

REGIONE SICILIANA

CONSORZIO AMBITO TERRITORIALE OTTIMALE IDRICO DI AGRIGENTO



*GESTORE DEL SISTEMA IDRICO
INTEGRATO AMBITO TERRITORIALE
OTTOMALE DI AGRIGENTO*

L'AMMINISTRATORE DELEGATO

PROGETTO ESECUTIVO

Opere di ristrutturazione ed automazione per ottimizzazione
rete idrica Comune di Agrigento

ALLEGATO N°

2.1

TITOLO ELABORATO

Studio Geologico e Geotecnico
Relazione geologica

Nome file: 2.1 Relazione geologica.doc

Scala:

Visti ed approvazioni:

CUP:



Delta Ingegneria s.r.l.

I DIRETTORI TECNICI:
Ing. Maurizio Carlino
Ing. Nicola D'Alessandro



Arch. Carmelo Carlino
Ing. Domenico D'Alessandro
Ing. Alfonso Collura
Ing. Gerlando Vaccaro
Geol. Massimo Carlino
Ing. Alessandro Dinolfo
Ing. Sonia Vitellaro

B					
A					
REV.	DESCRIZIONE	DATA	VERIFICATO	CONTROLLATO	APPROVATO

PREMESSA	4
1.1. INDAGINI SISMICHE E GEOGNOSTICHE INTEGRATIVE.....	5
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	9
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	10
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	12
3.1. ASSETTO GEOMORFOLOGICO GENERALE	12
3.2. LA FRANA DEL 1966	15
3.3. FENOMENI EVOLUTIVI DEL SETTORE DEL DUOMO DI AGRIGENTO.....	15
3.4. GLI IPOGEI	17
3.5. GEOMORFOLOGIA DI DETTAGLIO	20
3.5.1. Zona Agrigento centro (Rupe, Forche, Itria, Viale).....	21
3.5.2. Zona Villaggio Mosè	22
3.5.3. Zona Poggio Muscello – San Leone	23
3.5.4. Zona Fontanelle - Madonna delle Rocche.....	25
4. ASSETTO IDROGEOLOGICO	26
5. PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO ...	31
6. GEOLOGIA E STRATIGRAFIA	34
6.1. FORMAZIONE DELLE ARGILLE E MARNE ARGILLOSE - (TORTONIANO)	35
6.2. TRIPOLI – (MESSINIANO).....	37
6.3. CALCARE DI BASE – (MESSINIANO SUP.)	39
6.4. GESSI – (MESSINIANO SUP.).....	41
6.5. TRUBI – (PLIOCENE INFERIORE)	43
6.6. FORMAZIONE MARNOSO – ARENACEA – (PLIOCENE MEDIO - PLEISTOCENE INF) .	45
6.7. UNITÀ DEI TERRAZZI MARINI.	49
6.8. ALLUVIONI E DEPOSITI TERRAZZATI – (RECENTE)	50
6.9. DETRITO DI FALDA - (RECENTE)	51
6.10. DEPOSITI ELU-COLLUVIALI – (RECENTE)	52
6.11. DEPOSITI COSTIERI	53

7. AZIONE SISMICA – ZONAZIONE MACROSISMICA E MICROZONAZIONE	54
7.1. PREMESSA	54
7.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	54
7.3. ZONAZIONE MACROSISMICA.....	55
7.4. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE	59
7.5. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE.....	62
8. MODELLO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO	66
8.1. ZONA FONTANELLE - ZONA MADONNA DELLE ROCHE.....	66
8.2. ZONA AGRIGENTO CENTRO (RUPE, FORCHE, ITRIA, VIALE).....	72
8.3. ZONA VILLAGGIO MOSE	74
8.4. ZONA VILLASETA – MONSERRATO	76
8.5. FASCIA COSTIERA (POGGIO MUSCELLO – SAN LEONE)	79
9. TIPOLOGIA E CLASSI DI SCAVO.....	82
10. BIBLIOGRAFIA.....	85

ALLEGATI GRAFICI:

• Carta geologica Agrigento centro	R= 1:5.000
• Carta geologica Agrigento nord tav. A	R= 1:5.000
• Carta geologica Agrigento nord tav. B	R= 1:5.000
• Carta geologica Agrigento nord tav. C	R= 1:5.000
• Carta geologica San Leone	R= 1:5.000
• Carta Geologica Poggio Muscello - Cozzo Mosè tav. A	R= 1:5.000
• Carta Geologica Poggio Muscello - Cozzo Mosè tav. B	R= 1:5.000
• Carta Geologica Poggio Muscello - Cozzo Mosè tav. C	R= 1:5.000
• Carta Geologica Villaseta-Monserrato	R= 1:5.000
• Carta Geomorfologica Agrigento centro	R= 1:5.000
• Carta Geomorfologica Agrigento nord tav. A	R= 1:5.000
• Carta Geomorfologica Agrigento nord tav. B	R= 1:5.000
• Carta Geomorfologica Agrigento nord tav. C	R= 1:5.000
• Carta Geomorfologica San Leone	R= 1:5.000
• Carta Geomorfologica Poggio Muscello - Cozzo Mosè tav. A	R= 1:5.000
• Carta Geomorfologica Poggio Muscello - Cozzo Mosè tav. B	R= 1:5.000

- Carta Geomorfologica Poggio Muscello - Cozzo Mosè tav. C R= 1:5.000
- Carta Geomorfologica Villaseta-Monserrato R= 1:5.000
- Carta Idrogeologica Agrigento centro R= 1:5.000
- Carta Idrogeologica Agrigento nord tav. A R= 1:5.000
- Carta Idrogeologica a Agrigento nord tav. B R= 1:5.000
- Carta Idrogeologica Agrigento nord tav. C R= 1:5.000
- Carta Idrogeologica San Leone R= 1:5.000
- Carta Idrogeologica Poggio Muscello - Cozzo Mosè tav. A R= 1:5.000
- Carta Idrogeologica Poggio Muscello - Cozzo Mosè tav. B R= 1:5.000
- Carta Idrogeologica Poggio Muscello - Cozzo Mosè tav. C R= 1:5.000
- Carta Idrogeologica Villaseta-Monserrato R= 1:5.000
- Carta Litotecnica Agrigento centro R= 1:5.000
- Carta Litotecnica Agrigento nord tav. A R= 1:5.000
- Carta Litotecnica Agrigento nord tav. B R= 1:5.000
- Carta Litotecnica Agrigento nord tav. C R= 1:5.000
- Carta Litotecnica San Leone R= 1:5.000
- Carta Litotecnica Poggio Muscello - Cozzo Mosè tav. A R= 1:5.000
- Carta Litotecnica Poggio Muscello - Cozzo Mosè tav. B R= 1:5.000
- Carta Litotecnica Poggio Muscello - Cozzo Mosè tav. C R= 1:5.000
- Carta Litotecnica Villaseta-Monserrato R= 1:5.000
- Profili geologici tratto Ponte Tubo C.da Agnellaro- Fosso Consolida 1
- Profili geologici tratto partitore Fontanelle – Partitore Sarcuto
- Profili geologici Adduttore Serbatoio Itria
- Profilo geologico Adduttore Serbatoio Forche
- Profilo geologico Adduttore Serb. Poggio Muscello – Lo Presti San Leone
- Profilo geologico Adduttore Sollevamento San Calogero (Porto Empedocle)
- Profilo geologico Adduttore Serb. Giardini
- Planimetria ubicazione indagini geognostiche zona est R= 1:10.000
- Planimetria ubicazione indagini geognostiche zona nord R= 1:10.000
- Report indagini geognostiche
- Planimetria ubicazione indagini geognostiche integrative Tav 1/2 R= 1:10.000
- Planimetria ubicazione indagini geognostiche integrative Tav 2/2 R= 1:10.000
- Report indagini sismiche e geognostiche integrative

PREMESSA

Il presente studio geologico, viene redatto nel contesto del progetto di *“Ristrutturazione ed automazione per ottimizzazione rete idrica comune di Agrigento – Sistema di adduzione primario”*.

I lavori ricadano *nell’ambito territoriale ottimale idrico di Agrigento* e sono stati programmati dalla società *“Girgenti Acque S.p.A.”*, gestore del sistema idrico integrato della provincia di Agrigento, che ha affidato alla Società Delta Ingegneria s.r.l. la progettazione e la pianificazione della suddetta opera.

Il progetto prevede la ristrutturazione del sistema idrico di distribuzione interno della cittadina di Agrigento attraverso la realizzazione ex novo di parte della rete idrica e la ottimizzazione delle adduttrici primarie.

Complessivamente l’intervento interessa quasi per intero il territorio di Agrigento comprese le frazioni periferiche di Fontanelle, Monserrato, Villaseta, Villaggio Mose, San Leone e Cannatello; per ogni settore è stato condotto un approfondito studio geologico – tecnico atto a definire il modello stratigrafico, litologico e geotecnico propedeutico alla progettazione esecutiva.

Alla luce di tali problematiche è stato condotto lo studio geologico finalizzato a individuare la migliore soluzione per le opere in progetto in relazione all’assetto geologico e geomorfologico del territorio. La particolarità dell’intervento ha richiesto il puntuale riconoscimento delle litologie, la ricostruzione della stratigrafia locale, lo studio dell’assetto geomorfologico e idrogeologico dell’area.

Complessivamente lo studio è stato articolato sulla base del seguente schema metodologico:

Inquadramento generale del territorio interessato dai lavori, con ricostruzione dell'assetto geologico generale; in particolare:

- Acquisizione cartografica e (cartografia I.G.M.I., cartografia S.A.S., ortofoto, foto aeree);
- Raccolta ed elaborazione dati bibliografici ufficiali;
- Rilevamento geologico di campagna;
- Definizione del modello geologico – tecnico del sottosuolo;
- Studio geologico, geomorfologico ed idrogeologico di dettaglio dedicato alle opere d'arte principali;
- Valutazione dell'evoluzione morfologica del territorio tramite comparazione di cartografie georiferite;
- Geointerpretazione e raffronto foto aeree;
- Interpretazione e sintesi dei dati stratigrafici e geotecnici e definizione delle unità geotecniche di riferimento.

1.1. Indagini sismiche e geognostiche integrative

Nell'ambito del presente progetto esecutivo è stata realizzata una specifica campagna sismica e geognostica integrativa, finalizzata a ricostruire il modello geotecnico del sottosuolo ed acquisire i parametri sismici e le proprietà elastiche del terreno di fondazione, attraverso la valutazione della velocità sismica V_{s30} , ai fini, della caratterizzazione sismica del suolo, come

previsto dal Testo Unico per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008 e successive modifiche del 04.02.2008.

Le indagini realizzate sono così articolate:

- n°13 profili sismici di tipo MASW
- n.10 prove penetrometriche dinamiche continue tipo DPM (medium)

Profili sismici tipo Masw:

Per l'acquisizione della velocità sismica delle onde di taglio (V_s) si è utilizzato il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) , in particolare sono stati eseguiti n° 13 sondaggi sismici ubicati in corrispondenza delle principali opere d'arte ed in relazione con l'assetto geologico e litotecnico dei luoghi.

I risultati permetteranno non solo di indagare la rigidità del terreno ma anche di individuare eventuali possibili inversioni di velocità e ricostruire una sezione sismica 2D di tipo MASW.

L'importanza dell'esecuzione delle indagini sismiche per onde superficiali è legata alla loro indipendenza dalla presenza di una falda acquifera che altera le proprietà meccaniche dei materiali se indagate solo con onde di compressione (onde P).

Nelle prospezioni sismiche per le quali si utilizzano le onde di tipo P, la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo Rayleigh. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (ad esempio, per la tomografia sismica), la loro proprietà dispersiva può es-

sere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura di acquisizione con la metodologia MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione: l'unica grande differenza consiste nel fatto che per il MASW è necessario utilizzare geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz).

Prove penetrometriche dinamiche DPM

Sono state eseguite n.10 prove penetrometriche dinamiche continue, denominate in maniera susseguente da DIN1 a DIN10, spinte a profondità variabili a seconda del tipo di terreno attraversato e regolate in base alle necessità progettuali.

Il sondaggio penetrometrico dinamico consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni standard, infissa per battitura nel terreno, per mezzo di un idoneo dispositivo di percussione. Il dato ottenuto dalla prova è il numero dei colpi per l'infissione di 10 cm della punta (N10); essa viene fatta in maniera continua fino alla profondità desiderata o fino al raggiungimento del fondo scala quando si superano i 60 colpi per 10 cm. Il penetrometro utilizzato per il lavoro in oggetto è prodotto dalla "Deep Drill" ed è denominato "Penetrometro Dinamico Leggero Italiano" DL30. Secondo la classificazione ISSMFE esso rientra tra i penetrometri di tipo "Medium DPM" avendo una massa battente di 30kg (compresa tra 10kg e 40kg). La tabella completa delle caratteristiche tecniche dello strumento verrà riportata in calce alla relazione.

L'elaborazione delle prove è stata condotta utilizzando un appropriato software per l'interpretazione dei dati penetrometrici (WINDIN), esso, attraverso un'elaborazione statistica, risale al numero dei colpi equivalenti di una prova SPT (N_{spt}) dal numero dei colpi del pene-

trometro DL30 (N10); fase necessaria poiché tutti gli studi sulla caratterizzazione geotecnica dei terreni in situ sono stati compiuti attraverso le prove SPT. Per ricavare il numero di colpi della prova SPT correlato bisogna moltiplicare, per ogni strato individuato, il Valore Caratteristico Aggiunto (VCA), nel nostro caso ricavato dal valore medio “M”, per il coefficiente di correlazione teorico (β_t) che è pari a 0,77; il VCA viene scelto in base alle caratteristiche degli strati. Dal numero di colpi N_{spt} così ricavato, il programma ha automaticamente estrapolato i valori dei parametri geotecnici attribuibili ai terreni, in conformità a delle tabelle di correlazione sperimentali costruite da diversi autori, riportate in allegato (per maggiori informazioni si rimanda a testi specialistici egli AA. Terzaghi & Peck 1948-1967, Peck – Hanson – Thornburn 1953-1974, D’Apollonia e Altri 1970).

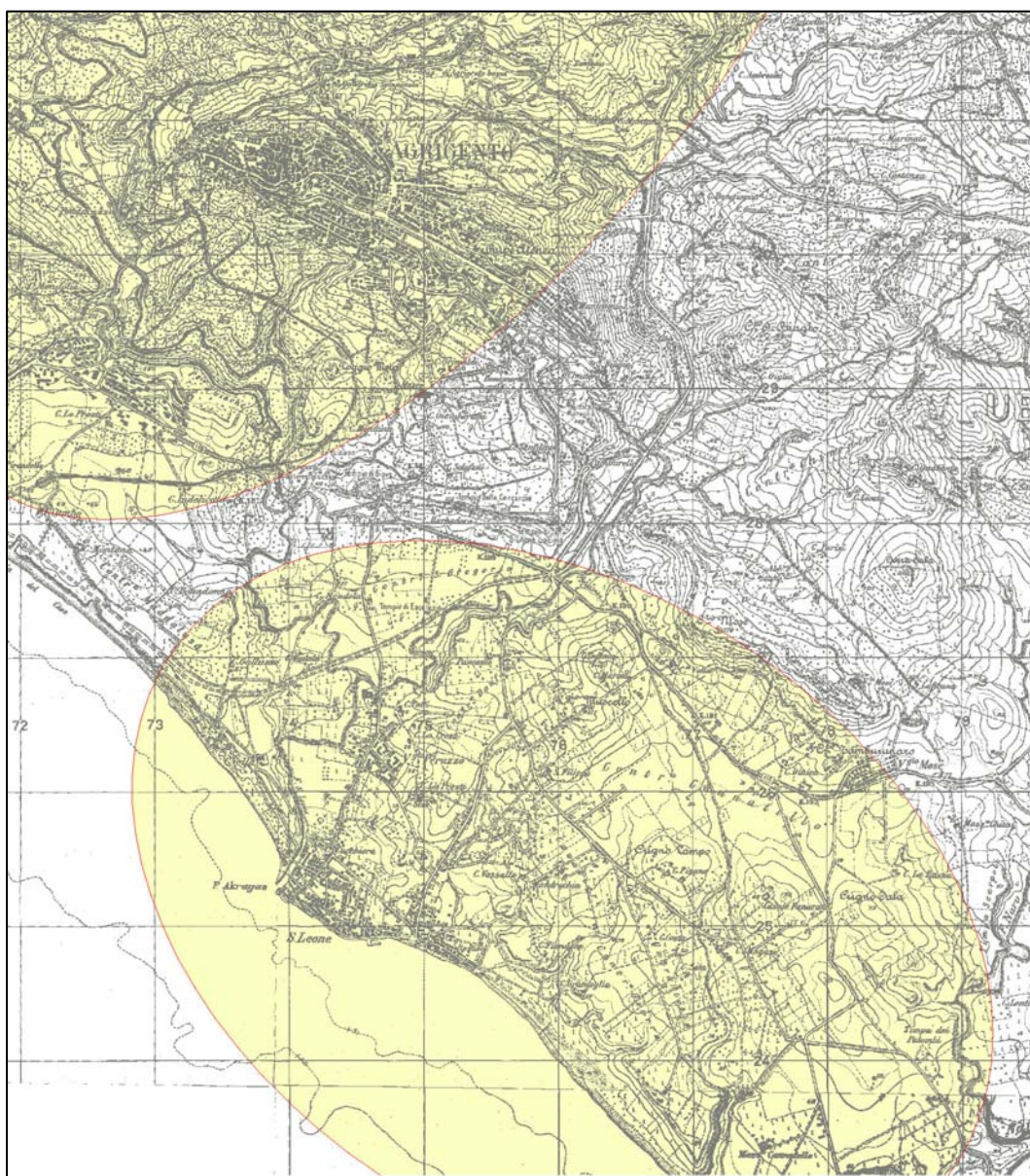
Normativa di riferimento

Lo studio è stato svolto secondo le indicazioni della normativa tecnica vigente in materia di studi geologici e geotecnici ed in particolare:

- DPR 5 ottobre 2010, n. 207 - Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE».
- D.M. 14/01/2008 *“Norme tecniche sulle costruzioni”*
- Legge 11 febbraio 1994 n° 100 *“Legge quadro in materia di Lavori Pubblici”*;
- DPR 21/12/1994 n° 554 e s.m.i. *“Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di Lavori Pubblici”*;
- D.M. 11/03/1988 *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”*, che ha sostituito il precedente D.M. 21/01/1981 di pari oggetto;
- Circ. Min. LL.PP. n° 30483/88, concernente le istruzioni al D.M. 11/03/1988, che ha sostituito la precedente Circ. Min. LL.PP. n° 21597/81;
- D.M. 14/09/2005 e s.m.i. *“Norme tecniche per le costruzioni”*;
- Ordinanza Presidente del Consiglio n° 3274 del 20/03/2003 *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica”* pubblicata nella G.U. n. 105 8/5/2003 recepita dalla Regione Sicilia con delibera di Giunta regionale n° 408 del 19/12/2003 e successivo decreto del Dip. Reg. Protezione Civile del 15 gennaio 2004 - G.U.R.S. n° del 13/02/2004;
- Circolare ARTA Reg. Sicilia 7/3/2003 *“Redazione del piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico ai sensi del D.L. 180/98 e s.m.i.”*

2. Inquadramento geografico

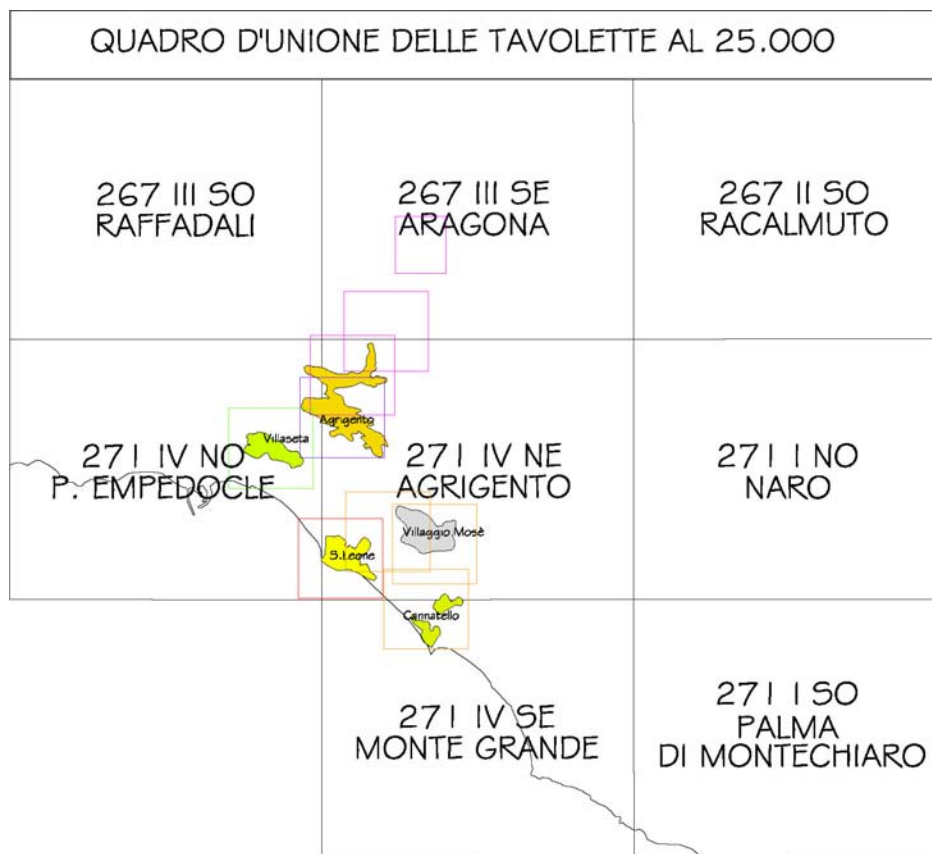
L'area di progetto ricade in territorio comunale di Agrigento, gli interventi sono estesi sia centro urbano di Agrigento che alle zone a nord di esso, dove verranno realizzate e/o sostituite alcune condotte di adduzione, inoltre sono previsti nelle frazioni periferiche di San Leone, Villasetta e Villaggio Mosè.



Stralcio corografico R 1:25.000

Cartograficamente il sito in studio ricade nelle seguenti tavolette al 25.000:

- 271 IV NE “Agrigento”
- 271 IV NO “Porto Empedocle”
- 267 III SE “Aragona”
- 271 IV SE “Monte Grande”



Quadro di unione Tavolette scala 1: 25.000

3. Inquadramento Geomorfologico

3.1. Assetto geomorfologico generale

Agrigento insiste su un versante monoclinale che degrada in direzione sud litologicamente caratterizzato dalla Formazione delle calcareniti di Agrigento, che affiorano in continuità su tutto il versante con spessori anche di 20-30 metri; la formazione poggia sulle argille ed argille sabbiose plio-pleistoceniche.

Il versante presenta due alti strutturali disposti alla estremità est ed ovest: il settore occidentale, su cui è edificato il quartiere del Duomo, raggiunge quota 320 m s.l.m., mentre il settore orientale della Rupe Atenea, raggiunge quota 350 m s.l.m.; la porzione centrale invece presenta un avvallamento disposto a quota di 250 m s.l.m.

La formazione delle calcareniti presenta una certa variabilità costituzionale con alternanza di banchi calcarei ben cementati e livelli argillo-sabbiosi in cui si riscontra una scarsa cementazione.

I banconi sono interessati da faglie e dislocazioni causati dalla tettonica post pleistocenica che hanno determinato complessivamente un paesaggio a cuestas, con più strutture monoclinali che degradano verso sud oltre la Valle dei Templi. Da segnalare la presenza nei banconi calcareniti di fessurazioni e discontinuità che interrompono la continuità della roccia.

Procedendo verso sud sud-est il paesaggio geomorfologico presenta un tipico assetto terrazzato di genesi marina, con ampie spianate e modeste scarpate poste a diverse quote che costituiscono i vari ordini terrazzati.

Il terrazzo presenta sedimenti di facies marina costituiti da depositi eterogenei di sabbie, argille, ghiaia e blocchi, di varia natura litologica, sono talvolta intaccati da incisioni plu-

viali che evidenziano il substrato plastico su cui poggiano, costituito dalle argille e marne argillose della formazione Monte Narbone.

L'alta permeabilità dei sedimenti affioranti fa sì che la rete idrografica sia poco sviluppata, gli unici corpi idrici presenti nella zona sono il fiume Akragas e Hypsas.

Le caratteristiche di permeabilità dei terreni affioranti insieme al loro assetto strutturale determinano le condizioni favorevoli o meno alla formazione di idrostrutture in cui si instaurano falde freatiche significative.

A tal fine è stata eseguita un'interpretazione idrostrutturale dell'area interessata dalle opere in progetto, combinando le informazioni derivanti dal rilievo geologico di superficie, dal censimento dei punti di emergenza idrica e dalla classificazione dei litotipi in categoria di permeabilità simile.

Elaborati cartografici : Carta Geomorfologica

Il quadro geomorfologico di dettaglio e la costruzione delle specifiche carte tematiche, è stato preceduto dalla definizione dei complessi morfologici, cioè quelle unità di base caratterizzati da aspetti geo-litologici e geotecnici assimilabili, che hanno un comportamento simile in relazione agli agenti esogeni (vedi allegato Carta Geomorfologica).

Nello specifico le formazioni presenti sono state accorpate nei seguenti complessi morfologici:

- Complesso dei materiali di riporto eterogenei ed eterogranulari di varia natura e composizione assimilabili a terreni incoerenti;
- Complesso dei depositi continentali di copertura colluviali ed eluviali assimilabili a terreni prevalentemente incoerenti o debolmente coesivi comprimibili, con elevata plasticità in corrispondenza della frazione limosa; (Alluvioni, depositi elu-colluviali).

- Complesso delle rocce prevalentemente lapidee, tenere, stratificate e talora fratturate, (calcari marnosi della formazione dei Trubi e Tripoli).
- Complesso delle formazioni lapidee massive o stratificate in banchi, scomposte in blocchi di grosse dimensioni, con intervalli debolmente cementati teneri e friabili; (Calcareniti di Agrigento, Terrazzi marini, Calcari evaporitici, Gessi, e Calciruditi tortoniane).
- Complesso dei depositi sabbiosi a cementazione variabile, terreni prevalentemente incoerenti; (sabbie e calcareniti sciolte pleistoceniche e sabbie della Fm. Terravecchia).
- Complesso dei terreni argillosi coesivi (argille tortoniane e plioceniche, argille gessose).

Per ogni complesso morfologico sono stati evidenziati i processi morfogenetici e le conseguenti forme che caratterizzano lo stato ed il trend evolutivo del territorio.

Nelle elaborazioni vengono riportate le aree a pericolosità e a rischio geomorfologico ed idrogeologico così come individuate dal Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Geomorfologico relativamente ai Bacini Idrografici del *Fiume S. Leone*, del *Fosso canne* ed il bacino minore *Area compresa tra il Bacini del F. S. Leone e del Fiume Naro* (067).

Simboli forme geomorfologiche	
	Scarpata interessata da modesti crolli
	Scarpata interessata da caduta di detrito
	Nicchia di distacco
	Nicchia di colamento attiva di modeste dimensioni
	Versante soggetto a soliflusso generalizzato
	Zone di ristagno acque superficiali
	Superficie di denudazione per ruscellamento diffuso
	Erosione di fondo
	Area in assetto calanchivo
	Orlo di scarpata da erosione laterale
	Cava attiva
	Cava in disuso

3.2. La frana del 1966

Il 19 luglio 1966, una frana di notevoli proporzioni interessò l'intero versante occidentale della città nella zona dell'odierno "*Parco dell'Addolorata*", distruggendo edifici del centro storico e numerosi palazzi, la maggior parte dei quali ancora in costruzione, con movimenti che interessarono una superficie di circa 0,5 km² e con spostamenti verticali di 0,8 m.

La Commissione di Studio "Grappelli" che fu istituita dal Ministro dei Lavori Pubblici (D.M. 12144 del 23/07/1966) per definire le caratteristiche del dissesto e predisporre le misure cautelative, concluse che il dissesto è un fenomeno complesso legato alle deformazioni superficiali dei terreni argillosi di valle capaci di indurre deformazioni nelle sovrastanti calcareniti rigide, le quali sottoposte a stress hanno subito fratturazione, distaccandosi dall'ammasso principale in corrispondenza dei punti di maggiore debolezza e scivolando verso valle.

Attualmente la frana è stata valutata dal PAI come quiescente, con alcuni settori completamente stabilizzati, anche se sono segnalati fenomeni superficiali di tipo creep che interessano diffusamente le infrastrutture più superficiali e in modo particolare parte delle strutture di servizio del Parco dell'Addolorata e della Strada Provinciale S.P. n. 1

3.3. Fenomeni evolutivi del settore del Duomo di Agrigento.

A nord dell'area di progetto, il settore della Cattedrale, in prossimità della parte più alta del centro storico di Agrigento è storicamente affetto da fenomeni di dissesti che interessano la placca calcarenitica su cui sorge il Duomo ed il versante argilloso a nord.

Il PAI per i fenomeni evolutivi censiti espone una attenta disamina che di seguito si riferisce.

La collina su cui sorge il Duomo di Agrigento è caratterizzata dal contatto a reggipoggio delle calcareniti della Formazione Agrigento sul substrato argilloso pliocenico della Fm. Monte Narbone. La formazione calcarenitica non si presenta né omogenea né integra.

Infatti, la sua caratteristica è quella di manifestare rapide e significative variazioni granulometriche con eteropie di facies che da strati di roccia puramente calcarenitica bioclastica, passano a limi e argille di spessore anche significativo (circa 10 - 15 m), con fratture e fessurazioni rilevabili su tutto l'ammasso roccioso. Il problema dei dissesti che si manifestano pesantemente sull'edificio della Cattedrale, in realtà, presenta anche le sue evidenze su tutta la schiera di fabbricati che si affaccia sul fronte Nord della via Duomo, dal Seminario al serbatoio dell'Itria e sono potenzialmente riferibili condizioni di instabilità caratterizzate da meccanismi simili ma con ripercussioni differite nei tempi e nelle entità. Sicuramente la zona del Seminario e della Cattedrale sono quelle che hanno sopportato le peggiori conseguenze, ed in particolare l'edificio della Cattedrale, pur oggetto di importanti e frequenti consolidamenti, non sembra avere ottenuto alcun beneficio dagli investimenti sostenuti.

Su larga scala, nel PAI del Bacino Idrografico del F. San Leone approvato con D.P.R. n. 272 del 02.07.07, il fronte Nord della collina del Duomo di Agrigento è stato oggetto della perimetrazione di fenomeni gravitativi complessi, piuttosto estesi che, dalle porzioni sommitali del pendio, si estendono sino all'incisione del Fiume Drago, che delimita a valle il rilievo.

Si tratta di fenomeni gravitativi lenti, connessi al colamento delle argille plioceniche, e ricondotti alle manifestazioni di dissesto che si hanno nella porzione sommitale del rilievo. Tale modello, prudenziale, è sicuramente perfezionabile con l'integrazione di tutti i dati di natura geologica e geotecnica a livello strettamente locale che possono evidenziare nell'immediato sottosuolo dell'area della Cattedrale condizioni specifiche, in grado di accentuare in modo signifi-

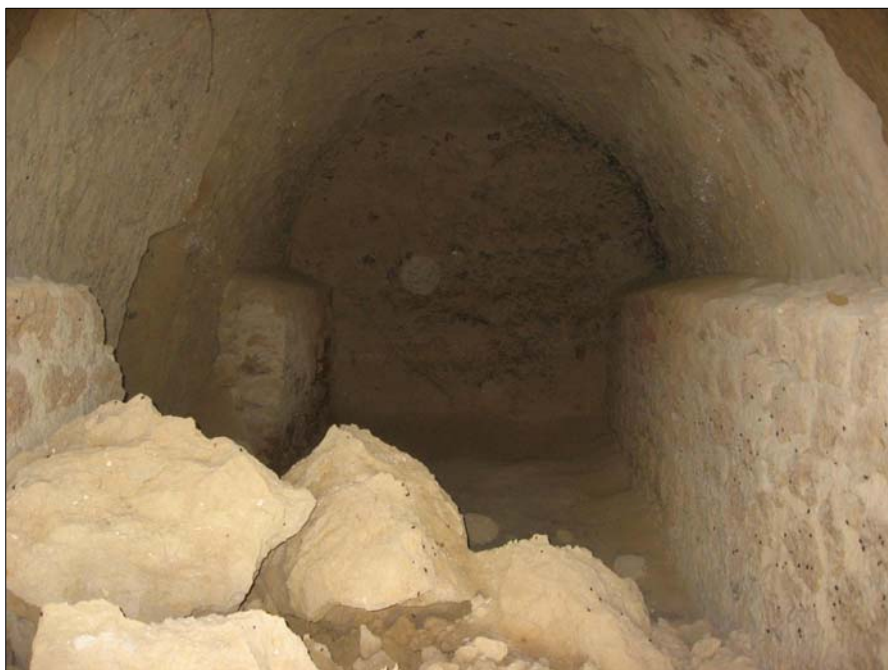
cativo gli effetti di questi fenomeni. In tal senso, qualsiasi intervento, anche in relazione agli insuccessi delle opere di consolidamento sin qui eseguite (le ultime risalenti al 2008), deve derivare da una approfondita definizione del modello geologico del pendio, estendendo l'osservazione dalla situazione di dettaglio del substrato della Cattedrale e correlandolo all'intera condizione del versante.

3.4. Gli ipogei

Gli ipogei di Agrigento sono di origine antropica e risalgono al periodo greco quando la città di Akragas era abitata da circa duecentomila persone e gli ipogei costituivano per la popolazione residente una sorta di acquedotto drenando le acque di falda.

Trattasi di un insieme di pozzi, cunicoli e serbatoi, scavati nella tenera roccia calcarenitica, che corrono con continuità lungo le pendici del versante su cui insisteva l'antica città a profondità dal piano campagna variabili e non superiori a circa 30 m.

Gli ipogei hanno uno sviluppo prevalentemente lineare seguendo la direzione del deflusso idrico sotterraneo, da monte verso valle fino alla città anticamente abitata. Sono



Vista dall'interno di un Ipogeo

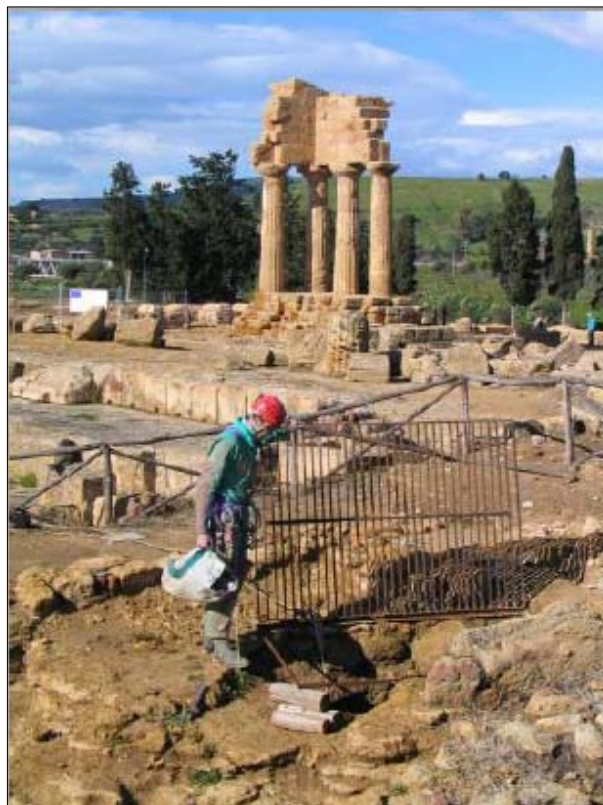
(Fonte: Dott. G. Lombardo)

ubicati dove è maggiore la circolazione idrica spesso al contatto tra la calcarenite e le sottostanti argille e rappresentano delle vere e proprie gallerie drenanti per la captazione e convogliamento delle acque di falda.

I cunicoli hanno una forma grossomodo rettangolare leggermente concava sul soffitto, mentre sul fondo è presente una canaletta di convogliamento; lungo i cunicoli si rinvencono dei pozzi verticali di forma circolare con tendenza a restringendosi verso l'alto. I pozzi servivano sia per aumentare la capacità drenante complessiva del sistema di captazione, sia per l'attingimento delle acque che per l'aerazione dei cunicoli.

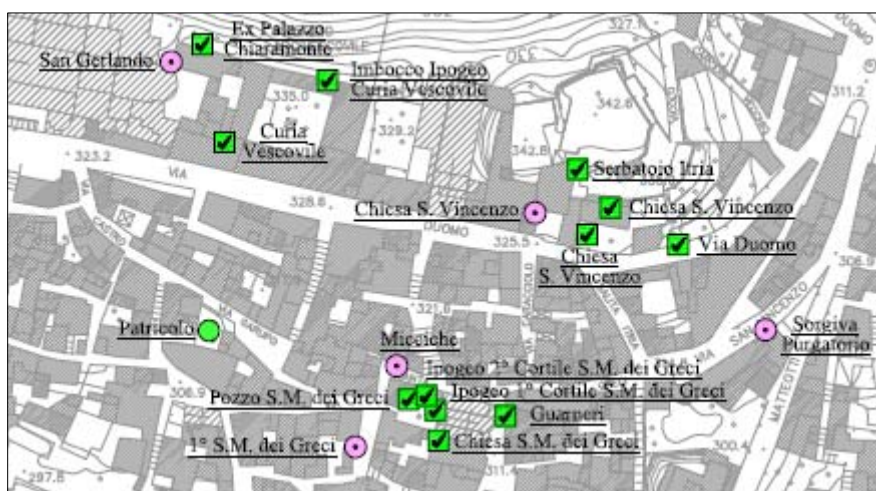
La presenza delle cavità nel sottosuolo della città, prevalentemente concentrate nella zona del centro storico, è in grado di creare una condizione di potenziale dissesto, capace di generare imprevedibili evoluzioni, con conseguenze sulle sovrastrutture urbane.

Il presente progetto tuttavia non determina un incremento dei carichi sul piano di campagna non essendo previste nuove opere ma la semplice ristrutturazione degli edifici già esistenti.



Ingresso Ipogeo in prossimità del Tempio dei Dioscuri. (Fonte: Dott. G. Lombardo)

Relativamente agli Ipogei si riporta in allegato la “*Carta degli Imbocchi delle Cavità Ipogee*” prodotta dal Tavolo Tecnico “Gli Ipogei e le altre emergenze idrogeologico della Città di Agrigento” presieduto dall’Ufficio del Genio Civile di Agrigento unitamente al Dipartimento Regionale di Protezione Civile, l’Assessorato Regionale ai Beni Culturali, il Corpo Regionale delle Miniere, la Provincia Regionale di Agrigento ed il Comune di Agrigento.



Stralcio “carta degli imbocchi delle Cavità Ipogee”. In basso la Legenda

Legenda	
	Riportato da fonte storica, ma non individuato.
	Imbocco rilevato e correttamente posizionato.
	Presenza desunta da fonti storiche attendibili-ubicazione del punto all'ingresso della proprietà.
	Presenza desunta da fonti attendibili-posizione baricentrica all'interno di un'area.

3.5. Geomorfologia di dettaglio

L'intervento in progetto è complessivamente di scarso impatto geomorfologico trattandosi della sostituzione della rete idrica esistente con la realizzazione di scavi assai contenuti in profondità e larghezza. Da sottolineare come attualmente l'esistente rete capillare di distribuzione dell'acqua presenta un numero imprecisato, ma certamente numeroso, di perdite e rotture che determinano l'infiltrazione nel sottosuolo di acqua potabile. Oltre al danno economico tale circostanza determina il potenziale insorgere di fenomeni deformativi, subsidenze e cedimenti del sottosuolo superficiali e profondi che sono evidenti in alcuni tratti stradali e muri di contenimento del centro abitato. Pertanto la sostituzione della rete idrica vetusta già da sola rappresenta una circostanza favorevole per l'assetto geomorfologico e la stabilità complessiva dell'abitato.

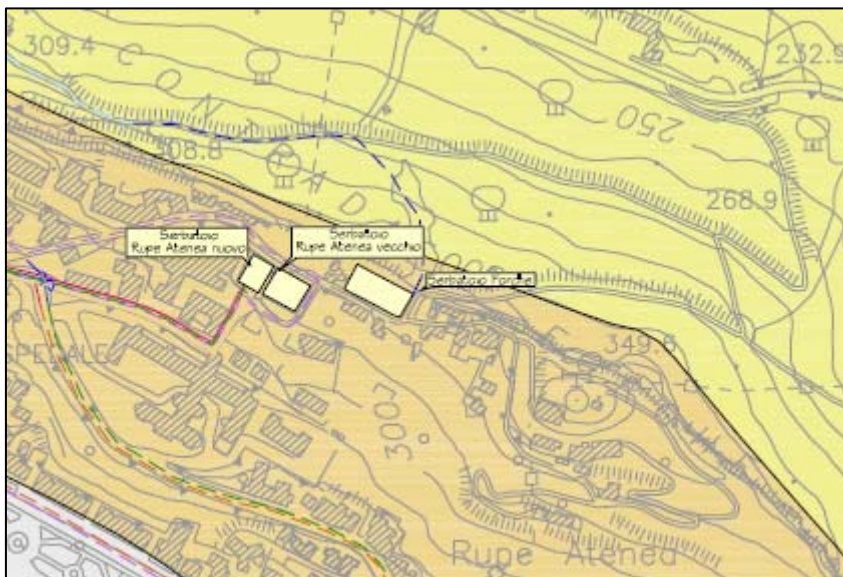
Ad approfondimento del quadro geomorfologico generale, riportato nella relazione geologica, sono state definite delle zone di intervento accorpate in aree geomorfologiche che presentano caratteristiche e processi comuni. In particolare, sulla scorta degli interventi in progetto, si considerano le seguenti zone:

- **Zona Rupe – Forche - Giardini:** comprendente la zona Nord – Est del centro abitato delimitata a Nord dalla Rupe Atenea , è alimentata dagli omonimi serbatoi, ubicati rispettivamente sulla collina della Rupe Atenea e via San Vito;
- **Zona Itria:** comprendente la zona del centro storico della città, Nord-ovest, alimentata dal Serbatoio Itria;
- **Zona Viale** , comprendente la zona Sud del centro abitato di Agrigento , alimentata dal serbatoio ubicato sotto il Viale della Vittoria;
- **Zona Villaggio Mosè:** comprendente la frazione del Villaggio Mosè in continuo sviluppo nell'intorno della SS 115 ad EST di Agrigento.;

- **Zona Poggio Muscello – San Leone:** comprendente le frazioni di San Leone, Cannatello, e parte del Villaggio Mosè che si sviluppano lungo l’ampia fascia costiera ricadente nel territorio di Agrigento. Sono alimentate dai Serbatoi Poggio Muscello e dal serbatoio San Leone, denominato “Lo Presti”;
- **Zona Fontanelle,** comprendente l’omonima frazione di espansione edilizia ubicata a Nord – Ovest del centro abitato;
- **Zona Madonna delle Rocche,** comprendente il quartiere Spina Santa a Nord dell’abitato e delimitato a Sud dalla SS 118 ed a Nord dal quartiere di espansione edilizia denominato Fontanelle;
- **Zona Villaseta – Monserrato:** comprendente le frazioni di Villaseta e Monserrato ubicate ad Ovest del centro abitato, alimentata dal Serbatoio Fontanelle.

3.5.1. Zona Agrigento centro (Rupe, Forche, Itria, Viale)

I settori **Zona Rupe – Forche – Giardini, Zona Itria e Zona Viale** (*Carta Geomorfológica Agrigento centro*) ricado nel settore nord del centro abitato, in corrispondenza degli alti strutturali corrispondenti con la placca calcarenitica che termina a nord (in corrispondenza dei rispettivi serbatoi) prima del declivio argilloso.



L’assetto morfologico dell’area, è di tipo prevalentemente collinare, con deboli spianate lievemente pendenti verso sud.

Litologicamente il settore in esame è caratterizzato dagli affioramenti di natura calcarenitica della *F.ne Agrigento* che a luoghi risultano interrotti e intervallati da intercalazioni sabbiose e argillo-sabbiose a cementazione variabile.

Le calcareniti compatte si riscontrano nell'abitato di Agrigento (*Rupe Atenea*) dove ricoprono le argille plioceniche della *F.ne Narbone a Villaseta* e nei pressi di *Cozzo Mosè*.

Nel settore si segnala la presenza di falda acquifera che non interferisce con gli interventi da realizzare che prevedono scavi e rinterri per posa di nuove condotte di profondità massima di 2-3 metri.

Altro elemento da segnalare nelle calcareniti affioranti della zona del centro storico e della valle dei templi, sono la presenza di ipogei che si estendono complessivamente per circa 17 km. Questi possono essere suddivisi in quattro grandi tronchi in relazione alle alture della *Rupe Atenea*, del colle di Agrigento, di Monserrato e dello Sperone. Si tratta di gallerie a sezione trapezoidale scavate nella roccia dotate sul fondo di una canaletta impermeabile per il trasporto delle acque. Anche tali strutture non interferiscono con la realizzazione della rete idrica che prevede modeste profondità di scavo.

3.5.2. Zona Villaggio Mosè

Procedendo dal centro abitato di Agrigento verso sud, sud-est il paesaggio geomorfologico presenta un tipico assetto terrazzato di genesi marina, con ampie spianate e modeste scarpate poste a diverse quote che costituiscono i vari ordini terrazzati.

Il terrazzo presenta sedimenti di facies marina costituiti da depositi eterogenei di sabbie, argille, ghiaia e blocchi, di varia natura litologica, sono talvolta intaccati da incisioni pluviali che evidenziano il substrato plastico su cui poggiano, costituito dalle argille e marne argillose della formazione Monte Narbone.

Le caratteristiche di permeabilità dei terreni affioranti insieme al loro assetto strutturale determinano una rete idrografica poco sviluppata e condizioni favorevoli alla formazione di idrostrutture in cui si instaurano falde freatiche profonde che non interagiscono con i volumi di scavo previsti in progetto.

3.5.3. Zona Poggio Muscello – San Leone

Il settore corrisponde con il fronte a mare di Agrigento ed i terrazzi immediatamente alle spalle (*Contrada Guardia, Cannatello, Villaggio Peruzzo, contrada Cavaleri-Magazzeni*), la zona si caratterizza per la presenza delle tipiche forme e dinamiche legate all'ambiente morfogenetico di tipo costiero. Elemento centrale del paesaggio è l'ampia spianata sub-pianeggiante (su cui insiste tutta la borgata marina di San Leone e Cannatello), che a partire dalla linea di costa si spinge nell'entro-terra fino alle pendici delle collinette argillose plioceniche o direttamente al piede del Terrazzo Marino pleistocenico.

Litologicamente il settore costiero di San Leone è caratterizzato da depositi sciolti quali ghiaie, ciottoli, sabbie costiere e dune attuali, che ricoprono con spessori variabile (da pochi decimetri a 1/3 m) le sottostanti marne-argillose grigio-azzurre della "Formazione Monte Narbone".

Tali sedimenti di copertura sono di duplice origine (marina e continentale), derivano sia dalla deposizione di materiale lapideo proveniente dallo smantellamento delle retrostanti strutture collinari, sia da depositi prettamente costieri e marini.

Il lungomare di San Leone, e in generale tutta la linea di costa, sono state oggetto



Costa bassa sabbiosa S. Leone

cone-Borsellino".

d'importanti modificazioni antropiche con radicali interventi e opere che hanno modificato l'originale morfologia.

Da segnalare, infatti, al centro della borgata marina, la realizzazione d'importanti opere di protezione delle abitazioni ormai prossime alla linea di riva, con riempimenti a mare e scogliere di protezione, che hanno determinato la nascita dell'attuale lungomare "Falcone-Borsellino".

A completare gli interventi negli anni 70 è stato realizzato il porticciolo turistico a Est della foce del fiume Akragas, con la costruzione di due moli che ovviamente hanno modificato il paesaggio, la dinamica e l'evoluzione costiera.

Anche il settore compreso tra San Leone e Le Dune è stato oggetto d'interventi significativi e caratterizzanti che hanno determinato l'evolversi del paesaggio dell'intera fascia costiera. Da segnalare la costruzione del lungo "viale Delle Dune" parallelo alla linea di costa e poggiato sugli accumuli da sabbia (Dune) nonché le numerose barriere frangiflutti perpendicolari e parallele alla linea di costa.

Alle spalle del settore investigato, (a monte di San Leone in direzione Contrada Guardia – Cannatello, via degli Imperatori) il paesaggio geomorfologico presenta un tipico assetto terrazzato di genesi marina, con ampie spianate e modeste scarpate poste a diverse quote che costituiscono i vari ordini terrazzati.

Il terrazzo presenta sedimenti di facies marina costituiti da depositi eterogenei di sabbie, argille, ghiaia e blocchi, di varia natura litologica, sono talvolta intaccati da incisioni pluviali che evidenziano il substrato plastico su cui poggiano, costituito dalle argille e marne argillose della formazione Monte Narbone.

Il terrazzo si imposta tra le quote 60 / 50 m s.l.m. con tendenza a degradare debolmente con piccoli gradini, verso sud in direzione della costa (40/45 m s.l.m.).

L'origine della superficie terrazzata è da ricondurre a una ingressione marina, con sosta del livello del mare a una stessa quota, per un periodo sufficientemente lungo, mentre i gradini indicano un repentino abbassamento di quota durante il quale il mare non è riuscito a demolire la costa.



San Leone: deposito sabbioso in assetto pianeggiante compreso tra la linea di costa e le collinette argillose retrostanti.

Il terrazzo marino copre in discordanza le argille marnose della formazione Monte Narbone che affiorano in prossimità dei gradini e delle scarpate più ripide.

L'elevata permeabilità del complesso affiorante, rende praticamente nulla l'idrografia superficiale; da segnalare un modesto acquifero localizzato nelle sabbie e conglomerati olocenici, sostenuto dalle argille della Monte Narbone che ne costituiscono la soglia di permeabilità.

3.5.4. Zona Fontanelle - Madonna delle Rocche

Il settore coincide con le contrade *Consolida, Palmentelle, Piana Ciavola, Fonatanelle ecc.* ed è delimitata ad est e ad ovest, rispettivamente dai *Valloni San Benedetto e Consolida*, che confluiscono entrambi nel Fiume San Leone, mentre a Sud segue l'abitato di Agrigento. Il paesaggio dal punto di vista morfologico è tipicamente collinare con quote medie di circa 250-300 metri, e versanti di natura argillosa che confluiscono in valli solcate da valloni e torrenti a carattere stagionale.

Dal punto di vista litologico appartiene alla parte bassa della colonna stratigrafica, in esso infatti prevalgono affioramenti terrigeni prevalentemente di natura argillosa, con intercalazioni sabbiose ed arenitiche e talora conglomeratiche della *Fm. Terravecchia*.

La rete idrografica impostandosi su litotipo argilloso, assume un andamento generalmente dendritico, anche se, a luoghi, si possono rilevare particolari varianti (pattern parallelo, e pin-nato) in cui è evidente un maggiore controllo strutturale. Le zone di fondovalle sono sede di depositi alluvionali, talvolta terrazzati in più ordini.

Data la natura litologica degli affioramenti, prevalentemente argillosa, prevalgono i fenomeni di versante di natura gravitativi, quali colamenti, scorrimenti e processi di erosione accelerata che generano morfologie calanchive diffuse e a luoghi molto estese. Questi sono diffusi lungo le sponde del vallone S. Benedetto e non interferiscono con gli scavi e le opere in progetto. Sono da escludere falde freatiche significative e circolazione idrica sotterranea in genere.

4. Assetto Idrogeologico

Di seguito si riporta lo studio a carattere idrogeologico eseguito nell'area in studio, che ha consentito di individuare i complessi idrogeologici, le idrostrutture, gli acquiferi presenti in zona ed il flusso idrico sotterraneo che caratterizza il sottosuolo del territorio di Agrigento.

In particolare si è verificata la possibile interazione tra le opere in progetto, consistenti nella posa di condotte ad una profondità di scavo generalmente inferiore ai tre metri, e la circolazione idrica sotterranea.

Le caratteristiche di permeabilità dei terreni affioranti insieme al loro assetto strutturale determinano le condizioni favorevoli o meno alla formazione di idrostrutture in cui si instaurano falde freatiche significative. Al fine di definire il modello idrogeologico del settore interessato alla costruzione dell'infrastruttura sono stati definiti, n° 6 complessi idrogeologici, intendendo con tale denominazione l'insieme dei termini litologici simili, aventi una comprovata unità spaziale e giaciturale, un tipo e grado di permeabilità omogenea.

In tal senso è stata eseguita un'interpretazione idrostrutturale, combinando le informazioni derivanti dal rilievo geologico di superficie, dai dati piezometrici misurati in corrispondenza dei fori di sondaggio, dal censimento dei punti di emergenza idrica e dalla permeabilità dei litotipi.

I complessi individuati sono stati così distinti:

- **Complesso idrogeologico delle sabbie e delle calcareniti:** terreni a permeabilità molto elevata per porosità, tendente a diminuire in concomitanza di livelli argillo-limosi.
 - Grado di permeabilità: Alto
 - Coefficiente di permeabilità: $K > 10^{-2}$ m/s.

Si tratta del complesso più significativo dell'areale sia per estensione che per impatto sulla circolazione idrica sotterranea di Agrigento; il complesso si localizza principalmente nelle sabbie e calcareniti della formazione Marnosa arenacea affiorante con continuità nell'abitato di Agrigento e nei settori di *Cozzo Mosè*, *Villaseta* e *Monserato*. E' sede di un acquifero, sostenuto alla base dalle argille plioceniche; la geometria dell'acquifero è variabile sia in senso orizzontale che verticale; spesso si tratta di modeste idrostrutture sovrapposte ed isolate lateralmente, localizzate nei livelli sabbiosi. Ne consegue un livello piezometrico non uniforme ed un'oscillazione eterogenea. Mediamente i sondaggi e le letture piezometriche presentano una falda intorno ai 15 metri nella parte alta di Agrigento (Zona Itria) di circa 5-10 metri nel centro storico, mentre si rileva a profondità maggiore nel settore nord di Bonamorone.

Nel quartiere di Villaseta oscilla tra 5-10 metri in prossimità del complesso sportivo per assumere maggiore profondità a nord dell'abitato. Il complesso a Monserato presenta falda a circa 15 metri dal piano di campagna.

- Complesso idrogeologico dei detriti di falda e degli accumuli di riporto: terreni ad elevata permeabilità per porosità. Coefficiente di permeabilità: $10^{-3} < K > 10^{-2}$ m/s.

Sono sede di limitate falde superficiali, generalmente poco importanti.

- Complesso idrogeologico dei depositi eluviali ed alluvionali: terreni a media permeabilità per porosità. Coefficiente di permeabilità: $10^{-4} < K > 10^{-3}$ m/s.

Trattasi dei livelli di depositi continentali costituiti da limi argillosi frammisti a ghiaia, sabbia e ciottoli; la permeabilità può variare in relazione all'abbondanza della frazione limo-argillosa.

Nella fascia costiera dove il deposito assume una certa consistenza sono presenti delle modeste falde superficiali direttamente alimentate alle piogge e dai ristagni d'acqua; a *San Le-*

one dove i depositi eluviali sono frammisti a depositi di ingressione marina la falda idrica è generalmente presente intorno ai 5 metri anche se molto oscillante in relazione alle stagioni delle piogge essendo da queste direttamente alimentato.

- Complesso idrogeologico dei Trubi e del Tripoli: terreni a permeabilità modesta per porosità, tendente ad aumentare in funzione della fratturazione del litotipo. Coefficiente di permeabilità: $10^{-6} < K < 10^{-5}$ m/s.

Possono ospitare modeste falde freatiche localizzate nei livelli fratturati ed alterati dei Trubi, a volta può esserci continuità con il complesso dei calcari e gessi sottostanti ai Trubi.

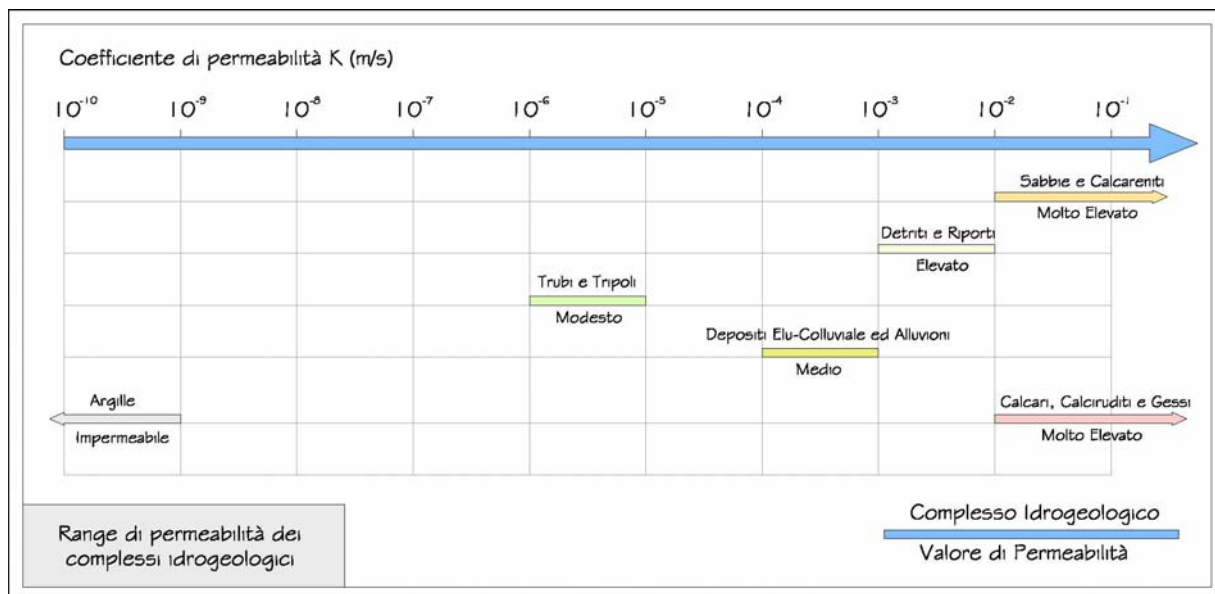
Nel settore in studio non sono emerse falde significative in tale complesso.

- Complesso idrogeologico dei Calcari e Gessi: Rocce a permeabilità molto elevata per fessurazione e carsismo. Coefficiente di permeabilità: $K > 10^{-2}$ m/s.

Il complesso si localizza principalmente nel settore di *Calcarelle – La Serra e Madonna delle Rocche*. Si tratta di affioramenti di calcari e gessi evaporitici disposti a crinale allungato che possono ospitare falde relativamente profonde (superiore ai 20 m dal p.c.) ed importanti.

- Complesso idrogeologico delle argille: terreni praticamente impermeabili. Coefficiente di permeabilità: $K < 10^{-9}$ m/s.

Il livello corticale alterato può assumere una modesta permeabilità capace di favorire una circolazione idrica sub-superficiale. Costituiscono la soglia di permeabilità più diffusa degli acquiferi esistenti.



L'analisi di tutte le informazioni acquisite ha permesso di identificare le idrostrutture principali che sono interessate dal percorso stradale; questi possono essere suddivisi in tre grandi categorie:

- **Acquiferi pleistocenici:** (Agrigento centro, Cozzo Mosè, Villasetta, Monserrato) falde presenti nel complesso delle calcareniti e sabbie (roccia serbatoi) e sostenute dalla argille sottostanti (soglia impermeabile).
- **Acquiferi evaporitici:** (Calcarelle) falde contenute nei calcari e gessi messiniani e sostenute dalle argille tortoniane.
- **Acquiferi continentali:** (Villaggio Mosè, Contrada Guardia, Cannatello, Cavalieri Magazzini, San Leone, Villaggio Peruzzo) di falde nell'ambito dei Terrazzi marini, dei depositi superficiali elu-colluviali e delle alluvioni.

In relazione alle opere in progetto si escludono interferenze tra gli scavi previsti e la circolazione idrica sotterranea, difatti le falde idriche significative sono generalmente oltre i 5 metri dal piano di campagna a differenza delle opere in progetto che interagiscono in misura inferiore con il terreno di fondazione.

Anche nel centro storico di Agrigento dove l'assetto idrogeologico complessivo è più delicato, **si escludono interferenze tra gli scavi previsti e la circolazione idrica sotterranea** che prevede un acquifero nell'ambito delle sabbie e calcareniti della Formazione Agrigento, con soggiacenza della falda nell'ordine di almeno 1-2 metri dal piano di campagna e deflusso idrico la cui direttrice principale è in direzione sud.

5. Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico

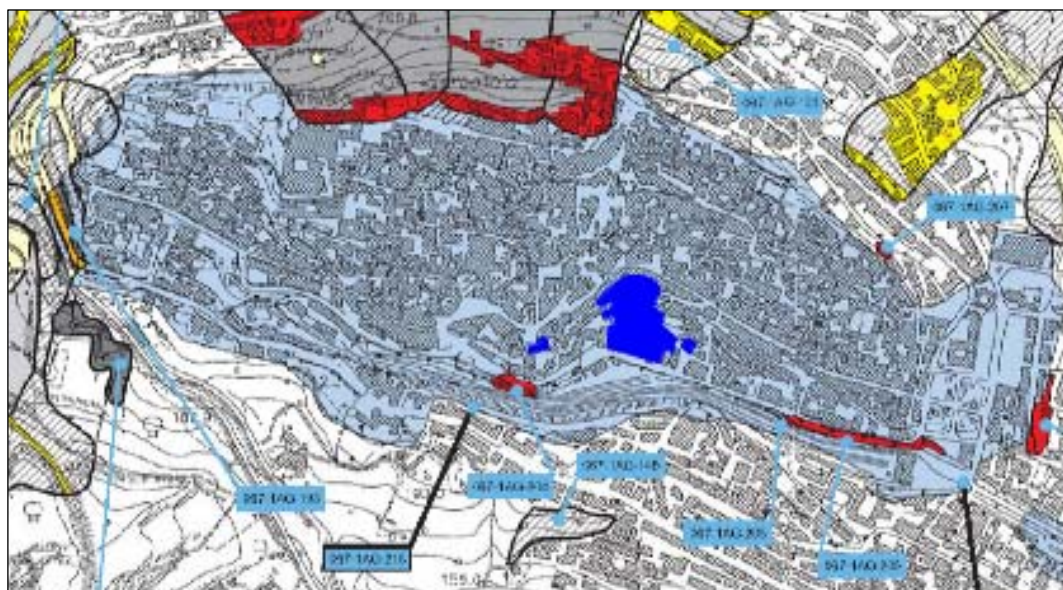
Con riferimento al Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (art. 1 L. 267/98 e succ. mod. e int.), per la caratterizzazione del sito di progetto dal punto di vista del **rischio geomorfologico ed idraulico**, è stato preso in esame il *Bacino Idrografico del Fiume San Leone ed Area Territoriale compresa fra i Bacini del F. San Leone e F. Naro*, adottato dalla Regione Sicilia con Decreto del Presidente della Regione n. 272 del 02/07/2007 e pubblicato sulla GURS n. 37 del 17.08.2007, e il successivo recentissimo **aggiornamento dell'anno 2011** approvato con Decreto Presidenziale del 14/12/2011 e pubblicato sulla GURS n° 12 del 23/03/2012



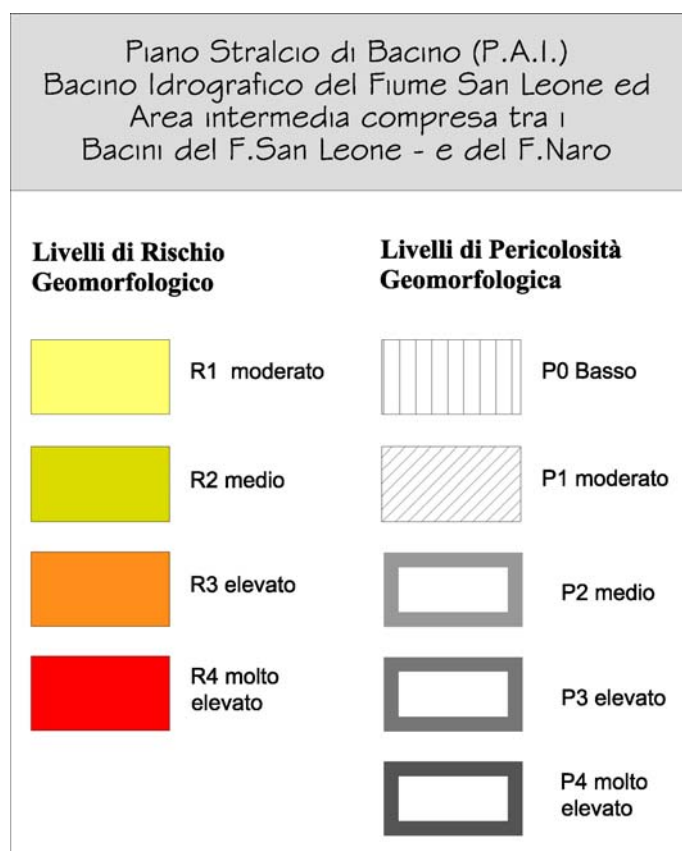
Bacino Idrografico del Fiume San Leone ed Area Territoriale compresa fra i Bacini del F. San Leone e F. Naro

Nel centro abitato il Piano stralcio di bacino **non individua vincoli per rischio geomorfologico e/o idraulico** con specifiche restrizioni e discipline a cui sottoporre le opere in progetto.

Il PAI segnala esclusivamente un “*Sito di Attenzione*” legato alla possibile presenza di cavità ipogee nel sottosuolo che riguarda una vasta area che comprende tutto il centro storico di Agrigento.



Stralcio carta e legenda PAI



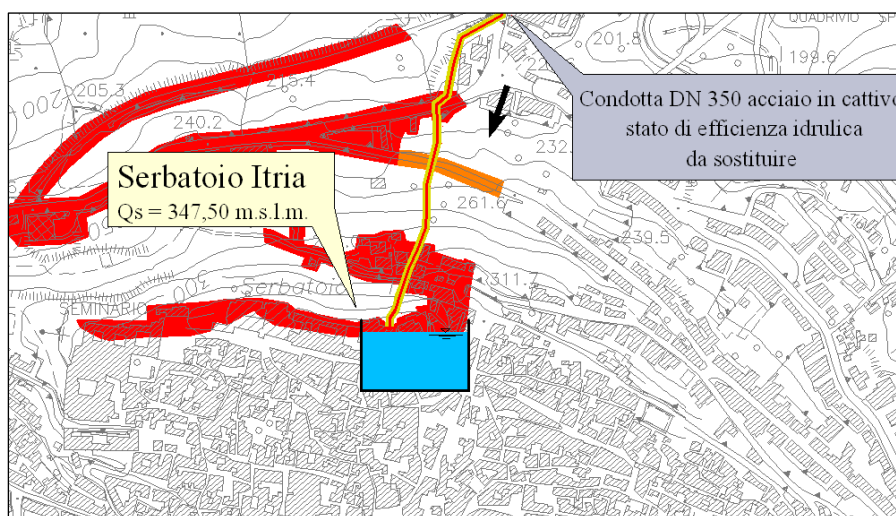
- **Tratti censiti a rischio geomorfologico**

Vengono distinti cinque livelli di rischio geomorfologico, e che vanno da R0 a R4.

Nei tratti classificati fino a R3, le norme di attuazione consentono l'ampliamento e ristrutturazione delle infrastrutture pubbliche.

Nei tratti classificati come R4, le norme di attuazione consentono solamente la manutenzione ordinaria e straordinaria e di consolidamento e restauro conservativo delle infrastrutture in questione.

L'area in cui si prevede di intervenire ricade nelle Carte del P.A.I. relative al Bacino Idrografico del Fiume S. Leone ed Area compresa tra il Bacini del F. S. Leone e del fiume Naro (067) e, con riferimento agli interventi previsti, risulta essere scarsamente interessata da pericolosità per fenomeni legati alla geomorfologia del sito, fatta eccezione per un'area a nord all'abitato di Agrigento, meritevole di attenzione, che si trova nelle vicinanze del Serbatoio Itria, evidenziata nella figura seguente:



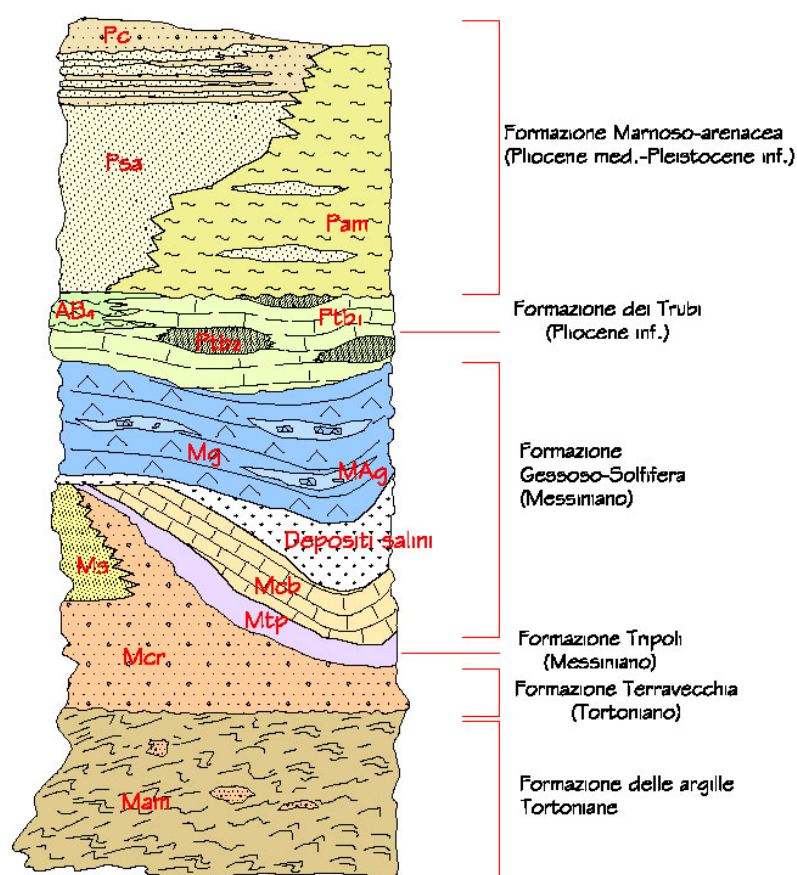
Nella zona evidenziata, la prevista sostituzione di un collettore di adduzione esistente attraverso un'area censita a rischio geomorfologico R4.

Trattandosi di sostituzione di condotta esistente in cattivo stato di efficienza idraulica, e quindi di intervento di manutenzione straordinaria, ciò è consentito dalle norme di attuazione.

6. Geologia e stratigrafia

Di seguito si riporta la descrizione della successione stratigrafica ricostruita attraverso il rilevamento geologico di campagna, i sondaggi geologici ed i dati bibliografici presenti per il settore.

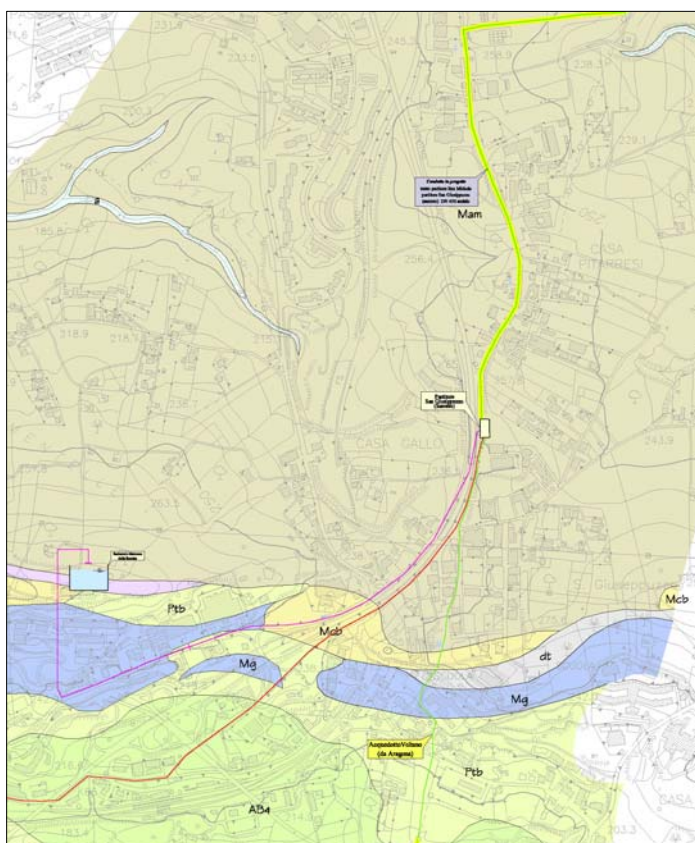
Colonna stratigrafica tipo dell'area:



(Mam): Argille grigio azzurre e marne argillose – **(Mcr):** Calciruditi e calcareniti stratificate in grossi banchi – **(Ms):** Sabbie giallastre disposte a lenti – **(Mtp):** Marne e diatomiti sottilmente laminate, "Tri-poli" – **(Mcb):** Calcare di base – **(Mg):** Gessi – **(Mag):** Argille gessose intercalate ai gessi – **(Ptp1):** Calcarei marnosi e marne calcaree "Trubi" – **(Ptp2):** Marne e marne calcaree risedimentate – **(Ab4):** Argille brecciate intercalate ai Trubi – **(Pam):** Argille e argille sabbiose – **(Psa):** Sabbie e sabbie limose – **(Pc):** Calcareniti giallastre fossilifere.

6.1. Formazione delle argille e marne argillose - (Tortoniano)

Affiorano diffusamente a nord dell'abitato di Agrigento (*Carta Geologica Agrigento nord Tav a-b-c*) dove sarà realizzato la nuova condotta di adduzione tra il partitore S. Giusippuzzo e S. Michele; litologicamente l'unità è costituita prevalentemente da argille ed argille



Stralcio Carta geologica -Affioramenti di argille tortoniane (Mam) a nord dell'abitato di Agrigento

marnose grigio azzurre, con passaggi sia laterali che verticali, senza alcuna regolarità, di argille sabbiose e porzioni di conglomerati.

Spesso le argille presentano in superficie uno strato di copertura alterato dello spessore variabile da 1 a 5 m, costituito da limi argillosi, di colore marrone scuro caratterizzati da una discreta plasticità, decrescente con la profondità.

Oltre tale livello si passa alla formazione argillosa inalterata, costituita

da argille marnose e/o sabbiose, di colore grigio-azzurro, mediamente consistenti e plastiche, con generale miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche.

Il complesso argilloso ingloba modesti lembi di terreni marnosi più antichi, ed olistoliti di varie dimensioni, natura ed età.

Le argille presentano varia tessitura: scagliettata, brecciata, puddingoide; solitamente gli elementi stratimetrici sono molto poveri, raramente è possibile riconoscere la stratificazione essendo le giaciture caotiche.

La datazione di quest'unità può essere eseguita sia considerando il contenuto paleontologico dei sedimenti ritenuti normali, sia constatando che sul complesso poggia, in apparente continuità di sedimentazione, la F.ne. Terra Vecchia.

L'ambiente di deposizione del complesso argilloso è stato ritenuto in passato, trasgressivo sulle serie più differenti, attualmente è ritenuto regressivo. Probabilmente si tratta di una progradazione di delta fluviali, interessati da fenomeni gravitativi come flussi olistostromici legati a frane sottomarine.

Lo spessore dell'unità è indeterminabile, poiché non affiora il letto dello strato, e poiché i numerosi sondaggi eseguiti non danno indicazioni valide circa lo spessore.

6.2. Tripoli – (Messiniano)

E' l'unità di base della serie Gessoso Solfifera, e segna l'inizio di facies di bacino chiuso evaporitico. E' presente con modesti affioramenti a ridosso dei calcari di *Contrada Palmentelle* in prossimità di *La Serra*.



Affioramento di Tripoli

Generalmente gli spessori sono modesti così come limitata è la continuità laterale del Tripoli, anche se si può presumere una certa continuità del litotipo non riscontrabile a causa degli intensi processi erosivi (naturali ed antropici), che tendono a mascherarlo con spesse coltri eluviali.

Il Tripoli è costituito da un'alternanza di strati diatomitici e marnoso-calcarei, con spicole di Radiolari e gusci di Diatomee.

Si presenta agevolmente fissile, friabile, terroso con perfetta sfaldatura lungo i piani di laminazione, in cui si possono rinvenire resti di pesce; presenta un caratteristico basso peso specifico, che lo rende molto leggero e facilmente riconoscibile.

Verso l'alto il Tripoli presenta le stratificazioni marnoso-calcaree più spesse, ed intercalazioni di sottili straterelli di pochi centimetri di calcare rossastro, che testimonia il graduale passaggio ad un ambiente sempre più evaporitico.

L'ambiente di deposizione del Tripoli doveva possedere caratteristiche lagunari, con acque poco profonde e tranquille, con qualche zona di emersione o di secca.

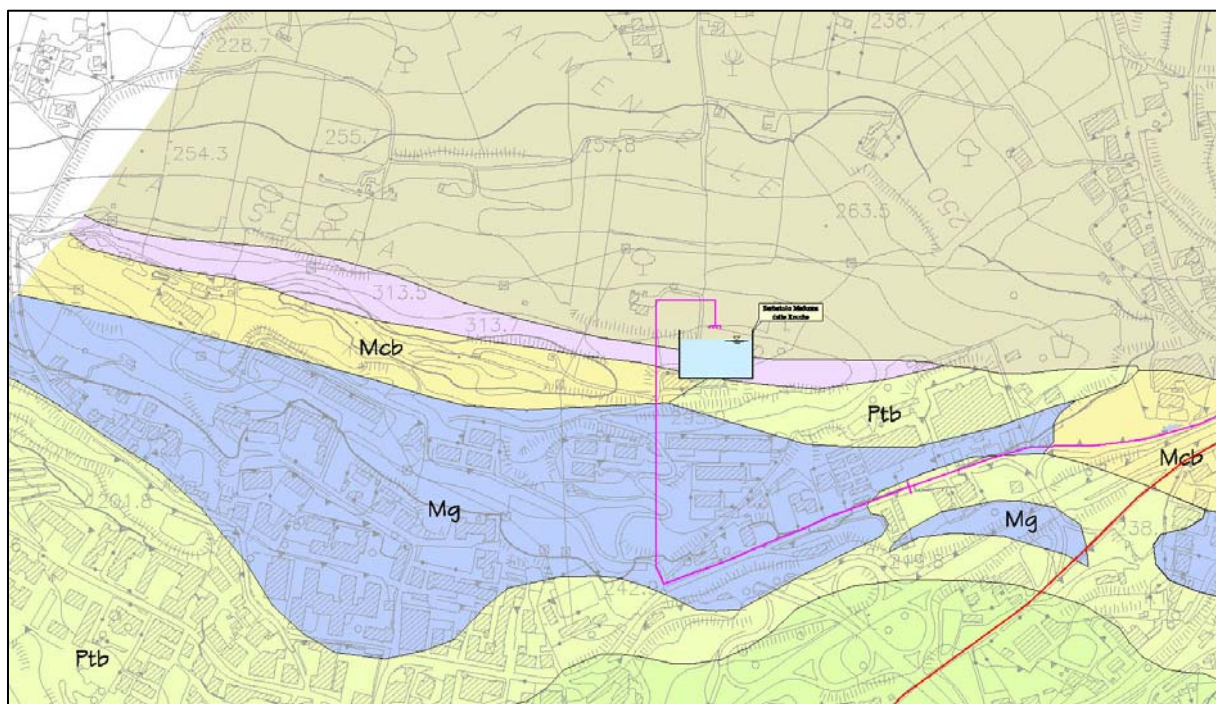
Questa situazione ha determinato la laminazione ritmica e l'andamento discontinuo e lagunare dei depositi. La presenza del Tripoli segna il passaggio ad un ambiente abbastanza particolare caratterizzato da una concentrazione salina via via crescente ed una mancanza di ossigenazione testimoniata dall'assenza di forme bentoniche; queste situazioni mettono in netta evidenza una separazione più o meno completa del bacino del Mediterraneo rispetto agli oceani.

L'età può essere ricavata sia dallo studio della ittofauna, sia considerando i rapporti stratigrafici con le unità a letto e tetto del Tripoli. La letteratura in proposito indica un'età risalente al Messiniano.

6.3. Calcare di base – (Messiniano sup.)

Affiora a nord del centro urbano di Agrigento, in prossimità di *Contrada Palmentelle e Minaga*.

Si presenta in grossi banchi in cui è difficile riconoscere l'originaria stratificazione, il colore è grigio-biancastro in superficie tendente al grigio scuro in profondità.



Stralcio carta geologica - Afioramenti di calcarei messiniani presso *c.da Palmentelle, La Serra*

I banchi di calcare sono separati da intercalazioni marnose di pochi decimetri chiamate "partimenti", che contengono a loro volta straterelli calcarei di pochi centimetri. Tali livelli segnano la temporanea variazione delle condizioni di sedimentazione, che ritornano di mare più profondo per poi ridivenire prettamente evaporitiche.

I grossi banchi di calcare sono dati da breccia risedimentata di frammenti di ritmite calcarea che in alcune zone conserva ancora indisturbata la sua struttura.

Gli spessori della formazione dei calcari sono assai variabili mostrano valori medi intorno ai

50-70 m.

Il passaggio inferiore dal Tripoli al calcare non avviene in maniera netta ma gradualmente con qualche livello calcareo (10 – 20 centimetri) intercalato alle marne diatomitiche.

Il passaggio stratigrafico superiore con i Gessi di Pasquasia è in discordanza, coincidendo con la tettonica intramessiniana che divide il primo ciclo evaporitico dal secondo.

6.4. Gessi – (Messiniano sup.)

I gessi affiorano a nord del centro abitato di Agrigento si presentano sia come banchi litoidi di gessi macrocristallini stratificati sia come intercalazioni di argille gessose a contenuto sabbioso. Complessivamente i gessi presenti nella zona, sono quelli del secondo ciclo "Gessi di Pasquasia" con i quali inizia il complesso evaporitico superiore.

Sono costituiti dall'alternanza di potenti banconi di gesso macrocristallino, da livelli di gesso "balatino" e gesso selenitico, separati da intercalazioni marnose.

Le sequenze iniziano con una zona inferiore caratterizzata da sottili strati di Gesso Balatino cui segue una zona di Gesso Selenitico. Il primo presenta un fitto numero di veli di gesso spessi poco più di qualche millimetro, di colore bianco-grigio, di probabile deposito primario; l'attuale stratificazione è disturbata da fenomeni tettonici.

I banconi di gesso selenitico si presentano con macrocristalli geminati a coda di rondine, di dimensioni comprese fra i 2-3 cm fino ai 15-20 cm.

I gessi in molti casi sono nettamente separati dalle formazioni sottostanti da livelli gessarenitici e da una formazione torbiditica, caotica, inglobante al suo interno oltre che conglomerati a matrice gessosa anche livelli diatomitici e marnosi bituminosi.

In molti casi questa formazione gessosa è presente accompagnata da sedimenti tipicamente argillosi sotto forma di intercalazioni che determinano nella morfologia di superficie degli addolcimenti del rilievo;

A volte i gessi appaiono di spessore molto ridotto o talora assenti; in tal caso i Trubi poggiano direttamente sui calcari.

Lo spessore della formazione è assai variabile, assumendo spesso una conformazione a

lente con massimi di 70 - 90 m, e parti dove è totalmente assente. I dati stratigrafici bibliografici, indicano un valore medio di 50 - 60 m.

I Gessi sono tagliati al tetto dalla deposizione in discordanza delle marne a Globigerine o Trubi.

6.5. Trubi – (Pliocene Inferiore)

La formazione dei trubi affiora, in molti settori a nord dell'abitato di Agrigento, sia come calcare marnoso e marne calcaree biancastre (*Ptb*, nei pressi del *quadrivio Spinasanta*), che come brecce argillose e argille marnose intercalate ai calcari (*Ab4*, nei pressi della *stazione ferroviaria di Agrigento Bassa*).



Affioramento di Trubi nei pressi del *Quadrivio Spinasanta*

Nella tipica espressione i Trubi sono dei calcari marnosi più o meno cementati passanti a marne calcaree di colore bianco crema fino a grigio chiaro; hanno frattura concoide e contengono tracce di idrossidi di ferro e noduli piritici dispersi uniformemente nella roccia e facilmente visibile ad occhio nudo.

Associate ai trubi a tratti intercalate e frammiste, si rinvencono brecce argillose a struttura caotica con intercalazioni di marna calcarea.

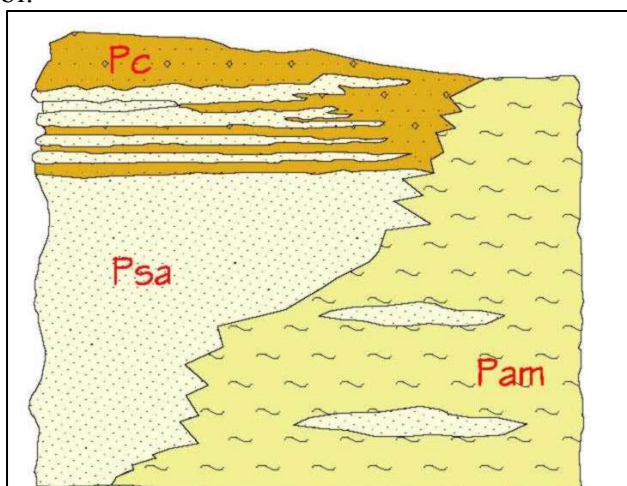
In affioramento si presentano ben stratificati, con strati aventi uno spessore di circa 10 - 20 cm e con delle fratture ortogonali alla stratificazione stessa, talvolta così regolari da potersi confondere con i piani di stratificazione. A volte gli affioramenti sono mascherati da estese coltivazioni e seminativi; la loro presenza è provata dal colore biancastro che assume il terreno in corrispondenza di questo litotipo.

I Trubi si possono considerare a coesione variabile ed aventi una permeabilità complessa. Nella parte alta per spessori di pochi metri sono permeabili per fratturazione ed alterazione, mentre in profondità, essendo delle rocce insolubili in cui non interviene il fenomeno della dissoluzione chimica ad allargare le fessure, sono impermeabili.

6.6. Formazione marnoso – arenacea – (Pliocene medio - Pleistocene inf)

La formazione è da far risalire ad una deposizione terrigena torbidity che ha colmato in più fasi il bacino prossimo alla linea di costa. Il prevalere della sedimentazione sui fenomeni erosivi, ha determinato un avanzamento della terra emersa con conseguente spostamento della linea di costa in più riprese. Tale meccanismo ha determinato il susseguirsi di più cicli sedimentari ognuno dei quali costituito da argille, argille sabbiose passanti sia lateralmente che verticalmente a sabbie e calcareniti di tipico ambiente deltizio.

Schematicamente possiamo suddividere la formazione, dal basso verso l'alto, in tre differenti unità fra loro intercalate ed alternate, e complessivamente discordanti sui sottostanti Trubi:



Colonna stratigrafica tipo della Formazione marnoso – arenacea

- Unità delle argille ed argille marnose (*Pam*);
- Unità delle sabbie e sabbie argillose (*Psa*);
- Unità delle calcareniti e sabbie (*Pc*).

UNITA' DELLE ARGILLE ED ARGILLE MARNOSE - (*Pam*);

Affiorano nel settore centrale dell'area in studio nei pressi di *Poggio Muscello*, *Cozzo Tamburunaro*, *case Pisano*, *La Russa*, *Tedesco* e a nord di Agrigento dove costituiscono il substrato delle calcareniti della *Rupe Atenea*. L'unità poggia in discordanza sui Trubi ed è co-

stituita da argille ed argille marnose generalmente di colore grigio-azzurro, omogenee a struttura scagliosa, con resti di fossili e a luoghi, minuti cristalli di gesso.



Falesia in argilla ad ovest della spiaggia di Maddalusa

In perforazione si presentano di colore grigio-verde con livelli argillosi alternati ad argille sabbiose e veli di sabbia grigia con minuti resti fossili.

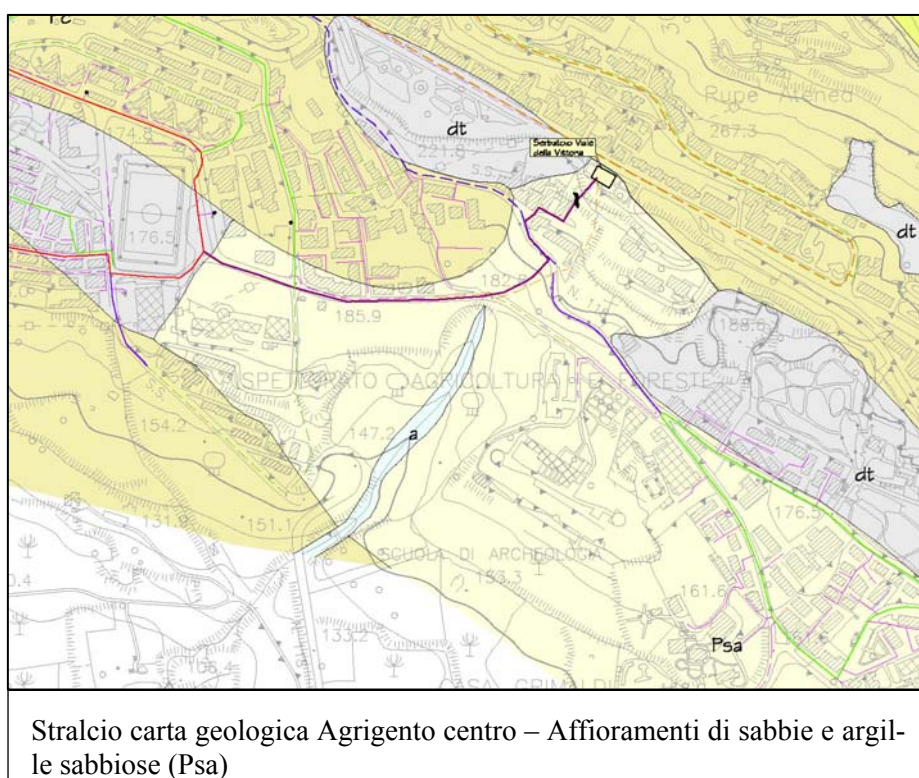
L'unità verso l'alto passa gradualmente a sedimenti sempre più limosi e sabbiosi, pertanto il passaggio all'unità successiva non è mai netto sia in affioramento che in perforazione. Rappresenta un deposito di progradazione, trasgressivo sulle strutture a falde delle unità precedenti; nella sua espressione più chiara i termini di questa unità sono caratterizzati da argille grigio-blu o grigio-verdi, siltose o decisamente sabbiose, micacee, ricche di resti di molluschi e di microforaminiferi visibili a occhio nudo.

Intercalate alle argille vi sono intervalli olistostromici, con olistoliti raggiungenti notevoli dimensioni.

UNITA' DELLE SABBIE E SABBIE ARGILLOSE – (Psa)

L'unità è costituita da sabbie giallastre con livelli limosi e talora argillosi generalmente poco cementati; si riscontrano inoltre modesti livelli di ghiaia e conglomerati, costituiti da calcareniti e quarzareniti in matrice sabbiosa e nella parte alta della sequenza veli di calcarenite.

Affiorano in continuità con le Argille Marnose (Pam) in concomitanza di collinette ed alti strutturali (Cozzo Mosè, a sud della *Rupe Atenea* e in buona parte dell'abitato di Villaseta).



Si tratta di un tipico deposito di mare basso con una facies eteropica passante dalle argille-sabbiose grigie alle sabbie sciolte o debolmente cementate, per poi passare a calcareniti

cementate molto ricche in fossili.

Il passaggio alle calcareniti avviene gradatamente prima passando ad argille sabbiose quindi a calcareniti vere e proprie con intercalazioni irregolari di argille sabbiose.

UNITA' DELLE CALCARENITI E SABBIE – (Pc)

Il termine classico di questa unità è rappresentato da una biocalcarenite bruno-giallastra a stratificazione piano-parallela e laminazione incrociata, generalmente cementata e ricca di resti fossili (macrofauna ad ostreidi, pectinidi e molluschi in genere).



Sezione naturale di sabbie a calcareniti stratificate in banchi decimetrici.

Nel settore in esame l'unità mostra numerosi passaggi, sia laterali che verticali, dei banchi decimetrici di biocalcarenite con livelli sabbiosi totalmente sciolti o scarsamente cementati, che risultano fortemente incisi da fenomeni di erosione selettiva.

Le calcareniti rappresentano una litologia di facies deltizia così come dimostrato dalle tipiche strutture di sedimentazione di questo ambiente (laminazione incrociata). Inoltre è ipotizzabile una sedimentazione sul fondo subacqueo debolmente inclinato, con avanzamento dello stesso in avanti facendo così progredire la terra emersa e spostare la linea di costa.

Affioramenti di questa litologia si hanno nel centro storico di Agrigento, dove ne costituisce il substrato, in parte dell'abitato di Villaseta e nei pressi di Cozzo Mosè ecc.



Sezione di Calcareniti in prossimità del Giardino della Kolymbetra

6.7. Unità dei Terrazzi Marini.

Rappresentano un deposito clastico di mare basso, testimone di una ingressione marina, posto in discordanza sulle argille Plioceniche che ne rappresentano il substrato.

I sedimenti dei Terrazzi presenti nella zona sono composti in prevalenza da conglomerati incoerenti - ghiaie - sabbie e sabbie argillose di colore giallastro.

La litologia di tale frammenti è varia in generale prevale una componente calcarea essendo il deposito di facies litorale.

Interessante è notare che i terrazzi hanno mantenuto la loro debole pendenza verso mare, testimoniando la relativa stabilità tettonica, in tempi geologicamente recenti.

Nella zona rilevata sono presenti dei terrazzi marini anche di notevole estensione.

Sono caratterizzati dall'essere costituiti da sedimenti conglomeratici fossiliferi, discretamente cementati che si trovano in alcuni casi isolati come per esempio in cima alle colline presso *Casa Lo Presti*, *Cugno Sala*, *Cugno Lampo*, *Casale Fanara* oppure nella zona NE del Villaggio Peruzzo, a Nord di Cannatello; esse hanno generalmente una costituzione argillosa fino alla spianata da cui si distaccano, che è costituita da sabbie povere di fossili, come nella zona in prossimità di *Casa Fiandaca* e *Casa Gramaglia*.

Questi sedimenti possono essere attribuiti al Siciliano come risulta da studi paleontologici precedenti effettuati nella zona (Trevisan e Di Napoli, 1938).

Gli spessori di questi depositi sono di pochi metri. In alcuni casi è evidente la discordanza angolare con le formazioni sottostanti.

6.8. Alluvioni e depositi terrazzati – (Recente)

Le alluvioni sono presenti con modeste coperture in corrispondenza dei corsi d'acqua e valloni



Foce Fiume S. Leone: depositi alluvionali grossolani (ciottoli e blocchi)

in tutto il territorio in esame, ma il maggiore affioramento si rinviene in prossimità della zona balneare di Cannatello, dove la particolare morfologia pianeggiante e la significativa presenza del

Fiume Naro e relativi affluenti, hanno consentito un'importante sedimentazione di tipo nentale con la formazione di un vasto deposito alluvionale. Altri affioramenti si hanno nella frazione balneare di San Leone in relazione alla presenza del fiume San Leone, dove la topografia, a causa delle blande pendenze, offre le condizioni favorevoli al deposito. L'attività posizionale ha comportato nel tempo l'accumulo di depositi alluvionali prevalentemente limo-argillosi con sabbie, ciottoli e blocchi; la zona di foce è, quindi, caratterizzata da una fascia litoranea sabbiosa e ciottolosa; con brevi intervalli sabbiosi.

Il deposito, generalmente è incoerente; variabile la permeabilità in relazione all'abbondanza di scheletro ed alla presenza di matrice limo argillosa che ne limita la permeabilità.

La variabilità di questi depositi è notevole anche su spazi molto brevi, sia in senso orizzontale che verticale. Le alluvioni in esame presentano scarsa permeabilità essendo molto abbondante la frazione limosa e argillosa; non di rado sono frequenti fenomeni di ristagno superficiale delle acque meteoriche.

6.9. Detrito di falda - (Recente)

Si tratta di una coltre di copertura delle formazioni in posto con spessori variabili da pochi decimetri a 2-3 m, è presente nelle zona sud della Rupe Atenea nei pressi dell'area cimiteriale di Agrigento e nelle vicinanze dello stadio Esseneto.

Generalmente è costituito da ghiaie, brecce, variamente cementate a luoghi misti a matrice terrosa o sabbioso-argillosa. I frammenti sono generalmente di natura calcarenitica e provengono dallo smantellamento delle formazioni topograficamente sovrastanti.

6.10. Depositi elu-colluviali – (Recente)

Le unità affioranti sono spesso ricoperte in prossimità della borgata di San Leone, da depositi detritici di origine eluviale che costituiscono un mantello di copertura delle sottostanti argille e sabbie argillose pleistoceniche.

Si tratta di depositi continentali che hanno subito un certo trasporto per opera delle acque dilavanti e di ruscellamento accumulandosi nelle aree pianeggianti o depresse.

La natura è prevalentemente limoso-argilloso-sabbiosa, con matrice terrosa e frammenti rocciosi di varia dimensione e natura composizionale, che provengono dallo smantellamento delle formazioni topograficamente sovrastanti, costituendo un mantello di detrito eluviale che ricopre le formazioni in posto.

Il deposito inoltre può presentare resti vegetali sia decomposti (Humus), che parzialmente decomposti.

Il deposito è generalmente incoerente o poco coesivo, comprimibile, umido e poco permeabile; da segnalare l'estrema variabilità stratigrafica e litologica di questi depositi anche su spazi molto brevi.

6.11. Depositi costieri

Trattasi di depositi costituiti da ghiaie, ciottoli, sabbie costiere e dune attuali; gli elementi si presentano di varia natura composizionale con prevalenza di elementi calcarei e quarzo.



Depositi di sabbie fini in prossimità della viale le Dune (S. Leone)

Le sabbie costiere per lunghi tratti si configurano a dune che ricoprono con vasti spessori (circa 10 –15 m) la formazione argillosa in posto. Le dune sono costituite da sabbie fini di natura silicea e calcarea, i sedimenti si presentano ben arrotondati e maturi.



Depositi costieri grossolani costituiti da ghiaie e blocchi ad ovest della foce dell' Akragas (sullo sfondo la spiaggia della Mad-dalusa)

7. Azione sismica – Zonazione macrosismica e Microzonazione

7.1. Premessa

Il presente capitolo riporta le considerazioni in ordine all'azione sismica di progetto nel rispetto della normativa vigente e in relazione con la pericolosità sismica base del sito di costruzione. Lo studio riferisce della pericolosità sismica del territorio, intesa come la probabilità statistica che si verifichi un evento sismico e la conseguente pericolosità indotta, legata a fattori locali geologici e geomorfologici che possono amplificare o attenuare le vibrazioni sismiche.

Lo studio è stato articolato secondo il seguente schema concettuale:

- Analisi della nuova normativa di riferimento (Classificazione 2003);
- Ricerca storica dei principali terremoti che negli ultimi 200 anni hanno interessato un areale di riferimento significativo, al fine di verificare la propensione statistica all'evento sismico;
- Analisi della pericolosità sismica di base
- Definizione delle “*categorie di suolo di fondazione*”

7.2. Normativa di riferimento

Alla base dello studio è posto il **D.M. 14 gennaio 2008**, pubblicato nella G.U. n.° 29 del 04 Febbraio 2008 che aggiorna le “*norme tecniche per le costruzioni*” precedentemente introdotte con il decreto ministeriale 14/9/2005 e in tema di **Classificazione Sismica Regionale** l'Ordinanza Presidente del Consiglio n° 3274 del 20/03/2003 pubblicata nella G.U. n. 105 8/5/2003 recepita dalla Regione Sicilia con delibera di Giunta regionale n° 408 del 19/12/2003 e successivo decreto del Dipartimento Regionale Protezione Civile del 15 gennaio 2004 - G.U.R.S. n° del 13/02/2004.

7.3. Zonazione Macrosismica

La Delibera di Giunta Regionale n. 408 del 19 dicembre 2003 ed il successivo D.D.G. n. 3 del 15 gennaio 2004, hanno reso esecutiva la **nuova classificazione sismica dei Comuni della Regione Siciliana**, distinguendo il territorio in quattro aree a diversa pericolosità sismica.

La nuova classificazione è articolata in quattro zone, le prime tre corrispondono, dal punto di vista della relazione con gli adempimenti previsti dalla Legge n. 64 del 2 Febbraio 1974 e dei successivi decreti ministeriali, alle zone di sismicità alta ($S=12$), media ($S=9$) e bassa ($S=6$), mentre la zona 4 è di nuova introduzione ed è data facoltà alle regioni di imporre l'obbligo della progettazione antisismica.

Classificazione L. 64 del 2/2/74	Classificazione 2003 Ord. P.C. n°3274 del 20/3/03
Sismicità alta $S=12$	1
Sismicità media $S=9$	2
Sismicità bassa $S=6$	3
N.C.	4

L'introduzione della nuova classificazione comporta per il territorio siciliano, oltre alla scomparsa delle zone *non classificate* che divengono di 4° livello (con facoltà della Regione di applicare eventuali norme tecniche specifiche), un complessivo aumento delle zone sismiche di 1° livello che passano da 18 Comuni a 36, tutte ristrette nel settore della Valle del Belice (Trapani) e in Provincia di Messina.

La classificazione sismica, inoltre, ha consentito l'adozione degli elenchi non esaustivi delle

Categorie tipologiche di edifici di interesse strategico e rilevante, individuando anche i criteri di priorità per la programmazione delle verifiche tecniche delle strutture strategiche e rilevanti. La nuova normativa, oltre a prevedere i criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la loro classificazione, detta specifiche norme tecniche a seconda della tipologia costruttiva da realizzare o adeguare, in particolare:

- Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti;
- Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici;
- Norme tecniche per il progetto sismico delle opere di fondazione e di sostegno dei terreni.

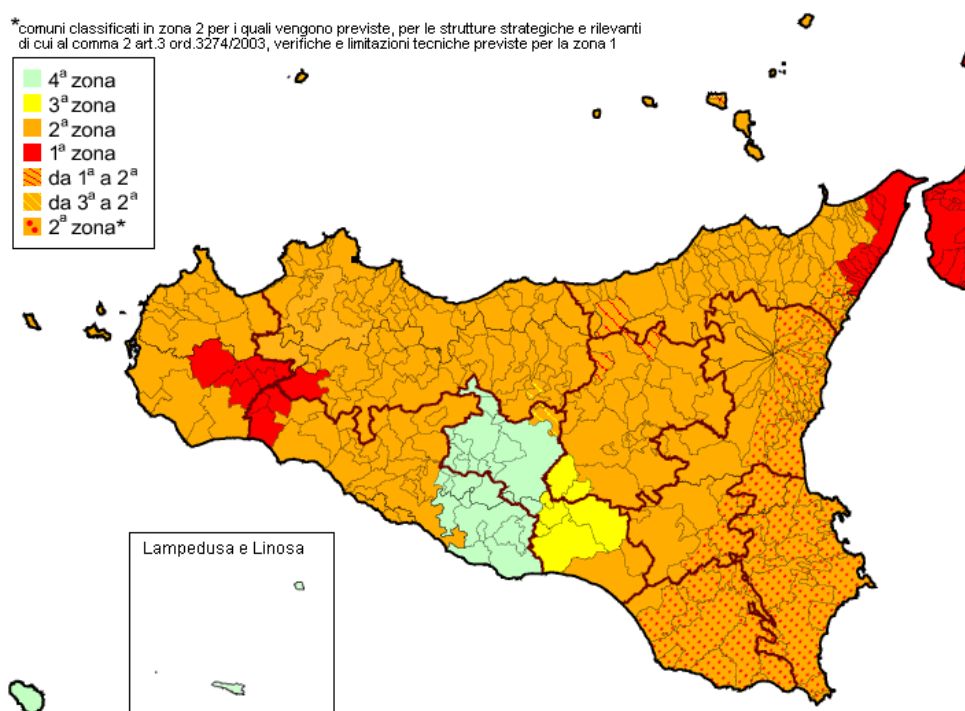
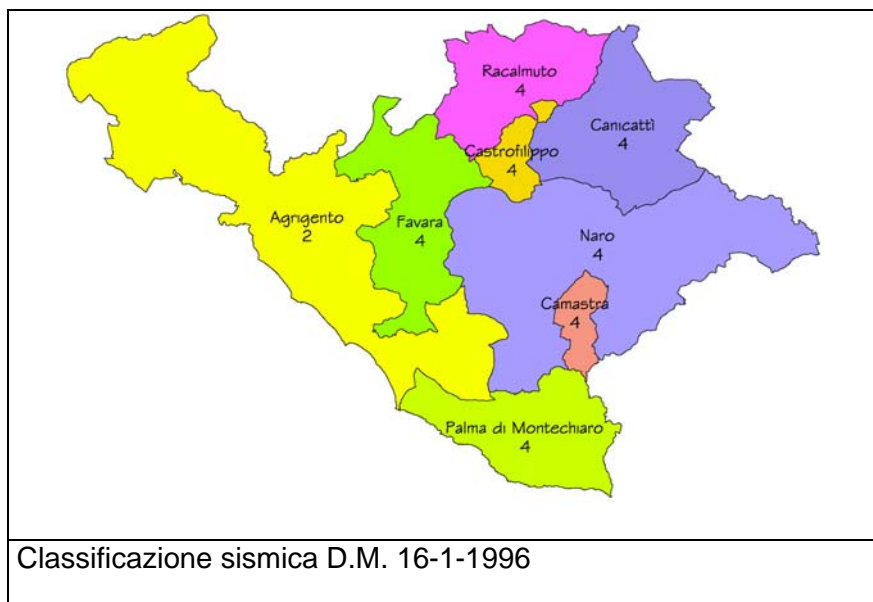


Figura 1): Classificazione Sismica Regionale (DGR n. 408 del 19/12/2003)

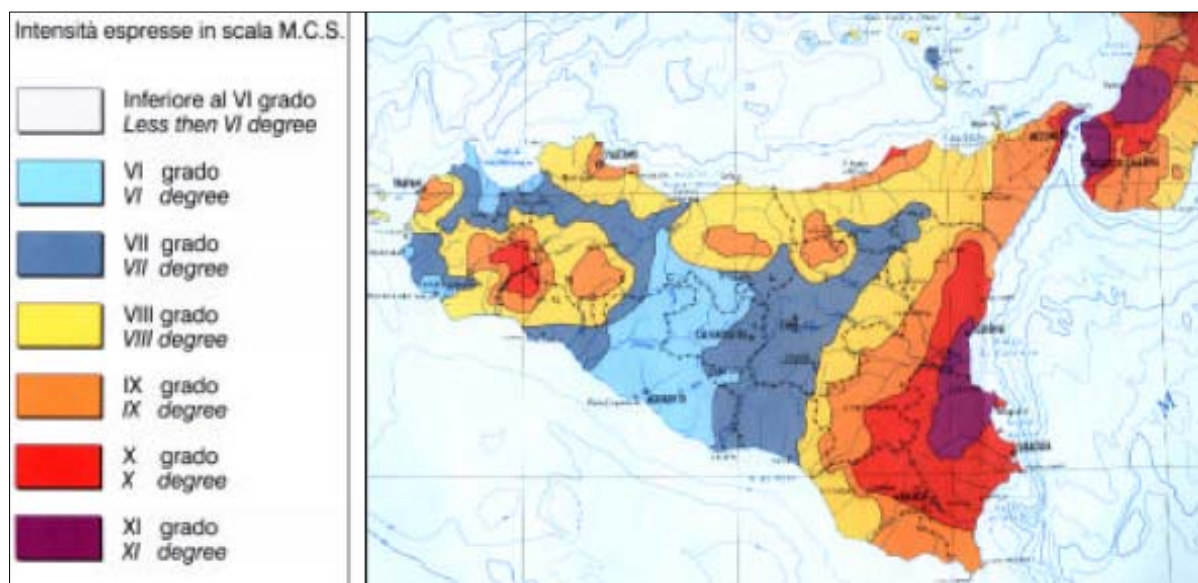
Il progetto in esame ricade per intero nel territorio comunale di AGRIGENTO censito con classe sismica SECONDA



La ricerca storica degli eventi sismici ha evidenziato che il settore maggiormente colpito in passato, e al tempo stesso maggiormente indiziato di un possibile ripetersi di calamità sismiche, è rappresentato dalla fascia orientale della Sicilia, dal Basso Tirreno al Canale di Sicilia e dal settore della Valle del Belice già in passato oggetto di violenti eventi sismici.

La vivace tettonica regionale che contraddistingue il settore orientale, si esprime attraverso il frequente manifestarsi di terremoti nella provincia di Messina e Catania e trova un'ulteriore testimonianza nella presenza di vulcani attivi quali l'Etna, Vulcano e Stromboli.

Il settore occidentale siciliano a cavallo della Valle del Belice è stato interessato nel 1968 da una serie di forti scosse sismiche che provocarono gravissimi danni e vittime specialmente negli abitati di Gibellina, Montevago, S. Margherita Belice, Salemi Partanna, Menfi.



Mappa delle massime intensità macrosismiche. (Fonte: Dipartimento della Protezione Civile)

I restanti settori della Sicilia, non presentano eventi sismici storicamente significativi e statisticamente ricorrenti, così come tutto il settore attraversato dai lavori in progetto, ad esclusione di scosse o sciame sismici secondari.

Nella tabella di seguito riportata, tratta dal sito del Servizio Sismico Nazionale, vengono elencati i terremoti storici che hanno interessato la provincia di Agrigento.

Sismicità registrata nella Provincia di Agrigento dal 1693
(Fonte: Servizio Sismico Nazionale)

DATA	LAT	LONG	I MCS	AREA
15/01/1968	37°48'	13°12'	VIII-IX	VALLE DEL BELICE
15/01/1968	37°42'	13°06'	X	VALLE DEL BELICE
16/01/1968	37°42'	13°18'	VIII	VALLE DEL BELICE
25/01/1968	37°42'	13°06'	VIII	VALLE DEL BELICE

7.4. Analisi della Pericolosità sismica di base

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (**NTC**) definiscono l'azione sismica sulle costruzioni a partire da una "pericolosità sismica di base", specifica per il sito di progetto in condizioni ideali (sito di riferimento rigido di Categoria A, con superficie topografica orizzontale), che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

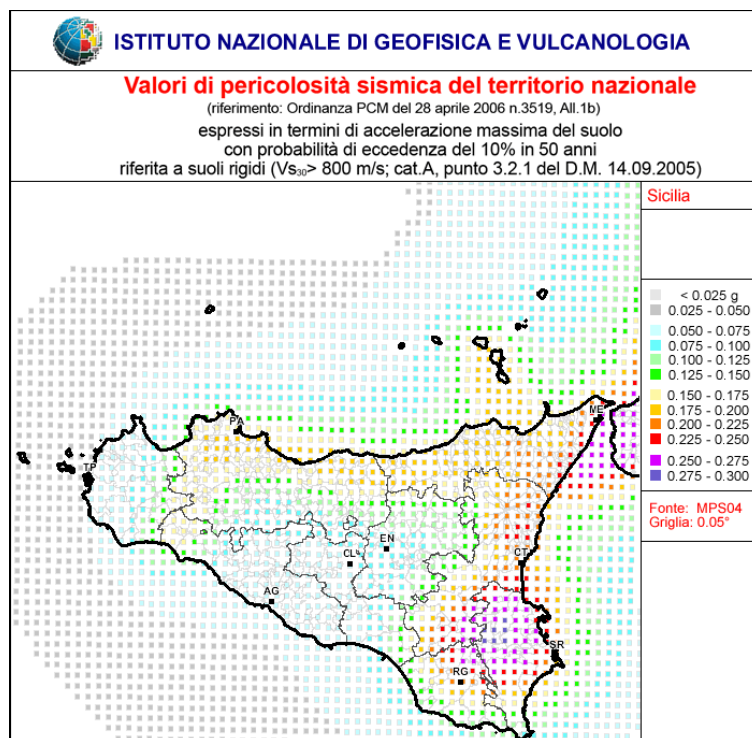
Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle **NTC**, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali; queste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

a_g il valore previsto dalla *pericolosità sismica*,

F_o e T_c i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle **NTC** scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla *pericolosità sismica* (la condizione di minimo è imposta operando ai minimi quadrati, su spettri di risposta normalizzati ad uno, per ciascun sito e ciascun periodo di ritorno).



Per il sito di progetto, la *pericolosità sismica* su *reticolo di riferimento* nell'*intervallo di tempo stabilito* è fornita dai dati pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia sulla base degli stati limite di esercizio

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, *non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi*;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Di seguito si riportano per il sito di progetto i valori dei parametri a_g , F_o , T_c per i periodi di ritorno T_r associati a ciascun stato limite:

SITO DI PROGETTO:	LATITUDINE	LONGITUDINE
AGRIGENTO	37,3219	13,5896

STATO LIMITE	T_r [anni]	a_g [g]	F_o	T_c [s]
Stato Limite di Operatività (SLO)	30	0,019	2,521	0,184
Stato Limite di Danno (SLD)	50	0,025	2,482	0,218
Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)	475	0,056	2,569	0,412
Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)	975	0,070	2,647	0,447

7.5. Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

In ottemperanza alla nuova normativa in materia di costruzione in zona sismica è stato condotto uno studio specifico per definire il profilo stratigrafico del suolo di fondazione ai sensi del Cap. 3.2.2 della NCT che riprende l'art. 3.1 “*categorie di suolo di fondazione*” dell'ordinanza n° 3274.

In relazione alla nuova classificazione si è provveduto a verificare le prescrizioni relative ai terreni di fondazione che risultano **esenti da rischio di instabilità, cedimenti o fenomeni di collasso** del terreno causati da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di terremoti.

Categorie di sottosuolo:

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>
S1	<i>Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu_{,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.</i>
S2	<i>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.</i>

Lo studio è stato articolato suddividendo le zone di territorio interessato dagli interventi in progetto in aree omogenee dal punto di vista sismico.

- ***Agrigento centro***

Nelle zone dove affiorano le calcareniti, anche con modesti spessori di ricoprimento di detriti o riporti, gli studi condotti orientano a considerare il profilo in esame nell'ambito della categoria **A** *“Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m”*

- ***Agrigento nord***

Per il tratto di condotta, di adduzione al serbatoio Forche, da sostituire, (riferimento tavola 2.5), che attraversa le argille plioceniche, le argille brecciate e una piccola porzione di trubi si

considera un profilo sismico tipo **D** “*Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 180$ m/s ($N_{spt} < 15$, $Cu < 70$ kPa).*

Nelle zone più a nord dell’area in esame (riferimento tavole 2.6 e 2.7) dove affiorano le argille tortoniane, che presentano una porzione superficiale alterata, costituita da argille e limo argilloso-sabbioso plastico, il profilo sismico appartiene alla categoria **D** “*Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 180$ m/s ($N_{spt} < 15$, $Cu < 70$ kPa).*

- **San Leone**

Le opere da realizzare in questo settore insistono sulle argille plioceniche sui depositi eluviali e in parte sui terrazzi marini che affiorano a nord dell’abitato di S. Leone, presso case *Lo presti*. La categoria sismica di riferimento nel settore è la **D** “*Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 180$ m/s ($N_{spt} < 15$, $Cu < 70$ kPa).*

- **Villaseta –Monserrato**

Le opere da realizzare in questa zona insistono prevalentemente sui depositi calcarenitici, ampiamente diffusi nell’abitato di Villaseta. Il profilo sismico è da ascrivere alla categoria **A** “*Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m*”

- **Poggio Muscello**

Il settore in esame si caratterizza per i vasti affioramenti di terrazzi marini e argille plioceniche nei poggi e nelle collinette più alte; il cui profilo sismico appartiene alla categoria **D** “*Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{S30} < 180$ m/s ($N_{spt} < 15$, $Cu < 70$ kPa).*”

In prossimità di *Cozzo Mosè* dove si hanno, invece, affioramenti di calcareniti e sabbie pleistoceniche gli studi condotti orientano a considerare il profilo in esame nell’ambito della categoria **A** “*Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m*”.

Per quanto riguarda la definizione delle **condizioni topografiche** del sito in esame queste sono generalmente del tipo **T1** come definito dalla seguente tabella:

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T 1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T 2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T 3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T 4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

8. Modello Stratigrafico e geotecnico

Di seguito si riporta per ogni zona di intervento, l'assetto stratigrafico e litotecnico ricostruito e la caratterizzazione geomeccanica dei terreni con l'attribuzione dei principali parametri geotecnici. Inoltre per le adduttrici principali del sistema idrico in progetto, sono stati realizzati i profili geologici (tav. I 29 – I 35) con la puntuale ricostruzione della sezione geologica, dei rapporti stratigrafici e lo spessore dei litotipi interessati dai lavori di scavo per la posa in opera delle condotte in progetto

8.1. Zona Fontanelle - Zona Madonna Delle Rocche

Nel settore i litotipi interessati dai lavori di scavo sono in larga parte le Argille Tortoniane mentre per brevi tratti si intercettano i Trubi, i calcari ed i gessi.

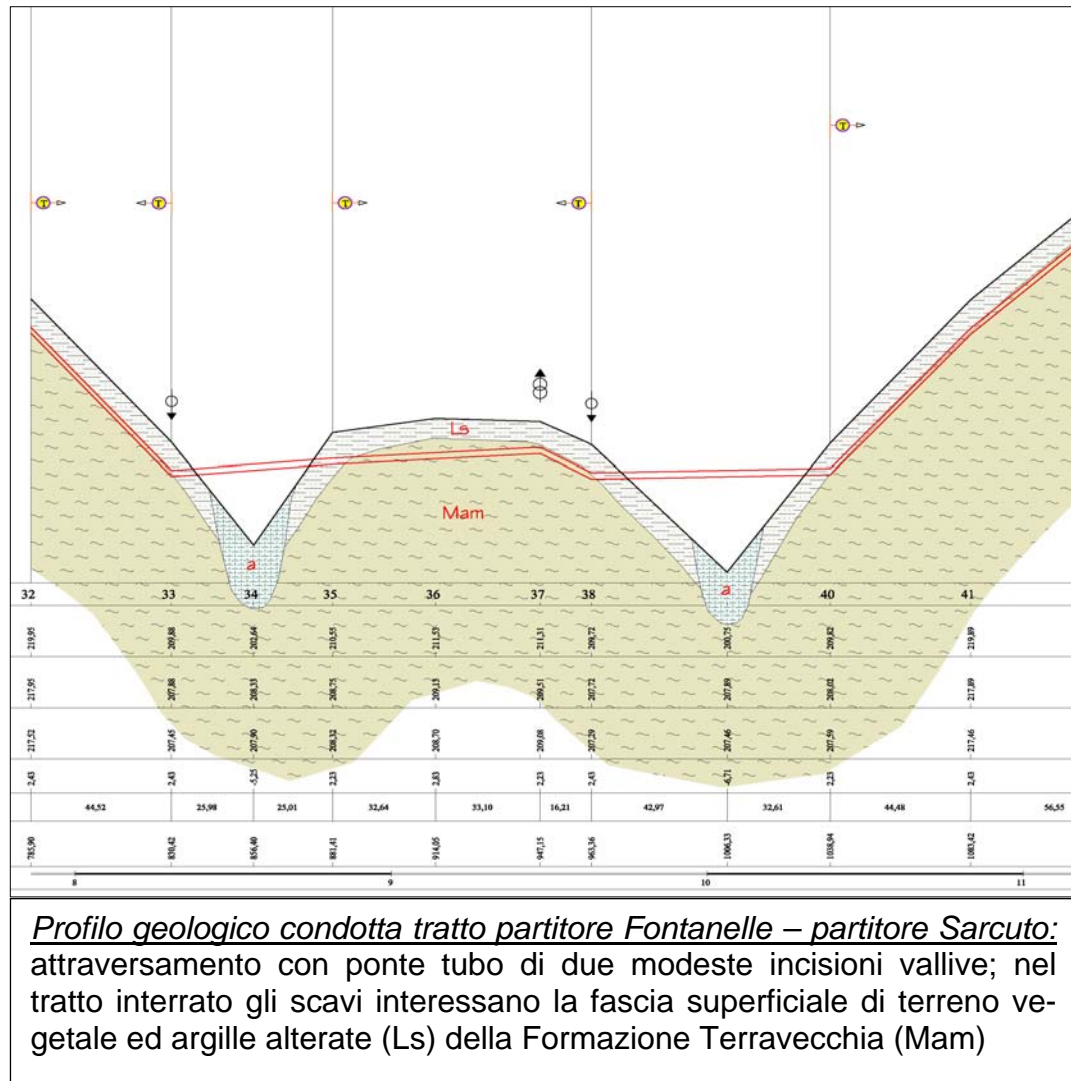


Contrada Madonna delle Rocche – Calcarelle - San Gispuzzu: la condotta in progetto ricade in tutto il settore nord in affioramenti argillosi Tortoniani, mentre in direzione sud taglia la cresta calcareo – gessosa di contrada Madonna delle Rocche – Calcarelle.

Si presentano qui di seguito le caratterizzazioni geotecniche dei litotipi predominanti presenti nell'area.

La formazione argillosa presenta su quasi tutta la fascia indagata, una porzione superficiale alterata comprese tra 1.00 e 3.00 m. da p.c., che risulta oblitterata nella struttura e con un elevato contenuto d'acqua. Spesso, in corrispondenza degli impluvi si rinviene in alternanza alle alluvioni a grana grossa, di cui ne costituisce la matrice.

LITOTIPO	Parametri Geotecnici
ARGILLE TORTONIANE (Mam) Livello superficiale alterato costituito da argille limo sabbiose passanti a limo argilloso	$\gamma = 1.9 - 2.0 \text{ T/mc}$
	$C_u = 0,2 - 0,8$ Kg/cmq
	$C' = 0,2 - 0,6$ Kg/cmq
	$\phi' = 18^\circ$
Note: - Contenuto d'acqua variabile tra 20% e 24% con un valore medio di 22% - Grado di saturazione variabile tra 86% e 96% con un valore medio di 90% - Limiti di Atterberg valori medi: $W_l=57\%$; $W_p=28\%$; $I_p=29\%$ - La percentuale di argilla presente è risultata mediamente del 49%. - Indici di consistenza ed attività sono pari a $I_c=1.20$ ed $I_a=0.60$ che classificano lo strato preso in considerazione come argille inattive di consistenza molto compatta.	
ARGILLE TORTONIANE (Mam) Livello profondo non alterato	$\gamma = 1.95 - 2.0 \text{ T/mc}$
	$C_u = 0,8 - 1,0$ Kg/cmq
	$C' = 0,3 - 0,8$ Kg/cmq
	$\phi' = 20 - 22^\circ$
Note: - Contenuto d'acqua variabile tra 16% e 23% con un valore medio di 20% - Grado di saturazione variabile tra 72% e 96% con un valore medio di 84% - Limiti di Atterberg valori medi: $W_l=56\%$; $W_p=26\%$; $I_p=30\%$ - La percentuale di argilla presente è risultata mediamente del 49%. - Indici di consistenza ed attività sono pari a $I_c=1.20$ ed $I_a=0.60$ che classificano lo strato preso in considerazione come argille inattive di consistenza molto compatta.	



I gessi affiorano a nord del centro abitato di Agrigento in prossimità di *Contrada Calcarelle, Madonna delle Rocche, Palmentelle e Minaga* si presentano sia come banchi litoidi di gessi macrocristallini stratificati sia come intercalazioni di argille gessose a contenuto sabbioso.

I banconi di gesso selenitico si presentano con macrocristalli geminati a coda di rondine, di dimensioni comprese fra i 2-3 cm fino ai 15-20 cm.

LITOTIPO	Parametri Geotecnici
GESSE (Mg) Gessi macrocristallini stratificati in banchi di grosso spessore. Possibili intercalazioni di argille gessose.	$\gamma = 2.2 \text{ T/mc}$
	$C_u > 2.50 \text{ Kg/cm}^2$
	$\phi' = 35^\circ$
	Resistenza schiacciamento $> 35 \text{ N/mm}^2$
NOTE: si riportano i parametri geotecnici per i gessi litoidi.	

Il calcare evaporitico affiora a nord del centro urbano di Agrigento, in prossimità di Contrada Palmentelle e Minaga. Si presenta in grossi banchi massivi in cui è difficile riconoscere l'originaria stratificazione, il colore è grigio-biancastro in superficie tendente al grigio scuro in profondità. I banconi di calcare sono separati da intercalazioni marnose di pochi decimetri chiamate "partimenti". Di seguito si riportano i parametri geomeccanici estrapolati per il litotipo.

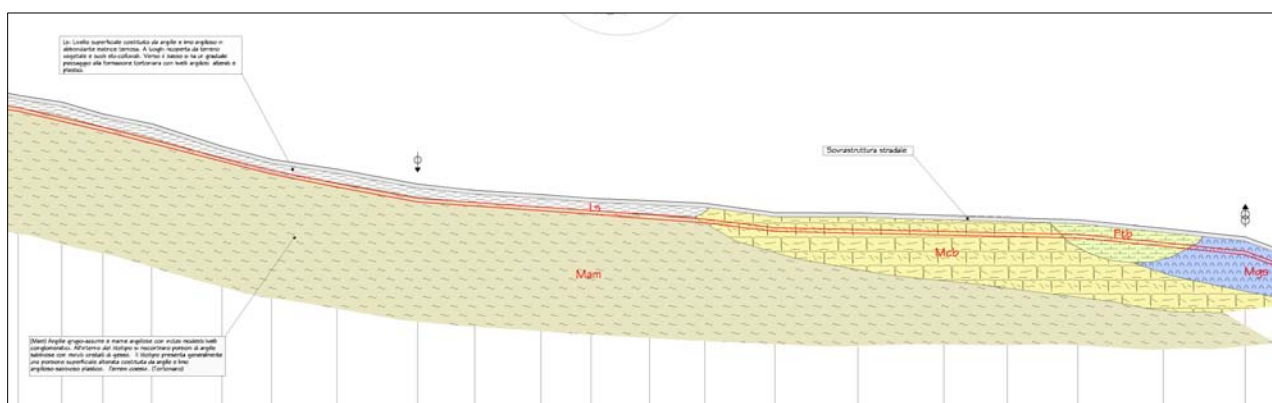
LITOTIPO	Parametri Geotecnici
CALCARI EVAPORITICI (Mcb) Calcari a struttura massiva in grossi banchi talora fratturati, possibili partimenti marnosi e terrosi di spessore decimetrico.	$\gamma = 2.2 \text{ T/mc}$
	$C_u = 2.0 - 2.50 \text{ Kg/cm}^2$
	$\phi' = 35^\circ$
	Resistenza schiacciamento $30 - 40 \text{ N/mm}^2$
NOTE:	

La formazione dei Trubi affiora, in molti settori a nord dell'abitato di Agrigento, sia come calcare marnoso biancastro (*Ptb, nei pressi del quadrivio Spinasanta*), che come brecce argillose e argille marnose intercalate ai calcari (*Ab4, nei pressi della stazione ferroviaria di Agrigento Bassa*).

Trattasi di calcari marnosi più o meno cementati passanti a marne calcaree di colore bianco crema fino a grigio chiaro, si presentano ben stratificati, con strati aventi uno spessore di circa 10 - 20 cm e con delle fratture ortogonali alla stratificazione stessa.

I Trubi si possono considerare a coesione variabile ed aventi una permeabilità complessa. Nella parte alta per spessori di pochi metri sono permeabili per fratturazione ed alterazione, mentre in profondità, essendo delle rocce insolubili in cui non interviene il fenomeno della dissoluzione chimica ad allargare le fessure, sono impermeabili.

LITOTIPO	Parametri Geotecnici
CALCARI MARNOSI E MARNE CALCAREE (TRUBI - Ptb) Calcari marnosi e marne calcaree con intercalazioni di breccia argillosa e marnosa.	$\gamma = 1.9 \text{ T/mc}$
	$C_u = 0.6 - 1.0 \text{ Kg/cmq}$
	$C' = 0,1 - 0.3 \text{ Kg/cmq}$
	$\phi' = 30^\circ$
	Resistenza schiacciamento 4-10 N/mm ²
NOTE: : Nei livelli prettamente calcarei e ben cementati i parametri geomeccanici e di resistenza del litotipo tendono a migliorare.	



Profilo geologico condotta tratto partitore Fontanelle – partitore Sarcuto:
 Contrada Calcarelle passaggio Argille Tortoniane (Mam) Calcare di Base (Mcb) Gessi (Mg) Trubi (Ptb)

Ripartizione classi di scavo per gli interventi in progetto

Dall'analisi dei profili di progetto e degli elaborati esecutivi per la posa in opera della rete idrica di distribuzione e degli adduttori, si evince che gli scavi interesseranno principalmente materiali sciolti o debolmente cementati costituiti da terreni di copertura eluviale, argille e limi argillosi con classe di scavo compreso tra 0-4 N/mm² (F.ne Argille tortoniane, alluvioni).

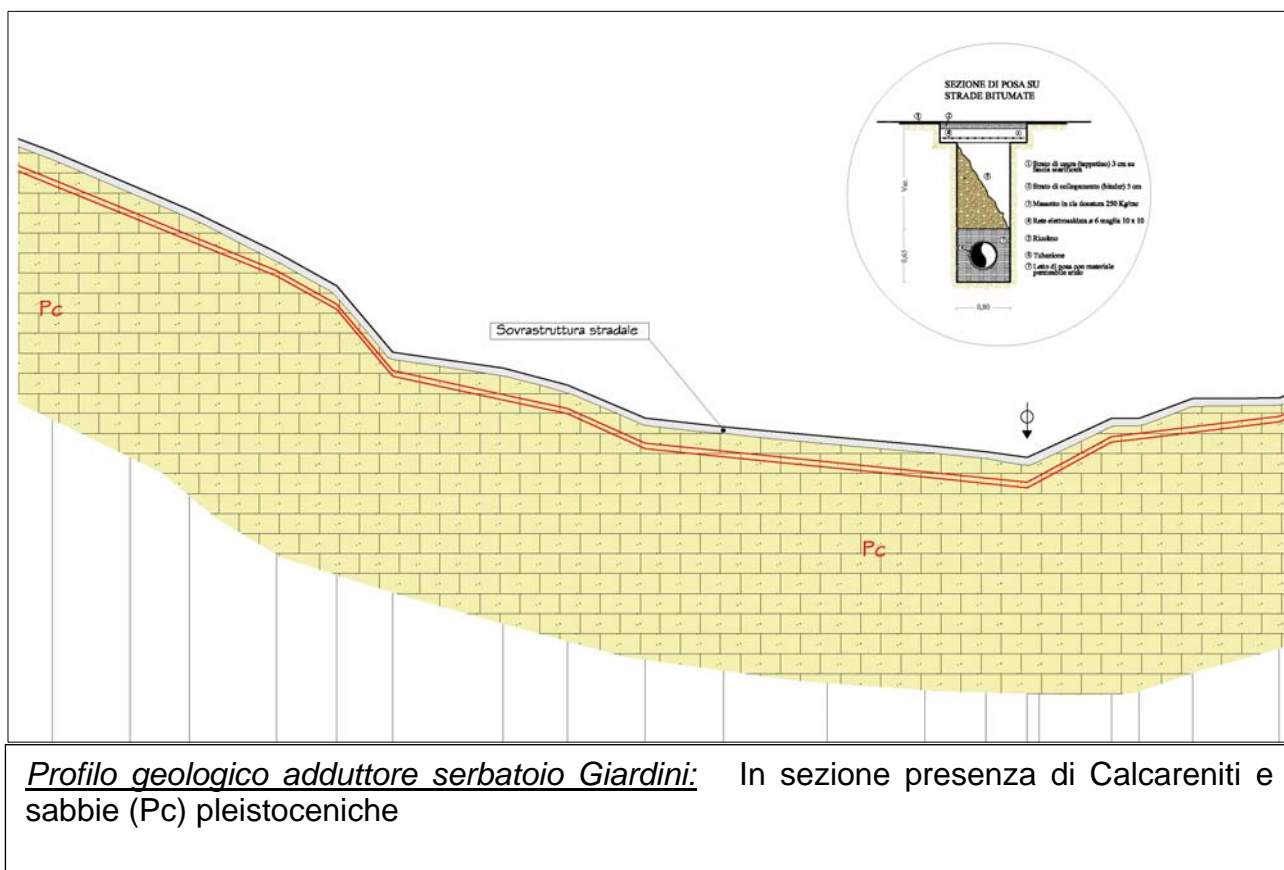
In alcuni settori si attraversano affioramenti di litotipi più tenaci quali calcari e calcari marnosi con possibile presenza di fratturazioni e fessure la cui resistenza allo schiacciamento compete tra 4-10 N/mm².

Di seguito si riporta la ripartizione percentuale delle classi di scavo per le opere previste nel settore:

Classe resistenza allo schiacciamento	%
0-4 N/mm ²	70
4-10 N/mm ²	30

8.2. Zona Agrigento centro (Rupe, Forche, Itria, Viale)

Nella zona affiora principalmente la formazione delle calcareniti e sabbie, anche con modesti spessori di ricoprimento di detriti o riporti. Per il tratto di condotta da sostituire, di adduzione al serbatoio Forche, si attraversano le argille plioceniche, le argille brecciate e una piccola porzione di Trubi.



Le calcareniti si presentano di colore dal giallo-bruno al marrone e possono essere costituite da piccoli strati cementati di poco spessore alternati a livelletti sabbiosi meno cementati.

Lo spessore dell'unità è assai variabile; generalmente si ipotizza uno spessore di circa 15-20 metri, anche se il passaggio alle sottostanti argille non è netto ma graduale.

Tale strato, laddove sarà interessato dagli scavi di posa della rete idrica, non comporta alcuna problematica di carattere geotecnico, date le buone caratteristiche di portanza e la possibilità di effettuare in esso pareti di scavo pressoché verticali.

Ai fini del calcolo geotecnico si può considerare un unico profilo geomeccanico con i seguenti parametri:

LITOTIPO	Parametri Geotecnici
CALCARENITI E SABBIE (Pc – Psa) Calcareniti giallastre a cementazione variabile generalmente media con tendenza al friabile, con presenza di livelli sabbiosi e argillo –sabbiosi.	$\gamma = 1.8 \text{ T/mc}$
	$C_u = 0.4 - 0.8$ Kg/cmq
	$C' = 0,1 - 0.3$ Kg/cmq
	$\phi' = 35^\circ$
	Resistenza schiacciamento 4 – 10 N/mm ²
NOTE: i parametri geotecnici esposti sono riferiti a calcareniti con presenza di livelli sabbiosi poco cementati. Nei livelli prettamente litoidi e ben cementati i parametri geomeccanici e di resistenza del litotipo tendono a migliorare.	

Ripartizione classi di scavo per gli interventi in progetto

Dall'analisi dei profili di progetto e degli elaborati esecutivi per la posa in opera della rete idrica di distribuzione e degli adduttori, gli scavi interesseranno esclusivamente le sabbie e calcareniti giallastre plio-pleistoceniche a cementazione variabile. Le classi di resistenza individuate sono 0-4 N/mm² per le sabbie e calcareniti debolmente cementate, mentre 4-10 N/mm² per i livelli di calcarenite più tenace.

Di seguito si riporta la ripartizione percentuale delle classi di scavo per le opere previste nel settore:

Classe resistenza allo schiacciamento	%
0-4 N/mm ²	70
4-10 N/mm ²	30

8.3. Zona Villaggio Mose

La parte alta di Villaggio Mosè si caratterizza per la presenza di una cresta calcarenitica di età pleistocenica che degrada a valle in direzione della costa, con affioramenti di sabbie più o meno cementate che gradualmente passano ad argille sabbiose plioceniche.

Il settore sub-pianeggiante del Centro abitato presenta la formazione delle argille ricoperta in discordanza dal Terrazzo Marino costituito da conglomerati ghiaie e sabbie immerse in abbondante matrice terrosa ed argillo – limosa.

Le opere da realizzare in questa zona insistono prevalentemente sui terrazzi marini, ed in minima parte sulle argille plioceniche, sulle sabbie e calcareniti.

LITOTIPO	Parametri Geotecnici
TERRAZZO MARINO (Tm) Conglomerati sabbie e limi sabbiosi in matrice terrosa.	$\gamma = 1.9 \text{ T/mc}$
	$C_u = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$
	$C' = 0.0 - 0.2 \text{ Kg/cm}^2$
	$\phi' = 25^\circ$
	Resistenza schiacciamento 4 – 10 N/mm^2
NOTE: i parametri geotecnici esposti sono riferiti ai primi metri della formazione, coerentemente con le profondità di scavo presenti in progetto (mediamente 2 metri). Nei livelli sottostanti il Terrazzo può assumere valori geomeccanici e resistenza allo schiacciamento nettamente superiori.	

LITOTIPO	Parametri Geotecnici
CALCARENITI E SABBIE (Pc – Psa) Calcareniti giallastre a cementazione variabile generalmente media con tendenza al friabile, con presenza di livelli sabbiosi e argillo – sabbiosi.	$\gamma = 1.8 \text{ T/mc}$
	$C_u = 0.4 - 0.8 \text{ Kg/cm}^2$
	$C' = 0.1 - 0.3 \text{ Kg/cm}^2$
	$\phi' = 35^\circ$
	Resistenza schiacciamento 4 – 10 N/mm^2
NOTE: i parametri geotecnici esposti sono riferiti a calcareniti con presenza di livelli sabbiosi poco cementati. Nei livelli prettamente litoidi e ben cementati i parametri geomeccanici e di resistenza del litotipo tendono a migliorare.	

LITOTIPO	Parametri Geotecnici
ARGILLE PLIOCENICHE (Pam) Conglomerati sabbie e limi sabbiosi in matrice terrosa.	$\gamma = 1.9 \text{ T/mc}$
	$C_u = 0.4 - 0.6 \text{ Kg/cm}^2$
	$C' = 0.2 - 0.4 \text{ Kg/cm}^2$
	$\phi' = 18^\circ$
	Resistenza schiacciamento $0 - 4 \text{ N/mm}^2$
NOTE: i parametri geotecnici esposti sono riferiti ai primi metri della formazione, generalmente alterata, plastica e con un elevato contenuto d'acqua. In profondità le argille di base presentano coesione e valori di angolo di attrito più alti	

Ripartizione classi di scavo per gli interventi in progetto

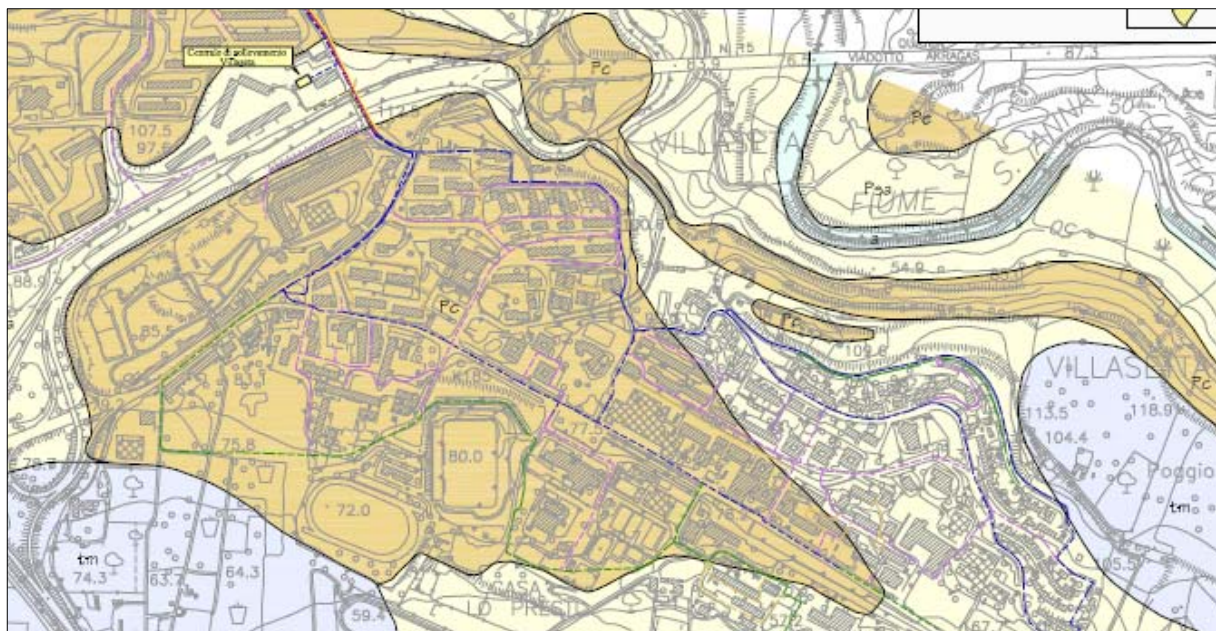
Dall'analisi dei profili di progetto della zona, si evince che gli scavi interesseranno in massima parte i terrazzi marini e in subordine le sabbie a cementazione variabile e le argille plio-pleistoceniche. Le classi di resistenza individuate sono $0-4 \text{ N/mm}^2$ per le argille, sabbie e calcareniti debolmente cementate, mentre $4-10 \text{ N/mm}^2$ per i livelli di calcarenite più tenace e i conglomerati del terrazzo marino.

Di seguito si riporta la ripartizione percentuale delle classi di scavo per le opere previste nel settore:

Classe resistenza allo schiacciamento	%
$0-4 \text{ N/mm}^2$	70
$4-10 \text{ N/mm}^2$	30

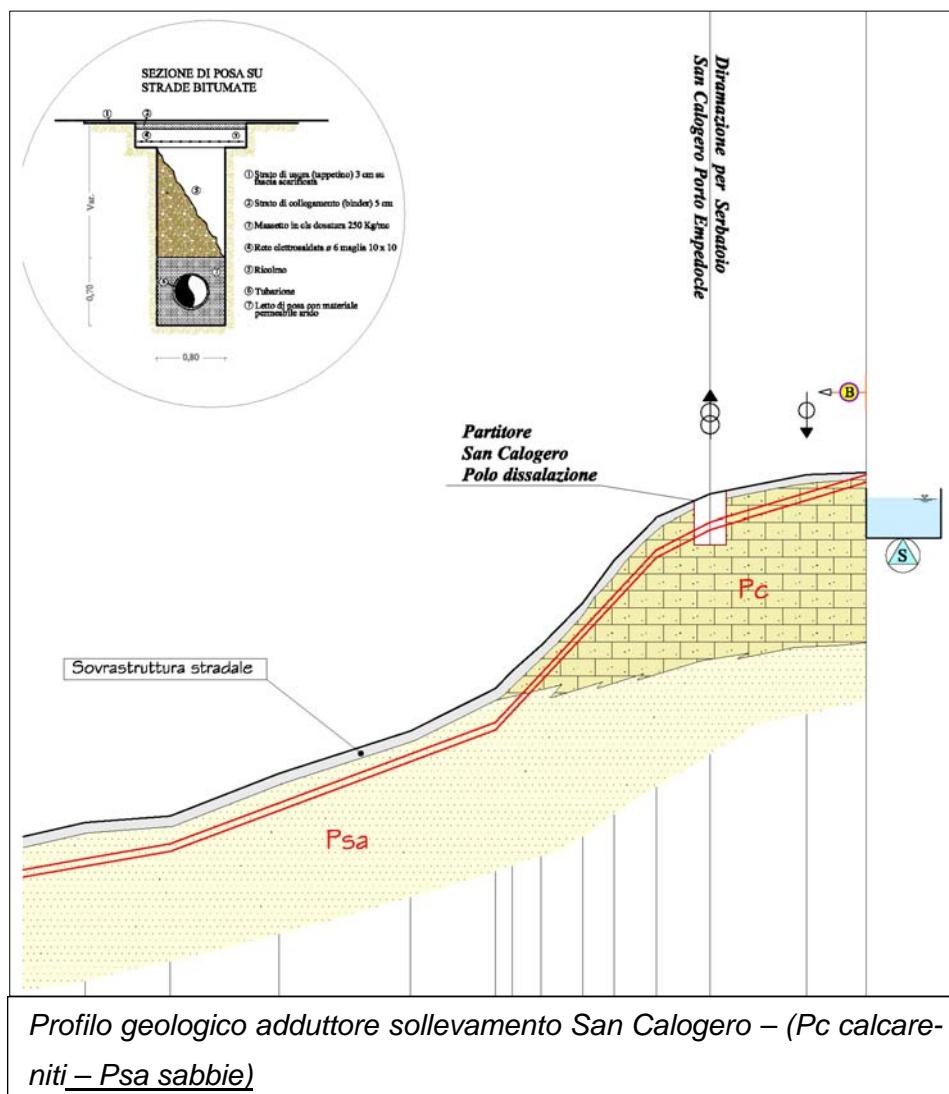
8.4. Zona Villaseta – Monserrato

Le opere da realizzare in questa zona insistono prevalentemente sui depositi calcarenitici, ampiamente diffusi nell'abitato di Villaseta e Monserrato.



Affioramenti di Calcareniti e sabbie in prossimità dell'abitato di Villaseta.

La rete idrica in progetto nel settore in esame taglia sia le calcareniti che le sabbie e sabbie limose del pleistocene che affiorano ampiamente ed in continuità nel settore. Nel settore si prevedono scavi mediamente inferiore ai 2 metri che interessano per intero la formazione delle calcareniti e sabbie. La formazione può presentare livelli di passaggio con le sottostanti argille limose, costituiti da argille limose grigio - giallastre con inclusi minuti elementi litoidi e modesti livelli di conglomerati. Anche per il settore gli scavi e le opere previste non interagiscono con la modesta falda che è rinvenibile a partite da meno 15 metri dal p.c.



LITOTIPO	Parametri Geotecnici
CALCARENITI E SABBIE (Pc – Psa) Calcareniti giallastre a cementazione variabile generalmente media con tendenza al friabile, con presenza di livelli sabbiosi e argillo –sabbiosi.	$\gamma = 1.8 \text{ T/mc}$
	$C_u = 0.4 - 0.8 \text{ Kg/cmq}$
	$C' = 0.1 - 0.3 \text{ Kg/cmq}$
	$\phi' = 35^\circ$
	Resistenza schiacciamento 4 – 10 N/mm^2
NOTE: i parametri geotecnici esposti sono riferiti a calcareniti con presenza di livelli sabbiosi poco cementati. Nei livelli prettamente litoidi e ben cementati i parametri geomeccanici e di resistenza del litotipo tendono a migliorare.	

Ripartizione classi di scavo per gli interventi in progetto

In questo settore gli scavi interesseranno esclusivamente le sabbie e calcareniti giallastre plio-pleistoceniche a cementazione variabile. Le classi di resistenza individuate sono 0-4 N/mm² per le sabbie e calcareniti debolmente cementate, mentre 4-10 N/mm² per i livelli di calcarenite più tenace.

Di seguito si riporta la ripartizione percentuale delle classi di scavo per le opere previste nel settore:

Classe resistenza allo schiacciamento	%
0-4 N/mm ²	70
4-10 N/mm ²	30

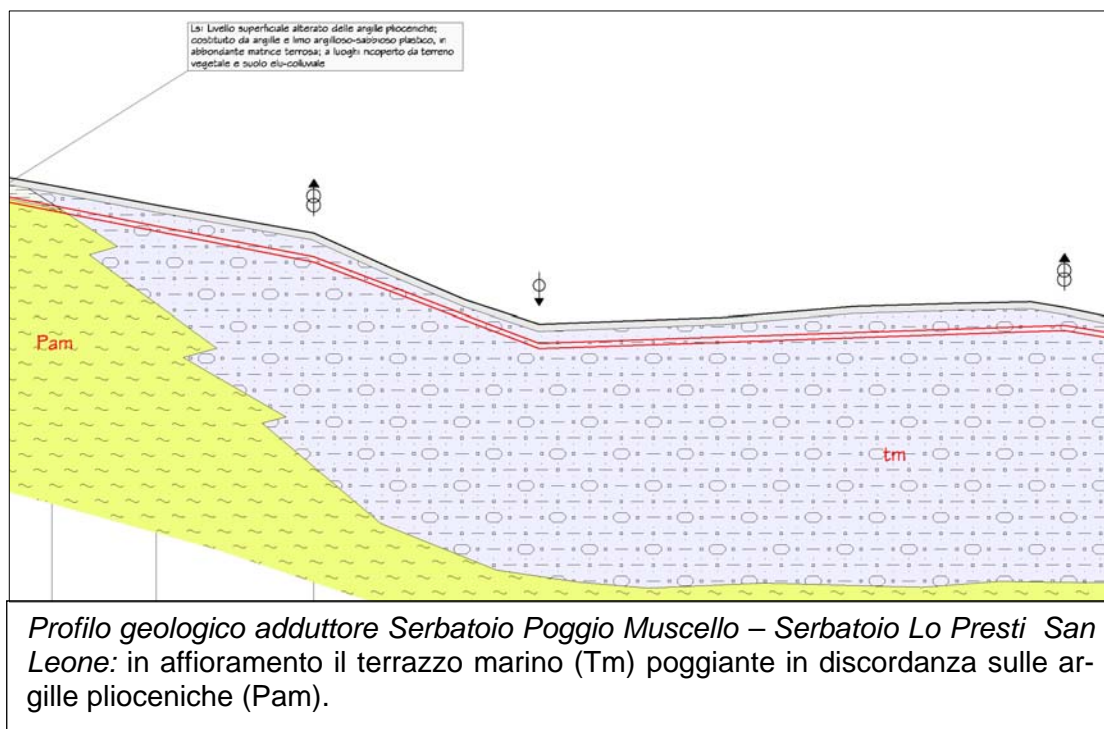
8.5. Fascia costiera (Poggio Muscello – San Leone)

Comprendente le frazioni di San Leone, Cannatello, e parte del Villaggio Mosè che si sviluppano lungo l'ampia fascia costiera ricadente nel territorio di Agrigento.

Nel settore di **Poggio Muscello** prevalgono vasti affioramenti di terrazzi marini mentre nei poggi e nelle collinette più alte sono presenti argille plioceniche. In prossimità di *Cozzo Mosè* si hanno, invece, affioramenti di calcareniti e sabbie pleistoceniche.

Nella zona di **San Leone** le opere da realizzare insistono sulle argille plioceniche, sui depositi elu-colluviali e in parte sui terrazzi marini che affiorano a nord dell'abitato.

LITOTIPO	Parametri Geotecnici
DEPOSITI ELU-COLLUVIALI (de) depositi di genesi continentale costituiti da livelli di limi, argille e sabbie variamente intercalati con frammenti lapidei e sostanza organica.	$\gamma = 1.8 \text{ T/mc}$
	$C_u = 0.2 - 0.4 \text{ Kg/cm}^2$
	$C' = 0 \text{ Kg/cm}^2$
	$\phi' = 20^\circ$
	Resistenza schiacciamento $0 - 4 \text{ N/mm}^2$



LITOTIPO	Parametri Geotecnici
DEPOSITI ALLUVIONALI (a) depositi continentali costituiti da sabbie e limi sabbiosi con presenza di frammenti lapidei arrotondati.	$\gamma = 1.85 \text{ T/mc}$
	$C_u = 0.50 \text{ Kg/cmq}$
	$C' = 0,15 \text{ Kg/cmq}$
	$\phi' = 22^\circ$
	Resistenza schiacciamento $0 - 4 \text{ N/mm}^2$
Note: si riportano i valori per le alluvioni a grana fine così come riscontrate nel settore in esame. I depositi alluvionali più grossolani presentano peso di volume e angolo di attrito mediamente superiore ai valori esposti.	

LITOTIPO	Parametri Geotecnici
SABBIE E DUNE COSTIERE (dcs) Sabbie grossolane a composizione silicea.	$\gamma = 1.9 \text{ T/mc}$
	$C_u = 0 \text{ Kg/cmq}$
	$C' = 0 \text{ Kg/cmq}$
	$\phi' = 25^\circ$
	Resistenza schiacciamento 0 N/mm^2
Note:	

LITOTIPO	Parametri Geotecnici
TERRAZZO MARINO (Tm) Conglomerati sabbie e limi sabbiosi in matrice terrosa.	$\gamma = 1.9 \text{ T/mc}$
	$C_u = 0.5 \text{ Kg/cmq}$
	$C' = 0 - 0.2 \text{ Kg/cmq}$
	$\phi' = 25^\circ$
	Resistenza schiacciamento $4 - 10 \text{ N/mm}^2$
NOTE: i parametri geotecnici esposti sono riferiti ai primi metri della formazione, coerentemente con le profondità di scavo presenti in progetto (mediamente 2 metri). Nei livelli sottostanti il Terrazzo può assumere valori geomeccanici e resistenza allo schiacciamento nettamente superiori.	

Ripartizione classi di scavo per gli interventi in progetto

Dall'analisi dei profili di progetto e degli elaborati esecutivi per la posa in opera della rete idrica di distribuzione e degli adduttori, gli scavi interesseranno principalmente materiali sciolti o debolmente cementati costituiti da terreni di copertura eluviale, argille e limi argillosi con classe di scavo compreso tra 0-4 N/mm² (argille plioceniche, alluvioni e sabbie e dune costiere).

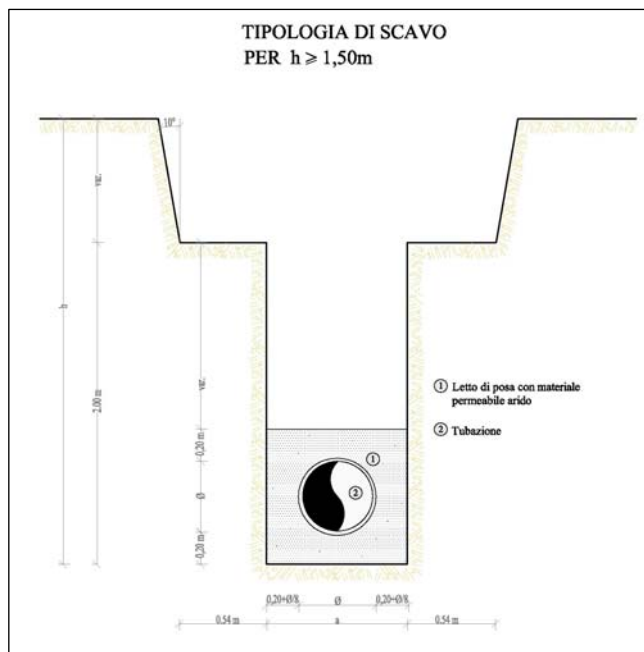
In alcuni settori si attraversano affioramenti di litotipi più tenaci come i livelli conglomeratici dei terrazzi marini la cui resistenza allo schiacciamento compete tra 4-10 N/mm² per i livelli superficiali, mentre 10-20 N/mm² per i livelli più profondi.

Di seguito si riporta la ripartizione percentuale delle classi di scavo per le opere previste nel settore:

Classe resistenza allo schiacciamento	%
0-4 N/mm ²	70
4-10 N/mm ²	20
10-20 N/mm ²	10

9. Tipologia e classi di scavo

Nel presente paragrafo si analizzeranno le varie geometrie e tipologie di scavo in relazione alla natura dei sedimenti, al profilo geomeccanico ricostruito e alla profondità di posa della condotta.



• Tipologia

Dall'analisi dei profili geomeccanici e dalla verifica delle geometrie degli scavi si evidenzia la necessità di adottare due tipologie di intervento:

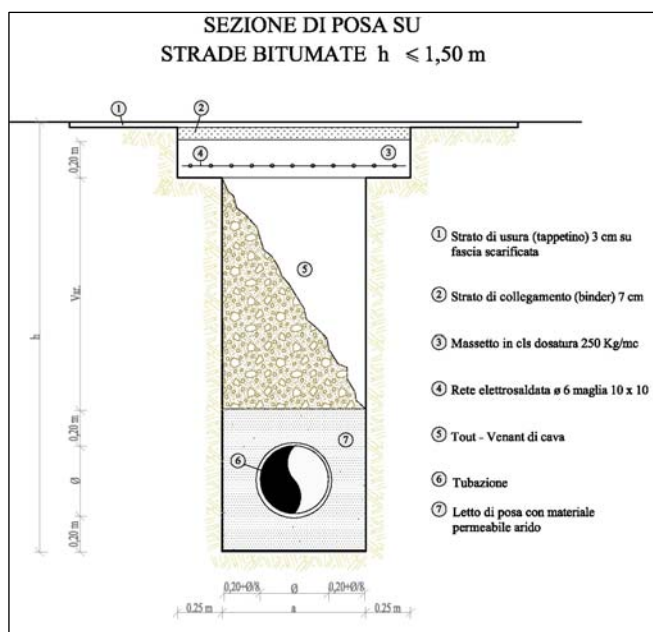
- Per scavi di profondità inferiore a 1,50 m si adotterà uno scavo a sezione obbligata di tipo rettangolare dalla larghezza di 80 cm.
- Per scavi di profondità maggiore di 1,50 m saranno eseguiti con geometria di scavo di tipo trapezoidale con pareti inclinate di 10° sulla verticale, tutto ciò per aumentare la sicurezza e la stabilità dello scavo.

In fase di esecuzione dei lavori si verificheranno le soluzioni adottate in progetto, e si attenzioneranno tratto per tratto i fronti di scavo, intervenendo con eventuali opere di sostegno provvisori quali necessario.

Di seguito e in maniera dettagliata si riporteranno le tipologie di scavo adottate e le verifiche di stabilità per i fronti di scavo di maggiore profondità.

a) tratti su strada: la sezione di scavo, per profondità inferiori a 1,50 [m], sarà di tipo rettangolare con larghezza di 0,80 [m]; il ricolmo, al di sopra dello strato di inglobamento della tubazione con materiale arido permeabile (sabbia), verrà realizzato con tout-venant di cava adeguatamente costipato. Il ripristino finale della sezione stradale è previsto con massetto in cls, dello spessore di 20 [cm], armato con rete elettrosaldata del F 6 [mm] maglia 10x10 [cm] e

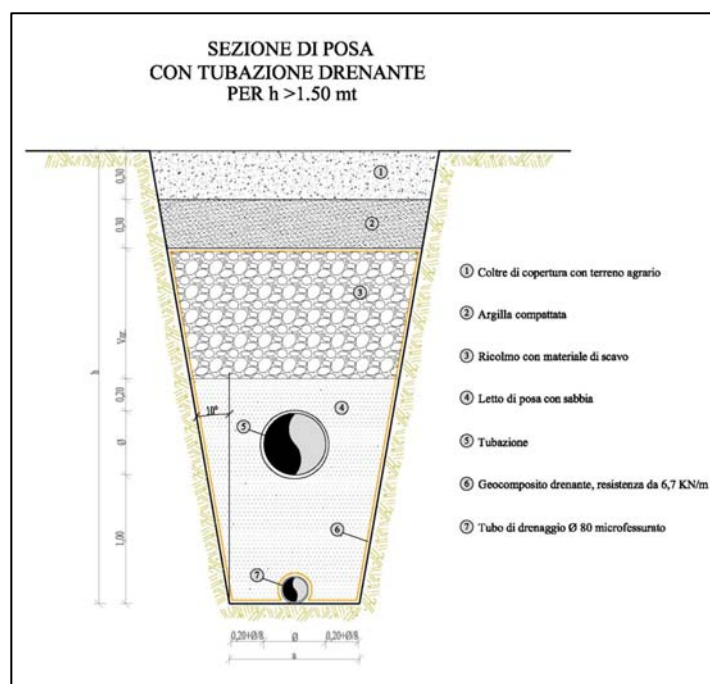
successivo strato di usura di 3 [cm] costituito da conglomerato bituminoso a masse chiuse (tappetino). Per profondità di scavo maggiori di 1,50 [m] verrà adottata una sezione di scavo di



tipo trapezoidale con pareti inclinate di 10° sulla verticale; ricolmo e ripristino finale della sezione saranno realizzati analogamente alla precedente tipologia di sezione.

b) Tratti su terreno: la sezione di scavo, per profondità inferiori a 1,50 [m], sarà di tipo rettangolare con larghezza di 0,80 [m]; il ricolmo, al di sopra dello strato di inglobamento della tubazione con materiale arido permeabile (sabbia), verrà realizzato con idonei materiali provenienti dagli

scavi adeguatamente costipati. Per profondità di scavo maggiori di 1,50 [m] verrà adottata una



Sezione di posa tratti su terreno in litotipo sciolti e per profondità maggiori di 1,50 m

sezione di scavo di tipo trapezoidale con pareti inclinate di 10° sulla verticale; ricolmo e ripristino finale della sezione saranno realizzati analogamente alla precedente tipologia di sezione.

C) Tratti su terreno in litologie sciolte: la sezione di scavo, per profondità superiori a 1,50 [m], sarà di tipo di tipo trapezoidale trapezoidale con pareti inclinate di 10° sulla verticale; il ricolmo, al di sopra dello strato di inglobamento della tubazione con materiale arido permeabile (sabbia), verrà realizzato con idonei mate-

riali provenienti dagli scavi adeguatamente costipati.

- **Classi di scavo**

Di seguito saranno analizzate e classificate le diverse litologie incontrate, durante gli scavi, in relazione alla resistenza allo schiacciamento e alla classe di scavo di appartenenza.

Gli studi condotti hanno permesso di analizzare e raggruppare le varie litologie in classi di scavo omogenee a cui sono stati assegnate i relativi parametri.

Litologia	Resistenza allo schiacciamento Classe di scavo N/mm^2
Argille Plio-pleistoceniche e tortoniane	0-4
Calcareniti e Trubi	4-10
Depositi elu-colluviali ed alluvionali	0-4
Sabbie e depositi marini sciolti	0-4
Sabbie e depositi marini debolmente cementati	4-10
Gessi	20-40

10. BIBLIOGRAFIA

- CIGNA F, DEL VENTISETTE C, LIGUORI V, CASAGLI N (2011) *Advanced radar-interpretation of InSAR time series for mapping and characterization of geological processes*. *Nat Hazards Earth Syst Sci*. 11(3): 865-881.
- CIGNA F, DEL VENTISETTE C, LIGUORI V, CASAGLI N (2010) *InSAR time-series analysis for management and mitigation of geological risk in urban area*. *Proceedings IGARSS 2010, 30th IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium*, 25-30 July 2010. Honolulu, Hawaii, USA. pp. 1924-1927.
- CIGNA F, BIANCHINI S, RIGHINI G, PROIETTI C, CASAGLI N (2010) *Updating landslide inventory maps in mountain areas by means of Persistent Scatterer Interferometry (PSI) and photo-interpretation: Central Calabria (Italy) case study*. In: Malet JP, Glade T, Casagli N (eds) *Mountain Risks: Bringing Science to Society*. 24-26 November 2010. Florence, Italy, pp. 3-9.
- CASAGLI N, CIGNA F, DEL CONTE S, LIGUORI V (2009) *Nuove tecnologie radar per il monitoraggio delle deformazioni superficiali del terreno: casi di studio in Sicilia*. *Geol Sicil*. XVII(3): 17-27.
- GIUSEPPE LOMBARDO (2008) *Gli Ipogei di Agrigento ed il contributo dell'attività speleologica alla conoscenza del sottosuolo*. Agrigento sotterranea: recupero, consolidamento e protezione delle cavità artificiali e naturali.
- COSTANTINI M, LODICE A, MAGNAPANE L, PIETRANERA L (2000) *Monitoring terrain movements by means of sparse SAR differential interferometric measurements*. *Proceedings IGARSS 2000, 20th IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 24-28 July 2000. Honolulu, Hawaii, USA. pp. 3225- 3227.
- COTECCHIA V, FIORILLO F, MONTERISI L, PAGLIARULO R (2005) *Slope Instability in the Valley of Temples, Agrigento (Sicily)*. *Giornale di Geologia Applicata*. 1: 91-101.
- CROSETTO M, MONSERRAT O, IGLESIAS R, CRIPPA B (2010) *Persistent Scatterer Interferometry: potential, limits and initial C- and X- band comparison*. *Photogramm Eng Remote Sens*. 76(9): 1061- 1069.
- FERRETTI A, PRATI C, ROCCA F (2001) *Permanent Scatterers in SAR Interferometry*. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*. 39(1): 8-20.
- FIORILLO F (1999) *Analisi di alcune aree instabili nella Valle dei Templi (Agrigento) in relazione al locale assetto geostrutturale*. *Boll Soc Geol Ital*. 118: 113-124.

- TAPETE D, CASAGLI N, FANTI R, DEL VENTISETTE C, CECCHI R, PETRANGELI P (2011) *Satellite and ground-based radar interferometry for detection and monitoring of structural instability in archaeological sites*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, EGU2011-8387.
- FRANCESCA CIGNA, VINCENZO LIQUORI, CHIARA DEL VENTISETTE, NICOLA CASAGLI (1992-2008) *Landslide impacts on Agrigento's Cathedral imaged with radar interferometry*. The second World landslide forum (3-7 Ottobre 2011 Roma).
- COTECCHIA V, D'ECCLESIIIS G, POLEMIO M (1995) La dinamica dei Versanti della Valle dei Templi di Agrigento. Geologia Applicata ed Idrogeologia (Bari, 1995 – Volume XXX- Parte I).
- BALDACCI L. (1886) Descrizione geologica dell'Isola di Sicilia. Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia. 1,3-403.
- BEHRMAN R.B. (1938) Appunti sulla geologia della Sicilia centro-meridionale. Vacuum Oil Company S.A.I. Genova. Tipografia Cuggiani, Roma. 21-30.
- BELLANCA A., NERI. R. (1986) Evaporite carbonate cycles of the Messinian, Sicily stable isotopes, mineralogy, textural, features and environmental implications. Journal of sedimentary petrology. 56, 5.
- BENEIO E, CATALISANO S, FRANCAVIGLIA A., MEZZADRI P., MOTTA S., RIGGO DE RIGHI F., SEGRE A.G. Carta Geol.d'Italia, F 271 Agrigento, 1:100.000, 1958.
- CAFLISCH L., FORTI A. (1959) Studio geologico e sedimentologico del litorale di Porto Empedocle. Palermo, Petroli dell'isola. 3-6.
- CATALANO R. (1986) Le evaporiti messiniane. Loro ruolo nell'evoluzione geologica della Sicilia. Il carsismo nelle evaporiti in Sicilia. Le grotte d'Italia, XIII, 4.
- CATALANO R., D'ARGENIO B. (1982) Guida alla geologia della Sicilia occidentale, Guide geologiche regionali, Mem. Soc. Geol. It., Suppl. A. v.24, Palermo, 9-41.
- DECIMA A. (1982) Note sul Messiniano in Sicilia. Guida alla Geologia della Sicilia occidentale. Mem.Soc.Geol.It., 24, 111-114.
- DECIMA A., BOMMARITO S., LA ROSA N., AIELLO R. Carta Geol.d'Italia, F.636 Agrigento, 1:50.000,1972.
- DECIMA A., WEZEL F. (1971) Osservazioni sulle Evaporiti Messiniane della Sicilia centro meridionale. Riv. Min. Sic., 22, 172-187.
- DESIO A. (1958) Geologia applicata all'ingegneria. Ed. Hoepli. Milano. 877.

- DESIO A. (1959) Relazioni geognostiche su campioni di sabbia del litorale sud occidentale della Sicilia. Ist. di Geol. Milano, 3-14.
- ENTE ZOLLFI SICILIANI (1964) Studio e indagini per ricerche solfifere, svolte per conto dell'Ass. Ind. e Comm. Riv. Min. Sic., 85-87.
- FRANCAVIGLIA A. (1956) Natura dei sedimenti inglobanti la serie gessoso solfifera siciliana e i suoi riflessi sulla struttura di quest'ultima. Boll. Serv. Geol. It. 78, 4 e 5, 621-636.
- HARDIE L.A., EUGSTER H.L. (1971) The depositional environment of marine evaporites: a case for shallow, clastic accumulation. Sedimentology, 16, 3 e 4.
- ISTITUTO IDROGRAFICO DELLA MARINA (1979) Portolano del Mediterraneo. Genova.
- ISTITUTO IDROGRAFICO DELLA MARINA (1982) Atlante delle correnti superficiali dei mari d'Italia. Genova.
- LIGUORI V. (1991) La geologia della Sicilia. Dispensa del corso di Geologia applicata all'ingegneria. Univ. di Palermo.
- MALATESTA A., NICOSIA M. L. (1955). I fossili del Pliocene e Pleistocene di Agrigento della collezione Lomi. Boll. Serv. Geol. It., 77.
- MARCHETTA G. (1987) Il mare dietro i massi. Lega Nav. It. Sez. di Ag., Quad. n. 24.
- MARULLO B. (1960) Porto Empedocle nelle sue probabili origini, nel suo sviluppo, nelle sue attività e nei suoi bisogni. Trapani. (pubblicato a dispense dal 1926).
- MARULLO G. (1957) Il porto di Porto Empedocle e la zona industriale di Agrigento-Porto Empedocle. Istituto Ricerche G. Donegani, Novara.
- MEZZADRI P. (1961) Osservazioni sul Pliocene in Sicilia. Riv. Min. Sic., 69.
- MEZZADRI P. (1961-1962) La Serie Gessoso-Solfifera della Sicilia. Lo Zolfo, 30-37.
- MOTTA S. (1953) Note descrittive della tavoletta Caltanissetta (268 III.NO) in particolare riguardo alla Serie Gessoso Solfifera. Boll. Soc. Geol. It., 74, Roma.
- MOTTA S. (1956) Note descrittive della tavoletta Agrigento (271 IV.NE) con particolare esame della Serie Gessoso Solfifera in essa esistente. Boll. Soc. Geol. It. 78, 4 e 5 419-567.

- MOTTURA S. (1871) Sulla formazione terziaria della zona solfifera della Sicilia. Mem. R. Comm. Geol. It., 1.
- OGNIBEN L. (1953) Argille scagliose ed argille brecciate in Sicilia. Boll. Serv. Geol. It., LXXV.
- OGNIBEN L. (1957) Petrografia della serie solfifera siciliana e considerazioni geologiche relative. Mem. Carta Geol. d'Italia, XXXIII.
- OGNIBEN L. (1975) Lithostratigraphic complexes and evidence for tectonic phases in Sicily and Calabria. Quaderni della ricerca scientifica, n.90, Structural Model of Italy. Roma. CNR.
- RICHTER BERBURG G. (1973) Facies and paleogeography of the Messinian evaporites in Sicily. Messinian events in the Mediterranean. C.W. Droge ed.
- RIGO DE RIGHI F. (1956) Sinclinali disarmoniche per lenticolarità di sedimentazione. Riv. Min. Sic., 39.
- RUGGIERI G. (1966) Appunti sul Miocene della Sicilia occidentale. Riv. Min. Sic. 97-99.
- RUGGIERI G., GRECO A. (1962) Distribuzione dei macrofossili nel Calabriano inferiore di Agrigento. Lav. Ist. Geol. Univ. Palermo, 319-327.
- RUGGIERI G., SPROVIERI F. (1986) The dessication theory its evidences in Italy and in Sicily. Ist. Geol. Univ. Palermo.
- SCHIMDT DI FRIEDBERG P. (1964-65) Litostratigrafia petrolifera della Sicilia. Riv. Min. Sic., 91-93.
- SELLY R. (1971) Messinian. Giorn. Geol., XXXVIII, 11.
- SPROVIERI R. (1982) Considerazioni sul Plio-Pleistocene della Sicilia. Guida alla geologia della Sicilia Occ., Mem. Soc. Geol. It., XXIV.
- STOEHR E. (1876) Il terreno pliocenico dei dintorni di Agrigento. Boll. R. Comm. Geol. d'It., 7.
- TREVISAN L., DI NAPOLI E. (1938) Tirreniano, Siciliano e Calabriano nella Sicilia sud-occidentale. Giorn. di Sc. Nat. ed Ec. di Palermo, XVI, 39.