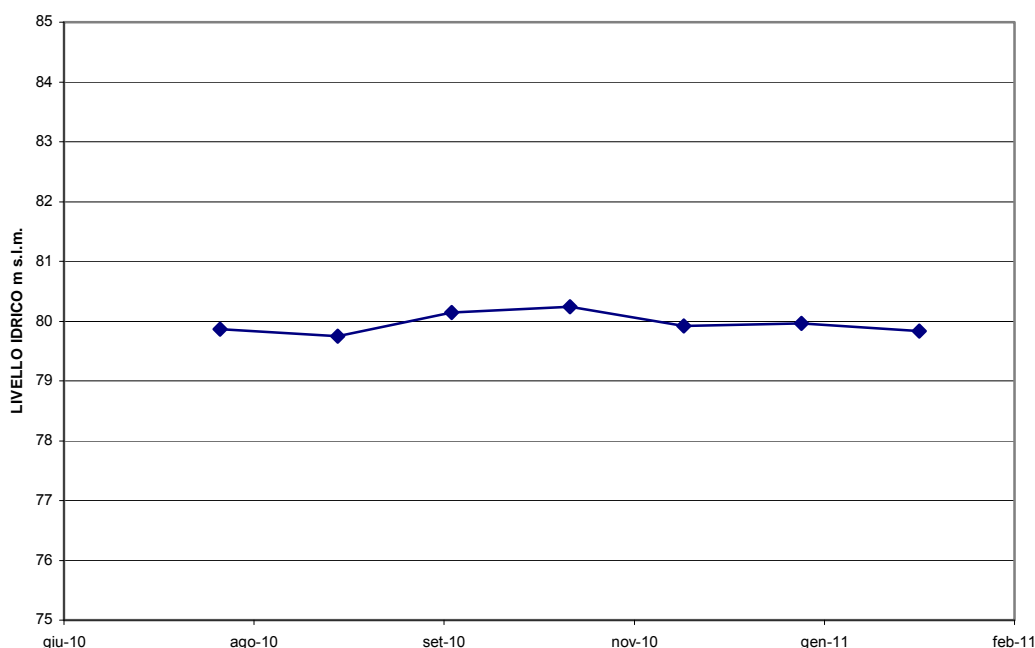


PIEZOMETRO (Casagrande) C434



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE	
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

PIEZOMETRO (Tubo aperto) C435



I singoli grafici non evidenziano variazioni significative della piezometrica, al massimo di pochi metri nel periodo considerato. Occorre inoltre precisare, che il periodo esaminato, purtroppo non è del tutto rappresentativo, in quanto non riporta un intero ciclo annuale.

I dati dei piezometri indicano che le oscillazioni piezometriche non sono consistenti; esse sono perlopiù circoscritte nell'ordine dei 50cm (almeno per il periodo in cui i dati sono disponibili).

Si osserva, in linea generale, una buona corrispondenza, tra ricostruzione della falda e dati piezometrici, con scarti dell'ordine di 1 o 2 metri. Alcuni dati piezometrici, concentrati all'estremità est dell'area di progetto, mostrano scarti piuttosto forti rispetto alla ricostruzione della piezometria. Si tratta dei piezometri C427, C429, C432 e C435. Anomalo risulta invece il dato del piezometro C401, unico piezometro nella zona degli imbocchi delle gallerie, a restituire un valore piezometrico molto elevato rispetto alla superficie di falda ricostruita. Tale dato non può tuttavia essere ragionevolmente correlato con quelli dei piezometri adiacenti e pertanto è da ritenersi indicativo di una situazione locale o di un malfunzionamento della cella Casagrande.

Pertanto, solo nella zona est dell'area di interesse, la ricostruzione della superficie piezometrica è da ritenersi imprecisa, mentre nel resto dell'area, la ricostruzione è da ritenersi affidabile.

In merito al rischio che, a seguito dell'intercettazione delle falde sotterranee ad opera dello scavo delle gallerie, si possano generare fenomeni di subsidenza connessi all'abbattimento della

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

piezometrica ed ai successivi fenomeni di consolidazione, nell'ambito del progetto definitivo delle gallerie, si sono condotte specifiche analisi volte a valutare l'ampiezza dei bacini di subsidenza in funzione dei valori di ricoprimento in calotta galleria, considerate le caratteristiche dei terreni e delle formazioni attraversate; è stato così possibile valutare le fasce di territori, al contorno dell'impronta della galleria, interessate dal fenomeno. Si è poi stimata l'entità dei cedimenti attraverso formulazioni empiriche, in funzione del "volume perso allo scavo"; al riguardo è stata condotta una analisi parametrica impiegando diversi valori del volume perso, nell'ottica di una analisi di rischio. Allo scenario caratterizzato dai volumi persi superiori, sono associabili anche gli eventuali fenomeni di subsidenza indotti dall'azione di drenaggio delle gallerie. Una volta determinato il valore dei cedimenti e la loro distribuzione si sono valutate le classi di danno associate, individuando quindi le interazioni tra gli scavi e le preesistenze in superficie. Per un approfondimento della tematica e per i risultati delle analisi si rimanda alle specifiche relazioni di calcolo.

6.11 Modello concettuale degli Acquiferi

Gli acquiferi alluvionali presenti sul fondo delle valli che incidono i versanti settentrionale ed occidentale dell'area considerata sono generalmente assimilabili a sistemi monostrato, sede di corpi idrici di tipo libero, spesso connessi idraulicamente con i corsi d'acqua. La loro alimentazione deriva in parte dall'infiltrazione diretta delle precipitazioni sull'area di affioramento dei depositi, in parte dall'infiltrazione delle acque di ruscellamento provenienti dai versanti e in parte da quelle che defluiscono negli alvei.

Nelle zone collinari e costiere gli acquiferi alluvionali sono in diretta connessione idraulica con l'acquifero delle Ghiaie e sabbie di Messina. In generale si ha un unico corpo idrico con direzione di deflusso all'incirca ortogonale alla linea di costa, come evidenziato dall'andamento della superficie piezometrica nei due versanti. Leggere inflessioni delle isolinee individuano gli apporti dalle zone collinari mediante il drenaggio preferenziale lungo gli alvei dei piccoli corsi d'acqua che costituiscono il reticolo idrografico dell'area. Nel versante settentrionale le modalità di deflusso delle acque sotterranee nei depositi alluvionali e di versante sono influenzate dalla maggiore acclività determinata da condizioni strutturali, senza tuttavia modificare sostanzialmente le modalità anzidette.

Alle quote maggiori l'assenza di punti di misura significativi per la ricostruzione della piezometria non ha permesso di definire le condizioni idrodinamiche degli acquiferi, se non in tratti delle colline prospicienti verso la costa dove si è potuto disporre di livelli idrici misurati in alcune perforazioni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

geognostiche. In linea di massima si può considerare l'esistenza di un deflusso sotterraneo con direzione analoga a quella riscontrata nelle zone costiere, con una diversa direzione di deflusso nella parte più meridionale dell'area, dove questo è diretto verso la valle della fiumara di Catona, esterna all'area in esame.

Va comunque considerato che le condizioni idrogeologiche della zona centro-orientale del territorio, dove prevalgono gli acquiferi costituiti da rocce cristalline e dal conglomerato sabbioso miocenico, possono ritenersi caratterizzate da scarsa circolazione idrica sotterranea che permette l'esistenza di locali livelli idrici contenuti essenzialmente nelle coperture detritiche e di alterazione. Le caratteristiche chimico fisiche delle acque contenute nelle formazioni permeabili del sistema mostrano differenze nel contenuto salino totale in relazione alla presenza di alcuni ioni con valori particolarmente alti. Tali condizioni si evidenziano nelle zone costiere e collinari per commistione con acque salate o acque reflue di centri abitati o di attività produttive, che comportano spesso qualità delle acque non idonee al consumo umano e con limitazioni per gli altri usi.

6.12 Vulnerabilità degli acquiferi

6.12.1 Cenni sulla metodologia

La vulnerabilità intrinseca o naturale degli acquiferi si definisce come la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido od idroveicolato tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo (Civita, 1987).

La vulnerabilità di un corpo idrico sotterraneo è funzione di diversi parametri, tra i quali prevalgono la litologia, la struttura e la geometria del sistema idrogeologico, la natura del suolo e la geometria della copertura, il processo di ricarica-discarda del sistema ed i processi di interazione fisica e geochemica che determinano la qualità naturale dell'acqua sotterranea e la mitigazione di eventuali inquinanti che penetrano il sistema.

Uno dei metodi di valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi è quello parametrico a punteggi e pesi SINTACS (Civita e De Maio, 2000).

L'acronimo deriva dalle denominazioni dei parametri che vengono presi in considerazione, ossia:

- Soggiacenza;
- Infiltrazione efficace;
- Non – saturo (effetto di autodepurazione del);

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Tipologia della copertura;
- Acquifero (caratteristiche idrogeologiche del);
- Conducibilità idraulica dell'acquifero;
- Superficie topografica (acclività della).

Questi parametri sono definiti in base ai dati acquisiti direttamente o desunti da studi precedenti.

La soggiacenza è la profondità della superficie piezometrica misurata rispetto al piano di campagna.

L'infiltrazione efficace si ottiene dal calcolo del bilancio idrogeologico.

L'effetto di autodepurazione del non saturo si valuta dalle caratteristiche idrogeologiche della zona compresa fra la superficie del suolo e la zona satura dell'acquifero.

La tipologia della copertura è data dalla natura dei suoli che ricoprono gli acquiferi.

Le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero sono quelle che regolano i processi che si realizzano all'interno della zona satura dell'acquifero e che dipendono dalla struttura di quest'ultimo.

La conducibilità idraulica rappresenta la capacità di spostamento di un fluido nel mezzo saturo e si determina mediante prove di pompaggio nei pozzi o slug test nei piezometri.

L'acclività della superficie topografica condiziona la velocità di spostamento delle acque superficiali e quindi l'infiltrazione e viene determinata tramite un DEM dell'area da trattare.

Il territorio oggetto di valutazione viene suddiviso in elementi finiti quadrati (EFQ), ovvero secondo una griglia a maglie regolari georeferenziate, con lato delle celle adeguatamente scelto in funzione della disponibilità e qualità dei dati. Ad ogni cella vengono assegnati i punteggi dei sette parametri e per ciascun elemento della griglia si calcolano i pesi relativi, ottenendo l'indice di vulnerabilità.

6.12.2 Valutazione della vulnerabilità

L'applicazione del metodo SINTACS all'area oggetto di studio, analizzata dal punto di vista idrogeologico alla scala 1:5.000, è stata effettuata discretizzando il territorio sotteso dai bacini considerati mediante una griglia a maglie quadrate di 100 m di lato. Ad ogni cella sono stati assegnati i punteggi dei sette parametri previsti dal metodo, realizzando le relative carte tematiche. Per l'analisi e l'elaborazione spaziale la procedura è stata implementata in ambiente GIS.

La soggiacenza è stata determinata mediante confronto tra la carta piezometrica ed il modello digitale del terreno (DTM) derivato da acquisizioni in telerilevamento. Data la scarsa frequenza di punti di accesso alla falda in alcune zone o l'impossibilità di effettuare una corretta correlazione dei dati di livello misurati, il punteggio attribuito riguarda solo una parte delle celle del territorio

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0		<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

discretizzato. Buona parte delle zone costiere e collinari sono state tuttavia valutate, ottenendo punteggi variabili tra 10 e 1 procedendo dalla costa verso le colline, con prevalenza di valori compresi fra 2 e 4.

In base ai valori di piovosità e di temperatura, registrati nelle stazioni pluviometriche disponibili all'interno dell'area e nelle zone limitrofe, l'infiltrazione efficace è stata stimata con il metodo del bilancio idrogeologico trattato nel capitolo 4.3. Ottenuto il valore dell'infiltrazione efficace, l'attribuzione del punteggio per ogni elemento della griglia, secondo gli intervalli definiti dal metodo, ha dato come risultato valori compresi tra 1 e 7, con ampia prevalenza tra 1 e 4.

Per la stima dell'effetto di auto-depurazione determinato dal non-saturo si è fatto riferimento ai dati di pozzi e perforazioni geognostiche a stratigrafia nota, distribuiti nell'area di studio, che interessano a profondità variabile complessi idrogeologici diversi. Sulla base di detta analisi il punteggio attribuito varia tra 3 e 9, con prevalenza dei valori alti (7 - 9).

La valutazione del parametro che esprime l'effetto di attenuazione e riduzione del carico inquinante esercitato dai suoli è stata effettuata tenendo conto della tipologia e spessore dei suoli evidenziati dalle perforazioni, delle caratteristiche della roccia madre e dell'uso del suolo. In base a detta metodologia si è adottato un punteggio compreso tra 5 e 8, con prevalenza di quest'ultimo valore.

Per la valutazione delle caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi si è fatto riferimento ai dati stratigrafici delle perforazioni, utilizzati nel caso del non-saturo, adottando la stessa metodologia di assegnazione dei punteggi in considerazione della natura e della variabilità litologica dei vari complessi. I punteggi attribuiti sono compresi tra 2 e 9, con prevalenza dei valori 8 e 9 nel caso dei complessi sabbioso-calcarenitico e alluvionale, pari a 3 per il complesso calcareo-marnoso e pari a 2 per quello argilloso.

La valutazione del parametro conducibilità idraulica è stata effettuata in base ai dati disponibili, i quali sono stati opportunamente territorializzati al fine di caratterizzare ogni complesso interessato dall'analisi. I punteggi attribuiti variano sostanzialmente tra 4 e 7.

Per la determinazione dei punteggi relativi all'acclività della superficie topografica si è costruita la Carta delle pendenze utilizzando il DTM prima indicato per la soggiacenza. In relazione alla morfologia del territorio i punteggi prevalenti sono quelli medio-bassi, ossia tra 1 e 6.

I punteggi attribuiti ai parametri anzidetti sono stati rivalutati per ogni singola maglia utilizzando le linee di pesi moltiplicatori previsti dal metodo per esaltare l'importanza di alcuni parametri rispetto ad altri in relazione alle differenti condizioni idrogeologiche e di impatto presenti nei diversi settori dell'area studiata. Gli scenari di impatto ottenuti dall'utilizzazione di 2 delle 5 linee di pesi previste dal metodo sono:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- Aree soggette a impatto normale, rappresentate da limitate porzioni di territorio alle quote maggiori, con presenza di aree incolte e con vegetazione spontanea.
- Aree soggette a impatto rilevante, le quali caratterizzano la maggior parte del territorio, principalmente dove si concentrano attività antropiche, quali centri abitati, infrastrutture, servizi a questi connessi e secondariamente aree coltivate con uso di fitofarmaci.

Sommando per ogni cella il prodotto dei punteggi dei sette parametri (laddove definiti) per i relativi pesi si è ottenuto l'indice di vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, i cui valori normalizzati, secondo il rapporto gradi di vulnerabilità/intervalli di punteggio indicato nel metodo, sono stati utilizzati per la redazione della relativa carta tematica. Come si desume chiaramente da quest'ultima, la mancanza di dati relativi al parametro soggiacenza non ha permesso l'applicazione della metodologia SINTACS in tutte quelle maglie dove il suddetto parametro è rimasto indefinito. Pertanto in legenda è stato introdotto il termine "non determinato".

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

7 Bibliografia

- **APAT (2008)** - *Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000*: Foglio 601 Messina-Reggio Calabria **TZORI P.; GHISSETTI F., PEZZINO A. & VEZZANI L.** (1983) "*Carta geologica del bordo occidentale dell'Aspromonte*" Scala 1:50.000, S.EL.CA., Firenze.
- **CORTESE E.**, (1985) "*Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000, Foglio 254 Messina – Reggio Calabria*" ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE.
- **GUARNIERI P., DI STEFANO A., CARBONE S., LENTINI F. & DEL BEN A.** (2004) – "*A multidisciplinary approach to the reconstruction of the Quaternary evolution of the Messina Strait. With Geological map of the Messina Strait, scala 1:25.000*" In Mapping Geology in Italy, Ed. APAT, 45-50.
- **LENTINI F.**, (2000) "*Carta Geologica della Provincia di Messina, scala 1:50.000 e Nota Illustrativa* (a cura di F. LENTINI, S. CARBONE & S. CATALANO), S. EL. CA. Firenze.
- **MARGHETTI M.P. & HUGHES D.O.**, (1968) – "*Carta Geologica della Calabria alla scala 1:25.000 dell'I.G.M., Foglio 254 IV SE Villa San Giovanni*" SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA-CASSA DEL MEZZOGIORNO.
- **AMODIO-MORELLI L., BONARDI G., COLONNA G., DIETRICH D., GIUNTA G., IPPOLITO F., LIGUORI V., LORENZONI S., PAGLIONICO A., PERRONE V., PICCARETTA G., RUSSO M., SCANDONE P., ZANETTIN-LORENZONI E. & ZUPPETTA A.** (1976) - *L'Arco Calabro-peloritano nell'orogene appenninico-maghrebide*" Mem. Soc. Geol. It., 17: 1-60.
- **ATZORI P., & VEZZANI L.**, (1974) "*Lineamenti petrografico-strutturali della catena peloritana*" Geol. Romana, 13, 21-27.
- **ATZORI P.; GHISSETTI F., PEZZINO A. & VEZZANI L.**, (1978) – "*Strutture ed evoluzione geodinamica recente dell'area peloritana (Sicilia nord-orientale)*". Boll. Soc. Geol. It., 97, 31-56.
- **BARRIER P., CRAVATTE J., DECISIS R., LANZAFAME G. & OTT D'EESTEVOU P.**, (1987) - "*Mise ou point stratigraphique sur les relations entre la "couverture calabride Miocene". Doc. Et Trav. IGAL, Paris, 11, 43-53*
- **BERTOLASO G., BOSCHI I., GUIDOBONI E. & VALENSISE G.** Eds (2008) – "*Il Terremoto e il maremoto del 28 Dicembre 1908: analisi sismologica, impatto, prospettive*" INGV-DPC, Roma-Bologna, 813 p.p.
- **BONFIGLIO L. & VIOLATI D.**, (1983) – "*Prima segnalazione di Tirreniano ed evoluzione pleistocenica di Capo Peloro (Sicilia Nord-Orientale)*" Geogr. Fis. Din. Quat. 6, 3-

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA		<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

15.

- **BONFIGLIO L.**, (1991) – “*Correlazioni tra depositi e mammiferi, depositi marini, linee di costa eterrazzi medio e tardo-pleistocenici nella Sicilia orientale*” Il Quaternario. 4, 205-214.
- **CARBONE S., MESSINA A. & LENTINI F.**, (2008) – *Note Illustrative della carta geologica d’Italia alla scala 1:50.000: Foglio 601*. Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico d’Italia. S.EL.CA. Firenze, 170pp
- **CASTANY G.** (1967) – *Traité pratique des eaux souterraines*. Ed. Dunod, Paris.
- **CATALANO S. & CINQUE A.**, (1995) – “*L’evoluzione neotettonica dei peloritani settentrionali(Sicilia nord-orientale): il contributo di una analisi geomorfologica preliminare*” Studi Geol.Camerti, Vol. Spec. 2, 113-123.
- **CATALANO S., DI STEFANO A.** (1997) – “*Sollevamenti e tettonogenesi pleistocenica lungo il margine tirrenico dei Monti Peloritani: integrazione dei dati geomorfologici, strutturali e biostratigrafici*” Il Quaternario, **10** (2), 337-342.
- **CATALANO S., DE GUIDI G., MONACO C., TORTORICI G. & TORTORICI L.** (2003) “*Long term behaviour of the late-quaternary normal faults in the straits of Messina area (Calabria Arc.): Structural and morphological constraints*” Quaternary International. 101-102, 81-91.
- **D’AGOSTINO N., G. SELVAGGI.** (2004) – “*Crustal motion along the Eurasia-Nubia plate boundary in the Calabrian Arc and Sicily and active extension in the Messina Straits from GPS measurements*” J. Geophys. Res., 109, B11402, doi:10.1029/2004JB002998.
- **Civita M** (1987) *L’inquinamento delle risorse idriche sotterranee in Italia: scenari, problematiche e strategie d’intervento*. Atti 1° Congr.Intern. di Geoidrologia: l’antropizzazione e la degradazione dell’ambiente fisico. Firenze.
- **CUSTODIO E. & LLAMAS M.R.** (1996) – *Hidrologia subterranea*. Ed. Omega, Barcelona.
- **CIVITA & DE MAIO** (2000) – *Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all’inquinamento con il sistema parametrico SINTACS R5*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale. Pitagora Ed., **72**, 226 pp., Bologna.
- **D’AGOSTINO, N.; CHELONI, D.; BERNARDI, F.; HUNSTAD, I.; PALOMBO, B.; SELVAGGI, G.** (2008) “*Reassessment of the interseismic and coseismic deformation in the Messina Straits*” American Geophysical Union, Fall Meeting 2008, abstract #S41D-03
- **DEL BEN A., GARGANO C. & LENTINI F.** (1996) – *Ricostruzione strutturale e stratigrafica dell’area dello stretto di Messina mediante analisi comparata dei dati geologici e sismici*. Mem. Soc. Geol. It., 51, 703-717.
- **DI STEFANO A. & LENTINI R.** (1995) “*Ricostruzione stratigrafica e significato paleotettonico*

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

dei depositi pliopleistocenici del margine tirrenico tra Villafranca Tirrena e Faro (Sicilia nord-orientale” Studi Geol. Camerti, Vol. speciale 1995/2, 219-237.

- **DI STEFANO A. & LONGHITANO S.** (2009) “*Tectonics and sedimentation of the Lower and Middle Pleistocene mixed siliciclastic-bioclastic sedimentary successions of the Ionian Peloritani Mts (NE Sicily, Southern Italy): the onset of opening of the Messina Strait*” Central European Journal of Geosciences, Vol. 1(1) p. 33-62.
- **DUMAS B.; GUEREMY P. & RAFFY J.** (2005) -“*Evidence for sea-level oscillation by the “characteristic thickness” of marine deposits from raised terraces of Southern Calabria (Italy)*” Quaternary Science Reviews vol. 24 pag. 2120-2136.
- **FERRANTI L., ANTONIOLI F., MANZ B., AMOROSI A., DAI PRA G., MASTRONUZZI G., MONACO C., ORRU’ P., PAPPALARDO M., RENDA P., ROMANO P., SAN SO’ P. & VERRUBBI V.** (2006) –“*Markers of the last interglacial sea-level high stand along the coast of Italy: tectonic implication*” Quaternary International, Vol. 145-146 p. 30-54.
- **FERRANTI L., MONACO C., ANTONIOLI F. MASCHIO L., KERSHAW S. & VERRUBBI V.** (2007) “*The contribution of regional uplift and coseismic slip to the vertical crustal motion in the Messina Straits, southern Italy: Evidence from raised Late Holocene shorelines*” JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 112.
- **FERRANTI L., MONACO C., MORELLI D., ANTONIOLI F. & MASCHIO L.** (2008) – “*Holocene activity of the Scilla Fault, Southern Calabria: Insights from coastal morphological and structural investigations*” Tectonophysics Vol. 453 pag 74–93.
- **FERRANTI F., MONACO C., MORELLI D., TONIELLI R., TORTORICI L. & BADALINI M.** (2008) “*Morphostructural setting and active faults in the Messina Strait: new evidence from marine geological data*” Rend. online SGI, 1, Note Brevi, www.socgeol.it, 86-88.
- **FINETTI I.; LENTINI F.; CARBONE S.; CATALANO S & DEL BEN A.** (1996) -“*Il sistema Appennino Meridionale-Arco Calabro-Sicilia nel Mediterraneo Centrale: studio geologico-geofisico*” Mem. Soc. Geol. It. Vol. 115 pag. 529-559
- **FINETTI I.R.** (2008) -“*Geophysical Exploration Contribution to the Understanding of Messina Straits Tectono-Dynamics and 1908 Earthquake Seismogenesis*” Environmental Semeiotics Vol. 1(2), pag. 278-293.
- **GHISSETTI F.** (1979) “*Evoluzione neotettonica dei principali sistemi di faglie della Calabria centrale*” Boll. Soc. Geol. It. Vol. 98 pag. 387-430, 25 ff
- **GHISSETTI F. & VEZZANI L.,** (1980) “*Contribution of structural analyses to understanding the geodynamic evolution of the calabrian arc (Southern Italy)*” J., Struct. Geol.. 3(4), 371-381.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- **GHISSETTI F.** (1980) – Evoluzione neotettonica dei principali sistemi di faglie della Calabria centrale. Boll. Soc. Geol. It., **98**, 387-430.
- **GHISSETTI F.** (1981a) “*L’evoluzione strutturale del bacino plio-pleistocenico di Reggio Calabria nel quadro geodinamico dell’Arco Calabro*” Boll. Soc. Geol. It. Vol. 100, pag. 433-466, 17.
- **GHISSETTI F.** (1981b) “Upper Pliocene-Pleistocene uplift rates as indicators of neotectonic pattern; an examples from southern Calabria (Italy)” Z. Geomorph. N. F., **40**: 9-118.
- **GHISSETTI F. & VEZZANI L.** (1982) – Different styles of deformation in the Calabrian arc (Southern Italy). implications for a seismotectonic zoning. Tectonophysics, **83**.
- **GUARNIERI P. & CARBONE S.** (2003) “*Assetto geologico e lineamenti morfostrutturali dei bacini plio-quadernari del Tirreno meridionale*” Boll. Soc. Geol. It. Vol. 122 pag. 377-386.
- **GUARNIERI P., DI STEFANO A., CARBONE S., LENTINI F. & DEL BEN A.** (2004) – “*A multidisciplinary approach to the reconstruction of the Quaternary evolution of the Messina Strait. with Geological map of the Messina Strait, scala 1:25.000* ” In Mapping Geology in Italy, Ed. APAT, 45-50.
- **GUARNIERI P.** (2006) – “*Plio-Quaternary segmentation of the south Tyrrhenian forearc basin*” Int J Earth Sci (Geol Rundsch) 95: 107-118.
- **GUARNIERI P. & PIROTTA C.** (2008) “*The response of drainage basins to the late Quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily)*” Geomorphology Vol. 95 pag. 260–273.
- **IACCARINO S., PREMOLI SILVA I., BIOLZI M., FORESI L.M., LIRER F., TURCO E. & PETRIZZO M.R.** (2007). Practical manual of Neogene Planktonic Foraminifera. International School on Planktonic Foraminifera, 6th course, Perugia 19-23 February 2007, University of Perugia:1-181.
- **JAMIOLKOWSKI M. & LO PRESTI D.C.F.** (2003) “*Getechnical characterization of Holocene and Pleistocene Messina sand and gravel deposits*” Characterisation and Engineering Properties of Natural Solls – Tan et alii (Eds) Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBN 90 5809 537 1.
- **LENTINI F., CARBONE S. & CATALANO S.** (1994) “*Main structural domains of the central Mediterranean Region and their neogenic tectonic evolution*” Boll. Geof. Teor. Appl., **36** (141-144): 103-125.
- **LENTINI F., CATALANO S., CARBONE S.** (2000). “*Carta geologica della Provincia di Messina. Provincia Regionale di Messina*” Assessorato Territorio-Servizio geologico, SELCA, Firenze.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- **Lorenzoni S., Paglionico A., Perrone V., Piccarreta G., Russo M., Scandone P., Zanettin-Lorenzoni E., Zuppeta A.** (1976) – *L’Arco Calabro-Peloritano nell’orogene appenninico-maghrebide*. Mem. Soc. Geol. It., 17, 1-60.
- **LOMBARDO G.** (1980) – *Stratigrafia del Plio-Pleistocene nella zona di Reggio Calabria*. Atti Acc. Gioenia Sc. Nat., 12, 233-298, Catania.
- **MARTISON G., PISIAS N. G., HAYS D. J., IMBRIE J., MOORE o C. T. & SHACKLETON N. J.**, (1987) – “Age dating of the orbital theory of the Ice Age: development of a high-resolution 0 to 300.000 year chronostratigraphy” Quat. Res., 27, 1-29.
- **MATTIA M., PALANO M., BRUNO V. & CANNAVO’ F.** (2009) - “Crustal motion along the Calabro-Peloritano Arc as imaged by twelve years of measurements on a dense GPS network” Tectonophysics Vol. 476 p. 528-537.
- **MESSINA A., GIUNTA G., RUSSO S. & SEMILIA B.** (1996) “Preliminary data on the metamorphism and deformation relationships in the Peloritanean tectonic unit basements (Calabria – Peloritani arc)” Plinius, 16, 154-155.
- **MIYAUCHI T.; DAI PRA G.; SYLOS LABINI S.** (1994) –“Geochronology of Pleistocene marine terraces and regional tectonics in the tyrrhenian coast of south Calabria, Italy” Il Quaternario vol. 7(1) pag. 17-34.
- **Ogniben L.** (1973) – Schema Geologico della Calabria in base ai dati odierni. Geol. Romana, 12, 243-585.
- **ORTOLANI F.** (1976) - “Fase tettonica mediopliocenica in Calabria: schema delle principali strutture originate” Boll. Soc. Natur. Napoli, vol. 84 pag. 1-25.
- **Piper A.M.** (1944) - A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. Amer. Geophys. Union. Trans., 25.
- **RICCHETTI E.; RICCHETTI G.** (1991) “Aspetti della morfogenesi pleistocenico-olocenica sul versante tirrenico della Calabria” Memorie della Società Geologica Italiana vol. 47 pag. 655-663.
- **Santoro M.** (1970) – Sulla applicabilità della formula di Turc per il calcolo dell’evapotraspirazione effettiva in Sicilia. Atti 1° Conv. Intern. Sulle Acque Sotterranee, I.A.H. – E.S.A., Palermo.
- **SCARFI L., LANGER H. & SCALTRITO A.** (2009) “Seismicity, seismotectonics and crustal velocity structure of the Messina Strait (Italy)” Physics of the Earth and Planetary Interiors Vol. 177 pag 65–78.
- **Turc L.** (1954) – *Le bilan d’eau des sols. Relations entre les précipitations, l’évaporation et*

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO PRELIMINARE		
RELAZIONE GEOLOGICA E EDROGEOLOGICA	<i>Codice documento</i> AD0002_F0.doc_F0		<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

l'écoulement. Ann. Agron., 5.

- **VALENSISE G.** (2005) – “Evoluzione morfostrutturale quaternaria dell’area dello Stretto sollevamenti e spostamenti relativi sulla base di dati geologici e strumentali” Giornata di studio sul progetto del Ponte sullo Stretto di Messina, Messina, Hotel Liberty, 15 ottobre 2005.