

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PALERMO**  
**FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI**  
**DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA E DEL MARE**

---

**DOTTORATO DI RICERCA IN GEOLOGIA**  
**XXIII CICLO**

**CARATTERISTICHE IDROTERMALI**  
**DEL BACINO DI SCIACCA**

**TUTOR**

Chiar. mo Prof. Salvatore Monteleone

Chiar. mo Prof. Gioacchino Cusimano

**CO-TUTOR**

Chiar. mo Prof. Aurelio Aureli

**DOTTORANDO**

Dott. Mario Dipasquale

**Coordinatore del Dottorato di Ricerca**

C. mo Prof. Enrico Di Stefano

## **SOMMARIO**

<b><i>CAP. 1: INTRODUZIONE</i></b>	<i>pag. 3</i>
<b><i>CAP. 2: STUDI PRECEDENTI</i></b>	<i>pag. 5</i>
<b><i>CAP. 3: GEOLOGIA E TETTONICA DELL'AREA IN STUDIO</i></b>	<i>pag. 18</i>
<b><i>CAP. 4: STRATIGRAFIE E SEZIONI</i></b>	<i>pag. 21</i>
<b><i>CAP. 5: RILIEVI IDROSTRUTTURALI AREA IN STUDIO</i></b>	<i>pag. 26</i>
<b><i>CAP. 6: CLIMATOLOGIA</i></b>	<i>pag. 39</i>
<b><i>CAP. 7: IDROGEOLOGIA</i></b>	<i>pag. 40</i>
<b><i>CAP. 8: STIME DI PERMEABILITA' DEGLI AMMASSI ROCCIOSI</i></b>	<i>pag. 57</i>
<b><i>CAP. 9: IDROCHIMICA CLASSICA ED ISOTOPICA DEL BACINO TERMALE</i></b>	<i>pag. 76</i>
<b><i>CAP. 10 CORRELAZIONE TRA I DATI SISMICI E LE VARIAZIONI NEL CHIMISMO DELLE ACQUE</i></b>	<i>pag. 98</i>
<b><i>CAP. 11: FENOMENO CARSIICO E MANIFESTAZIONI VAPOROSE MONTE S. CALOGERO</i></b>	<i>pag. 107</i>
<b><i>CAP. 12: CARATTERISTICHE GEOTERMICHE DEL BACINO TERMALE DI SCIACCA</i></b>	<i>pag. 116</i>
<b><i>CAP. 13: CONCLUSIONI</i></b>	<i>pag. 121</i>

## CAP. 1 - INTRODUZIONE

La presente relazione riporta l'insieme di: ricerche, studi, rilievi e sopralluoghi condotti dallo scrivente, nel periodo marzo 2009- dicembre 2011, per il Corso di Dottorato - XXIII ciclo - del Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare dell'Università di Palermo.

Le fasi del programma secondo quanto previsto nel progetto preliminare, sono state le seguenti: a. *acquisizione ed analisi dei dati bibliografici esistenti*; b. *integrazione dei dati esistenti ed inizio rilievi sul campo*; c. *completamento rilievi sul campo ed elaborazione e stesura della tesi*

L'attività svolta viene di seguito riassunta, seguendo un ordine cronologico, relativamente ai 3 anni di corso.

### Attività svolta nel primo anno di corso (2009-10):

Nel primo anno di corso si è avviata ed approfondita la fase (a) del programma effettuando un'accurata ricerca dei dati bibliografici esistenti, alcuni dei quali inediti, riguardanti l'areale in studio.

Molto di tale materiale di archivio, specie di carattere geologico-regionale, era già in possesso dello scrivente dato che già in passato si era occupato di altre zone della Sicilia Sud Occidentale limitrofe alla zona in studio.

Una prima fase di ricerca bibliografica, seppure di carattere generale, del materiale esistente, su tale areale della Sicilia, era stata condotta, nel biennio 1998-99, durante la stesura della tesi di laurea che verteva sulle caratteristiche di natura geologica, geomorfologica, idrogeologica e di vulnerabilità delle falde del bacino idrologico del F. me Grande e/o Delia.

Una seconda fase di ricerca bibliografica era stata condotta negli anni 2002-03, durante le fasi preliminari di stesura della "Carta di Vulnerabilità delle falde del settore marsalese e mazarese" il cui areale nel suo limite SO, interessava zone molto prossime all'area in studio.

Una terza ulteriore ricerca di fonti bibliografiche, a completamento dei dati già conosciuti, è stata condotta durante la primavera-estate del 2009, nelle seguenti sedi: I: Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo; presso gli archivi delle biblioteche ivi esistenti; II. Archivio del Prof. Aurelio Aureli (co-tutor del presente progetto di dottorato); con cui lo scrivente, da circa un decennio, collabora per svariati progetti di ricerca ed incarichi professionali ed autore del volume dal titolo: *BACINO TERMALE DI SCIACCA (SICILIA S.O.) Caratteristiche idrogeologiche e vulnerabilità*, edito, nel 1996, dalla Pitagora editrice Bologna, nella collana di Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale.

Tale banca dati, infine, sempre nel corso del 2009, è stata ulteriormente arricchita mediante la lettura di numerose note scientifiche pubblicate sulle più prestigiose riviste internazionali riguardanti i seguenti settori: idrogeologia, geologia strutturale, idrochimica e geotermia; ovvero quelle branche della geologia che rappresentano l'ossatura del previsto iter di ricerca del presente progetto di dottorato.

Durante la parte finale del primo anno di corso si è provveduto, infine, all'analisi critica dei dati bibliografici acquisiti (a prevalente carattere -regionale, strutturale, idrogeologico, geochimico e geofisico) il che ha consentito di conseguire una conoscenza dettagliata su quanto in passato effettuato nell'area.

Nel primo anno inoltre si sono iniziati i primi sopralluoghi conoscitivi della zona in studio nei seguenti areali: a. sommità di M. te S. Calogero al fine di conoscere le modalità di effusione delle manifestazioni vaporose (visitando i locali dell'Azienda Terme costruiti attorno alle grotte storicamente denominate con il toponimo di *Antro di Dedalo*); b. le zone nelle quali sono presenti le scaturigini delle diverse sorgenti termali della zona (Sorgenti Solfuree, Bagni Molinelli, Fontana Calda, Polle Carabollace).

### Attività svolta nel secondo anno di corso (2010-11):

L'attività di ricerca condotta nel corso del secondo anno è suddividibile nelle seguenti fasi.

In primo luogo si è attivata una fattiva collaborazione con l'Ente Terme di Sciacca, a seguito di una richiesta preventiva di supporto, a firma dei Prof.: Cusimano e Aureli (rispettivamente tutor, all'epoca, e cotutor del presente progetto di dottorato) per il completamento delle ricerche dei dati bibliografici ricercati dallo scrivente.

Tale collaborazione ha permesso di effettuare una serie di ricerche nell'archivio dell'Ente, risultate molto proficue le quali hanno permesso di acquisire tutta una serie di documenti cartacei di notevole importanza.

In particolare sono stati acquisiti, analizzati, ed infine informatizzati i dati cartacei, relativi all'intero escursus storico delle analisi condotte dall'Ente Terme nei punti d'acqua termali utilizzati.

Nello stesso periodo si è condotta anche una campagna di rilevamenti sul terreno che hanno permesso di approfondire le conoscenze stratigrafiche, geologico-strutturali e idrogeologiche del bacino termale di Sciacca.

L'area rilevata si estende a Nord dai rilievi di: Rocca Nadore, C. da Nadorello, R. ca Capreria e C. da Porcaria sino alle aree costiere ed è delimitata, grossomodo, ad Ovest, dall'abitato di Sciacca ed, a Est, dal corso del T. te Carabollace.

In tale areale, in affioramenti significativi alla mesoscala, sono state eseguite una serie di misure geomeccaniche.

La parametrizzazione geomeccanica è stata condotta con il metodo dello *scanline rendering* sovente integrata (nel caso di famiglie non intercettate dalla linea di scansione) e/o sostituita (in quei punti dove non è stato possibile effettuare tale tipologia di metodica) con una serie di misure di tipo random al fine di quantificare tutti i parametri specifici di un ammasso fratturato ovvero: giacitura, apertura, persistenza, indice di terminazione, riempimento, condizioni idrauliche.

Si è anche provveduto all'analisi e alla opportuna rivisitazione dei numerosi studi di carattere idrogeochimico precedentemente acquisiti che hanno permesso di avere delle risposte su: **a.** i limiti del bacino idrotermale (attraverso l'integrazione con stratigrafie di pozzi profondi e sondaggi elettrici); **b.** le variazioni di chimismo all'interno dell'areale in studio; **c.** i rapporti del chimismo delle acque con il regime pluviometrico; **d.** l'esistenza di possibili collegamenti delle acque del bacino termale con le acque del mare; **e.** la caratterizzazione idrochimica dei singoli punti d'acqua; **f.** la correlazione idrochimica tra i punti d'acqua presenti all'interno del bacino termale e le zone contermini;

Infine particolare attenzione è stata posta ai rilievi condotti presso la zona costiera in prossimità della foce del Vallone Cava di Lauro (o Vallone dei Bagni) dove si riscontrano diverse sorgenti termali.

#### Attività svolta nel terzo anno di corso (2011-12):

Nel corso del terzo e, conclusivo anno, del progetto di ricerca di dottorato sono stati completati i rilievi idrostrutturali e geomeccanici i sul campo di carattere generale e di dettaglio specie nella parte montana della zona in studio (R. ca Nadore, C. da Nadorello e R. ca Porcaria) - aree di alimentazione del bacino termale i quali hanno permesso di definire: I. il quadro fessurativo esistente; II. l'interazione tra il quadro fessurativo esistente e lo sviluppo del carsismo; III. la modalità di emergenza dei fenomeni vaporosi; IV. l'influenza del processo di *self-sealing* sullo stato fessurativo dell'acquifero.

Sono stati effettuati campionamenti su materiale di riempimento di natura terrigena sia da zone di fault-core, che in alcune diaclasi.

L'esecuzione su tali campioni di alcune prove granulometriche ha permesso tramite l'utilizzo di appropriati grafici di correlazione di stimarne il grado di permeabilità.

Parallelamente sono stati opportunamente elaborati i dati di chimismo della serie storica temporale precedentemente forniti dall'Ente Terme riguardanti un periodo di circa 30 anni (-1987-2011) praticamente inediti, che hanno consentito di verificare le variazioni di chimismo lungo un'estesa serie e completa temporale.

Si è verificato che per taluni trend (Fluoruri, CO<sub>2</sub>, ed H<sub>2</sub>S) una stretta correlazione con la sismicità dell'area sia onshore che offshore.

Dopo una accurata analisi dei dati geochimici messi a disposizione, nei punti d'acqua più significativi del bacino termale di Sciacca, in collaborazione con l'Ente Terme si è diretta una nuova campagna di campionamenti, non più eseguiti negli ultimi trent'anni.

Le operazioni di prelievo ed analisi sono state condotte dal Dott. G. Tranchida della sezione del CNR di Capo Granitola diretta dal Dott. Mario Sprovieri.

Si è infine caratterizzato il tipo di reservoir geotermico e le risorse ad esso collegabili essenziale per un'adeguata tutela del bacino idrogeotermale di Sciacca.

#### **Ringraziamenti**

*In queste sede si tiene a ringraziare le seguenti persone:*

*il Dott. Michele Marciante, per gli stimoli continui, nella comunanza di intenti di una rivalutazione del patrimonio termale di Sciacca, oggi in una fase di grave criticità, in un'ottica di una sua più adeguata futura tutela.*

*I dott. Mario Sprovieri e Giorgio Tranchida che hanno fattivamente permesso i rilievi condotti nei punti termali del bacino di Sciacca.*

*I coordinatori del dottorato ( Prof.: Pietro Distefano - anno 2009 - e Prof. Enrico Distefano – anni: 2010 e 2011 – per il loro continuo supporto e stimolo).*

*I miei tutor, con un particolare ringraziamento per il Prof. Salvatore Monteleone che, specie nell'ultimo periodo della tesi, mi è stato vicino e permesso con i suoi preziosi consigli di raggiungere il traguardo sperato.*

*I refering: Proff.: Giovanni Barrocu e Giorgio Ghiglieri per gli appropriati suggerimenti utili alla revisione finale della tesi e per i positivi giudizi.*

*Il mio maestro Prof. Aurelio Aureli che per più di un decennio ha rappresentato la mia guida non solo in ambito scientifico.*

## CAP. 2 - STUDI GEOLOGICI PRECEDENTI

La complessa storia delle deformazioni che hanno interessato la Sicilia, riguarda un arco di tempo compreso tra il Paleozoico sup. ed il Quaternario.

Gli elementi principali sono sintetizzati nella Fig. 1 (Catalano et alii, 1995) ove si constata che la catena appennino-maghebide rappresenta una porzione di megasutura interposta tra il limite della placca africana (a SE) e la placca europea (a NW).

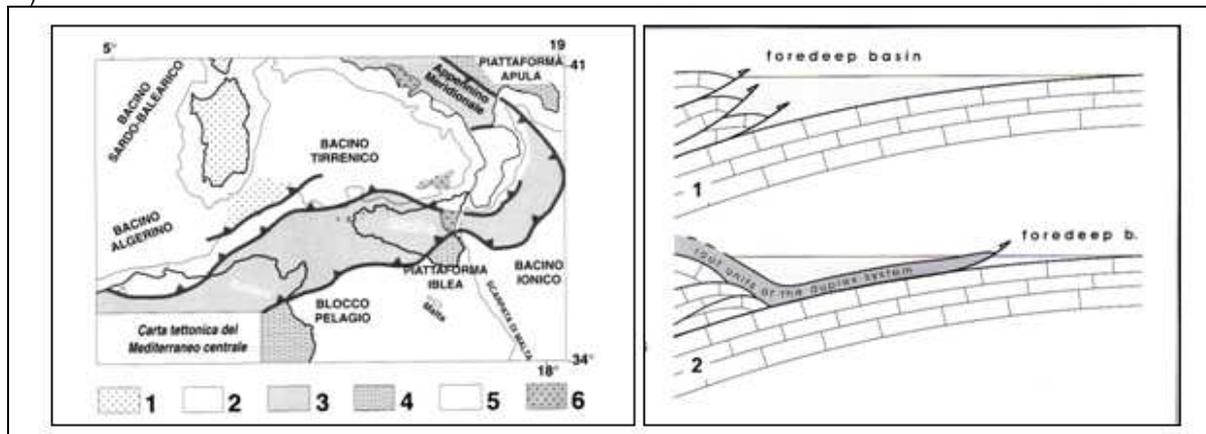


Fig. 1; a sinistra: Schema tettonico Mediterraneo centrale (Catalano et alii, 2000) con evidenziati i seguenti tematismi:

1. blocco sarso-corso; 2. arco calabro e e flysch interni; area di catena (catena maghebide, catena siciliana e catena appenninica meridionale); 4. aree di avampaese debolmente deformati (Tunisia, Plateaux Ibleo e Apulia), zone di estensione (bacino Tirrenico e Pantelleria Rift); 6. vulcaniti plio-quaternarie; a destra (Patacca&Scandone; 2001) due tipologie di avanfossa

Diversi AA menzionano, come causa principale delle deformazioni di natura compressiva della thrust-belt siciliano (Bellon et alii, 1977; Channel et al. 1979, Dercourt et al., 1986), la rotazione antioraria del blocco sardo-corso facente parte della *Briançonnais microplate*.

La concomitante apertura del bacino tirrenico (retroarco), datata già a partire dal Serravalliano (Lentini et alii, 1995), ha determinato una conseguente e progressiva migrazione del sistema thrustbelt-foredeep verso le zone di avampaese (Catalano, 1982, 1995, Lentini 1987).

L'evoluzione geodinamica, specie nel Plio-Pleistocene, ha interessato, a scala regionale, le zone più esterne della catena, di cui la zona in studio fa parte, con la formazione (Patacca&Scandone, 2001), di due diverse tipologie di avanfossa (vedasi immagine di destra della Fig. n. 1): a. sistemi di imbricate-fan configurations, b. duplex-system; che hanno dato luogo, rispettivamente: 1. nel primo caso a vaste e profonde avanfosse (vedasi avanfossa di Gela); 2. nel secondo caso, invece, ad avanfosse più strette e superficiali (vedasi avanfossa di Castelvetro).

Un ulteriore contributo al progredire delle conoscenze, in tali settori esterni del belt siciliano, si è avuto grazie agli studi, sempre più approfonditi, condotti nelle zone di offshore (progetto CROP; acronimo di CROsta Profonda - Catalano et alii, 1995, Finetti, 2004, Renda 2001).

Così come molto importanti, per la conoscenza delle caratteristiche geodinamiche del Canale di Sicilia, sono stati gli studi che hanno permesso di verificare la presenza di ampie zone subsidenti (Reuter, 1987) con l'esistenza di una zona di trascorrenza (Argnani, 1990) che si sviluppa in corrispondenza della zona offshore tra Sciacca, area nella quale sono presenti numerosi coni vulcanici sottomarini (banco Graham, Nerita e Terribile).

La Fig. 2 evidenzia con l'immagine di sinistra (Finetti, 2004) lo schema tettonico dell'intera zona centrale del Mediterraneo ove si può constatare che il thrust-belt siciliano è interessato, oltre che da importanti fronti di scollamento con vergenza verso le zone di avampaese, anche da numerose faglie trascorrenti a carattere regionale con una prevalente componente destrale, ben riconoscibile per quelle che si sviluppano tra il margine meridionale tirreniano e la parte settentrionale della piattaforma siciliana, tra le quali meritano menzione le seguenti: **A.** La faglia trascorrente destra *Trapani* che determina il desezionamento della catena maghebide rispetto alla catena appenninico-siciliana; **B.** la faglia trascorrente destra *Vulcano* che, invece, disloca verso SE l'arco Calabro, ponendolo quasi parallelamente alla scarpata ibleo-maltese.

L'autore inoltre riconosce, di converso, una serie di trascorrenti sinistre nel settore centro meridionale della Sicilia (faglie C, D ed E) interconnesse con le strutture principali del Canale di Sicilia, e nel tratto della Sicilia Occidentale sono comprese tra la Mazara Flower, ad Ovest, sino alla Sciacca Flower ad Est.

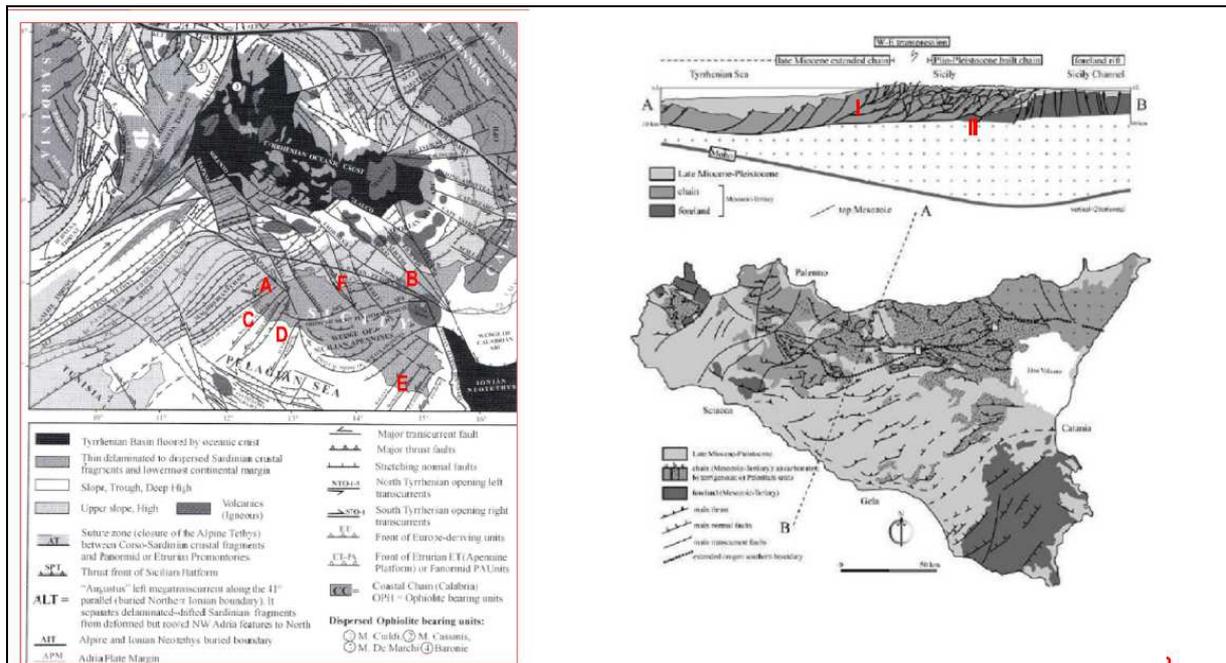


Fig. 2; a sinistra: schema tettonico della zona centrale del Mediterraneo (Finetti, 2004); a destra: assetto geologico strutturale del complesso edificio a falde del thrust belt siciliano

Complessivamente la Catena Appenninica (Decandia, 1994) è pertanto contraddistinta, pur con variazioni locali di spessori e di entità di deformazioni, da: **a.** estensione nella parte più interna dell'orogene, poichè collassate verso il margine del rift oceanico, per passare, poi, progressivamente, **b.** ad un insieme di scaglie di contrazione spostandosi verso l'avampaese. Questo aspetto è ben evidenziato nell'immagine di dx della Fig. 2 (Nigro et alii, 2009), nella quale è possibile notare che: (I) nella zona della Sicilia settentrionale si riscontrano evidenze di inversione negativa in quanto le precedenti strutture a prevalente componente compressiva, responsabili dello scagliamento, nel Burdigaliano, dei paleodomini più interni, sono state progressivamente invertite per il collassamento del margine meridionale tirrenico; (II) viceversa nelle zone più esterne della catena si è avuto il sovrascorrere delle scaglie più esterne della falda di Gela, che possono far ipotizzare inversioni positive delle faglie che in passato hanno determinato la flessurazione dell'avampaese. Il modello del *Thin-skinned* (Tavernelli et alii 2004) ha indotto a desumere che molte strutture compressive, presenti nelle successioni sedimentarie di copertura, abbiano avuto origine da faglie a prevalente componente normale, formatesi durante lo sviluppo delle avanfosse che gli AA hanno verificato essersi riattivate durante le successive fasi di tipo compressivo (vedasi Fig. 3).

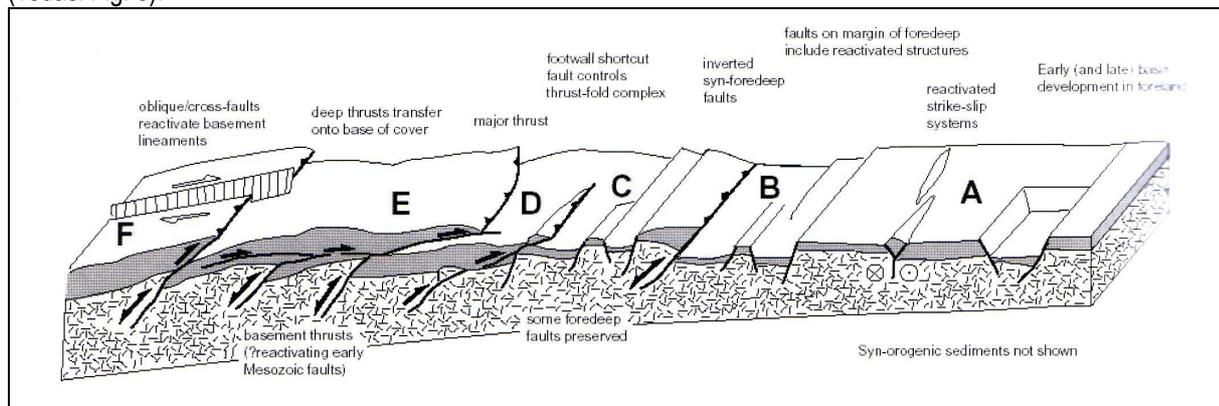


Fig. 3; comparazione del modello thin-skinned in vari areali italiani

Un ruolo determinante è inoltre giocato dalle importanti zone di taglio influenzante sia lo sviluppo dei thrust, attraverso la riattivazione di preesistenti faglie, che hanno determinato la compartimentazione della catena a falde e a pieghe (Nigro&Renda, 1999) delle quali è stato verificato il ruolo fondamentale nella veicolazione di geofluidi (Casero&Roure, 1994).

Tale modello inoltre prevede entità di raccorciamento minori rispetto ai precedenti modelli evolutivi.

Evidenze di importanti sistemi trascorrenti (Segesta fault –Casero&Roure, 1994) sono stati riconosciuti anche in Sicilia Occidentale e sono stati recentemente correlati (Di Stefano 2008), con trascorrenti a componente destra che dissezionano i domini sicani e saccensi.

## INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELLA SICILIA SUD-OCCIDENTALE

L'immagine di sinistra della Fig. 4 mostra in modo sintetico la geologia dell'area occidentale della Sicilia (Catalano et alii, 1998): in essa vengono riportate, in retinato orizzontale, alternato, di colore grigio-azzurro (punto n. 16 legenda), gli affioramenti del dominio saccense (punto 1) con la zona più a Sud che costituisce, grossomodo, l'areale del bacino termale di Sciacca, (vedasi riquadro in blu).

Le strutture compressive, prevalentemente sud-vergenti, sono state interessate da una tettonica pleistocenica che ha determinato lo sviluppo di una serie di importanti faglie trascorrenti a carattere regionale dissezionanti progressivamente le precedenti strutture legate al thrusting, condizionando così in modo predominante la circolazione idrica regionale di tale settore della Sicilia.

L'immagine di destra (Nigro&Renda, 1999) mostra le più importanti strutture a carattere trascorrente presenti nella Sicilia Occidentale con un ruolo importante nel collegamento dei corpi idrici significativi del bacino termale di Sciacca (vedasi riquadro in rosso).

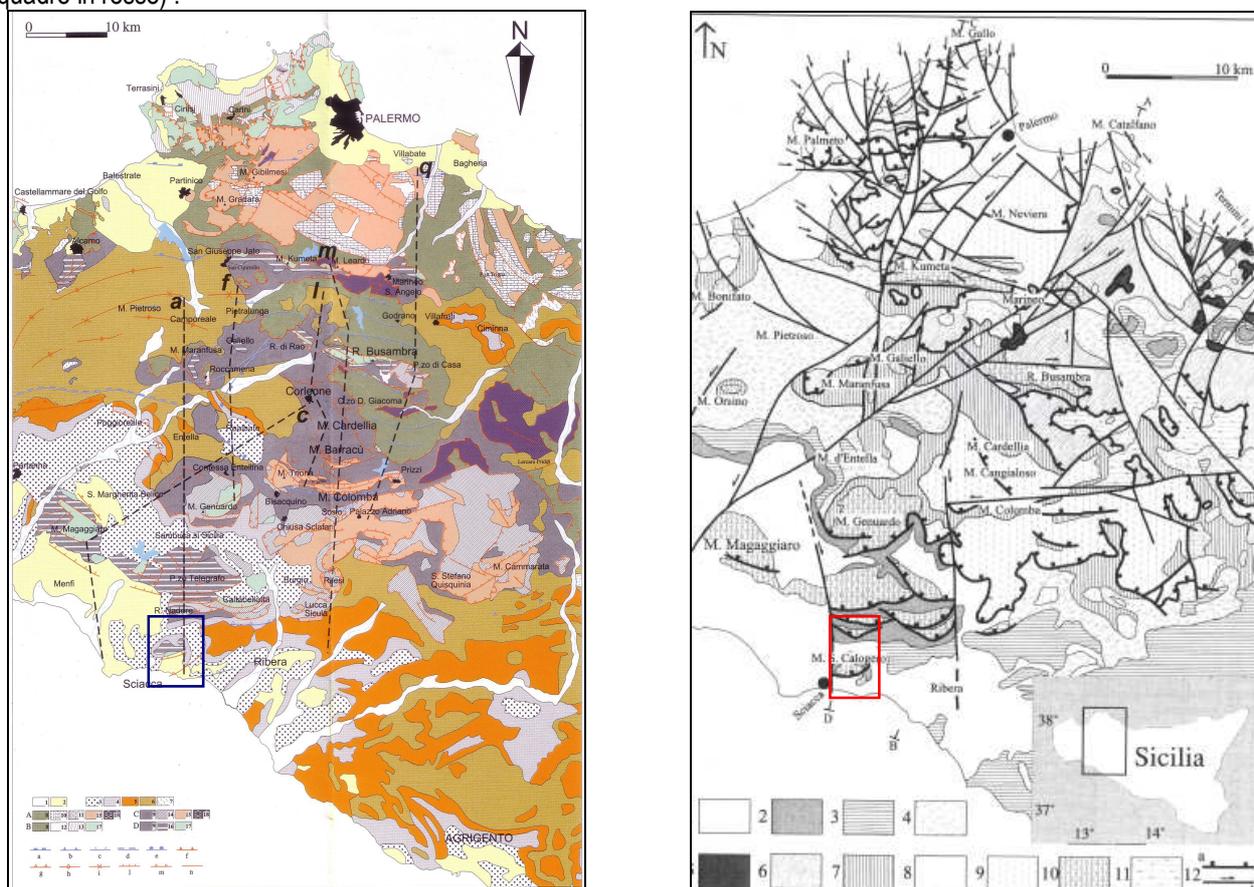


Fig. 4; a sinistra: geologia dell'area occidentale della Sicilia (Catalano et alii, 1998); a destra: strutture a carattere trascorrente presenti nella Sicilia Occidentale (Nigro&Renda, 1999)

## INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL DOMINIO SACCENSE

Il dominio saccense è stato storicamente considerato come un limitato prolungamento, nella Sicilia W, dell'avampaese del quale si ipotizza una transizione graduale verso Est, in una zona che risulta sepolta, nelle zone di offshore della Sicilia

meridionale, sotto le coltri dei depositi prevalentemente terrigeni di età plio-pleistocenica della Falda di Gela (Catalano et alii, 1995).

Negli studi più recenti condotti nell'area (Catalano et alii 1993 a-b-c, Distefano&Vitale, 1993, Vitale, 1995, Catalano et alii, 1997, 2000) attraverso la correlazione tra: a. interpretazioni stratigrafico-sequenziali delle coperture sin-tettoniche e b. analisi strutturale a media e grande scala, riscontrate nelle coperture sedimentarie sintettoniche, gli AA ne hanno evidenziato l'evoluzione geodinamica.

La Fig. 5 rappresenta le diverse fasi deformative dello schema evolutivo del dominio saccense nel periodo compreso tra il Messiniano medio e il Pleistocene inferiore, riconosciute da Vitale (1995) che le riferisce ai seguenti periodi: a. Pre messiniano; b. Messiniano, c. Pliocene, d. Pleistocene inf.

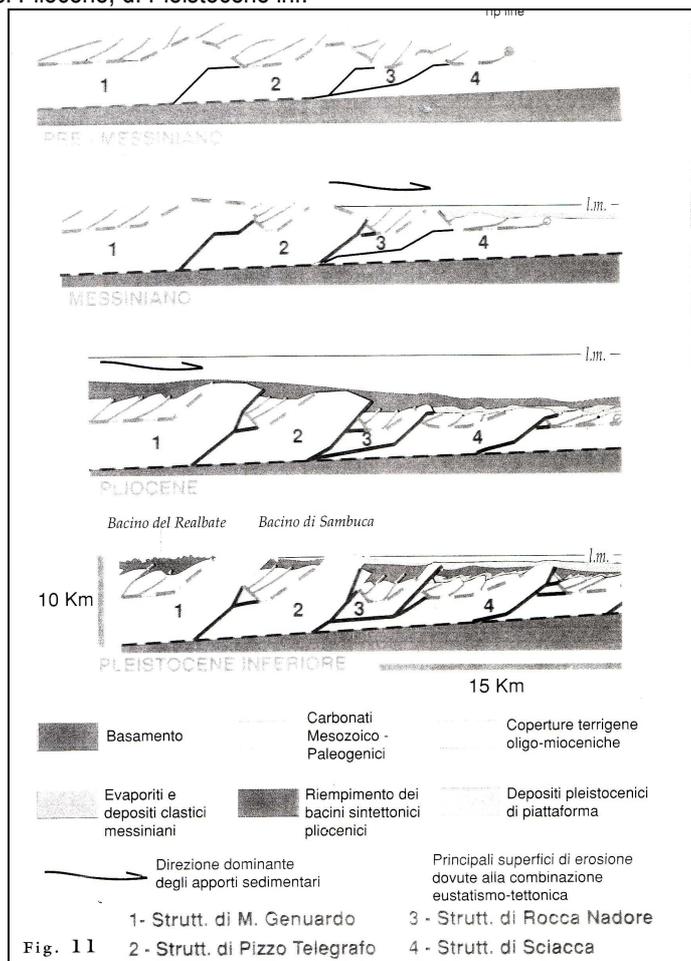


Fig. 5; Schema evolutivo dell'area sicano-saccense ( periodo: Messiniano med. ÷ Pleistocene inf. -Vitale, 1995)

Tali fasi dall'autore sono così sintetizzate: **1.** Il primo evento deformativo riconosciuto nell'area è riconducibile ad una serie thrust, di ordine maggiore, che interessano il substrato carbonatico, con direzione compresa tra N70°-90°E a cui si associano anticlinali di rampa con lunghezze d'onda di alcuni Km e ampiezze di ~500-600 m. **2.** Tali strutture sono state ascritte alla fase tettonica del Messiniano medio (Vitale, 1995) per le evidenze delle arenarie glauconitiche, depositatesi in tale periodo, che risultano ricoprire, in discordanza angolare i terreni più antichi. **3.** Il secondo evento deformativo riconosciuto, di periodo messiniano (vedasi thrust di M. te Finestrelle), ha determinato sovrascorrimenti pellicolari Est-vergenti che presentano, al loro interno, depositi pliocenici depositati dopo l'evento deformativo. **4.** Il terzo evento comprende una serie di pieghe simmetriche, orientate con gli assi N170°E con vergenza complessiva verso SW. **5.** Il quarto evento viene riconosciuto nelle faglie inverse, ad alta inclinazione per possibile riattivazione di precedenti faglie dirette, con direzione compresa tra N10°-30°E, presenti nella zona a Nord di Sciacca e di Caltabellotta, associate ad anticlinali di rampa con lunghezza di ~ 5Km ed ampiezze di ~ 300 metri. Tali strutture risultano troncate da piani di taglio suborizzontali con

orientazione N110°-135°E. 5. Il quinto evento, infine, è stato riconosciuto in una serie di pieghe disarmoniche, vergenti verso SE, ed assi con orientazione compresa tra N45°-55°E che possono essere ascritti al Pleistocene inf.

Secondo tale schema si desume che in Sicilia SW, nel Pleistocene inf., le scaglie tettoniche derivate dalle precedenti fasi deformative, per il progressivo raccorciamento subito arrivarono in affioramento, squarciando le coperture terrigene dei bacini sinorogenici, e andando a sovrascorrere sulle coperture deformate della Falda di Gela (secondo quanto avvenuto, in modo più o meno analogo, in Sicilia Est con le scaglie di M. te Judica).

I bacini sintettonici del Pliocene risultano oggi isolati per l'emersione delle scaglie ascrivibili al paleodominio saccense che, da Nord verso Sud, sono così distinguibili: a. Struttura di M. te Genuardo; b. Struttura di Pizzo Telegrafo; c. Struttura di Rocca Nadore; d. Struttura di Sciacca (M. te S. Calogero) e che risultano collegate in profondità.

Il progressivo raccorciamento delle varie unità stratigrafico strutturali ha determinato la formazione, dall'interland verso il foreland, ovvero verso l'avampaese saccense, di un ringiovanimento delle superfici di scollamento, fenomeno noto in letteratura geologica con il termine *older-younger*.

Tale processo si può riconoscere anche nelle varie zone del dominio saccense passando da Pizzo Telegrafo a Rocca Nadore, sino ad arrivare a M. te S. Calogero ove si riconosce un'età più recente nei terreni che riempiono i vari bacini intermedi.

## CARATTERISTICHE GEODINAMICHE DEL CANALE DI SICILIA

Nei paragrafi a seguire vengono evidenziate le caratteristiche salienti del tratto del Canale di Sicilia prossimo alla zona termale di Sciacca.

### Caratteristiche Morfologiche

Il Canale di Sicilia è caratterizzato da fondali poco profondi, di cui il 46% non supera i 200 m (Borsetti et alii. 1974).

Il tratto centrale, più profondo, è costituito da crosta continentale africana nella quale è possibile distinguere sia una zona di piattaforma (shelf) che una di scarpata (slope).

L'area di piattaforma continentale risulta molto sviluppata trasversalmente con un massimo di estensione laterale presso le seguenti zone: Mazara del Vallo (Km 91) e Capo Passero (Km 121); viceversa i valori minimi si riscontrano a: Sciacca (Km 16), Licata (Km 14) e Capo Scaramia (Km 11).

La scarpata è contraddistinta da un'orografia complessa per l'esistenza dei bacini sedimentari di Pantelleria, Linosa e Malta, con assi maggiori che si sviluppano in direzione NO-SE (immagine di sinistra di Fig. 6 - Reuther, 1987).

Sono presenti anche numerosi seamounts anche di modeste dimensioni (diversi dei quali sono stati scoperti negli ultimi anni - Lanzafame, 2009) sovente con forma subconica allungata, i maggiori dei quali emergono dando luogo alle isole di Pantelleria e Linosa, e di altri minori dei quali invece si ha notizia di emersioni effimere.

Storicamente le più note sono: a. l'isola Fedinanda emersa nel 1831, in corrispondenza del Banco Graham e b. l'isola di Foerstner emersa nel 1891 circa 5 km a NO delle coste dell'Isola di Pantelleria.

### Inquadramento Geologico-Strutturale

Il Canale di Sicilia si sviluppa nel settore crostale del Mediterraneo centrale appartenente al Blocco Pelagiano, blocco più esterno dell'Avampaese Africano, margine di placca lungo l'avanfossa ove convergono le placche Africana ed Europea.

I principali elementi strutturali presenti nell'area sono: **A.** le tre grandi "fosse tettoniche" di Pantelleria, Linosa e Malta che raggiungono profondità di 1000-1700 m, le quali sono riempite da forti spessori (fino 2000 m) di sedimenti torbiditici Plio-quaternari (Borsetti et alii., 1974); **B.** una o più "zone di separazione o trasferimento" caratterizzate dalla presenza di importanti strutture trascorrenti - grossomodo perpendicolari allo sviluppo laterale del Canale di Sicilia -; **C.** due grossi bacini di avanfossa (Gela e Avventura) ambedue al fronte dei thrust della catena Appenninico-Maghrebide.

Il fronte della catena prosegue in mare, ad Est, con la Falda di Gela di converso nella zona occidentale continua con i thrust del Banco Avventura che chiudono ad Ovest la fossa di Pantelleria, ed a NO attraverso i thrust delle Egadi. (vedasi immagine di sx di Fig. 6 - Reuther, 1987).

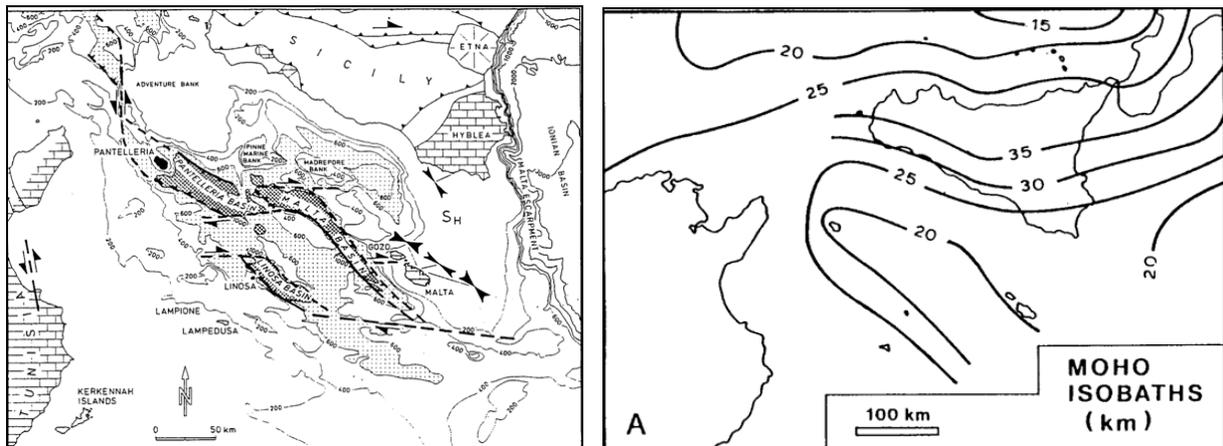


Fig. 6: a sinistra; Schema strutturale Canale di Sicilia con orientamento della compressione massima orizzontale misurato in situ a Malta e Sicilia Meridionale; Reuther, 1987.; a destra; variazione spessore della Moho nel Canale di Sicilia; Argnani, 1990.

I dati geofisici relativi alla zona ove si estende il blocco Pelagiano evidenziano (vedasi immagine di destra di Fig. n. 6) che tale areale è caratterizzato dalla presenza di crosta continentale assottigliata.

Gli spessori variano tra un massimo di ~35 Km (nel Bacino di Caltanissetta e al di sotto della zona di Catena), per diminuire progressivamente procedendo verso Sud, raggiungendo uno spessore minimo di 20 Km in corrispondenza della parte centrale dello stretto dove si vengono a formare le tre fosse tettoniche prima descritte (Argnani, 1990) con valori, del flusso di calore, comparabili a quelli delle zone tipiche di Rift cenozoico (Morgan, 1985).

Nel dettaglio i bacini di sedimentazione possono essere ascritte a strutture a Graben (vedasi Fig. 7 – Catalano et alii, 1995).

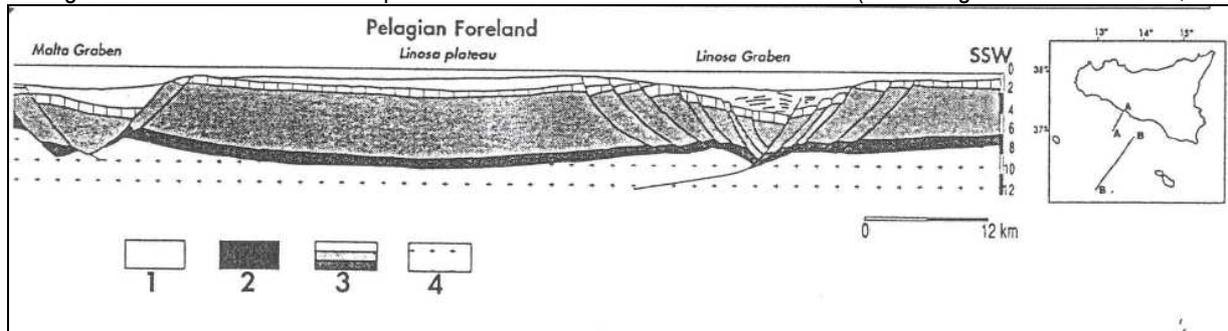


Fig. 7; Profilo B-B Canale di Sicilia correlazione Malta Graben e Linosa Graben con relativi spessori dei sedimenti (Catalano et alii, 1995).

I graben descritti sono stati anche interpretati come bacini di Pull-Apart a testimonianza di una tettonica di tipo transtensivo con movimento di Strike-Slip destrale (imm. sx - Fig. 8- Reuther, 1987) causa l'interazione tra microplacche con rigetti, lungo le maggiori faglie, stimati in oltre 1000 m.

Il settore crostale attivo all'interno del Rift si sta allargando e converge come avampaese deformato (Reuther, 1987) assorbendo al suo interno parte dello stress proprio con tali movimenti di trascorrenza (Zvi Ben Avraham, 1990, imm. dx - Fig. 8).

La seconda teoria è illustrata da Argnani (1990) che si basa sulla reinterpretazioni di profili sismici a riflessione eseguiti nel Canale di Sicilia.

A parere dell'autore le grandi faglie a gradinata che bordano i bacini, formatesi principalmente tra il Pliocene e il Quaternario, sarebbero dovute a movimento di Dip-slip in quanto non vi sono evidenze di movimenti di Strike-slip.

Tale tipologia di movimento si riscontra esclusivamente (a parere dell'AA) nella grande "zona di separazione" (*separation belt* - vedasi imm. dx di Fig. 8) che con andamento circa N-S separa la fossa di Pantelleria da quelle di Linosa e Malta proseguendo poi la costa in corrispondenza dell'off-shore di Sciacca riscontrando importanti manifestazioni vulcaniche neogeniche a tali strutture legate.

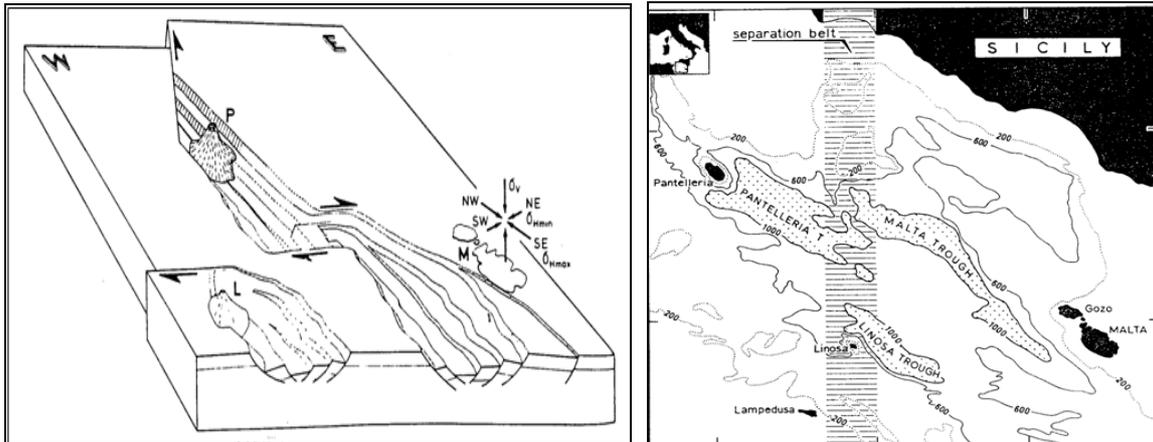


Fig. 8: Modello di evoluzione del Rift di Pantelleria (imm. sx- Reuther, 1987);  
 Schema cinematico del Mediterraneo centrale (imm. dx - Z. ben Avraham et alii, 1990)

### Deformazioni nell'Offshore della Sicilia Occidentale tramite interpretazione dei profili sismici ( Progetto Crop - acronimo di Crosta Profonda)

Per una conoscenza più approfondita delle caratteristiche geodinamiche di tale settore onshore dell'area in studio vengono riportati, nel presente paragrafo, le interpretazioni di una serie di sezioni sismiche in zone di offshore (Catalano et alii 1993 a-b-c; 1995).

L'immagine superiore di Fig. 9 (Catalano et alii, 1995) mostra le ubicazioni, nell'offshore siciliano, di: **a.** linee sismiche, **b.** areali di dragaggio ed evidenza, inoltre **c.** pozzi profondi, per ricerca di idrocarburi, a stratigrafia nota.

L'analisi delle risultanze di tali studi si ritiene utile ai fini del presente progetto di dottorato in quanto il bacino termale di Sciacca ha colleganze (Aureli, 1996) con il vulcanismo recente presente nel Canale di Sicilia specie con le manifestazioni presenti nell'odierno Banco Graham.

Le 2 immagini in basso nella Figura (Catalano et alii; 1995 e 1998) mostrano, rispettivamente: I. SEZIONE OFFSHORE DI SCIACCA dove si constata che il *Sistema Carbonatico esterno* è caratterizzato da strutture a flower la cui formazione è da legare a possibili eventi di tipo traspressivo, con vergenza verso SE, nel quale gli spessori carbonatici sono ricoperti, in discordanza, dai depositi evaporitici e pliocenici.

Tale sistema traspressivo si riconoscerebbe (Antonelli, 1991) anche nelle faglie della Valle del Belice ove il complesso sommitale del Terziario - dato da argille e arenarie dell'Oligocene e sedimenti silicoclastici della F. ne Terravecchia- sono sovrascorsi sul Sistema Carbonatico Esterno. II. l'immagine di destra evidenzia l'ulteriore prolungamento dell'offshore di Sciacca verso SE; evidenti risultano le rampe della parte più esterna della falda di Gela (riquadro in rosso) che sembrano essere riattivate in epoca recente (riquadro in giallo); tali rampe vanno a ricoprire i settori più esterni dell'avampese ibleo nel quale si riconoscono delle faglie a gradinata, di età pleistocenica (riquadro in blu), con direzione variabile tra N-S e NE-SO, che possono legarsi alle faglie, a carattere trascorrente, riconosciute da Argnani nella cosiddetta zona di separazione ed anche come loro prolungamento nella terraferma alle faglie a carattere trascorrente evidenziate da AA (Casero&Roure, 1994, Nigro&Renda, 1999, Distefano et alii, 2008).

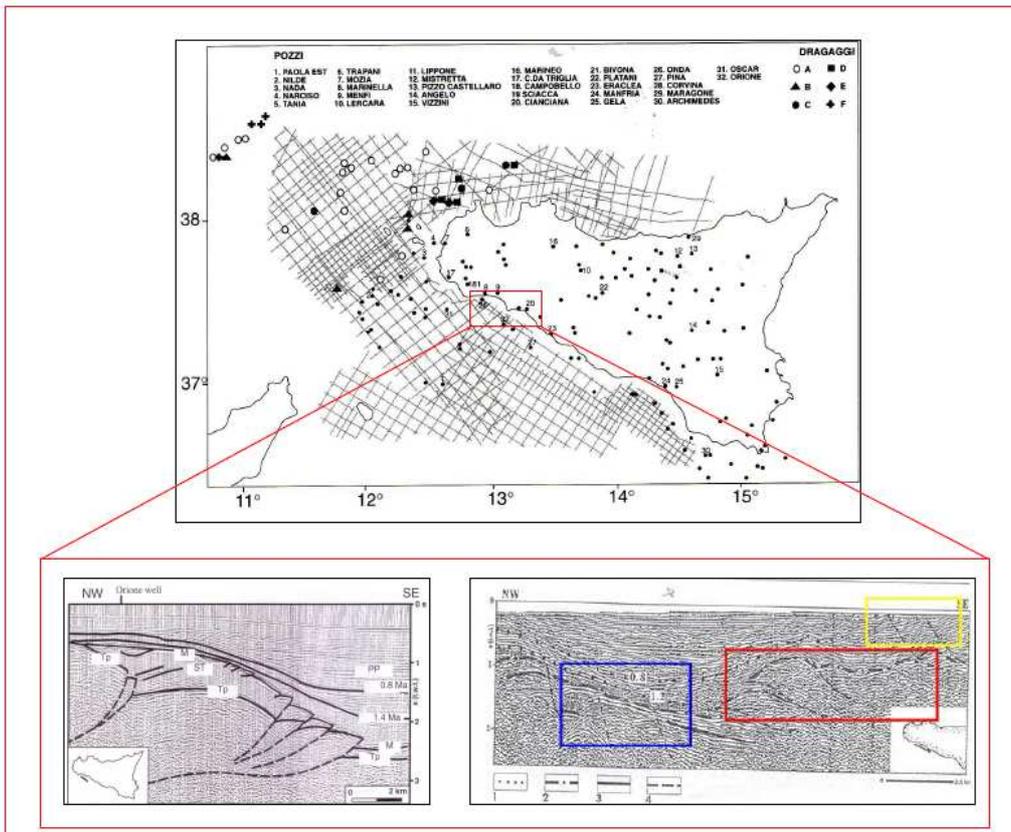


Fig. n.9; interpretazioni dei profili sismici nella zona di off-shore di Sciacca (Catalano et alii; 1995 e 1998)

## STRATIGRAFIA

La Fig. 10 mostra la correlazione, per un periodo di tempo compreso tra il Paleozoico ed il Pleistocene, delle successioni stratigrafiche-tipo dei domini di facies siciliani (Catalano et alii, 1995).

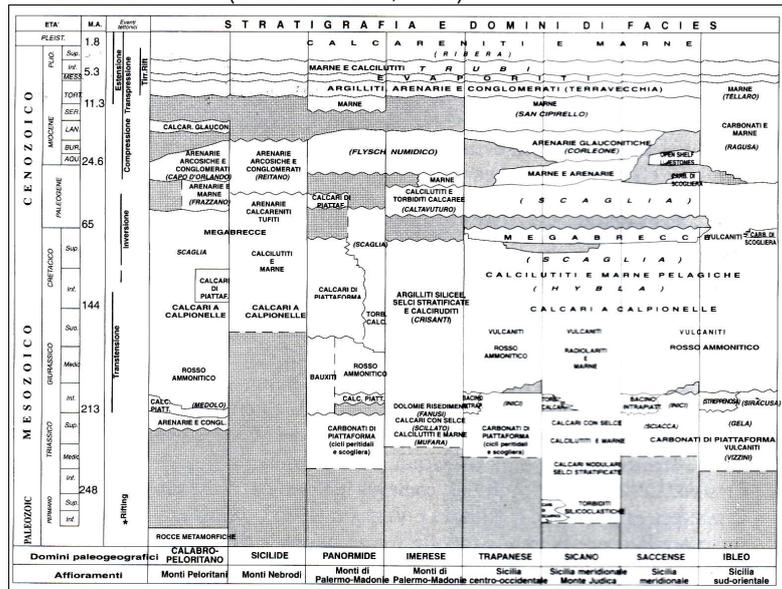


Fig. n.10; correlazione delle successioni stratigrafiche-tipo dei domini di facies siciliani (Catalano et alii, 1995)

Da tale schema è possibile verificare che, nell'intervallo di tempo compreso tra: il Trias superiore ed il Creta sup, i domini: sicani, saccense e ibleo sono stati contraddistinti da una sostanziale uniformità di sedimentazione che invece è andata a differenziarsi in epoche più recenti.

In base alla correlazione dei terreni gli AA riconoscono, progressivamente nel tempo, l'alternarsi di diverse fasi tettoniche così elencabili: **1.** Processo di Rifting (Permiano), **2.** Fase trasversiva (Giura inf-Creta inf.); **3.** Fase di inversione (Creta sup.-paleocene inf.); **4a.** Fase di Compressione-Transpressione (Paleocene sup. – Pliocene sup.); **4b.** Estensione e Rifting Tirrenico (Tortoniano – Pliocene).

## **SUCCESSIONE STRATIGRAFICA DELL'AREA IN STUDIO**

Nell'areale in studio sono presenti terreni compresi tra il Trias sup e l'Olocene.

Le varie litologie presenti si riportano elencate di seguito, procedendo dai termini più antichi ai più recenti.

### **CALCARI DOLOMITICI BIANCHI (TRIAS SUP.)**

Si tratta di calcari bianchi, subcristallini dolomitizzati riferibili al Trias sup (Retico).

Tale unità si riscontra, nell'areale in studio, in varie zone; nei settori più interni quasi esclusivamente presso la rampa anticlinale di Rocca Nadore, ove affiora diffusamente lungo il lato meridionale, con giaciture, immergenti verso N e verso NO, con pendenze comprese in un intervallo tra i 10° ed i 14°.

Ulteriori limitati spessori di dolomie si riscontrano presso la base del versante meridionale di M. te S. Calogero costituiti da una sequenza di calcari dolomitici bianchi a megalodon (*Megalodon Leonardii*; Ruggieri, 1959) con stratificazione praticamente indistinta.

Gli spessori massimi si constatano presso C. da Carrozza, dove si rinvencono sino a quota 240, con una stratificazione con pendenza di circa 18°-20°, ove si riconoscono evidenze di sovrapposizione di scaglie tettoniche riattivate dalle tettonica quaternaria.

In alcuni affioramenti significativi, nei quali sono stati effettuati anche dei rilievi geomeccanici, si constata l'impronta dell'originario calcare di tipo fossilifero che la dolomitizzazione secondaria ha obliterato riscontrando, di tanto, solo le impronte esterne con presenza, nei tratti più fratturati, di piccoli cristalli di calcite.

L'immagine di sinistra di Fig. 11 mostra (ripresa in una piccola cava - presente lungo il fronte della strada secondaria che da Rocca Nadore porta a C. da Nadorello)-, il passaggio stratigrafico tra le dolomie, dal tipico colore bianco, parzialmente stratificate, ed i soprastanti calcari giallo-rossastri.

In profondità la litologia in questione è stata rinvenuta in diverse perforazioni effettuate nell'area (Forlani, 1977; Aureli, 1996); lo spessore della successione non è stato misurato poiché il pozzo AGIP, trivellato nel 1952 e ubicato a SO di M. te S. Calogero ha attraversato, per 2829 metri, tale formazione.

### **CALCARE GIALLO ROSSASTRO AMMONITICO (LIAS inf.-medio)**

L'unità litostratigrafica è rappresentata in affioramento dai calcari a *Paleocycladus Mediterraneus*, divisi in banchi di spessore variabile tra un minimo di ~ 30 cm, o superiori al metro con spessori che sembrano aumentare dal basso verso l'alto; seguono calcari e calcari marnosi, di età compresa tra il Lias. sup. ed il Malm. inf., ove i dati di letteratura riportano la presenza anche di livelli condensati

La sommità di tali litologie, come si è verificato in alcuni affioramenti presenti presso M. te S. Calogero, risulta incisa localmente da superfici di erosione.

Tali litologie affiorano diffusamente lungo la scarpata meridionale di M. te S. Calogero dove è possibile misurare, specie nel tratto occidentale della parete, presso C. da Carrozza, spessori di alcune decine di metri.

Affiorano ulteriormente a NO di Fontana Calda ed a SE sorgente in un horst di larghezza di ~ 50 metri, limitato da faglie a componente diretta, con direzione ONO-ESE, che lo rialzano rispetto ai sedimenti di natura prevalentemente marnosa e argillosa presenti nella zona.

Tale horst giunge, in affioramento, sino all'alveo del Carabollace ove determina la fuoriuscita delle polle termali omonime.

Un limitato lembo si riscontra anche nel versante opposto, che appare ribassato e dislocato trasversalmente, di circa una decina di metri, per l'esistenza di una possibile faglia trascorrente destra, con orientamento N-S, nella quale si è impostato tale tratto del V. ne Carabollace.

I rilievi hanno permesso di ipotizzare una progressiva diminuzione della dolomitizzazione passando dagli orizzonti stratigraficamente più bassi a quelli più alti.

Nella parte alta si riscontrano calcari rossastri a stratificazione indistinta datati (Vitale, 1991) per la loro fauna, a *Globigerina Oxfordiana*.

I calcari ammonitiferi verso l'alto si presentano con stratificazione più evidente, così definiti perchè a luoghi si rinvengono piccole ammoniti.

L'immagine di destra di Fig. 11 mostra gli spessori presenti presso il tratto sommitale del versante SE di M. te S. Calogero, tratto nel quale gli strati immergono verso i quadranti settentrionali con la presenza (vedasi riquadro in rosso) di una cavità emettente vapore parzialmente nascosta da un arbusto.



Fig. 11; a sinistra passaggio stratigrafico tra calcari dolomitici bianchi del trias e calcari giallo rossastri del Lias (località Nadorello); a destra dettaglio sulla stratificazione nei calcari liassici (località M. te S. Calogero) con presenza di cavità emettente (riquadro in rosso)

### **CALCARI MARNOSI "SCAGLIA" (Cretaceo- Eocene medio)**

Tale litologia è costituita da strati di calcari marnosi, di colore bianco grigiastro, di spessore variabile (da pochi centimetri al metro) con presenza di noduli di selce che risultano sovente tettonizzati (vedasi riquadro in rosso - immagine di dx Fig. 12).



Fig. 12; a sinistra spessori di scaglia tettonizzati; a destra dettaglio di un nodulo di selce tettonizzato (località Sabella);

Tale unità litostratigrafica è sovente rilevabile in affioramento, specialmente lungo i bordi meridionali di M. te S. Calogero (nelle C. de Mendorlito e Sabella) ove risulta spesso mascherata dal detrito di falda o dagli orizzonti, prevalentemente sabbiosi, appartenenti al terrazzo Calabriano.

Ulteriori affioramenti si riconoscono lungo la Valle dei Bagni in prossimità delle Antiche Terme dove si riscontrano frequentemente tettonizzati, con stratigrafia indistinta, in forma caotica, in prossimità delle zone di damage zone prossime alle maggiore discontinuità tettoniche.

Lo spessore della formazione non è valutabile in affioramento ma è stato evidenziato (Forlani, 1977; Aureli, 1996) uno spessore massimo, rispettivamente, di ~137 metri nella perforazione R5 e di 102 metri nella perforazione R7.

La perforazione R1 evidenzia spessori di 50 m.; spessori minori si desumono dalle stratigrafie R24 (43 m) ed R6 (33 m).

### **CALCARENITI E CALCIRUDITI A NUMMULITI (OLIGOCENE MEDIO SUP.)**

Tale unità stratigrafica è costituita da calcareniti bianco-giallastre che affiorano diffusamente nella parte meridionale del bacino termale di Sciacca nelle seguenti contrade ed areali: a) lungo la strada che porta all'abitato di Sciacca, in corrispondenza del ponte presente presso la Cava del Lauro; b) presso i versanti e la sommità Nordorientale di M. te S. Calogero (ad Est del complesso termale); c) lungo i versanti a Nord di Rocca della Guardia, al di sotto delle arenarie marroni del Miocene; d) al di sotto ed al limite meridionale del terrazzo calabriano, tra i tratti terminali del Vallone del Lauro e del T. te Carabollace, con immersione verso ENE con pendenze variabili tra i 14 ° ed i 18°; f.) a SE di Fontana Calda, in località Sovareto, in prossimità della linea ferrata, il cui percorso si sviluppa in destra idrografica del T. te Carabollace (vedasi foto di sx della Fig. 13); g) lungo la scarpata di faglia che, con direzione ENE-OSO, li delimita verso Est (rispetto ai sottostanti spessori a prevalente componente argillosa del Pliocene).

In tali zone sono caratterizzati da una netta stratificazione con una diffusa fauna a Nummuliti, che è stata riscontrata principalmente nei fronti della cava presente a SO del Resort Isabella.

Sembrano evidenziare una leggera discordanza con la sottostante scaglia, il cui passaggio si è rilevato in uno scavo di natura antropica presso C. da Mendorlito, in prossimità del centro commerciale ivi presente.

Lo spessore della formazione, nelle perforazioni, risulta compresa tra i 20 ed i 30 metri con una punta massima di 32 metri (sondaggi Montagnola e R7).

Più a Nord la formazione affiora a C. da Montagna, a NE di M. te S. Calogero, dove è riscontrabile la sorgente omonima.

### **CALCARENITI A MACROFRAMNIFERI BENTONICI (AQUITANIANO-BURDIGALIANO)**

Si tratta di biocalcareniti con una ricca fauna fossile, di mare basso; affiorano estesamente nei versanti: settentrionale, occidentali e nord orientali di M. te S. Calogero ed anche presso i versanti occidentali ed orientali di Rocca della Guardia.

L'immagine di dx della Fig. 13, mostra (lungo le pareti di una cava, presso il versante occidentale di Rocca della Guardia) la sequenza di ritmi centimetriche di natura arenitica, da mediamente a scarsamente cementate, con immersione verso SE.



*Fig. 13; a sinistra affioramenti delle calcareniti a nummuliti presso la trincea ferroviaria in località Carabollace; a destra sequenza di ritmi centimetriche di natura arenitica (R. ca della Guardia)*

Si riscontrano diffusamente anche nel tratto montano del V. ne Carrozza, tra il versante occidentale di M. te S. Calogero e il versante orientale di Rocca della Guardia.

### **MARNE SABBIOSE ED ARENARIE GLAUCONITICHE (BURDIGALIANO-LANGHIANO)**

Tale unità stratigrafica è costituita da: marne sabbiose, arenarie marnose tenere, argille verdastre glauconitiche, contenenti faune di mare basso.

Lo spessore massimo affiora presso C. da Campella, in corrispondenza del Km 124 della SS115, con spessori di circa 15-20 metri.

Sono presenti anche presso il settore occidentale ed alla sommità della località C. se Galati.

### **CALCARI MARNOSI A GLOBIGERINE (TRUBI)**

I calcari marnosi e le marne a Globigerine, del Pliocene inf., trasgressivi sulle formazioni sottostanti più antiche, indicano la ripresa della sedimentazione normale a seguito della crisi di salinità messiniana.

In affioramento hanno un colore che va dal bianco crema, negli orizzonti più calcarei, ove sovente si riscontra la tipica fratturazione concoide, sino ad un colore talora grigiastro, negli orizzonti a maggiore contenuto argilloso.

Affiorano estesamente: a) nel tratto mediano del V. ne Carrozza, tra il versante occidentale di M. te S. Calogero e il versante orientale di Rocca della Guardia; b) a Sud del Cimitero di Sciacca; c) alla base del versante meridionale di Rocca Nadore; d) presso C. da Siracusa settore occidentale dell'area in studio; e) sul versante occidentale del T. te Carabollace e f) in corrispondenza dell'abbeveratoio di Fontana Calda.

Un ulteriore importante affioramento si riscontra in destra idrografica del Vallone del Lauro (in prossimità della costa), poco a valle dell'emergenza della Sorgente Sulfurea, in una modesta struttura anticlinale, che evidenzia l'erosione in tale tratto delle argille grigio azzurre diffusamente presenti nelle zone limitrofe.

Lo spessore massimo riscontrato nell'area è di circa 35-40 metri; valore confermato dai dati di perforazione (R24= 38 m).

### **ARGILLE AZZURRE DELLA SERIE MARNOSO ARENACEA (Pliocene medio sup.)**

Sono costituite da marne grigio scure, con presenza di intercalati sottili livelli arenitici, la cui fauna è costituita da foraminiferi planctonici e rari molluschi.

Gli affioramenti più significativi si riscontrano nel settore settentrionale dell'area in studio, nella zona di bacino (C. de: S. Maria, Milazzo, e Lazzarino di sopra) che separa le scaglie di: R. ca Nadore, a Nord, e di M. te S. Calogero, a Sud.

Altri diffusi affioramenti si rilevano presso il settore orientale (C. de Ciancio, S. Domenico e Galenzo Aquilea) ed infine nella zona costiera ove i dati di perforazione evidenziano i massimi spessori.

### **ARGILLE SABBIOSE (PLEISTOCENE SUP. )**

Le argille sabbiose del Pleistocene sup sono affioranti diffusamente nella zona costiera, tra le incisioni della Valle del Lauro e del T. te Carabollace.

L'immagine di sx della Fig. 14 ne evidenzia gli spessori in affioramento a Sud della Sorgente Molinelli le cui acque in passato alimentavano dei mulini (si constata il rudere di uno dei due mulini).

Lo spessore massimo dai sondaggi consultati risulta di circa 30 metri (C. da Suareto).

### **CALCARENITI E SABBIE DEL PLEISTOCENE SUP.**

Tale litologie sono costituite principalmente da biocalcarenitici, contenenti echinidi e molluschi, con presenza di intervalli di alcune decine di centimetri di marne sabbiose e sabbie.

La formazione è presente, con andamento monoclinale, in facies prevalentemente sabbiosa, da NE, verso SW (C. de S. Maria, C. da Guarda Basso, C. da Gaddimi), con uno spessore massimo di circa 10-15 metri e diffusamente, nella facies calcarenitica, nel centro abitato di Sciacca ove raggiunge spessori notevoli lungo la costa (immagine di sx di Fig. 14).

### **TERRAZZO MARINO SUP.**

Il terrazzo marino superiore è costituito prevalentemente da litologie sabbioso-calcarenitico-conglomeratiche.

Si estendono, con forma allungata, in direzione O-E, presso la piana costiera (ad Est dell'abitato di Sciacca), in corrispondenza della base del versante meridionale di M. te S. Calogero.

Sono presenti in un intervallo di quota compreso tra: i 145 e 100 m slm, con spessori che variano da pochi metri a valori massimi di circa 10-15 metri (valori confermati da sondaggi e SEV); l'età (Vitale, 1991) è stata ascritta al Calabriano.



*Fig. 14; a sinistra: ruderi del mulino alimentato dalla S. te Molinelli poggiate sulle argille sabbiose;  
a destra: sequenza degli spessori calcarenitici presso la zona del porto di Sciacca*

### **TERRAZZO MARINO INF.**

Il secondo terrazzo, del Siciliano, risulta costituito da termini in prevalenza di natura sabbioso-calcarentica. Si riscontra al di sotto della scarpata di faglia che, con direzione E-O, si sviluppa, nelle C. de Sabella e Mendorlito, limitando, verso Sud, gli affioramenti del Creta (Scaglia) e le sovrastanti Calcareniti a Nummuliti. Il terrazzo è presente in un intervallo di quota compreso tra 75 e 40 slm ricoprendo, in modo discontinuo, terreni di diversa età, come testimoniato dalle numerose stratigrafie e dai sondaggi indiretti reperiti. Lo spessore apparente sembra variare tra un minimo di pochi metri ed un massimo di una decina di metri.

### **DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI**

I depositi alluvionali si riscontrano esclusivamente lungo le maggiori incisioni fluviali, in particolare presso il greto e le sponde del tratto medio-terminale del T. Te Carabollace ed, in misura minore, presso i V. ni Portolana e Lazzarino.

### **DETRITO DI FALDA**

Il detrito di falda si ritrova principalmente lungo il versante meridionale di M. te S. Calogero. I suoi orizzonti sono costituiti, in prevalenza, da clasti incoerenti di natura calcarea, di età variabile, derivanti dalla disgregazione fisica e dal disfacimento atmosferico degli alti strutturali.

### CAP. 3- GEOLOGIA E TETTONICA DELL'AREA IN STUDIO

I rilievi condotti dallo scrivente nell'area in studio, estesa circa 50 Km<sup>2</sup>, così delimitabile: vertice NO: Serra Lunga; vertice NE: R. ca Porcheria; vertice SO: abitato di Sciacca; vertice SE: foce del Carabollace, hanno consentito l'elaborazione della carta geologica (Fig. 15) dalla quale analisi è possibile discernere tutta una serie di considerazioni di seguito debitamente descritte.

Studi precedenti (vedasi Cap. 1) avevano evidenziato che l'area in studio è stata interessata, dal mesozoico all'attuale, da una serie di fasi tettoniche (Catalano, 1982; Vitale 1991, Catalano et alii, 1995) sia di tipo compressivo che distensivo.

La prima fase compressiva, ascrivibile al Miocene inf., ha determinato la progressiva rottura ed il successivo accavallamento, in scaglie con orientazione Ovest- Est e sud vergenti, dei depositi di piattaforma rigida, tipici del domino sicano e saccense.

Nella parte più settentrionale dell'area, in corrispondenza dell'esteso sovrascorrimento, i terreni interessati da questa fase hanno andamento E-O, osservabile nei fronti di: R. ca Capreria - Conzerie- Rocca Ficuzza- Caltabellotta.

A Sud di tale sistema si riconosce una limitata area bacinale (area Case Nadorello), con asse maggiore parallelo al fronte di thrust nella quale affiorano le arenarie marnose ed i calcari detritici dell'elveziano.

Tale zona è limitata, verso i quadranti meridionali, da un secondo sistema di sovrascorrimento, sempre con direzione Ovest- Est, ma con forma più arcuata rispetto al precedente il cui fronte si sviluppa lungo i versanti meridionali della congiungente dei seguenti rilievi mesozoici: Serra Lunga-Rocca Nadore- Rocca Porcaria.

La Fig. 16 mostra (ripresi dal lato Nord di M. te S. Calogero) i due fronti di scollamento di Rocca Ficuzza e Nadore.

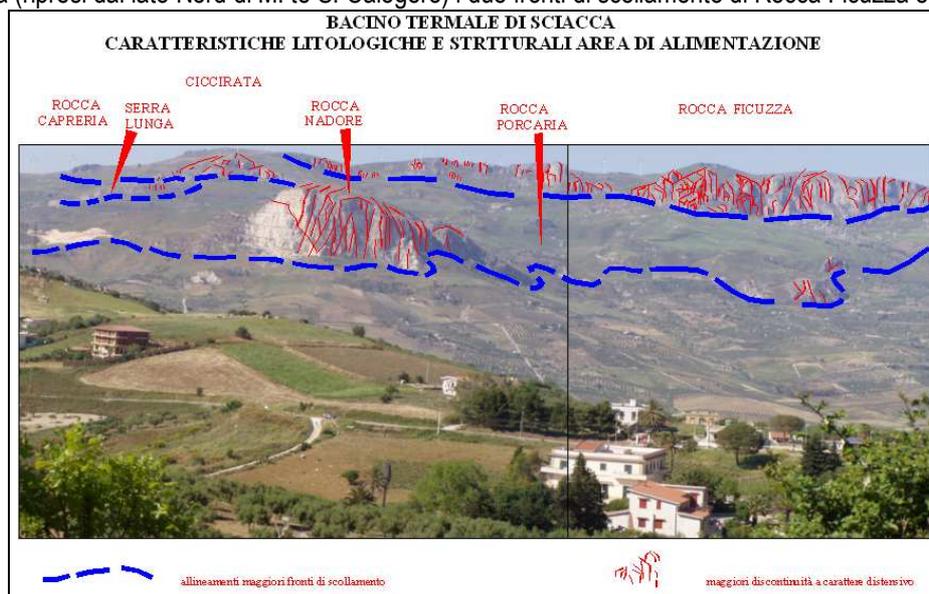


Fig. 16; fronti di scollamento a Nord di M. te S. Calogero

La Fig. 17 evidenzia sinteticamente le caratteristiche stratigrafico-tettoniche di 3 dei 4 versanti di monte S. Calogero la cui analisi permette di constatare:

**VERSANTE MERIDIONALE:** le due immagini di sinistra della Fig. 17 mostrano le due faglie (con direzioni E-O) che delimitano, con andamento a gradinata, dapprima la struttura di S. Calogero (alla cui base - vedasi Fig. n. 15 - è presente il terrazzo tirreniano) e poi, a minore quota, il fronte di C. da Mendorlito-Suareto (al centro nell'immagine).

Si notino anche le faglie (in rosso) trasversali al versante di S. Calogero ed i rapporti tra le varie litologie evidenziate.

**VERSANTE ORIENTALE:** l'immagine in alto a destra, ripresa da SE (in prossimità di Casa Locogrande), mostra le peculiarità principali di tale versante, ovvero: **a.** il rilievo è costituito da una monoclinale immergente verso i quadranti settentrionali; **b.** tale struttura risulta dislocata, in vari blocchi, da una serie di faglie e fratture caratterizzate dalle seguenti orientazioni preferenziali: ONO-ESE NE-SO, NO-SE, e N-S. **c.** le faglie dirette, in alcuni casi, sembrano riattivare precedenti strutture di carattere compressivo; **d.** è possibile constatare, nel tratto più fratturato del versante, la presenza di un esteso condotto carsico di tipo fusiforme (i cui contorno sono stati evidenziati in azzurro all'interno dal riquadro in blu); **e.** le coltri delle coperture detritiche mascherano in larga parte i contratti stratigrafico tettonici presenti nella parte inferiore del versante;



nell'immagine) le successioni mesozoiche; **b.** tali faglie tagliano una precedente superficie a basso angolo ribassandola verso Sud; **c.** si riconoscono anche faglie trasversali al versante che dissezionano in blocchi le successioni mesozoiche; **d.** il tratto maggiormente fratturato (nel quale per i meccanismi di frizione che lo contraddistinguono, non si riconosce la stratificazione) risulta più erodibile rispetto alle aree contermini.

## STRUTTURE TETTONICHE PRESENTI

Nell'area in studio è pertanto possibile riconoscere una tettonica polifasica, con alternarsi di fasi di diversa tipologia (compressive, distensive e trascorrenti) che spiega la complessità delle strutture evidenziate, sia in generale che in dettaglio. Tali fasi hanno determinato dapprima il progressivo riaccorciamento, accavallamento e scagliamento delle successioni, lungo i fronti descritti dalle aree più interne verso quelle più esterne.

Riassumendo gli elementi stratigrafico-strutturali riconosciuti nell'area in studio, da Nord verso Sud, sono i seguenti:

- La struttura anticlinale di R. ca Ficuzza (che rappresenta il limite settentrionale dell'area in studio) così delimitata: **a.** a Nord da una serie di faglie dirette, prevalentemente ad alto angolo, con orientazione O-E, e da ulteriori orientamenti NNE-SSO e NO-SE; **b.** a Sud da una serie di faglie, con orientazione prevalente O-E, a minor angolo rispetto alle faglie che delimitano viceversa il limite Nord con (Distefano&Vitale, 1993) faglie inverse di entità minore ad orientazione ONO-ESE.
- La zona di bacino miocenico che si sviluppa con medesimo orientamento presso le località Nadorello e Matarazzo;
- La rampa anticlinale di Rocca Nadore così delimitata: **a.** a Nord da una serie di faglie con orientazione prevalente O-E, ad alto angolo; **b.** a Sud da una serie di faglie a carattere compressionale con orientazione prevalente O-E con faglie inverse minori di orientazione ONO-ESE ed ENE-OSO. **c.** la zona di bacino di età pliocenica compresa tra Rocca Nadore e M. te S. Calogero.
- Il sovrascorrimento di M. te S. Calogero così delimitato: **a.** a Nord da una serie di faglie prevalentemente ad alto angolo con orientazione prevalente O-E; **b.** a Sud da una serie di faglie a orientazione prevalente O-E e ENE-OSO con possibili riscontri di inversione tettonica positiva.

La Fig. 18 mostra lo sviluppo longitudinale delle idrostrutture sopra descritte, riprese dalla periferia di Castelvetrano, ove è possibile riconoscere la serie di scollamenti che da Nord verso Sud sono presenti (R. Ficuzza, R. Nadore e M. te S. Calogero) ed i bacini che li intermezano.



Fig. 18; delimitazione longitudinale delle idrostrutture che costituiscono il bacino termale di Sciacca

La zona che si estende (riquadro in rosso) da Rocca Nadore al mare rappresenta la zona del bacino termale di Sciacca dal tratto di alimentazione alla zona di scarico.

## CAP. 4: STRATIGRAFIE E SEZIONI INTERPRETATIVE

Le ricerche bibliografiche condotte hanno permesso di acquisire un certo numero di stratigrafie dei pozzi presenti nell'area termale.

Lo studio di tali stratigrafie (Aureli, 1996; Forlani, 1979), le correlazioni con i dati geofisici esistenti nell'area – in larga parte inediti (E.S.A, 1970, C.S.R., 1972), hanno consentito di acquisire un'ulteriore conoscenza degli assetti stratigrafico-tettonici esistenti.

L'ubicazione dei pozzi e dei piezometri con stratigrafia è riportata nella Fig. 19.

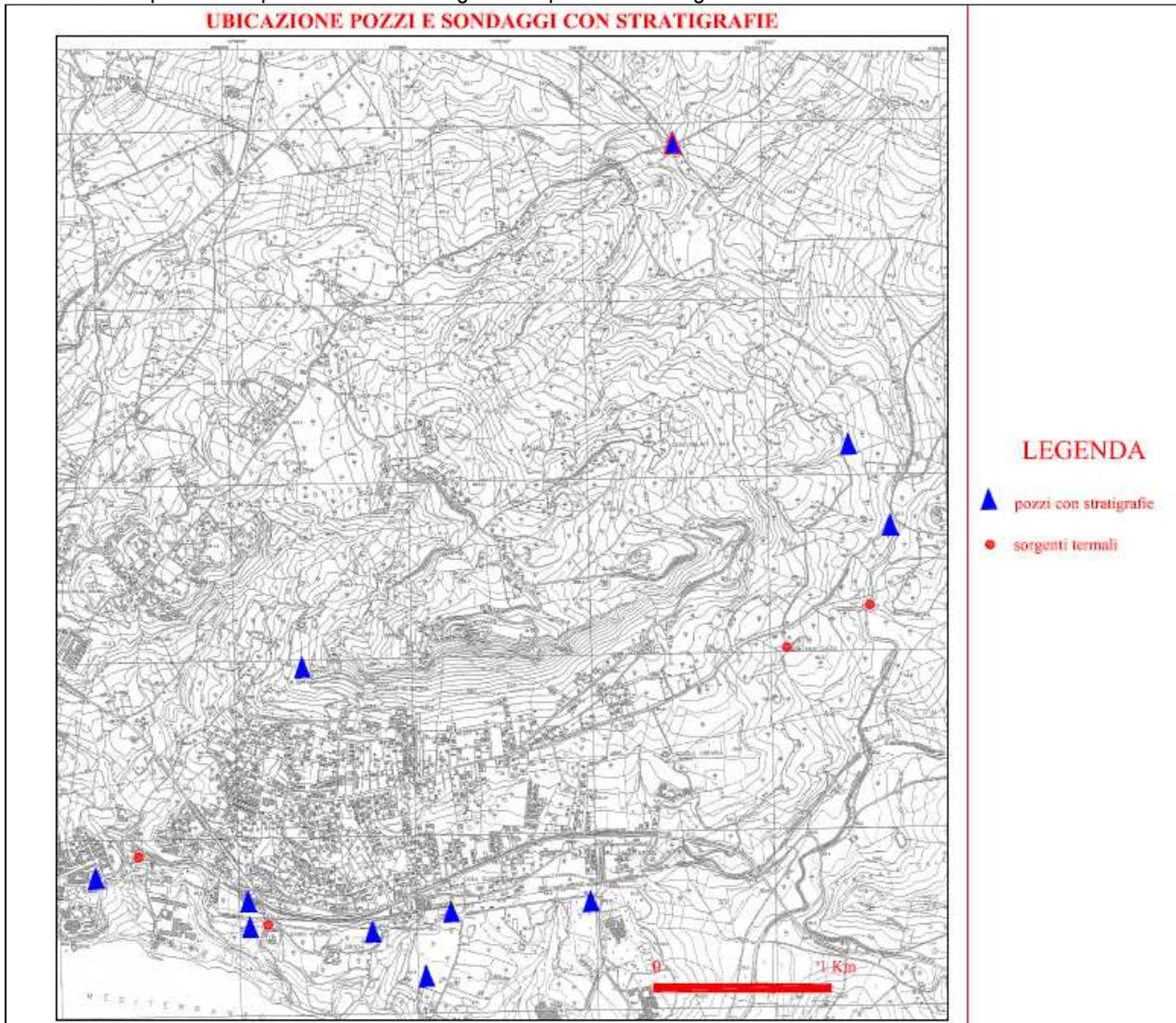


Fig. 19

Vengono di seguito descritte le caratteristiche stratigrafiche di tali perforazioni.

**POZZO SCIACCA 1:** trivellato nel biennio 1954-55, dalla società AGIP, per una profondità complessiva di 2829 metri, riguardo al progetto di ricerca sulle forze endogene condotto all'epoca nel territorio siciliano.

L'ubicazione del pozzo e le caratteristiche tecnico-costruttive principali vengono riportate nella Tab. 1 (da: 1 Volume dell'ENI - ACQUE DOLCI SOTTERRANEE- (1972), 2. Atti del VI Congresso Nazionale di Speleologia nella nota "Reparto Forze Endogene della Sezione geologica dell'AGIP mineraria – C. Sommaruga (1954).

CARATTERISTICHE TECNICO COSTRUTTIVE POZZO AGIP - SCIACCA 1 -				
località	quota	coordinate		tipo sonda
C. da Carrozza	195,72	lat. 37°30'40"N	long. 0°39'60"O	scalpello rotante
prof. falda	temp. acque	periodo di scavo		
153 m pc (42,6 m slm)	60,5°C	28/03/1954-24/03/1955		

Tab. 1

La Fig. 20 riporta la stratigrafia dei primi 500 metri di perforazione.

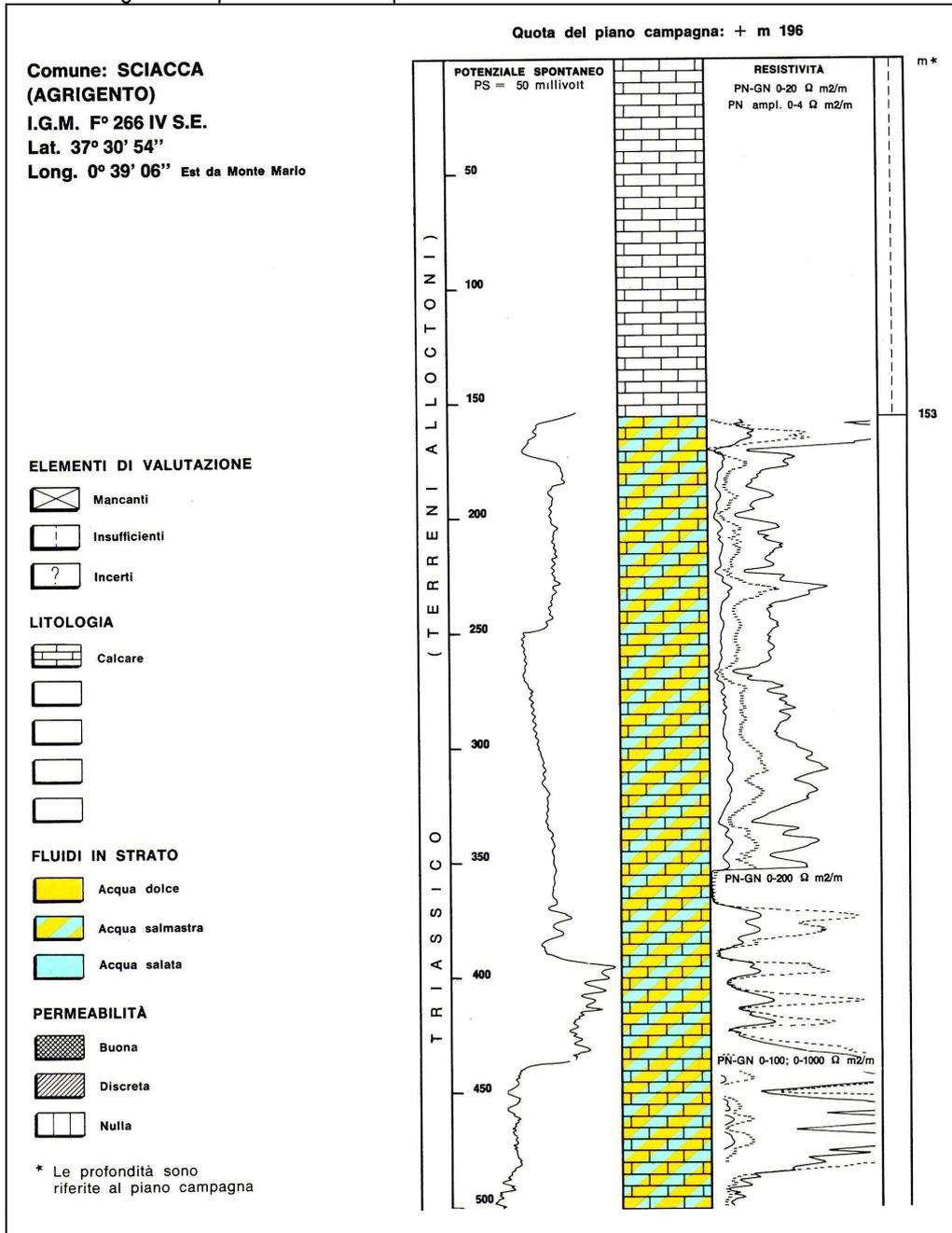


Fig. 20; stratigrafia pozzo Sciacca 1

Si riportano i passi inediti (Sommaruga, 1952 e successivi) che spiegano i motivi della scelta di effettuare la perforazione lungo il margine SO di M. te S. Calogero: "la ricerca di vapore naturale in una situazione simile, in linea di massima, a quelle

di Larderello. Obiettivo da raggiungere la sommità delle serie resistente più bassa indiziata dai rilievi geoelettrici ...lungo la zona di massimo innalzamento della formazione profonda dei calcari dolomitici triassici...In questa posizione la trivellazione avrebbe permesso di chiarire la configurazione tettonica a grande profondità: inoltre se si fosse raggiunta e perforata la formazione impermeabile che si riteneva trovarsi sotto i calcari dolomitici triassici si sarebbe potuto incontrare il vapore ad alta temperatura e pressione oggetto della ricerca oppure eventuali idrocarburi accumulati laggiù.

Non fu possibile raggiungere lo scopo in quanto il sondaggio attraversò per la sua intera profondità le dolomie triassiche; con la falda termale che venne rinvenuta alla profondità di 153 metri ovvero ad un livello di 42,6 m slm.

**POZZO MONTAGNOLA:** realizzato presso la C. da omonima, nel periodo compreso tra il 29.03.1973 ed il 03.08.1973, ad una quota di 87,60 m slm (coordinate: lat: 37°32'34" ; long: 00°40'29") e con una profondità complessiva di 650 metri.

Le caratteristiche stratigrafiche sono state riprese dal Volume V relativo alle "Schede Censimento Pozzi" dello Studio Relativo al Programma di Intervento per l'Incremento delle Disponibilità Idriche della Provincia di Agrigento redatto dall'Amministrazione Provinciale di Agrigento.

La Fig. 21, rielaborata dallo scrivente, consente di evidenziare le caratteristiche stratigrafiche di tale perforazione: **A.** 0 ÷ -10 m dal pc: *terreno vegetale*; **B.** -10÷-99,3 m dal pc: *biocalcarenti a lepdocline*; **C.** -99,3÷- 128 m dal pc: *calcari brecciati a nummuliti*; **D.** -128 ÷-210 m dal pc: *tufiti e basalti*; **E.** -210 ÷-245 m dal pc: *calcari marnosi tipo scaglia*; **F.** - 245 ÷-650 m dal pc: *calcari e calcari dolomitici* (Trias-Lias).

La Figura evidenzia anche quegli spessori che nella stratigrafia originaria venivano indicati come "intervalli fessurati" : I. - 271÷ 275 m ; II. - 284 ÷ -295 m; III -400÷ -408 m; IV. -427÷ -431 m; V. -456÷ -475 m; VI. -499 ÷ -506 m; VII. -548 ÷ -557 m; VIII -607 ÷ 612 m dal pc.

La presenza delle vulcaniti indica colleganze possibili con masse magmatiche profonde che possono avere influenzato il termalismo della zona studiata.

**POZZO R1:** realizzato presso il parco dell'Hotel delle Terme, nel periodo compreso tra il 11.04.1972 ed il 31.05.1972, ad una quota di 45,00 metri slm (coordinate: lat: 37°30'17" ; long: 00°38'16"), con una profondità complessiva di 202,3 metri.

La successione stratigrafica riscontrata riporta di seguito: **A.** 0÷-7,00 m dal pc: *calcareniti*; **B.** -7,00÷- 107,00 m dal pc: *argille blu*; **C.** - 107,00÷-130,00 m dal pc: *trubi*; **D.** -130,00÷- 180,00 dal pc: *calcari e marne calcaree rosate con noduli di selce*; **E.** -180,00 ÷ - 202,3 m dal pc: *brecce dolomitiche*

**POZZO R5:** realizzato nel periodo compreso tra il 12.06.1972 ed il 04.08.1972, ad una quota di 39,70 metri slm (coordinate lat: 37°30'11" ; long: 00°38'58") ed una profondità complessiva di 52 metri.

La successione stratigrafica riscontrata si riporta di seguito: **A.** 0÷ -8,00 m dal pc: *calcareniti e sabbie*; **B.** -8,00÷- 22,00 m dal pc: *trubi*; **C.** - 22,00÷ -36,90 m dal pc: *argilla*; **D.** -36,90÷- 52,00 m dal pc: *calcare travertino vacuolare*.

**POZZO R6:** realizzato nel periodo compreso tra il 06.10.1972 ed il 09.11.1972, ad una quota di 94,80 metri slm (coordinate: lat: 37°30'36" ; long: 00°38'54") ed una profondità complessiva di 115 metri.

La successione stratigrafica riscontrata si riporta di seguito: **A.** 0÷ -6,80 m dal pc: *detrito di falda*; **B.** -6,80÷ - 39,40 m dal pc: *scaglia da bianca passante a verdastra e gialla*; **C.** - 39,40÷ -115 m dal pc: *calcari brecciati dolomitici*.

**POZZO R7:** realizzato nel periodo compreso tra il 03.07.1972 ed il 24.08.1972, ad una quota di 47,00 metri slm (coordinate: lat: 37°30'15" ; long: 00°38'58") ed una profondità complessiva di 189 metri.

La successione stratigrafica riscontrata si riporta di seguito: **A.** 0÷-5,00 m dal pc : *calcareniti*; **B.** -5,00÷- 37,20 m dal pc: *calcari vacuolari bianchi* (possibili nummuliti); **C.** - 37,20÷ -139,40 m dal pc: *marne calcaree bianche cineree e rosse* (possibile scaglia); **D.** -139,40÷ -189,00 m dal pc: *brecce dolomitiche*.

**POZZO R8:** realizzato nel periodo compreso tra il 11.04.1973 ed il 16.04.1973, ad una quota di 52,00 metri slm (coordinate: lat: 37°30'12" ; long: 00°37'17") ed una profondità complessiva di 32,5 metri .

La successione stratigrafica riscontrata si riporta di seguito: **A.** 0÷-1,00 dal pc: *terreno vegetale*; **B.** -1,00÷ - 32,10 m dal pc: *calcari fratturati e carsificati*.

**POZZO R11:** realizzato nel periodo compreso tra il 05.03.1973 ed il 09.03.1973, ad una quota di 43,20 metri slm (coordinate: lat: 0° 37' 36"; long: 37°30'02") ed una profondità complessiva di 200 metri.

La successione stratigrafica riscontrata si riporta di seguito: **A.** 0÷-4,50 m dal pc: *arenarie*; **B.** -4,50 ÷- 200 m dal pc ( msm): *argille*.

**POZZO R12:** realizzato nel periodo compreso tra il 15.03.1973 ed il 23.03.1973, ad una quota di 59,60 metri slm (coordinate: lat: 0° 37' 39"; long: 37°30'15") con una profondità di 72,4 m.

La successione stratigrafica riscontrata si riporta di seguito: **A.** 0 ÷-6,50 dal pc: *arenarie*; **B.** -6,50÷- 38,80 m dal pc: *argille*; **C.** -38,80÷-51,00 m dal pc: *trubi*; **D.** -51,00 ÷72,40 m dal pc: *calcari*.

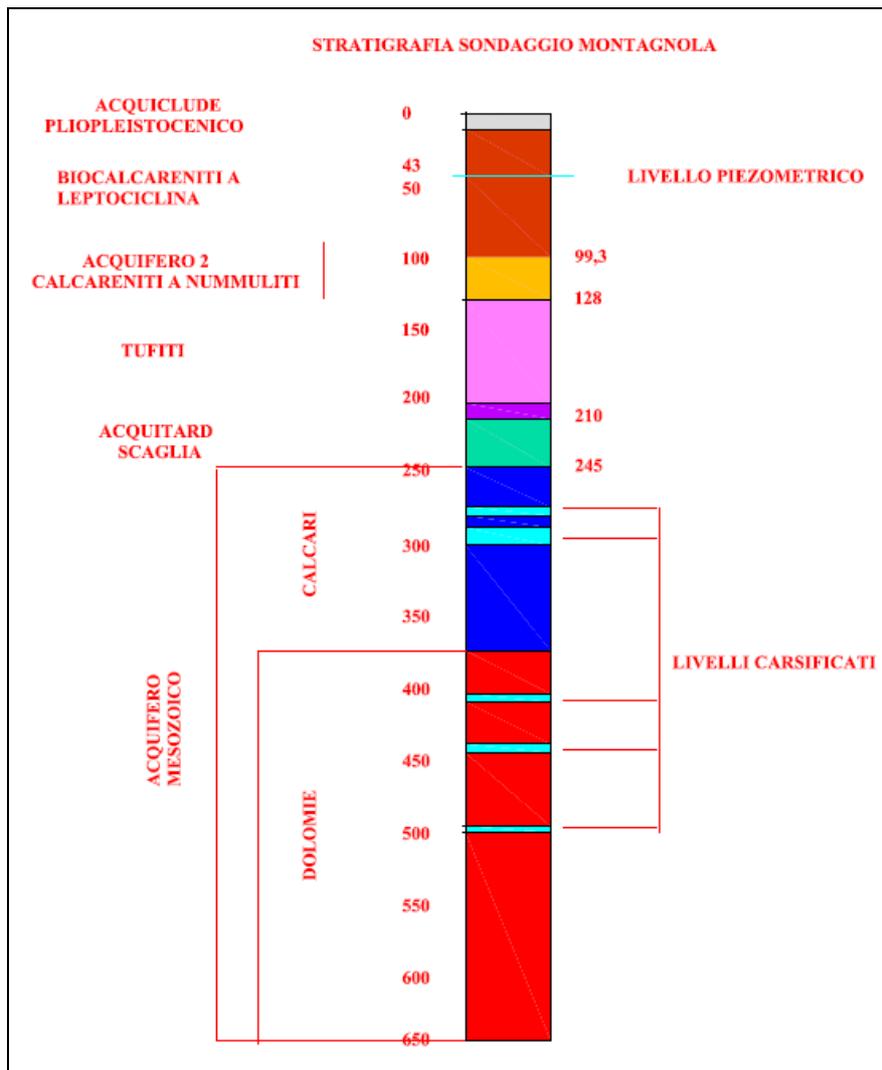


Fig. 21; stratigrafia pozzo Montagnola

**POZZO R22:** realizzato nel periodo compreso tra il 15.01.1973 ed il 13.02.1973, ad una quota di 50,00 metri slm (coordinate: lat: 0° 41' 18"; long: 37°31'26") con una profondità di 109 m.

La successione stratigrafica riscontrata si riporta di seguito: **A.** 0÷-13,00 m dal pc: *alluvioni fluviali*; **B.** -13,00÷- 37,50 m dal pc: *trubi*; **C.** -37,50÷-83,00 m dal pc: *arenarie con livelli argillosi*; **D.** -83,00÷-110,00 m dal pc: *brecce dolomitiche*.

**POZZO R24** realizzato nel periodo compreso tra il 15.11.1972 ed il 22.01.1973, ad una quota di 84,00 metri slm (coordinate: lat: 0° 41' 00"; long: 37°31'42") con una profondità di 236,90 m.

La successione stratigrafica riscontrata si riporta di seguito: **A.** 0÷ -21,80 m dal pc: *argille*; **B.** -21,80÷- 61,30 m dal pc: *trubi*; **C.** -61,30÷-171,90 m dal pc: *arenarie con livelli argillosi*; **D.** -171,90÷ -215,20 m dal pc: *scaglia*; **E.** -215,20÷- 230,50 m dal pc: *calcari*; **F.** -230,50÷ -236,90 m dal pc: *dolomie*.

**POZZO R26:** realizzato nel periodo compreso tra il 28.11.1972 ed il 19.12.1972, ad una quota di 69,00 metri slm (coordinate lat: 37° 29' 53"; long: 00°33'11"), con una profondità di 335,20 metri.

La successione stratigrafica riscontrata si riporta di seguito: **A.** 0÷ -8,00 m dal pc : *argille sabbiose giallastre*; **B.** -8,00 ÷- 325,2 m dal pc: *argille azzurrognole con passaggi leggermente marnosi*

**POZZO R26 bis:** realizzato nel periodo compreso tra il 05.09.1972 ed il 22.09.1972, ad una quota di 44,00 metri slm (coordinate: lat: 0° 40' 14"; long: 37°30'16") con una profondità di 371 metri.

La successione stratigrafica riscontrata si riporta di seguito: **A.** 0÷ -15,00 m dal pc: *calcarentite compatta molto vacuolare*; **B.** -15,00÷- 47,00 m dal pc: *argille azzurre con sabbia*; **C.** -47,00÷-62,00 m dal pc: *calcarenti e sabbie*; **D.** -62,00÷ -371,00 m dal pc: *argille azzurrognole*

## SEZIONE STRATIGRAFICA GENERALE

L'integrazione del rilievo geologico di superficie con i dati stratigrafici ha consentito di elaborare la sezione 1 (Fig. 22) che si sviluppa da NNO verso SSE ed evidenzia i rapporti stratigrafico tettonici esistenti tra le zone di alimentazione (R. Nadore) del bacino termale ed i tratti mediano e costieri del bacino termale.

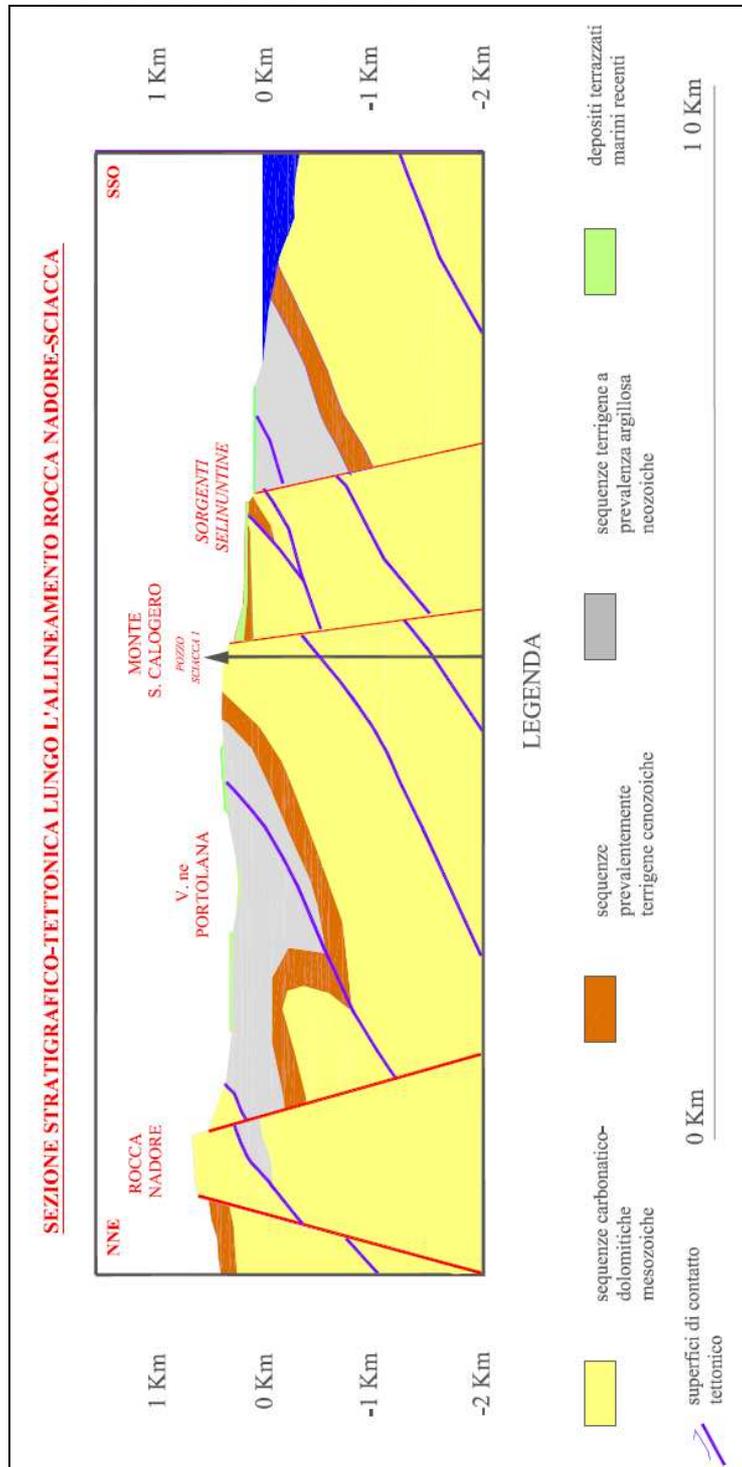


Fig. 22: sezione stratigrafico tettonica lungo l'allineamento Rocca Nadore- M. te S. Calogero

## CAP. 5 - RILIEVI GEOMECCANICI CONDOTTI NEL BACINO TERMALE DI SCIACCA

Nel presente capitolo vengono descritti i rilievi di natura geomeccanica condotti nell'areale in studio – in affioramenti significativi alla mesoscala- e le risultanze ottenute.

Le misurazioni geomeccaniche effettuate in 20 stazioni la cui ubicazione è riportata nella Fig. 23, hanno permesso di descrivere le caratteristiche fratturative degli ammassi investigati.

L'ubicazioni delle stazioni geomeccaniche sono state scelte con lo scopo di effettuare un rilievo del quadro fratturativo presente nell'areale in studio quanto più omogeneo possibile rilevando quegli affioramenti (cave, fronti di scavo, pareti naturali) nei quali misurare l'entità della fatturazione nelle 3 direzioni grazie alla presenza di pareti ortogonali.

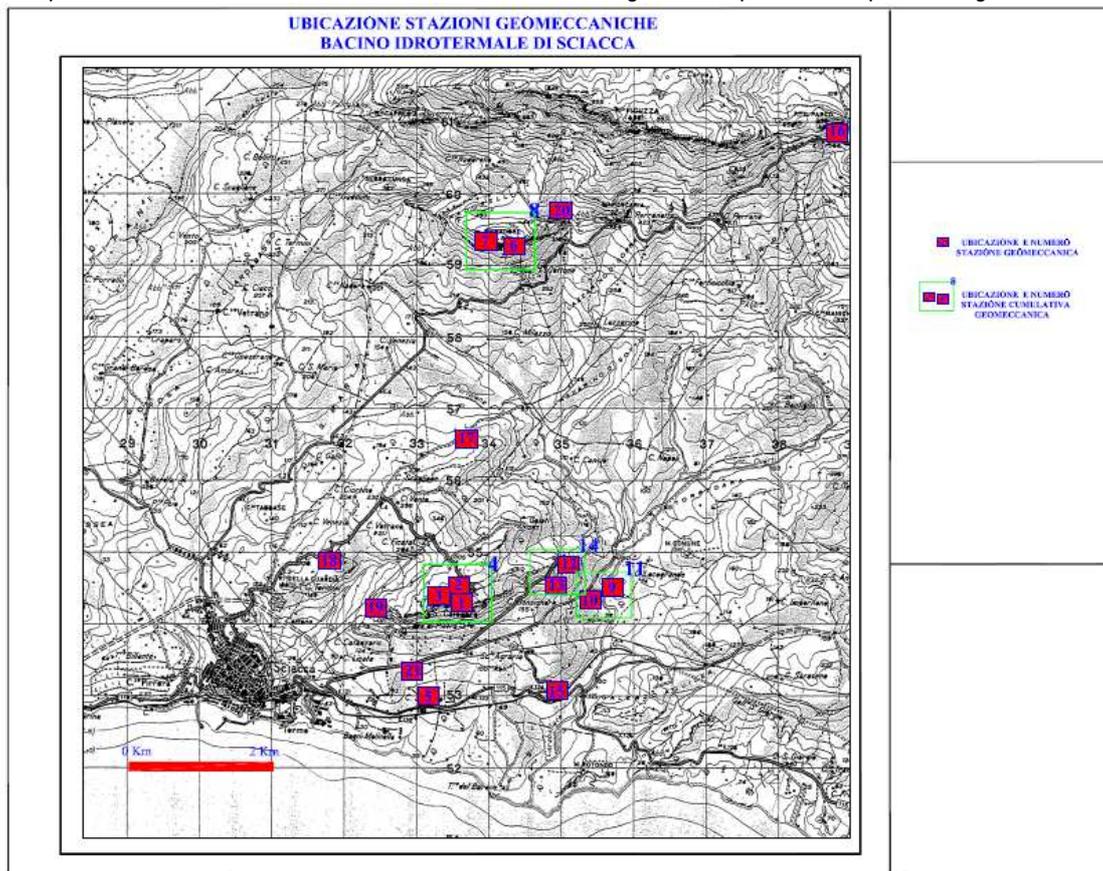


Fig. 23; ubicazione e numero delle stazioni di misure geomeccaniche

### MODALITA' D'ACQUISIZIONE DEI DATI (RACCOMANDAZIONI ISRM)

I dati sono stati acquisiti secondo le Raccomandazioni ISRM - International Society of Rock Mechanics - sulle Metodologie per la descrizione quantitativa delle discontinuità delle masse rocciose (1978-1982), che prevedono la parametrizzazione degli ammassi rocciosi, intesi come sistemi complessi di materiali lapidei.

Preliminarmente al rilievo vero e proprio sono state effettuate le seguenti operazioni: a) inquadramento territoriale e acquisizione materiale pregresso bibliografico; b) pianificazione dell'attività preliminare conoscitiva; c) definizione della tipologia quali-quantitativa dei rilievi da effettuare.

Vengono di seguito descritti sinteticamente i parametri fondamentali di un rilievo geomeccanico

**ORIENTAZIONE:** il primo elemento è dato dalla giacitura che consente di discernere per ciascun piano - sia di tipo primario che secondario - i dati di: *immersione*: ovvero l'orientazione della linea di massima pendenza (l'angolo che tale linea forma con il Nord magnetico); *inclinazione*: angolo che tale piano forma con il piano orizzontale; *direzione*: orientazione rispetto ai punti cardinali della linea d'intersezione del piano con un piano orizzontale che risulta sempre perpendicolare all'immersione.

I rilievi in base a tale parametro consentono di raggruppare le discontinuità presenti nell'ammasso, in base ai range degli angoli di direzione e di immersione, in set o famiglie rappresentative del quadro fessurativo esistente.

La Fig. 24 (Scesi, 2006) riporta un esempio di un ammasso contraddistinto da 4 famiglie di discontinuità, costituite dalla stratificazione S e da tre famiglie di piani di fratturazione (K1, K2 e K3).

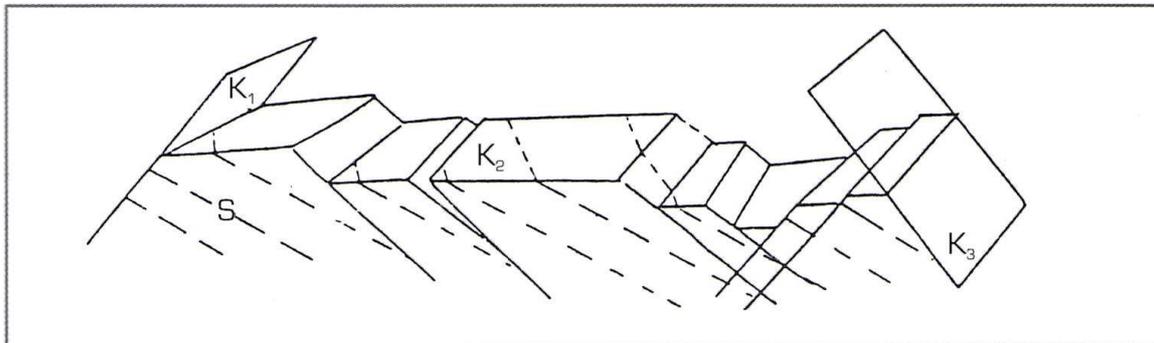


Fig. 24; esempio di set di discontinuità in un ammasso roccioso fratturato (da Scesi&Gattinoni, 2007)

L'insieme dei parametri giacitureali, misurati per ciascuna stazione di misura, sono stati poi trattati statisticamente al fine di determinare: A. le distribuzioni di probabilità delle famiglie di discontinuità presenti in ciascuna stazione; B. rappresentare graficamente tali discontinuità attraverso l'utilizzo di specifiche elaborazioni stereografiche (countour plot e rose diagram).

Tali elaborazioni hanno consentito di definire i seguenti ulteriori parametri: I. il dato medio dei vari set di discontinuità individuati; II. le curve di frequenza dei poli misurati dai quali si determina il dato medio dei vari set di discontinuità determinati; III. la distribuzione delle direzioni vettori risultanti delle varie famiglie di discontinuità, possibile direzione preferenziale di deflusso idrico (vedasi cap. n. 8).

**GRADO DI FRATTURAZIONE** altro fattore di estrema rilevanza che dipende dai parametri di seguito elencati: 1. *spaziatura*; ovvero la distanza media tra le discontinuità appartenenti alla stessa famiglia; 2. *intercetta*; rappresenta la distanza media delle discontinuità rispetto ad una base di misura. 3. *l'intensità di fratturazione o frequenza*; ovvero il numero di fratture per unità di volume ( $J_v$ ) o, nel caso di pareti singole, nelle quali è difficile stimare il dato nelle tre direzioni si stima il numero di discontinuità per metro di frequenza. 4. *VRU (Volumi Rocciosi Unitari)*; l'insieme degli elementi discreti di materiale roccia delimitato dalle varie discontinuità. 5. *persistenza*; rappresenta la lunghezza delle varie discontinuità; 6. *apertura*; lo spazio tra i labbri di ciascuna frattura investigata; 7. tipo di discontinuità (joint, faglie, vene, stiloliti); 8. tipo di terminazione (A= terminazione in un'altra frattura; I= terminazione in roccia; O= terminazione fuori affioramento); 9. rugosità a scala centimetrica (JRC); 10. tipologia, lunghezza d'onda ed ampiezza dei profili a scala decimetrica e metrica; 10. condizioni idrauliche delle discontinuità.

I rilievi sono stati eseguiti tramite utilizzo di scan-line in alcuni casi integrate o sostituite da misure di tipo random, ed i dati sono stati raccolti in una scheda-dati standardizzata.

Si è provveduto inoltre a prelevare dei campioni disturbati in alcune diaclasi riempite da materiali granulare ed anche in zone di faglia costituite da matrice per l'esecuzione in laboratorio di alcune analisi granulometriche.

Tali prove hanno permesso di discernere la classe granulometrica e, per correlazione, stimandone il parametro di conducibilità idraulica.

Per ogni RGM è stata redatta una scheda di elaborazione e di sintesi dei dati - corredata da tabelle e grafici riassuntivi - per la definizione delle caratteristiche generali dell'ammasso e del reticolo di fratturazione presente .

## RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELLE FAMIGLIE DI DISCONTINUITA'

La rappresentazione grafica delle discontinuità è stata condotta attraverso un software dedicato che ha permesso di evidenziare: A. le proiezioni delle ciclografiche dei piani misurati; B. proiezioni stereografiche dei poli delle discontinuità (countour plot, interpolate con curve di isofrequenza) per singola stazione e cumulative, nel caso di stazioni ricadenti nel medesimo dominio strutturale. C. diagrammi di frequenza dei vari parametri misurati

Inoltre le intercette dei piani, misurati con la linea di scansione, hanno permesso, integrandoli con i dati giacitureali, di ottenere lo sviluppo, tramite analisi univariata, delle distribuzioni delle spaziature apparenti e reali e di eseguire un'analisi statistica con sviluppo di istogrammi di frequenza delle spaziature apparenti ( $x_s$ ).

I dati ottenuti sono stati raccolti in schede riassuntive globali delle quali vengono riportate lelaborazioni statistiche della stazione 1 (vedasi la Tab. 2 e le Fig.: 25/a-b-c-d).

RILIEVO GEOMECCANICO STAZIONE 1 M. te S. CALOGERO																				
Num. progr.	Progr. cm	Dir. di immersione	Inclinazione	Tipo (1)	Set	spaz. rel.	Persistenza (2)			JRC		tipol. profilo (3)	L d'onda (3)	amp. rugosità cm	apertura mm		Riempimento (4)			
							Lunghezza cm	Termin. 1	Termin. 2	da	a				da	a	tipologia	Prove IM	P. Penetr	Acqua (5)
1	0,2	276	76	FD?	R	0,2	>500	O	O	12	14	O	Dm	3	100,0	150,0	Cm			W2
2	0,59	176	88	G	3	0,39	40	A	A	4	8	O	Dm	0,5	40,0	50,0	X			W2
3	1,02	218	82	G	R	0,43	45	A	A	4	8	O	Dm	1	45,0	53,0	X			W2
4	1,1	344	18	G	R	0,08	19	A	A	4	8	O	Dm	0,7	1,0	2,0	X			W2
5	1,22	236	26	G	R	0,12	15	A	A	4	8	O	Dm	0,6	1,5	1,8	X			W2
6	1,24	334	19	S	S	0,02	>500	O	O	8	12	O	Dm	1,5	2,0	2,5	X			W2
7	1,26	94	82	G	R	0,02	35	A	I	4	8	O	Dm	0,5	5,0	7,5	X			W2
8	1,75	248	86	G	R	0,49	42	I	A	4	8	O	Dm	0,4	3,0	3,5	X			W2
9	2,2	274	72	G	R	0,45	36	A	A	6	10	O	Dm	0,8	1,0	1,4	X			W2
10	2,58	7	52	J/F	R	0,38	75	A	I	8	10	O	Dm	1,5	4,5	5,0	C			W2
11	2,84	64	88	G	R	0,26	21	A	A	4	8	O	Dm	0,5	2,0	2,5	X			W2
12	2,94	344	86	G	R	0,1	15	A	A	4	8	O	Dm	0,2	1,0	2,0	X			W2
13	2,98	198	87	G	R	0,04	24	A	A	4	8	O	Dm	0,3	5,0	6,0	X			W2
14	3,61	154	69	G	2	0,63	26	A	A	8	10	O	Dm	1,2	5,0	7,0	X			W2
15	4,12	22	16	S	S	0,51	44	A	I	10	12	O	Dm	0,5	2,0	3,0	I			W2
16	4,32	176	84	G	R	0,2	46	A	A	4	8	O	Dm	0,25	0,0	1,0	X			W2
17	4,42	78	72	G	1	0,1	33	A	A	4	8	O	Dm	0,5	0,0	1,0	I			W2
18	4,59	79	74	G	1	0,17	22	A	A	4	8	O	Dm	1	2,0	4,0	X			W2
19	4,64	168	22	G	R	0,05	15	A	A	6	10	O	Dm	0,25	0,0	1,0	X			W2
20	5,29	359	78	F?	R	0,65	100	A	O	10	12	O	Dm	2	5,0	7,0	X			W2
21	5,32	266	74	G	R	0,03	34	A	A	6	10	O	Dm	2,5	5,0	6,0	C			W2
22	5,7	251	82	G	R	0,38	48	A	A	4	8	O	Dm	1,5	3,0	4,0	X			W2
23	5,74	232	78	G	R	0,04	24	A	O	4	8	O	Dm	2	5,0	6,0	X			W2
24	5,94	216	88	G	R	0,2	18	A	O	6	12	O	Dm	0,5	1,0	2,0	X			W2
25	6,26	184	78	G	R	0,32	59	A	A	4	8	O	Dm	1	2,0	3,0	C			W2
26	6,5	3	18	S	S	0,24	78	A	O	6	8	O	Dm	0,5	1,0	2,0	I			W2
27	6,88	276	78	G	R	0,38	22	A	A	4	8	O	Dm	0,5	1,0	2,0	X			W2
28	7,32	12	14	S	S	0,44	26	A	A	4	8	O	Dm	0,25	1,0	2,0	I			W2
29	7,82	304	74	G	R	0,5	62	A	A	4	8	O	Dm	0,4	1,0	2,0	X			W2
30	8,02	270	84	G	R	0,2	17	A	I	4	8	O	Dm	0,3	1,0	2,0	X			W2
31	8,29	273	87	G	R	0,27	22	A	A	4	8	O	Dm	0,2	0,0	1,0	X			W2
32	8,48	348	68	F	3	0,19	74	A	O	6	12	O	Dm	1	2,0	4,0	C			W2
33	8,64	275	88	G	R	0,16	21	A	A	4	8	O	Dm	0,7	1,0	3,0	X			W2
34	8,99	276	90	G	R	0,35	44	A	A	4	8	O	Dm	2	5,0	7,0	C			W2
35	9,1	348	68	G	3	0,11	35	A	O	4	8	O	Dm	0	0,0	0,0	X			W2
36	9,26	18	34	S	S	0,16	13	A	A	4	8	O	Dm	0,2	0,0	0,0	X			W2
37	9,28	218	32	S	S	0,02	15	A	A	6	12	O	Dm	0,5	0,0	1,0	X			W2
38	9,51	288	68	G	R	0,23	23	A	A	4	8	O	Dm	0,3	1,0	2,0	X			W2
39	9,53	124	64	G	R	0,02	22	A	A	4	8	O	Dm	1	5,0	6,0	X			W2
40	10,11	24	18	S	S	0,58	36	A	I	4	8	O	Dm	0,2	0,0	0,0	X			W2
41	10,49	88	75	J	1	0,38	24	A	A	4	8	O	Dm	0,2	0,0	0,0	X			W2

Tab. 2; stazione RGM 1: riepilogo parametri misurati

### GRAFICI DI STATISTICA STAZIONE 1 S. CALOGERO

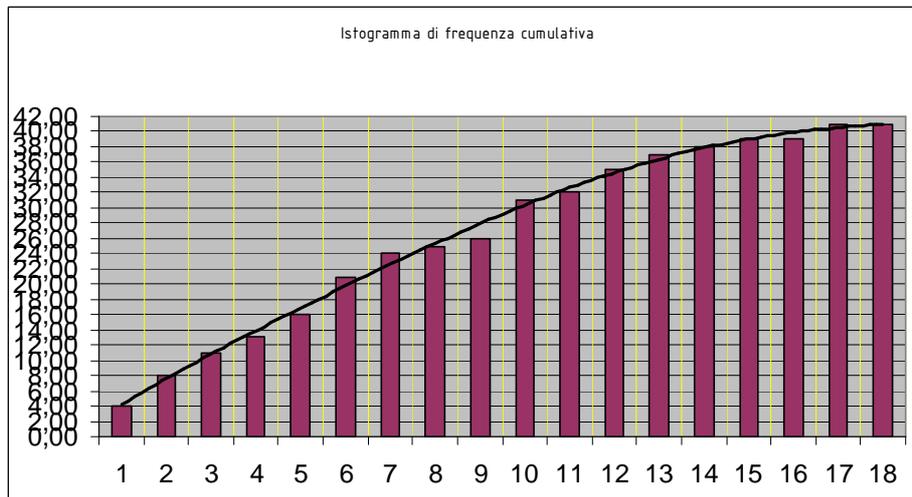
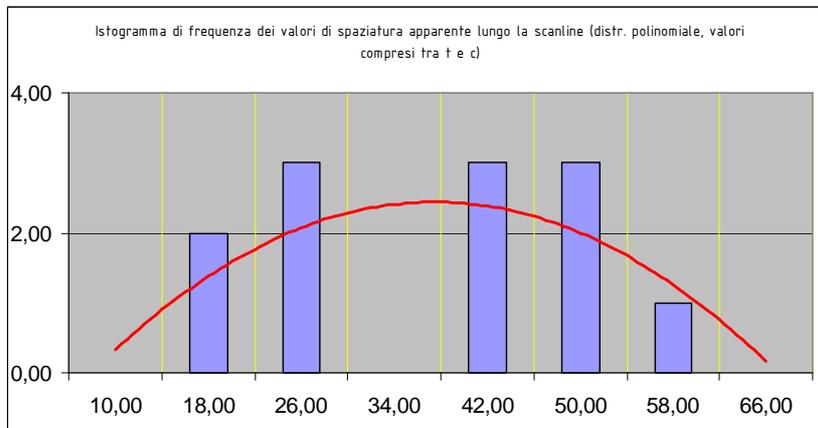
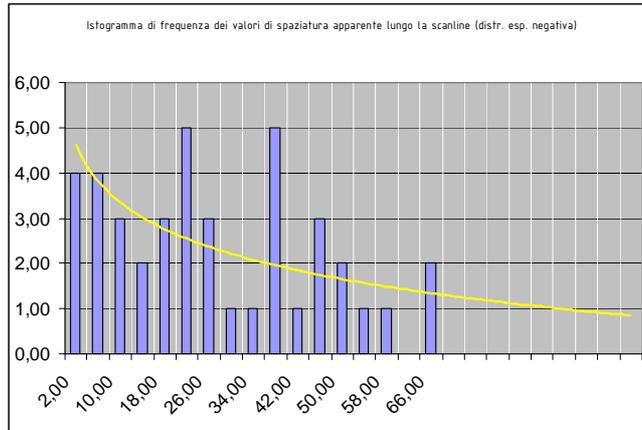


Fig. 25 a-c; misure statistiche stazione RGM 1

### DESCRIZIONE DI SINTESI PER OGNI SINGOLA STAZIONE DI MISURA

Di seguito si descrivono sinteticamente, per ciascuna stazione di misura geomeccanica eseguita, le caratteristiche peculiari dell'ammasso.

#### STAZIONE 1 - FRONTE S. CALOGERO

La stazione 1 è stata ubicata in corrispondenza del piazzale d'entrata del complesso termale presente sulla sommità di M. te S. Calogero.

Progetto		DOTTORATO DI RICERCA															
Località		SORBITA - VERSANTE MERIDIONALE S. CALOGERO															
Stazione		1															
Giacitura Scan Line		158°/02'															
RILEVATORE		DIPASQUALE MARIO															
Data rilievo		16/06/2011															
Giacitura piano affioramento		ca. 252°/73'															
Resistenza della roccia (SHR, kg/cm <sup>2</sup> )		min	max	media	moda	picco interpolato	dev. std.	γ presunto (g/cm <sup>3</sup> )									
Marna calcarea		#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D									
Calcaremiti		#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D									
JCS marna calcarea		#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D									
Spaziatura totale apparente lungo la Scan Line		num. di dati	min (cm)	max (cm)	media (cm)	moda (cm)	dev. std.										
		4,1	2,00	65,00	25,59	20,00	18,34										
giacitura piano modale dip/dip (°)		Frequenza reale Δs		Spaziatura reale Xf (cm)			apertura (mm)		JRC	profilo	lunghezza d'onda	ampiezza rugosità					
Set 1		275/80 +/- 180°	12,50	9,47	14,771	4,966	16,56994	8,00	4,139	14,945	1	7,10	4,00	Ondulato	Decimetrica	1,07	0,2
Set 2		175/88 +/- 180°	0,40	54,73	217,98	116,13	89,97539	250,00	62,56	11	1	7,00	4,00	Ondulato	Decimetrica	0,79	0,5
Set 3		x/x	2,78	0,00	0,00	#DIV/0!	#N/D	36,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#N/D	#DIV/0!	#N/D	#N/D	#N/D	#DIV/0!	#N/D
Set 4		x/x	6,67	0,00	0,00	#DIV/0!	#N/D	15,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#N/D	#DIV/0!	#N/D	#N/D	#N/D	#DIV/0!	#N/D
Set 5		x/x	0,50	0,00	0,00	#DIV/0!	#N/D	200,00	#DIV/0!	#DIV/0!	#N/D	#DIV/0!	#N/D	#N/D	#N/D	#DIV/0!	#N/D
Piani di strato		1°/18'	1,67	30,00	170,00	40,00	60	/	/	1,178571	0	7,86	8,00	Ondulato	Decimetrica	0,5214286	0,5
Random		apertura (mm)		JRC		profilo		lunghezza d'onda		ampiezza rugosità							
		media	moda	media	moda	media	moda	media	moda	media	moda						
		5,251894737	2	6,76	8,00	ondulato	Decimetrica	0,7710526			1						
Caratteristiche generali		Note															
Frea. apparente lungo scan line λs		3,99		giunti/m													
Spaz. media del campione		0,26		metri													
ROD (Priest & Hudson, 1976)		94%															
ROD (Palstrom, 1982)		27%															
Indice di terminazione Ti (ISRM, 1978)		7,59															
Indice volumetrico delle disc. Jv		26,51		giunti/mc													
Indice dei blocchi Ib		26,40		cm													
IL RILEVO È STATO EFFETTUATO NEL PIAZZALE ANTISTANTE LE TERME DI SCIACCA - ANTO DI DEDALO NEI TERMINI MESOZOICI - CALCARI DEL LIAS																	

Fig. 25 d; scheda di riepilogo complessivo dei rilievi condotti nella stazione n. 1

L'affioramento studiato mostra (vedasi Fig. 31) la presenza di tre famiglie con il set 1 che è contraddistinto da una minore dispersione dei poli; i valori di JRC sono compresi tra 4 e 12 (con una media tra 6 e 8); la maggior parte delle fratture risulta priva di riempimento.

I grafici riportati in Fig. 31 (Countour plot e Rose diagram) evidenziano il prevalere di fratture con orientazione NNO-SSE; sono presenti anche un numero cospicuo di fratture con orientazione ONO-ESE (con un maggiore grado di dispersione rispetto al set 1); ed infine si riconosce un numero inferiore di fratture con le orientazioni seguenti: NE-SO e NO-SE.

### STAZIONE 2 RETRO S. CALOGERO

La stazione 2 è stata scelta in corrispondenza del taglio stradale presente presso il vertice NO del complesso termale.

Sono state riscontrate due famiglie di discontinuità (vedasi Fig. n. 31), con una netta prevalenza delle fratture con orientazione E-O, caratterizzate da un'elevata persistenza e da valori di JRC compresi tra 8 e 12.

Un progressivo aumento del grado di fratturazione (in: distanza, persistenza, apertura delle fratture, presenza di riempimenti di calcite) si è notata, spostandosi dalla parte iniziale della scan line verso la parte terminale; causa la progressiva influenza (sull'ammasso roccioso) delle sistema di faglie che delimita il fianco meridionale di M. te S. Calogero.

Nei tratti più fratturati si constata la presenza di riempimenti di calcite indicative di pregressa circolazione idrica.

### STAZIONE 3 GROTTA DEL SANTO

Una terza stazione di misurazioni strutturali eseguite all'interno della Grotta del Santo, ha consentito di verificare (vedasi Fig. 31): A. la prevalenza di fratture con direzione NE-SO ed, in misura minore, la presenza di fratture con direzione E-O e NO-SE. B. L'emissione di vapore (vedasi Cap. 12) avviene lungo il tratto di fault core, a tessitura brecciata, di una faglia con direzione NNO-SSE nel quale si constata lo sviluppo del fenomeno carsico; C. il range fratturativo presente mostra un'evidente fenomeno di selfsealing di molte delle fratture esistenti (da parte dei precipitati delle specie chimiche trasportati dal fluido geotermale); D. le fratture meno interessate da tale processo sembrano essere i set che si allineano lungo le direzioni NE-SO e NNE-SSO per possibile più recente formazione.

### STAZIONE 4 CUMULATIVA ZONA MANIFESTAZIONI VAPOROSE - SOMMITA' MONTE S. CALOGERO

La quarta stazione raggruppa le misure delle tre stazioni precedenti (107 misure).

La Fig. 26 evidenzia, in base alla distribuzione dei set delle discontinuità complessive, che si tratta di un unico dominio strutturale caratterizzato dalle seguenti famiglie di discontinuità: a. stratificazione (in verde; best fit = 12°/18°); b. set 1 (in blu; best fit = 273°/82°); c. set 2 (best fit = 177°/87°); d. set 3 (in viola; best fit = 301°/75°); e. set 4 (in rosso = 16°/32°)

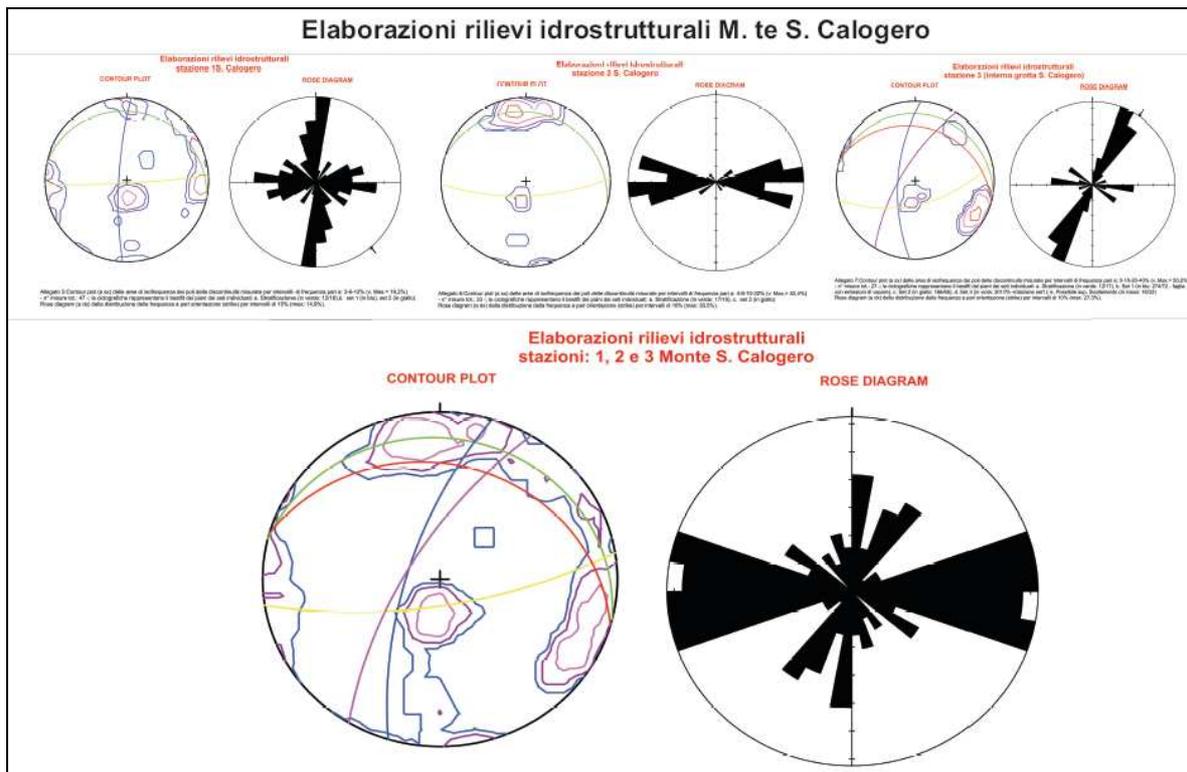


Fig. 26; proiezioni stereografiche desunte dai rilievi geomeccanici condotti presso la sommità di M. te S. Calogero

#### STAZIONE 5 CAVA NUMMULITI

La stazione 5 è stata ubicata effettuata nei pressi di una cava, presso C. da Mendolito ove affiorano le calcareniti a nummuliti oligoceniche contraddistinte (vedasi Fig. 31) da: A. spessore degli strati compresi tra 15÷35 cm; B. la presenza di un pattern fratturativo poco sviluppato, con basso grado di JRC e una apertura minima delle fratture; C. si constata un basso grado di interconnessione delle fratture presenti nell'ammasso, dato confermato dal limitato numero di fratture con terminazione del tipo AA (vedasi Cap. 9);

Tali specifiche condizioni dell'affioramento sono da legare sostanzialmente alla lontananza, dell'ammasso in studio, da lineamenti tettonici principali e pertanto può considerarsi rappresentativo dell'hostrock poco deformato.

#### STAZIONE 6 ROCCA NADORE, TRATTO CENTRALE PARETE MERIDIONALE

La stazione n. 6 è stata localizzata presso gli affioramenti rocciosi mesozoici, presenti presso il tratto centrale del versante meridionale di Rocca Nadore (zona di preferenziale alimentazione del bacino termale in studio).

I grafici delle proiezioni stereografiche riportate nella Fig. 31 mostrano le caratteristiche fratturative di tale affioramento (vedasi immagine di sinistra di Fig. 27), dal quale si può accertare la presenza di un network fratturativo dovuto principalmente all'intersezione di 3 famiglie di discontinuità caratterizzate dai best fit riportati nella Tab. n. 3 rappresentativi della parte di ammasso roccioso poco deformato.

I rilievi hanno permesso di verificare la presenza di fratture molto persistenti (sovente > 10 m) con spaziature comprese tra un minimo di 0,5 m e un massimo di 2,50 metri.

I set n. 1 e 3 tendono ad interconnettersi e a formare, nelle zone di maggiore fratturazione, veri e propri condotti carsici, di forma fusiforme, del tipo a dreni interdipendenti (vedasi Cap. 12 e immagine di destra di Fig. 27)

I valori di JRC sono abbastanza variabili compresi in un intervallo tra 4 e 16.



Fig. n. 27; dettaglio del quadro fratturativo presente a Rocca Nadore

#### STAZIONE 7 ROCCA NADORE, TRATTO CENTRO OCCIDENTALE, PARETE MERIDIONALE

La stazione n. 7 ha interessato il tratto più ad Ovest del versante meridionale di Rocca Nadore (dolomie triassiche); areale nel quale, rispetto alla precedente stazione, si constata (per la presenza di un'importante struttura tettonica) un graduale e progressivo modificarsi delle caratteristiche fratturative dell'ammasso (vedasi Fig. 31).

Si constata complessivamente una rotazione dei set delle famiglie di discontinuità rispetto alla stazione precedente ed anche una riduzione nel network fratturativo rispetto a: persistenza; grado di JRC; spaziatura e apertura complessiva delle fratture e con un progressivo ridursi del fenomeno carsico (vedasi Cap. 8).

#### STAZIONE 8 CUMULATIVA, AMMASSO ROCCIOSO ROCCA NADORE

I dati rilevati nella quarta stazione che raggruppano le misure delle due stazioni precedenti (38 misure) consentono di avere una visione d'insieme del complesso fratturativo presente nella zona (vedasi nella Fig. n. 31 la correlazione diagrammi della stazione n. 6 e 7) dal quale si nota la prevalenza in generale delle fratture che si orientano in direzione ENE-OSO e NE-SO.

#### STAZIONE 9 PARETE N-S AMMASSO ROCCIOSO POLLE DEL CARABOLLACE

La stazione 9 è stata stabilita in prossimità dell'alveo del T. te Carabollace in corrispondenza dell'affioramento delle sequenze mesozoiche dalle quali sgorgano alcune polle di acque termali.

Lungo la linea di scansione sono stati riscontrati 3 set di discontinuità le cui direzioni e frequenze relative sono riportate nei diagrammi della Fig. 31; le misure sono state poi integrate da una serie di misure random ritenute significative.

Lungo la scan line (di estensione pari a 24,70 metri) di un reticolo fratture abbastanza persistenti si è rilevato un grado di JRC medio (compreso tra 8 e 16) con terminazioni prevalentemente di tipo AA o AO e aperture abbastanza variabili (con dei massimi in corrispondenza di condotti carsici).

#### STAZIONE 10 PARETE ENE-OSO AMMASSO ROCCIOSO POLLE DEL CARABOLLACE

La stazione n. 10 è stata fissata eseguita qualche decina di metri più a NO della precedente (vedasi Fig. 31) in corrispondenza della parete che delimita l'Horst calcareo precedentemente descritto verso Sud.

Le immagini di Fig. 28 mostrano, rispettivamente, le fasi di approntamento della linea di scansione con i condotti carsici che si sviluppano all'interconnettersi del set 2 di best fit pari a 97/62 con la stratificazione di best fit pari a 81/12.

Si constata in taluni set la presenza di materiale di riempimento coesivo per la vicinanza con il piano campagna.



Fig. 28; approntamento scan-line presso la stazione n. 10 e dettaglio del carsimo presente

#### STAZIONE 11 CUMULATIVA - POLLE CARABOLLACE

I dati della stazione 11 raggruppano le misure delle due stazioni precedenti (43 misure) consentendo di ottenere una rappresentazione cumulativa del grado fratturativo presente in tale horst (vedasi Fig. 31) .

Dalle proiezioni stereografiche si constata la prevalenza dei set con orientazione NE-SO; una frequenza minore si riscontra per i set con direzione NO-SE e ENE-OSO determinando un certo grado di interconnessione dell'ammasso.

#### STAZIONE 12 PARETE NNE-SSO SOPRA FONTANA CALDA

La stazione n. 12 è stata eseguita lungo la parete di faglia che delimita con direzione NNE-SSO (verso SE) il rilievo di M. te S. Calogero le cui risultanze vengono riportate nelle proiezioni stereografiche della Fig. 31.

L'ammasso roccioso è costituito dai calcari del Lias caratterizzati dalla presenza di discontinuità molto persistenti (con profili sostanzialmente rettilinei) e basso grado di JRC (ad esclusione di quei tratti, peraltro molto limitati in tale settore, nei quali si riscontra sviluppo di carsismo).

Per le specifiche caratteristiche, assieme al RGM 1 e 6, la stazione n. 12 fornisce le informazioni più attendibili delle caratteristiche delle zone poco deformate dell'hostrock mesozoico.

#### STAZIONE 13 - PARETE ENE-OSO AMMASSO ROCCIOSO A MONTE DI FONTANA CALDA

La stazione n. 13 (vedasi Fig. 23) è stata ubicata eseguito lungo la parete che con direzione ENE-OSO delimita, verso Sud, l'affioramento descritto nella stazione precedente dei termini mesozoici affioranti a Nord della Sorgente Fontana Calda.

La stazione distava è stata eseguita ad una distanza, in linea d'aria, alcune centinaia di metri dalla precedente in una parete quasi circa ortogonale.

Le proiezioni stereografiche riportate in Fig. 31 evidenziano le famiglie di discontinuità presenti e la loro distribuzione e frequenza nello spazio.

#### STAZIONE 14 CUMULATIVA - AMMASSO ROCCIOSO A MONTE DI FONTANA CALDA

I dati della stazione raggruppano quelli delle due precedenti misure (41) consentono di caratterizzare nel suo insieme l'ammasso roccioso (costituito dai calcari del mesozoico) presente poche decine di metri a Nord della zona di scaturigine della sorgente Fontana Calda.

Le risultanze complessive di tale rilievo sono riportate nei grafici di Fig. 31 dai quali si evince che: le famiglie di discontinuità presenti, la loro distribuzione e frequenza nello spazio evidenziano un'orientazione preferenziale nella direzione Est-Ovest; parallela alle faglie principali che progressivamente ribassano la struttura mesozoica di M. te S. Calogero verso la zona costiera e dalle quali ricevono alimentazione.

#### STAZIONE 15 - NUMMULITI VIADOTTO

La stazione geomeccanica n. 15 è stata condotta in corrispondenza di una trincea della linea ferrata nel tratto di tracciato che si sviluppa al di sotto del viadotto della SS115 presso la valle del Carabollace.

Il rilievo ha permesso di evidenziare una marcata anisotropia del grado fratturativo delle pareti investigate, poiché la parete con direzione NNE-SSO ha evidenziato l'assenza quasi assoluta di discontinuità secondarie; condizione opposta si è constatata invece nella parete con direzione ENE-OSO nella quale si può constatare, viceversa, un certo grado di fratturazione che suddivide l'ammasso in VRU di dimensioni ridotte e con un certo grado di interconnessione.

Tale spiccata anisotropia del mezzo è verificabile in modo evidente nelle proiezioni stereografiche riportate in Fig. 31 evidenziando una netta prevalenza delle discontinuità con orientazione NNE-SSO mentre risulta quasi del tutto assente il set n. 2.

#### STAZIONE 16 - SORGENTE PIOPPO

L'RGM 16 è stato effettuato con tecnica mista eseguendo due linee di scansioni tra loro perpendicolari (vedi Cap. 9) integrate da tutta una serie di misure random nella parte di ammasso non direttamente raggiungibile.

La Fig. 29 mostra rispettivamente (immagine di destra) il quadro fessurativo dell'ammasso dal quale scaturisce la sorgente Pioppo (vedasi anche proiezioni stereografiche di Fig. 31) con evidenziata: la stratificazione (in giallo); il quadro fessurativo d'insieme dell'ammasso (in rosso); le discontinuità più persistenti (in verde).

Il set 1 è si riscontra frequentemente rappresentato nella parte sommitale dell'affioramento, con spazature variabili, in un range compreso tra 0,50 cm ed un metro, e risulta in modo frequente tagliare le fratture appartenenti al set 2.

Si constata che la zona dell'ammasso roccioso più prossimo alla scaturigine sorgentizia presenta un maggiore grado di interconnessione rispetto alle zone laterali, determinando, in tale settore, un incremento della permeabilità intrinseca (testimoniato dal numero maggiore di fratture caratterizzate dalla presenza diffusa di stillicidio).

Le forme carsiche presenti (fratture allargate, vuoti) non si dispongono in modo casuale ma sono presenti nelle zone di interconnessione dei principali set distinti.

L'immagine di sx della Fig. 29 mostra l'interconnettersi di 3 principali set che originano blocchi di volume roccioso unitario (VRU) di piccole dimensioni che in generale possono essere approssimate ad una sorta di cuneo che convoglia le acque verso la zona di scaturigine.

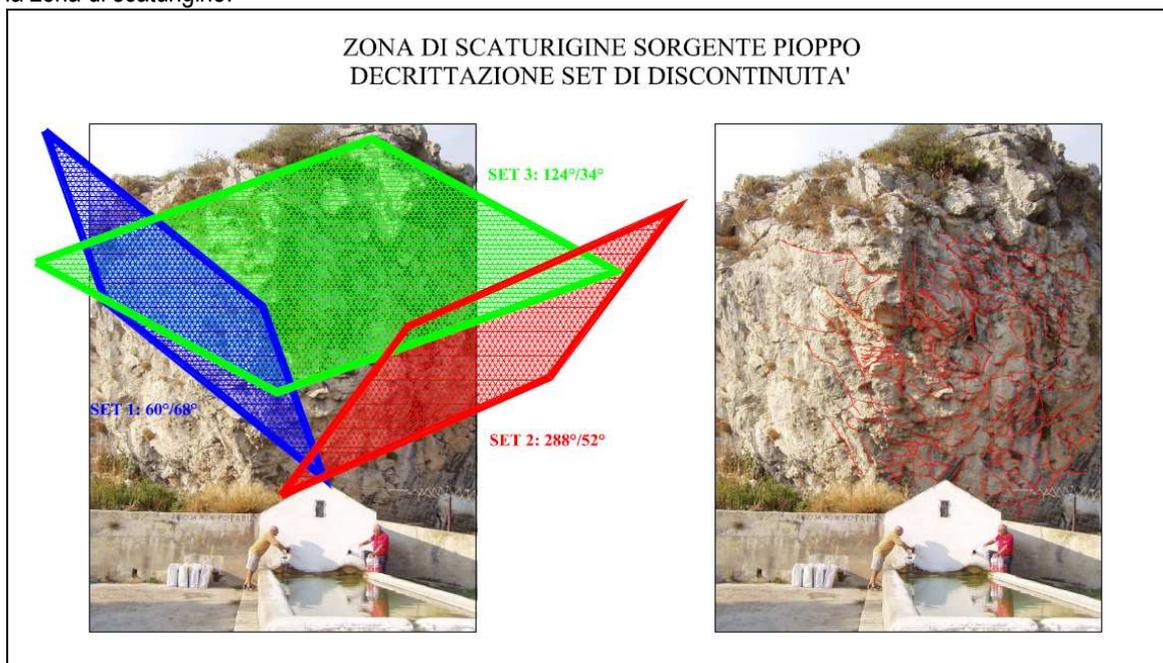


Fig. 29; rilievi condotti presso la zona di scaturigine della S. te Pioppo

#### STAZIONE 17 - ABBEVERATOIO C. DA MONTAGNA

La stazione 17 è stata localizzata eseguita in prossimità della zona di scaturigine della Sorgente Montagna (riportata in Fig. 39) che si origina per l'interconnessione di una serie di faglie che delimitano la monoclinale omonima, (immergente verso Est), nel tratto NO dell'idrostruttura di M. te S. Calogero.

Le caratteristiche dei best fit delle varie famiglie di discontinuità individuate si riportano nella Fig. 31 e nella Tab. 3.

#### STAZIONE 18 - ROCCA DELLA GUARDIA

Le misure sono state eseguite con tecnica random lungo alcuni affioramenti di calcareniti oligoceniche affioranti nei tagli della strada che da S. Calogero porta alla zona cimiteriale di Sciacca.

I risultati delle elaborazioni dei dati sono riportati in Fig. 31.

### STAZIONE 19 - C. DA CARROZZA

La stazione n. 19 è stata stabilita eseguita nel settore occidentale di Monte S. Calogero (vedasi immagini di Fig. 30) - zona di affioramento mesozoico che risulta limitato, per faglia, verso Ovest, dalla valle del Torrente Carrozza -vedasi immagine di sinistra).



Fig. 30; evidenze tettoniche e fratturative presso C. da Carrozza

Gli affioramenti mostrano un certo grado di fratturazione che tende a divenire più intensa dal crinale verso la vallata per la presenza di una serie di faglie.

I fenomeni epicarsici con tutta una serie di morfologie tipiche (grotte, vaschette di corrosione, docce ecc.) sono diffusi, specie nei tratti dove si intersecano le maggiori fratture appartenenti ai set 1 e 2.

Le caratteristiche fratturative dell'ammasso sono riportate nella Fig. 31 mentre la Tab. 3 ne riporta le caratteristiche salienti.

### STAZIONE 20 - CAVETTA PORCARIA

La stazione n. 20 è stata fissata in corrispondenza di una piccola cava dismessa lungo la strada secondaria che porta a Case Nadorello, ad una quota di circa 419 m slm, in prossimità di una faglia che mette in contatto laterale la dolomia triassica con i calcari del Giura nel tratto più orientale della parete rivolta verso Nord.

In sintesi la fratturazione dell'ammasso è meno marcata nel tratto occidentale della parete e diviene progressivamente più intensa verso la discontinuità tettonica presente nel tratto orientale ove aumenta l'indice di fratturazione con conseguente diminuzione dei valori di persistenza e spaziatura.

### **QUADRO FRATTURATIVO COMPLESSIVO DEL BACINO TERMALE DI SCIACCA**

La Fig. 31 riporta, per ciascuna delle stazioni studiate, le proiezioni stereografiche con evidenziate: **a)** le famiglie di discontinuità principali; **b)** le frequenze dei poli, **c)** la distribuzione e la frequenza nello spazio delle fratture presenti in ciascun ammasso litoide (vedi Tab. 3).

La Fig. 32 riporta le proiezioni stereografiche complessive del quadro fratturativo del bacino termale di Sciacca emerso dalle 20 stazioni di misure geomeccaniche.

Si tratta di un numero complessivo di 372 dati dai quali è stato possibile discernere i seguenti 4 set di discontinuità: **A.** stratificazione (ciclografica in verde): best fit 356/17 (best fit minori per le seguenti direzioni medie: 118/40 e 221/16); **B.** set 1 (ciclografica in giallo): best fit 175/78; **C.** set 2 (ciclografica in fucsia): best fit 316/81; **D.** set 3 (ciclografica in azzurro): best fit 220/73.

La direzione media globale di fratturazione per l'intero bacino è risultata pari a 158/87 (ciclografica in blu).

Si riscontra una direzione prevalente di fratturazione NE-SO (vedasi anche rose diagram); con le ulteriori seguenti direzioni prevalenti: E-O, NNE-SSO e NO-SE.

# CARTA RILIEVI GEOMECCANICI BACINO TERMAL E DI SCIACCA

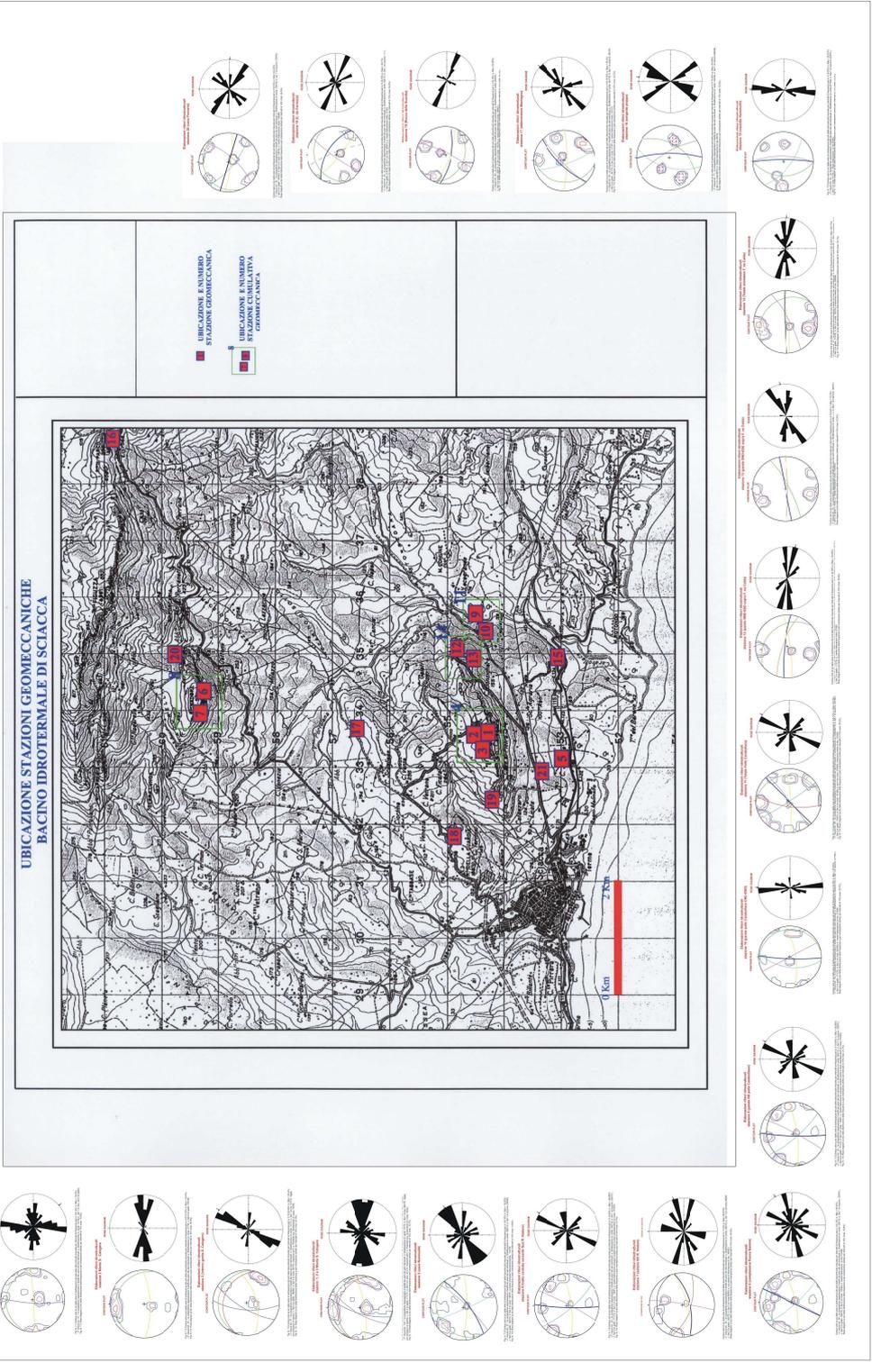


Fig. 31; carta d'inseme delle stazioni geomeccaniche eseguite presso il bacino idrotermale di Sciacca

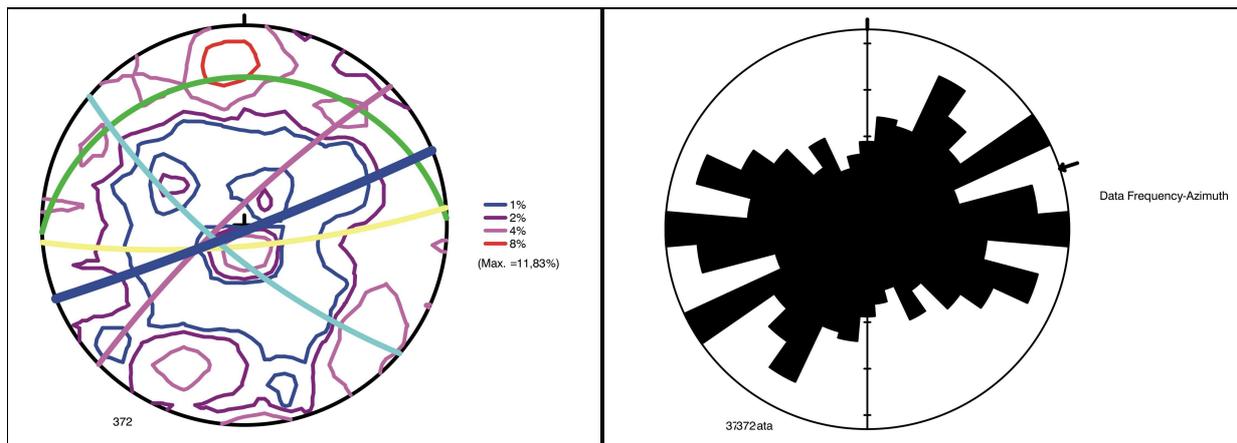


Fig. 32; proiezioni stereografiche complessive dei rilievi geomeccanici condotti nel bacino termale di Sciacca

### INTERAZIONI TRA LITOLOGIA, CARATTERI STRUTTURALI, MORFOLOGICI ED IDROGEOLOGICI

L'insieme dei rilievi geomeccanici, condotti nell'areale in studio in affioramenti significativi alla mesoscala dettagliatamente descritti nei paragrafi precedenti, ha evidenziato una intercorrelazione tra aspetti litologici, tettonici, geomorfologici e idrogeologici.

La Fig. 33 mostra le intercorrelazioni negli affioramenti di C. da Carrozza, zona occidentale di M. te S. Calogero.

La prima figura di sinistra evidenzia la presenza in tale tratto del bacino di sequenze di natura prevalentemente carbonatica (ascrivibili al Mesozoico) nei maggiori rilievi e nella zona valliva di terreni di natura prevalentemente arenitica e marnosa (di età compresa tra il Miocene ed il Pliocene -vedasi Cap. 2).

La figura in alto a destra mostra l'influenza delle strutture tettoniche, le maggiori delle quali hanno determinato un ribassarsi delle sequenze terziarie rispetto ai termini mesozoici lungo orientamenti con le direzioni preferenziali NE-SO, E-O e NO-SE. L'assetto tettonico generale della successione mesozoica mostra un aspetto che può essere legato ad un preliminare scagliamento, da attribuire a tettonica di tipo compressivo successivamente riattivata, per effetti di una tettonica di inversione positiva, da faglie quaternarie prevalentemente distensive e/o trascorrenti che lo hanno diversamente dislocato.

L'insieme di tali discontinuità determina, negli affioramenti mesozoici di natura lapidea delle zone a diversa entità di fratturazione che risulta massima in corrispondenza delle zone di faglie.

Il paesaggio è vario per le diverse morfosculture che caratterizzano il paesaggio causa l'erosione selettiva degli agenti atmosferici sui diversi tipi litologici interessati in vario grado dalle fratture

Negli affioramenti delle rocce più coerenti alle principali faglie corrispondono scarpate strutturali molto ripide e verticali

I tratti di ammasso contraddistinti da maggior grado di fratturazione divengono zone preferenziali di erosione caratterizzate da contropendenze e selle morfologiche.

L'azione degli agenti morfologici nei termini: pseudo coerenti, incoerenti e debolmente coerenti del Terziario, più erodibili, ha prodotto una serie di morfologie meno brusche, con rotture di pendio al passaggio tra gli ammassi rocciosi e le zone non lapidee.

L'infiltrazione e la circolazione idrica superficiale e sotterranea sono strettamente condizionate dalle diverse morfologie.

Gli affioramenti carbonatici (caratterizzati – vedasi Cap. 9 - da un valore di permeabilità generalmente elevato) nel dettaglio sono contraddistinti da tratti a permeabilità maggiore (areali maggiormente fratturati) rispetto alle zone di host-rock poco fratturato

Specialmente dove le fratture sono state ampliate dai processi di soluzione e d erosione idromeccanica del carsismo.

Nelle marne e nelle argille del Terziario, dove il ruscellamento predomina sull'infiltrazione, sono invece più tipiche le forme di erosione superficiale.

VERSANTE OCCIDENTALE M. TE S. CALOGERO INTERAZIONI TRA  
LITOLOGIA, TETTONICA, MORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA

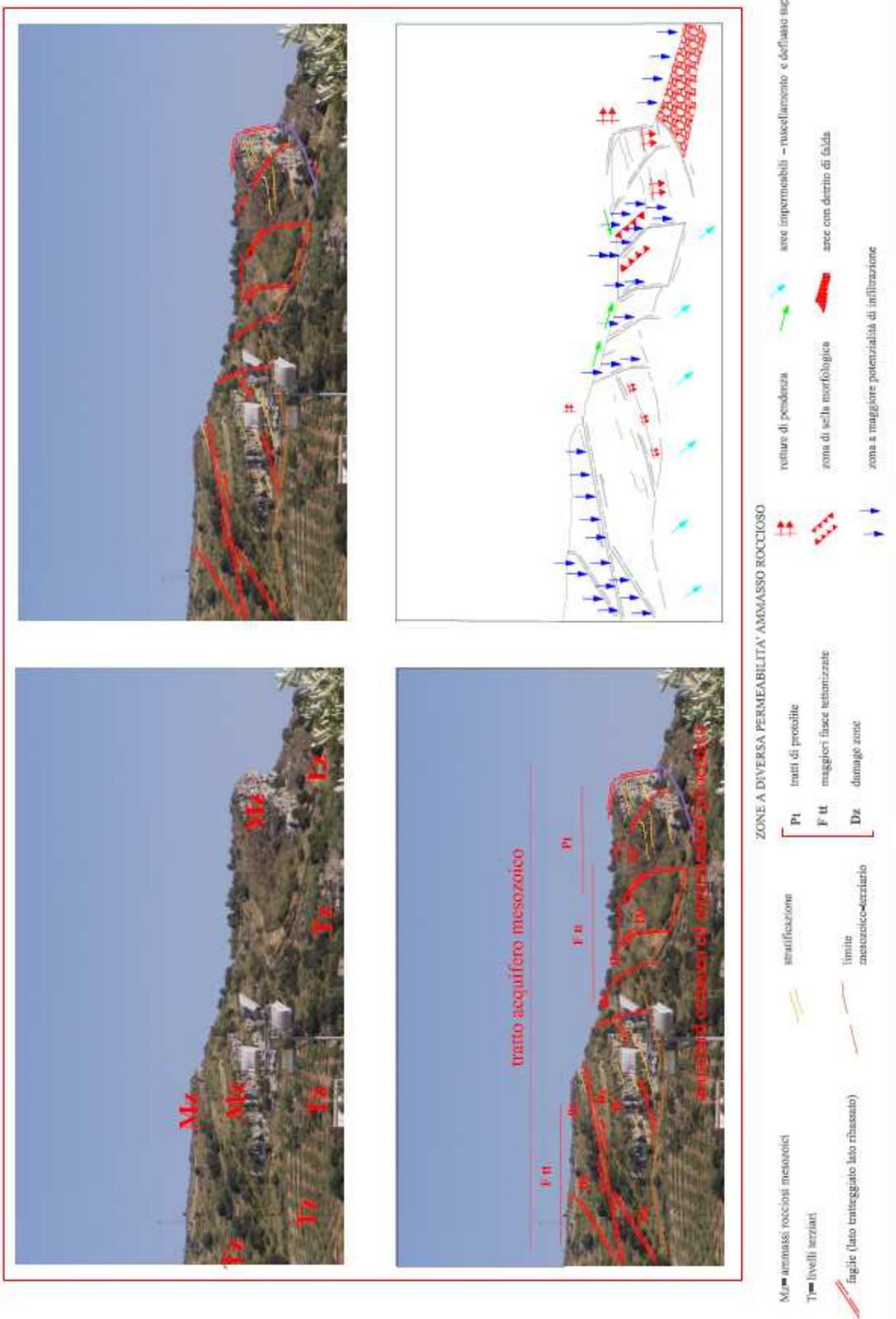


Fig. 33; esempi di interazione tra elementi litologici, morfologici e idrogeologici nel bacino in studio (C. da Carrozza)

## CAP. 6 - CLIMATOLOGIA DEL BACINO TERMALE DI SCIACCA

Nel presente capitolo vengono analizzate le serie storiche di termometria (periodo 1924-2000) e pluviometria (periodo 1918-2000) della stazione di Sciacca.

### TERMOMETRIA - STAZIONE DI SCIACCA

L'analisi dei dati, le cui elaborazioni sono riportate nelle Fig. 34 e 35 hanno consentito di appurare: **A.** il valore massimo/annuo di temperatura, per il periodo di misura considerato, si è registrato in prevalenza, nel mese di agosto (53 volte su 74); **B.** il valore minimo/annuo di temperatura, per il periodo di misura considerato, è registrato 48 volte su 74 nel mese di gennaio, 19 su 74 in febbraio 7 su 74 in dicembre ed una volta, nel 1949; il mese di marzo è risultato il più freddo dell'anno, con una temperatura media di 10,4 °C; **C.** il : minimo assoluto di temperatura mensile, pari a 6,45°, venne misurato nel mese di gennaio del 1945; **D.** La temperatura media annua varia tra un minimo di 16,2°C (1947) ed un massimo di 19,5 °C (2000); **E.** Le temperature medie mensili sono variate tra un minimo di 11,63 °C, in gennaio e febbraio, ed un massimo di 25,81°C, in agosto. **F.** Si può notare (vedasi linea di tendenza tratteggiata in blu) che nell'intero periodo di misura considerato si è avuto un leggero incremento delle temperature.

### PLUVIOMETRIA - STAZIONE DI SCIACCA

L'analisi dei dati, le cui elaborazioni sono riportate nelle Fig. 34 e 35, hanno consentito di appurare che **A.** il valore minimo assoluto, pari a 0 mm, è stato misurato quasi annualmente nei mesi estivi (si segnala che gli anni con più mesi privi di pioggia, pari a 4, si sono avuti, soltanto nel: (I) 1924 (mesi maggio, giugno, agosto e settembre e soli 2 mm caduti nel mese di Luglio) e (II) 1946 (mesi giugno, luglio, agosto e settembre); **B.** : il valore massimo assoluto mensile di pioggia, pari a 400,8 °C venne misurato nel mese di novembre del 1958 (~il 50% del totale/annuo pari a 874,5 mm); **C.** gli anni con entità di pioggia maggiore si sono avuti nel 1976 – totale di 1021 mm - seguito dal 1931- totale di 1002, 0 mm; **D.** gli anni con entità di pioggia minori si sono avuti nel 1970 – totale di soli 303,2 mm; si sono poi riscontrati altri 4 anni con entità di precipitazioni inferiori ai 400 mm/annui, rispettivamente nei seguenti anni: I. 1946 con 370,2 mm, II. 1974 con 374,6 mm; III. 1973 con 379,18 mm e; IV. 1984 con 385, 2 mm; **E.** l'andamento delle precipitazioni medie mensili, nel periodo di tempo considerato, oscilla tra: un minimo di 2,8 mm (dato medio del mese di Luglio) ed un massimo di 96,5 mm (dato medio del mese di Dicembre). **F.** Si può notare (vedasi linea di tendenza tratteggiata in rosso) che dal 1918 al 2000 si è avuta una perdita di ~100 mm, passando da ~610 mm medi di pioggia, che risultavano cadere dei primi anni del secolo XX, ai ~500 mm degli ultimi anni del secolo appena passato.

Si noti anche il diagramma ombrotermico della zona.

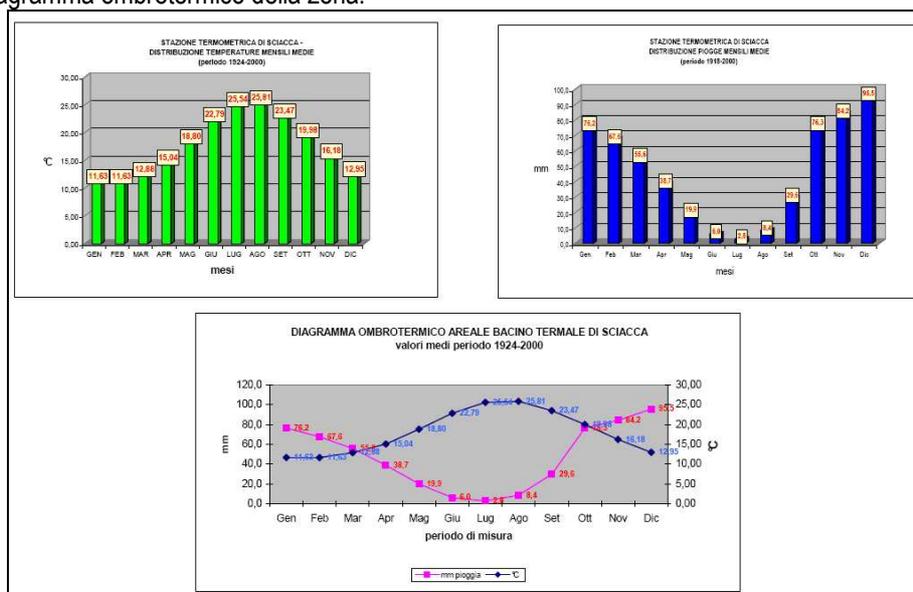


Fig. 34; interpretazione dei dati della stazione climatologica di Sciacca

## CAP. 7 IDROGEOLOGIA DEL BACINO TERMALE DI SCIACCA

Il bacino termale di Sciacca è costituito dalle 2 sub idro-strutture di Rocca Nadore e del Gruppo M. te Kronio di seguito descritte.

### IDROSTRUTTURA DI ROCCA NADORE

L'idrostruttura si estende nel territorio comunale di Sciacca Foglio n. 266 (scala 1: 100.000) in modo irregolare per circa 2,5 Km<sup>2</sup>, con un perimetro complessivo di ca. 10 Km.

I rilievi principali sono: 1. R. ca Nadore (599 m) – vedasi immagine di sx di Fig. 36 - e R.ca Porcaria (543 m).

Da un punto di vista Climatologico l'idrostruttura è caratterizzata da una temperatura media annua compresa tra 16 e 17 °C ed una pluviometria compresa tra 500 e 600 mm/a.

Rappresenta il settore più esterno delle strutture tettoniche di minore ordine ed è caratterizzata dall'essere una rampa anticlinale che si immerge verso Nord fino a connettersi in profondità con la sottostante unità S. S. di M. te S. Calogero.

La stratigrafia dell'idrostruttura, dal basso verso l'alto, è così costituita: **a.** dolomie del Trias; **b.** calcari di piattaforma del Lias; **c.** calcari pelagici del Giura-Creta discordanti sui precedenti. **d.** calcilutiti marnose (Eocene) con liste di selce (Scaglia). **e.** depositi argilloso-sabbiosi del Miocene.

L'idrostruttura risulta limitata dalle seguenti strutture: I. a Nord da una serie di faglie con orientazione circa O-E, prevalentemente ad alto angolo; II. a Sud da una serie di faglie a carattere inverso con evidenze di riattivazione di tipo positivo e con orientazioni preferenziali ONO-ESE ed ENE-OSO.

Lungo i versanti settentrionali e meridionale sono presenti una serie di manifestazioni sorgentizie di modesta entità che bordano l'idrostruttura: Sorgente del Salto, Ficarelle e C. da Nadorello e Nadore.

### IDROSTRUTTURA GRUPPO M. TE KRONIO

L'idrostruttura si estende nel territorio comunale di Sciacca, Foglio n. 266 (scala 1: 100.000), in modo irregolare per circa 3 Km<sup>2</sup>, con un perimetro complessivo di ca. 12 Km;

I rilievi principali sono i seguenti: 1. M. te S. Calogero o Kronio (366 m), – vedasi immagine di dx di Fig. n. 36 - e Rocca della Guardia (188 m).

Da un punto di vista climatologico l'idrostruttura è caratterizzata da una temperatura media annua compresa tra 17 e 18 °C ed una pluviometria compresa tra 500 e 600 mm/a.

L'idrostruttura rappresenta la propaggine più esterna delle successioni ibleo-maltesi con lo spessore del corpo carbonatico che raggiunge – secondo la stratigrafia del pozzo Sciacca 1- valori superiori ai 2829 metri.

La stratigrafia dell'idrostruttura, dal basso verso l'alto, è così costituita: **a.** calcari di piattaforma a megalodonti di età triassica, prevalentemente dolomitizzati, a stratificazione massiva o indistinta; **b.** calcari bianchi in grossi banchi del Lias, passanti verso l'alto a calcari marnosi con selce del giura. **c.** calcilutiti marnose (Cenomaniano-Eocene) con liste di selce (Scaglia) e calcilutiti bianco-rosate ben stratificate di spessore decimetrico. **d.** calcari e calcareniti a nummuliti dell'Oligocene sup.; **e.** calcari e calcareniti glauconitiche con spessori variabili tra i 20 ed i 50 metri. **f.** marne argillose del burdigaliano.

L'idrostruttura in affioramento risulta limitata dai seguenti sistemi: I. a Nord da una serie di faglie prevalentemente ad alto angolo con orientazione circa O-E; II. a Sud costituito da una serie di faglie a orientazione prevalente ENE-OSO a minor angolo rispetto alle faglie di analoga direzione che delimitano il limite Nord con evidenza di inversione tettonica positiva.

Sono presenti manifestazioni sorgentizie a diversa termalità, note sin dall'antichità: Sorgenti Selinuntine, Acqua Santa, Molinelli e Fontana Calda.

Sono presenti inoltre alcuni abbeveratoi, di acque fredde tra cui si ricorda quello di C. da Montagnola.

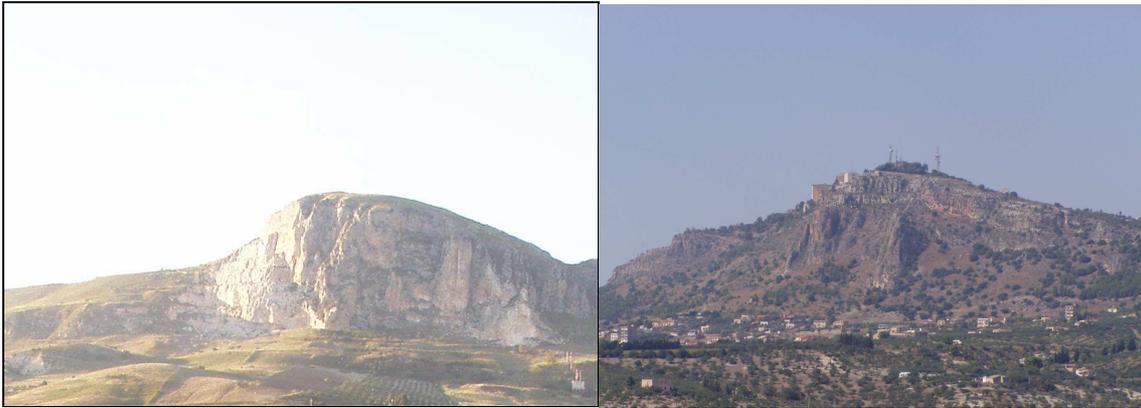


Fig. 36; dettaglio sulle idrostrutture di: Rocca Nadore (a sx) e M. te S. Calogero (a dx)

Nei paragrafi a seguire vengono descritte nel dettaglio le caratteristiche idrogeologiche del bacino termale.

### **CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DELLE FORMAZIONI INDIVIDUATE**

Nel presente paragrafo vengono descritte le caratteristiche idrogeologiche (Aureli 1987 e 1996) dei litotipi descritti al Cap. n.3, utilizzando lo stesso ordine di esposizione, ovvero dal termine più antico a quello più recente.

Dolomie: questa litologia rappresenta il termine stratigraficamente più basso presente nell'area in studio.

Si tratta di dolomie di colore bianco latte fortemente cementate con notevole permeabilità secondaria per un'intensa fratturazione con notevoli variazioni laterali.

Diffuso il carsismo specie negli orizzonti del non saturo (vedasi fenomeno carsico di M. te S. Calogero).

La stratigrafia del pozzo AGIP (vedasi Cap. n. 5) consente inoltre di verificare che negli orizzonti fratturati e carsificati di età mesozoica è presente una falda termale.

Calcarei giurassici: il comportamento idrogeologico risulta simile a quello descritto per il litotipo precedente, per la comune storia geologica, anche se tale litotipo, più calcareo, è interessato maggiormente dal fenomeno carsico.

Calcarei marnosi e marne cretacee (Scaglia): tale formazione assume il significato di acquitard anche se gli orizzonti più cementati possono subire gli effetti di fratturazione (per gli eventi tettonici che si sono verificati nel tempo) simili a quanto descritto per le litologie precedenti con formazione di tutta una serie di leptoclasti che in genere sono riempite da matrice di natura marnoso-argillosa.

Calcarei oligocenici a nummuliti: la formazione risulta abbastanza ben rappresentata specie nel tratto meridionale dell'area: a) sommità e versanti di M. te S. Calogero; b) C. da Montagnola e Rocca della Guardia.

Tale litotipo presenta una discreta permeabilità primaria ed inoltre, la fratturazione riscontrata (vedasi capitolo relativo ai rilievi geomorfologici) determina un certo grado di permeabilità secondaria.

Marne arenacee elveziene: affiorano prevalentemente nella parte settentrionale del bacino in località Nadorello con litologie da marcatamente impermeabili (marne e argille) ed alcune moderatamente permeabili (arenarie glauconitiche).

In grande la permeabilità può essere considerata bassa.

Trubi: sono diffusamente affioranti in varie zone ribassate del bacino, specie a Sud di Rocca Nadore sino alle zone costiere con spessore complessivamente modesti.

Assieme alla sequenza marnoso arenacea e alle argille azzurre costituiscono i litotipi impermeabili che bordano lateralmente le strutture idrogeologiche oggetto di studio.

Argille azzurre: tale formazione affiora diffusamente nel settore centro meridionale dell'area in studio, con funzione di acquiclude.

Lo spessore di tale formazione raggiunge (vedasi stratigrafie Cap. n. 5), lungo i limiti laterali del bacino idrogeologico di Sciacca, valori anche superiori alle diverse centinaia metri.

Terrazzi quaternari: si riscontrano diffusamente nel settore compreso tra il versante meridionale di M. te S. Calogero e la costa, con permeabilità variabile; da medio-bassa nel caso degli orizzonti a matrice sostenuta a medio-elevata negli orizzonti grano sostenuti.

Detriti di falda: si riscontrano preferenzialmente presso la parete meridionale di M. te S. Calogero ove coprono i terreni mesozoici presenti nella parte più bassa del versante meridionale di M. te S. Calogero.

Per la loro notevole permeabilità possono contribuire alla alimentazione dell'acquifero termale; in taluni tratti, specie presso C. sa Catanzaro, sembrano ricoprire anche le marni eoceniche.

Alluvioni: sono presenti principalmente nel tratto inferiore del T. te Carabollace, maggiore corso d'acqua della zona, con valori di permeabilità variabile in base alla natura tessiturale della matrice che li compone.

Nel caso di ghiaie pulite i valori del coefficiente di permeabilità risultano elevati.

## SINTESI DEL MODELLO CONCETTUALE DEL SISTEMA ACQUIFERO - COMPLESSI IDROGEOLOGICI

In base all'assetto geologico-strutturale del bacino termale ed alla giustapposizione di diversi complessi litologici è possibile definire la seguente *serie idrogeologica*, caratterizzata dall'alto verso il basso dai seguenti *complessi idrogeologici*: A. complesso alluvionale; B. complesso sabbioso-calcarenitico; C. complesso argilloso-marnoso; D. complesso calcarenitico-arenaceo; E. complesso calcareo calcarenitico; F. complesso calcareo-dolomitico.

La funzione idrogeologica dei diversi complessi, ed il loro ruolo nella struttura acquifera, vengono di seguito definiti.

La Tab. 4, di seguito riportata, sintetizza, per ciascun complesso individuato, i seguenti parametri: **a.** litologia; **b.** tipologia; **c.** tipo di permeabilità, **d.** grado di permeabilità relativo.

Con la casella in giallo viene evidenziata la classe prevalente; in azzurro, invece, si riporta l'eventuale classe subordinata.

### COMPLESSO ALLUVIONALE

Il complesso presenta spessori ed estensione limitati riconducibili prevalentemente alle alluvioni del corso terminale del T. Te Carabollace ed, anche ai limitati cordoni sabbiosi costieri.

Le caratteristiche di tale complesso vengono sinteticamente riportate nella Tab. 4.

Sono stati riscontrati due tipologie principali di corpi alluvionali:

**A.** orizzonti con prevalente tessitura a matrice sostenuta; di natura sabbiosa limosa, con inclusi ciottoli calcarei e calcareo-marnosi. Tale tipologia si riscontra nelle zone laterali delle alluvioni con permeabilità comprese, in base alle variabili percentuali di sabbia e limo, in un range compreso (Civita, 2005) tra  $10^{-4}$ ÷ $10^{-8}$  m/sec.

**B.** orizzonti con prevalente tessitura a matrice grano sostenuta, con blocchi di dimensioni variabili, da centimetrici a decimetrici, di natura prevalentemente calcarea e/o calcarea dolomitica; derivanti dall'erosione dei rilievi limitrofi.

La permeabilità può raggiungere valori elevati con range variabili (in base alla frazione granulometrica più rappresentativa - da ghiaia a ghiaia e sabbia- in un range compreso tra  $10^{-1}$ ÷ $10^{-4}$  m/sec).

Il grado di permeabilità risulta compreso in un range tra elevato e medio ed il complesso idrogeologico può essere definito nelle classi che variano da: mediamente permeabili (nel caso delle frazioni più fini) sino ad altamente permeabile (nel caso di prevalenza delle granulometrie più grossolane).

Il sondaggio R22, scavato lungo il corso mediano del Carabollace (vedasi Cap. 5- Forlani, 1977) evidenzia uno spessore di 13 metri.

### COMPLESSO SABBIOSO-CALCARENITICO

Tale complesso è costituito da:

**A.** calcareniti debolmente cementate; si tratta di rocce detritiche rappresentate da biocalcareni giallastre, calcareniti e calciruditi organogene che affiorano prevalentemente presso la zona costiera dell'area in studio, specie presso l'abitato di Sciacca.

**B.** sabbie, sabbie-ghiaiose e ciottoli di varia pezzatura; costituiscono prevalentemente i terrazzi del Calabriano (presente alla base di M. te S. Calogero, in un intervallo altimetrico compreso tra ~145 e ~100 msm) e del Siciliano (che si sviluppa in un intervallo altimetrico compreso tra ~75 msm e ~40 msm, presso la costa).

Le caratteristiche di tale complesso vengono sinteticamente riportate nella Tab. 4; la potenza è intorno ad una decina di metri; le calcareniti - su cui risulta edificata parte di Sciacca- presentano spessori anche superiori, a luoghi, e risultano interessate da un certo grado di fratturazione.

## COMPLESSO ARGILLOSO-MARNOSO

Tale complesso si estende diffusamente nelle zone bacinali che delimitano le aree di alto strutturale ove affiorano i calcari mesozoici (M. te Kronio, a Sud, rilievi di: Rocca Nadore e Rocca Porcaria, a Nord).

Ad Est di Sciacca, nel tratto compreso tra l'abitato e il Torrente Carabollace, e a Sud del rilievo di Monte S. Calogero la complessa situazione geologico-strutturale (vedasi sezione di Fig. 38/b) è evidenziata dallo spessore alquanto variabile e discontinuo.

Le caratteristiche di tale complesso vengono sinteticamente riportate nella Tab. 4.

BACINO TERMALE DI SCIACCA CARATTERISTICHE COMPLESSI IDROGEOLOGICI															
SCHEDA DESCRITTIVA COMPLESSO IDROGEOLOGICO 1						SCHEDA DESCRITTIVA COMPLESSO IDROGEOLOGICO 2									
descrizione complesso: <b>alluvionale</b>						descrizione complesso: <b>sabbioso conglomeratico arenitico</b>									
litologia						litologia									
LAPIDEA		SCIOLTA		PSEUCOERENTE		LAPIDEA		SCIOLTA		PSEUCOERENTE					
TIPOLOGIA						TIPOLOGIA									
OMOGENEA		MISTA		ETEROGENEA		OMOGENEA		MISTA		ETEROGENEA					
TIPO DI PERMEABILITA' RELATIVA						TIPO DI PERMEABILITA' RELATIVA									
POROSITA'		FESSURAZIONE		CARSISMO		POROSITA'		FESSURAZIONE		CARSISMO					
GRADO DI PERMEABILITA' RELATIVA						GRADO DI PERMEABILITA' RELATIVA									
ELEVATO		MEDIO		SCARSO		NULLO		ELEVATO		MEDIO		SCARSO		NULLO	
SCHEDA DESCRITTIVA COMPLESSO IDROGEOLOGICO 3						SCHEDA DESCRITTIVA COMPLESSO IDROGEOLOGICO 4									
descrizione complesso: <b>marnoso argilloso</b>						descrizione complesso: <b>calcareo marnoso</b>									
litologia						litologia									
LAPIDEA		SCIOLTA		PSEUCOERENTE		LAPIDEA		SCIOLTA		PSEUCOERENTE					
TIPOLOGIA						TIPOLOGIA									
OMOGENEA		MISTA		ETEROGENEA		OMOGENEA		MISTA		ETEROGENEA					
TIPO DI PERMEABILITA' RELATIVA						TIPO DI PERMEABILITA' RELATIVA									
POROSITA'		FESSURAZIONE		CARSISMO		POROSITA'		FESSURAZIONE		CARSISMO					
GRADO DI PERMEABILITA' RELATIVA						GRADO DI PERMEABILITA' RELATIVA									
ELEVATO		MEDIO		SCARSO		NULLO		ELEVATO		MEDIO		SCARSO		NULLO	
SCHEDA DESCRITTIVA COMPLESSO IDROGEOLOGICO 5						SCHEDA DESCRITTIVA COMPLESSO IDROGEOLOGICO 6									
descrizione complesso: <b>calcareo calcarenitico</b>						descrizione complesso: <b>calcareo dolomitico</b>									
litologia						litologia									
LAPIDEA		SCIOLTA		PSEUCOERENTE		LAPIDEA		SCIOLTA		PSEUCOERENTE					
TIPOLOGIA						TIPOLOGIA									
OMOGENEA		MISTA		ETEROGENEA		OMOGENEA		MISTA		ETEROGENEA					
TIPO DI PERMEABILITA' RELATIVA						TIPO DI PERMEABILITA' RELATIVA									
POROSITA'		FESSURAZIONE		CARSISMO		POROSITA'		FESSURAZIONE		CARSISMO					
GRADO DI PERMEABILITA' RELATIVA						GRADO DI PERMEABILITA' RELATIVA									
ELEVATO		MEDIO		SCARSO		NULLO		ELEVATO		MEDIO		SCARSO		NULLO	

Tab. 4; correlazione di sintesi delle caratteristiche idrogeologiche dei complessi individuati

## COMPLESSO CALCAREO-MARNOSO

A tale complesso appartiene prevalentemente la scaglia eocenica diffusamente affiorante nell'area, specie nel tratto meridionale del bacino in studio (C. da Molarà, C. da Mendolito) ed in corrispondenza dell'affioramento delle sorgenti selinuntine.

Gli spessori in affioramento sono molto variabili ma comunque non superiori ad una ventina di metri.

Una ulteriore litologia che rientra in questo complesso sono le marne e i calcari marnosi del Pliocene inf. (Trubi).

Le caratteristiche di tale complesso vengono sinteticamente riportate nella Tab. 4.

## COMPLESSO CALCAREO-CALCARENITICO

In tale complesso rientrano le calcareniti oligoceniche estesamente affioranti presso: la sommità ed i versanti di M. te S. Calogero e di Rocca della Guardia.

Costituiscono un acquifero sede di una falda superficiale che sovente, per motivi tettonici, viene a contatto con la falda termale determinando diverse tipologie di miscelamento come testimoniato dalle variazioni di chimismo riscontrate in alcune sorgenti ed in alcuni pozzi.

Le caratteristiche di tale complesso vengono sinteticamente riportate nella Tab. 4.

## COMPLESSO CALCAREO E CALCAREO-DOLOMITICO

Comprende le formazioni di natura dolomitica e calcarea di età compresa tra il Trias sup. ed il Giura.

Costituisce l'acquifero più importante del bacino termale di Sciacca (idrostrutture di: Rocca Nadore e M. te Kronio).

Tale successione, di natura carbonatico-dolomitica, è contraddistinta da un elevato grado di fratturazione con zone molto incarsite (vedasi Capitoli dedicati).

Le varie stazioni geomeccaniche stabilite in affioramenti significati alla mesoscala, hanno permesso di definire le caratteristiche dei sistemi di fratturazione (per maggiore dettaglio vedasi Cap. n. 6) che in generale possono ascrivere ai seguenti set: **a.** NO-SE (sistema K1); **b.** OSO-ENE ed O-E (sistema K2) e **c.** NE-SO (sistema K3).

La permeabilità dipende fortemente dalla fratturazione degli ammassi rocciosi che determina una marcata anisotropia.

Le caratteristiche di tale complesso vengono sinteticamente riportate nella Tab. 4.

La trasmissività del complesso è sostanzialmente buona ma discontinua specie negli areali caratterizzati dallo sviluppo di sistemi carsici a dreni interdipendenti che si sviluppano (vedasi Cap. n. 6 e 12) in corrispondenza dell'intersezione dei sistemi K3 e K2.

La trasmissività si riduce drasticamente in corrispondenza dei tratti di host-rock poco deformato.

A scala regionale un ruolo importante è giocato dalle maggiori lineazioni tettoniche presenti che determinano, per la dislocazione degli originari rapporti stratigrafici, contatti laterali con gli altri complessi idrogeologici (Aureli, 1996).

Tale aspetto assume importanti implicazioni nel tratto terminale del bacino - idrostruttura di M. te Kronio- areale nel quale è presente la falda termale con formazione di: I. locali sbarramenti laterali alla circolazione idrica, nel caso di giustapposizione con livelli impermeabili; II. possibili travasi e collegamenti laterali tra i vari acquiferi come il chimismo di molti punti d'acqua evidenzia (Molinelli, Fontana Calda; Acqua Santa).

La Tab. 5 riepiloga le caratteristiche di: età, potenza media, litologia, idrogeologia ed il ruolo idrostrutturale dei vari complessi individuati le cui estensioni sul terreno ed i rapporti esistenti tra gli stessi vengono esposti nella Fig. n. 37.

## LIVELLI ACQUIFERI ED IMPERMEABILI PRESENTI

Gli acquiferi (Aureli A. 1996) nel bacino termale di Sciacca, in base alla successione litostratigrafica presente, sono i seguenti:

- *acquifero alluvionale*; si tratta di un acquifero marginale dato esclusivamente dalle alluvioni del T. te Carabollace;
- *acquifero superiore*; costituito dalle sabbie e dalle calcareniti dei terrazzi ove poggiano sulle argille azzurre pleistoceniche o sui trubi pliocenici.;
- *acquifero intermedio*; costituito dai calcari di età compresa fra l'Eocene e l'Oligocene.
- *acquifero inferiore*; costituito dalle dolomie e dai calcari di età compresa tra il Trias ed il Giurassico; la falda in base agli assetti geologici strutturali si presenta: a. di tipo freatico tratti più settentrionali (Rocca Nadore) e nella zona sommitale e nel versante meridionale di S. Calogero; b. protetta da orizzonti impermeabili nelle zone ribassate del tratto centrale del bacino (località Lazzarino, V. ne Portolana ecc.), in larga parte nei tratti costieri del bacino in studio.

Sono presenti alcuni acquitard costituiti da: calcari marnosi e marne cretacee (scaglia), arenarie con livelli argillosi del messiniano, marne argillose dell'acquitaniano.

L'aquiclude è costituito ove presente, in quanto non eroso, da: argille grigio azzurre plioleisticeniche e/o dai trubi pliocenici.

CARTA DEI COMPLESSI IDROGEOLOGICI DEL BACINO TERMALE DI SCIACCA

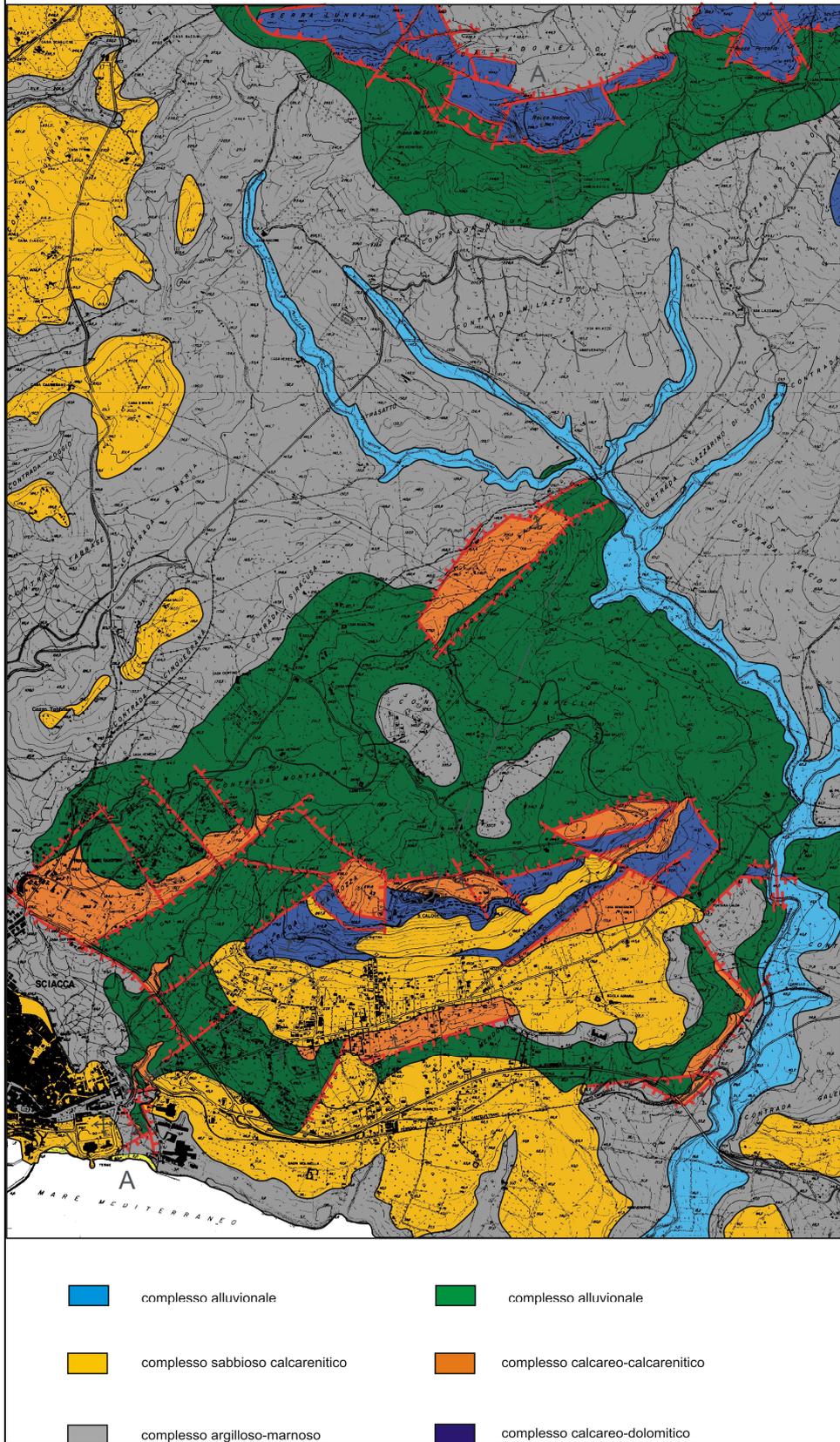


Fig. 37; Carta dei complessi idrogeologici del bacino termale di Sciacca

BACINO TERMALILE DI SCIACCA - CARATTERISTICHE DEI COMPLESSI IDROGEOLOGICI					
COMPLESSO IDROGEOLOGICO	ETA'	POTENZA MEDIA	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	RUOLO IDROSTRUTTURALE
COMPLESSO ALLUVIONALE	OLOCENE	0- 15 m	alluvioni costituite da corpi lenticolari misti con tessitura variabile	da media ad elevata permeabilità per porosità (orizzonti sabbioso-limosi e sabbioso-ghiaiosi)	acquifero isolato dagli acquicludi di età pliopleistocenici ad esclusione dell'area delle risorgenze del Carabollace zona in connessione idraulica con acquifero termale
COMPLESSO SABBIOSO-CALCARENITICO	PLEISTOCENE SUP.	1- 13	sabbie, calcareniti e calciruditi, sabbie e biocalcareniti	buona permeabilità per porosità (orizzonti più sabbioso) e per fatturazione (orizzonti calcarenitici)	acquifero libero superficiale isolato quando sovrapposto ai livelli marnosi e argilloso in interconnessione con acquifero termale
COMPLESSO ARGILLOSO-MARNOSO	PLIO- PLEISTOCENE	10- 150	argille e argille sabbiose	permeabilità nulla	acquicludi limitati corpi idrici negli orizzonti più lapidei fratturati
COMPLESSO CALCAREO-MARNOSO	CRETACEO- ELVEZIANO- PLIOCENE	20-50	marna e calcari marnosi	permeabilità da bassa a nulla orizzonti marnosi medio-scarso orizzonti calcareo-marnosi fratturati	acquitarde
COMPLESSO CALCAREO-CALCARENITICO	OLIGOCENE	20-50	calcari e calcareniti a nummuliti	permeabilità medio-alta per fatturazione	acquifero libero intermedio in taluni casi in interconnessione per faglia con acquifero termale
COMPLESSO CALCAREO E CALCAREO-DOLOMITICO	TRIASSICO- GIURASSICO	30 - 2987	dolomie e calcari cementati	permeabilità alta- elevata per fatturazione e carsismo	acquifero principale

Tab. 5; riepilogo di sintesi delle caratteristiche dei vari complessi idrogeologici individuati

## SCHEMA DI ALIMENTAZIONE DEL BACINO IDROTERMALE

Le Figg. 38 e 39 mostrano le caratteristiche idrogeologiche del bacino termale di Sciacca.

Il primo profilo si sviluppa da Rocca Nadore a NE sino alla zona costiera di Sciacca SO.

La zona di alimentazione del bacino idrotermale risulta essere costituita dagli affioramenti mesozoici dell'Idrostruttura di Rocca Nadore, area nella quale l'aliquota di infiltrazione viene favorita dai diffusi fenomeni di fratturazione e carsismo presenti.

Spostandosi progressivamente verso Sud l'acquifero appare coperto da orizzonti sempre più spessi di sedimenti prevalentemente a permeabilità bassa o nulla (di età compresa tra il Cretaceo ed il Plio-Pleistocene) i cui massimi spessori si riscontrano nella zona depocentrale di C. da Lazzarino e V. ne Portolana.

In tale zona il circuito regionale di alimentazione è caratterizzato dal tratto discendente che determina un progressivo innalzamento delle temperature delle acque di infiltrazione.

La presenza di orizzonti di tufiti e basalti, spessi circa un centinaio di metri, riscontrati nella perforazione Montagnola (vedasi stratigrafia - Cap. 5) permettono di formulare l'ipotesi di collegamenti con più che probabili masse magmatiche profonde la cui esistenza è certificata dalla presenza, pochi Km a SO di Sciacca, del vulcanesimo neogenico del Banco Graham (vedasi Cap. n. 11).

Nel tratto terminale della valle dei Bagni sgorgano la sorgente Sulfurea e altre sorgenti a chimismo intermedio (Acqua Santa, Acqua Ferrata e, poco distante, la Sorgente Molinelli) dovuto ai possibili miscelamenti tra acque di venuta profonda e superficiale.

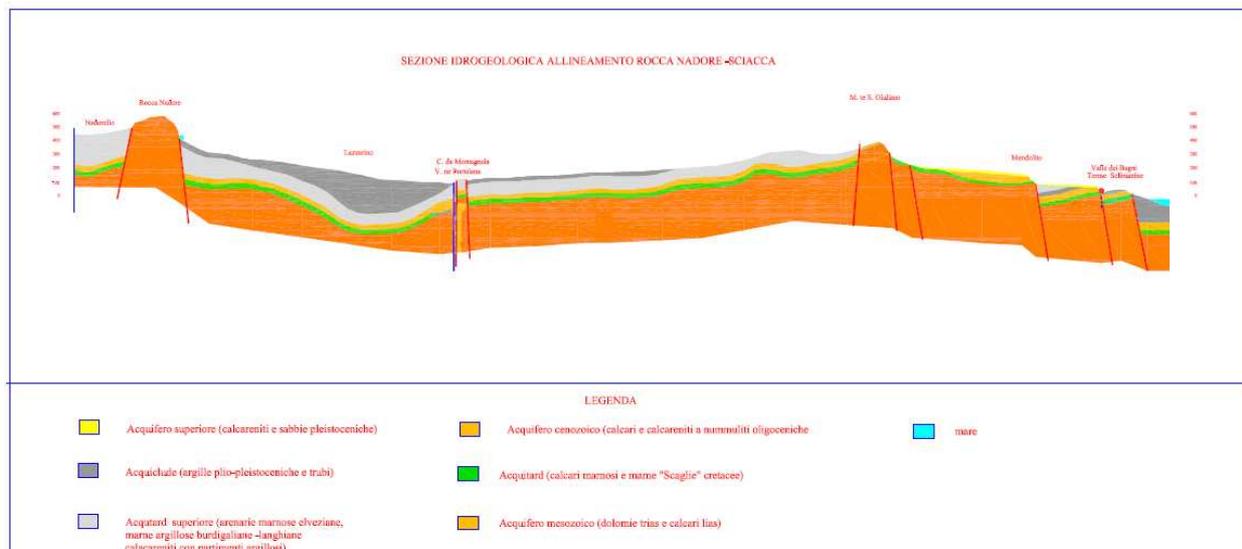


Fig. 38; caratteristiche idrogeologiche profilo n. 1 (allineamento R. ca Nadore – M. te S. Calogero)

La Fig. 39 mostra invece le caratteristiche idrogeologiche del tratto costiero lungo l'allineamento compreso tra Sciacca e il tratto terminale del T. te Carabollace nel quale vengono correlate diverse stratigrafie che consentono di evidenziare una complessa situazione geologico-strutturale largamente mascherata in superficie dai depositi terrazzati.

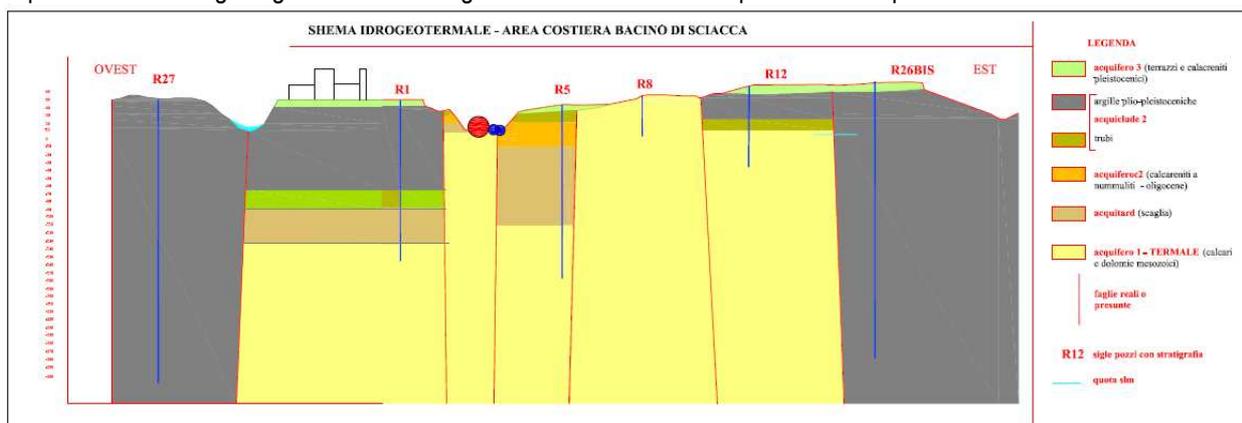


Fig. 39; caratteristiche idrogeologiche profilo n. 2 (allineamento Sciacca - T. te Carabollace)

## CENSIMENTO PUNTI D'ACQUA AREA IN STUDIO

Il propedeutico lavoro di raccolta dati, condotto presso gli archivi di Enti ed Istituti di Ricerca, ha permesso di censire un numero notevole di informazioni che sono stati integrate dai rilievi condotti nell'area.

La Fig. 40 mostra le ubicazioni dei punti d'acqua censiti mentre nelle Tab. 6/a e b vengono riportate le caratteristiche dei pozzi e delle sorgenti.

PUNTI D'ACQUA BACINO IDROTERMALE DI SCIACCA

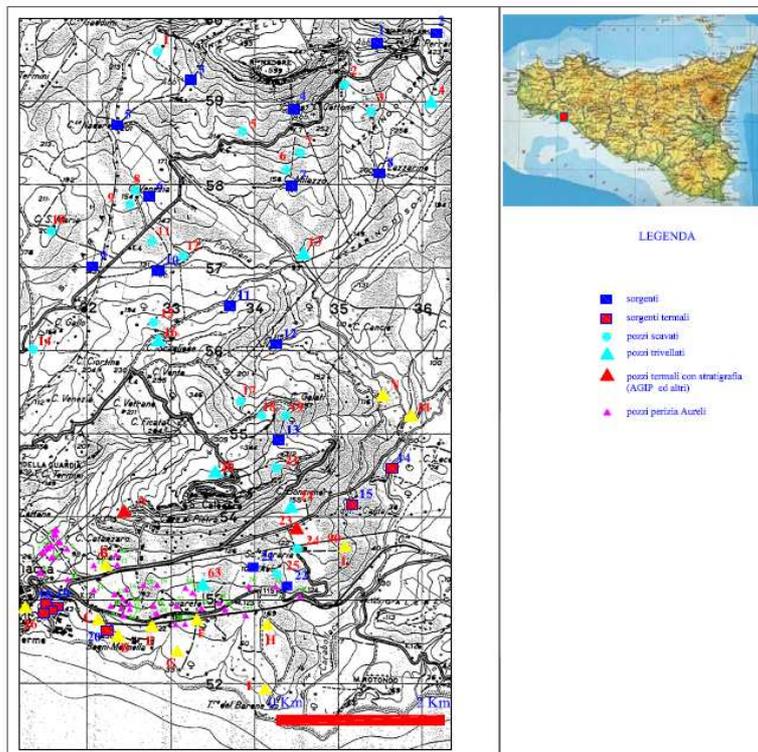


Fig. 40; bacino termale di Sciacca ubicazione pozzi e sorgenti

ELENCO SORGENTI BACINO IDROTERMALE DI SCIACCA						
località	comune	provincia	quota	portata	utilizzo	IGM
porcheria	Sciacca	AG	408	0,7	bevaio	IV S.E. - SCIACCA
porcheria	Sciacca	AG	445	0,6	bevaio	IV S.E. - SCIACCA
p. dei santi	Sciacca	AG	320	0,4	ex acquedotto	IV S.E. - SCIACCA
rocca nadore	Sciacca	AG	287	0,03	bevaio	IV S.E. - SCIACCA
casa nadore	Sciacca	AG	201	0,7	bevaio	IV S.E. - SCIACCA
milazzo	Sciacca	AG	158	0,5	bevaio	IV S.E. - SCIACCA
casa venezia	Sciacca	AG	135	0,2	bevaio	IV S.E. - SCIACCA
lazzarino	Sciacca	AG	199	0,3	abbeveratoio	IV S.E. - SCIACCA
s. maria	Sciacca	AG	143	0,5	condotta	IV S.E. - SCIACCA
portolana (s.maria)	Sciacca	AG	131	0,8	nessuna	IV S.E. - SCIACCA
montagna	Sciacca	AG	173	0,2	bevaio	IV S.E. - SCIACCA
campella	Sciacca	AG	115	0,6	bevaio	IV S.E. - SCIACCA
s. calogero	Sciacca	AG	293	0,2	bevaio	IV S.E. - SCIACCA
carabollace	Sciacca	AG	48	0,05	nessuna	IV S.E. - SCIACCA
fontana calda	Sciacca	AG	97	0,2	abbeveratoio	IV S.E. - SCIACCA
sulfurea	Sciacca	AG	17	1,3	inutilizzata	IV S.E. - SCIACCA
solfurea piccola	Sciacca	AG	16	0,04	inutilizzata	IV S.E. - SCIACCA
acqua santa	Sciacca	AG	25	0,04	inutilizzata	IV S.E. - SCIACCA
ferrata?	Sciacca	AG	13	0,04	inutilizzata	IV S.E. - SCIACCA
molinelli	Sciacca	AG	40	2,5	terapeutico	IV S.E. - SCIACCA
mendolito	Sciacca	AG	122	0,02	–	IV S.E. - SCIACCA
mendolito	Sciacca	AG	81	0,02	abbeveratoio	IV S.E. - SCIACCA

Tab. 6/a; censimento sorgenti

ELENCO POZZI BACINO IDROTERMALE DI SCIACCA									
	località	comune	provincia	quota	profondità	SOGGIACENZA	liv. Statico	utilizzo	IGM
1	nadorelli	Sciacca	AG	273	6	3,5		dom.	IV S.E. - SCIACCA
5	nadore	Sciacca	AG	207	6,5	4		dom.	IV S.E. - SCIACCA
6	milazzo	Sciacca	AG	221	6,5	3		dom.	IV S.E. - SCIACCA
7	milazzo	Sciacca	AG	251	7,8	4		dom.	IV S.E. - SCIACCA
3	lazzarino	Sciacca	AG	257	12	4		dom.	IV S.E. - SCIACCA
4	C. PERRANA	Sciacca	AG	294	36	21		irr.	IV S.E. - SCIACCA
2	LILLO	Sciacca	AG	304	8	6			IV S.E. - SCIACCA
8	s. maria	Sciacca	AG		5	3		dom.	IV S.E. - SCIACCA
9	s. maria	Sciacca	AG		4	2,5		dom.	IV S.E. - SCIACCA
10	s. maria	Sciacca	AG		7,5	3,5		dom.	IV S.E. - SCIACCA
11	s. maria	Sciacca	AG		7	3,5		dom.	IV S.E. - SCIACCA
12	s. maria	Sciacca	AG		7	3		dom.	IV S.E. - SCIACCA
13	montagnola	Sciacca	AG					irr.	IV S.E. - SCIACCA
14	s. maria	Sciacca	AG		6	2,5		dom.	IV S.E. - SCIACCA
15	siracusa	Sciacca	AG		7	4			IV S.E. - SCIACCA
16	SAVERIO	Sciacca	AG			24		irr.	IV S.E. - SCIACCA
17	campella	Sciacca	AG		4	1			IV S.E. - SCIACCA
18	campella	Sciacca	AG		3	1,2			IV S.E. - SCIACCA
19	s.calogero	Sciacca	AG		4,5	1,3			IV S.E. - SCIACCA
20	TORTORICI	Sciacca	AG		14	7		dom.	IV S.E. - SCIACCA
21	s.calogero	Sciacca	AG		2	1			IV S.E. - SCIACCA
22	MONTALBANO	Sciacca	AG		38	22		irr	IV S.E. - SCIACCA
24	mendolito	Sciacca	AG		8	3		dom.	IV S.E. - SCIACCA
25	mendolito	Sciacca	AG	92	6	2	90	dom.	IV S.E. - SCIACCA
23	C5	Sciacca	AG					terapeutico	IV S.E. - SCIACCA
26	R1	Sciacca	AG		218	18		terapeutico	IV S.E. - SCIACCA
A	AGIP	Sciacca	AG	187	2829	44	43	CHIUSO	IV S.E. - SCIACCA
B	R6	Sciacca	AG					pozzo espl.	IV S.E. - SCIACCA
C	R5	Sciacca	AG					pozzo espl.	IV S.E. - SCIACCA
D	R7	Sciacca	AG					pozzo espl.	IV S.E. - SCIACCA
E	R8	Sciacca	AG					pozzo espl.	IV S.E. - SCIACCA
F	R12	Sciacca	AG					pozzo espl.	IV S.E. - SCIACCA
G	R11	Sciacca	AG					pozzo espl.	IV S.E. - SCIACCA
H	R26	Sciacca	AG					pozzo espl.	IV S.E. - SCIACCA
I	R26bis	Sciacca	AG					pozzo espl.	IV S.E. - SCIACCA
L	R22	Sciacca	AG					pozzo espl.	IV S.E. - SCIACCA
M	R24	Sciacca	AG					pozzo espl.	IV S.E. - SCIACCA
90	ERAS	Sciacca	AG		211,5			--	IV S.E. - SCIACCA

Tab. 6/b; censimento pozzi

## RANGE DI TEMPERATURA NELLA ZONA COSTIERA DEL BACINO TERMALE DI SCIACCA

Nel presente paragrafo vengono approfondite le caratteristiche della falda termale presente nel tratto costiero compreso tra l'abitato di Sciacca, ad Ovest, e la foce del T. te Carabollace ad Est, zona nella quale si concentrano le emergenze sorgentizie di tipo termale.

La Fig. 41 mostra i range di temperature nei pozzi che nel tempo ivi sono stati scavati, i quali consentono di evidenziare che la falda termale s.s. è localizzata esclusivamente nei punti d'acqua con  $T > 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  (punti in marrone). Sono presenti poi tutta una serie di pozzi e sorgenti a termalità intermedia (range di temperature variabili tra un minimo di circa  $18\text{-}20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ed un massimo di circa  $45\text{-}47\text{ }^{\circ}\text{C}$  -vedasi riquadri con colorazione che vanno dall'azzurro al rosso) causa il sovrapporsi dei seguenti possibili motivi: I. esistenza di diversi percorsi di alimentazione e, II. diverse percentuali di miscelazione tra acqua termale s.s e acqua legata a circuiti superficiali.

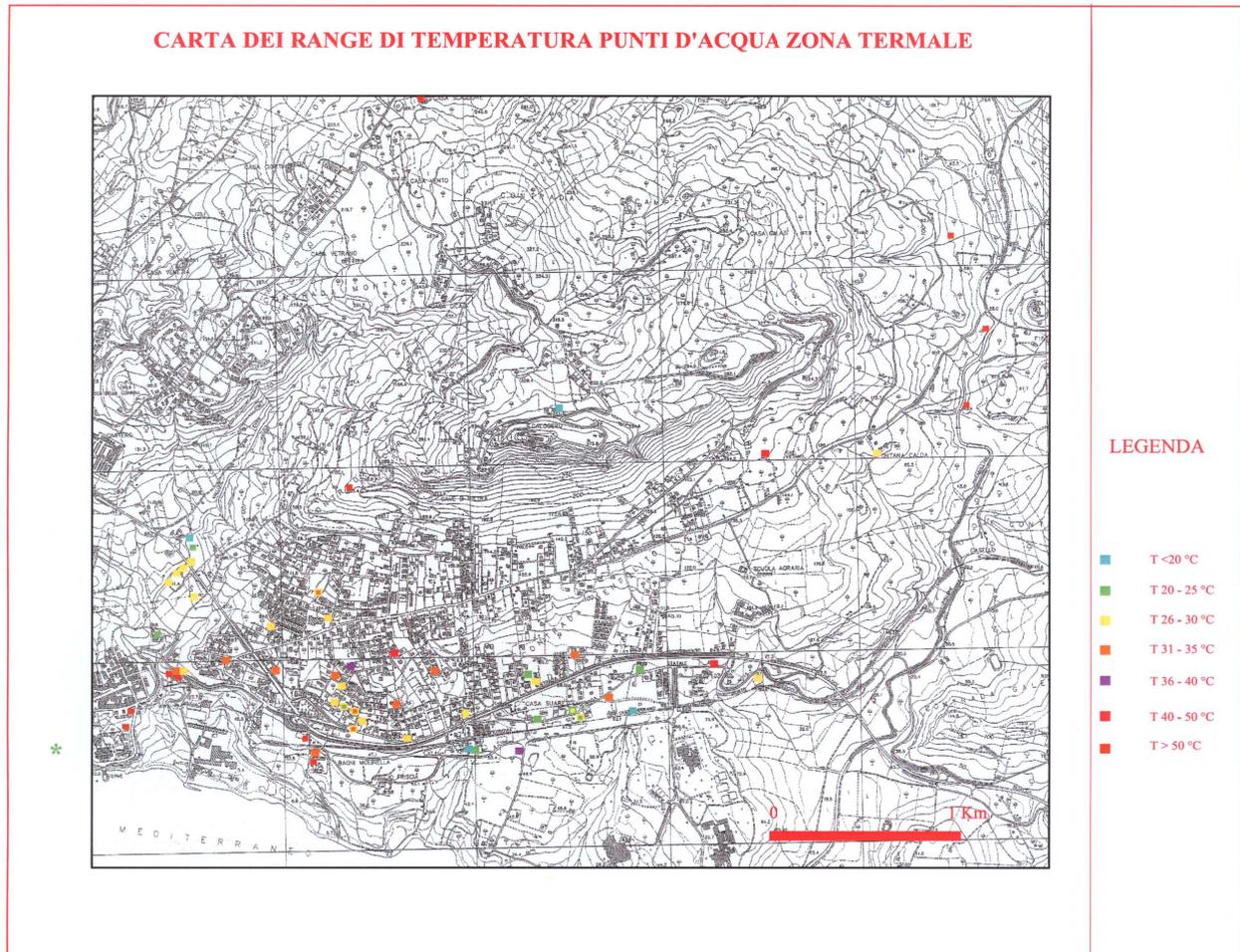


Fig. 41; range di temperatura riscontrato nel tratto costiero del bacino termale di Sciacca

## CONCETTO DI SORGENTE TERMALE

Le sorgenti termali rappresentano l'emergenza, in superficie, di acque e talora gas che fanno parte di sistemi idrotermali spesso di grandi dimensioni, complessi e "delicati" dal punto di vista geologico ed idrogeologico.

Questi sistemi sono in genere alimentati da acque di origine meteorica che si infiltrano in profondità, si riscaldano al contatto con le rocce per effetto del gradiente geotermico ed eventualmente per mescolanza con risalite di fluidi caldi liquidi e gassosi, il che avviene comunemente in aree vulcaniche ed emergono in superficie, di solito in corrispondenza di dislocazioni tettoniche.

Questi sistemi sono vulnerabili, per esempio per sovrasfruttamento, per contatto con falde superficiali inquinate etc. e quindi debbono essere studiati, conosciuti e monitorati per consentirne una utilizzazione ottimale nel tempo.

L'immagine di sx della Fig. 42 riporta le operazioni condotte dallo scrivente allo scarico della sorgente selinuntina grande ove si riscontrava una misura di  $52,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## TIPOLOGIA SORGENTI

Nei paragrafi a seguire vengono riportati i censimenti effettuati nel tempo di tali manifestazioni sorgentizie seguendo un rigoroso ordine cronologico.

La Tab. 7 (Aureli, 1996 – modificato) raggruppa le sorgenti a varia termalità presenti nel bacino di Sciacca (e zone contermini) in base ai range di: mineralizzazione, residuo fisso, temperatura, presenza di zolfo o meno.

Per maggiori dettagli sul chimismo si consulti il Cap. 10.

CARATTERISTICHE SORGENTI TERMALI BACINO DI SCIACCA				
mineralizzazione	residuo fisso 180°	temperatura °C	solfo	
debole	fino a 0,6	20	--	sorgenti fredde della zona montana di alimentazione
	0,8-1	26-30	--	Fontana Calda
media	5-15	30-37	--	Molinelli, Acqua Santa
forte	20-26	50-60	antiche terme, polle carabollace pozzo R1 – Pozzo SCIACCA 1	--

Tab. 7; caratteristiche sorgenti termali del bacino di Sciacca

L'immagine di dx della Fig. 42 (Carapezza, 1977) mostra l'originaria trincea drenante presente, sino ad alcuni decenni addietro, alla sorgente Molinelli, di possibile epoca araba per la straordinaria somiglianza con i qanat palermitani, purtroppo distrutta, negli anni '80, per discutibili opere di nuova antropizzazione.

Si noti il contatto tra il terrazzo (circa 1 metro) con le sottostanti calcareniti.



Fig. 42; misure di temperatura Sorgente Solfo e originario qanat Sorgente Molinelli

Sommaruga (1952 e Carapezza et alii, 1977) riportavano i seguenti 10 punti d'acqua termali differenziati, in base alla diversa termalità ed l'ubicazione, in due gruppi: **A.** il primo gruppo (8 sorgenti) presente presso il Vallone del Lauro: *Acqua Sulfurea, Acqua Santa, Acqua Delle Palme, Acqua Ferrata, Acqua Salmastra, Acqua Degli Occhi, Acqua Molinelli, Acqua Molinari*. **B.** il secondo gruppo (2 sorgenti) censiti tra: "la scuola agraria e l'alveo del Carabollace" sono: *Fontana Calda e Acque del Carabollace*

## SORGENTI TERMALI DI SCIACCA - CENSIMENTO SORGENTI SICILIANE (1933)

Il primo organico censimento delle sorgenti presenti nell'area venne effettuato tra il 1928 ed il 1930 dal Servizio Idrografico Italiano e i dati sono pubblicati nel Volume *LE SORGENTI ITALIANE - pubblicazione N. 14 del Servizio - VOL. II - SICILIA - SEZIONE IDROGRAFICA DI PALERMO (1934)*.

Vennero censite, per i bacini idrografici dell'isola, 4089 sorgenti con una portata complessiva 32.894 litri.

Per l'interesse storico del documento si riporta testualmente quanto descritto per le sorgenti del bacino di Sciacca provvedendo a sottolinearne le parti più significative.

*"Restano a considerare ora le sorgenti termali di Sciacca. Esse scaturiscono quasi tutte alle pendici del M. te Kronio in prossimità dell'abitato di Sciacca. Le acque delle dette sorgenti di portata esigua e per alcune addirittura insignificante erano*

anche usate dagli antichi che denominarono "Terme Selinuntine" gli stabilimenti termali di allora. Esse presentano anche dal punto di vista idrologico un grande interesse per la diversità di caratteri chimico-fisici delle varie sorgenti e perché poco lontano si osserva il fenomeno delle cosiddette stufe di S. Calogero che sta certo in stretto rapporto con la termalità delle acque. Sulla vetta infatti di M. te Kronio ed in prossimità della chiesa di S. Calogero, da caverne naturali allargate artificialmente, vengono fuori soffi continui di aria calda satura di vapore a temperatura variabile tra 36° e 42°. Un foro circolare in una parete della roccia emette aria calda la quale è particolarmente indicata per la cura dei mali delle orecchie. Alle pendici del M. Cronio e nella valle detta dei Bagni, scaturisce la sorgente termale Acqua Sulfurea (1083) (l/s 1.00 il 1° luglio 1928) che sgorga ad una temperatura di 52° di temperatura (iperterme) la cui acqua è classificata dagli idrologi come solforosa-clorurata. L'acqua è utilizzata in un apposito grande stabilimento termale recentemente costruito a cura del Comune di Sciacca. Vicino ad essa scaturiscono le sorgenti Acqua Santa, classificata come clorurato- sodica, a 32° di temperatura (ipoterme) e di portata imprecisata ed Acqua Ferrata, classificata come clorurata-sodica-ferruginosa, a 27° di temperatura (ipoterme) e di portata minima. Anche le portate di tali due sorgenti sono utilizzate per uso terapeutico. Nello stesso Vallone dei Bagni scaturiscono le sorgenti Acqua Salsa (1084) (l/s 0,50 il 1-07-1928) a 16° di temperatura ed Acqua salina delle Palme a 28° di temperatura (ipoterme) di portata imprecisata. Queste due ultime non sono usate a scopo curativo. Poco ad est di Sciacca scaturisce la sorgente Acqua dei Mulinelli (1085) (l/s 4,00 il 10-10-1929) che è altra importante sorgente termale usata, in uno stabilimento privato, per bagni e per bibita a scopo curativo. L'acqua classificata come clorurato-sodica sgorga a 32° di temperatura (iperterme). Ancora ad est di Sciacca vi è l'ultima sorgente termale denominata Fontana Calda (1086) (l/s 1,00 il 1-7-1928) che sgorga a 30° (ipoterme) di temperatura che va ad alimentare un abbeveratoio. Si accenna semplicemente che nel V. Carabollace esistono alcune piccole scaturigini di acqua termale variamente denominate e di portata assai esigua e che per ora non hanno alcuna minima utilizzazione. Fra queste ne è stata individuata una di portata minima denominata Carabollace (1088) la cui acqua sulfurea sgorga a 50° di temperatura (iperterme).

Nello stesso V. Carabollace ma alle sue origini ed alle pendici nord delle dolomie di Rocca Nadore, al contatto con le argille eoceniche scaturiscono alcune sorgenti denominate Gruppo del Salto e Nadore (1087) (l/sec 3,70) e che sono utilizzate per l'abitato di Sciacca. Esse sono singolarmente denominate Fontana Bianca o Cicirata in territorio di Caltabellotta e Catalfano, Rovettano, Ficarulo e Salto in territorio di Sciacca. Più a valle e sempre nel V. Carabollace scaturiscono altresì le sorgenti Perrana 1 (1089) (l/s 1.00) il 10-10-1929), Perrana 2 (0,30) e Pioppo (0,30).

La Tab. 8 riporta le caratteristiche, delle sorgenti sopra elencate ed ubicate nella Fig. 40.

BACINO TERMALE DI SCIACCA ELENCO SORGENTI S.I.I. 1934													
VERSANTE MERIDIONALE - DAI BACINI MINORI TRA BELICE E VERDURA AL MAGAZZOLO													
n. ordine	bacino principale o secondario	corso d'acqua	denominazione sorgente	provincia	comune	località	coordinate		portata misurata		Temp. °C	qualità acqua	utilizzo
							longitudine	latitudine	data	l/sec			
1083	vari tra Carboi e Verdura	V. Carrozza	Acqua Sulfurea	Agrigento	Sciacca	Est di Sciacca	0°38'21"	37°30'21"	01/07/1928	1,00	56,00	termale sulfurea	usi terapeutici
1084	id.	id.	Acqua Salsa	id.	id.	id.	0°38'35"	37°30'16"	01/07/1928	0,50	16,00	salmastra	non utilizzata
1085	id.	id.	Molinelli	id.	id.	id.	0°38'54"	37°30'10"	10/10/1929	4,00	32,00	termale cloruratosodica	usi terapeutici
1086	id.	id.	Fontana Calda	id.	id.	Mendolito	0°39'54"	37°30'38"	01/07/1928	1,00	29,00	termale	abbeveratoio
1087	id.	v. Carab.	Gruppo del Salto e del Nadore	id.	id.	Nord R. Nadore	0°40'00"	37°34'60"	07/10/1929	3,70	16,00	--	acq. Com. Sciacca
1088	id.	id.	Carabollace	id.	id.	alveo carabollace	0°41'15"	37°31'35"	10/10/1929	0,50	56,00	termale sulfurea	non utilizzata
1089	id.	id.	Perrana	id.	id.	a Sud R. Ficuzza	0°42'15"	37°34'20"	09/10/1929	1,00	16,00	--	irrigazione

Tab. 8; elenco sorgenti bacino termale di Sciacca (fonte S.I.I., 1934)

## MISURE DELLE PORTATE NEL TEMPO

La Tab. 9 riporta (Aureli, 1996) la sequenza storica delle misure di portata nei punti d'acqua presenti presso il bacino idrotermale di Sciacca.

La tabella inoltre evidenzia la riduzione fino alla scomparsa, nel tempo, come già menzionato in Carapezza et alii (1976), di molte delle sorgenti in origine presenti nell'area.

BACINO TERMALE DI SCIACCA									
MISURE DI PORTATA NEL TEMPO – AURELI, 1996									
nome sorgente	Minitsero 1909	SII 1929	Gino G. 1953	C. Miniere 1953	Lerici 1968	ESA 1971	C.S.R. 1972	ALAIMO ET ALII 1976	AURELI 1988
solfurea grande	4,00	1,00	1,5-2,27	2,50	1,25-2,57	1,80		SI	2,50
solfurea piccola					0,05-0,097				
molinelli	4,00	4,00	3,47	5,00	4,00	5,25	3,00	SI	4,00
acqua santa	0,06	0,04	0,05		0,057-0,062	0,04			0,06
acqua delle palme									scomparsa
acqua salmastra		0,50							scomparsa
acqua degli occhi molinari									scomparsa
f. na calda		1,00	0,04	0,10	0,04	0,50	0,50	SI	0,05
carabollace		0,50	0,36		0,36	3,00		SI	1,00
cava lauro									0,05
campella						1,50	0,02		0,02
s. calogero-galati						0,50	PERIODICA		
mandorlito bevaio 1						1,00	0,01		0,01
mandorlito bevaio 2						1,00	0,01		0,01
acqua ferrata									scomparsa

Tab. 9; misure di portata nel tempo delle sorgenti presenti nel bacino termale di Sciacca (fonte: Aureli, 1996)

## MISURE DI PORTATA CONDOTTE DURANTE LA PERFORAZIONE POZZO SCIACCA 1

La Tab. 10 mostra la serie di misure di portata ed il relativo dato di temperatura, condotte in contraddittorio dai tecnici dell'AGIP e dell'Ente Terme di Sciacca (Sommaruga, 1954 – inedito) durante le fasi di perforazioni del pozzo SCIACCA 1 (periodo dicembre 1953 – marzo 1955) sulle seguenti sorgenti termali: **A.** Solfurea Grande; **B.** Solfurea Piccola; **C.** Acqua Santa; **D.** Molinelli.

Si tratta di un dato interessante perchè consente di verificare le variazioni di portata occorse in un periodo di tempo superiore ad un anno idrologico.

CORRELAZIONI MISURE DI PORTATA SORGENTI TERMALI PERIODO DIC.'53 – MAR'55								
DATA	SOLFUREA GRANDE		SOLFUREA PICCOLA		ACQUA SANTA		MOLINELLI	
	l/s	T °C	l/s	T °C	l/s	T °C	l/s	T °C
08-12-1953	1,81	51,5	0,095	54	0,059	34	4	31
06-01-1954	1,82	53	0,088	56	0,059	34	4	32
09-03-1954	1,81	53	0,070	53	0,061	34	4	31,5
09-04-1954	1,25*	53	0,050	55	0,058	34,5	4	32
21-04-1954	1,25*	54,5	0,068	56	0,070	34	4	32
08-06-1954	1,25*	54	0,083	56	0,063	36	4	32
19-07-1954	1,25*	55	0,058	56	0,072	35	n. m.	32
12-10-1954	1,25*	55	0,070	56	0,066	35	n. m.	32
16-12-1954	1,25*	55	0,083	55	0,069	35	4	32
15-01-1955	1,25*	54	0,095	55	0,070	35	n. m.	32
16-03-1955	1,25*	54	0,058	55	0,070	34	4	32

Tab. 10; misure di portata e di temperatura delle sorgenti termali (periodo dic'53 – mar'55)

NOTA: \* eseguita in un altro punto di emissione

Dall'analisi dei dati si nota una costanza di valori per le due sorgenti maggiori (Solfurea Grande e Molinelli) che indica un circuito di alimentazione più profondi a differenza delle due sorgenti termali minori (Solfurea piccola e Acqua Santa) che invece evidenziarono dei trend più complessi.

I diagrammi della Fig. 43 mostrano le correlazioni con i trend pluviometrici del periodo considerato (1953-55) i cui dati sono riportati nella Tab. 11.

Si constata una maggiore variabilità per la Sorgente Solfurea piccola.

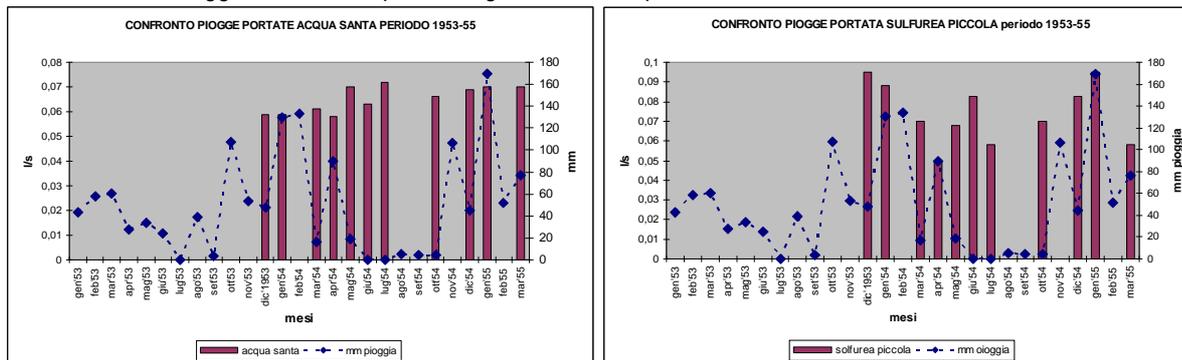


Fig. 43; Sorgenti Acqua Santa e Solfurea correlazioni trend di portata e precipitazioni meteoriche (periodo dic'53-mar'55)

			Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giù	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Carboi-Verdura	1953	SCIACCA	43,0	58,2	60,4	27,6	33,6	24,4	0,0	38,6	3,2	107,0	53,6	47,6	497,2
Carboi-Verdura	1954	SCIACCA	130,2	133,6	16,8	89,8	19,0	0,0	0,0	5,4	4,2	4,4	106,8	44,6	554,8
Carboi-Verdura	1955	SCIACCA	169,4	51,8	76,6	51,2	16,6	0,6	0,0	9,8	72,8	63,0	40,0	39,4	591,2

Tab. 11; analisi trend pluviometrici della stazione di Sciacca (anni 1953-55)

### MISURE DI PORTATA ESEGUITE

Nel corso della presente ricerca nelle sorgenti delle aree del bacino termale, ubicate in Fig. n. 40, sono state effettuate una serie di misure di portata i cui dati sono riportati nella Tab. 12.

MISURE DI PORTATA (l/s) SORGENTI BACINO DI SCIACCA – DIPASQUALE 2010-2011											
	31.08.2010	23.03.2011	14.05.2011	23.09.2011	28.10.2011		31.08.2010	23.03.2011	14.05.2011	23.09.2011	28.10.2011
montagna	0,034	0,095	0,071	0,025	0,019	ferrata					0,02
nadore	--	--	0,039	0,016		molinelli	--	--	--		(~2,50)
pioppo	--	0,68 (1,36)	0,44 (0,88)	0,14 (0,28)	0,16 (0,32)	solfurea grande	~1,5	--	--		1,33
fontana calda	0,093	0,143	0,130	0,088	0,051	solfurea piccola					no eseguibile
acqua santa	--	--	--		0,18	carabollace	--	--	--	secco	--
palme					0,02	abb. galati	secco	secco	secco	secco	secco

Tab. 12; misure di portata eseguite dallo scrivente

### RINVENIMENTO SORGENTE ACQUA SANTA

La Sorgente Acqua Santa così come altre sorgenti minori (Solfurea Piccola, Acqua Ferrata), presenti in origine presso la Valle dei Bagni, da alcuni decenni, a torto, venivano ritenute scomparse.

Sull'esistenza di tali sorgenti importanti notizie sono state ricavate dal rapporto tecnico, del 1 aprile 1950 (a firma del Direttore dell'Istituto di Chimica generale dell'Università di Palermo, Prof. Oliveri-Mandalà) a cui l'Azienda Speciale delle

Terme del Comune di Sciacca diede incarico di eseguire "l'analisi completa chimico e chimico-fisica delle acque termominerali denominate "acqua Solfurea" e "Acqua Santa".

Di tale documento si riporta il passo seguente che fornisce precise indicazioni sulla problematica relativa all'esistenza della sorgente Acqua Santa :*"l'acqua sulfurea scaturisce dentro una vasca posta al centro dell'atrio nello stabilimento Vecchie Terme. La vasca è lateralmente cementata, sul fondo sono visibili le polle di scaturigine. Nell'interno della vasca si notano precipitazioni di limo solfifero"* e poi di seguito prosegue :*"La sorgente dell'Acqua Santa è inaccessibile. L'acqua viene convogliata in un pozzetto in muratura ricavato sul muro di cinta dell'atrio entro in cui si trova l'acqua solfurea. Da tale pozzetto è stata ricavata l'acqua per l'analisi"*.

Viene pertanto spiegato che la sorgente non è affatto scomparsa, come comunemente creduto, ma semplicemente da decenni non è più direttamente visibile in quanto captata e murata nel bacino di raccolta del cosiddetto pozzo della Sorgente Selinuntina.

In base a tali notizie (ed alla formidabile memoria storica del Dott. Marciante - funzionario dell'Ente Terme) si è provveduto a eseguire dei rilievi di dettaglio dell'antico complesso termale, da decenni ormai chiuso e attualmente in deplorabile stato di abbandono, divenuto sede abituale di sbandati e clochard del luogo.

Le operazioni di pulizia dei locali hanno permesso allo scrivente di verificare l'esistenza nella parte retrostante all'atrio descritto nella relazione citata di due larghi pozzi-cisterna del diametro di circa 1,5 metri e della profondità di circa 5-6 metri. (punti 1- ovale in giallo - e 2 - ovale in rosso immagine in alto a sx della Fig. 44)



Fig. 44; immagine dei pozzi-cisterna presenti nell'atrio delle Antiche Terme

Le immagini di seguito riportate mostrano rispettivamente (immagine in alto a dx) il pozzo-cisterna nel quale sul fondo si constata la presenza del gorgoglio di alcune polle di acqua calda (la *sorgente solfurea piccola* citata in alcune fonti - Sommaruga, 1952 e successivi; Carapezza, 1977; Aureli, 1996).

L'immagine in basso a sx evidenzia invece il pozzo cisterna di destra che raccoglie usualmente le acque della *Sorgente Solfurea Grande* durante le fasi iniziali di pompaggio delle acque.

L'immagine in basso a dx mostra il pozzo cisterna svuotato con la presenza di tre condotti di uscita di diverse acque.

Il condotto 1, con maggiore portata, si riferisce alla Sorgente Acqua Santa mentre gli altri 2 condotti alla Acqua Salsa ed all'Acqua Ferrata.

Su tali sorgenti sono state eseguite sia misure di portata (vedasi Tab. 12) che nuovi campionamenti coordinati dallo scrivente e condotti dal Dott. G. Tranchida (dell'IAMC di Torre Granitola, diretta dal Dott. M. Sprovieri) delle cui conclusioni si dirà nel Cap. n. 10.

## BILANCIO IDROLOGICO

Il bilancio idrologico dell'area termale, è stato effettuato in passato da diversi AA con risultanze anche molto variabili. Alcuni AA avevano addirittura ipotizzato valori di disponibilità anche superiori ai 500 l/s considerando l'intera unità idrogeologica sicana come zona di alimentazione del bacino; si riportano di seguito i valori stimati dei vari parametri. METODO DI TURC: consente di stimare l'Evapotraspirazione annua (ET) calcolata mediante l'espressione seguente:

$$ET = P / (0,9 + P^2/L^2)^{1/2}$$

Si riporta di seguito la stima dei vari parametri

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3 = 300 + (25 \cdot 17,9) + (0,05 \cdot 5,735) = \mathbf{1034, 25}$$

pertanto la ET risulta essere pari a:

$$ET = 559 / [0,9 + (337561/1069673)]^{1/2} = 559 / (0,9 + 0,316)^{1/2} = 559 / 1,103 = \mathbf{507 \text{ mm}}$$

$$\text{Eccedenza idrica} = 559 - 507 = 52 \text{ mm}$$

METODO DI THORNTHWAITE E MATHER (The water Balance); il metodo ha il pregio di calcolare non solo l'evapotraspirazione potenziale ma anche l'evapotraspirazione reale ossia la quantità d'acqua effettivamente evaporata in funzione dell'acqua disponibile.

Il metodo si basa sulle seguenti equazioni

$$ET_{pm} = \beta \cdot 1,6 \cdot (10 \cdot T_m/l)^\alpha$$

dove i parametri rappresentano: a.  $ET_{pm}$ = Evapotraspirazione potenziale mensile; b.  $\beta$ = indice correttivo in funzione della latitudine della zona considerata; c.  $T_m$ = Temperatura media del mese considerato; l = Indice calorico annuo =  $\sum i$  ove si ha che: I.  $i = (T_m/5)^{1,514}$ ; II.  $\alpha = 1,6/100 l + 0,5$

La Tab. 13 riporta la stima delle Evapotraspirazione corretta.

staz.	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	ANNO
Sciaccia													
temp. media mensile	11,40	11,40	12,70	15,00	18,50	22,50	25,20	25,50	23,50	20,00	16,30	12,70	17,90
i	3,48	3,48	4,10	5,28	7,25	9,75	11,57	11,78	10,41	8,16	5,98	4,10	85,34
ET <sub>pm</sub> mm	27,60	27,60	33,80	46,20	68,50	98,90	122,40	125,10	107,30	79,30	54,00	33,80	822,50
E <sub>tpm</sub> corretta mm	27,60	27,60	34,80	50,80	83,60	121,60	153,00	146,40	110,50	79,30	54,00	33,80	923,00

Tab. 13; calcolo dell'aliquota di evapotraspirazione corretta

Si ottiene a seguire il valore dell'evapotraspirazione reale che si basa sull'utilizzo dei parametri di: a. permeabilità e b. tipo di vegetazione presente ricavando la Capacità di campo dai parametri di permeabilità e dello spessore medio H interessato dalle radici che dipende dal tipo colturale.

Per le due idrostrutture di R. ca Nadore e M. te S. Calogero vengono definiti i seguenti parametri: a. Permeabilità elevata; Cc= 0,16 definisce due tipi di colture: a. incolto produttivo con h = 1.625 mm e b. macchia con h= 1.263 mm.

La Tab. n. 14 riporta i valori complessivi espressi in mm.

Moltiplicando infine il valore di infiltrazione efficace per la superficie totale di affioramenti permeabili, stimabile in 5,5 Km<sup>2</sup> (ottenuta dalla sommatoria di circa 2,5 Km<sup>2</sup> per Rocca Nadore e 3,0 Km<sup>2</sup> per M. te S. Calogero) si ottiene un volume medio-annuo di alimentazione, del bacino termominerale, pari a 419000 mc/a (13,6 l/s).

Si dovrebbe poi considerare l'aliquota evaporata dalle stufe stimata (Aureli, 1996), in base ad alcune elaborazioni prudenziali, in ~ 103.000 mc/a; valore che deve sottrarsi al totale non prima di averlo decurtato di un 30% riferibile all'aliquota di vapore ricondensato e pertanto riportato in circolo; stimato (Aureli, 1996) in circa 31000 mc/a.

Si ottiene un valore definitivo di 347000 mc/a (11,0 l/s) valore molto vicino ai valori di portata sorgentizia misurati, evidenziando pertanto un bilancio sostanzialmente in equilibrio (considerando anche ulteriori limitati contributi dati dalle perdite subalveo delle Polle del Carabollace e da modeste perdite al mare che possono essere stimate complessivamente in un altro l/s).

mese	Pioggia	ETpm	M	Acquifero profondo		
	a	b	a-b	UM	Ei	Ie
N	86,00	54,00	32,00	32,00		
D	91,00	34,00	57,00	89,00		
G	80,00	28,00	52,00	93,00	48,00	33,00
F	70,00	28,00	42,00	93,00	42,00	29,00
M	58,00	35,00	23,00	93,00	23,00	16,00
A	37,00	51,00	-14,00	79,00		
M	18,00	84,00	-66,00	13,00		
G	6,00	122,00	-	0,00		
			116,00			
L	2,00	153,00	-	0,00		
			151,00			
A	7,00	146,00	-	0,00		
			139,00			
S	30,00	111,00	-81,00	0,00		
O	74,00	79,00	-5,00	0,00		
ANNO					113,00	78,00

Tab. 14; stima dell'infiltrazione efficace

## CAP. 8 - INTRODUZIONE ALLA CIRCOLAZIONE IDRICA NEGLI AMMASSI ROCCIOSI DELLA ZONA IN STUDIO

I rilievi condotti nell'area in studio alla varie scale (dalla macro alla micro scala) hanno permesso di verificare, come si è scritto, che l'acquifero termale si concentra in corrispondenza dei termini prevalentemente di natura carbonatico-dolomitica di età compresa tra il Trias ed il Giura appurandone le evidenti caratteristiche di fratturazione e di carsismo che gli conferiscono una marcata anisotropia.

### CORRELAZIONE TOPOGRAFICHE E DISTRIBUZIONE DELLE DISCONTINUITA'

Un primo fattore rilevante da considerare a parità di litologia e di caratteristiche fratturative nella stima delle disponibilità d'acqua dei vari ammassi rocciosi, è dato dalla disposizione delle discontinuità (Schoeller, 1974; Civita, 2005) rispetto all'andamento morfologico dei versanti che consente di suddividere le idrostrutture in due grandi classi: **A.** faglie e fratture con disposizione parallela ai versanti ove preferenzialmente si esplica l'infiltrazione; **B.** faglie e fratture con disposizione parallela coassiali al versante ove viene favorito il trasporto.

La Fig. 45 mostra, a titolo di esempio, ripreso da Google, l'areale in studio con la sequenza di idrostrutture presenti da Nord verso Sud di: R. ca Nadore-Serra Lunga (punto A) e verso Sud, in prossimità della costa (punto B), M. te S. Calogero-Rocca della Guardia dove sono riportate le possibili principali lineazioni e faglie presenti contraddistinte da precisi orientamenti preferenziali.

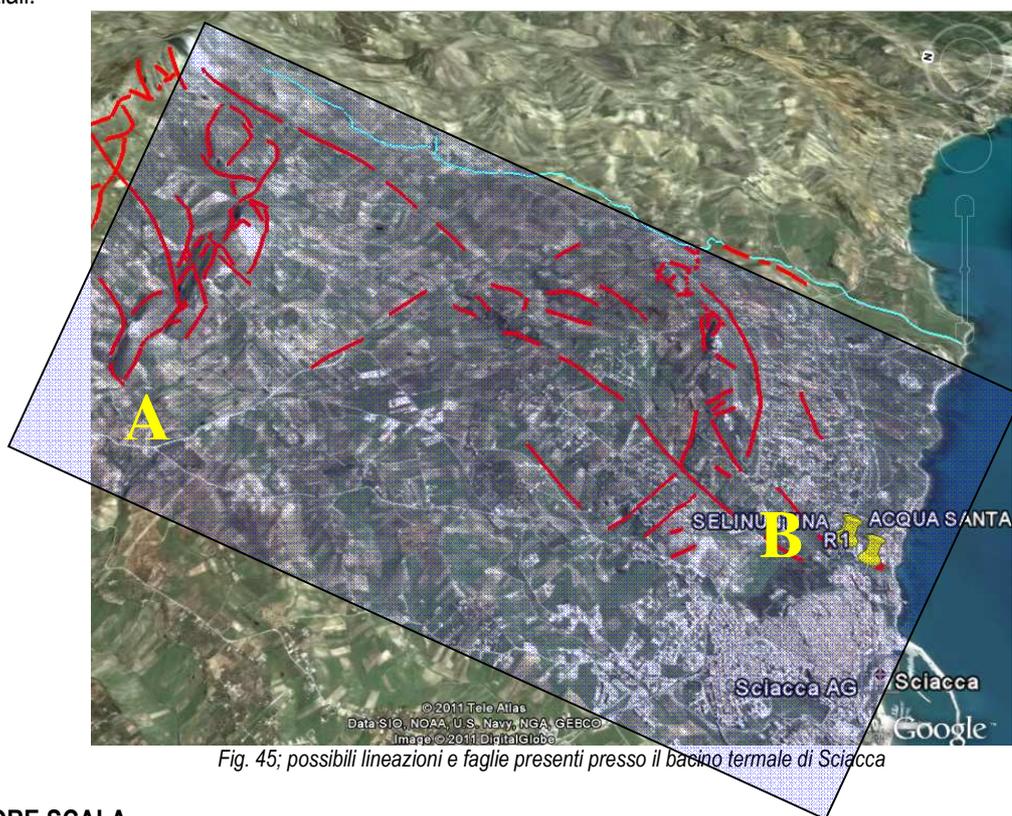


Fig. 45; possibili lineazioni e faglie presenti presso il bacino termale di Sciacca

### IL FATTORE SCALA

Il ruolo giocato dalla discontinuità varia in base ad un fattore scala come è possibile verificare nel caso pratico di Fig. 46, che mostra una serie di immagini (riprese presso il versante meridionale di Rocca Nadore) nelle quali è evidente l'incremento delle potenzialità dell'acquifero in fase di assorbimento e di infiltrazione efficace.

Si notino i fenomeni di carsismo, a dreni interdipendenti, che concentrano l'infiltrazione preferenziale in alcune punti rispetto ad altri dalle zone epircarsiche che costituiscono il livello aerato di tale acquifero.

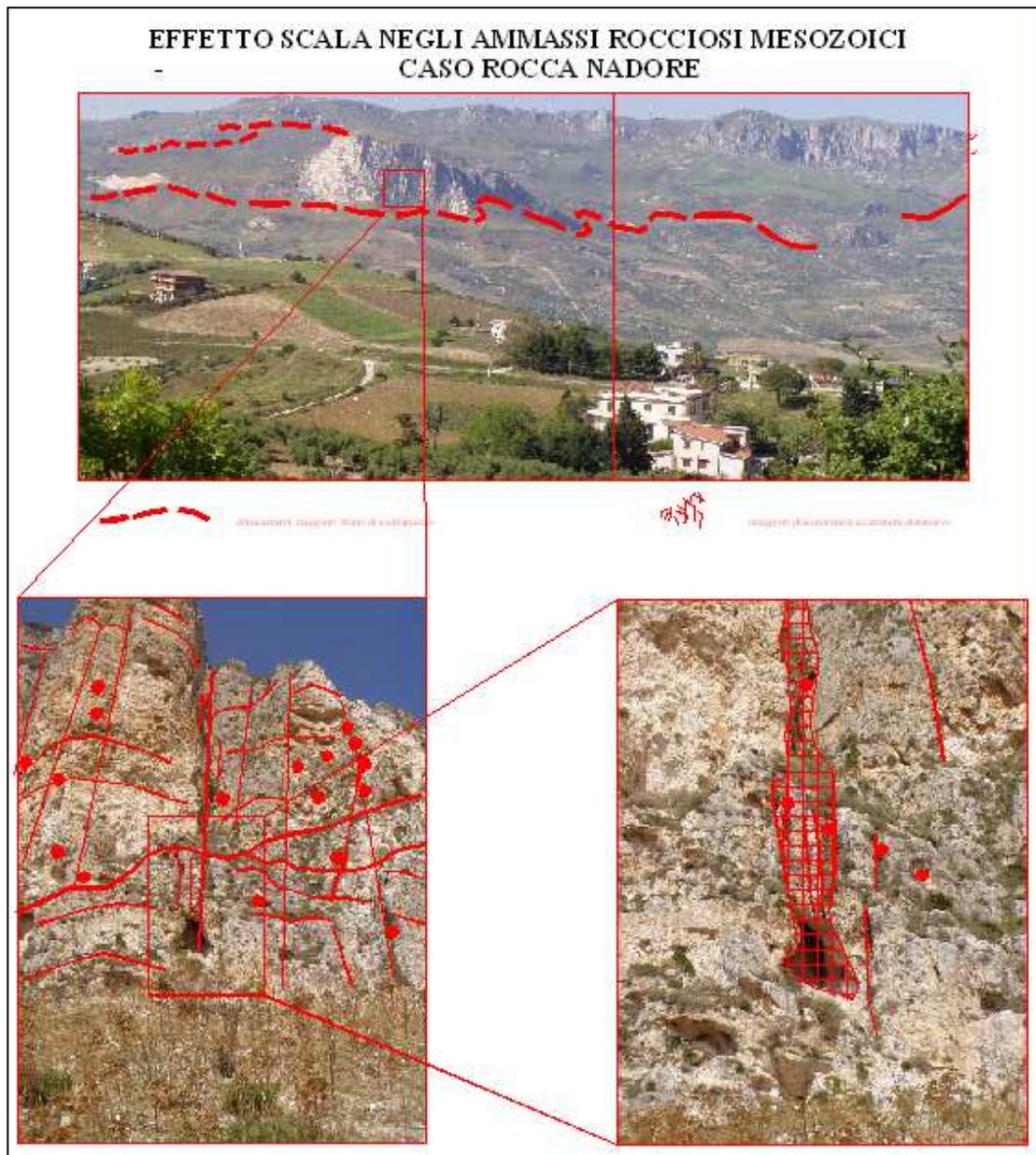


Fig. 46; evidenze di fenomeni carsici presso il versante meridionale di Rocca Nadore

La Fig. 47 (Kiraly, 1975) evidenzia - nel caso di acquiferi fratturati e carsici come quello in studio - l'influenza del fattore scala sulle conducibilità idraulica.

L'autore mette a confronto le risultanze delle seguenti 3 tipologie di prove: **A. prove in laboratorio in campioni di matrice roccia**; forniscono risposte soltanto sugli effetti dei pori e delle microfrazture definendo dei range compresi tra  $10E-12$  ed  $10E-6$  m/s; **B. prove in foro**; forniscono risposte sugli effetti delle macrofratture e solo parzialmente sugli effetti del network carsico stimando dei range di conducibilità compresi tra  $10E-7$  ed  $10E-3$  m/s; **C. stime di permeabilità da rilievi idrostrutturali**; solo tali rilievi possono fornire (se opportunamente eseguiti in affioramenti significativi, ove è evidente l'effetto dello strato fratturativo e del carsimo - vedasi Cap. n. 12), i range di permeabilità in grande compresi tra  $10E-6$  e  $10E-1$  m/s. Il grafico mette in evidenza come le diverse tipologie di prove eseguite nel medesimo acquifero possano dar luogo a stime di conducibilità, specie nel primo caso, pericolosamente sottostimate (si pensi soltanto agli effetti di un eventuale rilascio in falda di un inquinante in acquiferi del genere).

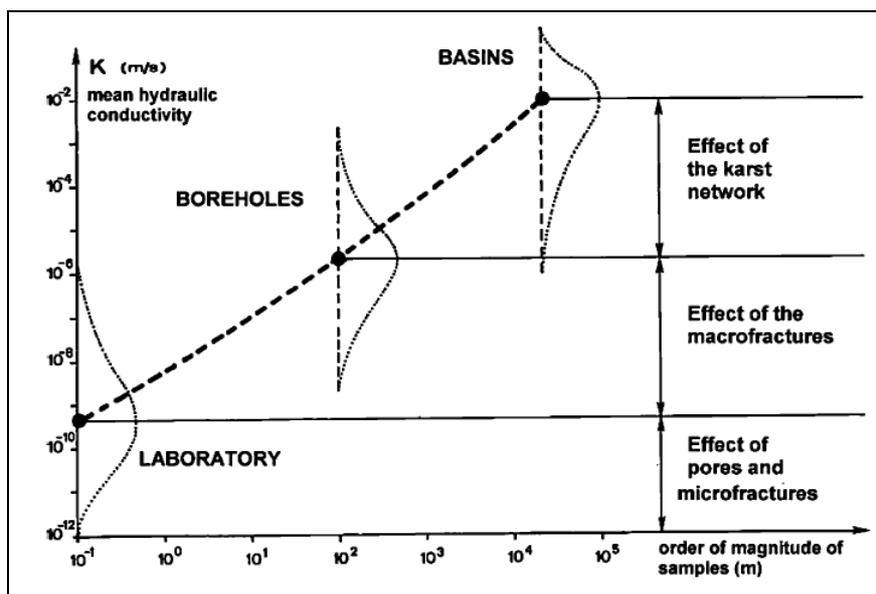


Fig. 47; stime di K in acquiferi fratturati e carsici (Kiraly, 1975)

## INFLUENZA DEL GRADO FRATTURATIVO SULLA CONDUCIBILITA'

Le proprietà idrauliche dell'acquifero termale in studio, intensamente fratturato e carsificato, differiscono al variare di diversi parametri (apertura, orientazione, connettività e riempimento di materiale -Birgesson, 1993) poiché il flusso idrico avviene lungo le maggiori famiglie di discontinuità (Snow, 1968, Louis, 1973), specie nelle damage zone delle maggiori discontinuità portanti (Civita, 2005) presenti nell'area, ovvero i sistemi di discontinuità più recenti che nell'area sembrano svilupparsi preferenzialmente lungo le direttrici NE-SO.

La stima del grado fratturativo, nei vari sottodomini che costituiscono l'areale, è stato effettuato dallo scrivente con una serie di misure geomeccaniche spazialmente distribuite in diverse stazioni per maggiori dettagli si veda il Cap. n. 5)

La Fig. 48 (Isherwood, 1979) consente inoltre di verificare i range di permeabilità nei più comuni acquiferi (sia in terreni sciolti che negli ammassi rocciosi).

Conductivity, m/s.	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$
Degree of Conductivity	V. High	High	Moderate				Low	V. Low	
Soil Type	Gravel	Sands	V. Fine Sands, Silts, Glacial Till, Stratified Clays				Homogeneous Clays		
Rock Type			Fractured Sandstone		Shale				
			Soln. Cavities Limestone + Dolomite		Unfractured				
			Cavernous / Fractured Basalt		Dense				
			Fractured/Weathered		Volcanics excl. Basalt				
			Weathered		Metamorphics				
			Weathered		Bedded Salt				
			Weathered		Granitic Rocks				

Fig. 48; variazione dei gradi di conducibilità idraulica negli acquiferi carbonatici fratturati e carsici (Isherwood, 1979)

Gli acquiferi che si sviluppano in litologie calcaree e dolomitiche mostrano il range di variabilità di conducibilità (m/s) più elevato, oltre i 10 ordini di grandezza (vedasi riquadro in giallo) per le possibili zonazioni: I. zone poco o niente fratturate; contraddistinte da valori di k compresi tra  $10E-7 \div 10E-9$  m/s (nel caso di matrice di roccia fortemente cementata). II. zone

*fratturate*; contraddistinte da valori di  $k$  compresi tra  $10E-3$  e  $10E-6$  m/s. III. *zone fratturate e carsiche*; contraddistinte da valori di  $k$  compresi tra  $10E-1$  e  $10E-4$  m/s.

Uno dei parametri che più influiscono sull'estrema variabilità di  $k$  è il cosiddetto *grado di fratturazione* (Civita, 2005) che è vincolato alla stima di alcune grandezze di seguito descritte: **A.** *la spaziatura*; ovvero la distanza media tra le discontinuità appartenenti alla stessa famiglia; **B.** *l'intercetta*; rappresenta la distanza media delle discontinuità rispetto ad una base di misura; **C.** *l'intensità di fratturazione o frequenza*; il numero di fratture per unità di volume ( $J_v$ ) o, nel caso di pareti singole, (nelle quali è difficile stimare il dato di fratturazione nelle tre direzioni) il numero di discontinuità per metro di frequenza. **D.** *il coefficiente di rugosità delle pareti delle fratture (JRC- Joint Roughness Coefficient)*; che definisce "l'apertura effettiva" delle fratture (Scesi&Gattinoni, 2007) del quale si forniscono maggiori dettagli nel paragrafo di seguito descritto. **E.** *VRU (Volumi Roccosi Unitari)*; il volume dell'insieme di elementi discreti di materiale roccia delimitato dalle varie discontinuità.

## CLASSI DI JRC

Uno dei parametri fondamentali da stimare (Lee&Palmer, 1993) nei rilievi idrostrutturali alla mesoscala è il dato medio del JRC (Joint Roughness Coefficient) ovvero il grado di rugosità delle pareti delle fratture s.l. il cui valore, variabile tra 0 e 20 (stimabile direttamente mediante l'utilizzo del *pettine di Beniaski* o *profilometro*) o, per correlazione, attraverso l'uso di profili di JRC noto.

L'esperienza pratica ha permesso di suddividere tale range in 3 classi principali di JRC (Scesi&Gattinoni, 2007) di seguito elencati: **A.**  $0 < JRC < 6$ ; intervallo che raggruppa fratture con profili delle pareti da lisci a poco ondulati nei quali si è verificato che l'effetto della rugosità può essere tralasciato sino ad aperture dell'ordine di  $10^{-4}$  m; **B.**  $8 < JRC < 14$ ; intervallo che raggruppa fratture con profili di rugosità intermedi nei quali si è verificato che l'effetto della rugosità può essere tralasciato sino ad intervalli di apertura comprese tra  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$  m; **C.**  $16 < JRC < 20$ ; intervallo che raggruppa fratture con profili di rugosità elevati nei quali si è verificato che l'effetto della rugosità può essere tralasciato sino ad aperture dell'ordine di  $10^{-3}$  m).

Gli intervalli minimi di apertura sopra elencati sono quelli che consentono di avere ancora, per le tre classi di rugosità, regimi laminari di flusso.

Comunque nelle applicazioni correnti l'influenza delle asperità dei giunti può essere tralasciato nel caso di giunti poco rugosi - $JRC < 12$ - (Gattinoni&Scesi, 2004).

Nel caso invece di JRC maggiori deve essere considerata *l'apertura critica o efficace delle fratture* ( $a$  o  $e_e$ ) rispetto all'apertura meccanica delle discontinuità misurata durante i rilievi, che può essere stimata attraverso la Formula di Burton et alii, 1985 (da Clerici&Sfratato, 2008)

$$e_i = e^2 / JRC^{2.5}$$

## FLUSSO DELLE ACQUE IN MEZZI NON DARCIANI

In condizione di regime turbolento negli acquiferi lapidei la legge di Darcy non può essere applicabile causa l'intensa fratturazione e carsismo presenti, pertanto in tali condizioni la conducibilità idraulica può essere assunta proporzionale alla 3<sup>a</sup> potenza della *luce* delle discontinuità (Civita, 2005) nel caso di *macro e meso scala, non per la piccola alla quale si dovrebbe parlare dei REV, Representative Element Volume.*

## ANDAMENTO DELLE DISCONTINUITA' CON LA PROFONDITA'

Le osservazioni sperimentali hanno permesso di verificare che, in genere, con la profondità diminuisce sia il grado di apertura che la frequenza complessiva di fratturazione dell'ammasso.

Ciò non dipende dal tipo di roccia ma è strettamente interconnesso alla pressione litostatica ed allo stato tensionale esistente.

Tale assunto è bene evidenziato nel grafico riportato nell'immagine di sx della Fig. 49 (Lee&Farmer, 1993)

Nell'areale in studio si è constatato, grazie anche alle risultanze delle numerose missioni speleologiche condotte negli anni dalla Commissione Boegan presso M. te S. Calogero, che i condotti carsici tendono a svilupparsi in profondità all'interno dell'acquifero mesozoico; un esempio è dato dal pozzo Carsico Trieste presente all'interno di M. te S. Calogero (vedasi Cap. n. 11, Figg. 89, 91 e 93).

Si tratta pertanto di un parametro di difficile stima attraverso i soli rilievi di superficie.

## TIPOLOGIA TERMINAZIONI NELLE FRATTURE

Un parametro molto importante per definire la potenzialità di circolazione idrica, per le diverse possibili tipologie di pattern fratturativi evidenziati, è il cosiddetto *indice di terminazione* (ISRM, 1978).

Ciascuna frattura è contraddistinta da due terminazioni, ognuna delle quali può essere classificata con le seguenti sigle: 1. **A** : terminazione di una frattura su un'altra frattura; 2. **I**: terminazione di una frattura sulla matrice roccia; 3. **O**: terminazione di una frattura non osservabile poiché continua al di là dell'affioramento in studio.

Le combinazioni possibili per ciascuna frattura sono 7 (vedasi schema sotto).

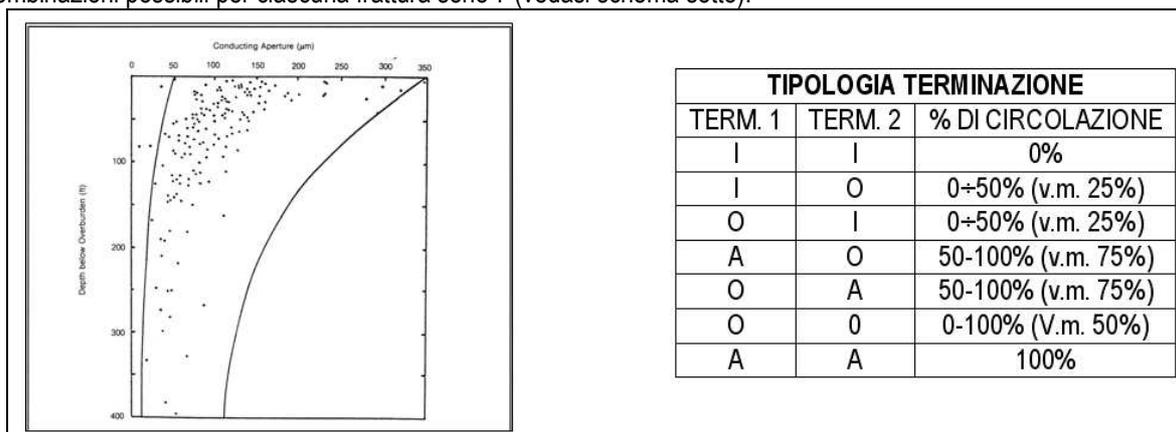


Fig. 49; andamento del grado di apertura delle fratture con la profondità (Lee&Farmer, 1993) e possibili combinazioni di terminazione delle fratture

Pertanto già in base ai rilievi di campagna è possibile stimare per ciascuna stazione (in base al prevalere di una o più delle tipologie di terminazioni) la *potenzialità di circolazione idrica*.

## DIAGRAMMA TRIANGOLARE DELLE TERMINAZIONI

Una metodica grafica che consente di avere stima semiquantitativa (delle potenzialità di interconnessione del network fratturativo rilevato in un dato ammasso) è dato dal diagramma triangolare (Ortega&Mallett, 2000, Micarelli et alii, 2004) che consente di specificare le ripartizioni % delle tre seguenti tipologie di fratture (vedasi Fig. 50 e Fig. 52) : **a. isolated**; **b. singly connected**; **c. multiply connected**).

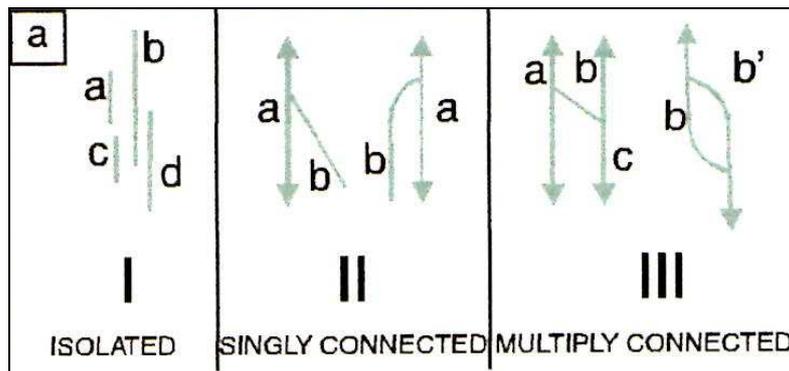


Fig. 50; tipologie di interconnessione delle fratture (da Micarelli et alii, 2005)

Gli esempi sull'utilizzo di tale diagramma vengono riportati nei casi studio riprodotti nei paragrafi a seguire ( Fig. 52).

### CONCETTO DI INTERCONNESSIONE

L'analisi della totalità di terminazioni, misurate in ciascun affioramento, consente - assieme al dato di spaziatura e persistenza - di determinare le potenzialità di *interconnessione* di un dato ammasso.

La Fig. 51 (Scesi&Gattinoni, 2007) mostra diversi esempi di interconnessione tra i set di fratture presenti in un dato ammasso così descrivibili (nel caso di fratture non riempite da materiale impermeabile): 1. caso a; completa interconnessione delle fratture; 2. caso b; connessione parziale; 3. caso c; nessuna interconnessione.

Tale parametro permette anche di avere stima della possibile direzione preferenziale di flusso.

Il concetto teorico parte dal presupposto che, come è ovvio, se le fratture sono interdipendenti (le une dalle altre) si comportano come canali isolati e pertanto non contribuiscono allo spostamento della massa fluida; viceversa se le discontinuità sono interconnesse tra loro la permeabilità è influenzata dalle varie famiglie di discontinuità presenti nell'ammasso roccioso ed il flusso segue una vera e propria rete di fratture interconnesse.

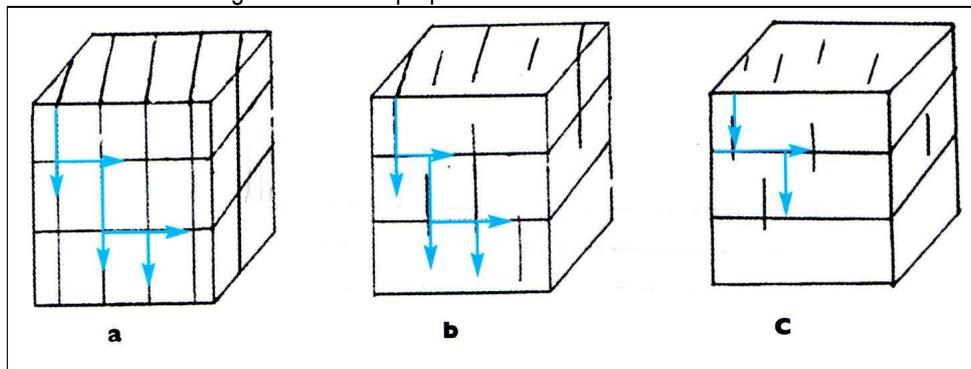


Fig. 51; diverse tipologie di interconnessione

Rouleau&Gale (1985) hanno verificato che il concetto di interconnettività ( $I_{ij}$ ), tra due famiglie di discontinuità, può essere espresso dalla seguente formula:

$$I_{ij} = L_i / S_i \sin \alpha_{ij}$$

dove  $L_i$  e  $S_i$  rappresentano, rispettivamente, la lunghezza media e la spaziatura media di ciascuna famiglia mentre  $\sin \alpha_{ij}$  rappresenta l'angolo compreso tra le due famiglie di discontinuità considerate

Pertanto se  $n$  rappresenta il numero di famiglie di discontinuità presenti nell'ammasso in studio, l'interconnettività complessiva per ciascuna famiglia è data dalla seguente formula

$$I_i = \sum I_{ij}$$

Nel caso di  $l_i > 1$  la famiglia considerata è interconnessa con le altre famiglie che compongono l'insieme discontinuo del dato ammasso roccioso se, viceversa, si ha  $l_i < 1$  allora la data famiglia di discontinuità risulta non interconnessa con le altre. Un'ulteriore metodica si basa sulla teoria probabilistica, determinando la probabilità delle fratture, presenti in un dato ammasso, di essere connesse attraverso la cosiddetta *Teoria della Percolazione* che si basa sulla stima del *fattore di percolazione* che dipende direttamente dal cubo del rapporto tra: raggio medio delle fratture (r) spaziatura media delle discontinuità (s) mediante la seguente formula.

$$\xi = \pi^2 (r/s)^3$$

**NOTA:** Valori di  $\xi > 10$  indicano ammassi intensamente fratturati.

Tale fattore consente di ottenere la *frequenza di percolazione* che è funzione sia della connettività che delle caratteristiche del volume di roccia elementare considerato .

$$v = f(VRE; \xi)$$

Varia tra 0 e 1 (con  $\xi > 10$ , v viene posto uguale a 1).

In genere tale fattore viene stimato attraverso la seguente relazione:

$$v \sim 54 (p - p_c)$$

I due parametri riportati nell'equazione precedente risultano essere pari a:

$p \sim \pi^2 r^3 / 4s^3$  ( definisce la probabilità che due fratture si intersecano)

$p_c \sim 1/(z-1)$  numero di canali che si dipartono da ciascuno nodo (in media pari a 4).

Le varie esperienze sperimentali condotte dagli AA hanno evidenziato che: a. se  $p < p_c$  non si ha interconnessione e pertanto l'ammasso può essere considerato non permeabile; b. se  $p > p_c$  si ha invece interconnessione e pertanto l'ammasso è permeabile e trasmissivo.

### STIMA DELLA PERMEABILITA' NEGLI AMMASSI ROCCIOSI

Vengono di seguito riportate alcune delle diverse espressioni possibili, scelte per la loro speditezza, al fine di poter consentire una stima rapida del valore di conducibilità in ciascun ammasso studiato.

Nel caso di range di  $JRC < 12$  (casi nei quali può essere trascurato l'effetto delle rugosità delle fratture) è stata utilizzata (Snow, 1967, in Civita, 2005) la seguente formula:

$$K = gd^3 / 12 \mu CS$$

La funzione C si approssima a circa 4 e tale relazione assolve normalmente alle condizioni di flusso in un mezzo fratturato.

Nel caso di  $JRC > 12$  deve essere considerata l'apertura critica delle fratture e pertanto si può utilizzare la seguente espressione che esprime il grado di *permeabilità intrinseca*

$$K = 4 \pi v a^3 r^2 / 15 s^3 [\text{lunghezza}^2]$$

a= apertura efficace o critica definibile attraverso la seguente formula (Burton et alii, 1985)

$$a = e^2 / JRC^{2.5} (1)$$

dove i simboli e e **JRC** stanno ad indicare rispettivamente: a. apertura meccanica cioè la misura rilevabile in sito e b. il Joint Roughness Coefficient.; b.  $r = 2L / \pi$  (raggio medio delle discontinuità); c. L= lunghezza media delle discontinuità (persistenza); d. s= spaziatura media delle discontinuità.

Per ottenere la conducibilità idraulica (k) basterà applicare la seguente formula.

$$k = K g \rho h$$

g= forza di gravità

$\rho$  = densità

$\eta$  = viscosità dinamica

Nel caso infine che in un ammasso roccioso vi sia una famiglia prevalente, tra le varie riscontrate, caratterizzata da discontinuità regolarmente spaziate e persistenti conviene applicare, per la stima del coefficiente di permeabilità, la formula di seguito riportata (Snow, 1968).

$$K = 1/12 E (e^3)/S$$

dove:  $E (e^3)$  = media del cubo dell'apertura meccanica della frattura;  $s$  = spaziatura tra le fratture

Vengono di seguito riportati una serie di esempi evidenziati durante i rilievi in affioramenti significativi alla meso scala.

Si ricorda che si tratta soltanto di stime speditive al fine di evidenziare le variazioni riscontrabili, da punto a punto, in un acquifero spiccatamente anisotropo e discontinuo come è il caso dell'acquifero termale di età mesozoica in studio.

### **STIMA DI PERMEABILITA' NEGLI AMMASSI OMOGENEAMENTE FRATTURATI**

Viene riportato di seguito, per tale tipologia di ammassi rocciosi, l'esempio relativo al grado di fratturazione misurato in un tratto del soffitto della Grotta del Santo nel quale i set delle famiglie di discontinuità risultavano particolarmente ben esposti.

La Fig. n. 52 mostra un riepilogo delle risultanze del rilievo geomeccanico eseguito (vedasi riquadro in rosso) lungo due scansioni le cui direzioni, tra loro perpendicolari, sono riportate nell'immagine allegata.

Si può constatare anche un elevato grado di interconnessione (vedasi diagramma triangolare di Ortega e Mallett, 2000).

L'analisi dei dati e la successiva applicazione della Formula di Snow (1967) ha permesso di stimare un dato di  $K$ , per tale settore di ammasso, pari a  $1,3 E-05$  m/s.

Si tratta di un valore che è correlabile ai dati di permeabilità riportati negli schemi di correlazione di (Isherwood, 1979) e di Civita 2005 (vedasi paragrafi precedenti).

La presenza di un certo grado di sealing delle fratture, da parte di precipitati geotermali, ha con ogni probabilità ridotto il dato di  $K$  originario.

Si segnala lo sviluppo di carsismo in corrispondenza dei nodi d'intersezione tra i principali set presenti orientati preferenzialmente con le seguenti direzioni: NE-SO, ESE-ONO, NO-SE e in misura minore N-S.

Si constata la maggiore persistenza dei primi due orientamenti.

**ELABORAZIONE MISURE GEOMECCANICHE  
STAZIONE S. CALOGERO -STAZIONE 3 (GROTTA DEL SANTO)**

**s. calogero 3A EO**

PROG m	Δm	L m	T1	T2	% INTERC	JRC		APERTURA mm	
						da	a	da	a
0.02	0.02	0.08	A	A	100	0	2	13	17
0.107	0.075	0.19	A	A	100	2	4	18	22
0.21	0.105	0.42	A	A	100	4	6	18	20
0.262	0.055	0.12	A	A	100	2	4	20	33
0.38	0.095	0.15	A	A	100	0	8	15	18
0.53	0.17	-	A	O	75	2	4	22	25
0.6	0.07	0.16	A	A	100	0	2	15	17
0.77	0.16	-	A	O	75	0	8	22	25
0.138	0.41	1.5	A	A	100	0	8	34	38
0.121	0.03	0.08	A	A	100	2	4	18	21
0.127	0.06	0.12	A	A	100	2	4	24	28
	<b>0.11</b>	<b>0.44</b>			<b>95.6</b>	<b>2.6</b>	<b>4.9</b>	<b>20.6</b>	<b>24.0</b>
						v m	<b>1.9</b>	v m	<b>22.3</b>

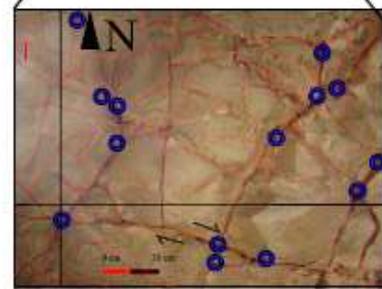
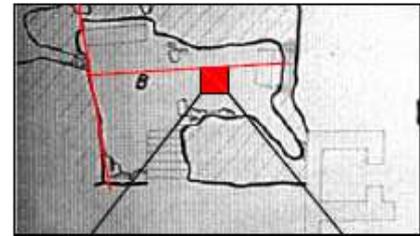
**s. calogero 3B NS**

PROG m	Δm	L m	T1	T2	% INTERC	JRC		APERTURA mm	
						da	a	da	a
0.04	0.04	0.08	A	A	100	2	4	12	15
0.08	0.05	0.38	A	A	100	2	4	10	13
0.185	0.095	0.12	A	A	100	6	8	15	17
0.225	0.04	0.16	A	A	100	4	6	22	26
0.24	0.035	1.5	O	O	75	0	8	20	24
0.32	0.06	0.11	A	A	100	0	2	12	16
0.38	0.06	0.18	A	A	100	4	6	9	12
0.4	0.11	0.07	A	A	100	2	4	17	19
0.53	0.04	0.21	A	A	100	2	4	25	28
0.64	0.11	0.75	A	O	75	0	8	22	25
0.72	0.08	0.16	A	A	100	4	6	14	18
	<b>0.07</b>	<b>0.34</b>			<b>95.4</b>	<b>3.45</b>	<b>5.45</b>	<b>16.2</b>	<b>19.3</b>
						v m	<b>4.48</b>	v m	<b>17.7</b>

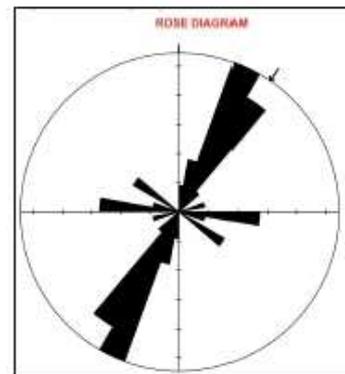
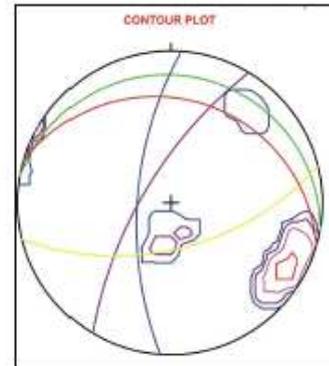
**s. calogero 3 complessivo**

PROG m	Δm	L m	T1	T2	% INTERC	JRC		APERTURA mm	
						da	a	da	a
	0.02	0.08	A	A	100	0	2	13	17
	0.075	0.19	A	A	100	2	4	18	22
	0.105	0.42	A	A	100	4	6	18	20
	0.055	0.12	A	A	100	2	4	28	33
	0.095	0.15	A	A	100	0	8	15	18
	0.17	-	A	O	75	2	4	22	25
	0.07	0.16	A	A	100	0	2	15	17
	0.16	-	A	O	75	0	8	22	25
	0.41	1.5	A	A	100	0	8	34	38
	0.03	0.08	A	A	100	2	4	18	21
	0.06	0.12	A	A	100	2	4	24	28
	0.04	0.08	A	A	100	2	4	12	15
	0.05	0.38	A	A	100	2	4	10	13
	0.095	0.12	A	A	100	6	8	15	17
	0.04	0.16	A	A	100	4	6	22	26
	0.035	1.5	O	O	75	0	8	20	24
	0.06	0.11	A	A	100	0	2	12	16
	0.06	0.18	A	A	100	4	6	9	12
	0.11	0.07	A	A	100	2	4	17	19
	0.04	0.21	A	A	100	2	4	25	28
	0.11	0.75	A	O	75	0	8	22	25
	0.08	0.16	A	A	100	4	6	14	18
	<b>0.09</b>	<b>0.36</b>			<b>95.45</b>	<b>3.18</b>	<b>5.18</b>	<b>16.2</b>	<b>19.3</b>
						v m	<b>4.18</b>	v m	<b>17.73</b>

PARAMETRI PER LA STIMA DELLA CONDUCTIBILITA'



● EVIDENZE CARISMO | DIREZIONE SCAN LINE



	E-O	N-S	TOT
JRC	3.90	4.45	4.18
L/s (m)	3.90	4.85	4.33
r (m)	0.43	0.22	0.25
ξ	>10	>10	>10
p	47.16	109.49	51.30
pc	0.33	0.33	0.33
K m/s		1.30E-05	

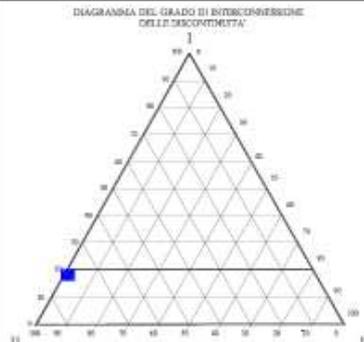


Fig. 52; sintesi dell'insieme di rilievi geomeccanici ed idrostrutturali condotti presso la Grotta del Santo (M. te S. Calogero)

## EFFETTI DELL'ANISOTROPIA IN UN AFFIORAMENTO DI CALCARI A NUMMULITI POCO FRATTURATE

Le immagini riportate nella Fig. 53 mostrano le caratteristiche fratturative dell'affioramento di calcareniti a nummuliti, presso le pareti della cava abbandonata in C. da Mendorlito, dove è stata eseguita la stazione geomeccanica RGM n. 5.

Nella figura sono state evidenziate le seguenti peculiarità: **A.** la presenza della successione di natura calcarenitica con una netta stratificazione (di spessore compreso tra i 20 ed i 35 cm); **B.** la stratificazione è contraddistinta da superfici con basso grado di JRC e ridotta apertura; **C.** oltre alla stratificazione si riscontra la presenza di una debole fratturazione; **D.** l'ammasso presenta caratteristiche di bassa persistenza e bassa interconnessione; **E.** tale aspetto è indice di bassi valori di permeabilità potenziale di tipo secondario; **F.** si è riconosciuta lungo la linea di scansione un'unica faglia di rigetto minimo di circa 8 cm.

Pertanto in generale la permeabilità di tale ammasso roccioso è influenzato più dalla permeabilità per porosità della roccia che dal grado di fratturazione.

La Tab. 15 mostra le evidenze dei rilievi condotti in due scan line eseguite in due pareti della cava, tra loro pressoché perpendicolari, consentendo così di discernere l'intero pattern fratturativo interessante l'ammasso in studio.

Applicando la formula di Snow (poiché il  $JRC < 12$ ) si ottengono stime di permeabilità molto basse.

La Fig. 54 mostra, invece, il dettaglio del limite SO della parete della cava, perpendicolare al versante, ove è possibile constatare una modifica delle condizioni fratturative generali per la presenza di un'estesa diaclasi riempita da materiale di natura terrigena.

L'esempio riportato assume una valenza in quanto cosente di evidenziare, alla maso scala, dei processi presenti anche alla macroscala.

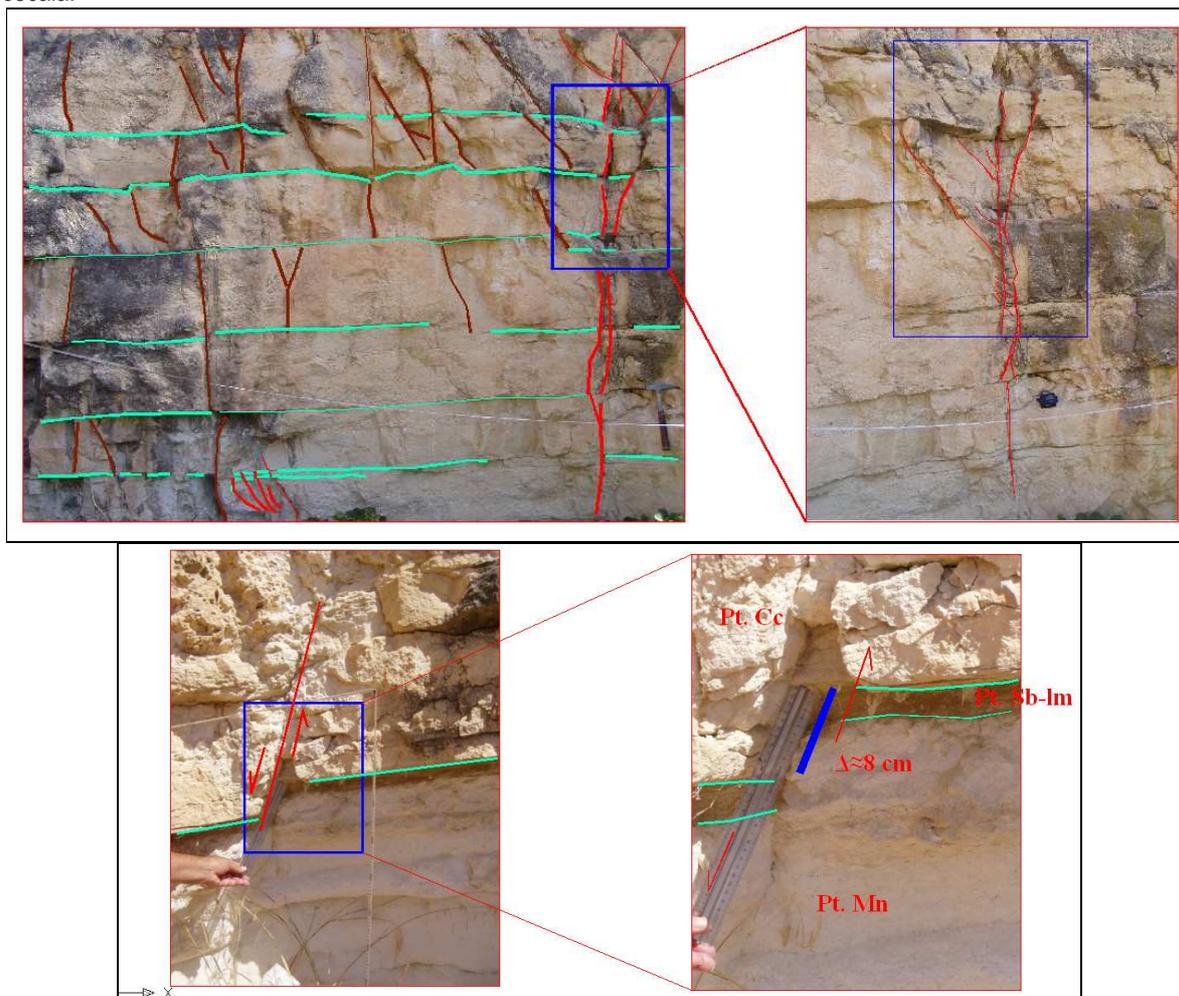


Fig. 53; dettaglio del grado fratturativo presente nelle calcareniti a nummuliti di Cava Mendolito

RGM N. 5 - EVIDENZE DELLO STATO FRATTURATIVO NELLE DUE PARETI DELLA CAVA						
NUMMULITI PARETE E-O				NUMMULITI PARETE N-S		
spaz. rel.	Lunghezza cm	JRC		apertura mm		
		da	a	da	a	
31	1000	6	8	5	7	
48	17	12	14	0,2	2	
56	150	10	12	10	12	
143	54	6	8	0	2	
2	14	8	10	2	3	
18	25	12	14	0	0	
37	17	14	16	2,5	4	
21	500	14	16	15	25	
22	58	12	14	2	3	
64	28	6	8	0,5	1	
110	16	10	12	1	1,5	
263	25	12	14	0,1	1	
95	18	8	10	0,05	0,5	
48	500	6	8	2	4	
<b>68,43</b>	<b>173</b>	<b>9,71</b>	<b>11,71</b>	<b>2,88</b>	<b>4,71</b>	
<b>L/s</b>	<b>2,53</b>	<b>JRC</b>	<b>10,71</b>	<b>e</b>	<b>3,8</b>	
2	300	12	14	0,5	1	
22	25	10	12	1,5	2	
44	220	8	10	1	3	
36	42	10	12	0,5	1	
18	32	6	8	1	2	
86	204	10	12	3	4	
52	600	14	16	2	4	
112	24	6	8	1	1	
16	1100	4	6	2	5	
18	38	6	8	1	2	
65	36	6	8	1	2	
43	1200	10	12	1	2,5	
<b>42,83</b>	<b>318,42</b>	<b>8,5</b>	<b>10,5</b>	<b>1,29</b>	<b>2,46</b>	
<b>L/s</b>	<b>7,43</b>	<b>JRC</b>	<b>9,5</b>	<b>e</b>	<b>1,88</b>	

Tab. 15; rilievi geomeccanici condotti nelle pareti di cava di C. da Mendolito

Possono essere schematizzati, in tale specifico tratto dell'ammasso, varie zone a diversa potenzialità idraulica così distinte: **A. partimento superficiale (Pr. Tv)**; costituito da terreno vegetale, di spessore variabile, che influisce variamente sulla capacità di infiltrazione e di ruscellamento delle acque di pioggia; **B. partimenti di ammasso roccioso poco fratturato ( Pr. A.R. 1 e Pr. A.R. 2)**; ove si constatano porzioni di ammasso roccioso (data da calcareniti mediamente cementate) nelle quali la circolazione idrica è dovuta alla permeabilità per porosità primaria della roccia (si constati come risultino quasi del tutto assenti le fratture persistenti, indice di relativa bassa interconnettività). **C. partimento di fasce di fratturazione e/o riempimento ( Pr.Fc/Rm)**; l'immagine mostra la presenza, ai margini dei due partimenti di protolite 1 e 2, di due zone di fratture riempite da materiale terrigeno di diversa granulometria.

La prima delle due zone - denominata Pr Rm1 (a sinistra del partimento Pt A.R.1 ) è una frattura beante della larghezza variabile tra 0,70e 0,90 m e di lunghezza uguale all'affioramento.

All'interno della frattura, in base alla granulometria del materiale di riempimento, possono essere distinte due sottozone: **I.** la zona più superficiale, a diretto contatto con il sovrastante spessore di terreno agrario, è contraddistinta da una breccia con matrice sabbiosa debolmente limosa (dello spessore di circa un metro) con valori di k (vedasi riquadro in verde di Fig. 55– Civita, 2005) stimabile in un range attorno 10E-4 m/s;

**II.** la zona intermedia è invece costituita da sabbie e sabbie limose (vedasi riquadro in giallo di Fig. 55 – Civita, 2005) con valori di permeabilità riconducibili a range attorno ai 10E-5 m/s).

**EVIDENZE MESOSTRUTTURALI DI ANISOTROPIE E DISCONTINUITA' NELLE CALCARENITI A NUMMULI**

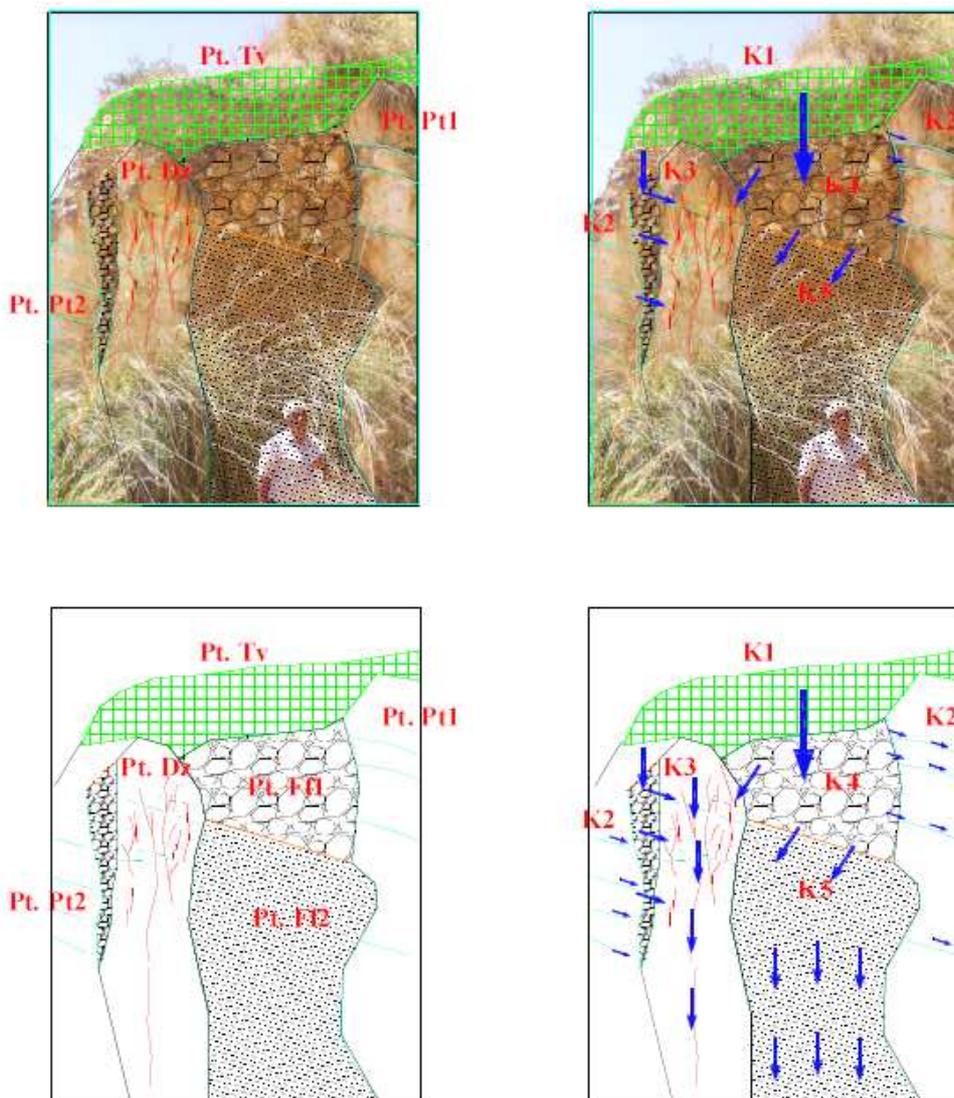


Fig. 54; zona con diaclasi riempite (limite SO cava)

Conducibilità idraulica (m/s)	$10^1$	$10^0$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$
Granulometria omogenea	ghiaia pura		sabbia		sabbia fine		limo		argilla				
Granulometria eterogenea	ghiaia	ghiaia e sabbia		sabbia con limo e argilla				argilla					
Grado di permeabilità assoluta	molto buono		buono				scarso		nullo				
Complessi idrogeologici	altamente permeabile		mediamente permeabile				scarsamente permeabile		impermeabile				

Fig. 55; stime del grado di conducibilità idraulica (Civita, 2005)

La seconda delle due zone -Pr Rm2- (a destra del partimento Pt Pr2) è una frattura dalla forma imbutiforme di larghezza variabile passante da un massimo di ~45 cm, in alto; ad un minimo di ~ una diecina di cm, persistenza di circa 2,50 m, e valori di permeabilità simili a quanto verificato nella zona precedente. D. *partimento di ammasso fratturato ( Pr. AF)*; tale zona (di spessore variabile tra 0,70 e 0,90 m) si riscontra, interposta tra le due zone di riempimento, più intimamente fratturata dei tratti di ammasso investigate con le linee di scansione, le cui risultanze sono riportate nella Tab. 16.

PARAMETRI PARTIMENTO AF					
spaz. rel.	Lunghezza cm	JRC		apertura mm	
		da	a	da	a
3	36	4	6	6	8
3	17	2	4	7	9
2	4	2	4	10	12
3	42	2	4	7	9
5	48	4	6	5	7
3	31	6	8	12	15
3	54	2	4	7	9
2	18	4	6	10	12
8	21	4	6	15	20
2	26	2	4	7	8
3	17	2	4	12	14
5	28	2	4	12	14
3	21	2	4	7	9
1	5	2	4	12	14
1,5	18	2	4	9	11
1,5	8	2	4	15	18
4	12	4	6	10	14
3,1	23,9	2,82	4,82	9,5882353	11,941176
L/s	7,71	JRC	3,8	e	0,01

Tab. 16; rilievi geomeccanici condotti nel partimento di ammasso fratturato (Pr. AF)

Applicando la formula di Snow si ottiene una stima di conducibilità idraulica di circa 3 ordini di grandezza maggiore di quanto riscontrato nelle precedenti scansioni lungo le pareti della cava di nummuliti poco fratturate.

### L'INFLUENZA DELLE FAGLIE SUL GRADO DI PERMEABILITA'

Nei paragrafi a seguire vengono riportati tutta una serie di esempi, riscontrati in affioramenti significativi dell'area in studio, che hanno permesso di constatare l'influenza delle *zone di faglia (fault-zone)* sulle potenzialità idrauliche degli ammassi in studio.

Per *fault zone* (Shipton&Cowie, 2001) si intende un volume di roccia che si è sviluppato per deformazione progressiva nel tempo attorno al piano di faglia principale, che risulta costituito da due principali componenti strutturali: a. *damage zone* e b. *fault core* (Chester&Logan, 1986; Chester et alii, 1993 Caine et alii, 1996) i quali possono determinare importanti variazioni locali di permeabilità (Evans, 1990) da legare ai differenti meccanismi deformazionali esistenti (Antonellini & Aydin, 1994, 1995, Evans et alii, 1997).

### PRINCIPALI ELEMENTI STRUTTURALI DELLE FAULT-ZONE

Si descrivono di seguito le due principali zone che costituiscono le fault-zone

- *fault core (FC)*; tali zone presentano spessori che variano, in genere, da pochi cm sino ad alcune decine di metri (in base alla progressiva crescita delle faglie) e sono contraddistinti, in genere, da tessitura cataclastica (Sibson, 1977)

ovvero con dimensioni minime delle particelle e da una conseguente riduzione della porosità originaria causa il localizzarsi, in tale tratto, della componente principale di stress.

La cataclasite è in genere scarsamente cementata ed è costituita da una fine matrice (dipendente della natura della formazione attraversate) che si riscontra abbondante nei tratti più adiacenti al piano principale (o ai piani) di faglia.

Il fault core non è sempre presente ma si sviluppa continuamente in corrispondenza di faglie che devono avere un minimo di rigetto (Micarelli et alii, 2006).

Gli AA in particolare hanno verificato, per le formazioni carbonatiche iblee, del Cenozoico, le seguenti condizioni: **A. fault core continuo** nelle faglie con almeno un rigetto minimo di 5 metri; **B. fault core discontinuo** nelle faglie con rigetto compreso tra 1 e 5 metri; **C. assenza di fault core**, nelle faglie con rigetto inferiore al metro.

- **damage zone (DZ)**; costituiscono dei volumi di roccia che delimitano lateralmente la zona di FC contraddistinti da una stato fratturativo direttamente legato alla fatturazione al fagliamento (Kin et alii, 2004; Micarelli et alii, 2006).

In tali zone le superfici di strato, e le fratture derivate, sono in genere ben conservate (Billi et alii, 2003) e costituiscono un array di fratture, a diverso angolo, che determinano differenti sviluppi di connettività che giocano un ruolo preminente sulle potenzialità idrauliche dell'ammasso roccioso.

Lo sviluppo del grado fratturativo incrementa fortemente (al passaggio graduale dalla DZ alla zona di FC, determinando di solito lo sviluppo di una zona di transizione (*DZ-FC transiting*)).

In tale zona sono presenti sia gli elementi tessiturali tipici della DZ che del FC; ed è costituita, di solito, da un insieme di lithons orto rombici, considerabile come una zona di faglia embrionale.

L'esperienze dirette hanno mostrato che tale settore si sviluppa esclusivamente nelle faglie maggiori ove è presenti un FC continuo.

Come si vedrà negli esempi riportati la zona di *damage zone*, in particolari casi, può essere ulteriormente suddivisa, in base al diverso grado di fatturazione, nelle due seguenti sottozone (Micarelli et alii, 2006).

- *Intensely Deformed Damage Zone (IDDZ)*; costituita di solito di superfici di taglio minori (associate al piano di faglia principale) che delimitano dei lithons di dimensione centimetrica.
- *Weakly Deformed Damage Zone (WDDZ)*; ove invece si riscontra un quadro fratturativo meno intenso.

La Fig. 56/a (Billi et alii, 2003) mostra la schematizzazione di tali elementi.

La Fig. 56/b (Billi et alii, 2003) mostra la schematizzazione della progressiva crescita, da iniziali profotaglie (vedasi immagine di sinistra), che progressivamente danno luogo allo sviluppo di un piano di faglia principale (vedasi immagine di destra) che se è interessato da un certo grado di rigetto (superiore in genere ad alcuni metri -Micarelli et alii, 2005) determina uno spessore di FC dalle specifiche caratteristiche tessiturali.

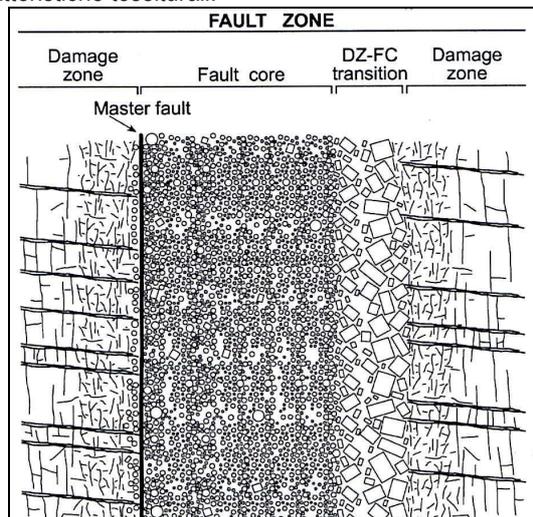


Fig. 56/a; schema di zonazione delle Fault zone (Billi et alii, 2003)

Relativamente alla conducibilità idraulica si crea una zonazione della permeabilità che risulta in genere elevata nelle IDDZ (punti A) rispetto alle limitrofe zone WDDZ (punti B) e di FC (punto C).

Si noti nell'immagine di destra che approssimandosi al piano di faglia l'aumento del grado fratturativo.

Tale aspetto regola le condizioni di permeabilità la cui direzione è imposta dalla zona di FC o *sealing zone* ove, per l'influenza dello stress che vi si origina, vengono progressivamente obliterate le preesistenti strutture di origine tettonico-sedimentaria originatesi dal piano di faglia principale ove si concentra la zona di maggiore cataclasizzazione (Sibson, 1977). Vengono di seguito riportati una serie di casi studio riscontrati nell'area rilevata.

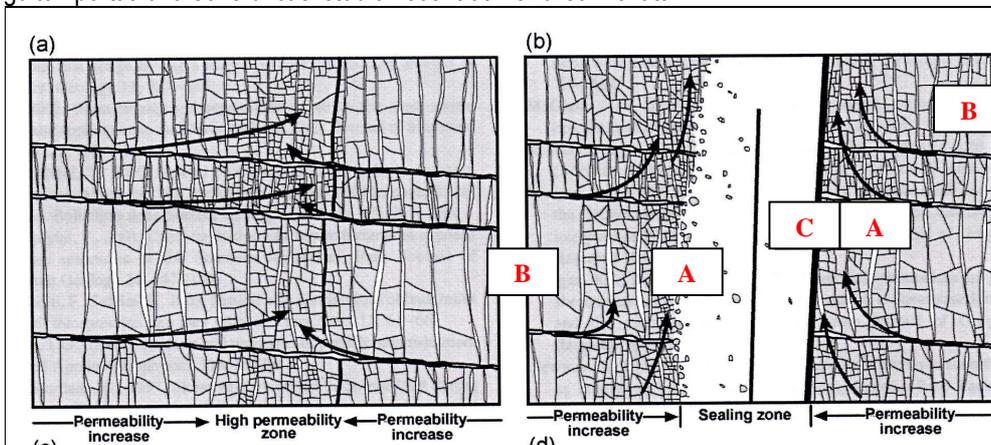


Fig. 56/b; esempi di sviluppo delle zone di faglie con formazione di sealing zone e tratti con incremento di permeabilità (Billi et alii, 2003)

#### VARIAZIONE PERMEABILITA' SOMMITA' M. TE S. CALOGERO (ZONA EMISSIONE VAPORE)

Il primo caso riportato riguarda il sistema di faglie che, con orientazione prevalente NE-SO, si riscontra in corrispondenza della sommità di S. Calogero (presso il piazzale dell'edificio delle Terme ivi esistente) dove si è riscontrata una cavità emettente vapore di ordine minore (Fig. 57).

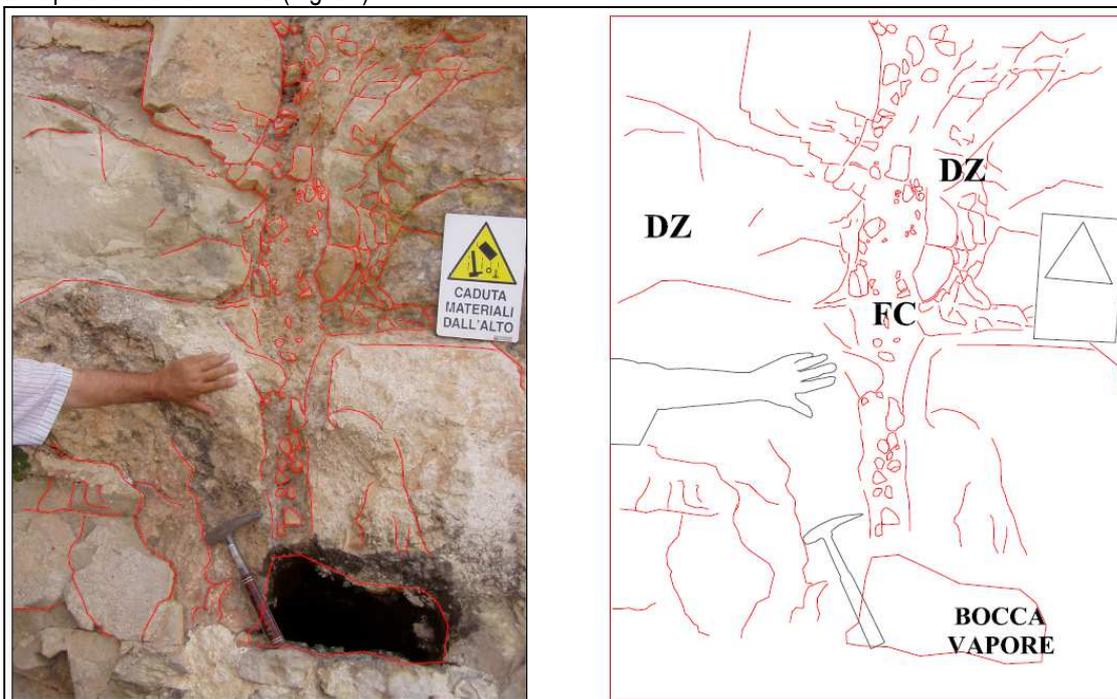


Fig. 57; esempi di Fc e DZ presso il piazzale delle terme di M. te S. Calogero

Dall'analisi del quadro fratturativo (opportunosamente evidenziato attraverso un'attenta digitalizzazione delle discontinuità presenti), è possibile discernere sia le zone di DZ che di FC.

E' inoltre è possibile constatare che la zona di emissione si sviluppa in corrispondenza del FC - di spessore variabile tra gli 8 ed i 15 cm - costituito prevalentemente da una matrice di natura calcarea mediamente cementata.

Si constata la presenza di lithons di dimensioni progressivamente più ridotte e arrotondate (forme residue dell'originario ammasso roccioso) all'approssimarsi alla zona di FC.

I lithons iniziano a formarsi in concomitanza della IDDZ, con forme orto rombiche, per poi progressivamente ridursi di forma e di dimensione sino a sfumare nella matrice del FC causa i processi di progressiva frizione che determinano, per azione meccanica, un arrotondamento delle asperità.

La Fig. 58 le immagini della discontinuità (orientazione NO-SE) presente in corrispondenza del vertice NO della Grotta del Santo, tratto nel quale si riscontra l'emissione di vapore in corrispondenza (vedasi ingrandimento riquadro in rosso) della zona cataclastica costituita da una breccia grossolana di frizione che risulta anche cementata per larghi tratti dai precipitati di colore bianco che si originano dall'emissione del fluido vaporoso endogeno.

L'ingrandimento del riquadro in verde evidenzia la zona di vuoto (all'interno dello spessore cataclastico) il cui sviluppo del condotto da dove viene emanato il vapore è da attribuire al sommarsi di processi di dissoluzione chimica e di stress fisico.

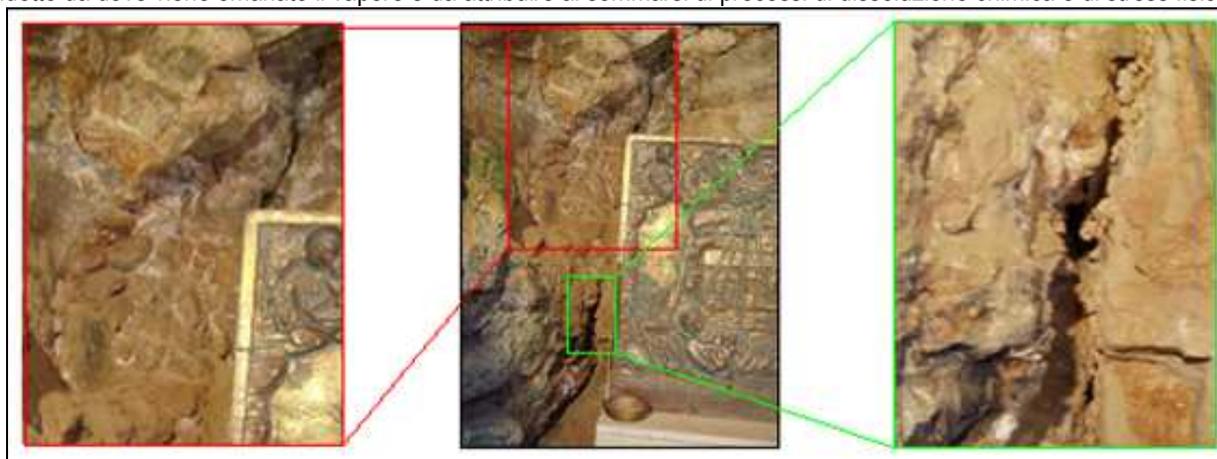


Fig. 58; zona di fratturazione e carsismo presso la parete Ovest della Grotta del Santo

## VERSANTE MERIDIONALE DI ROCCA NADORE

Nel presente paragrafo vengono evidenziate le spiccate condizioni di anisotropia presenti a Rocca Nadore, zona di alimentazione del bacino termale in studio.

La Fig. 59 mostra, ripreso da Sud, l'anticlinale di rampa di Rocca Nadore che, a grande scala, rileva la presenza di una serie di discontinuità, a componente prevalentemente verticale (per maggiori dettagli sulle caratteristiche fratturative di tale ammasso si rimanda al Cap. n. 6), con direzioni preferenziali NE-SO e NO-SE (vedasi diagrammi riportati) che suddividono l'ammasso in grossi blocchi di dimensioni circa pari ad alcune decine di mc.

Il diagramma di Countour plot mostra le 4 famiglie di discontinuità presenti (la stratificazione più i tre set k1, k2 e k3) sulle quali è stata stimata la direzione media di fratturazione (ciclografica in azzurro) che si dispone con orientamento N-S direzione potenziale di maggiore deflusso idrico specie in corrispondenza dei dreni interdipendenti di natura carsica che si è appurato si sviluppano nei tratti di ammasso nei quali si determina l'incrocio di faglie appartenenti ai set descritti (vedasi riquadri in verde in Fig. 59).

L'assetto geomeccanico dell'ammasso di Rocca Nadore risulta praticamente costante nel settore centrale ad esclusione delle zone laterali ove si assiste ad un progressivo aumento del grado di fratturazione specie nel limite occidentale (riquadro in azzurro) per la presenza di importanti strutture tettoniche.

Le immagini di sx della Fig. 60 mostrano la delimitazione in 5 areali (I-V) del settore occidentale di Rocca Nadore, per la progressiva differenziazione del range fratturativo: **I**; mostra un tratto dell'ammasso con grado di fratturazione simile a quanto descritto per il settore centrale; **II**; individua un'area più fratturata con VRE ridotti ad alcuni mc; **III**; i blocchi non sono più di forma ortogonale risultando ulteriormente diminuiti di dimensione; **IV**; tratto più prossimo al FC contraddistinto da roccia finemente disgregata in una matrice debolmente cementata; **V**; FC s.s. con presenza di lithons decimetrici immersi in una matrice di natura marnoso-calcareo (scaglia).

Le immagini di dx della Fig. 60 mostrano un ingrandimento di tale settore con un dettaglio delle fratture a z presenti nell'ammasso che costituisce la zona III.

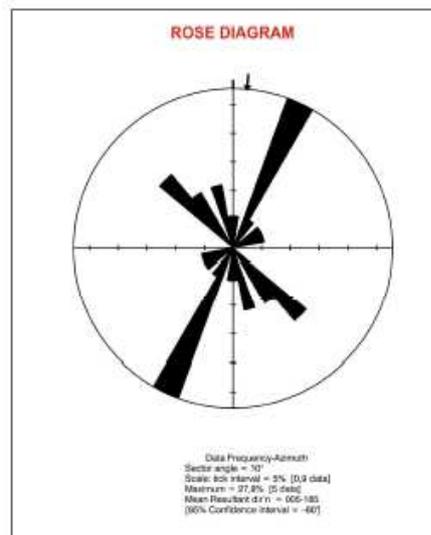
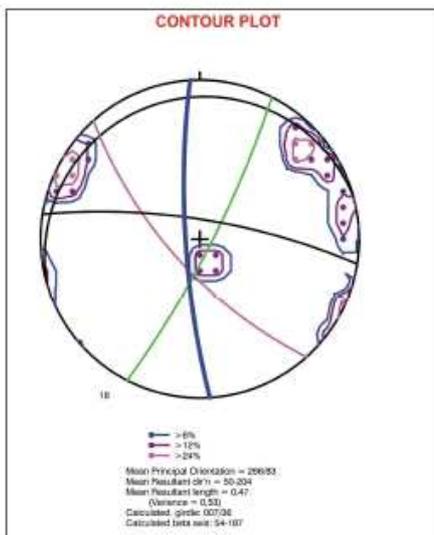
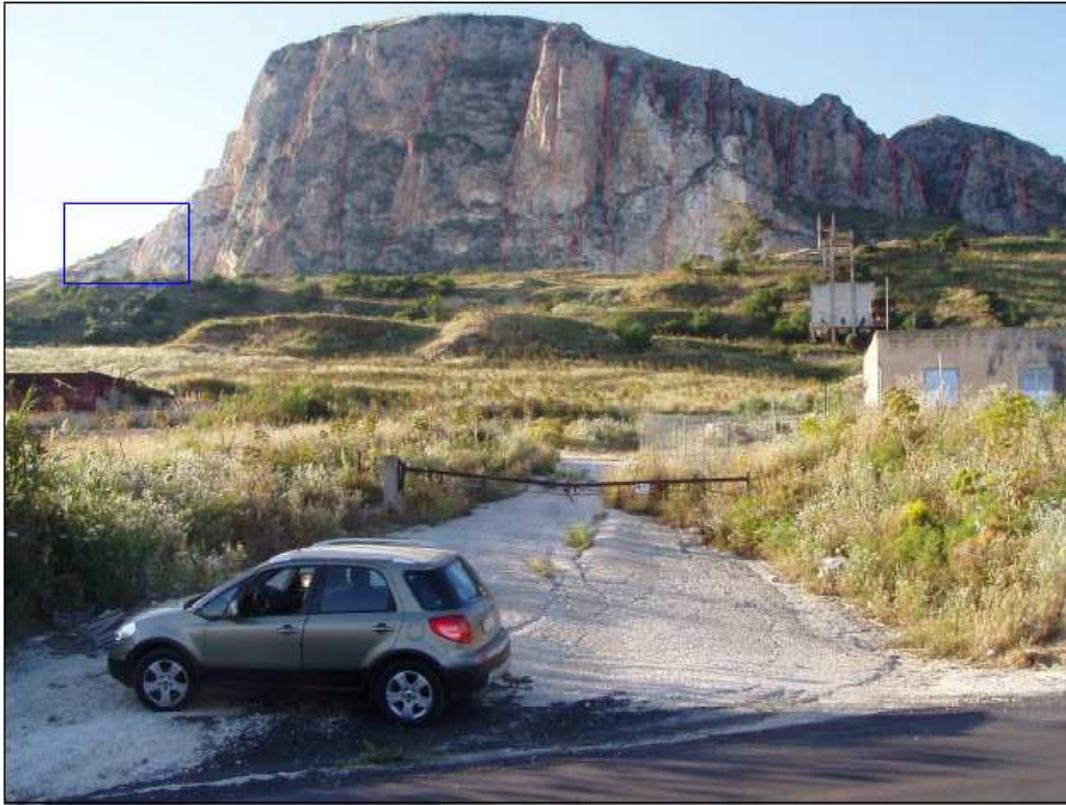


Fig. 59; esempi dei rilievi geomecchanici condotti a Rocca Nadore

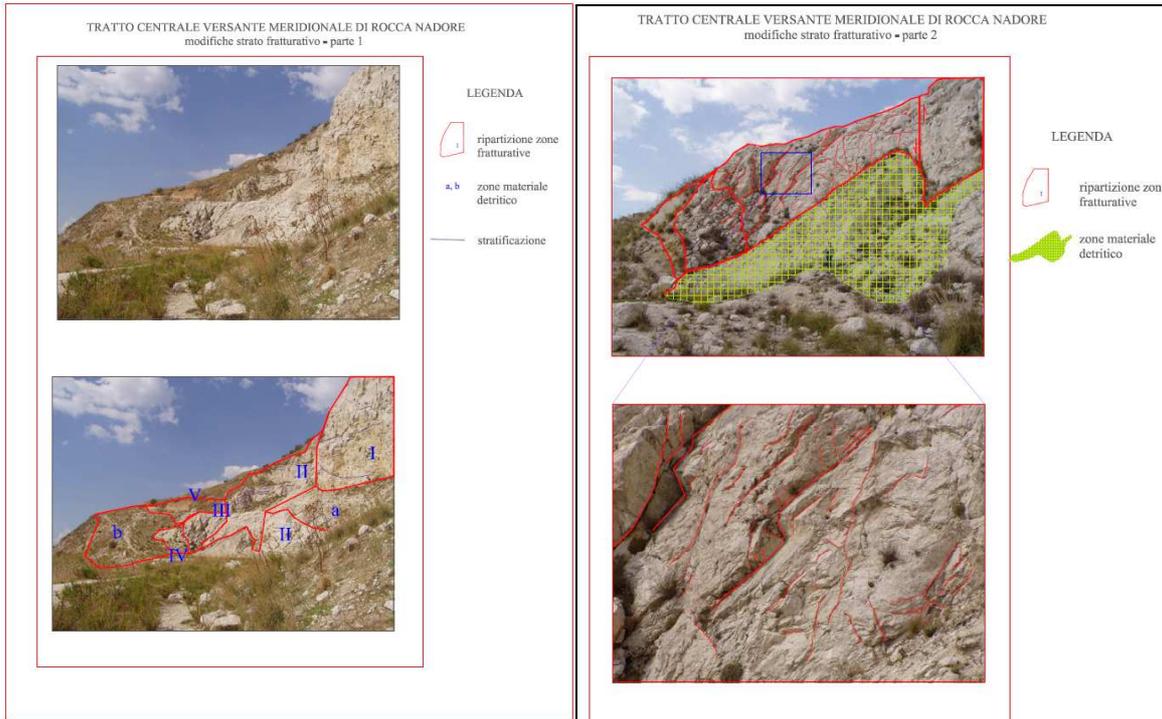


Fig. 60; dettagli sulle variazioni del grado fratturativo dell'ammasso carbonatico-dolomitico presso il limite occidentale di Rocca Nadore



Fig. 61; evidenze di dettaglio del diverso grado fratturativo presente nel limite Occidentale dell'idrostruttura di Rocca Nadore



## STIMA DEL GRADO DI PERMEABILITA' NELLE ZONE CARSICHE

L'ultimo caso evidenzia infine l'influenza del fenomeno carsico sulla circolazione idrica nell'acquifero termale in studio (per maggiori dettagli sul carsimo si rimanda al Cap. n. 11).

La Fig. 63 mostra che le discontinuità, specie delle DZ, risultano sovente ulteriormente accesciute e messe in evidenza dalla presenza di forme carsiche a dreni interdipendenti determinanti un incremento delle potenzialità di infiltrazione efficace nei nuclei assorbenti degli ammassi mesozoici.

In tali zone il grado di conducibilità idraulica può raggiungere valori di diversi ordini di grandezza superiori ( $10e-1 \div -3$  m/s – vedasi Fig. 46 e 47) rispetto alla altre zone che costituiscono l'ammasso.

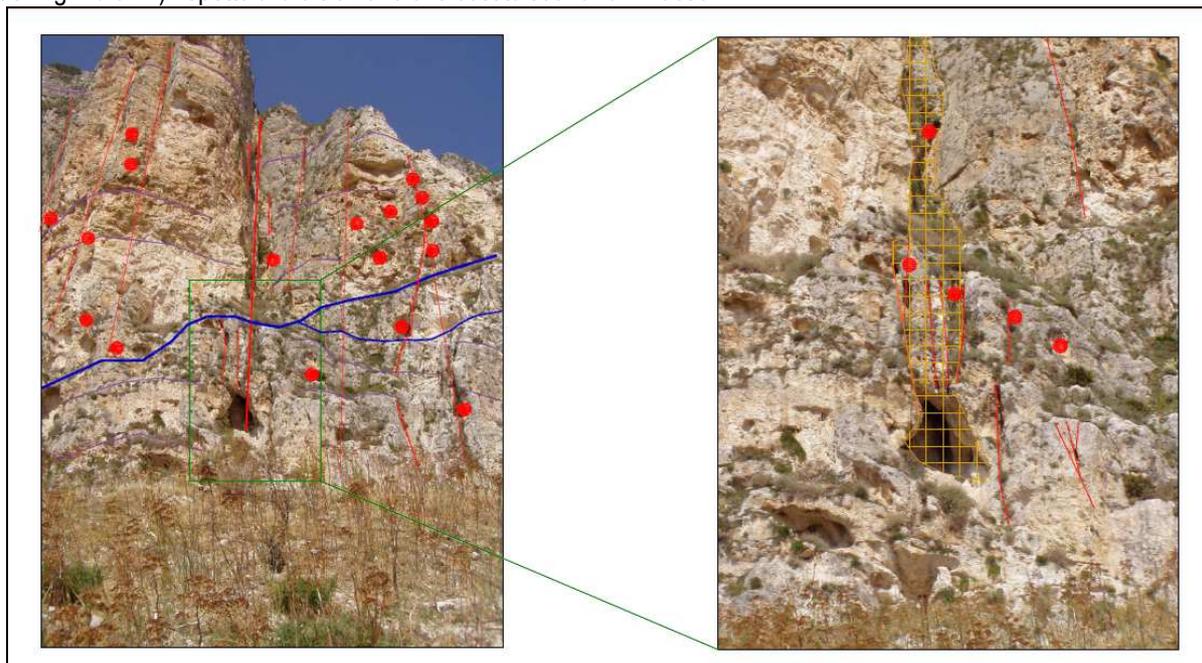


Fig. n. 63; evidenza di carsimo a Rocca Nadore

La Fig. 64 (Kimchouuk, 2004 modificata) consente di schematizzare la modalità di infiltrazione e circolazione idrica che avviene dalle zone epicarsiche superficiali verso la zona vadosa in profondità (spessori di circa una ventina di metri).

Nell'immagine sono state distinte 4 zone diverse (vedasi riquadri colorati): **A.** aerato nel quale si esplica l'alimentazione del nucleo assorbente (riquadro in giallo); **B.** epicarsico superficiale (riquadro in verde); interessato da intensa fratturazione contraddistinto da un elevato grado di interconnessione (vedasi caso Sorgente Pioppo) con diffusa infiltrazione **C.** tratto intermedio, tra epicarsico e tratto vadoso, con grado di fratturazione più basso, causa un carsismo incompleto (Civita, 2005), che determina un vero e proprio limite di permeabilità indefinito (riquadro in rosso) che se affiorante determina lo scaturire di sorgenti minori. **D.** lo sviluppo di dreni carsici interdipendenti, che enfatizzano l'anisotropia dell'acquifero determinando zone preferenziali di infiltrazione efficace ed alimentazione degli acquiferi.

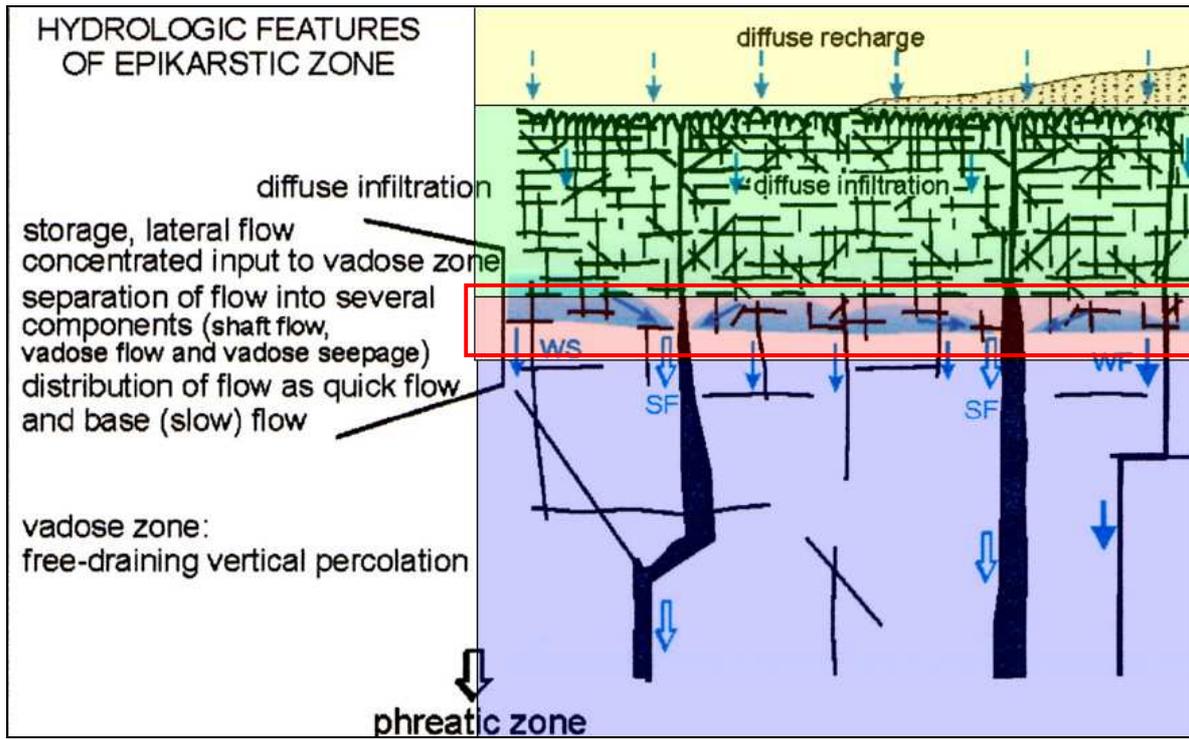


Fig. 64; schematizzazione del fenomeno carsico nella zona epikarsica degli acquiferi in studio

## CAP. 9 - IDROCHIMICA DEL BACINO TERMALE DI SCIACCA

Nel presente capitolo vengono esposti i dati relativi all'idrochimica dell'area saccense con particolare attenzione per le caratteristiche del bacino termale di Sciacca.

L'insieme di analisi condotte sono stati distinte, di seguito, per una più organica descrizione, in tre sezioni.

La prima sezione analizza l'insieme dei dati pregressi, recuperati dallo scrivente durante la fase di ricerca bibliografica, che ha caratterizzato l'iter della parte iniziale della presente ricerca.

Tale lavoro ha permesso di acquisire un numero notevole di dati che sono stati dapprima attentamente analizzati e successivamente rielaborati per una migliore definizione delle caratteristiche del bacino termale.

La seconda sezione raggruppa le elaborazioni ed analisi condotte sull'intera serie storica (periodo 1987-2011) dei dati di chimismo forniti dall'Ente Terme di Sciacca -a seguito dell'accordo di collaborazione siglato in data 22.09.2010 (previa richiesta effettuata dai Proff. Cusimano ed Aureli) con lo scrivente - riguardo ai campionamenti annuali effettuati dall'Ente Terme nei propri punti termali ( Sorgenti Solfuree, Sorgente Acqua Santa, Sorgente Molinelli, Pozzo R1, Pozzo R3 e Pozzo C5).

La terza sezione raggruppa quanto condotto e coordinato dallo scrivente assieme all'Ente Terme a seguito dell'intercorsa collaborazione.

Si è provveduto dapprima, nella prima fase della collaborazione, nel periodo compreso tra la fine del 2010 e la metà del 2011, a far campionare quei punti d'acqua che, dall'analisi della sequenza storica dei dati, risultavano essere stati trascurati. In un secondo tempo, durante la seconda parte del 2011, si è programmata una nuova campagna di campionamento che consentisse, dopo anni, di analizzare, in contemporanea, le acque dei maggiori punti d'acqua (pozzi e sorgenti) del bacino idrogeotermale allo scopo di fornire aggiornate informazioni sui circuiti di alimentazione dell'acquifero termale.

Nella nuova campagna di campionamento sono stati determinati: **a.** i parametri chimico-fisici; **b.** i macroelementi (anioni e cationi) utili alla caratterizzazione delle acque; **c.** i microelementi (che hanno consentito di avere maggiori informazioni sulle modalità di circolazione e sulle varie possibili interazioni con le acque del mare e con il vulcanesimo del Canale di Sicilia; **d.** gli isotopi dell'Ossigeno; che hanno consentito di formulare nuove ipotesi su zone di ricarica e limiti del bacino.

Le operazioni di campionamento, coordinate dallo scrivente, sono state effettuate dal Dott. G. Tranchida dell'IAMC del CNR di Capo Granitola, diretta dal Dott. Mario Sprovieri.

### PRIMA SEZIONE – ANALISI E RIELABORAZIONE DEI DATI PREGRESSI

L'interesse per il bacino termale di Sciacca ha portato, a partire dalla fine degli anni '60, a una serie di studi, a carattere idrochimico, da parte di: Fondazione Lerici, 1968; Carapezza et alii, 1977; Olive, 1977; Alaimo et alii, 1978; Berbenni&Ariati, 1978; Forlani et alii, 1979; Hauser et alii, 1980; Alaimo, 1984; Alaimo&Tonani, 1984; Alaimo&Censi, 1987; Dongarra' & Hauser, 1987; Dongarra', 1987; Fancelli et alii, 1991; Aureli, 1996; Favara et alii, 2001; La Barbera, 2002).

Tali studi sono stati attentamente analizzati e rivisti basandosi sui principali metodi dell'idrogeochimica classica ed isotopica (Celico, 1986; Civita, 2005; Custodio&LLamas, 2005) metodiche già utilizzate dallo scrivente nel classificare gli acquiferi ibei (vedasi note in bibliografia: Aureli&Dipasquale, 2008-09-11; Aureli et alii, 2009-10).

### IDROGEOCHIMICA CLASSICA

L'analisi del chimismo ha consentito di collocare le acque di ciascuno dei punti considerati in caratteristiche *facies chimiche*; le quali sono correlabili alla tipologia di roccia madre e/o e alla tipologia dei percorsi delle acque sotterranee.

## CARATTERIZZAZIONE DEI PUNTI D'ACQUA DI SCIACCA

La Tab. 17 riporta le risultanze delle analisi eseguite in campionamenti passati (F. ne Lerici, 1968; Berbenni e Ariati, 1978; Aureli, 1996) che consentono di avere una prima idea delle caratteristiche idrochimiche presenti nel bacino termale di Sciacca e zone limitrofe grazie anche al rinvenimento di analisi su punti d'acqua oggi non più attivi (pozzo SCIACCA 1, perforazioni Studio Forlani, 1979).

Nel corso del secondo anno del progetto di ricerca si è provveduto a determinare dagli originari dati bruti, la concentrazione, in microequivalenti dei maggiori macroelementi, allo scopo di considerare l'effettiva *quantità di reazione o reacting value* –r, di ciascun ione analizzato (Tab. 17).

DISTRIBUZIONE MACROELEMENTI BACINO IDROTERMALE DI SCIACCA- meq/l																
	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl		Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	
1. Antiche Terme	67,37	34,54	269,57	9,72	8,6	11,45	369,43		13b. pozzo R24	67,37	34,95	108,7	9,46	8,85	10,41	380,71
2. Molinelli	39,92	23,85	169,57	6,14	7,37	7,7	253,81		14. pozzo A1	22,21	11,92	82,61	2,81	4,51	4,16	124,08
3. Fontana Calda	5,14	2,92	3,83	0,43	5,49	3,12	4,23		15. pozzo A4	11,73	5,18	26,09	0,59	3,69	0,83	35,25
4. Polle Carabollace	62,38	33	271,74	9,34	8,19	10,41	352,51		17. pozzo M1	63,62	44,41	250	9,72	5,98	11,24	352,51
5. T. te Carabollace	18,71	13,16	1,09	0,41	5,41	7,91	20,3		18. p. zo Montagnola	3,49	6,17	2,17	0,12	7,87	0,79	2,65
6. Acqua Santa	37,43	24,26	134,78	4,6	6,06	10,1	186,13		19. mare	23,95	113,08	478,26	5,88	2,7	39,56	606,32
7. pozzo R1	67,12	34,54	239,13	9,46	8,36	10,41	366,61		20. Acquedotto	2,25	1,89	0,1	0,01	4,02	0,35	0,54
8. pozzo R6	23,45	13,98	104,35	4,09	5,41	5	141		21. sorgente S. Genuardo	4,19	0,62	0,52		4,25	0,25	0,76
9. pozzo R7	67,37	36,18	239,13	9,21	8,85	10,41	380,71		22. sorgente Ficuzza	3,04	0,39	0,65	0,21	3,44	0,46	0,82
10. pozzo R8	42,91	22,62	165,22	5,88	8,19	6,97	234,07		23. bevaio Considi	5,89	6,83	5,87	0,12	4,51	5,73	5,08
11. pozzo R12	37,92	23,03	139,13	4,35	8,03	6,45	191,77		24. a p. zo Agip - 150 m p. c.	24,95	17,27	145,65	--	5,41	5	145,52
12. pozzo R22	65,87	32,89	239,13	8,44	8,44	10,62	359,56		24. b p. zo Agip - 200 m p. c.	33,43	18,09	194,35	--	5,9	6,04	195,15
13a. pozzo R24	1	1,04	5,43	0,22	2,46	0,52	4,79		24. c p. zo Agip - 350 m p. c.	64,87	36,18	378,26	--	11,47	10,62	380,48

Tab. 17 ; dati chimici dei punti d'acqua del bacino termale di Sciacca e zone limitrofe (da: F. ne Lerici, 1968; Berbenni e Ariati, 1978; Aureli, 1996)

## FACIES CHIMICA DELLE ACQUE ANALIZZATE

In base alla rielaborazione dei dati pregressi condotta si sono potuti raggruppare i vari punti d'acqua in 4 facies chimiche, o famiglie, rispondenti, ognuna a particolari bedrock e/o circuiti (Civita, 2005).

Le facies riconosciute, nel bacino in studio, sono le seguenti:

**ACQUE BICARBONATO-CALCICHE:** a questo gruppo appartengono i punti d'acqua, freddi, non termali (Sorgenti S. Genuardo e Ficuzza) al di fuori del bacino termale in studio, nelle quali si riscontra una netta prevalenza dei seguenti ioni: calcio (tra i cationi) e bicarbonati (tra gli anioni), poiché alimentate da rilievi di natura prevalentemente carbonatica, affioranti a Nord di Rocca Nadore (zona di alimentazione del bacino termale).

Si riconoscono inoltre, 2 sottogruppi: **a. acque bicarbonato calcico magnesiache:** (predominanza, relativa, del magnesio rispetto al Calcio); in questo sottogruppo rientrano le sorgenti, presenti alle pendici Nord di Rocca Nadore (denominate *Gruppo del Salto*), che alimentavano in passato l'Acquedotto di Sciacca, il cui chimismo evidenzia circuiti di alimentazione in rocce dolomitiche **b. acque bicarbonato magnesiacco-calcico:** a tale sottogruppo, meno comune degli altri due, appartiene l'acqua del Pozzo Montagnola (Forlani, 1979), ove si riscontra una predominanza del magnesio sul calcio.

Tale tipologia di chimismo deriva (Civita, 2005) dall'*idrolisi di rocce eruttive femiche*, condizione confermata dalla stratigrafia, inedita, del pozzo, riportata in Fig. 21, ove risulta la presenza, in profondità, di spessori basaltici intercalati agli spessori carbonatici del Mesozoico.

**ACQUE CLORURO-ALCALINE:** A tale facies chimica appartengono tutti i punti d'acqua di origine termale di Sciacca (ad esclusione di Fontana Calda) nei quali lo ione cloruro risulta predominante assieme agli ioni alcalini (Na e K).

In tale facies ricade anche l'acqua di mare e, al contrario di quanto si potrebbe comunemente ritenere, le acque (Civita, 2005) appartenenti a tali facies non possono essere ricondotte a lisciviazione di rocce evaporitiche.

**ACQUE SOLFATO-CALCICHE:** tale facies chimica deriva dalla dissoluzione delle rocce evaporitiche (principalmente gessi e anidriti) e non vi appartiene nessuno dei punti d'acqua analizzati, ad esclusione delle acque del T. te Carabollace, il cui chimismo, con ogni probabilità, deriva dalla lisciviazione di diverse litologie lungo il suo corso.

**ACQUE BICARBONATO ALCALINE:** a tale famiglia non appartiene alcun punto d'acqua tra quelli analizzati.

Le acque di Fontana Calda, infine, mostrano una mancanza, tra gli ioni principali considerati, di alcuna dominanza; ciò indica miscelamenti tra acque termali e acqua di ricarica locale (vedasi il paragrafo relativo all'idrochimica isotopica).

## CONFRONTO TEMPORALE DEL CHIMISMO NEI PUNTI D'ACQUA DEL BACINO IDROTERMALE DI SCIACCA

Le acque di alcuni dei punti più significativi presenti nel bacino di Sciacca sono state diverse volte campionate. La Tab. 18 mette a confronto i dati, il che permette di constatare, specie per i punti d'acqua a maggiore mineralizzazione, un chimismo costante, indice di circuiti lenti e profondi, a conferma di quanto evidenziato da altri AA (Dongarrà-Hauser, 1987).

CONFRONTI SPECIE IONICHE - meq/l														
specie	ANIONI							ANIONI						
	HCO3							SO4						
anno	1959	1976	1988	1988	1991	2000	2001	1968	1976	1988	1991	2000	2001	
autore	f. Ierici	alaimo	berbenni	tartaglia	favara et all	labarbera	labarbera	f. Ierici	alaimo	berbenni	tartaglia	favara et all	labarbera	labarbera
T. Selinuntine	8,19	8,60	8,60		9,00			11,03	10,50	11,45		10,44	12,72	13,5
P. Molinelli	7,05	7,10	7,37		8,50	6,08		6,87	6,60	7,70	9,19	6,05	6,30	6,53
F. Calda	4,75	5,00	5,49		6,55			3,12	2,90	3,12	3,54		2,73	5,61
acqua santa	5,08		6,05		6,39			3,54		10,10	11,28			
pozzo R1			8,36							10,41			13,57	14,20
carabollace	9,51		8,19					10,20		10,41				
specie	Cl							I						
anno	1968	1976	1988	1988	1991	2000	2001	1968	1976	1988	1991	2000	2001	
autore	f. Ierici	alaimo	berbenni	tartaglia	favara et all	labarbera	labarbera	f. Ierici	alaimo	berbenni	tartaglia	favara et all	labarbera	labarbera
T. Selinuntine	366,89	360,2	369,43		404,20	396,75	403,6	0,063		0,034	0,034			
P. Molinelli	230,12	232,00	253,81		326,37	202,46	185,6	0,024		0,023	0,100			
F. Calda	4,23	4,2	4,23		4,51	3,65	3,65			0,001				
acqua santa	82,06		186,13		181,19						0,002			
pozzo R1			366,61			396,2	404,6							
carabollace	376,481		352,51					0,047		0,027				
specie	Ca							Mg						
anno	1968	1976	1976	1988	1991	2000	2001	1968	1976	1988	1991	2000	2001	
autore	f. Ierici	alaimo	berbenni	tartaglia	favara et all	labarbera	labarbera	f. Ierici	alaimo	berbenni	tartaglia	favara et all	labarbera	labarbera
T. Selinuntine	63,37	63,5	67,37		66,53	61,04	64,3	34,54	35,3	34,54	36,34	35,36	36,8	
P. Molinelli	41,42	37,8	39,92		84,83	37,68	30,2	31,59	23,03	24,1	23,85	18,75	21,54	19,99
F. Calda	5,49	5,1	5,14		8,98	2,85	5,81	3,29	2,9	2,92	3,29	2,95	3,51	
acqua santa	17,47		37,43		41,12			12,34		24,26	19,62			
pozzo R1						61,26	65,3			34,54			35,14	38,4
carabollace	69,36		62,38					32,07		33,00				
specie	Na							K						
anno	1968	1976	1988	1988	1991	2000	2001	1968	1976	1988	1991	2000	2001	
autore	f. Ierici	alaimo	berbenni	tartaglia	favara et all	labarbera	labarbera	f. Ierici	alaimo	berbenni	tartaglia	favara et all	labarbera	labarbera
T. Selinuntine		284,8	269,57		311,71	293,8	298,6	9,20	9,20	9,72	9,72	9,66	13,05	14,1
P. Molinelli		171	169,57		190,00	152,50	140,5	5,20	6,14	11,97	4,97	6	6,13	
F. Calda		3,9	3,83		3,25	4,99	4,35	0,30	0,43	0,26	0,43	0,49	0,43	
acqua santa			134,78		135,87					4,60	0,17			
pozzo R1			239,13			293,59	303,2			9,46			12,95	13,5
carabollace			271,74							0,41				

Tab. 18; correlazioni specie ioniche nel tempo tra i punti d'acqua termali del bacino di Sciacca

## FORMULE IONICHE

La Tab. 19 mostra le formule ioniche dei principali punti d'acqua presenti nel bacino idrotermale di Sciacca. Tali formule consentono di verificare per ciascun punto considerato sia la natura del bed-rock di origine sia le eventuali successive influenze subite dalle acque durante il loro deflusso sotterraneo.

DETERMINAZIONE FORMULE IONICHE	
<b>ANTICHE TERME</b>	<b>FONTANA CALDA</b>
Cl > SO4 > HCO3 - Na > Ca > Mg	HCO3 > Cl > SO4 - Ca > Na > Mg
<b>MOLINELLI</b>	<b>P. ZO MONTAGNOLA</b>
Cl > SO4 > HCO3 - Na > Ca > Mg	HCO3 > Cl > SO4 - Mg > Ca > Na
<b>POZZO R1</b>	<b>FICUZZA</b>
Cl > SO4 > HCO3 - Na > Ca > Mg	HCO3 > Cl > SO4 - Ca > Na > Mg
<b>ACQUA SANTA</b>	<b>SORGENTE S. GENUALDO</b>
Cl > SO4 > HCO3 - Na > Ca > Mg	HCO3 > Cl > SO4 - Ca > Mg > Na
<b>POLLE CARABOLLACE</b>	<b>ACQUEDOTTO</b>
Cl > SO4 > HCO3 - Na > Ca > Mg	HCO3 > Cl > SO4 - Ca > Mg > Na
<b>MARE</b>	<b>POZZO AGIP</b>
Cl > SO4 > HCO3 - Na > Mg > Ca	Cl > SO4 > HCO3 - Na > Ca > Mg

Tab. 19; correlazione formule ioniche

Dall'analisi e successiva correlazione delle formule ioniche possono sintetizzarsi le seguenti osservazioni: 1. nei punti d'acqua ad elevata termalità (Antiche Terme, Molinelli, Pozzo R1; Acqua Santa, Polle Carabollace, pozzo AGIP) si constata

una prevalenza dei cloruri, tra gli anioni, e del sodio, tra i cationi; la causa è da ascrivere sia all'interazione con le acque di origine marina sia ai percorsi profondi che li alimentano; 2. il mare mostra una somiglianza con dette acque per quanto i composti bicarbonato calcici siano quasi del tutto assenti per avvenuta saturazione e precipitazione; 3. la sorgente Fontana Calda evidenzia una formula ionica indice di miscelamenti di acque diverse; 4. il Pozzo Montagnola indica una formula ionica con arricchimenti in magnesio rispetto al calcio per la presenza di vulcaniti in profondità; 5. La sorgente Ficuzza mostra una formula ionica tipica di acquifero carbonatico s.s.; 6. Le sorgenti che alimentavano Sciacca, zona Nadore (area di alimentazione del bacino di Sciacca) mostrano una formula ionica tipica di un acquifero dolomitico.

### DIAGRAMMI DI CARATTERIZZAZIONE (DIAGRAMMI CIRCOLARI - RIPARTIZIONE % ANIONI E CATIONI)

La caratterizzazione di alcuni dei punti più significativi riportati nella Tab. 18, si è effettuata tramite l'elaborazione di una serie di diagrammi circolari (Fig. 65) i quali consentono l'immediata verifica delle % dei vari ioni considerati.

Le tabelle, presenti al di sopra di ciascun diagramma, permettono inoltre di conoscere il dato numerico della concentrazione di ciascun ione (espressa in meq/l) ed anche la % relativa a ciascun anione e catione.

L'analisi di tali diagrammi conferma quanto scritto nei paragrafi precedenti.

### VARIAZIONE DEL CHIMISMO CON LA PROFONDITA' (dati di chimismo pozzo AGIP)

Nelle acque del pozzo Agip, scavato negli anni '60 presso il limite SO di M. te S. Calogero - C. da Carrozza - (vedasi Fig. 39), furono eseguiti 3 campionamenti a diversa profondità (da Fondazione Lerici; 1968 ripresi da Aureli, 1996): I. - 165 m dal p.c. (31 m slm); II. - 200 m (-4 m slm) e III. -350 m (- 154 m slm).

La Fig. 66 riporta (tabella di sinistra) i risultati delle analisi che consentono di constatare, nelle acque del pozzo e dunque nel bacino termale, un aumento del grado di mineralizzazione con la profondità.

Il diagramma di destra, riportato nella medesima Fig. 39, dimostra comunque un'origine univoca delle acque, poiché pur aumentando, con la profondità, il loro grado di mineralizzazione, rimangono pressoché costanti i rapporti percentuali tra gli ioni.

Quanto evidenziato suggerisce l'ipotesi che le diverse mineralizzazioni, tipiche delle varie Sorgenti termali di Sciacca, derivino dall'esistenza, nel bacino, di circuiti di alimentazione con percentuali di miscelamento diversi, tra diverse acque, causa il complesso assetto stratigrafico-tettonico esistente (Masclé, 1973; Catalano e D'Argenio, 1978; Bigi et alii, 1983; Catalano et alii 1995-97 e 2000; Argnani, 1990; Vitale, 1991; Aureli, 1996; Nigro&Renda, 1999, Nigro et alii; 2009).

Analisi pozzo AGIP (Fondazione Lerici, 1968)				
	PROF. m p.c.	-165	-200	-350
	prof. msm	31	-4	-154
Cl	mg/l	5160	6920	13490
	meq/l	145,52	195,15	380,43
SO4	mg/l	240	290	510
	meq/l	5,00	6,04	10,62
HCO3	mg/l	330	360	700
	meq/l	5,41	5,90	11,47
Ca	mg/l	500	670	1300
	meq/l	24,95	33,43	64,87
Mg	mg/l	210	220	440
	meq/l	17,27	18,09	36,18
Na	mg/l	3350	4470	8700
	meq/l	145,65	194,35	378,26
min tot.	mg/l	9790	12930	25140
	meq/l	343,8	452,96	881,83

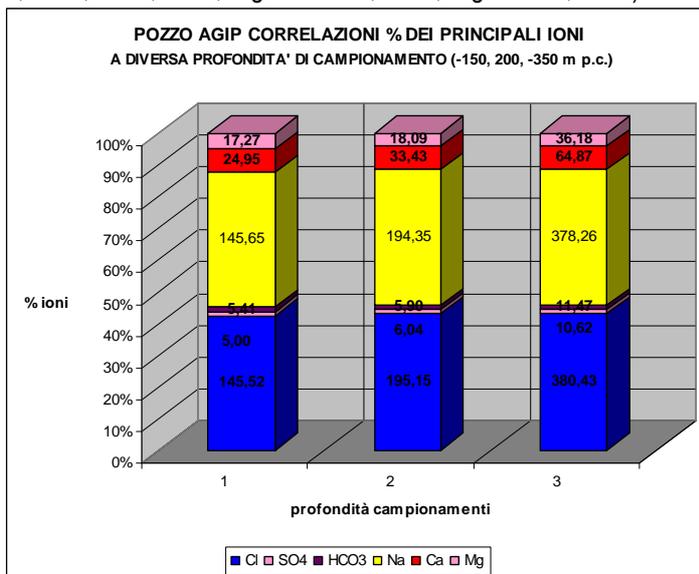


Fig. 66; a sx analisi a diversa profondità nel pozzo AGIP e a dx, correlazione del chimismo nei 3 campionamenti (da F. ne Lerici, 1968)

## CORRELAZIONE FRA I PUNTI D'ACQUA

La correlazione dei punti d'acqua sopra analizzati è stata condotta dallo scrivente su dati editi ed inediti tramite l'utilizzo dei seguenti diagrammi: **a.** diagramma di Piper (rappresentazione di tipo qualitativo) e, **b.** diagramma di Schoeller-Berkaloff (per le correlazioni di tipo quantitativo).

### DIAGRAMMA DI PIPER A DIAMANTE

Il Diagramma di Piper a Diamante (vedasi Fig. 67), consente una correlazione qualitativa delle facies di diversi punti d'acqua. Nel diagramma sono stati messe a confronto le acque dei seguenti 8 punti: 1. mare; 2. Antiche Terme; 3. Molinelli; 4. Fontana Calda; 5. sorgente Ficuzza; 6. Acq. Sciacca; 7. P.zo Montagnola; 8. P.zo AGIP.

I dati sul chimismo dei punti da 1 a 7 sono stati tratti seguenti fonti **a.** Berbenni e Ariati, 1978 e successivamente riportato in **b.** Aureli, 1996; quelli sul chimismo del punto 8 sono invece stati ripresi da F. ne Lerici, 1968, successivamente riportati in Aureli, 1996.

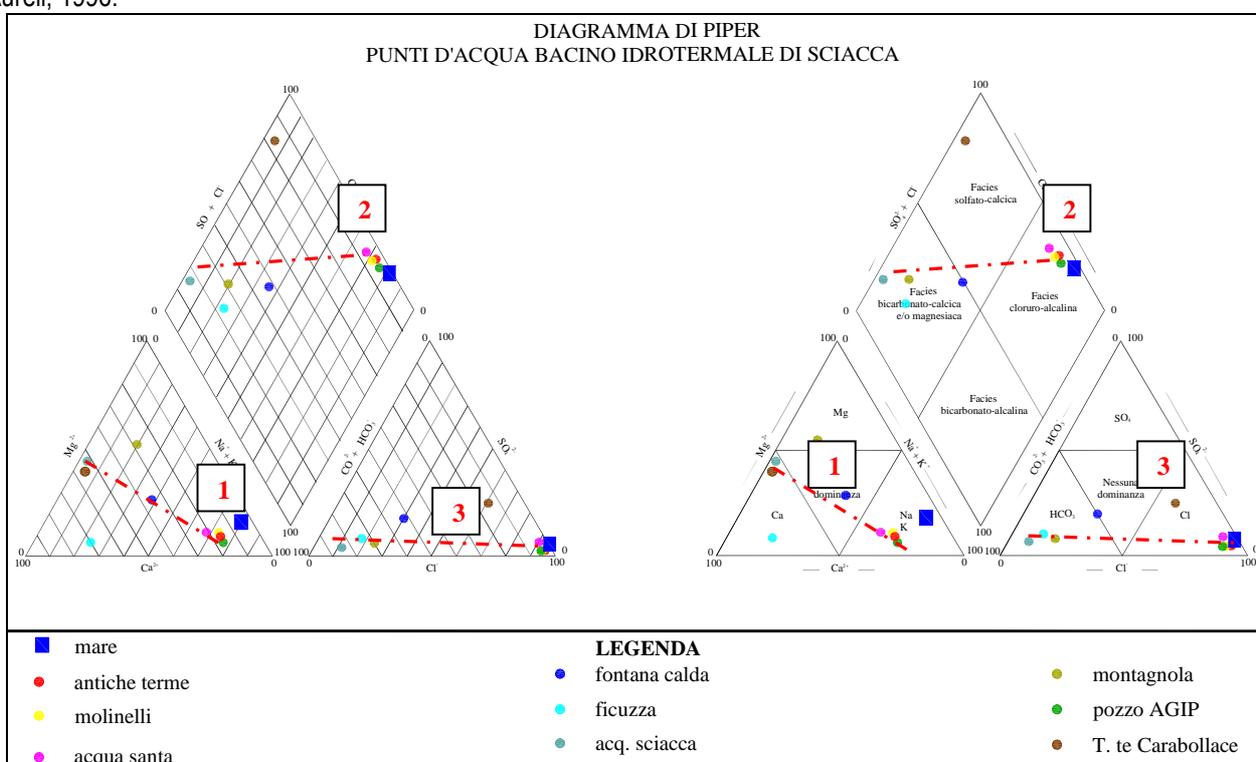


Fig. 67; diagramma di Piper di alcuni punti d'acqua rappresentativi del bacino di Sciacca

Le conclusioni che possono trarsi, dall'analisi del diagramma, sono le seguenti: **A.** il chimismo delle acque di mare ricade nella facies cloruro-alcalina; **B.** il chimismo delle due maggiori sorgenti termali del bacino di Sciacca, le Antiche Terme e Molinelli, ricade nel medesimo campo; **C.** la quasi completa sovrapposizione dei punti rappresentativi delle due sorgenti suggerisce un'origine univoca con possibili collegamenti con il mare; **D.** il chimismo delle due sorgenti mostra, rispetto al mare, un arricchimento relativo in Calcio e nei bicarbonati, derivante, con ogni probabilità, dal bed rock di origine; **E.** il chimismo della terza sorgente termale (Fontana Calda), invece, mostra una mancanza di dominanza, sia per i cationi sia per gli anioni, il che fa ritenere che ciò sia originato da miscelamenti tra acque diverse; **F.** il chimismo delle acque del pozzo Agip, ad una profondità di -350 m dal p.c. (-154 m slm) risulta simile sia a quello delle acque di mare che a quello delle due sorgenti principali di Sciacca; **G.** tale aspetto può far presumere, per i punti d'acqua a maggiore mineralizzazione del bacino (sorgenti e pozzi termali), un miscelamento tra le acque marine e le acque del bacino profondo; **H.** il chimismo del pozzo Montagnola evidenzia una predominanza del magnesio sul calcio per la presenza, in profondità, di orizzonti di rocce spessori femiche (vulcaniti); **I.** le sorgenti del Gruppo del Salto (zona Nadore), che alimentavano la città di Sciacca, mostrano un arricchimento relativo in magnesio poiché derivanti da rocce dolomitiche.

Gli allineamenti (rette n.: 1, 2 e 3, in tratteggio rosso), riportati nei due diagrammi della Fig. 67, confermano l'origine univoca sia per le acque delle zone di alimentazione (che si originano dai rilievi dolomitici di Rocca Nadore) mentre si può escludere un'affinità tale assonanza con la sorgente di R. ca Ficuzza.

Inoltre nei punti termali presenti nella zona costiera, a causa dei miscelamenti progressivi con acque sempre più ricche nelle specie cloruro-alcaline, si determina una crescente mineralizzazione, con chimismo tendente sempre più verso quello delle acque marine.

## DIAGRAMMI DI SCHOELLER-BERKALOFF

Il diagramma quantitativo, semilogaritmico, di Schoeller-Berkaloff consente un ulteriore approfondimento della tematica poiché in tale diagramma è possibile riportare direttamente il grado di mineralizzazione di ciascun punto.

Per una migliore rappresentazione dei vari punti d'acqua considerati, attraverso una nuova rielaborazione dei dati pregressi editi ed inediti si sono approntati 3 diagrammi (vedasi Fig. 68) che consentono, rispettivamente la correlazione dei seguenti punti d'acqua: **1. diagramma di sx**; correla le acque delle sorgenti fredde e calde del bacino idrotermale di Sciacca ed aree limitrofe (da: Berbenni e Ariati, 1978; Aureli, 1996); **2. diagramma centrale**; correla le acque dei pozzi termali del bacino in studio, comprese quelle campionate a diversa profondità nel pozzo AGIP (da: F. ne Lericci, 1968; Berbenni e Ariati, 1978; Aureli, 1996); **3. diagramma di dx**; correla le acque delle sorgenti termali della Sicilia Ovest (da: Fancelli et alii, 1991; Favara et alii, 2000) e delle sorgenti termali del Canale di Sicilia isola di Pantelleria, (da Dongarrà et alii 1987).

**1.** L'analisi dei trend delle acque riportate nel primo diagramma permette di formulare le seguenti ipotesi: **I.** il chimismo delle sorgenti termali, a più alta temperatura, ( $T > 50^{\circ}\text{C}$ ; a. Sulfurea -trend in rosso- e, b. Polle del Carabollace -trend in verde-), scaturenti, rispettivamente, lungo i versanti di SO (presso l'alveo del Vallone Cava di Lauro) ed Est (presso una stretta del T. te Carabollace) di M. te S. Calogero evidenzia un chimismo praticamente identico; **II.** tale comunanza è da attribuire all'interconnessioni tra le faglie con direzione NNE-SSO, che delimitano lateralmente il rilievo, e le faglie che, con andamento ENE-OSO, ne ribassano la successione verso la costa; **III.** i due punti d'acqua rappresentano il chimismo del bacino idrotermale s.s. i quali dimostrano, in modo evidente, la prevalenza di un chimismo dominante di tipo clorurato-alcalino (trend a campana con picco centrale) su un chimismo subordinato di tipo bicarbonato-calcico; **IV.** un trend simile si può notare anche per il chimismo di altre due sorgenti termali: la Molinelli (trend in giallo) e l'Acqua Santa, trend in viola seppur con mineralizzazioni inferiori; **V.** il chimismo della Fontana Calda (trend in blu) risulta diverso poiché si riscontra un valore della mineralizzazione compreso tra quello delle acque termali e quello dei punti scaturenti nelle zone di ricarica (vedasi diagramma di Piper); **VI.** il chimismo delle sorgenti, che alimentavano l'acquedotto di Sciacca, evidenzia una bassa mineralizzazione, derivante da circuiti veloci alimentati dai rilievi dolomitici; **VII.** il mare mostra l'arricchimento, negli ioni clorurato alcalini e, complessivamente, la maggiore mineralizzazione; **VIII.** la differenza più rilevante è nel decremento, nel mare, della % bicarbonato-calcica (già precipitata per saturazione) che, invece, risulta essere secondaria nelle sorgenti termali; ciò indica l'effetto della ricarica, da complessi prevalentemente carbonatici.

**2.** L'analisi dei trend delle acque riportate nel diagramma centrale permette di formulare le seguenti ipotesi: **I.** l'esistenza di una serie di tracciati simili, per tutti i punti considerati; **II.** la prevalenza, in detti punti, della facies chimica, di tipo clorurato-alcalina (acque marine) sulla facies bicarbonato-calcica (acque di ricarica provenienti dai massicci carbonatici). **III.** si verifica pertanto un'origine comune di tali acque; **IV.** il chimismo del pozzo Montagnola (ubicato, circa, 1,5 Km a Nord di M. te S. Calogero), mostra, causa la minor mineralizzazione, l'approfondimento, verso Nord, del bacino idrotermale; la prevalenza del magnesio sul calcio è stata già spiegata nei capitoli precedenti; **V.** viene evidenziato, nel pozzo AGIP, l'incremento della mineralizzazione con la profondità, pur rimanendo costanti le proporzioni tra gli ioni.

**3.** L'analisi dei trend delle acque riportate nel diagramma di dx permette infine di formulare le seguenti ipotesi consentendo correlazioni a più ampia scala (poiché, mette a confronto i seguenti punti d'acqua: **a.** acque termali di Sciacca; **b.** mare antistante Sciacca; **c.** acque termali di altre località della Sicilia Occidentale; **d.** acque ipotermali di M. Te Magaggiaro (pozzi P1 e P2); **e.** sorgente S. Lorenzo -scomparsa a seguito del sisma del 1968; **f.** acque termali di Pantelleria relative al chimismo del Canale di Sicilia; **g.** il chimismo di una salamoia ipersalina - Civita, 2005): **I.** tra tutte le sorgenti termali presenti nella Sicilia Ovest il chimismo dei punti termali di Sciacca risulta essere, quello che più mostra attinenze con le acque marine; **II.** le sorgenti termali di Pantelleria (Nikà e Gadir) derivanti da un acquifero vulcanico, molto permeabile, nella quale è forte l'interazione con il mare mostrano un arricchimento, nei composti cloruro-alcalini, simile a quello evidenziato nelle sorgenti termali di Sciacca; **III.** tale similitudine dimostra, indirettamente, le strette colleganze delle acque termali di Sciacca con le acque marine; **IV.** i trend delle altre sorgenti termali della Sicilia Ovest (Segestane, Gorga I e II, Acqua Pia) evidenziano, viceversa, un ridotto arricchimento dei composti cloruro-alcalini (causa gli approfondimenti dei circuiti o la

presenza, in profondità di rocce solubili ma non per arricchimenti di origine marina); **IV**. il trend di un'acqua assimilabile ad una salamoia ipersalina evidenzia delle concentrazioni superiori a quelle marine, con, in particolare, un impoverimento dei composti bicarbonato-calcici in quanto già precipitati per saturazione; **VI**: tale aspetto risulta contrario a quanto si constata nelle sorgenti termali di Sciaccia.

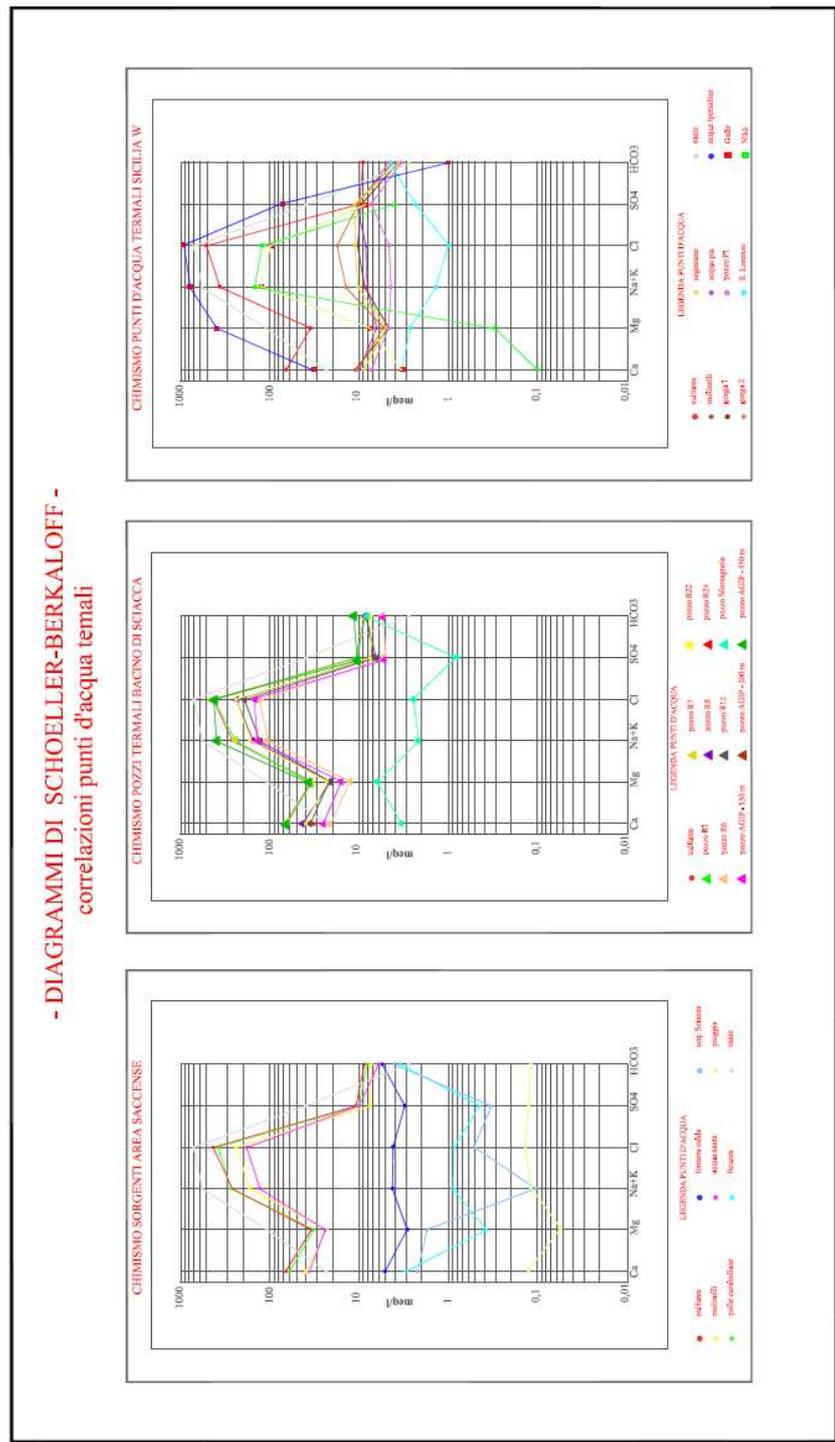


Fig. 68; diagrammi di Schoeller-Berkaloff

## ANALISI CHIMICHE ENTE TERME DI SCIACCA

La collaborazione intrapresa, nel 2009, con l'Ente Terme di Sciacca s.p.A, ha permesso di acquisire l'intera sequenza storica, dei dati di analisi, effettuati dall'Ente, sulle acque delle sorgenti e dei pozzi utilizzati.

La serie dei dati, da un punto di vista temporale, può essere distinta in 3 periodi.: **A.** Primo periodo: analisi precedenti al 1987; sono state riscontrate tre sole analisi che di seguito vengono riportate e commentate; **B.** Secondo periodo: si sono riportate le analisi effettuate, con cadenza annuale o più, dal 1987 al 2008, anno immediatamente antecedente alla collaborazione intrapresa tra lo scrivente e l'Ente. **C.** Terzo periodo comprendono le analisi condotte nel triennio 2009 al 2011, ovvero successivo alla collaborazione intrapresa dallo scrivente con l'Ente Terme.

In tale periodo nel quale i punti d'acqua sono stati campionati con maggiore frequenza rispetto al passato (pozzo R1 tre volte nel solo 2010) ed inoltre si è provveduto campionare anche quei punti d'acqua (Antiche Terme, Molinelli) che, nella precedente serie storica (1987-2008), risultavano carenti di dati.

Nei prossimi paragrafi verranno attentamente analizzate tutte le peculiarità emerse dalla analisi critica dei dati.

Si specifica che l'inizio dei campionamenti con frequenza annuale, eseguiti a partire dal 1987, non è casuale ma è conseguenza diretta della perizia condotta dal Prof. Aureli per conto della Procura di Sciacca, conclusa nel 1986, che dimostrò l'importanza di un maggiore controllo, da parte dell'Azienda Terme, dei punti d'acqua presenti nel bacino termale.

E' stato creato un apposito database dei dati reperiti ed una copia è stata fornita all'Ente Terme per una più comoda e veloce consultazione dei dati cartacei (vedasi Tab. 19)

### PRIMO PERIODO - ANALISI PERIODO 1940-1987

La ricerca bibliografica condotta nell'archivio della Azienda Terme ha permesso di recuperare le prime analisi delle acque termali di Sciacca che per la rilevante importanza storica vengono di seguito dettagliatamente commentate.

#### ANALISI SORGENTE MOLINELLI 1940

Il documento più antico recuperato, a firma del Prof. Pietro Teresi, Direttore, all'epoca, del Laboratorio di Igiene e Profilassi di Palermo riporta la data del 2 Maggio 1940.

La Tab. 20 indica le caratteristiche della Sorgente Molinelli.

RESIDUO FISSO E COSTANTI FISICO-CHIMICHE					
temp. acqua (°C)	temp aria	residuo fisso a 111°C - g/l	residuo fisso a 180°C - g/l	residuo fisso a rosso incipiente - g/l	perdita di peso calcinazione g/l
32	25	15,60	14,92	14,29	0,63
GAS DISCIOLTI					
CO <sub>2</sub> cmc	O <sub>2</sub> cmc	AZOTO cmc	TOT. GAS DISCIOLTI cmc		
67,45	4,52	18,63	90,60		
SPECIE CHIMICHE					
CATIONI			ANIONI		
	g/l	meq/l		g/l	meq/l
Na	3,937	171,20	Cloro	7,632	215,00
K	0,209	5,35	Bromo	0,088	1,11
Ca	0,877	21,89	iodio	0,0019	0,015
Mg	0,00265	0,098	solforico	0,341	3,55
Fe	tracce		idrocarbonico	1,240	20,33
radioattività U. Machell	1,82		SiO <sub>2</sub>	0,016	0,016

Tab. 20; risultanze delle analisi delle acque della Sorgente Molinelli

Il Prof. Teresi nelle conclusioni così classificava l'acqua della sorgente Molinelli: **A.** cloruri alcalini in prevalenza; **B.** bromuri e ioduri in piccole quantità; **C.** solfati e bicarbonati di calcio e magnesio; **D.** silicati alcalini in piccolissime quantità; **E.** tracce di sali ferrosi; **F.** temperatura piuttosto elevata; **G.** debolmente radioattiva; **H.** concentrazione molecolare superiore a quella del siero del sangue;

Essa pertanto va caratterizzata come acqua minerale – termale – ipertonica - alcalino – clorurata – e leggermente bromurata e iodurata.

## ANALISI SORGENTI 1950 – ACQUA SULFUREA E ACQUA SANTA -

Alla fine del 1949 l'Azienda Speciale delle Terme del Comune di Sciacca diede incarico all'istituto di Chimica generale dell'Università di Palermo, diretto dal Prof. Oliveri-Mandalà, incarico di eseguire "l'analisi completa chimico e chimico-fidica delle acque termominerali denominate "Acqua Sulfurea" e "Acqua Santa".

I campionamenti furono effettuati in data 6 novembre 1949 e le risultanze riportano la data del 1 aprile 1950.

Interessante appare la descrizione dello stato della Sorgente Sulfurea "l'acqua sulfurea scaturisce dentro una vasca posta al centro dell'atrio nello stabilimento Vecchie Terme. La vasca è lateralmente cementata, sul fondo sono visibili le polle di scaturigine. Nell'interno della vasca si notano precipitazioni di limo solfifero".

Si ricavano inoltre importanti notizie sulla scaturigine dell'Acqua Santa che non è scomparsa, come si crede, ma è stata resa inaccessibile dai lavori per la costruzione della vasca di ritenuta delle acque della Sulfurea.

Nei certificati in merito si riporta: "La sorgente dell'Acqua santa è inaccessibile. L'acqua viene convogliata in un pozzetto in muratura ricavato sul muro di cinta dell'atrio entro in cui si trova l'acqua solfurea. Da tale pozzetto è stata ricavata l'acqua per l'analisi".

Le Tab. 21/a-b riportano le caratteristiche chimiche della Sorgente Solfurea e della Sorgente Acqua Santa.

### RISULTANZE ANALISI ACQUA SULFUREA

RESIDUO FISSO E COSTANTI FISICO-CHIMICHE					
temp. acqua (°C)	temp aria	residuo fisso a 105°C - g/l	residuo fisso a 180°C - g/l	dENSITÀ	pH
54,4	17,6	24,52	23,05	1,0167	5,71
GAS DISCIOLTI					
CO <sub>2</sub> cmc	O <sub>2</sub> cmc	AZOTO cmc	ACIDO SOLFIDRICO cmc		
62,07	5,55	23,14	110,06		
SPECIE CHIMICHE					
CATIONI			ANIONI		
	g/l	meq/l		g/l	meq/l
Na	6,4482	280,4	Cloro	13,223	372,02
K	0,5745	14,69	solforico	0,519	5,406
Ca	1,4522	72,48	bicarbonico	0,7959	13,043
Mg	0,4154	34,16	solfidrico	0,1607	4,859
Fe	0,00015	0,0026			
radioattività U. Mache/l		1,76	SiO <sub>2</sub>	0,0441	0,0441
millimicrocurie/l		0,64			

Tab. 21/a; risultanze delle analisi delle acque della Sorgente Solfurea

Il Prof. Oliveri-Mandalà nelle conclusioni così classificava l'acqua della sorgente Solfurea: **A. Classificazione acqua secondo MAROTTA e SICA ; B. Acqua minerale da bagno ipertermale; C. Solfurea-salzo-solfato--alcalino-terrosa**

### RISULTANZE ANALISI ACQUA SANTA

RESIDUO FISSO E COSTANTI FISICO-CHIMICHE					
temp. acqua (°C)	temp aria	residuo fisso a 105°C - g/l	residuo fisso a 180°C - g/l	dENSITÀ	pH
33,5	17,6	5,27	4,92	1,0019	6,80
GAS DISCIOLTI					
CO <sub>2</sub> cmc	O <sub>2</sub> cmc	AZOTO cmc	ACIDO SOLFIDRICO cmc		
24,74	18,84	6,71	---		
SPECIE CHIMICHE					
CATIONI			ANIONI		
	g/l	meq/l		g/l	meq/l
Na	1,2459	54,176	Cloro	2,80	78,977
K	0,0858	2,2457	solforico	0,1272	1,3236
Ca	0,01777	2,5615	bicarbonico	0,34498	5,6546
Mg	0,13607	5,595	iodio	0,01353	0,10664
Fe	0,00015	0,00269			
radioattività U. Mache/l		1,75	SiO <sub>2</sub>	0,0373	0,0373
millimicrocurie/l		0,638			

Tab. 21/b risultanze delle analisi delle acque della sorgente Acqua Santa

Il Prof. Oliveri-Mandalà nelle conclusioni così classificava l'acqua della sorgente dell'Acqua Santa: **A. Classificazione acqua secondo MAROTTA e SICA; B. Acqua da bibita minerale termale; C. Salso-iodica-solfato-alcantino-terrosa**

## **SECONDO PERIODO - ANALISI DEI PUNTI D'ACQUA DELL'AZIENDA TERME (PERIODO 1987-2008)**

Nel periodo di tempo considerato sono stati campionati periodicamente i punti d'acqua utilizzati dall'Ente Terme di Sciacca. Chi scrive ha analizzato con attenzione tale serie temporale le cui risultanze hanno permesso di formulare diverse importanti conclusioni che forniscono un quadro più completo sulle caratteristiche delle acque del bacino termale s.s.

### **FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO**

L'analisi dei dati inediti forniti dall'Ente Terme, dal 1987 ad oggi, risultano caratterizzate da campionamenti dei vari punti d'acqua condotte in modo non omogeneo nel tempo.

I diversi punti d'acqua risultano così campionati: **I.** pozzo R1 (24 volte); **II.** pozzo R3 (17 volte); **III.** pozzo C5 (7 volte - l'ultima nel 2006); **IV.** Sorgente Sofurea Grande (4 volte – 1988, 1992, 1992 e 2011; oltre alle due storiche analisi del 1950 e 1958 precedentemente commentate. **V.** Acqua Santa (2 volte - 1992 e 2011 più l'analisi del 1950) **VI.** Molinelli (1 volta, nel 2011, più le analisi del 1940).

Le numerose analisi eseguite nei pozzi R1 e R3 (ubicati nei giardini della sede centrale delle Terme, circa 250 m a SO, in linea d'aria dall'ubicazione delle Sorgenti Selinuntine) sono risultati determinanti poiché la loro analisi ha permesso di avere notizie dettagliate sulle variazioni a lungo termine del chimismo nel bacino idrotermale di Sciacca.

Grazie anche alla sostanziale identità di chimismo con le acque della Sorgente Solfurea e degli altri punti rappresentativi del bacino termale s.s (polle Carabollace, pozzo AGIP; pozzo R7, pozzo C5 ecc.).

Si commentano di seguito le analisi del pozzo R1 punto d'acqua con maggiore numero di analisi (Tab. 22).

### **SOSTANZIALE IDENTITA' CHIMISMO SORGENTE SULFUREA - POZZO R1**

Nel presente paragrafo viene evidenziato, tramite correlazione temporale dei dati di chimismo dei due punti d'acqua (Sorgente Sofurea e pozzo R1) che consente di verificare (vedasi Tab. 22) la quasi totale identità di chimismo nel tempo nei due punti e pertanto consente di avere un controllo delle eventuali modifiche verificatesi nel tempo nel bacino idrogeotermale di Sciacca attraverso le analisi condotte nel pozzo R1.

### **ANALISI TREND MACROELEMENTI**

La prima considerazione che può essere fatta, sulle caratteristiche della distribuzione nel tempo dei macroelementi nel pozzo R1, è di una generale costanza dei rapporti tra le varie specie chimiche nel tempo.

Il diagramma della Fig. 69 mostra il confronto delle risultanze analitiche nel pozzo R1, rispettivamente tra: primo campionamento (Forlani, 1977) ed il campionamento, ultimo del 2011 periodo nel quale le acque del pozzo R1 sono state campionate 21 volte nei seguenti anni (1990, 1992, 1994, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2002, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 e 2010) la cui correlazione sembra evidenziare un andamento sinoidale con intervalli di ricarica di 4-5 anni indice di circuiti profondi.

### **TERZO PERIODO ANALISI (COLLABORAZIONE SCRIVENTE - ENTE TERME)**

L'elaborazione dei dati di analisi messi a disposizione dall'Ente Terme allo scrivente (periodo 1987- 2009) ha consentito di acquisire una conoscenza approfondita del trend temporale di chimismo del bacino termale.

L'analisi dell'intera serie storica (vedasi Tab 19) ha evidenziato la necessità di: **a.** eseguire, nel corso del 2010, un numero di campionamenti superiori allo scopo di verificare la costanza stagionale del chimismo delle acque termali; **b.** di campionare quei punti d'acqua che in passato erano stati trascurati.

La Tab. 23 riporta le risultanze delle campagne di monitoraggio (5) condotte nel pozzo R1 nel periodo compreso tra la primavera del 2009 e la primavera del 2011 riguardo ai seguenti parametri: chimico-fisici; macro e microelementi; gas disciolti; radioattività.

CORRELAZIONE ANALISI ACQUE SORGENTE SOLFUREA E POZZO R1 mg/l															
	S. SOLFUREA	pozzo R1	S. SOLFUREA	pozzo R1	S. SOLFUREA	pozzo R1	S. SOLFUREA	pozzo R1	S. SOLFUREA	pozzo R1	S. SOLFUREA	pozzo R1	S. SOLFUREA	pozzo R1	
fonte	forlani		azienda terme		azienda terme		la barbera		la barbera		azienda terme				
data	25.05.1976		11.04.1988		14.01.1992		26.02.1992		dic'00		lug'01		04.05.2011		
temp aria	°C		28	20,5	15	15							19,5		
temp acqua	°C		55,6	53,5	56	54,4	56,8	54	55,2	52,3	55,2	52,3	53,9	52,8	
Ph			5,7	5,7	6,00	6,90	6,30	6,40	5,8	6,1	5,8	6,2	6,00	5,90	
En	(mV)		-50	-50					-291	-310	-300	-340			
residuo fisso	mg/l		24500	24000	23600	23619	23250	23660					22800	23200	
conducib. El.	µS		31.500	31000	29300	34800	34800	34400					37200	37200	
alcalinità tot.	ml/l		86	84			93	90	75	79	80	83			
durezza tot.	°F		508	510	503	500	516	514					507,5	510	
bicarbonati	mg/l		525	510			567,3	549					567,5	573,6	
solfati	mg/l		550	500	430	440	490	400	652	611	682	648	554,9	572,5	
cloruri	mg/l		13100	13000	13000	13294	13120	12694	14140	14049	14319	14347	14105	14080	
calcio	mg/l		1350	1345	1304	1264	1240	1277	1223	1228	1289	1309	1340	1340	
magnesio	mg/l		420	420	429	447	500,6	474	430	427	447	467	419	425,3	
sodio	mg/l		6200	5500	6750	9000	7125	7012	6757	6753	6868	6974	5476	5802	
potassio	mg/l		380	370	393	350	410	480	509	505	550	527	452	454	
bromo	mg/l		56	50									146,7	79,6	
iodio	mg/l		4,3	5,5											
fluoro	mg/l		1,6	2,2	0,1	0,13	21,3	24,5	11,78	12,54	6,65	0,19	1	1,1	
nitrico	mg/l		<0,5	<0,5					90					ass	1
solfidrico	mg/l		1,45	1,4	24,7	43	6,2	4,4							
litio	mg/l		1,9	2,6	1,6	2	1,2	1					1	1	
ammonio	mg/l		6,7	4,5	9,6	12,8	8,3							18,5	16
silice	mg/l		230	--	47	109	42	42					47	49	

Tab. 23/a; correlazione temporale fra le analisi per la sorgente solfurea grande e il pozzo R1

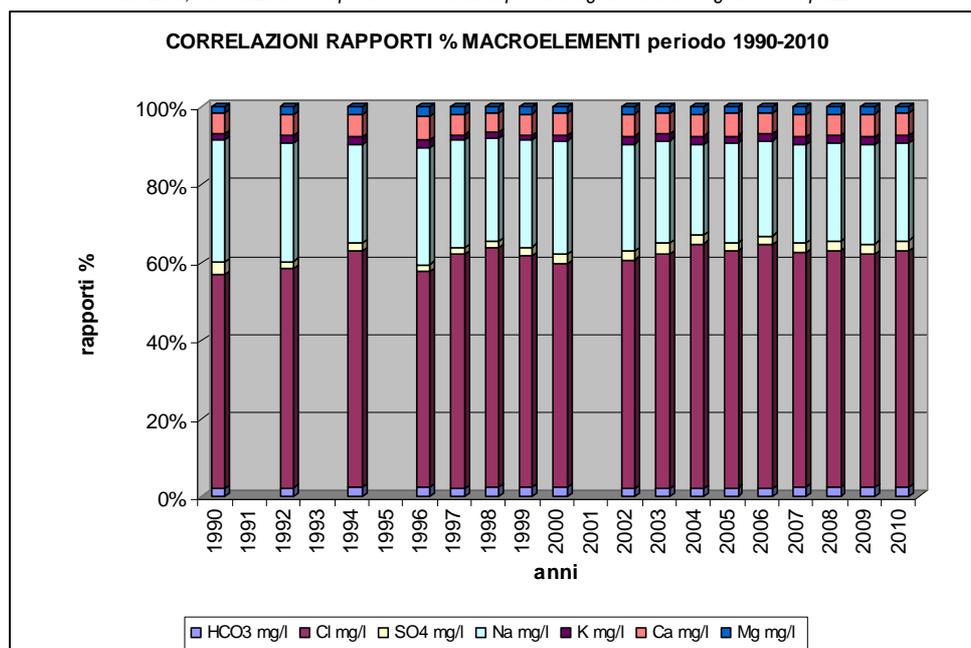


Fig. 69; pozzo R1 correlazione per la ripartizione in % dei macroelementi (periodo 1990-2010)

POZZO R1 ANALISI PERIODO 2009-2011							
CARATTERISTICHE FISICHE E CHIMICHE							
data prelievo	T aria °C	T acqua	pH	Cond. Elet.	Res. Fisso	Alcalinità	Durezza tot
	°C	°C		mcS	mg/l a 180°		°F
24/03/2009	13,3	53,1	6,24	36500	22783	92	514
19/05/2010	16,2	55,3	5,89	36524	23478	91	507,5
28/07/2010	28,8	54,7					
14/12/2010	16,6	54	5,86	36404	23020	86	510
04/05/2011	19,5	52,8	5,90	37200	23200	94	510
MACROELEMENTI							
data prelievo	HCO3	Cl	SO4	Ca	Mg	Na	K
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
24/03/2009	561,4	13648,2	634,3	1316	449,6	5834	448,7
19/05/2010	555,3	14156,2	641,3	1310	437,4	5840	450,8
28/07/2010	561,4	13648,2	634,3	1316	449,6	5834	448,7
14/12/2010	524,7	14002	604,4	1320	437,4	5790	445
04/05/2011	573,6	14080	572,5	1340	425,3	5802	454
ELEMENTI IN TRACCE							
data prelievo	NO3	Br	I	F	Li	Sr	SiO2
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
24/03/2009	3,2	108,7	2,4	5	1,2	7	12
19/05/2010	2	305	2,4	5,2	1,2	7,5	16
28/07/2010	3,2	108,7	2,4	5	1,2	7	12
14/12/2010	1	100,6	2	5,9	1	8,2	20
04/05/2011	1	146,7	2	1,1	1	8	49
GAS							
data prelievo	Ossigeno	CO2	H2S	S tot	NH4	radioattiv.	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	pCi/l	
24/03/2009	ass	332	16,6	20,3	17,5		
19/05/2010	ass	340	18	20	10,5		
28/07/2010				20,3	17,5		
14/12/2010	ass	352	18	20	8,6		
04/05/2011	ass	344	18	20	16	510	

Tab. 23/b; correlazioni dei dati di chimismo nel pozzo R1 (periodo 2009-11)

## TREND MACROELEMENTI

Le acque del pozzo R1, tra il 2009 ed il 2011, sono state campionate con una frequenza maggiore (24.03.09; 19.05.10; 28.07.10; 14.12.10; 04.05.11; 28.09.2011).

La Fig. 70 riporta i 6 diagrammi di ripartizione % relativi alle date sopra elencate evidenziando una sostanziale continua omogeneità del dato di chimismo dei macroelementi (indice di circuiti di alimentazione profondi).

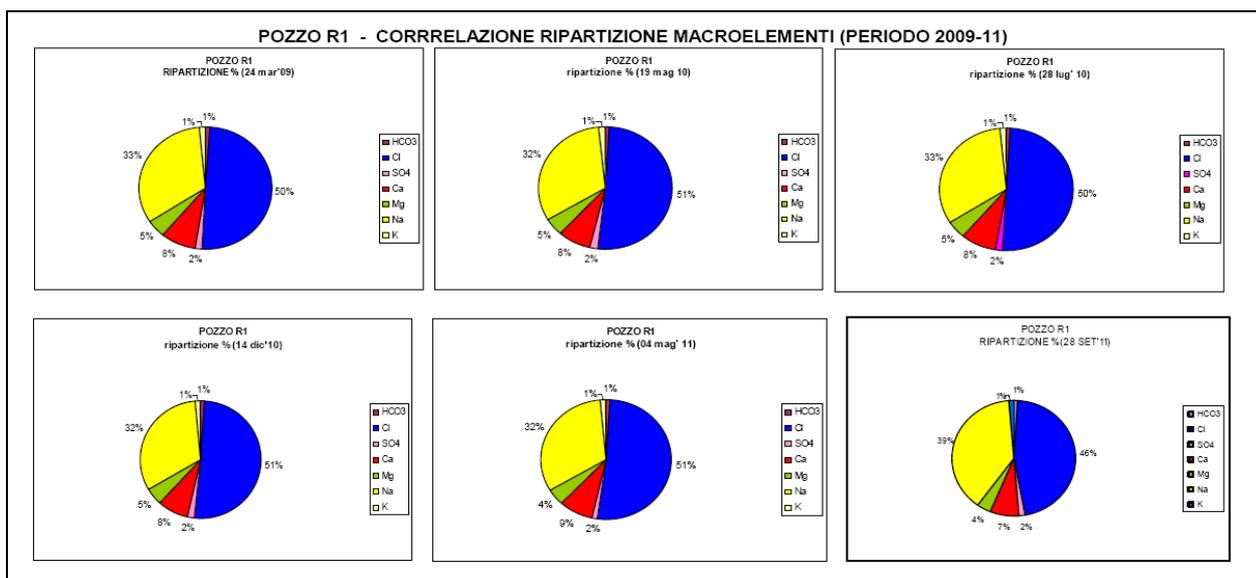


Fig.70; raffronto fra i dati di chimismo del pozzo R1 (periodo mar'09-set'11)

### TREND ELEMENTI IN TRACCIA

La Tab. 24 riporta i valori degli elementi in traccia (Fluoruri, Ioduri, Bromuri; ione Ammonio, Lito e Stronzio) nella serie di campionamenti effettuati nel pozzo R1 dal 1987 al 2011.

POZZO R1 – CORRELAZIONE DEI TREND DEI MICROELEMENTI – periodo 1987-2011													
data prelievo	F	I	Br	NH4	Li	Sr	data prelievo	F	I	Br	NH4	Li	Sr
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
							25/03/1999	15	3,5	102	17	1,7	6
1987	0,13			12,8	2	70,2	18/01/2000	13,3	4	108	14	1,5	8
11/04/1988	0,12			10,1	1,6	73	23/06/2001						
07/02/1989	0,14			9,1	1,7	70	19/02/2002	18	3	110	17,7	1,3	8,4
28/03/1990	19	4,8			1		21/01/2003	13,2	3	86,9	21,4	1,2	7,5
14/03/1991	23,6	3,5		ass	1		14/01/2004	5,3	3	106	13	1,3	8
14/01/1992	24,5	4			1		22/02/2005						
19/01/1993	26	6		9,6	2		23/02/2006	6,7	2,8	115,9	17,5	1,2	6,5
01/02/1994		5		20,6	2,5		12/04/2007	2,6	2,4	81,8	20	1,2	6,8
17/06/1995							24/06/2008	2	2,4	96,6	18	1,2	7,2
23/01/1996	28,7	2	94	23	1,2	12	24/03/2009	5	2,4	108,7	17,5	1,2	7
22/01/1997	22	3	106	3	1,9	5	19/05/2010	5,2	2,4	305	10,5	1,2	7,5
22/01/1998	19	3	107	22	2	7	04/05/2011	1,1	2	146,7	16	1	8

Tab. 24; pozzo R1 correlazioni fra i valori dei microelementi (periodo 1987-2011)

Tra i microelementi ricercati il Litio, lo Stronzio ed gli Ioduri, mostrano un comportamento negli anni simile (vedasi immagine di sx della Fig. 71).

### TREND DEI GAS DISCIOLTI

Nel presente paragrafo si riportano, per il periodo di tempo considerato (1987-2011) la distribuzione delle specie gassose CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, S, Radon (radioattività).

Il diagramma a dx della Fig. 71 correla i trend di tali specie chimiche consentendo di riscontrare: **A.** una riduzione del tenore in solfuri alla fine degli anni '80, con un minimo assoluto nel periodo 1990-92 per poi avere un andamento pressoché costante; **B** lo zolfo totale mostra un andamento quasi del tutto sovrapponibile; **C.** il minimo di diffusione, riscontrato per i

Solfuri e lo Zolfo totale, nei primi anni '90 si riscontra anche per il tenore in CO<sub>2</sub>; per poi evidenziare un trend simile. D. Interessante appare il dato della radioattività che evidenzia un progressivo incremento a partire da un minimo assoluto riscontrato nel campionamento del 1991

Interessante appare il minimo (vedasi riquadri in giallo) che si riscontra, per tutte le specie chimiche, nel 1991 per poi aumentare negli anni successivi ( si rimanda al Cap. 10 per maggiori dettagli).

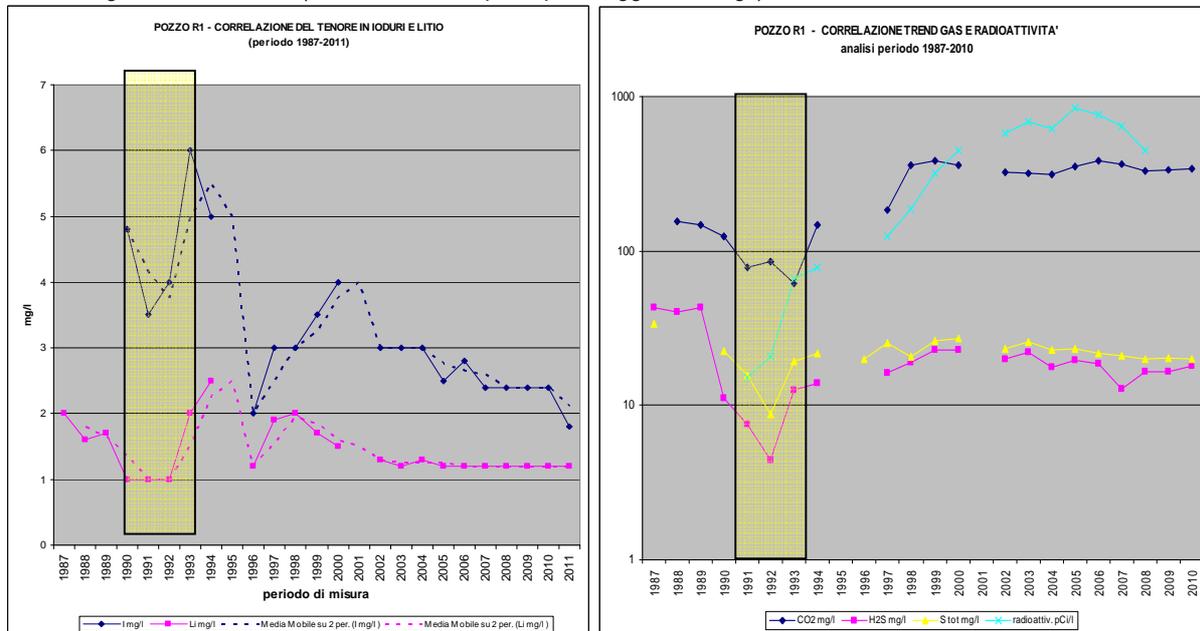


Fig. n.71; Pozzo R1 – correlazione nel tempo dei gas disciolti (periodo 1987-2010)

### RADIOATTIVITA' DELLE ACQUE NEL BACINO IDROGOTERMALE DI SCIACCA

Le acque del bacino termale di Sciacca possiedono una debole radioattività che si manifesta con la presenza di radon, da non ritenersi un fattore eccezionale poiché quasi tutte le acque termali lo possiedono.

La causa è da ricercarsi nella proprietà che hanno alcuni elementi - bario, attinio, radon- (quest'ultimo è presente in quasi tutte le acque minerali in genere) di emettere radiazioni spontanee (radiazioni denominate alfa, beta e gamma) caratteristica tipica di sostanze instabili che evolvono in natura verso la stabilità per il cosiddetto fenomeno conosciuto come *transazione del nucleo*.

Il radon nello specifico ha un potere penetrativo molto debole e tale aliquota di radioattività esplica un effetto benefico in numerose patologie.

### MISURE STORICHE DEL RADON NEI PUNTI D'ACQUA DEL BACINO TERMALE

La Tab. 25 (Aureli, 1996) riporta i campionamenti effettuati da (Berbenni e Ariatti), nel 1973, in alcuni punti d'acqua del bacino termale di Sciacca.

MISURE RADON DALLE PRINCIPALI ACQUE DEL BACINO (AURELI, 1996 – Berbenni&Ariatti, 1978)				
nome	data	ora	T °C	Rn pCi/l
stufe (aria)	23.05.1973	12:00	-	210±10
sorgente molinelli	id.	17:30	32	2440±150
pozzo R5	id.	18:00	56	475±10
Acquedotto di Sciacca	id.	19:15	18	98±2
Torrente Carabollace	id.	9:30	16	197±5
M1	id.	14:00	47	47±1
Fontana Calda	id.	10:00	30	153±5
Pozzo R7	id.	12:00	-	244±10

Tab. 25; punti termali del bacino di Sciacca – misure di radon

L'analisi dei dati mostra che il tenore di radon risultava minimo nei punti d'acqua freddi, temperatura compresa tra i 16 ed i 18 °C (pozzo M1 e acque dell'acquedotto di Sciacca che captava le acque dal gruppo del Salto presso Rocca nadore) mentre tenori maggiori si riscontravano nei punti termali.

Valori simili di radioattività si riscontrarono tra i vapori delle Stufe di S. Calogero e le acque della sorgente Fontana Calda (rispettivamente  $210 \pm 10$  e  $153 \pm 5$  pCi/l)

Il valore massimo di circa un ordine di grandezza superiore agli altri punti termali venne riscontrato alla Sorgente Molinelli da attribuire, con ogni probabilità, alla zona di faglia, dalla quale scaturisce la sorgente, che favorisce la risalita del gas.

### MISURE DEL TENORE DI RADIOATTIVITA' ENTE TERME DI SCIACCA

Nella Fig. 72 si riportano rispettivamente i valori di radon misurati nei campionamenti effettuati (pozzi R1 e R3) dall'Ente Terme nel periodo che va dal 1991 al 2011 .

Il grafico a destra nella figura mostra un andamento pressoché simile nei due pozzi.

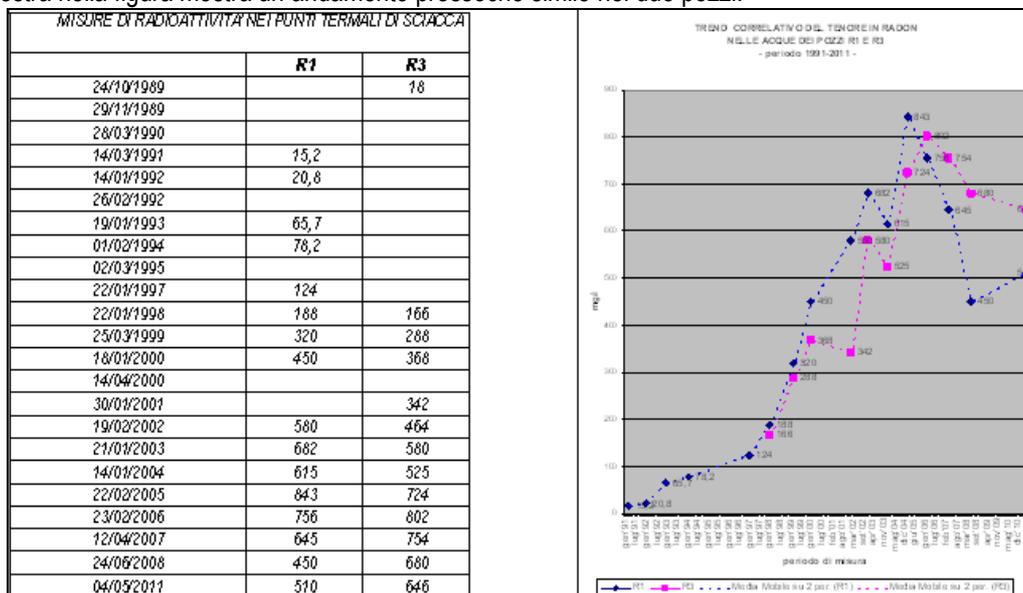


Fig. 72; pozzi R1 e R3; correlazione valori di radon (periodo 1987-2011)

### DATI ISOTOPICI

Per un ulteriore approfondimento dell'argomento, sull'origine delle acque e dei i circuiti che le alimentano, è stata condotta anche un'analisi di tipo isotopico (Hauser, 1980, Dongarrà&Hauser, 1987; La Barbera, 2002).

L'esistenza di circuiti superficiali, o viceversa più profondi, si può verificare tramite un confronto tra le variazioni del dato isotopico delle piogge (all'interno del medesimo bacino di alimentazione, di un intero anno idrologico) ed il dato isotopico riscontrato in punti d'acqua campionati (pozzi e sorgenti).

### DATI ISOTOPICI PIOGGE

Nel presente capitolo si riportano i dati inediti, ricavati da un lavoro di tesi (coadiuvato dai Prof.: S. Hauser e G. Cusimano) nel quale sono stati campionati, per il bacino in studio, per più di un anno (mag'00-set'01), le acque di pioggia prelevate da tre pluviometri la cui ubicazione, riportata nella Fig. 73 è alle seguenti quote: a. Piezometro P1; quota 741 msm (Rocca Ficuzza); b. Piezometro P2; quota 345 msm (M. te S. Calogero); c. Piezometro P3 (area Est di Sciacca-C. da Mendolito-circa 350 m NNE dei Bagni Molinelli): quota 57 m slm.

I dati isotopici delle piogge (sono stati correlati ed i trend temporali si sono evidenziati in un opportuno diagramma (vedasi Fig.74).

E' possibile verificare che detti valori seguono un andamento normale, ovvero con valori maggiori nel periodo invernale rispetto al periodo estivo; i range di variazione del dato isotopico, nei 3 piezometri, vengono di seguito elencati:

- **Pluviometro P1 (q. ta 745 msm):** variazioni max (Dic.'00 =  $-9,78\text{‰ } \delta$ ) min (Mag. '01=  $-4,65\text{‰ } \delta$ ) =  $-5,13\text{‰ } \delta$  ;
- **Pluviometro P2 (q. ta 345 msm):** variazioni max (Dic.'00 =  $-8,68\text{‰ } \delta$ ) min (Mag. '01=  $-3,42\text{‰ } \delta$ ) =  $-5,26\text{‰ } \delta$  ;
- **Pluviometro P3 (q.ta 57 msm):** variazioni max (Dic.'00 =  $-7,64\text{‰ } \delta$ ) min (Mag. '01=  $-3,42\text{‰ } \delta$ ) =  $-4,22\text{‰ } \delta$

### DATI ISOTOPICI DEI POZZI E DELLE SORGENTI PRESENTI NEL BACINO IDROTERMALE DI SCIACCA

Nello stesso periodo di tempo, gli AA, hanno provveduto a far campionare, nel medesimo areale, un certo numero di pozzi e sorgenti (termali e non termali) la cui ubicazione si riportano nella Fig. 73

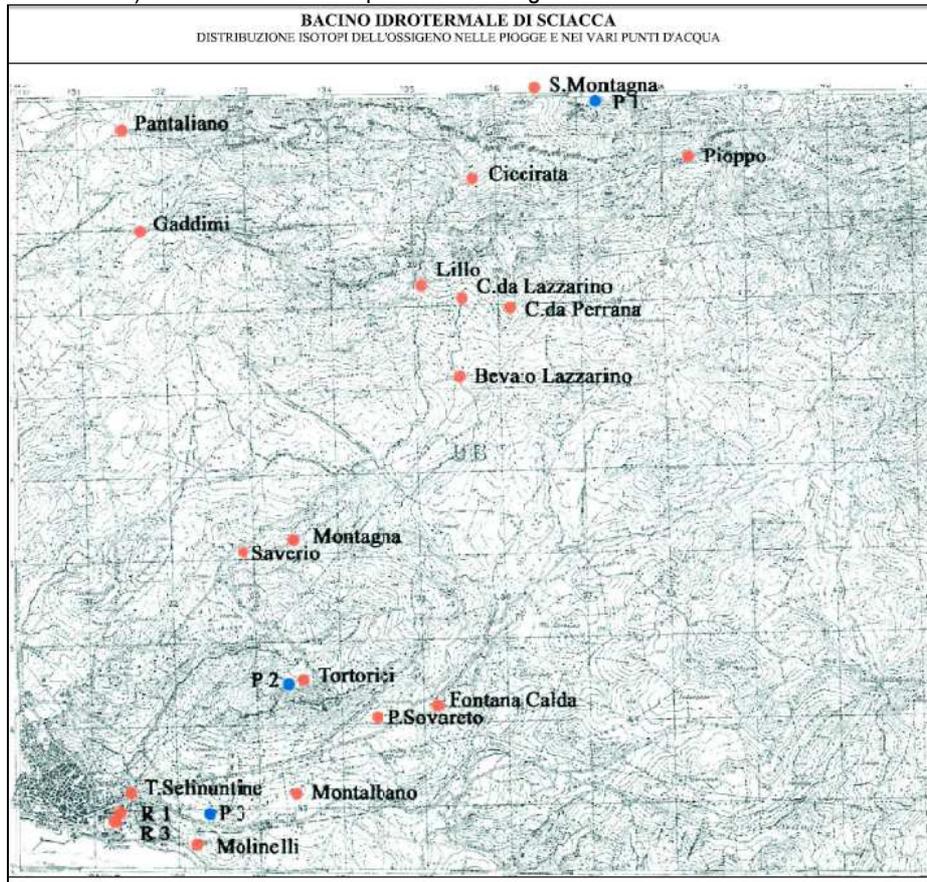


Fig. 73; ubicazione pozzi e sorgenti (in rosso) e piezometri (in blu)

I campionamenti sono stati eseguiti: il primo, nel dic'00, nel periodo di ricarica; il secondo, nel lug'01, nel periodo di magra. Le risultanze, di tali campionamenti, sono stati riportati sempre nella Fig. n. 78

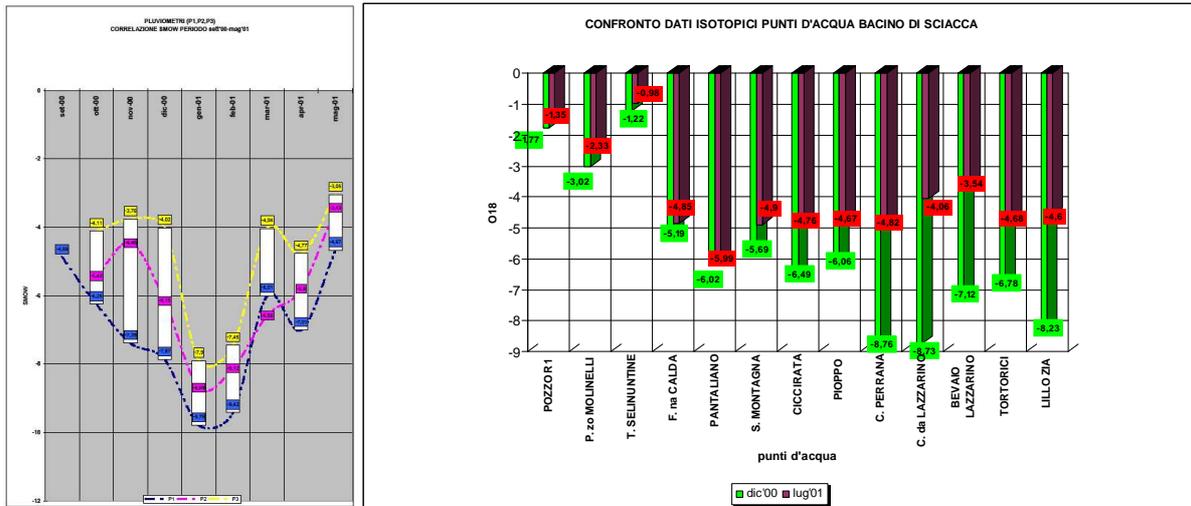


Fig. 74; trend dell'O<sup>18</sup> nei piezometri e nei punti d'acqua

In base ai valori riscontrati nei due campionamenti e allo scarto esistente tra le due misure, si possono distinguere 7 gruppi di acque.

1. il primo gruppo è dato da 3 punti d'acqua, C. da Perrana, Lillo Zia e C. da Lazzarino; tra loro prossimi, ubicati alle pendici SE di Rocca Nadore.

I valori isotopici dell'O<sup>18</sup> variano tra un minimo di ~-8,5‰, nel periodo invernale, ed un massimo di ~ 4,5‰, nel periodo estivo; lo scarto è paragonabile a quanto riscontrato per le piogge; indicativo di circuiti di alimentazione brevi e veloci.

2. il secondo gruppo è costituito dalle seguenti sorgenti: S. te Montagna, Ciccirata e Pioppo, scaturenti presso il limite Nord dell'area studiata; si constata uno scarto stagionale, del dato isotopico, più ridotto che denota circuiti più profondi.

3. al terzo gruppo appartiene il pozzo Tortorici, ubicato presso la sommità di M. te S. Calogero con valori nel complesso meno negativi rispetto ai punti d'acqua considerati nei primi due gruppi (causa quote di alimentazione inferiori).

4. nel quarto gruppo rientra il Bevaio Lazzarino, la cui ubicazione (vedasi Fig. 5.1 dell'All. 5) risulta intermedia tra i punti d'acqua del primo e del terzo gruppo; mostra scarti isotopici, dell' O<sup>18</sup>, simili a quelli del primo gruppo ma con valori, in assoluto, meno negativi, per possibili interazioni anche con le acque provenienti da M. te S. Calogero.

5. questo gruppo è costituito dai punti d'acqua a maggiore termalità (Antiche Terme e pozzo R1) nei quali si riscontrano valori simili dell' O<sup>18</sup> e che, inoltre, risultano essere i meno negativi dell'intero gruppo considerato.

Le acque delle Antiche Terme sono caratterizzate dai valori isotopici meno negativi in assoluto e, specie nel campionamento effettuato nel periodo di magra (lug'00), venne riscontrato un valore, dell' O<sup>18</sup>, pari a -0,98‰.

Tale aspetto suggerisce collegamenti con le acque marine (contraddistinti, da un valore isotopico variabile tra: +0,9 e +1,7‰; Olive 1977) e che tale influenza sia massima nei periodi di prolungata magra, quando l'aliquota di ricarica risulta minima. Le acque di Molinelli presentano valori isotopici intermedi tra questi punti d'acqua e la Fontana Calda.

6. a tale gruppo appartiene la sorgente Fontana Calda la cui acqua mostra variazioni isotopiche stagionali, dell' O<sup>18</sup>, molto contenute (tra: -5,19‰ e -4,85‰); con valore medio compreso tra: i punti d'acqua fredde del gruppo 1 e le acque termali del gruppo 5.

La costanza del dato isotopico consente di ipotizzare una correlazione anche con le acque di stillicidio di M. te S. Calogero, areale nel quale si concentra il fenomeno vaporoso, ove è stato riscontrato (Hauser, 1998), per una temperatura di 37° C, un O<sup>18</sup> pari a - 5,5 ‰, molto simile al valore misurato alla sorgente ed uguale al dato medio per le piogge nelle zone costiere (Hauser et al, 1980).

7. Al settimo gruppo appartiene la sorgente Pantaliano, ubicata nel limite NO dell'area presa in considerazione (si rileva una costanza nei valori isotopici, indice di circuiti di alimentazione profondi).

## POSSIBILE QUOTA DI ALIMENTAZIONE DELLE ACQUE DEL BACINO TERMALE DI SCIACCA

La positivizzazione del δ<sup>18</sup>O riscontrato nei punti termali (vedasi il grafico di dx della Fig. 74), causa l'influenza delle acque marine non consente di stimare direttamente la quota di alimentazione delle acque, attraverso l'usuale correlazione δ<sup>18</sup>O/h. Si cercherà comunque, nel presente paragrafo, di ottenere tali risposte in modo indiretto.

L'immagine di sx della Fig. 75 mostra (Favara et alii, 2001) un modello concettuale che per le mineralizzazioni presenti presso le sorgenti termali, ipotizza una miscelazione, per le acque del bacino idrogeotermale di Sciacca, di: a. 50% di acqua di ricarica dagli acquiferi carbonatici e b. un'ulteriore 50% costituita da acque marine.

Fancelli et alii (1991) (vedasi l'immagine di dx della Fig. n. 75) grazie al campionamento di 9 sorgenti fredde, a circolazione locale, avevano ricostruito la retta di regressione tra: a. composizione isotopica di sorgenti emergenti a quote diverse nell'areale in studio e b. quota media di infiltrazione delle precipitazioni.

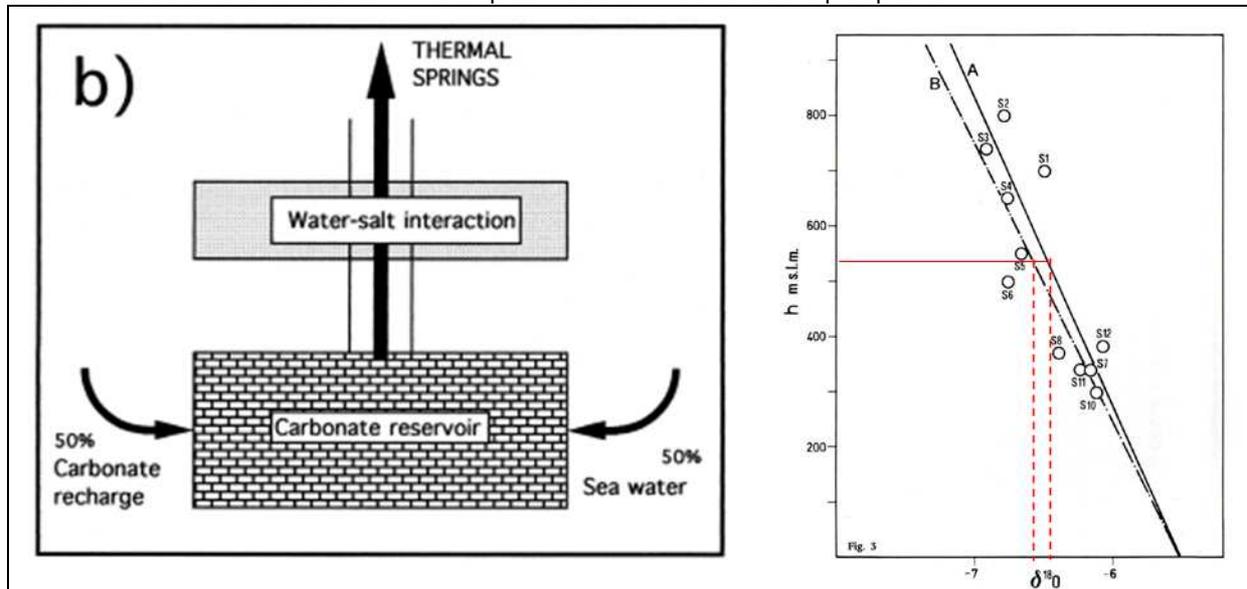


Fig. 75; modello di origine delle acque termali del bacino di Sciacca (Favara et alii, 2001); curva di correlazione quota -  $\delta^{18}O$  nel bacino in studio

Tale retta di regressione sulle nove coppie di valori quota-  $O^{18}$  viene descritta dalla seguente equazione:

$$h = -5,5 - \delta^{18}O / 0,00182$$

con indice di correlazione (Bravais-Pearson)  $r = -0,91$ ,  $h$  in metri.

Confrontando tale dato con quello di Hauser et alii (1980) si è verificato che per entrambi i versanti (tirrenico e del Mare di Sicilia) al livello del mare si ha lo stesso valore di  $\delta^{18}O$  (-5,5) ed un decremento equivalente, di due unità  $\delta^{18}O$ , per un incremento di 1000 metri di quota (con un errore di indeterminazione di circa  $\pm 75 \div 80$  metri).

Considerando la quota di infiltrazione media di Rocca Nadore pari a circa 550 m s.l.m. si dovrebbe ottenere pertanto un valore di  $\delta^{18}O \sim$  di  $-6,4 \div -6,6$  (vedasi rette in rosso immagine di dx della Fig. 74).

Considerato che il valore medio di  $\delta^{18}O$ , per i maggiori punti termali del bacino di Sciacca (sorgenti Selinuntine e Molinelli e pozzo R1) risulta di circa  $1,8 \div 2,0 \delta^{18}O$ ; ovvero un valore intermedio tra il delta dell'isotopo dell'ossigeno nel acque del mare ( $\sim +2$ ) e quello della zona di ricarica ( $-6,4 \div -6,6$ ) e pertanto confermerebbe (per le % di miscelamento ipotizzate da Favara et alii, 2001) la zona di Rocca Nadore, anche dal punto di vista isotopico, come areale di alimentazione delle acque termali del bacino di Sciacca.

## NUOVA CAMPAGNA DI CAMPIONAMENTO

Nel corso dell'ultimo anno di dottorato è stata effettuata una nuova campagna di campionamento, di alcuni dei principali punti d'acqua del bacino termale di Sciacca, finanziata dall'Ente terme di Sciacca, sotto il coordinamento dello scrivente e del Funzionario dell'Ente Terme Dott. M. Marciante,

I campionamenti sono stati eseguiti dal Dott. G. Tranchida, dell'IAMC di Capo Granitola diretta dal Dott. M. Sprovieri,

Il rilievo ha permesso di correlare, a distanza di anni, i principali punti termali del bacino di Sciacca, anche grazie alle operazioni descritte nei paragrafi precedenti che hanno permesso di ritrovare la sorgente dell'Acqua Santa che si riteneva da decenni scomparsa,

Sono stati inoltre campionate 3 sorgenti fredde dalle zone: intermedia (Sorgente Montagna), di monte (Nadorello), ed esterno (sorgente Pioppo) al bacino termale che hanno permesso ulteriori correlazioni.

La Fig. 76, mostra le ubicazioni dei punti d'acqua campionati; i risultati sono riportati nella Tab. 26.

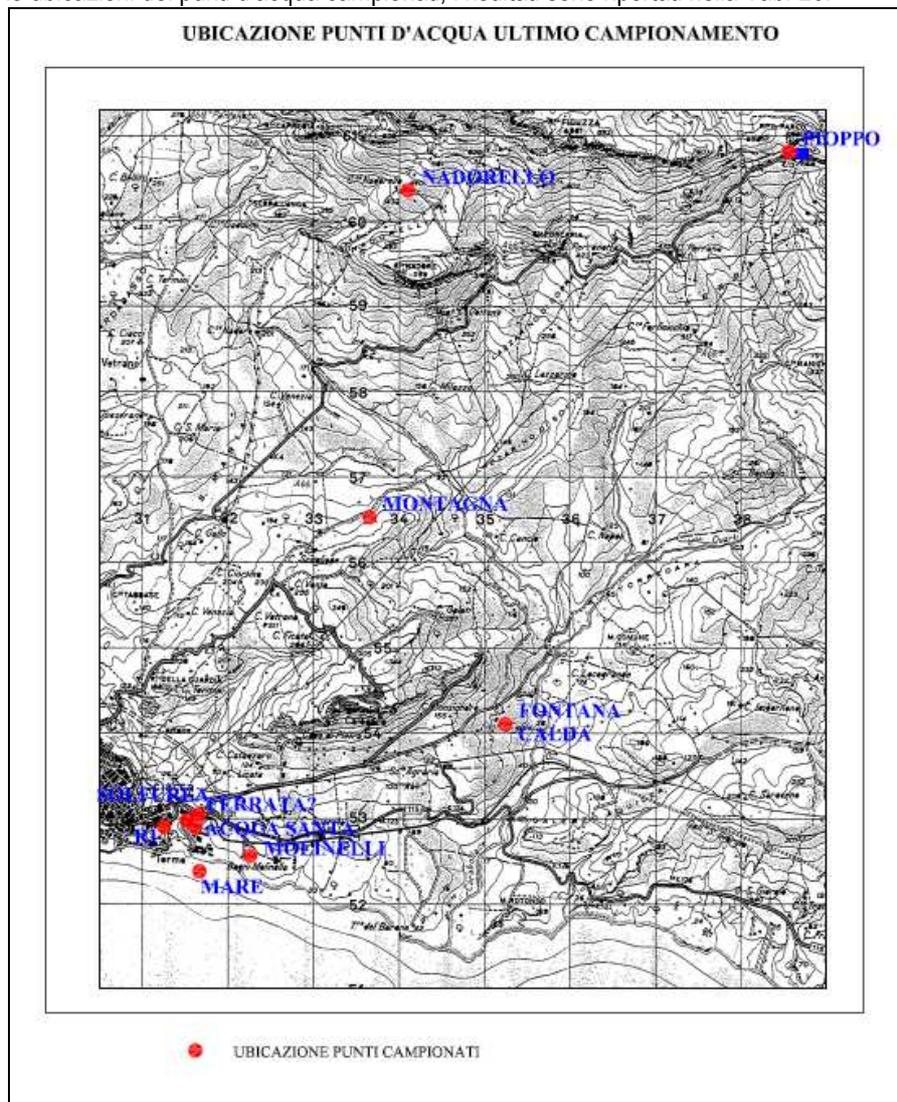


Fig. 76; ubicazioni punti d'acqua campionati nel 2011

BACINO TERMALE DI SCIACCA - RISULTANZE NUOVO CAMPIONAMENTO						
		Sorgente Selinuntina	R1	Molinelli	Acqua Santa	Acqua Santa 2*
pH		5,87	6,03	6,47	6,50	6,7
Temp.	°C	54,7	55,3	29,8	33,4	33,4
Eh	mV	-348,0	-347,0	190,0	162,0	159
Conducibilità	mS	34,6	33,0	13,8	14,6	17,4
Ca	mg/l	1192,0	1216,0	419,8	518,6	/
K	mg/l	399,1	405,4	156,0	147,7	/
Li	mg/l	1800,0	1700,0	670,0	580,0	/
Mg	mg/l	408,2	410,5	170,7	240,6	/
Na	mg/l	7277,0	7379,0	2839,0	7678,0	/
Sr	mg/l	60,4	60,8	23,3	26,6	/
HCO3-	mg/l	402,6	524,6	408,7	518,5	/
F	mg/l	5,4				
Cl	mg/l	13257,2	13594,6	5046,1	5135,1	/
Br	mg/l	113,5	110,8	42,8	40,6	/
NO3	mg/l	24,4		12,3	5,3	/
SO4	mg/l	706,6	609,5	291,8	207,2	/

		Fontana Calda	Cda Montagna	Sorgente Pioppo	Nadorello	Acqua mare -
pH		7,00	7,23	7,8	7,44	8,25
Temp.	°C	29,6	20,5	17,2	18,1	22,4
Eh	mV	252	278	280	308	110
Conducibilità	mS	1,3	1,02	0,45	0,79	43,9
Ca	mg/l	97,5	114,7	47,6	112,8	377,8
K	mg/l	17,4	7	8,3	7,9	476,5
Li	mg/l	20	11	5,5	9,5	180
Mg	mg/l	34,01	36,2	9,3	13,2	1340
Na	mg/l	139	69,3	42,1	48,6	12000
Sr	mg/l	1,39	0,64	0,29	0,47	8,7
HCO3-	mg/l	353,8	433,1	195,2	378,2	183
F	mg/l					
Cl	mg/l	136,7	105,2	35,98	60,2	
Br	mg/l	0,5	0,43			
NO3	mg/l	25,6	14,68	20,66	10,2	
SO4	mg/l	130,4	78,56	21,78	44,2	

Tab. 26; risultanze del campionamento 2011

Le risultanze del campionamento confermano sostanzialmente quanto evidenziato nei campionamenti precedenti. In sintesi si constata: **1.** una sostanziale identità di chimismo tra le acque della Sorgente Solfurea Grande e le acque del pozzo R1; **2.** Le acque delle sorgenti Molinelli e Acqua Santa mostrano una mineralizzazione pressoché simile minore rispetto alle due sorgenti descritte nel punto 1; **3.** le acque fredde dei punti d'acqua presenti nella zona intermedia e montana del bacino in studio evidenziano basse mineralizzazioni collegabili a circuiti superficiali e veloci; **4.** il chimismo della Sorgente Fontana Calda risulta intermedio tra le acque fredde e le acque termali per possibili miscelamenti.

## CAP. 10 - CORRELAZIONI FRA SISMICITA' E VULCANESIMO DEL CANALE DI SICILIA E VARIAZIONI DEL CHIMISMO DEI PUNTI D'ACQUA TERMALI

Nel presente capitolo si evidenziano gli effetti che le manifestazioni sismiche e vulcaniche, avvenute negli ultimi secoli nel tratto del Canale di Sicilia dirimpetto all'areale di Sciacca (zona Banco Graham ed aree sismiche e vulcaniche limitrofe), hanno avuto sulle acque superficiali e profonde presenti nel bacino termale di Sciacca.

Per verificare tale possibilità è stata effettuata un'analisi dei dati per step successivi.

Il primo step ha riguardato l'analisi critica: **a.** delle fonti storiche locali e **b.** degli annali sismici italiani allo scopo di verificare in passato l'esistenza di possibili variazioni nelle manifestazioni termali di Sciacca in concomitanza di eventi sismici o vulcanici.

Nel secondo step si è eseguita una approfondita ricerca bibliografica per verificare l'esistenza di qualche pubblicazione scientifica nella quale venisse evidenziato tale aspetto.

Nel terzo step sono stati correlati gli eventi sismici avvenuti nel Canale di Sicilia (nel periodo 1987- 2011), con i trend dei vari composti chimici ricercati, nel medesimo periodo di tempo, dall'Ente Terme nei punti d'acqua termali di Sciacca.

### PRIMA FASE – ANALISI DELLE FONTI E CRONACHE STORICHE

La prima fase di ricerca ha riguardato gli eventi sismici che, dal 1600 ad oggi, abbiano potuto in qualche maniera influenzare le manifestazioni termali di M. te S. Calogero (diminuzioni di portata alle sorgenti termali, variazioni delle emissioni vaporese alle cosiddette stufe di S. Calogero, possibili variazioni nelle emissioni di zolfo nelle Sorgenti Solfuree).

Tale ricerca ha dato esito positivo e di seguito si elencano, per i vari eventi sismici, le parti salienti riguardanti il bacino idrogeotermale in studio.

- EVENTO SISMICO MAG'-OTT' 1729
  - (SAVASTA, 1729) riporta: " Il primo fu alli 8 ed una quarta; e fu orribilissimo, e durò per lo spazio di un pater noster; al quale precedette un orrendo rimbombo, ò sia tuono nelle viscere della terra. Tremarono alle sue scosse le fabbriche della città...**i pozzi si cambiarono in torbidi, e l'acqua puzzava di zolfo**
  - (BARATTA, 1901) riporta: " L' 8 Maggio ad ore 11 1/4 ital. Una orribile scossa, preceduta da forte rombo, fece tremare tutte le fabbriche della città, la cui popolazione spaventata uscì dalle case: **fu seguita da rombi sotterranei non accompagnati da sensibile tremolio del suolo. Intorbidirono i pozzi**
- EVENTO SISMICO DIC'16-GEN'17
  - (IMBORNONE, 1817) riporta: Nel cominciare la novena del Natale dell'anno passato (1816) cominciarono a sentirsi interpolatamente tuoni sotterranei, che sembravano un lontano cannoneggiamento... Il giorno 23 di Dicembre si sentì un forte tuono sotterraneo, che fu seguito da una leggiera scossa di terra **ed il pozzo... cominciò a tramandare fetore di zolfo, e le acque s'intorbidirono... le stufe anticamente Larodes cessarono di esalare il solito fumo, e l'acqua dei molini scendeva in minore quantità.** L'autore in successivi passi della cronaca riporta "il 19 ...solo la mattina un piccola scossa. Alle 2 pom. **cominciò ad aumentarsi sensibilmente per ogni dove il fetore dello zolfo. Il 20 comparvero nel feudo di Lazzarino 3 colonne di fuoco, che nello spazio di dieci minuti fra di loro rotolandosi, tutto ad un tratto sparvero, lasciando gran fumo.** Al 21 leggiera scossa, e comparve, alla rocca di Reggio, per un' ora, una colonna di fuoco. Il 24, colonne di fuoco al feudo Tranchina, per più di dieci minuti radendo il suolo. da osservarsi che il mare, che per tre giorni si era ritirato, si rimise alla posizione primiera il giorno 21 **...e lo scarseggiamento delle acque ai molini**
  - (FERRARA, 1823) riporta: **i rumori e le esplosioni sotto la montagna (M. te S. Calogero n.d.A) divennero spaventevoli, immense le oscillazioni del mare...odore di solfo in tutto l'aere...**
- EVENTO ERUTTIVO- SISMICO 1831- 1832 (emersione isola Ferdinadea)
  - (MERCALLI, 1883) riporta: 18 Lug. si vedevano alzarsi da tre punti differenti le colonne di vapore (presso l'isola vulcanica n.d.A.). **alle stufe di Sciacca si udirono rumori sotterranei assai piu' forti dell'ordinari;**
  - (BARATTA, 1901) riporta: si vedevano alzarsi da tre punti differenti le colonne di vapore, **alle stufe di Sciacca si udirono rumori sotterranei assai piu' forti dell'ordinario** (riporta integralmente quanto descritto dal precedente autore)

## SECONDA FASE - RICERCA DELLE PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE PREGRESSE

La seconda fase di ricerca ha riguardato la ricerca presso le biblioteche dei maggiori atenei ed enti di ricerca siciliani, di possibili note scientifiche che potessero riguardare tale casistica.

In effetti si è riscontrata la nota scientifica dal titolo - "Hydrochemistry and stable isotopes of thermal springs: earthquake-related chemical changes along belice fault (Western Sicily)" - (Favara et alii, 2001) che riporta, vedasi Fig. 77, riguardo alla Sorgente Solfurea, il verificarsi di un incremento della  $pCO_2$ , in concomitanza dell'evento sismico della Valle del Belice nel 1968.

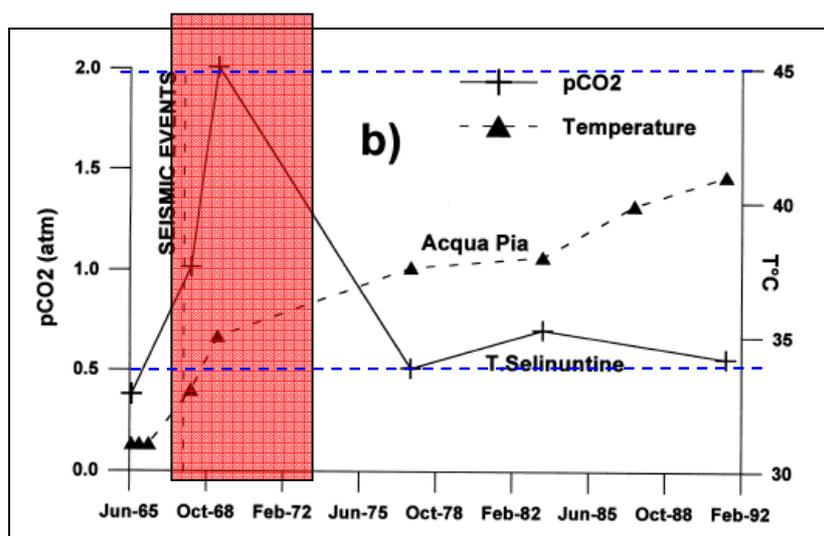


Fig. 77; incremento della  $pCO_2$ , nelle acque delle Terme Selinuntine successivamente al sisma della Valle del Belice (Favara et alii, 2001)

L'analisi condotta del grafico mostra che le acque della sorgente, in concomitanza e successivamente al sisma, furono interessate da un incremento della  $pCO_2$  (che perdurò sino alla fine degli anni '60 - vedasi riquadro in rosso) con un picco di pressione, pari a 2 atm misurato circa due anni dopo il sisma.

Il tenore della  $pCO_2$  passò da 0,4 atm a 2 atm (linee tratteggiate in blu), con un valore, di ~1 atm, in corrispondenza dell'evento sismico.

Negli anni a seguire si constata un veloce decremento su valori prossimi a quelli presisma.

Il limite di tale analisi, è dato dal numero di misure (vedasi crocette), solo 6 misure in 25 anni, che hanno reso molto semplificato tale trend.

## TERZA FASE- CORRELAZIONE DEGLI EVENTI -E TREND DEGLI ELEMENTI CHIMICI (ANALISI AZIENDA TERME)

La terza fase si è basata su una propedeutica ricerca, nei vari bollettini sismici (grazie alla collaborazione con il Dott. L. Arena, esperto della sismologia del Canale di Sicilia), degli eventi che si sono verificati tra Sciacca e le zone off-shore limitrofe nel periodo compreso tra il 1985 ed il 2011 le cui ubicazioni vengono riportate nella Fig. n. 78.

L'analisi dei dati ha permesso di constatare che si tratta di eventi sismici con magnitudo relativamente bassa, la maggior parte dei quali sono avvertibili solo strumentalmente, e pertanto è risultato abbastanza complesso riscontrare una loro influenza sul chimismo delle acque dei punti termali utilizzati dall'Ente.

Dal totale si sono isolati 14 eventi, le cui caratteristiche vengono riportate nella Tab. 27, dalla quale si evince che la crisi sismica più intensa si è avuta nei giorni 5-6/08/1992 (vedasi caselle in giallo di Fig. 79) nelle zone marine immediatamente prossime alla zona costiera del bacino termale di Sciacca (ovale in rosso) un'ulteriore crisi sismica, di minore entità, si verificò nel marzo del '03.

Si è provveduto pertanto all'analisi dei trend degli elementi ricercati nelle analisi (macroelementi, microelementi, gas e radioattività) evidenziando alcune interessanti peculiarità proprio in corrispondenza della crisi sismica del '92.

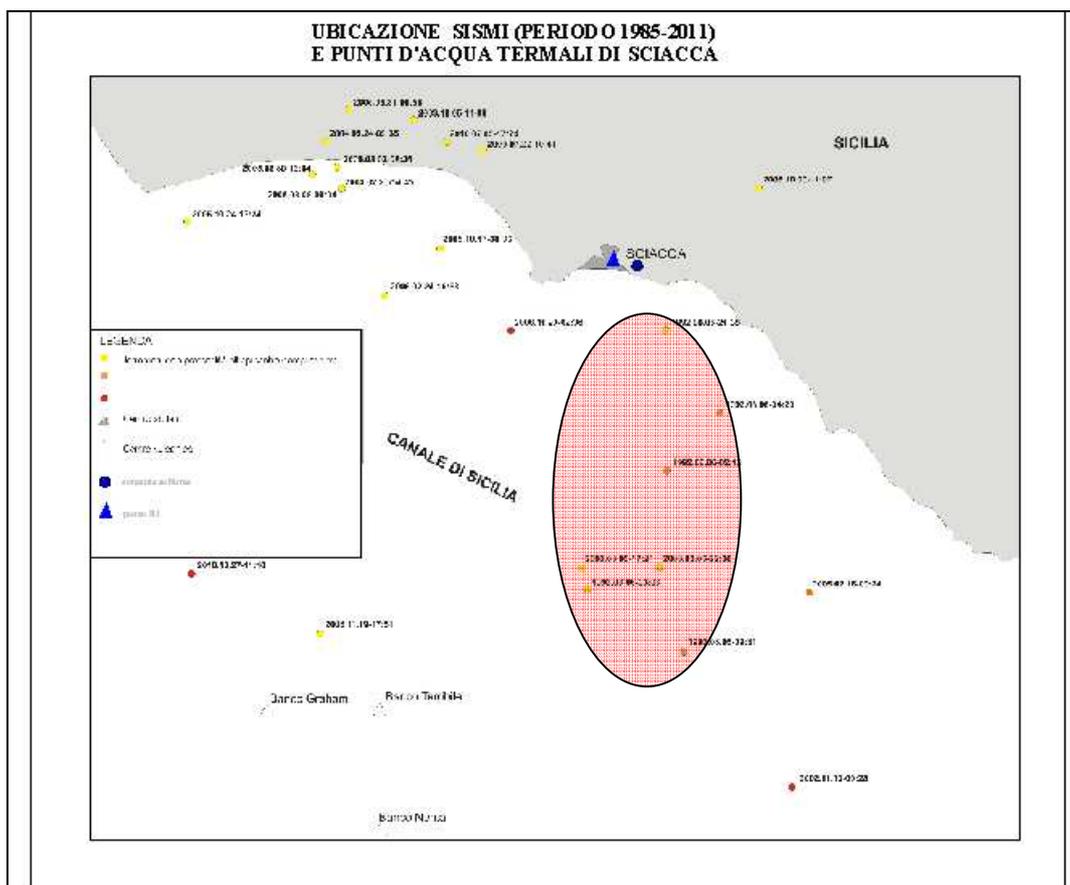


Fig. 78; ubicazioni degli eventi sismici nel periodo 1985-2011  
 il riquadro in rosso evidenzia l'areale di ubicazione dei sismi avvenuti nell'agosto 1992 e nel marzo 2003

EVENTI SISMICI SIGNIFICATIVI PERIODO 1992 -2011						
n	data	h/min	latitudine	longitudine	prof. Km	MG
1	27.04.1992	1:54	37n44.71	12e56.18	22.23	3.0
2	05.08.1992	9:31	37.214	13.149	23.01	3.1
3	05.08.1992	21:35	37.461	13.132	2.96	3.2
4	06.08.1992	2:12	37.364	13.132	25.35	3.4
5	06.08.1992	3:06	37.267	13.049	0.00	3.4
6	06.08.1992	4:23	37.404	13.178	25.68	3.9
7	13.11.2002	9:28	37.102	13.261	75.2	2.8
8	05.03.2003	17:21	37.284	13.044	5.0	3.3
9	05.03.2003	22:36	37.286	13.125	5.0	2.9
10	05.11.2003	14:08	37.610	12.911	5.0	2.1
11	16.07.2005	09:34	37.263	13.279	29.4	3.5
12	10.09.2006	11:07	37.561	13.213	3.0	2.7
13	29.11.2008	17:51	37.462	12.995	36.3	2.8
14	27.10.2010	11:10	37.280	12.639	50.0	3.4

Tab. 27; elenco dei sismi significativi periodo 1987-2011 (zona off-shore di Sciacca)

Si riportano di seguito (Fig. 79) i trend dello zolfo e della CO2 nel periodo considerato evidenzianti un minimo di concentrazione in corrispondenza del periodo 1990-91.

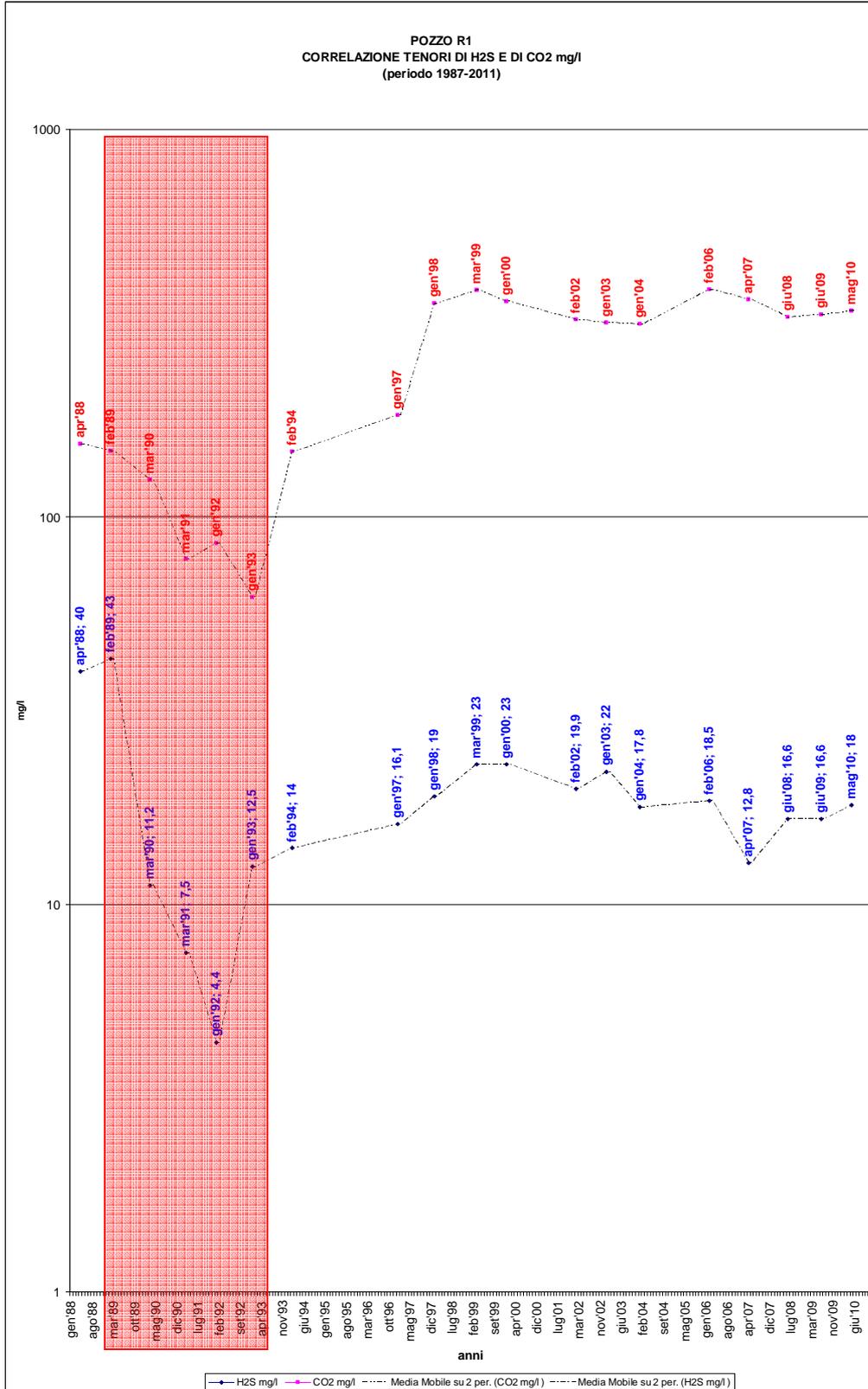


Fig. 79; pozzo R1; trend della H<sub>2</sub>S e della CO<sub>2</sub> nel periodo 1987-2011  
il riquadro in rosso mostra il minimo di tenore nel periodo 1990-91

## ATTIVITA' SISMICA CANALE DI SICILIA PROSPICIENTE SCIACCA

In corrispondenza della zona di off-shore di Sciacca, sono presenti tutta una serie di condotti vulcanici, i cosiddetti banchi di Nerita, Graham e Terribile, che nel corso degli ultimi anni sono stati dettagliatamente studiati da vari AA. Tali elementi morfologici non sono casuali ma si concentrano in un'area definita (Argnani et alii, 1987) come *zona di trascorrenza* costituita da lineamenti tettonici con andamento prevalente NNE-SSO (Fig. n. 80).

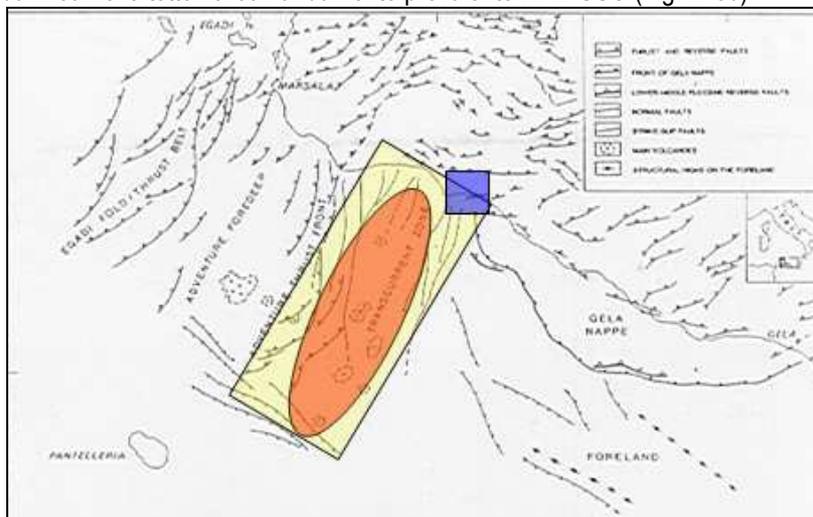


Fig. 80; elementi geodinamici presenti nella zona di trascorrenza riscontrabile nel tratto off-shore di Sciacca (Argnani et alii, 1987)

## DATI STORICI SU ATTIVITA' VULCANICA BANCO GRAHAM

La consultazione degli annali e delle cronache storiche ha permesso di verificare che l'eruzione vulcanica del 1831-32 che portò all'emersione del condotto vulcanico dell'odierno banco Graham con formazione, per alcuni mesi, dell'isola Ferdinanda non è stato l'unico caso nel tempo.

La Tab. 28 riporta le fonti riguardanti eventi ulteriori eventi oltre a quello più noto del 1831 che verrà dettagliatamente descritto nel paragrafo seguente.

### ELENCO FONTI ERUZIONE 1632

AUTORE/FONTE	ANNO	NOTE
PERREY	1848	Une île se forma, dit on, cette année dans la mer de Sicile
MERCALLI	1883	Più volte i terremoti si fecero sentire contemporaneamente lungo questa linea (Sciacca Pantelleria)-di endogene manifestazioni e nel 1632 presso il Banco Nerita si aprì un vulcano sottomarino
BARATTA	1892	già nel 1632 presso il Banco Nerita era apparso un vulcano sottomarino...
CHIAPPISI	---	...nel 1632, dei fenomeni di eruzioni vulcaniche ebbero luogo presso il Nerita

### ELENCO FONTI ERUZIONE 1701

AUTORE/FONTE	ANNO	NOTE
FUCHS	1881	Probabilmente questa eruzione (1831) era dovuta a quello stesso vulcano che già nel 1701 costruì pure un'isola pressoché nella stessa località
CHIAPPISI	---	Il Fuchs aggiunge che l'eruzione dell'isola Giulia-Ferdinanda, probabilmente era dovuta a quello stesso vulcano che già nel 1701 costituì pure un'isola

### ELENCO FONTI ERUZIONE 1863

AUTORE/FONTE	ANNO	NOTE
FUCHS 1881	1881	anche il 12 agosto si ebbe un'altra eruzione nello stesso punto (Banco Graham) in seguito a questa eruzione dopo parecchi giorni di esplosioni si formò una piccola isola di ceneri con un cratere attivo, ma tutto però sparì subito dopo
MERCALLI 1883	1883	il 12 agosto 1863 si riaprì il cratere dell'isola Giulia, ed in pochi giorni si formò una nuova isoletta che presto scomparve preda dell'onda marina
LINCIO	1927	Nel mezzo di tale piano (banco Graham) si erge lo scoglio (guglia o tappo vulcanico) che sale ad otto metri sotto il livello del mare. Non è imprevedibile che tale tappo craterico sia quello comparso brevemente a fior d'acqua nel 1863...

Tab. n. 28; elenco fonti storiche relative all'attività vulcanica del Banco Graham nel tempo

## EMERSIONE FERDINANDEA PERIODO 1831-32

Nel presente paragrafo vengono approfondite le conoscenze sull'emersione dell'isola Ferdinanda avvenuta durante l'estate del 1831 nella zona che le odierne carte nautiche denominano Banco Graham a SSO di Sciacca.

Si è condotta un'analisi incrociata delle varie cronache storiche consultate (Manzolla, Mongitore, INGV) che ha permesso di ricostruire le seguenti fasi: **A.** tra il 22 ed il 26 giugno del 1831 si ebbe uno sciame sismico che venne avvertito nelle principali città della Sicilia occidentale (Palermo, Marsala ed altre) e che a Sciacca provocò lesioni alle case con caduta di calcinacci; **B.** Il 28 giugno, un capitano della marina inglese, C.H. Swinburne, segnalò di aver "*visto un fuoco in lontananza in mezzo al mare*" tale testimonianza indica che l'isolotto vulcanico era sub emergente sul livello del mare; **C.** il 2 luglio le cronache del tempo riportano che l'acqua ribolliva nella zona conosciuta localmente con il toponimo di "Secca del Corallo" (il Banco Graham odierno n.d.A.) riferendo anche che alcuni marinai svennero nelle loro barche a causa delle esalazioni (si presume di natura solforosa n.d.A.) certificando la cessata l'attività eruttiva con forte emissione di sostanze gassose; **D.** il 5 luglio le fonti descrivono l'avverarsi di forti scosse sismiche avvertite fino a Marsala; **E.** il 7 luglio 1831, il capitano del "Gustavo", F. Trafiletti, avvistò per la prima volta, 33 miglia a SO di Sciacca l'isolotto vulcanico e lo descrisse "*alta 30 palmi sul pelo del mare*" e che "*sputa cenere e lapilli*" (considerato che un palmo è circa 25 cm è possibile ipotizzare un'altezza di circa 7,5 m sul livello del mare n.d.A.). **F.** Il 16 luglio naviganti riportarono che in mezzo al mare si vide emergere la testa di un vulcano in piena eruzione; **G.** il 18 luglio il capitano Corrao descrisse il cono del vulcano che sporgeva dal mare con un piccolo pianoro di sabbia nera e pesante, tanto friabile da non sostenere il peso di una persona; nel centro vi sorgeva un colle e poco discosto c'era un laghetto di acqua fumante, dall'acre odore di zolfo (tali testimonianze furono screditate successivamente dal Prof. Gemmellaro in quanto riteneva l'impossibile per chiunque poter sbarcare sull'isola durante la fase parossistica). **H.** Il canonico Arena riporta nei suoi scritti le eruzioni descritte dal Trafiletti e ne fornisce anche l'ubicazione: "*sono state sempre precedute da brevi scosse di terremoto che si sono susseguite con fortissimo fragore di boati*" e che "*testimoni dell'evento furono i capitani Trafiletti e Corrao, naviganti in quel mare (latitudine 37,11 nord e longitudine 12,44 est) che osservarono un getto d'acqua a cui tennero dietro colonne di fiamme e di fumo che si elevavano ad un'altezza di 550 metri circa*"; **I.** nei giorni immediatamente successivi diverse spedizioni scientifiche fecero rotta verso l'isola vulcanica tra cui il prof. Karl Hoffman, geologo dell'Università di Berlino, ed in questo periodo le cronache riportano che l'attività dell'isolotto vulcanico, ormai affiorante dalle acque del mare, risulta ben visibile dai centri urbani costieri di Sciacca, Menfi, Mazza. **L.** il 2 agosto l'Inghilterra prese possesso dell'isola chiamandola Graham. **M.** il 4 agosto ne viene fatta una descrizione: **a.** misura alla base tre miglia di circonferenza, **b.** altezza circa sessanta metri con due rilievi (uno di levante ed uno di tramontana) e la presenza di "*due laghetti bollenti*". **N.** Dall'11 al 14 Agosto il famoso naturalista siciliano Carlo Gemmellaro, professore di Storia Naturale presso l'Università di Catania, redige una relazione sui fenomeni eruttivi a cui assiste e propone di intitolare l'isola al Re Ferdinando di Borbone. **O.** Nella sua relazione il Prof. Gemmellaro effettuò alcuni schizzi che permettono di verificare le caratteristiche delle eruzioni. Le immagini riportate nella Fig. 81 mostrano, rispettivamente: a sx le forti eruzioni di tipo esplosivo che avvenivano nell'isola (è possibile notare le colonne di fumo, cenere, lapilli e bombe vulcaniche che venivano espulse dal cratere per un'eruzione di tipo idromagmatico come è possibile presumere dal vapore chiaro che circonda la sommità dell'isola). Se le misure effettuate in quei giorni forniscono un'altezza di circa 60 metri dallo schizzo eseguito dal Gemmellaro si intuisce che effettivamente le nubi di cenere e lapilli raggiungevano un'altezza rilevante di diverse centinaia di metri. Interessante appare il secondo schizzo effettuato dal Prof. Gemmellaro, ripreso dal lato di Tramontana (come dallo stesso Gemmellaro vergato in epigrafe) che consente di verificare l'alternarsi di fasi parossistiche (vedasi precedente immagine) a fasi di stasi nelle quali era possibile constatare lungo il versante settentrionale (*lato di tramontana*) una vasta apertura nel condotto vulcanico, quasi a livello del mare, che spiega il motivo delle forti esplosioni che si verificavano proprio per l'interazione tra magma e acque marine.

La relazione del Gemmellaro (Allotta, 2002) riporta che le attività eruttive interagirono sempre con il mare e il cratere, rotondeggiante, fu sempre invaso dall'acqua (si può notare dallo schizzo n.d.A.) che si abbassava e s'innalzava nel condotto e traboccando formava un fangoso ruscello che scendeva fino al mare intorbidandolo.

Le esplosioni lanciarono "grossissimi massi" fino all'altezza di 1 lega (5-6 km), ma anche ceneri, polvere fine e pomici neri, che galleggiavano attorno al vulcano, e che possono spiegare il collasso del cratere nel lato di occidentale. **P.** Il 14 agosto le cronache riportano che strane aurore boreali illuminarono i cieli di Roma, Firenze, Lucca e Genova; le misure dell'isola, in questa fase parossistica (protrattasi sino al 20 agosto), erano le seguenti: a.altezza 60 m; b. larghezza circa 300 m e c. perimetro di circa 2,5 Km superficie di circa 4 kmq (l'eruzione cessa il 20 agosto, perdurando pertanto per un periodo di tempo complessivo di 44 giorni); **Q.** l'8 settembre, 19 giorni dopo la fine dell'attività, le cronache riportano che l'isola s'abbassa lentamente. **R.** Il 26 settembre la Francia inviò un brigantino, con a bordo il geologo Constant Prévost e il pittore Edmond Joinville, i cui rilievi e ricognizioni pronosticarono il prossimo inabissamento dell'isola. **S.** il 26 ottobre resta solo un

edificio di pochi palmi d'altezza che, nei giorni di tempesta, si confonde con il mare. **T.** Il 10 dicembre 1831 Benedetto Marzolla, dipendente dell'Ufficio Topografico del Regno delle Due Sicilie, pubblicò una Descrizione dell'Isola Ferdinandea nel *Mezzogiorno della Sicilia*, comunicando che il precedente 12 luglio un vulcano era emerso dal mare e, dopo numerose eruzioni, aveva lasciato un'isoletta. **U.** Il 7 novembre un capitano inglese misurò di nuovo l'isola, che risultò ridotta ad un quarto di miglio con un'altezza di venti metri. **V.** Il 16 novembre si scorgevano soltanto piccole porzioni emerse dell'isolotto. **Z.** L'8 dicembre un capitano siciliano V. Allotta, comandante dell' "Achille" ne constatò la scomparsa, mentre alcune colonne d'acqua si alzavano e si abbassavano annotando che non vi era "vestigia alcuna dell'isola vulcanica"; permaneva il ribollire delle acque e soffioni che s'innalzano nell'aria.

Nel 1833 le fonti tramandano la ripresa dell'attività vulcanica;



Fig. n. 81 ; schizzi effettuati dal Prof. C. Gemmellaro, nell'estate del 1831, durante l'attività vulcanica dell'Isola Ferdinandea

## RILIEVI BATIMETRICI DEL BANCO GRAHAM

Nel corso degli anni sono stati effettuati dei rilievi batimetrici nella zona del Banco Graham la cui sequenza temporale si riporta di seguito per l'importanti notizie che forniscono.

I. Il primo rilievo venne condotto nel 1883, 52 anni dopo l'emersione dell'isola Ferdinandea, dall'Istituto Idrografico Navale Italiano, da bordo della nave "Washington", che consentì di riscontrare, ad una profondità dal pelo dell'acqua di: -2,7 e -3,3 m l'esistenza due asperità di "roccia dura" (quasi sicuramente basalto dell'originario camino di emissione di quella che era stata l'Isola Ferdinandea n.d.A.) circa 30 miglia a Sud di Sciacca.

Le due guglie di basalto furono successivamente demolite, mediante l'utilizzo di esplosivo, per il grande rischio che rappresentavano per la navigazione nella zona.

II. Nel 1914, 31 anni dopo il primo, venne condotto un secondo rilievo (da parte dell'Istituto Idrografico della Marina), nel quale venne accertato che, in corrispondenza del punto dove era emersa l'isola (83 anni prima) si riscontrava un vasto fondale, con profondità di circa di 50 m dal pelo dell'acqua, caratterizzato da due limitate zone di alto morfologico lungo un allineamento NO-SE; profonde, rispettivamente: -34 m (a NO) e -8 m (a SE).

III. Nel 1923 una missione oceanografica francese, diretta da J.B. Charcot, non riuscì a riscontrare le profondità ridotte descritte nei rilievi precedenti e riportati nelle carte nautiche concludendo che vi era l'ipotesi di un cambiamento del letto marino come risultato di un nuovo evento vulcanico.

IV. Un quarto rilievo venne condotto, nel 1972, dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, che evidenziò la presenza di un basso fondale, sub-pianeggiante, ad una profondità compresa tra -20 e -30 m dal livello del mare, ed, in posizione baricentrale, un picco di basalto, che si innalzava sino alla profondità di -8,8 m.

V. Nel 1989 l'Istituto Idrografico Italiano effettuò nuovi rilievi del fondale marini nell'area verificando l'assenza di cambiamenti della batimetria del fondale.

VI. A fine anni '90 il gruppo di Geologia Marina dell'Università di Bologna, elaborando le batimetrie del Banco Graham, su rilievi condotti dall'Istituto Idrografico della Marina, constatarono che il Vulcano Ferdinandea, nel Canale di Sicilia, non è isolato ma fa parte di un più grande sistema costituito da alcune decine di edifici ben strutturati e di dimensioni comparabili.

VII. Nel 2002 si ebbe una rinnovata attività sismica nella zona di Ferdinandea che portò tra il dicembre 2002 ed il maggio 2003 l'Istituto Idrografico della Marina a condurre nell'area nuovi rilievi che evidenziarono la profondità dei resti dell'edificio vulcanico risultavano, a -6,90 m.

## ATTIVITA' INGV SEZIONE DI CATANIA

La sezione di Catania dell'INGV ha effettuato negli ultimi anni una serie di rilievi nel Banco Graham allo scopo di comprendere i possibili motivi che in passato avevano potuto determinare variazioni batimetriche come evidenziato i rilievi condotti descritti nel paragrafo precedente.

A tale scopo venne ancorato, sul fondo del Banco Graham, un profondimetro per misurazioni in continuo secondo gli obiettivi della crociera "Universitatis".

L'attività di ricerca inoltre doveva prevedere: a. controllare lo stato di attività del vulcano ed il suo assetto bati-morfologico e b. il prelievo di campioni dal fondo.

## RILIEVI MORFOMETRICI DELL'APPARATO VULCANICO DEL FERDINANDEA

I rilievi hanno confermato le propedeutiche ricostruzioni effettuate dal gruppo di Geologia Marina dell'Università di Bologna appurando che il Vulcano Ferdinandea non è un rilievo isolato, in questo settore del Canale di Sicilia, ma fa parte di un più grande sistema costituito da alcune decine di edifici simili per struttura e dimensione.

La struttura vulcanica del Ferdinandea è caratterizzata dai seguenti parametri: a. altezza 150 metri; b. diametro di base 500 metri; c. apice -6,9 msm.

I rilievi subacquei e batimetrici verificarono la presenza di un secondo rilievo di dimensioni maggiori, presente poco distante a NO dal cono vulcanico del Ferdinandea con le seguenti caratteristiche: a. altezza 200 metri; b. diametro di base 1500 metri;

Le immagini di Fig. 82 (vedasi triangoli) mostrano nella zona del banco Graham in un raggio di circa 5 Km, la decina di altri condotti con diametri variabili da un massimo di 1,5 Km ad un minimo di una cinquantina di metri (Gabbianelli *et al.*, 2007).

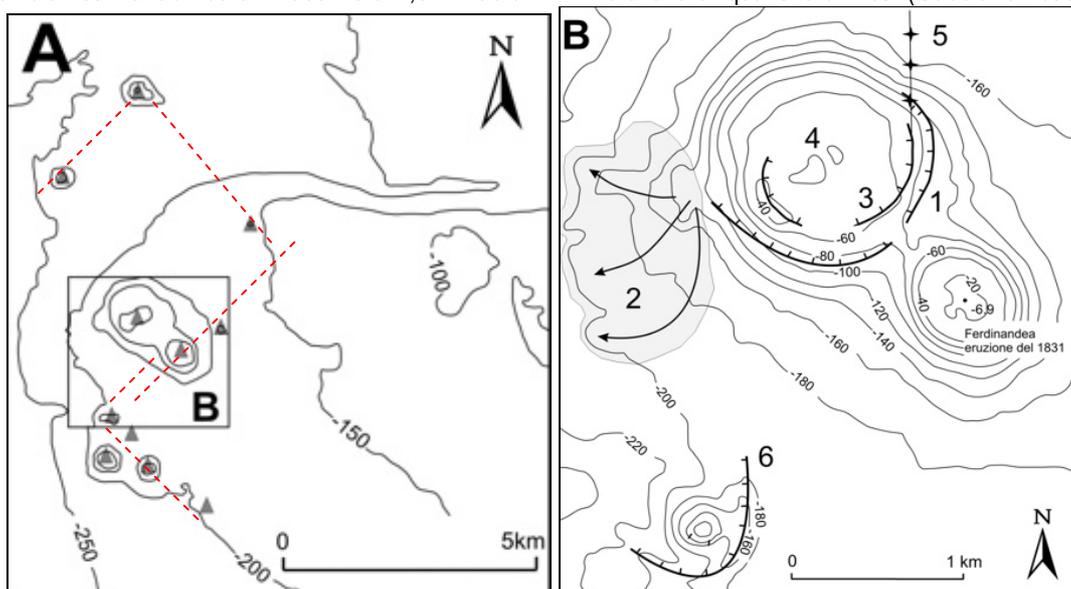


Fig. 82; morfobatimetrie e condotti vulcanici presenti presso il Banco Graham

Tali edifici appaiono allineati principalmente lungo congiungenti con direzione ONO-ESE, parallele allo sviluppo del Canale di Sicilia, che potrebbero segnare tutta una serie di faglie che sezionano, ribassandolo progressivamente, il versante sottomarino; più raramente presentano un'orientazione NE-SO, direttrici riscontrate anche nella zona costiera di Sciacca riconducibili alle fasce di trascorrenti evidenziate da Agnani, 1990 (*traiettoria dell'interazione Africa-Europa*).

I rilievi di dettaglio condotti dall'INGV di Ct (immagine di dx della Fig. 82) consentirono di evidenziare nel secondo edificio vulcanico, lungo il lato SO, l'esistenza di una evidente colata, contraddistinta dalle seguenti dimensioni: a. larghezza 3 Km, b. lunghezza 1 Km (vedasi tratto tratteggiato nella Figura) e constatando anche, alla sommità del largo cratere, evidenze di attività eruttiva intracraterica.

Il Banco Graham è costituito pertanto da un apparato conico doppio, con forma ellittica, ed asse maggiore allungato in direzione NO-SE.

Il cono vulcanico a NO di Ferdinandea mostra dimensioni maggiori ed è contraddistinto un più vecchio e largo orlo craterico (B, 1); con il fianco nord-orientale del cono è segnato da un campo fumarolico attivo (B, 5), orientato N-S

### MORFOLOGIA PIATTAFORMA CONTINENTALE A LARGO DI SCIACCA

L'immagine di sx Fig. 83 mostra la ricostruzione 3D della piattaforma continentale siciliana, circa 30 km a Sud di Sciacca, si tratta di un rilievo dissimmetrico, a forma di ferro di cavallo aperto verso NNO, denominato dai ricercatori con il nome di "Archimede" contraddistinto dalle seguenti misure: I. lunghezza circa 30 km, da Nord verso Sud, e II. larghezza circa 25 km da Ovest verso Est.

Sono presenti le seguenti culminazioni : **A.** Banco Nerita a Nord (-16,5 m); **B.** Banco Graham ad Ovest (-6,9 m); Banco Terribile ad Est nel (-20 m).

La ricostruzione 3D mostra che il rilievo, rispetto al pavimento marino, si innalza repentinamente da 500 (est) e 250 m (ovest) con orientazioni che evidenziano possibili discontinuità tettoniche sulle quali si allineano i maggiori rilievi.

### ATTIVITA' FUMAROLICA BANCO GRAHAM

Venne evidenziata la presenza anche di una diffusa attività fumarolica riscontrata sia lungo i fianchi del cono del Ferdinandea che presso il cono vulcanico poco distante con allineamenti N-S.

L'immagine di dx della Fig. 83 mostra i profili ottenuti da ecoscandaglio delle manifestazioni fumaroliche presenti, a diversi intervalli di profondità (-95 metri e a- 165 metri dal pelo dell'acqua), presso il fianco settentrionale del complesso dell'isola Ferdinandea.

Si può constatare dalla figura che l'attività a -95 m dal pelo dell'acqua si rastrema arrivando quasi ad affiorare, la seconda a - 165 m dal pelo dell'acqua si erge per circa 100 metri.

I rilievi eseguiti con un *Remote Operated Vehicle* (ROV) hanno indicato che il campo esalativo risulta allungato nord-sud, e dalla profondità di 90-100 m dal pelo dell'acqua si segue verso il basso lungo tutto il fianco dell'edificio vulcanico con uno sviluppo complessivo, a parere degli AA, probabilmente superiore a 3 km.

In tale areale vennero evidenziate eruzioni gassose sotto forma di catene di bolle, le quali risultarono risalire per diverse decine di metri formando dense e larghe (20-30 m) colonne ed assottigliandosi verso l'alto pur restando perfettamente riconoscibili fino alla superficie.

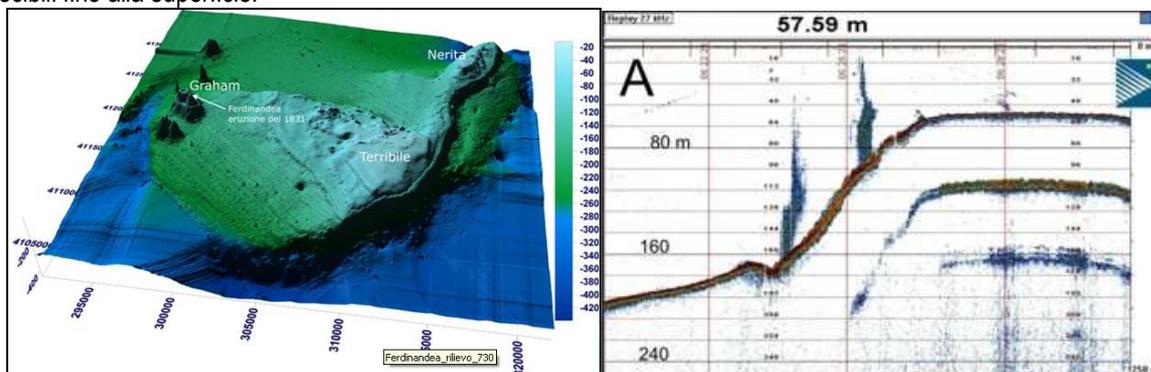


Fig. 83; morfologia dei Banchi: Graham, Nerita e Terribile ed emanazioni fumaroliche presenti

## CAP. 11 - IL FENOMENO CARSICO NEL BACINO TERMALE DI SCIACCA

I rilievi condotti - sia a scala più generale che nel dettaglio - negli affioramenti mesozoici dell'areale in studio, hanno permesso di verificare che il fenomeno carsico risulta essere presente negli orizzonti calcarei ed anche, seppur in misura minore, nelle dolomie triassiche.

In talune aree, come nel caso di M. te S. Calogero, gioca un ruolo predominante sulle modalità di infiltrazione e circolazione delle acque.

Nel presente capitolo vengono esposte le risultanze di quanto verificato sul campo, opportunamente integrate con i dati bibliografici esistenti raccolti durante la prima fase del presente progetto di ricerca.

Si è cercato di associare le forme carsiche riscontrate alle tre grandi tipologie di sistemi carsici (Vigna, 2000, Civita, 2005) ovvero; a. *sistema carsico a circolazione dispersiva*; b. *sistema carsico con circolazione a dreno dominante*; c. *sistema carsico a dreni interdipendenti*.

### TIPOLOGIA CARSISMO ZONA DI ALIMENTAZIONE

I rilievi effettuati nelle zone di alimentazione - rilievi prevalentemente di natura carbonatica di Rocca Ficuzza e zone limitrofe - hanno permesso di constatare la presenza, presso la base dei versanti di tali rilievi, di numerose sorgenti.

Tale ubicazione non è casuale ma è dovuta a precisi motivi stratigrafico-tettonici; le sorgenti scaturiscono in quei punti del fronte del thrust, che interessa ammassi rocciosi più fratturati ovvero ove si riscontra l'incrocio di faglie trasversali (NE-SO e NO-SE) drenanti le zone di monte di alimentazione e tamponati poi dai sedimenti impermeabili presenti presso il lato di letto del contatto tettonico.

La Fig. n. 84 mostra gli spessori carbonatici intensamente fratturati, con evidente sviluppo di epicarsismo, a Nord di Rocca il Parco.

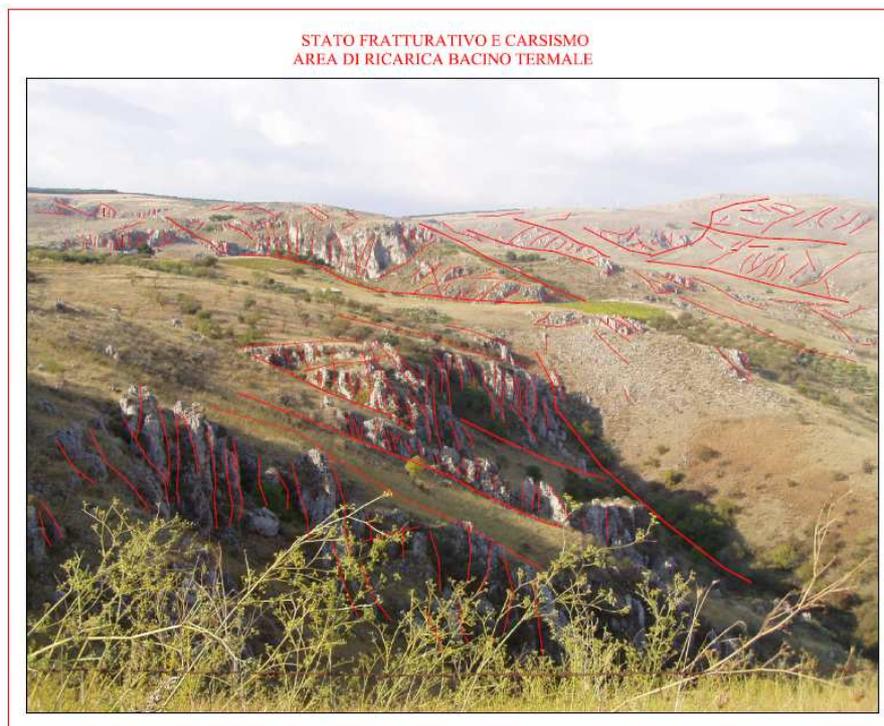


Fig. n. 84; Rocca il Parco evidenze di paesaggio carsico

Dall'analisi della figura è possibile notare che si tratta di una zona collinare, contraddistinta da una sostanziale mancanza di vegetazione, con lo sviluppo di valli secche che si impostano lungo le maggiori discontinuità presenti - allineamenti NO-SE e NNE-SSO.

Evidenti si riscontrano, in primo piano nell'immagine, le vaste zone di roccia nuda con una serie di tratti a maggiore fratturazione ove il fenomeno carsico tende a svilupparsi formando un insieme di forme epicarsiche costituite da: **A**.

microforme assorbenti (che si riconoscono lungo i principali allineamenti tettonici) e di guglie e punte ove si constatano indici di fratturazione e di interconnessione molto spinti; **B.** sviluppo di valloni endoreici con versanti da poco a mediamente acclivi con quasi totale assenza di vegetazione.

E' possibile notare inoltre che le principali scarpate ivi presenti sono allineate lungo le due direzioni di discontinuità descritte certificando l'influenza della tettonica sullo sviluppo delle forme morfologiche del paesaggio e come quest'ultime influenzino marcatamente l'infiltrazione preferenziale delle acque di pioggia.

Le direzioni dei set di tali discontinuità inoltre sono risultati praticamente simili a quelli riscontrati nella stazione geomeccanica stabilita nell'ammasso roccioso dal quale scaturisce la sorgente Pioppo affiorante alcune centinaia di metri a SO.

Si verifica pertanto una sostanziale uniformità dei pattern fratturativi e carsici delle due zone (per maggiore dettaglio si rimanda al capitolo dedicato ai rilievi geomeccanici condotti) di alimentazione e scarico.

Tal tipologia di carsismo può essere ascritto al sommarsi di sistemi carsici: **A.** un sistema carsico a circolazione dispersiva; che si sviluppa principalmente nei fronti ove si ha l'emergenza delle sorgenti nei quali si constata un'intensa fratturazione degli ammassi rocciosi con le varie famiglie di discontinuità tra loro fittamente interconnesse; **B.** un sistema carsico con circolazione a dreno dominante; si imposta nelle principali discontinuità presenti nelle zone di alimentazione delle principali sorgenti dell'area.

## I FENOMENI CARSICI DI ROCCA NADORE

Evidenze ulteriori di sviluppo carsico sono state riscontrate anche in corrispondenza dell'affioramento delle dolomie triassiche e dei calcari liassici di Rocca Nadore.

In questo caso il carsismo presente è associabile al sistema carsico a dreni interdipendenti, con presenza di cavità a sviluppo prevalentemente verticale con tipica forma fusiforme (vedasi immagine di sx della Fig. 85).

Lo sviluppo del carsismo non è casuale ma si verifica in corrispondenza delle zone brecciate di faglia con tali condotti carsici che costituiscono zone di infiltrazione preferenziale.

Nell'immagine è possibile notare l'allineamento, nella parte centrale della parete (vedasi punti in rosso disposti in orizzontale) di un insieme di fratture che determinano delle gallerie sub orizzontali; tipiche evidenze di un carsismo fossile che ebbe a svilupparsi in condizioni differenti dall'attuale.

Tali condotti risultano abbandonati nelle zone nelle quali non vi è colleganza con le famiglie di discontinuità più recenti ed invece risultano approfondirsi nei dreni indipendenti sopra descritti.

Tale aspetto risulta molto più evidente nella parete sud orientale (immagine di dx di Fig. 85) di Rocca Nadore nelle discontinuità con andamento E-O.

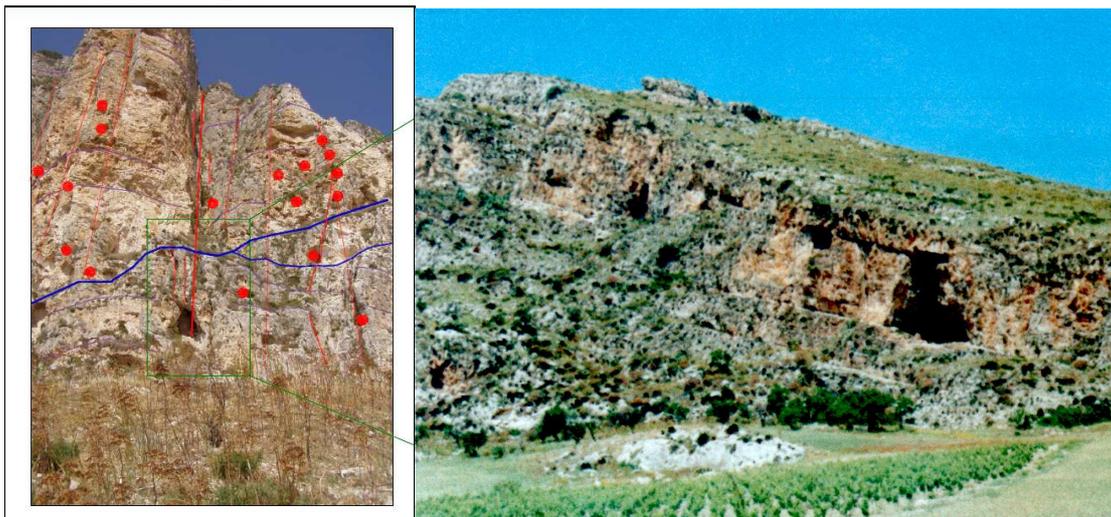


Fig. 85; evidenze di carsismo a Rocca Nadore

## IL FENOMENO CARSIICO DI MONTE S. CALOGERO

A M. te S. Calogero sono presenti imponenti manifestazioni carsiche, da millenni note, poiché da tali strutture si originano le *stufi di S. Calogero*, le manifestazioni pneumatolitiche presenti nella sommità del monte e direttamente connesse ad un insieme di gallerie, grotte e pozzi carsici presenti nel tratto ipogeo del monte.

Tali strutture carsiche sono state oggetto, specie a partire dagli anni '50, di numerose campagne speleologiche condotte dalla Commissione Boegan di Trieste, che hanno avuto il merito di farne conoscere lo sviluppo veramente imponente.

La Fig. n. 86 riporta la "PLANIMETRIA della Grotte Superiori del Kronio" (Commissione E. Boegan, 1962) con la distinzione dei vari ambienti: Punto B: *Grotta del Santo*; Punto C: *Antro degli Animali*; Punto D: *Antro di Dedalo*; Punto E: *buco dell'Orecchio*; Punto F: *Galleria del Fico*; punto G: *Antro di Fazello*

Si può notare che tali discontinuità si sviluppano principalmente nella direzione NO-SE e si collegano con direzioni E-O e ENE-OSO.

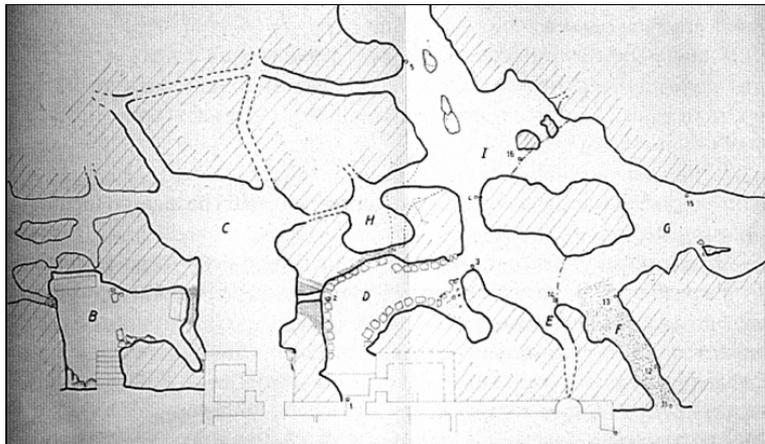


Fig. n.86; planimetria della Grotte Superiori del Kronio

### SVILUPPO IN PROFONDITA'

Negli anni 1974-79 la Commissione Boegan effettuò nuovi e più dettagliati studi delle cavità carsiche presenti nelle viscere di M. te Kronio, utilizzando tute speleologiche raffreddate ad aria, necessarie per superare le difficili condizioni esistenti.

La Fig. 87 (Perotti, 1982 - ripresa in Aureli, 1996) mostra le risultanze di tali ulteriori rilievi che consente l'analisi dello sviluppo dei condotti carsici, sia in pianta che in sezione, facendone constatare lo sviluppo imponente di tali condotti all'interno del monte dalla sommità, a quota 376 msm, sino ad arrivare ad una quota di 56 msm.

La rappresentazione in pianta inoltre consente di avere una conoscenza, seppur indiretta, dell'influenza delle dislocazioni tettoniche sullo sviluppo del fenomeno carsico.

Si verifica uno sviluppo principale delle gallerie nella direzione NO-SE ed, in misura minore, nelle direzioni E-O, ENE-OSO e N-S.

Interessante il commento sulla presenza di cavità carsiche riscontrate durante la perforazione del pozzo AGIP: *Durante la prospezione si incontrarono molto spesso cavernosità assorbenti il cui fango di perforazione si perdeva in quantità eccessiva, allora venivano iniettate grandi quantità di sostanze otturanti (gesso, argilla, cemento) che formavano tappi; una volta consolidati questi, la trivella poteva procedere.*

### RICOSTRUZIONE TRIDIMENSIONALE DEL FENOMENO CARSIICO DI M. TE S. CALOGERO

La Fig. 88 mostra una recente ricostruzione tridimensionale effettuata dagli speleologi della Commissione Boegan, in base alle risultanze dell'insieme dei rilievi condotti negli anni.

Si tratta di un'immagine molto interessante che consente di formulare le seguenti ipotesi sulle modalità di sviluppo del fenomeno carsico nelle viscere di M. te Kronio: a. si constata la presenza di condotti sub orizzontali, o debolmente inclinati verso Nord, nei quali si sviluppano le gallerie presenti presso il versante meridionale del monte che si è verificato, dai rilievi ivi condotti, si sviluppano in corrispondenza delle superfici di strato o, anche, di possibili superfici secondarie

intraformazionali di scollamento; **b.** il pozzo Trieste si è formato in corrispondenza dell'incrocio di due delle maggiori faglie presenti, tra loro ortogonali, e le cui evidenze si sono riconosciute in affioramento.

### EVIDENZE CARISMO PRESENTE ALL'INTERNO DI M. TE S. CALOGERO

Le condizioni particolarmente critiche che si riscontrano nelle cavità carsiche presenti all'interno di M. te S. Calogero non hanno consentito dei rilievi approfonditi tranne in alcuni ambienti più prossimi alla superficie (Grotta del Santo e Antra di Dedalo).

Si è cercato comunque di mettere in evidenza le caratteristiche del carsismo presente grazie da una serie di foto di seguito riprodotte, riprese nell'archivio fotografico del sito della Commissione Boegan (Fig. 89) ove è possibile constatare: **a.** lo sviluppo di condotti a basso angolo di larghezza all'incirca di 50-70 cm (vedasi la evidente stratificazione); **b.** si constati come si tratti del medesimo passaggio ripreso dai due lati (vedasi analogie speculari del quadro fessurativo evidenziati nei due riquadri in rosso)

L'ammasso risulta interessante da uno strato fratturativo con elevata interconnessione con molte fratture occluse da fenomeni di self-sealing le cui evidenze sono anche state notate dallo scrivente nella Grotta del Santo – si rimanda al paragrafo dedicato per maggiori dettagli.



Fig. 87; sviluppo dei condotti carsici di M. te S. Calogero in pianta ed in sezione (Perotti, 1982)

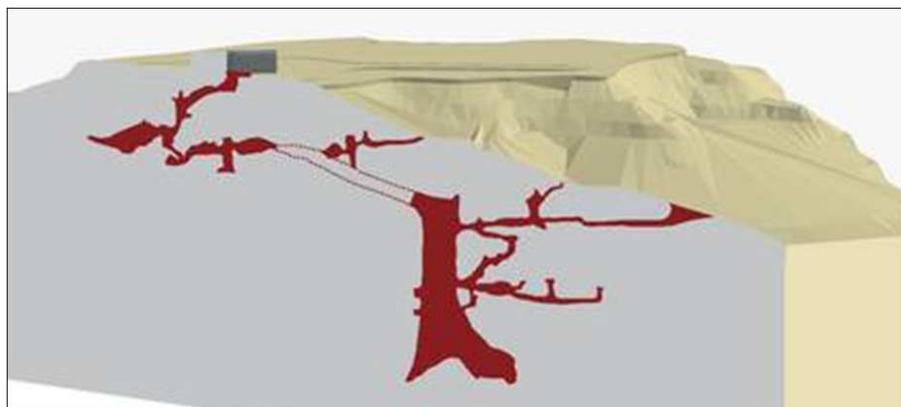


Fig. 88; ricostruzione tridimensionale condotti carsici presenti a M. te S. Calogero (ripreso dal sito della Commissione Boegan)



Fig. 89; caratteristiche gallerie carsiche presenti a M. te S. Calogero (da archivio fotografico del sito della C. Boegan)

La Fig. 90 riporta due immagini che mostrano rispettivamente: la sezione veramente imponente del Pozzo Trieste (immagine di sx); una sezione di un pozzo secondario mentre (immagine di dx) impostata su una zona di faglia, immergente con una pendenza di circa 75° (è evidente il piano immediatamente a sinistra dello speleologo) con evidente la breccia di frizione interessata da vuoti carsici secondari.

Lo scafandro testimonia le condizioni proibitive presenti nell'ambiente carsico ipogeo esistente nelle profondità di M. te S. Calogero.



Fig. 90; dettagli su pozzo Trieste e condotto carsico impostato su breccia di faglia

### LE MANIFESTAZIONI VAPOROSE PRESENTI A MONTE S. CALOGERO

Presso la sommità di M.te S. Calogero sono presenti anche numerose manifestazioni vaporose con un range di temperatura che varia tra 26° e 42° (Sommaruga, 1952), localmente denominate "stufe", che dai rilievi risultano svilupparsi non con una distribuzione casuale ma bensì allineate secondo direttirici preferenziali e il cui sviluppo dipende da precise caratteristiche stratigrafico-strutturali (la Fig. 91 - Aureli, 1996- ne mostra le ubicazioni).

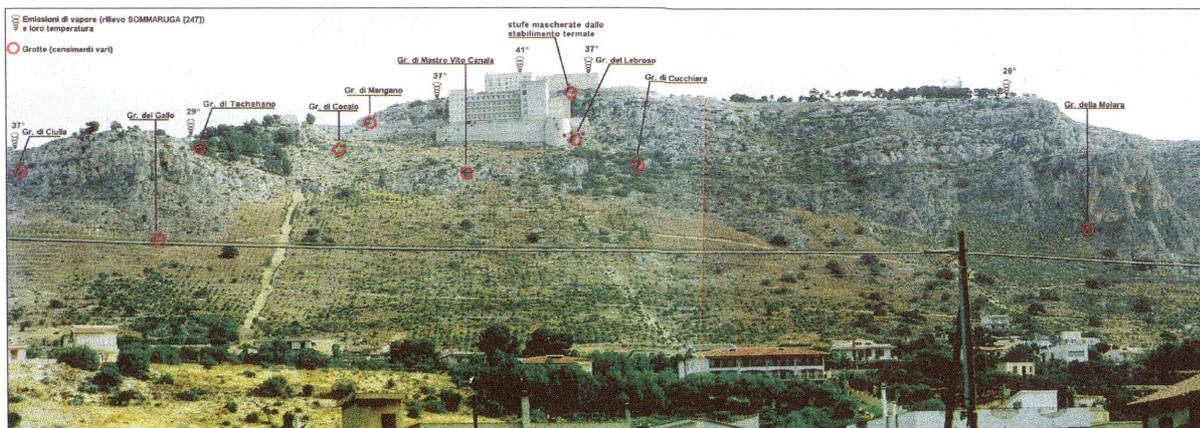


Fig. 91 - ubicazione manifestazioni vaporose presenti presso il versante meridionale e la sommità di M. te S. Calogero (Aureli, 1996)

## CARATTERISTICHE VAPORI ANTRO DI DEDALO

Nel presente paragrafo si riportano (Tab. n. 29) le misure condotte sulle manifestazioni vaporose presenti presso l'Antro di Dedalo (Sommaruga, 1955).

CARATTERISTICHE FISICHE VAPORI ANTRO DI DEDALO				
PERIODO 1953-55				
	V. MAX	V. MIN	V. MED	Δ%
TEMPERATURA	37,1	36,9	37	0,2 C
UMIDITA' RELATIVA	95	72	93	
VELOCITA' BOCCA D'AFFLUSSO	446	185	308,1	
PORTATA	2,5	5,37	95	2,87
PRESSIONE	37	734	95	

Tab. 29 - caratteristiche delle manifestazioni vaporose presenti nell'Antro di Dedalo

I valori non sono costanti ma variano sia nello spazio (da cavità a cavità) che nel tempo per le diverse interconnessioni esistenti con l'esterno.

Il Sommaruga (1952) ed altri AA più recenti associano tali variazioni al mutare delle condizioni meteorologiche esterne. Perotti (1982) riporta nei suoi scritti che il fenomeno vaporoso si inverte per brevi periodi, in concomitanza di giornate particolarmente calde con temperature superiori ai 42 °C (temperatura massima delle stufe) condizioni che invertirebbero il normale flusso.

## MODALITA' DELLA CIRCOLAZIONE DEL VAPORE

L'immagine di sx della Fig. n. 92 (Perotti, 1982) consente di avere un dettaglio sulla tipologia di circolazione che si riscontra nei condotti carsici di M. te S. Calogero.

Dall'analisi della figura si constata che sono presenti due grandi gruppi di grotte: **a.** le *grotte aspiranti* e; **b.** le *grotte emettenti*.

La distribuzione non è casuale; le grotte a quota più bassa, localizzate presso il versante meridionale, sono relativamente fredde (Grotta del Gallo e la grotta del Mastro Vito Canala), la seconda tipologia, delle emettenti calore (le cosiddette stufe), si riscontrano nel tratto più alto del monte (a partire da 336 m slm).

Lo scrivente, in alcune, ha condotto dei rilievi di dettaglio di natura strutturale e geomeccanica le cui conclusioni si evidenziano di seguito.

## ORIGINE DEL FENOMENO VAPOROSO

La fenomenologia descritta non è casuale ma dipende dal sovrapporsi di molteplici motivi: **a.** in primo luogo l'esistenza di una falda termale di fondo, termalizzata ad una temperatura di quasi 60° esistente, nel sottosuolo di M. te S. Calogero, alla

quota di 43 m slm (quota emergenza Polle Carabollace e quota rinvenimento falda pozzo Agip), **b.** l'esistenza presso tali litologie di importanti fenomeni carsici come si può verificare dai rilievi condotti dalla Commissione Boegan nel tempo.

L'immagine di dx della Fig. 92 mostra un tratto della parete meridionale di M. te S. Calogero ove è possibile verificare che i condotti carsici si sviluppano negli orizzonti calcarei del Mesozoico.

In tale tratto la parete è costituita grossomodo da un cuneo dovuto all'intersezione di piani di faglia con direzione NE-SO (visibili nel tratto occidentale della parete) che si intersecano con le fratture con orientate ONO-ESE (ben visibili nella parete opposta).

E' evidente inoltre che detti condotti sono limitati verticalmente dalle superfici di strato nei tratti nei quali è minore la fatturazione mentre, di converso, la oltrepassano nei tratti maggiormente fratturati e/o fagliati.

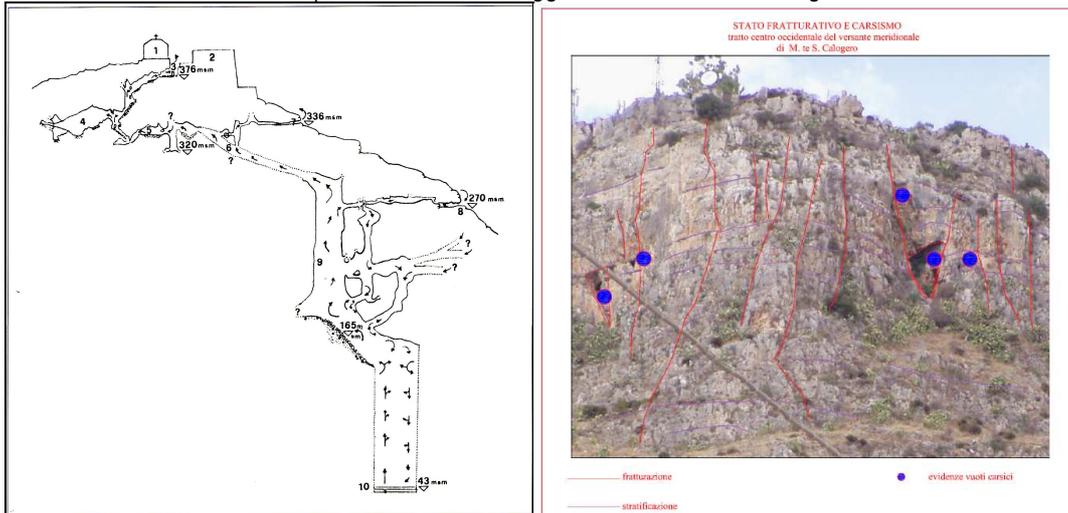


Fig. 92; modalità di circolazione delle manifestazioni pneumatolitiche presso M. Te S. Calogero e dettagli del carsismo presente

## COLLEGAMENTI TRA LE FAMIGLIE DI DISCONTINUITA', IL FLUSSO VAPOROSO ED IL FENOMENO CARSSICO

I rilievi eseguiti hanno permesso di verificare che il flusso vaporoso si sviluppa non in modo casuale, ma lungo ben precise direttrici tettoniche, specie in quella appartenenti al set n. 1 (best fit complessivo=  $287^{\circ}/75^{\circ}$ ) aventi le seguenti caratteristiche: **I.** presenza di uno spessore minimo, di almeno alcuni cm, di fault-core; **II.** che tale spessore sia stato interessato da processi di dissoluzione chimica e disgregazione fisica; le immagini riportate nella Fig. 93 consentono di verificare quanto scritto.

Le due foto in alto mostrano la faglia, con direzione NNE-SSO (riscontrata nel piazzale antistante il complesso termale), ove si è rilevata l'emissione di vapore; si noti lo spessore centimetrico del fault-core.

Le 3 foto in basso, riportate nella medesima figura, consentono di appurare le caratteristiche della faglia, riscontrata all'interno della Grotta del Santo, con direzione simile alla precedente; le 2 foto di dettaglio (di sx e di dx) mostrano gli orizzonti, a tessitura brecciata, ove si sviluppano vere e proprie cavità carsiche e nelle quali si manifesta il fenomeno vaporoso.

I rilievi eseguiti nella Grotta del Santo hanno inoltre permesso di verificare che il fenomeno carsico si sviluppa all'incrocio di faglie associabili ai set 1 e 2 ed (vedasi capitolo relativo alle misure idrostrutturali), in parte all'interazione, con superfici a basso angolo.

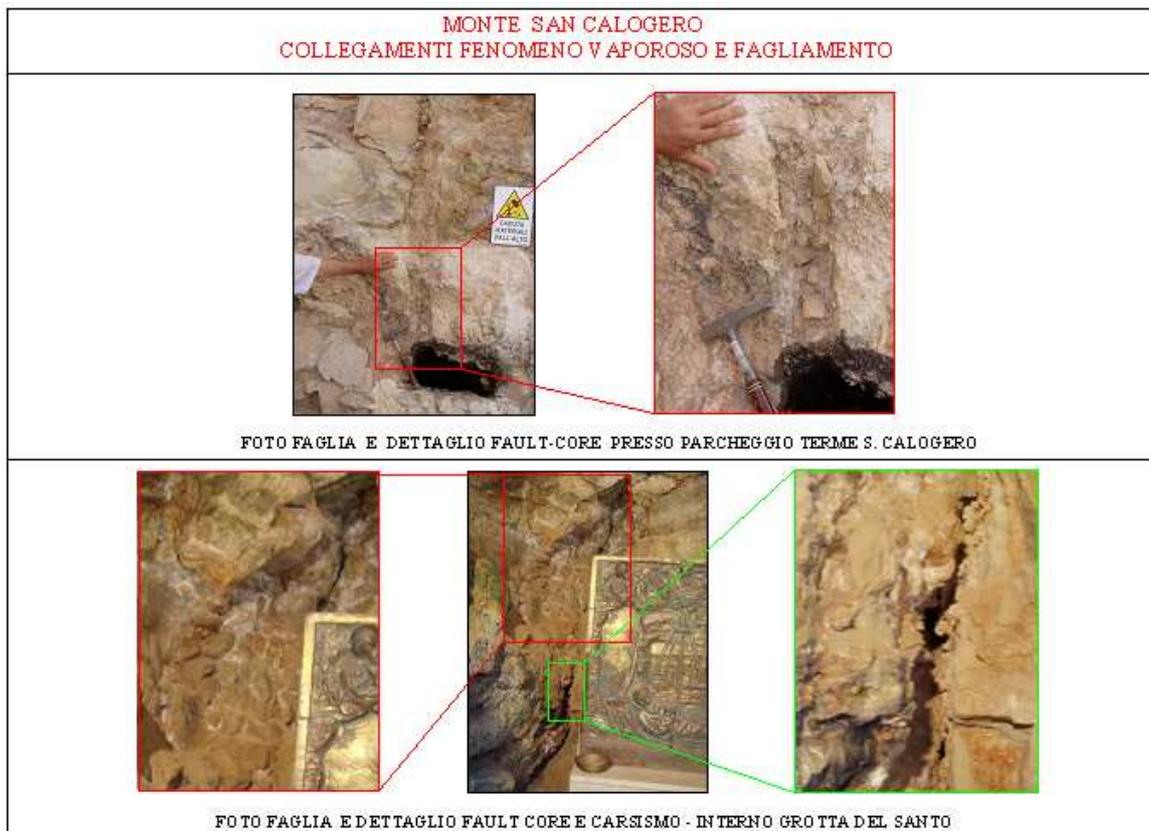


Fig. 93; caratteristiche faglie e discontinuità tettoniche con flusso vaporoso presso la sommità di M. te S. Calogero

La Fig. 94 mostra le risultanze dei rilievi condotti dallo scrivente nell'area sommitale di M. te S. Calogero

### IL FENOMENO DELLA CONDENZA DEI VAPORI DI M. TE S. CALOGERO

I ripetuti rilievi condotti dagli speleologi della Commissione Boegan hanno verificato che il flusso vaporoso presenta temperatura tra 37° e 39° ed un tasso di umidità prossimo al 100% (Aureli, 1996).

La genesi del fenomeno della condensa risulta molto ben spiegato in Perotti, 1982 *“La differenza di pressione fra l'ambiente esterno e la zona del bacino ha instaurato un tiraggio che trascina i vapori promanati dalle acque calde sino alla vetta del monte. Si determina così una depressione sulle pareti dei condotti di risalita che comunicano sia attraverso le fessurazioni dei calcari con le falde della montagna e da qui aspirano aria esterna che va miscelandosi con i vapori risalenti. Tale miscelazione abbassando la temperatura della massa vaporosa ne provoca la condensazione parziale; il flusso percorrendo i condotti di tiraggio nell'impatto con le pareti deposita sulle stesse le goccioline della condensa raggiungendo in breve un perfetto limite di saturazione”*.

### PROCESSI DI SELF-SEALING NELLE FRATTURE DELLA GROTTA DEL SANTO

I rilievi eseguiti nella Grotta del Santo hanno consentito infine di riconoscere, nei joint presenti nell'ammasso roccioso, dove la grotta si sviluppa, che seppur originariamente aperti ed interconnessi mostrano un forte processo di self-sealing, per la presenza di precipitati di origine termale (vedasi immagini di Fig. 95).

Si dimostra che la circolazione dei fluidi geotermali, può avvenire nell'areale esclusivamente in corrispondenza delle famiglie di faglie ascrivibili alle fasi tettoniche più recenti che assumono il significato di *discontinuità portanti* ( trad. di *water-conducting fracture or/and joint*, Civita, 2005) ovvero di discontinuità dove effettivamente la circolazione idrica può avvenire, in quanto non ancora intasate e cementate.

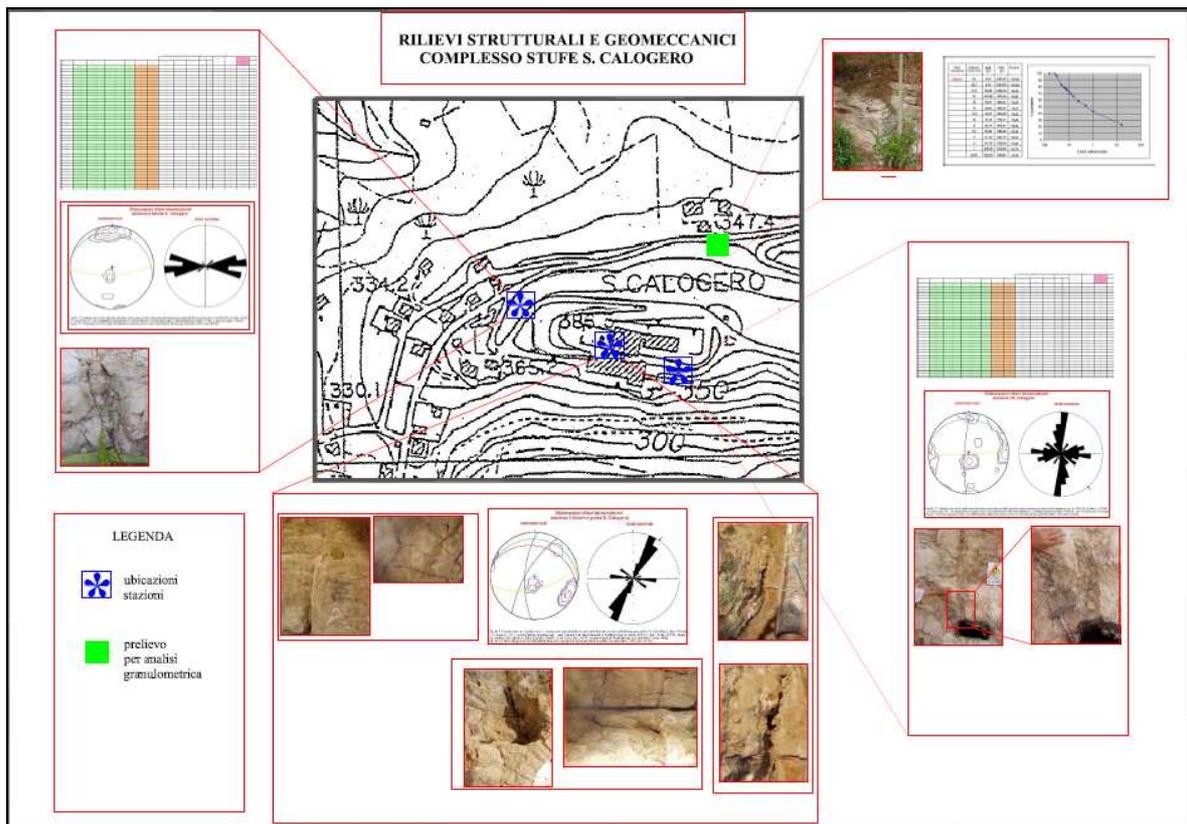


Fig. 94; sintesi dei rilievi condotti presso la sommità di M. te S. Calogero

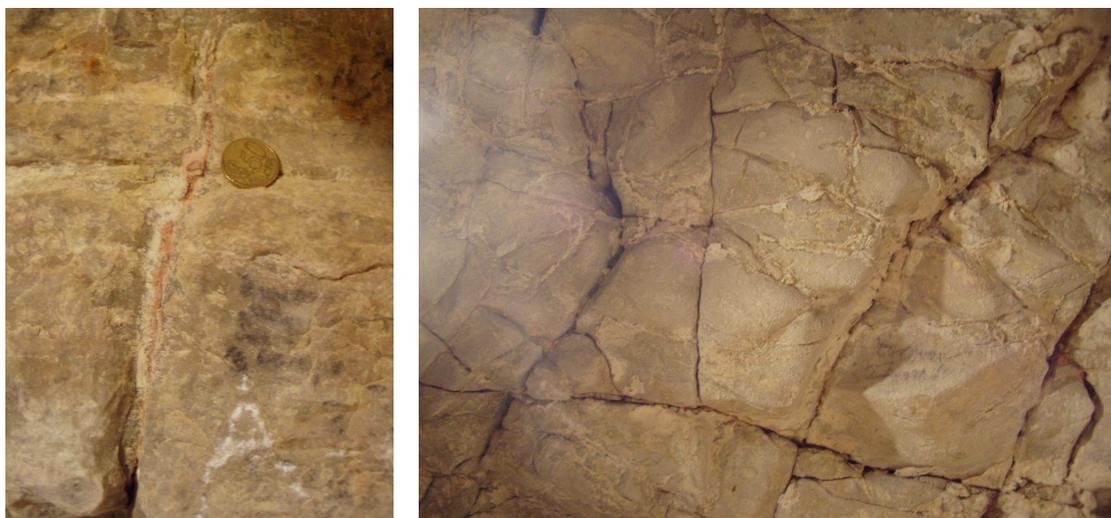


Fig. 95; evidenze del diffuso fenomeno di self-sealing nelle discontinuità presenti nella Grotta del Santo

## CAP. 12 – CARATTERIZZAZIONE DEL BACINO TERMALE DI SCIACCA

Nel presenta capitolo vengono descritti i vari aspetti che caratterizzano il bacino idrotermale di Sciacca.

### ANOMALIE GEOTERMICHE NELLA REGIONE SICILIA

Il territorio siciliano è caratterizzato da zone ove vi si riscontrano anomalie termiche nelle quali si concentrano le principali manifestazioni termali dell'isola con temperature comprese tra i 60 ed i 30 °C (vedasi immagine di sx di Fig. 96); tale distribuzione non è casuale ma dipende dallo sviluppo, in profondità, del gradiente geotermico.

L'immagine di dx della Fig. 96 mostra la diversa distribuzione dei range termici in Sicilia ad una profondità di 2000 metri (il riquadro in rosso mostra la zona del bacino geotermale di Sciacca).

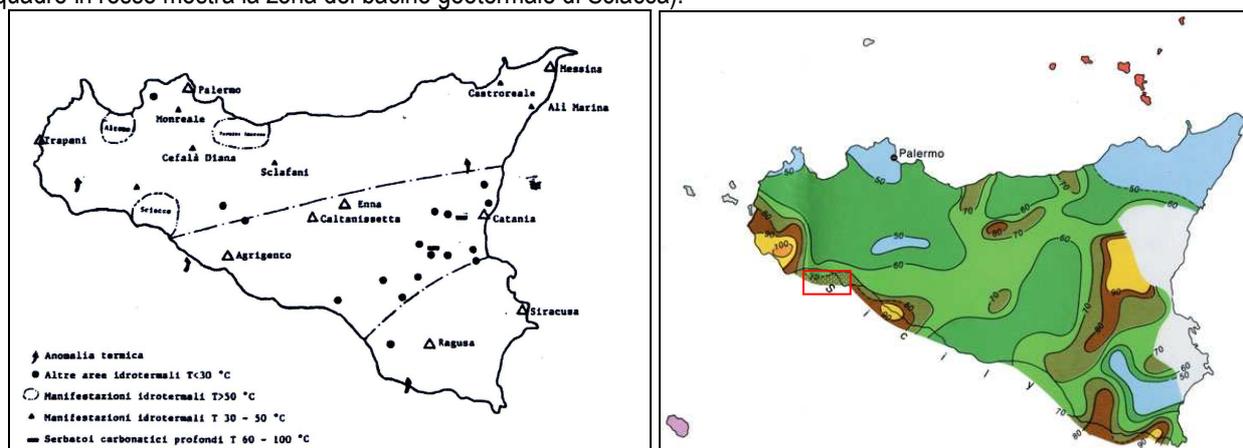


Fig. 96; distribuzione delle manifestazioni termali siciliane e range geotermico a 2000 metri di profondità

### CARATTERISTICHE DEL BACINO GEOTERMALE DI SCIACCA

La Fig. 97 (Fancelli et alii, 1991) consente di distinguere le caratteristiche geotermali della Sicilia Occidentale; il riquadro in giallo mostra la zona di Sciacca e delle aree vicine (vedasi tratto di destra della sezione C).

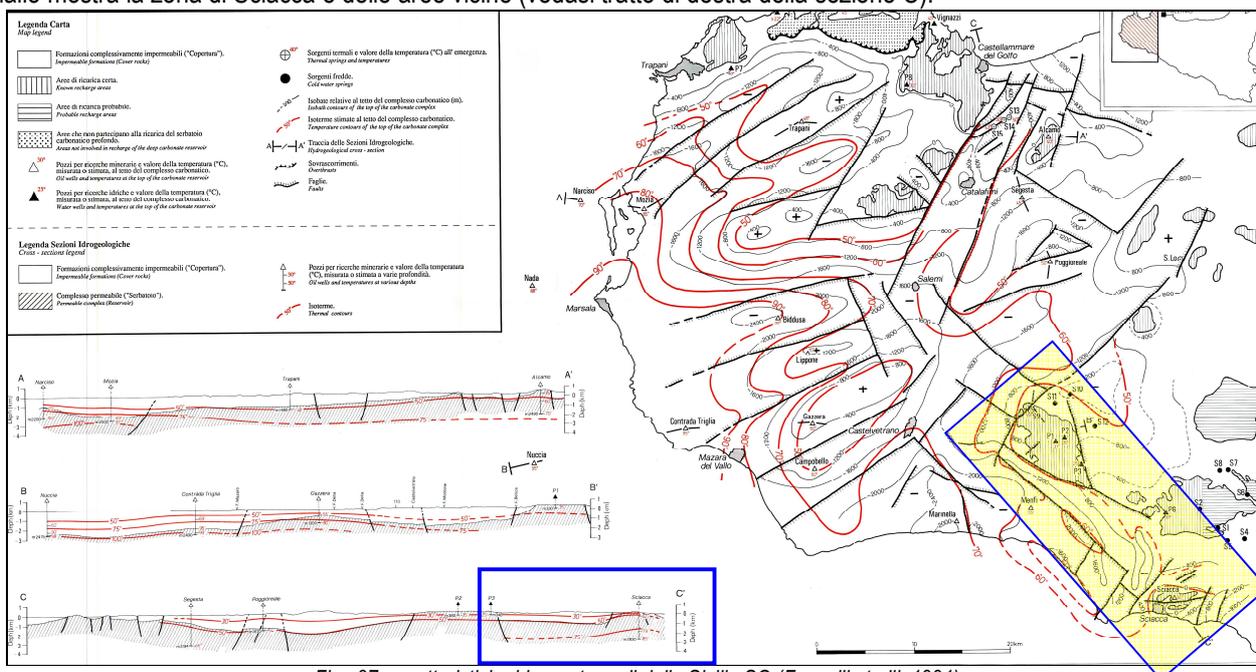


Fig. 97; caratteristiche idrogeotermali della Sicilia SO (Fancelli et alii, 1991)

## TIPOLOGIA DI SISTEMA GEOTERMICO DEL BACINO TERMALE DI SCIACCA

Il range termico del bacino di Sciacca varia tra un massimo, in superficie, di 54-55°C (Polle del Carabollace e Sorgenti Solfuree) sino ad un valore, ad una profondità di circa 2900 metri (pozzo SCIACCA 1), di 84° C.

La temperatura è di circa 60° alla profondità di rinvenimento della falda (Pozzo Sciacca1 = 42,3 m slm); valori confermati dalla serie di perforazioni effettuate nella zona a metà degli anni'70 (Forlani, 1979).

Attualmente le terme sfruttano 3 pozzi, con temperature praticamente identica a quella della sorgente Solfurea (pozzi R1 e R3 e pozzo Commodino 5) le cui caratteristiche chimiche sono state ampiamente trattate nel Cap. n. 10

## CLASSIFICAZIONE SERBATOIO GEOTERMALE DI SCIACCA

La Tab. 30 riporta schematicamente la classificazione dei serbatoi geotermici che a grandi linee possono essere distinti in 3 grandi classi:

TIPOLOGIA DEI SERBATOI GEOTERMICI	
1. SISTEMI AD ACQUA E VAPORE	
2. SISTEMI GEOTERMICI SECCHI (ROCCE CALDE)	
3. SISTEMI GEOTERMICI A PREVALENTE CONDUZIONE	

Tab. 30; tipologia di serbatoi geotermici

Il bacino termale di Sciacca per le caratteristiche proprie può essere definito come un *sistema ad acqua dominante a bassa temperatura* ( $T < 90^{\circ}\text{C}$  - vedasi (Tab. n. 31) poiché si riscontra una falda termale con range di temperatura compreso tra 55 e 60 °C.

SISTEMA GEOTERMICO BACINO TERMALE DI SCIACCA			
SISTEMI ACQUA VAPORE			
ACQUA DOMINANTE		VAPORE DOMINANTE	
<i>alta temperatura</i>		$T=150\div 300^{\circ}\text{C}$	
<i>media temperatura</i>		$T=90\div 150^{\circ}\text{C}$	
<i>bassa temperatura</i>		$T < 90^{\circ}\text{C}$	

Tab. 31; tipologia sistema geotermico di Sciacca

## RANGE TEMPERATURE NEL POZZO SCIACCA 1

Un riscontro molto importante, per il gradiente geotermale presente in profondità nel bacino di Sciacca viene fornito dalle misure di temperatura eseguite durante la perforazione del pozzo AGIP (Sommaruga, 1952) – Tab. n. 32 – riportante l'incremento delle temperatura con la profondità.

POZZO SCIACCA - RANGE TERMICO ALLE VARIE PROFONDITA'			
m slm	T °C	m slm	T °C
165,72 (-30 m pc)	34	25,72 (-170 m pc)	55
155,72 (-40 m pc)	32	0,75 (-195 m pc)	60
140,72 (-55 m pc)	37/38	-29,28 (-225 m pc)	63
135,72 (-60 m pc)	37	-178,28 (-374 m pc)	64
121,72 (-74 m pc)	39	-254,28 (-450 m pc)	62
120,72 (-75 m pc)	43	-364,28 (-560 m pc)	62
115,72 (-80 m pc)	43,5	-554,28 (-750 m pc)	61,5
95,72 (-100 m pc)	42	-704,28 (-900 m pc)	62
65,72 (-130 m pc)	45	-1154,28 (-1350 m pc)	65
40,72 (-155 m pc)	49	-1954,28 (-2150 m pc)	70
30,72 (-165 m pc)	53 (58)	-2624,28 (-2820 m pc)	75,5

Tab. 32; Pozzo Sciacca 1 incremento della temperatura con la profondità

## TIPOLOGIA DI SFRUTTAMENTO

La Tab. 33 elenca i possibili utilizzi merceologici che possono essere sviluppati nelle aree geotermali in base ai range di temperatura.

In rosso nella tabella sono state evidenziate le categorie che potrebbero interessare l'area termale di Sciacca, ovvero: 5. riscaldamento con pompe di calore; 30; idrocoltura e idroponica; 37. balneologia.

Le classi 5 e 37 per la storia della zona, vocata al termalismo, potrebbero essere utili in un'ottica di ammodernamento delle attività termali presenti mediante l'utilizzo di portate in atto non utilizzate (Sorgente Selinuntina) e considerando anche la possibilità del riciclo ed il riuso di portate già in atto utilizzate (Molinelli, pozzo R1 e R3 e C5) dagli stabilimenti.

Tali prospettive consentirebbero sia un'adeguata salvaguardia dell'attività dell'Ente Terme (che per l'iter legislativo storico emanato dalla Regione Sicilia è l'ente predisposto alla tutela e valorizzazione della georisorsa) attraverso l'accesso a possibili finanziamenti europei che potrebbero segnare un auspicabile rilancio delle attività termali oggi in fase di acuta criticità.

RANGE DI TEMPERATURA DEI FLUIDI GEOTERMICI RICHIESTI PER VARI TIPI DI PROCESSI INDUSTRIALI			
USI ENERGETICI		INDUSTRIE AGRO-ZOOTECNICHE ED AGRO ALIMENTARI	
1. GENERAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA (VAPORE UMIDO E SECCO)	>140	20. ZUCCHERIFICI	50-140
2. GENERAZIONE DI POTENZA ELETTRICA (CICLO ORGANICO A VAPORE ENDOGENO)	>90	21. FORAGGIO	80-135
3. DIRETTO A FLASH	>90	22. SERRE	60-130
4. RISCALDAMENTO RESIDENZIALE, PRODUZIONE ACQUA SANITARIA	60-130	23. LATTE	70-120
5. RISCALDAMENTO CON POMPE DI CALORE	25-60	24. LAVORAZIONE CARNI E SALUMI	40-85
6. PRODUZIONE FREDDO	140-180	25. CERCEALI (ESSICCAZIONE)	40-80
7. PRODUZIONE FREDDO, CONDIZIONAMENTO ARIA	70-120	26. PREPARAZIONE DI BEVANDE NON ALCOLICHE ED ACQUE MINERALI	25-80
INDUSTRIE CHIMICHE		27. ZOOTECNIA, ALLEVAMENTO	25-60
8. INDUSTRIE PLASTICHE	85-240	28. COLTIVAZIONE FUNGHI	20-50
9. ALLUMINIO (PROCESSO BAYER)	140-150	29. IRRIGAZIONE CALDA, RISCALDAMENTO SUOLO	20-25
10. IDROCARBURI	120-150	30. IDROCOLTURA, IDROPONICA	15-35
11. ESPLOSIVI	90-150	INDUSTRIE ESTRATTIVE	
12. FARMACEUTICA	65-125	31. MATERIALI DA COSTRUZIONE	50-150
13. GOMMA SINTETICA	25-95	32. DISSALAZIONE	110-120
14. SAPONI, DETERSIVI	80-95	33. RECUPERO DI OLI SERVIZI INDUSTRIALI	90
INDUSTRIE AGRO-ZOOTECNICHE ED AGRO ALIMENTARI		ALTRI PROCESSI INDUSTRIALI	
15. DISTILLERIE	100-160	34. INDUSTRIAL DEL LEGNO	55-180
16. INDUSTRIA CONSERVIERA	90-150	35. CARTA, PRODUZIONE DI CELLULOSA	50-150
17. BIRRA, MALTO	75-150	36. INDUSTRIE TESSILI	90-135
18. OLI VEGETALI	70-150	37. BALNEOLOGIA	20-150
19. PREPARAZIONE CIPBI PRECOTTI	60-200		

Tab. 33; possibili utilizzi merceologici delle acque del bacino di Sciacca

## ESCURSUS LEGISLATIVO

Vengono di seguito riportate i principali atti legislativi di tutela del bacino termale e delle zone contermini:

### A. Decreto L. vo Presidente della Regione Siciliana n. 12 del 20 dicembre 1954;

Tale decreto istituì l'Azienda Autonoma delle Terme di Sciacca e di Acireale e all, art. 1 riporta "Per il conseguimento degli scopi previsti dal D.L. P. dic. 1949 n. 35 e del D. L. P. 18 apr. 1951 n. 24 .... sono istituite l'Azienda Autonoma delle Terme di Sciacca e l' Azienda Autonoma delle Terme di Acireale, le quali amministrano, gestiscono e valorizzano rispettivamente i complessi cremo minerali e idrotermominerali esistenti nei bacini delimitati con decreto 9 maggio 1951 n. 13844".

Il decreto nella fattispecie così riportava "il limite della zona idrotermale di Sciacca ..., è determinato in coincidenza con quello del territorio del Comune di Sciacca; tale limite è segnato con linea continua rossa nell'annesso piano topografico particellare alla scala 1: 40000.

L'area della zona delimitata, misura graficamente sul disegno planimetrico, risulta di ettari 1.918.

### B. Decreto interassessoriale del 30 maggio 1970;

determinava l'area della idrotermale di Sciacca in ha 19.101, 2245 in coincidenza con l'estensione del territorio comunale di Sciacca.

### C. Decreto l'Assessore Regionale per il territorio e l'Ambiente del 26 luglio 2000,

Tale decreto portò all'Istituzione della Riserva naturale di Monte S. Calogero (Kronio) ricadente nel territorio del Comune di Sciacca. L'art. 3 riporta: "La riserva naturale di cui all'art. 1 è tipo logicamente individuata, ai sensi della legge regionale n. 14/88 come riserva naturale integrale al fine di tutelare il complesso ipogeo costituito da 5 grotte principali, Stufe di S. Calogero, Grotta del Lebbroso, Grotta di Mastro, Grotta Cucchiara (labirinto aspirante) e Grotta del Gallo, interessato dalla circolazione di aria e vapori legati a fenomeni termali.

Il Decreto inoltre nell'Allegato 2 contiene il Regolamento recante le modalità d'uso ed i divieti vigenti nella Riserva Naturale Orientata Monte S. Calogero (Kronio).

L'art. 2 relativa alla zona A ha per oggetto i Divieti ed il comma 2.1., lettera g., riporta i seguenti divieti "aprire cave e miniere ed esercitare attività estrattive nonché asportare materiale e scavare pozzi, realizzare opere di presa e distribuzione di acque cisterne che queste ultime non siano ad esclusivo servizio di abitazioni esistenti in zona A, previo nulla osta dell'Ente gestore", inoltre il comma 2.1 lettera f, fa anche divieto di "esercitare qualsiasi attività industriale".

L'art. 4 relativo alla zona B ne riporta i divieti e nei due seguenti comma riporta: a. comma 4.1 lettera c fa divieto di "esercitare qualsiasi attività industriale"; alla lettera f fa divieto di "danneggiare occludere inghiottitoi, cavità naturali e sorgenti".

## VOLUMI UTILIZZABILI

In base alle portate misurate si verifica che le potenzialità del bacino termale di Sciacca sono modeste ma in ogni caso si potrebbe auspicare un utilizzo più ponderato delle stesse (anche attraverso il riciclo di alcune portate attualmente disponibili).

Le immagini di Fig. 98 mostrano rispettivamente: **a.** il pozzo cisterna, che contiene le acque della Sorgente Solfurea, presso lo Stabilimento degli Antichi Bagni e **b.** lo scarico a mare della sorgente Molinelli (dopo essere stata utilizzata nello piscina omonima).



Fig. 98; pozzo cisterna che raccoglie le acque della Sorgente Solfurea Grande e scarico delle acque della Sorgente Molinelli

La Tab. 34 riporta: le portate, temperature e caratteristiche chimico-fisiche delle acque delle due sorgenti verificando che si potrebbe avere a disposizione una portata complessiva di circa 3,7 l/s (secondo recenti misure eseguite dallo scrivente) attualmente non utilizzate (nel caso della Sorgente Solfurea) o utilizzate per le piscine omonime (sorgente Molinelli); che per il range di temperatura si potrebbe prevederne l'utilizzo anche in agricoltura per le colture nelle aree limitorfe a valle della manifestazione sorgentizia.

L'Ente Terme dispone inoltre di ulteriori 3 pozzi (R1, R3 e C5) che vengono utilizzati, con regimi non costanti nel tempo, che pertanto potrebbero fornire ulteriori volumi idrici (1÷2 l/s).

CARATTERISTICHE ACQUE SORGENTE SOLFURE E MOLINELLI					
punti d'acqua	portata	temperatura	conducibilità	pH	Eh mv
<b>sorgente selinuntina</b>	1,33	54.7	34600	5,87	-348
<b>molinelli</b>	2,40	29.8	13800	6,47	190

Tab. 34; caratteristiche di portata, temperatura e parametri chimico fisici delle due sorgenti termali

## DESCRIZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE FINALE DEL BACINO TERMALE DI SCIACCA

La Fig. 99 mostra il modello concettuale del circuito termale del bacino di Sciacca mediante l'elaborazione del *Profilo Idrogeotermale lungo l'allineamento Rocca Nadore-Sciacca*, con direzione NNE-SSO, per spessori pari a circa 2 Km rinterpretando gli schemi stratigrafico tettonici descritti nel tempo da AA attraverso anche l'interpretazione di sezioni simiche presenti nell'area (Catalano et alii, 1978; Catalano&D'Argenio, 1982, Catalano et lli, 1995; Catalano et alii, 2000; Distefano&Vitale, 1993-1994; Fancelli et alii, 1991 Vitale, 1996).

In base alla successione stratigrafica (vedasi Cap. 2) ed ai rapporti stratigrafico tettonici evidenziati sono state raggruppate le varie litologie in base al loro comportamento idrogeologico individuando: **a.** acquiferi superficiali (spessori terrazzati e alluvioni); **b.** acquiclude neozoici (argille plio-pleistoceniche e tubi); **c.** acquitard cenozoici (arenarie marnose elveziane, calcari marnosi burdigaliane e scaglia eocenica) con la presenza di un acquifero di moderata importanza (calcari a nummuliti oligocenici); **d.** acquifero mesozoico termale (dolomie del trias e calcari del lias)



## CAP. 13 - CONCLUSIONI

La presente tesi di dottorato ha avuto lo scopo principale di definire le caratteristiche geotermali del bacino di Sciacca.

La fase iniziale è stata incentrata su un'accurata ricerca dei dati bibliografici esistenti, alcuni dei quali inediti.

Nel corso della prima parte del 2009 la banca-dati è stata integrata con una serie di ricerche condotte nelle seguenti sedi: **I.** Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo (presso gli archivi delle biblioteche ivi esistenti); **b.** Archivio del Prof. Aurelio Aureli -co-tutor del presente progetto di dottorato; con cui lo scrivente, da circa un decennio, collabora per svariati progetti di ricerca, incarichi professionali e delicate perizie tecnico-giuridiche; **c.** archivi enti pubblici; **d.** ricerca in biblioteche multimediali dei principali atenei di note scientifiche pubblicate sulle più prestigiose riviste internazionali riguardanti i seguenti settori: idrogeologia, geologia strutturale, idrochimica e geotermia; ovvero quelle branche della geologia che rappresentano l'ossatura del presente progetto di dottorato.

Nella seconda parte del 2009 sono iniziati i primi sopralluoghi nell'area in studio, che hanno permesso di inquadrare preliminarmente le caratteristiche geologico-strutturali della zona in studio focalizzando l'attenzione su due principali aspetti: **a.** comprendere le modalità di effusione delle manifestazioni vaporose presenti presso la sommità di M. te S. Calogero; **b.** discernere gli assetti geologico-strutturali ed idrogeologici che determinano lo scaturire delle diverse sorgenti termali presenti nell'area.

Tra il 2010 e l'inizio del 2011 sono stati effettuati una serie di rilievi geologici e strutturali nell'area dalle zone di alimentazione - idrostruttura di Rocca Nadore - sino alle zone di scarico del bacino nell'area compresa tra: l'abitato di Sciacca, ad Ovest, e la foce del T. te Carabollace, ad Est; zona nella quale si concentrano le sorgenti termali (vedasi cap. n. 3, 4 e 5).

Tali rilievi hanno consentito di elaborare la *Carta geologica del bacino termale di Sciacca* e di approntare due sezioni geologico-strutturali generali, lungo i seguenti allineamenti: I. Rocca Nadore-Sciacca e II. Sciacca-T. Te Carabollace interpretate da un punto di vista idrogeotermale (vedasi Cap. n. 5 e 8).

Gli ammassi rocciosi dell'area in studio (specie quelli di età mesozoica) sono stati studiati nel dettaglio eseguendo, in affioramenti alla mesoscala significativi, una serie di rilievi geomeccanici che hanno portato a stabilire 20 stazioni di misure geomeccaniche (seguendo quanto riportato nelle Raccomandazioni ISRM, 1978, 1982).

La parametrizzazione geomeccanica è stata eseguita mediante l'utilizzo di scan-line, sovente integrate (nel caso di famiglie non intercettate dalla linea di scansione) e/o sostituite (nei punti dove non è stato possibile applicare tale tipologia di metodica) con una serie di misure random al fine di quantificare tutti i parametri specifici di un ammasso fratturato ovvero: giacitura, apertura, persistenza, indice di terminazione, riempimento, condizioni idrauliche.

I rilievi geomeccanici di dettaglio eseguiti presso la sommità di M. te S. Calogero hanno permesso di comprendere le modalità di effusione delle manifestazioni pneumatolitiche (evidenziando una stretta colleganza con il quadro fratturativo ed il carsismo esistente).

I dati dei rilievi geomeccanici sono stati poi opportunamente elaborati statisticamente per definire i valori predominanti dei vari parametri (orientazione, famiglie di discontinuità, caratteristiche di persistenza, spaziatura, apertura frequenza lineare delle discontinuità) rappresentati per ciascuna stazione, in proiezioni stereografiche (Countour Plot e Rose Diagram) che hanno permesso di discernere: i set di discontinuità presenti, la loro orientazione e frequenza nello spazio.

Lo studio di dettaglio delle zone di faglia (Cap. 9) ha consentito di comprendere le modalità di variazione del grado fratturativo in corrispondenza delle Fault Zone distinguendo: **a.** Fault Core e **b.** Damage Zone (e le ulteriori sottoclassi di IDDV e WDDZ) e le loro influenze sulle caratteristiche idrauliche degli ammassi in tali tratti secondo quanto descritto dalle più recenti ricerche sugli acquiferi fratturati e carsici (Civita, 2005, Kiraly, 2003; Billi et alii, 2003, Scesi e Gattinoni, 2007, Clerici e Sfratato, 2008) appurando che la permeabilità -negli acquiferi fratturati e carsici- è influenzata dalle anisotropie presenti derivanti dal network fratturativo ed enfatizzate dalla presenza diffusa di carsismo (vedasi Cap. 11)

Lo studio attento, sia del grado fratturativo che delle forme carsiche presenti, ha consentito di comprendere le modalità di infiltrazione nel nucleo assorbente mesozoico (sede della falda termale) e di constatare che tali forme non si sviluppano casualmente ma prevalentemente in corrispondenza delle zone di interconnessione delle principali famiglie di discontinuità.

Le forme carsiche appartengono principalmente alla tipologia a dreni interdipendenti con significato di zone preferenziali di infiltrazione ed alimentazione della zona vadosa dell'acquifero in studio.

Idrogeologicamente sono state distinti 6 complessi idrogeologici (vedasi Cap. 8) che sono stati adeguatamente caratterizzati con l'elaborazione della Carta dei Complessi Idrogeologici; sono stati anche distinti i vari acquiferi presenti, gli acquitard e gli acquicludi il cui sviluppo ed i rapporti reciproci sono stati sintetizzati nelle sezioni idrogeologiche generali (Cap. 8)

Tra la fine del 2010 ed il 2011 sono state condotte quasi mensilmente una serie di misure di portata in 12 sorgenti del bacino in studio.

Il bilancio idrologico del bacino termale è stato calcolato riscontrando un quantitativo di ricarica annua - nei due nuclei assorbenti delle idrostrutture di R. ca Nadore e M. te S. Calogero- di circa 11 l/s, valore molto prossimo ai volumi scaricati dalle manifestazioni sorgentizie.

Tali dati hanno consentito di verificare che le caratteristiche del bacino termale sono limitate e che pertanto è necessario che esso venga tutelato adeguatamente per non depauperare la risorsa geotermica disponibile.

I dati idrochimici dei singoli punti d'acqua ne hanno permesso la caratterizzazione e la loro susseguente correlazione (diagrammi di Piper a diamante e Schoeller Berkaloff) utilizzata per : **a.** definire i limiti del bacino idrotermale (attraverso l'integrazione con stratigrafie di pozzi profondi e sondaggi elettrici); **b.** interpretare le variazioni di chimismo all'interno dell'areale in studio; **c.** chiarire i rapporti tra chimismo delle acque e regime pluviometrico.

Il chimismo delle acque delle 2 maggiori sorgenti termali (Selinuntina e Molinelli) suggerisce (vedasi diagrammi di caratterizzazione e di correlazione: a. circolare, Piper, Berkaloff ) possibili collegamenti con le acque marine

I dati pregressi opportunamente rielaborati sono stati integrati con la imponente serie di dati forniti dall'Ente Terme (periodo 1987-2011).

La collaborazione intrapresa con l'Ente Terme ha inoltre consentito di: intensificare -nel periodo 2010 e 2011- i campionamenti per verificare le eventuali modifiche stagionali di chimismo; campionare i punti d'acqua termali che da tempo erano privi di analisi: **c.** ritrovare le sorgenti termali minori in origine presenti lungo la Valle dei Bagni (Sorgente Solfurea piccola, Acqua Santa, Acqua Ferrata, Acqua delle Palme) che si riteneva a torto scomparse; **d.** eseguire una nuova e completa campagna di campionamento (finanziata dall'Ente Terme e diretta dallo scrivente) dei principali punti d'acqua termali presenti nel bacino in studio, i cui prelievi sul campo sono stati eseguiti dal Dott. G. Tranchida (della sezione del CNR di Capo Granitola diretta dal Dott. Mario Sprovieri) con il supporto dello scrivente.

Si è anche effettuata una ricerca sugli eventi sismici accaduti nel canale di Sicilia nel periodo 1987-2011 -periodo nel quale ricade la serie storica fornita dall'Ente Terme di Sciacca- verificando per taluni elementi (CO<sub>2</sub> e l'H<sub>2</sub>S ed altri) trend particolari correlabili alle due seppur limitate crisi sismiche accadute nell'agosto 1992 e nel marzo 2003.

E' stato elaborato un modello concettuale del bacino termale di Sciacca che ha consentito di comprendere le modalità di alimentazione e deflusso della falda termale tramite il *Profilo Idrogeotermale lungo l'allineamento Rocca Nadore-Sciacca* che si basa sull'interpretazioni di profili sismici a riflessione da AA interpretati (Catalano et alii, 1978; Catalano&D'Argenio, 1982, Catalano et alii, 1995; Catalano et alii, 2000; Distefano&Vitale, 1993-1994; Fancelli et alii, 1991 Vitale, 1996) e rivisitati in ambito idrogeotermale così da caratterizzare il tipo di reservoir geotermico.

Si è determinata la potenzialità della risorsa; elaborato un modello concettuale di alimentazione e deflusso del bacino termale sottolineando l'importanza (per le sue oggettive unicità di tipo storico, archeologico e geotermico) di un'ulteriore tutela ambientale che abbia come principale finalità sia l'utilizzazione ottimale della risorsa disponibile (H<sub>2</sub>O + T° + GAS + VAPORE) che la salvaguardia della stessa da un possibile sovrasfruttamento che si tradurrebbe in aspetti vulnerativi con effetti deleteri sia sulla qualità che sulle quantità della risorsa geotermica.

## DATI BIBLIOGRAFICI

- ALAIMO R. (1984); *Il bacino termale di Sciacca – Nota I: Inquadramento geologico e caratteristiche chimiche delle acque* Risorse termali della Sicilia ed Isole minori pp. 3-14; Palermo.
- ALAIMO R. (1984); *Il bacino termale di Sciacca – Nota II: Origine dell'acqua termale* Risorse termali della Sicilia ed Isole minori pp. 14-120; Palermo.
- ALAIMO R., CARAPEZZA M., DONGARRA' G., HAUSER S. (1978) *Geochemica delle sorgenti termali Siciliane in* Risorse Termali Isola Di Sicilia - Rend. Soc. Geol. Ital. di Mineralogia e Petrologia n. 34 pp. 577-590
- ALAIMO R., CENSI P. (1987) in: - *Risorse Termali Isola Di Sicilia* - ISTITUTO DI MINERALOGIA PETROGRAFIA E GEOCHIMICA UNIVERSITA' PALERMO – 1987
- ALAIMO R. – TONANI F. (1984) *Il Bacino termale di Sciacca Nota III - Geotermometria delle acque termali e modello di miscuglio per le acque emergenti.* Risorse termali della Sicilia ed Isole minori pp. 3-18; Palermo.
- AMARI M. (1854-1872); *Storia dei Musulmani in Sicilia.*
- AMICO V. (1855) *DIZIONARIO TOPOGRAFICO DELLA SICILIA*
- AURELI A. (1996)- *Bacino Termale di Sciacca (Sicilia S.O.) Caratteristiche idrogeologiche e vulnerabilità-* Quaderni di tecniche di Protezione Ambientale – Pubblicazione GNDCI CNR U.O. 4.17 n. 1284 – PITAGORA EDITRICIE BOLOGNA.
- AURELI A., ALAIMO R., COLUCCI A., DIPASQUALE M., GENOVESE L., PIZZONIA A., TODARO A., TRIPODI L. (2009) – “*Geological framework and potential development of geothermal resources for electrical generation and direct uses in SW Italy*” GEOTHERMAL EXPO & CONGRESS - Offenburg -March 5-6, 2009
- AURELI A., DIPASQUALE M., (2008) – “*Hydrogeological and Hydrochemical Characteristics of the Anapo River Basin (Aretusa-Ciane spring system)*”- 84° Congresso Nazionale della Società Geologica Italiana – 15-17 Settembre 2008 – Sassari
- AURELI A., DIPASQUALE M., PRIVITERA A. G. M. (2009); “*Studio idrogeochimico dei punti d'acqua presenti nell'isola di Ortigia*” – 3° Internactional Symposium Karst Evolution in the south Mediterranean Area – Ragusa, Italy, May 29-31 2009 .
- AURELI A., DIPASQUALE M. (2009); “*Utilizzazione pratica delle carte di vulnerabilità degli iblei- esemplificazione: carte degli iblei*” – V Congresso Regionale dei Geologi di Sicilia. I geologi per la sicurezza delle costruzioni e la gestione sostenibile delle risorse. Palermo. 26-27 Giugno 2009
- AURELI A., DIPASQUALE M., OCCHIPINTI R., PALLAS P. (2009) – “*Studio idro-strutturale dell'areale di ricarica di alcune importanti sorgenti – captate per uso idropotabile – in un acquifero fratturato e carsificato (Sicilia S.E.)*” - III Convegno Nazionale A.I.G.A Associazione Italiana Geologia Applicata - 25-27 Febbrario 2009, S. Giovanni Valdarno.
- AVELLONE G., CONTINO A., CUSIMANO G. & FRIAS FORCADA A. (2006) - *Studio idrogeologico del circuito idrotermale della sorgente Bagni di Cefalà Diana.* “Acque sotterranee”, fasc. n. 101, Giugno 2006, n. 3, 45-52, Edi-graph, Segrate (Mi).
- AZZAZ H., CHERCHALI M., MEDDI M., HOUHA B., PUIG J. M., ACHACHI A. (2008); *The use of enviromental isotopic and hydrochemical tracers to characterize the functioning of karst system in Tlecen Mountains, northwest Algeri.* Hydrogeology Journal, Volume 16. Number 3. May 2008, 531-546.
- BALDACCIO L. (1886) *Descrizione geologica dell'isola di Sicilia.* Mem. Descr. Carta geol. d'It., Roma
- BERBENNI P., ARIATI L. (1978); *Appendice chimico fisica su Studi Idrogeologici sul bacino idrotermale di Sciacca*, Pavia, inedito.
- BERTINI G., CAPPETTI G., FIORDELISI A. (2005); *Characteristics of Geothermal Fields in Italy*; *Giornale di Geologia applicata* 1 (2005) 247-254.
- BERTELLO F., FANTONI R., FRANCIOSI R. (2008); *Hydrocarbon occurences in Mesozoic carbonate units in Italy (2008)*; *Rend. Soc. Geol. It.* 37-39.
- BILLI A. , SALVINI F.; STORTI F. (2003); *The damage zone- fault core transitino in carbonatic rocks: implication for fault growth; structure and permeabilità;* *Jornal of Structural Geology* 25, 1779-1794.
- BILLI A. , STORTI F.(2004); *Fractal distribution of particle size in carbonatic cataclastic rocks from the core of a regional strike slip fault zone.* *Tectonophysics* 384 (2004) 115-128.
- BUONASORTE G. (2008); *Geological background of the italian geothermal resources;* *Geothermal Heating and cooling in Italy and in the Mediterranean Countries;* 19 May, Milano.
- BRUNO P.P.T., PAOLETTI V., GRIMALDI M., RAPOLLA A. (2000); *Geophysical exploration for geothermal low enthalpy resources in Lipari Island, Italy,* *Journaly of Volcanology and Geothermal Resources,* 173-188.
- CACCIATORE M.S., DSTEFAO P. (2008); *Triassic/Jurrasic carbonates from Western Sicily: their facies and implication for the end-Triassic biotic crisis.* *Rend. Soc. Geol. It.* 57-60.
- CALANDRA D., CATALANO R., MACALUSO T., MONTELEONE S. (1982) *Introduzione allo studio delle potenzialità geotermiche della Sicilia Occidentale in Guida alla Geologia della Sicilia* Mem. Soc. Geol. It., 24, Suppl. A, Roma.
- CARAPEZZA M., CUSIMANO G., LIGUORI V., ALAIMO R., DONGARRA' R., HAUSER S. (1977) *Nota introduttiva allo studio delle sorgenti idrotermali di Sicilia.* *Boll. Soc. Geol. It.* Vol. 96 pp 813-836.
- CARELLA R. (1999); *Italian geothermal District Heating System, GHC Bulletin. December 1999.*
- CARMIGNANI L., CONTI P., CORNAMUSINI G., MECCHERI M. (2004) *The internal Nothern Tyrrhenian sea and the Sardinia-Corsica Block.* Special Volume of Italian Geological Society for the IGC 32 FLORENCE 2004.

- CARMINATI E., DOGLIONI C., SCROCCA D. (2004) *Alps vs Apennines*. Special Volume of Italian Geological Society for the IGC 32 FLORENCE 2004.
- CASERO P. (2004) – *Structural setting of petroleum exploration plays in Italy*. Special Volume of Italian Geological Society for the IGC 32 FLORENCE 2004.
- CATALANO R., CUSIMANO G., GRASSO M., LENTINI F., MACALUSO T., MONACO P., MONTELEONE S., PIPITONE G. & FANCELLI R., SQUARCI P., TAFFI L. (1988) - *Inventario delle risorse geotermiche nazionali - Regione Sicilia*, Min. Industr. Comm. e Artig., Legge 9/12/1986, n. 896: "Disciplina della ricerca e della coltivazione delle risorse geotermiche". ENEL UNG, ENI-AGIP SERG, CNR IIRG, ENEA DPAS.
- CATALANO R., CUSIMANO G., GRASSO M., LENTINI F., MACALUSO T., MONACO P., MONTELEONE S. & PIPITONE G. (1988) - Principali strutture idrogeologiche della Sicilia, *Appendice n. 1*. In: Catalano et al., (1988), *Inventario delle risorse geotermiche nazionali - Regione Sicilia*, Min. Industr. Comm. e Artig., Legge 9/12/1986, n. 896: "Disciplina della ricerca e della coltivazione delle risorse geotermiche". ENEL UNG, ENI-AGIP SERG, CNR IIRG, ENEA DPAS., Rapporto CNR - Ist. Intern. Ricerche Geotermiche, Pisa.
- CATALANO R., CUSIMANO G., MACALUSO T., MONTELEONE S., CALANDRA D. (1983); *Lineamenti geostrutturali, idrogeologici e geotermici della Sicilia occidentale* - in "Contributo alla conoscenza delle risorse geotermiche del Territorio Italiano, CNR, PFE RF13, pp 110-120, Roma
- CATALANO R., D'ARGENIO B. (1982) - *Guida alla Geologia della Sicilia Occidentale*. SGI, GUIDE GEOLOGICHE REGIONALI, Mem. Soc. Geol. It., 24, Suppl. A, Roma.
- CUSIMANO G., DI CARA A., LIGUORI V. & MARESCALCHI P. (1982) *Modello idrostrutturale dell'area termale "Fiume Caldo – Castellammare del Golfo" (Trapani)*. 1982, Rend. Soc. Geol. It., 5.
- CATALANO R. & D'ARGENIO B. (1982) - *SCHEMA GEOLOGICO DELLA SICILIA* in *Guida alla Geologia della Sicilia* Mem. Soc. Geol. It., 24, Suppl. A, Roma.
- CATALANO R., D'ARGENIO B., MONTANARI L., RENDA P., ABATE B., MONTELEONE S., MACALUSO T., PIPITONE G. DI STEFANO E., LO CICERO G., DI STEFANO P., AGNESI V. (1978); *Contributi alla conoscenza della struttura della Sicilia occidentale 1) Il Profilo Palermo-Sciacca*. Mem. Soc. Geol. It., Vol. 19, pp485-493, Roma.
- CATALANO R., DI STEFANO P., SULLI A. & VITALR F. P. (1995); *Evoluzione paleogeografica e strutturale della Sicilia e dei mari adiacenti*, Naturalista siciliano.
- CATALANO R., FRANCHINO A., MERLINI S. & A. SULLI (2000); *Central western Sicily structural setting interpreted from seismic reflection profiles*, mem. Soc. Geol. It., 55, 5-16.
- CATALANO R., MACALUSO T., MONTELEONE S., CALANDRA D. (1983); *Lineamenti geostrutturali, idrogeologici e geotermici della Sicilia occidentale* - in "Contributo alla conoscenza delle risorse geotermiche del Territorio Italiano, CNR, PFE RF13, pp 110-120, Roma.
- CATALANO R. & LIGUORI V. (1970); *facies a calpionelle della Sicilia Occidentale*, II PLANTONIK CONFERENCE, ROMA 1970.
- CATALANO R., SULLI A., AVELLONE G., BASILONE L. (2004); 32° International Geological Congress, *The crust in western and Central Eastern Sicily – Field Trip Guide Book – P45. Volume n. 45 from P37 to P45*.
- CATALDI R. & CALAMAI A. (1983) *Present status and future prospect of Geothermal development*. Proceedings Ninth Workshop Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, December 13-15, 1983.
- CITA M. B. & CORSELLI C. (1993); *Messiniano: vent'anni dopo*. Mem. Soc. Geol. It. 49, 145-164.
- CATALANO R., MACALUSO T., MONTELEONE S., CALANDRA D. (1983); *Lineamenti geostrutturali, idrogeologici e geotermici della Sicilia occidentale* - in "Contributo alla conoscenza delle risorse geotermiche del Territorio Italiano, CNR, PFE RF13, pp 110-120, Roma.
- CELICO P. (1986-88); *Prospezioni idrogeologiche*; Liguori Editore; Vol I e II, 735+528 pp., Napoli.
- CIVITA M. V. (2008); *L'assetto idrogeologico del territorio italiano: risorse e problematiche*; Quaderni della S.G. I. ; N. 3 Febbraio 2008
- CIVITA M. (2005); *Idrogeologia applicata ed ambientale*; Casa Editrice Ambrosiana, 794 pp., Milano.
- CUSTODIO E., LLamas M. R. (2005); *Idrologia sotterranea*; Vol. I e II, Casa Editrice Flaccovio, Palermo.
- DELL'AGLIO M. (1966); *Rilievo geochemico della Sicilia Occidentale* – Rivista mineraria siciliana, n. 100-102 – Luglio-Dicembre 1966.
- DELL'AGLIO M. (1970); *Geochemistry of stream and groundwaters from western sicily, the changes in spring water chemism after the 1968 earthquake*. Convegno Internazionale sulle acque sotterranee, pp 226-239, Palermo.
- DISTEFANO P. & VITALE F. P. (1993); *Carta geologica dei M. ti Sicani Occidentali*. scala 1:50.000 – Dipartimento di Geologia e geodesia di Palermo.
- DISTEFANO P. & VITALE F. P. (1994); *Propagazione dei thrust e dinamica dei bacini sintettonici: esempi dei M. ti Sicani, Sicilia – 77° Congr. Soc. Geol. It, Bari (Italy), 26-28 september 1994*.
- DONGARRA' G. – HAUSER S. (1987) – *Isotopic composition of dissolved sulphate and hydrogen sulphide from thermal springs of Sicily* in: - Risorse Termali Isola Di Sicilia - ISTITUTO DI MINERALOGIA PETROGRAFIA E GEOCHIMICA UNIVERSITA' PALERMO – 1987
- DONGARRA' G., HAUSER S., ALAIMO R., CARAPEZZA M., and F. TONANI, in: - Risorse Termali Isola Di Sicilia - ISTITUTO DI MINERALOGIA PETROGRAFIA E GEOCHIMICA UNIVERSITA' PALERMO – 1987
- E.S.A. (1970) *Prospezione geoelettrica in territorio di Sciacca* (inedito)
- FAVARA R., GRASSA F., INGUAGGIATO S., VALENZA M. (2001); *Hydrogeochemistry and stable isotopes of thermal springs: earthquake related chemical changes along Belice Fault (Western Sicily)* – Applied Geochemistry 16 (2001) 1-17.
- FINETTI R. (2004); *Innovative Crop seismic highlights on the mediterranean region*. Special Volume of Italian Geological Society for the IGC 32 FLORENCE 2004.

- FORLANI E. (1979); *Studi idrogeologici sul bacino termale di Sciacca – Azienda Autonoma Terme Selinuntine*
- GIANNOTTI G. P., LOMPARDI L. SIDOTI G. (1970) *Carta idrogeologica della Sicilia Occidentale*. Convegno Internazionale sulle acque sotterranee, pp 329-333, Palermo.
- GUDMUNDSSON A., GJESDAL O., BRENNER S. L., FJELDSKAAR I. (2003); *Effect of linking up of discontinuities on fracture growth and groundwater transport*, Hydrogeology Journal, Volume 11. Number 1. February 2003, 84-99.
- HAUSER S., DONGARRA' G., FAVARA R., LONGINELLI A. (1980); *Composizione isotopica delle piogge in Sicilia. Riferimenti di base per studi idrogeologici e relazioni con altre aree mediterranee*. Rc. Soc. ital. miner. petrol. 36 (2), 671.
- I.S.R.M. (1978,1982); *Raccomandazioni ISRM sulle Metodologie per la descrizione quantitativa delle discontinuità delle masse rocciose*.
- KIRALY L. (2003); *Karsification and Grundwater flow*, Evaluation of Karst: from preKarst to cessation, Speleogenesis and evaluation of Karst aquifers. Ljubljana ZRC, 155-190.
- KLIMCHOUCK A. B. (2004); *Towards defining, delimitino and classifying epikarst: its origin, processes and variant geomorphic evolution*. National Speleological Society, Huntsville, USA.
- KOBAL I., MARTINELLI G., RIGGIO A., SANCIN S., VAUPOTIC J., ZMAZEK B. (2002)- *Monitoraggio geochimico e geofisico in una zona sismicamente attiva lungo il confine italo-sloveno*, Atti del XX Convegno nazionale NGTGS.
- LA BARBERA (2002); *Indagine Idrogeologica ed Idrogeochimica dell'area di Sciacca*. Tesi di Laurea, inedita.
- MARZOLLA B. (1831); *Descrizione dell'Isola Ferdinandea nel Mezzogiorno della Sicilia*
- MASCLE G. (1974); *Carte Geologique des Monts Sicani, 1:100.000* CNR-I.R.E.S., Palermo.
- MASCLE G. (1974); *Les grands traits de l'evolution geologique des Monts Sicani (Sicile)*. Bull. Soc. Geol. de France, ser 7, pp. 1-161.
- MICARELLI L., BENEDICTO A., WIBBERLEY C.A.J. (2006); *Structural evolution and permeability of normal fault zones in higly porous carbonate rocks*. Journal of Strucutral Geology 28, 1214-1227.
- MONTELEONE S. (1989); *Il ruolo degli enti locali nella gestione delle risorse idriche-Studio idrogeologico delle calcareniti di Montevago*. Atti del Convegno di Sicilia e Terzo Mondo. Risorse idriche e difesa del suolo. Quaderni del Sud 1, 73-82
- MORELLI C. (2003); *An historical prospective to the CROP Project*, Mem. Descr. Carta Geol. d'It. LXII.
- MORIN H. R., SAVAGE W. Z. (2003); *Effect of crustal stresses on fluid transport in fractured rock: case studies from northeastern and southeastern USA*, Hydrogeology Journal, Volume 11. Number 1. February 2003, 100-112.
- NIGRO F. & RENDA P. (2002); *Forced mode dictated by fault-indentor shape during oblique convergence: The Western Sicily mailand*. Boll. Soc. Geol. It., 121, 151-162, 9ff.
- OLIVE Ph. (1977); *Le site hydrothermo-mineral de Sciacca (Sicilè)*, inedito.
- PACE B. (19) *ARTE E CIVILTA' DELLA SICILIA ANTICA – VOLUME TERZO- CULTURA E VITA RELIGIOSA, ACQUE TERMALI*. Società Editrice Dante Alighieri.
- PANTINA A. (2005); *Le risorse termali della Sicilia Occidentale*, Arco Journal, Dip. di arti e Comunicazione - Univ. Palermo.
- PATACCA E. & SCANDONE P. (2004); *The Plio-Pleistocene thrust belt-foreddep system in the Southern apennines and Sicily (Italy)* Special Volume of Italian Geological Society for the IGC 32 FLORENCE 2004.
- POCHON A., TRIPET J-P., KOZEL R., MEYLAN B., SINREICH M., ZWHALEN F. *Grounwater protection in fractured media: a vulnerability based approach for delineating protection zones in Switzaerland*. AIH journal - Volume 16, Number 7. November 2008, 1267-1281.
- RALSTON M. K. (2000) *Groundwater management in karst terrain*; Groundwater symposium; Pennsylvania Department of Environmental Protection; May 18, 2000.
- REGIONE SICILIA (2006); *Studio per la caratterizzazione del PER (Piano energetico Regionale) Sicilia – rapporto di seconda fase – Le energie rinnovabili*.
- RIEDMULLER G., BROSCHE F. J., KLIMA K. & MEDLEY E. W. (2001) *Enginerring Geological Characterization of Brittle Fault and Classification of Fault Rocks*, Engineering Geology, Felsbau 19, n° 4.
- RYBACH L. (2007); *Thermal and rheologic signatures of high enthalpy*
- SCESI L., GATTINONI P. (2007); *La circolazione idrica negli ammassi rocciosi*. Casa Editrice Ambrosiana; 156 pp., Milano
- SURRETTE M., ALLEN D. M., JOURNEYAY M. (2008); *Regional evaluation of hydraulic properties in variably fractured rock using hydrostructural domain approach*. Volume 16, Number 1. February 2008, 11-30.
- TAVARNELLI E., BUTLER R. W. H., DECANDIA F. A., CALAMITA F., GRASSO M., ALVAREZ W., RENDA P. (2004) – *Implications of fault reactivation and structural inheritance in the cenozoic tectonic evolution of Italy* Special Volume of Italian Geological Society for the IGC 32 FLORENCE 2004.
- USGS (2003); *Geothermal Energy-Clean Power From the Earth's Heat*, Circular 1249.
- YAMADA Y. & MCCLAY K. (2003) – *Application of geometric models to inverted listric fault systems in sandbox experiments. Paper 2: insights for possible along strike migration of material during 3D hanging wall deformation*. JOURNAL OF STRUCTURAL GEOLOGY, **25**, 133-1336.
- YAMADA Y. & MCCLAY K. (2004) – *3-D Analog Modeling of Inversion Thrust Structures*. AAPG MEMOIR, **82**, 276-301.
- ZARCONE G. & DI STEFANO P. (2008) *Mesozoic discontinuities in the Panormide Carbonate Platform: constraints on the paleogeograph of the central Mediterranean*

ZITO G., MONGELLI F., DE LORENZO S., DOGLIONI C. (2003); *Heat flow and geodynamics in the Tyrrhenian Sea*; Terra Nova 425-432.

ZWHALEN F. (2003); Final report COST Action 620 – *Vulnerability and Risk mapping for the Protection of Carbonate (Karst) Aquifers*.