

Geologia della Sicilia - *Geology of Sicily*

VI - Applicazione dei dati geologici alla gestione del territorio

- *Application of geological data to land management*

LENTINI F., CARBONE S.

1. - INTRODUZIONE

La presente Memoria si propone lo scopo di facilitare la lettura e l'interpretazione della Carta Geologica della Sicilia alla scala 1:250.000 e di chiarire i criteri utilizzati per l'impostazione della relativa legenda. In Sicilia i progetti di cartografia geologica ufficiale sono rimasti incompiuti, sia negli anni '60, sia oggi che il Progetto CARG ha provveduto ad una copertura parziale del territorio regionale; pertanto l'Isola non gode di una cartografia geologica omogenea, mentre la prima attenzione degli organi di governo dovrebbe essere la conoscenza approfondita del territorio. Tuttavia la carta geologica allegata, in considerazione della scala, potrà essere utilizzata per studi a carattere regionale e per definire i criteri indirizzati alla gestione del territorio. Essa si è avvalsa della sintesi delle carte geologiche non ufficiali prodotte da ricercatori delle università e degli enti di ricerca, aggiornate sulla base di quelle realizzate dal Progetto CARG e integrate con rilievi speditivi per le aree ancora scoperte.

La Memoria raggruppa una notevole mole di informazioni, derivanti da decenni di attività sul terreno e dall'analisi della cospicua letteratura geologica. Data l'estrema varietà e complessità dei caratteri geologici dell'Isola, essa non può essere considerata esauriente, ma costituisce un prodotto, da cui risalire per opportuni approfondimenti. Si auspica che tale documento possa fornire un orientamento nella scelta e nella pianificazione di interventi mirati alla prevenzione e alla mitigazione dei rischi geologici (sismici, idrogeologici, vulcanici), alla protezione e conservazione del patrimonio naturale ed ambientale e al reperimento di risorse energetiche (idrocarburi, campi geotermici).

Affinché la descrizione dei caratteri geologici non rimanga confinata all'interno dei canali scientifici, essa viene completata da un'analisi dell'applicazione

al territorio delle conoscenze geologiche acquisite, ma per la sua mole ciò andrebbe espresso in un ulteriore volume. Pertanto, in questo capitolo verranno riportate soltanto delle considerazioni, da utilizzare per un orientamento nelle scelte di programmazione territoriale. Poiché alla base di ogni intervento è indispensabile una corretta interpretazione geologica, si riportano qui di seguito alcuni esempi, in cui una precisa diagnosi dei caratteri geologici avrebbe guidato più adeguatamente nella scelta degli interventi.

2. - SISMICITÀ E PERICOLOSITÀ SISMICA

Per la definizione del rischio sismico è fondamentale la corretta valutazione della pericolosità sismica e ciò assume un aspetto rilevante nella gestione di un territorio, come quello siciliano, nel quale la vulnerabilità dei centri storici è dappertutto elevata. A ciò si aggiungono i fenomeni sismoidotti e in particolare gli effetti del sito, che dipendono strettamente dalle condizioni del terreno di fondazione degli edifici. Numerosi sono i casi direttamente osservati, nei quali l'amplificazione degli effetti di un evento sismico deriva non soltanto dalle caratteristiche strutturali, ma anche dai caratteri litologici, idrogeologici e dalla morfologia.

Un esempio ci viene fornito dall'abitato di Augusta, nel quale il terremoto del 13 dicembre 1990 ha prodotto maggiori danni nelle case popolari edificate su materiali di colmamento di parte delle vecchie saline. Lo stesso evento nell'abitato di Lentini ha prodotto maggiori danni negli edifici costruiti sulle argille pleistoceniche; la distribuzione dei danni nel paese di Melilli invece coincideva con quella delle vulcanoclastiti mioceniche. Il comportamento del terreno di fondazione nel caso di un evento sismico dovrebbe pertanto costituire un aspetto fondamentale nell'applicazione dei criteri

di prevenzione nel redigere i piani regolatori, non sempre confortati da adeguati studi, e nella zonazione sismica dei centri abitati.

Per quanto riguarda le ricerche sismologiche, pur in presenza di studi approfonditi che hanno raggiunto risultati soddisfacenti, si rileva che in molti casi viene a mancare un approccio multidisciplinare, che potrebbe fornire una diagnosi più attendibile della pericolosità sismica; spesso viene a mancare un'azione comune e coordinata tra geologi strutturali e sismologi.

Un significativo esempio è quello del terremoto del 1908, che ha colpito lo Stretto di Messina. Dal 1977 la comunità scientifica si è sforzata di individuare la struttura responsabile di quel catastrofico evento: la sintesi è espressa nella figura 520, nella quale sono rappresentate una decina di strutture sismogenetiche, alle quali nel frattempo se ne possono aggiungere altre proposte da ulteriori studi (v. FINETTI, 2008; ALOISI *et alii*, 2012). Dalla figura 520 emerge che non vi è accordo tra gli studiosi: ammettendo che la struttura responsabile dell'evento sia tra queste, le altre nove proposte non hanno centrato l'obiettivo! Molte di queste analisi

prescindono da una verifica sul terreno delle strutture presenti in quest'area; in particolare non vengono presi in considerazione importanti sistemi come quello di Scilla, che traccia nettamente gli elementi morfostrutturali della parte settentrionale dello Stretto, né tanto meno la faglia N-S di Faro Superiore individuabile attraverso gli anomali tassi di sollevamento (v. Titolo I, Sottopar. 1.5.1.; v. anche fig. 96).

Quest'area, comunque, rappresenta una delle zone a più alta pericolosità sismica, in quanto colpita in passato da vari terremoti con magnitudo tra 6.4 e 7.3 e si ritiene che proprio nel caso dello Stretto di Messina, la complessità geologico-strutturale imporrebbe uno studio multidisciplinare, che metta insieme accurati rilevamenti di superficie, corredati da analisi stratigrafiche e sedimentologiche, rilievi delle aree sommerse, analisi morfostrutturali e sismologiche.

A scala regionale sono state individuate da MELETTI *et alii* (2000) ampie zone sismogenetiche caratterizzate da sismicità omogenea, i cui terremoti sono stati avvertiti o hanno danneggiato la Sicilia.

Per la definizione della storia sismica dei siti siciliani sono utilizzabili i dati reperibili dal database GNDT (MONACHESI & STUCCHI, 1997) ed il Catalogo dei Forti Terremoti Italiani (BOSCHI *et alii*, 2000). Tra gli eventi disastrosi, che hanno investito la Sicilia orientale, si ricordano quelli del 1169, del 1693, del 1818 e del 1908.

Nella Sicilia nord-orientale, caratterizzata dal Sistema Sud-Tirrenico, l'area di Patti è stata colpita da eventi con M 5,5/5,7, di cui i più gravi sono stati quelli del 15.04.1978 e del 28.05.1980. La sismicità è chiaramente associata al sistema trascorrente destro di Tindari, già descritto nel Titolo V, Paragr. 3.2, e più in generale alla Faglia di Vulcano, che separa un settore in collisione ad ovest da uno calabro-peloritano in subduzione attiva. Altre strutture sono connesse ai terremoti di Naso, probabilmente relative alle faglie antitetiche del Sistema Sud-Tirrenico, ed altre ancora, orientate E-O, potrebbero essere legate al collasso peritirrenico. Più ad ovest al confine con la Provincia di Palermo la zona di Pollina è interessata da eventi, che vari autori (MONACO *et alii*, 1996; NERI *et alii*, 2005) legano a regimi compressivi.

Sempre in Provincia di Messina, nei M. Nebrodi, il territorio di Mistretta è ripetutamente soggetto a eventi sismici. Alla fine del 2013 un'ulteriore scossa di M 2.2 ha interessato anche Castel di Lucio e l'ipocentro sembra confinato nelle strutture compressive sottostanti alla Catena Appenninico-Maghrebide. Anche in questo caso si imporrebbe una valutazione dei rapporti fra il *roof-thrust* e il Sistema a *Thrust* Esterno, da integrare con i dati sismologici.

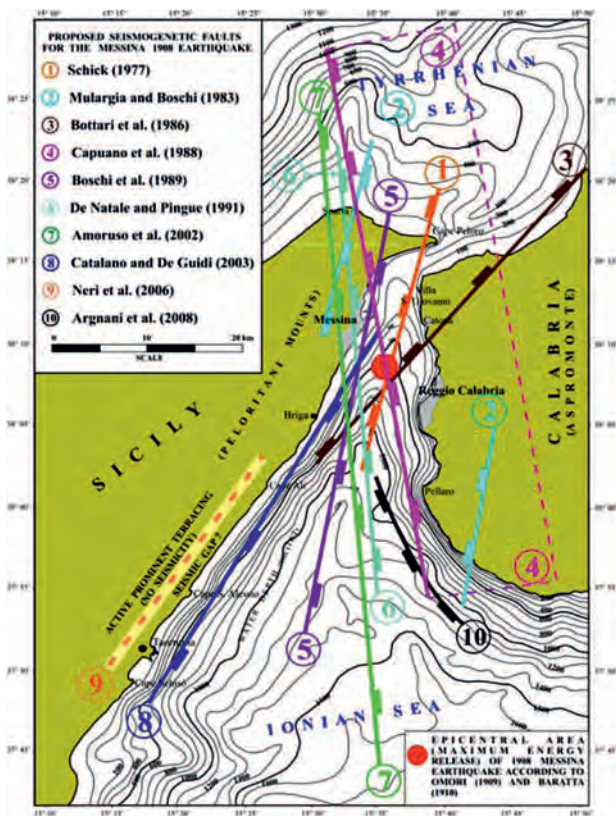


Fig. 520 – La figura mostra l'ampia varietà di ipotetiche faglie sismogenetiche proposte in letteratura da vari autori per il terremoto dello Stretto di Messina del 1908. I rettangolini sulle faglie normali indicano il blocco ribassato (da FINETTI, 2008).

- Map showing a large variety of hypothetical seismogenic faults proposed for the Messina Straits 1908 earthquake. Fault lines toothing indicates down block of normal faults (after FINETTI, 2008).

In Sicilia orientale la sismicità, oltre che nell'area etnea caratterizzata da eventi superficiali di bassa magnitudo, è distribuita lungo la costa ionica con eventi che hanno raggiunto M 7. Particolare attenzione prestano i sismologi al terremoto del 1693, che, preceduto da un *foreshock*, provocò distruzioni in tutta la Sicilia orientale. Anche qui non vi è accordo unanime nel collocare l'ipocentro in corrispondenza della Scarpata Ibleo-Maltese, sospettata di essere responsabile dei maggiori terremoti.

Le zone interne all'avampaese Ibleo sono caratterizzate invece da terremoti di modesta magnitudo. CARBONE *et alii* (1982a) sottolineano le differenze dei caratteri sismotettonici dell'area iblea, proponendo una relazione con il diverso assetto strutturale del *Plateau* rispetto alla Scarpata Ibleo-Maltese. Nel primo caso infatti le faglie normali sembrano l'effetto superficiale dell'inarcamento dell'avampaese e non raggiungerebbero profondità elevate (ad eccezione del sistema trascorrente di Scicli); nel secondo il sistema di faglie, che determinano il collasso del margine ionico, attraverserebbero l'intera crosta e i terremoti ad esso legati esprimerebbero un'elevata magnitudo.

Per quanto riguarda la Sicilia occidentale l'analisi dei cataloghi storici indica eventi sismici superficiali (profondità minore di 30 km) e magnitudo minore o uguale a 4. Assume però notevole rilevanza il terremoto di M 6.1, che nel Gennaio 1968 colpì vasti territori delle province di Agrigento, Trapani e Palermo (v. LUZIO & D'ALESSANDRO, in DI STEFANO *et alii*, 2013). A quel tempo tale zona non era considerata critica dal punto di vista sismico e pertanto le popolazioni e lo Stato risultarono impreparati sia per gli interventi e la logistica nella fase di emergenza, che per la ricostruzione che è stata parziale e in maggior parte inadeguata. Tra i 14 comuni maggiormente colpiti, i paesi di Gibellina, Salaparuta e Poggioreale (fig. 521), appartenenti all'area epicentrale, subirono la quasi to-



Fig. 521 – Le rovine del vecchio paese di Poggioreale, distrutto dal terremoto del gennaio 1968.

- The ruins of the old village of Poggioreale, destroyed by the earthquake of January 1968.

tale distruzione. Sulla struttura responsabile del terremoto FINETTI *et alii* (2005a) indicano una faglia trascorrente sinistra orientata NNE-SSO, osservata nella linea CROP M23A (*Belice Flower*) (v. fig. 13); altra ipotesi è che si sia attivato il sistema a *thrust* profondo (PSTB) lungo una direzione di massima compressione orientata NO-SE.

Nella Sicilia nord-occidentale la sismicità è collegabile ad un'area tettonicamente attiva dell'*offshore* trapanese; di essa si è accennato nel Titolo V, Sottopar. 3.2.1. Le sequenze sismiche sono caratterizzate da bassa e media magnitudo e i meccanismi focali sono indicativi di *thrust* attivi sudvergenti. Gli ipocentri sarebbero localizzati a non più di una decina di km di profondità. CATALANO *et alii* (2011a) riportano uno schema della sismicità relativo agli eventi del 1998 e ritengono che i meccanismi focali compressivi e/o traspressivi degli eventi verificatisi nel 1998, 2002 e 2010 siano geodinamicamente significativi.

Gli esempi riportati indicano l'esistenza di aree investite da tettonica attiva. Le esperienze tratte dalla sismicità storica insegnano, tuttavia, che zone non ritenute sismicamente critiche hanno espresso violenti terremoti (Valle del Belice, Friuli, Emilia Romagna). Ciò suggerirebbe di estendere la politica di prevenzione a tutto il territorio regionale.

3. - ELEMENTI DI GEOMORFOLOGIA APPLICATA E DINAMICA GEOMORFOLOGICA

La notevole diversità dei paesaggi dell'Isola è strettamente connessa alla varietà dei caratteri geologici: dalle aree costiere sub pianeggianti e dalle distese collinari e/o montane della parte centro-meridionale si passa alle zone montuose, aspre nella dorsale peloritana per la presenza di rocce metamorfiche, fortemente articolate nei rilievi delle Madonie, dei Monti di Palermo e del Trapanese, dove il controllo strutturale è notevole, e dolcemente e variamente acclivi lungo la dorsale nebrodica, fino all'andamento tabulare del *Plateau* Ibleo. Su quasi tutta l'Isola domina l'inconfondibile sagoma del M. Etna.

La diversità dipende, oltre che dalla litologia, anche dalle condizioni geologico-strutturali, ma ciò che colpisce è la natura giovane della maggior parte dei paesaggi e pertanto lo stretto collegamento con la tettonica attiva. La dinamica geologica influisce infatti fortemente su quella geomorfologica, e ciò deve essere tenuto in debita considerazione nella pianificazione e nell'utilizzo del territorio.

L'effetto dei processi morfologici, che producono improvvise modificazioni territoriali e interagiscono negativamente su insediamenti abitativi,

infrastrutture e attività produttive, viene indicato come *dissesto idrogeologico*; tale termine improprio tradisce una visione unilaterale dell'essere umano, che non realizza che si tratta di un "degrado" naturale. Fenomeni naturali sono infatti le frane, i processi erosivi sui versanti e quelli fluviali, come erosioni di sponda, esondazioni, alluvioni. In verità non si tiene conto che l'appropriarsi del territorio spesso interferisce od accelera i processi naturali. Non è insolito constatare l'occupazione degli alvei o delle aree golenali (fig. 522) per acquisire zone da destinare alle coltivazioni oppure all'edificazione e alla cementificazione.

In qualche centro abitato della provincia di Messina, come Barcellona P.G. e lo stesso capoluogo, alcune strade sono state realizzate, coprendo aste fluviali che attraversano gli abitati con il rischio di esondazioni in seguito ad abbondanti precipitazioni.

La protezione dei centri abitati dai fenomeni di alluvionamento, che spesso determinano gravi danni e perdita di vite umane non ha trovato soluzioni organiche ed efficaci. Anche in presenza di terreni altamente permeabili, l'antropizzazione e la conseguente cementificazione comportano il convogliamento di notevoli volumi di acqua piovana lungo i reticoli viari che funzionano come collettori. Tra i moltissimi casi si citano qui gli eventi del 2003 e del 2012 che hanno colpito la zona industriale di Catania con estesi allagamenti del Villaggio S. Agata nei pressi dell'area aeroportuale. Per questa zona, come per tutte le altre sottoposte a rischio idraulico, vanno eseguiti studi a carattere geologico, sedimentologico, geomorfologico e idraulico.

La maggior parte dei fenomeni esogeni rientra nei processi di dinamica geomorfologica, in questo caso il movimento del corpo in frana avviene lungo superfici di scollamento, che tendono ad affiorare; il trasferimento dei volumi avviene quindi lungo superfici più o meno acclivi. In altri casi, in-

vece, le superfici immergono in sottosuolo e non si osservano fronti di frana; pertanto si può escludere un trasferimento dei volumi in senso suborizzontale. Tali fenomeni ricadono nel campo della tettonica. In essi le superfici di scollamento si immergono in profondità e possono essere ricondotte a piani di faglia, più o meno subverticali. L'osservazione di tali elementi è fondamentale per una corretta diagnosi del fenomeno e per individuare il tipo di intervento di consolidamento.

Al riguardo si riporta un esempio di un dissesto osservato nei pressi di Motta S. Anastasia, paesino ad ovest di Catania. La "frana" si è prodotta nelle argille azzurre pleistoceniche e presenta un coronamento a monte, che lambisce la periferia del centro urbano, ma al piede non si osserva una lingua: non vi è cioè un trasferimento della massa lungo un'eventuale superficie di scivolamento. Inoltre i confini del dissesto sono costituiti da due rette ortogonali, che suggeriscono un controllo strutturale (fig. 523), probabilmente un regime distensivo, che ben spiegherebbe lo sprofondamento del volume di materiale argilloso, collocando il fenomeno nel campo della tettonica attiva. Purtroppo l'intervento di consolidamento è consistito nella messa in opera di enormi pozzi drenanti in argille, di dubbia efficacia.

Altro esempio è quello del quartiere Tre Monti dell'area urbana di Messina, dove un gravissimo dissesto ha irrimediabilmente danneggiato alcune palazzine. Anche in questo caso le osservazioni sul terreno hanno escluso un trasferimento della massa argilloso-sabbiosa del Miocene superiore e hanno accertato la presenza in zona di faglie attive orientate NE-SO, parallele cioè alla dorsale peloritana.

L'instabilità spesso viene innescata dalla riattivazione di contatti tettonici e, specialmente dove le falde di ricoprimento sono costituite da formazioni rocciose fratturate e permeabili in sovrapposizione su terreni argillosi impermeabili, si creano le condizioni per eventi franosi che coinvolgono notevoli volumi di materiale. Innumerevoli sono questi casi nelle aree nebrodiche: ad esempio sul versante meridionale della dorsale M. Pomiere-M. Pelato, a C. Catalano (a NE di Capizzi), dove si è creata una tipica frana di colamento nelle argille varicolori sicilidi che presentano in genere un'elevata predisposizione al dissesto (fig. 524a). Tali fenomeni sono in molti casi incontrollabili e difficilmente si possono attuare interventi di consolidamento, come avviene poco ad ovest di Mistretta, dove un fenomeno franoso, in corrispondenza delle oligoceniche argille varicolori superiori e delle Tufiti di Tusa in ricoprimento sopra il flysch numidico dell'Unità di Nicosia (fig. 524b), si è trascinato a valle i collegamenti viari.

Ulteriori esempi degli stretti rapporti tra strutture



Fig. 522 – Esempio di edificazione su aree golenali delle fiumare del versante tirrenico.

- Example of building on flood plains of rivers of the Tyrrhenian coast.

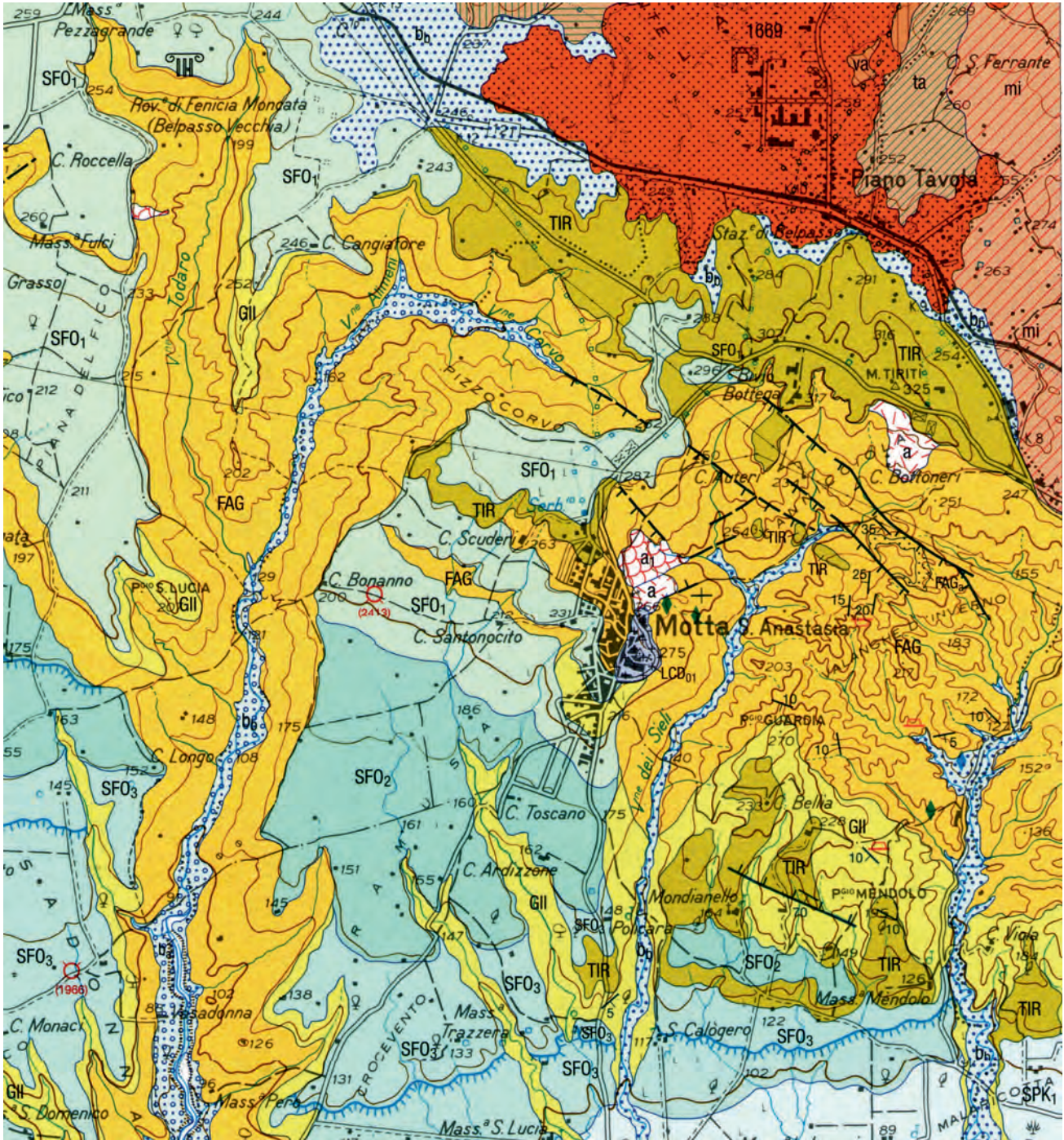


Fig. 523 – Carta geologica della zona di Motta S. Anastasia, al margine NO della Piana di Catania. L'area è coperta da argille azzurre (FAG) passanti a sabbie (GII) e conglomerati (TIR). Un dicco vulcanico attraversa i sedimenti pleistocenici. La “frana” appare controllata da strutture tettoniche (da Foglio Paternò, SERV. GEOL. D'IT., 2010a).
 - Geological map of Motta S. Anastasia area, at NW boundary of the Catania Plain. This area is covered by blue clay (FAG), grading up to sands (GII) and conglomerates (TIR). A volcanic dyke intrudes on the Pleistocene sediments. The “landslide” appears controlled by tectonic structures (after Paternò Sheet, SERV. GEOL. D'IT., 2010a).

e dissesti si hanno a S. Teodoro e nella zona attorno all'abitato di San Fratello. Nel primo la situazione strutturale è estremamente complessa, perché la successione dell'Unità di Nicosia (argille varicolori superiori e flysch numidico), rovesciata e ridotta in scaglie nord-vergenti, è troncata da *thrust* sud-vergenti di “Argille Scagliose Superiori” e arenarie del flysch di M. Soro. Le retrovergenze sono databili al

passaggio Miocene-Pliocene e per conseguenza i *thrust* alla sommità sono plio-pleistocenici (v. Foglio 612 Randazzo, CARBONE, 2012; ISPRA, 2012c). A San Fratello si ha ancora il contatto di ricoprimento calabride sulle Unità Maghrebidi. In quest'area affiora un *klippe* calabride sovrapposto alle Argille Scagliose Superiori, a loro volta in ricoprimento sul flysch di M. Soro (CARBONE *et alii*, 1998) (fig. 525).



Fig. 524 – Frana di colamento nelle argille varicolori superiori (AVS) dell'Oligocene sul versante meridionale della dorsale M. Pomiere-M. Pelato, a C. Catalano (a NE di Capizzi) (a). Frana complessa di C.da Muricello ad ovest di Mistretta al contatto tra AVS e le Tufiti di Tusa (b).
 - Landflow in the Oligocene Argille Varicolori Superiori (AVS) on the southern slope of the M. Pomiere-M. Pelato ridge, near C. Catalano (NE Capizzi) (a). Complex landslide in C.da Muricello west of Mistretta at the contact between AVS and the Tufiti di Tusa (b).

Si tratta di una situazione compromessa con una serie di concause che innescano ripetuti fenomeni di dissesto (fig. 526), che già in passato hanno costretto alla delocalizzazione verso l'area costiera, dove è sorto il paese di Acquedolci. Le frane si originano nelle Argille Scagliose Superiori, che sono distribuite al *foothwall* del ricoprimento calabride e che presentano ovunque un'elevata predisposizione al dissesto.

Questo, come gli altri sopra citati sono esempi dell'influenza delle caratteristiche strutturali, che insieme alle condizioni idrogeologiche e climatiche, determinano gravi e ripetuti fenomeni di instabilità dei versanti, che difficilmente possono essere consolidati e recuperati. Talvolta è inevitabile attuare scelte coraggiose, che prevedono l'abbandono al naturale degrado di porzioni di territorio, il cui recupero ha costi insostenibili e inefficaci, altrimenti prima o poi saranno gli stessi abitanti a dover abbandonare le proprie abitazioni, come è avvenuto a Raiù, piccola borgata ubicata sul torrente omonimo, affluente in sinistra del T. Fantina (fig. 527). Il fondovalle è colmato da materiale alluvionale trasportato da improvvise piene e proveniente dalla frana visibile ai piedi delle calcareniti di Floresta, che formano i Monti Ritagli di Lecca (figg. 528a, 529) (LENTINI, 2000; cf. fogli 613 Taormina e 612 Randazzo: SERV. GEOL. D'IT., 2010b, 2012c). Per lunghi tratti il materiale si trova al disopra degli argini artificiali, sicuramente in seguito a notevoli esondazioni (fig. 528 b).

Altra discutibile scelta è stato il tentativo di realizzare un collegamento viario diretto fra gli abitati di Randazzo e S. Domenica Vittoria lungo il versante in sinistra della valle dell'Alcantara, dove si erano ripetutamente verificate varie forme di dis-

sesto (BASILE *et alii*, 1996; FERRARA & PAPPALARDO, 2000), che avevano interrotto la SS 116. Tutta l'area infatti è caratterizzata da sistemi di *thrust* sud-vergenti che invertono l'originaria successione tettono-stratigrafica, cioè: flysch di M. Soro (Cretacico) poggiate sulla f.ne delle "Argille Scagliose Superiori" (Cretacico) a loro volta su argille varicolori dell'Oligocene (fig. 530). Tali contatti sono recenti e subiscono riattivazioni, che sono alla base dell'instabilità del versante, anche se a ciò contribuiscono le condizioni litologiche, di permeabilità, lo stato di fratturazione e le caratteristiche climatiche. Non estraneo sembra anche l'assetto idrologico con il F. Alcantara che scorre tra una sponda, destra, tagliata su colate basaltiche e il versante, in sinistra, soggetto all'erosione fluviale con spostamento dell'asse di deflusso (BRANCA & FERRARA, 2001).

In alcuni casi l'influenza dell'attività tettonica non è determinante, mentre lo sono la litologia, l'assetto morfologico, la deforestazione e gli eventi meteorologici. Ci si riferisce per esempio al paese di Giampilieri (Messina), colpito nell'ottobre 2009 da un violento nubifragio, che ha prodotto colate di fango e detriti, causando anche un elevato numero di vittime. L'abitato risulta ubicato in un fondovalle (fig. 531), i cui versanti sono acclivi e costituiti da metamorfite estremamente alterate, coperte cioè da spesse coltri di materiale eluviale, che si sono mobilizzate in seguito alle precipitazioni particolarmente abbondanti. In questo caso non ci si trova di fronte ad un unico dissesto, ma ad una serie di colamenti che tendono a confluire nel fondovalle dove è situato l'intero paese.

Le frane di crollo sono frequenti in corrispondenza di pareti rocciose subverticali calcareo-dolomitiche, rocce metamorfiche d'alto grado,

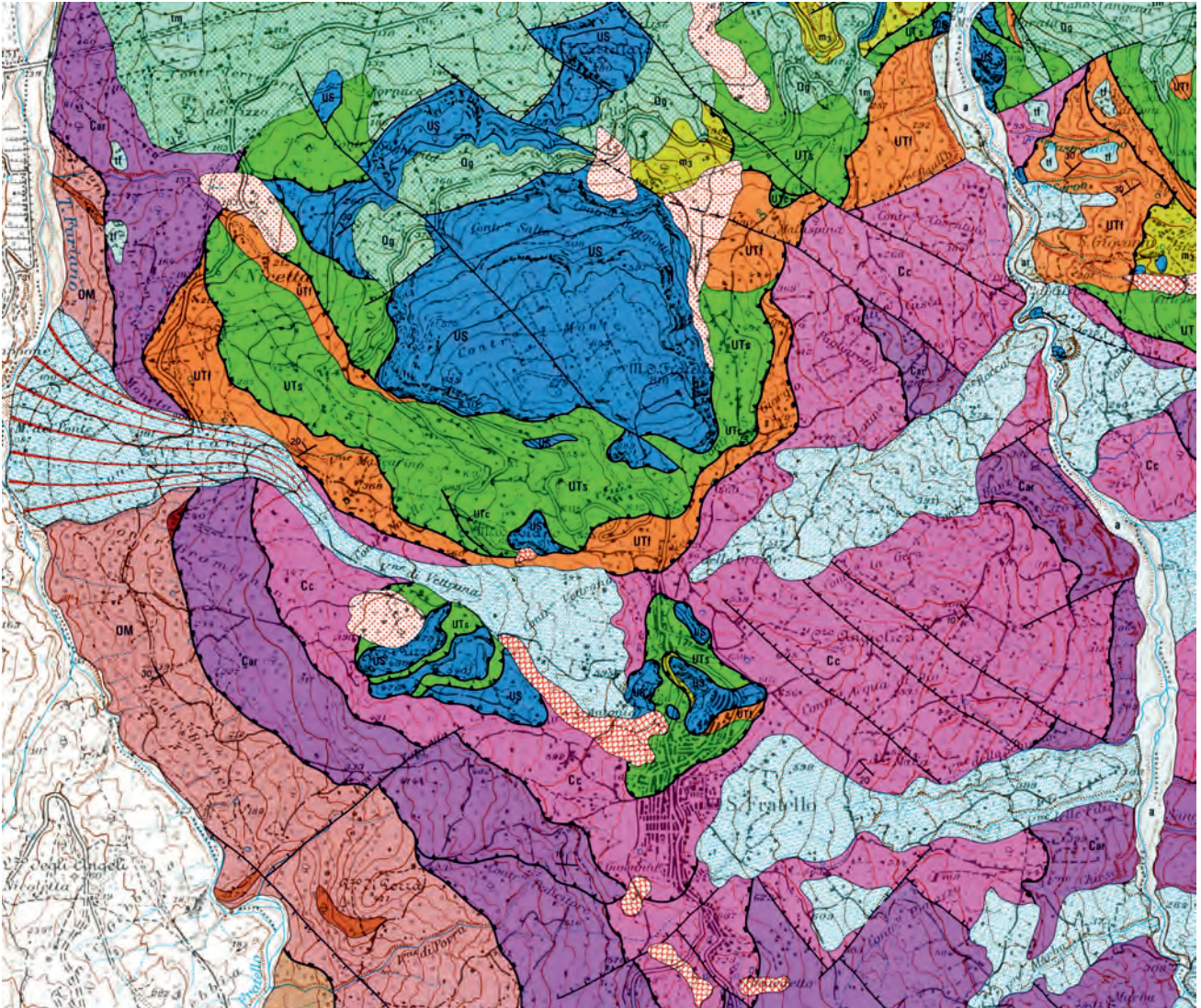


Fig. 525 – Carta Geologica dell’area di S. Fratello tratta da CARBONE *et alii*, 1998. Dal basso verso l’alto affiora il substrato numidico (OM); su di esso poggia il flysch di M. Soro (Car), ricoperto tettonicamente dalle “Argille Scagliose Superiori” (Cg). Seguono in alto le coltri calabridi, costituite dall’Unità di Longi-Taormina (scaglia UTs, flysch di Frazzanò Ucf) e dall’Unità di S. Marco d’Alunzio (epimetamorfiti m3, calcari e dolomie US). I rapporti strutturali tra le Unità Calabro-Peloritane e le Cc sono, qui come altrove, la causa principale dell’elevata instabilità potenziale.

-Geological map of S. Fratello area (from CARBONE *et alii*, 1998). From bottom to top crops out the numidian substratum (OM), on which rests the M. Soro Flysch (Car), tectonically underlying the Argille Scagliose Superiori (Cg). Follow up the Calabride nappes, consisting of the Longi-Taormina Unit (Scaglia UTs, Frazzanò Flysch Ucf) and the S. Marco d’Alunzio Unit (epimetamorphites m3, limestones and dolomites US). The structural relationships between the Calabride-Peloritani Units and the Cc are here, as elsewhere, the main cause of the high potential instability.



Fig. 526 – Effetti del movimento franoso nei dintorni e all’interno dell’abitato di San Fratello. - Effects of the landslide in the surroundings of and within the San Fratello village.



Fig. 527 – Borgo medievale rurale di Raiù ubicato sull'omonimo torrente, sull'alta valle del T. Fantina, e attualmente disabitato.
 - Medieval rural Raiù village situated along the homonymous torrent, in the upper valley of the T. Fantina, and currently uninhabited.



Fig. 528 - Lungo il T. Raiù, affluente di sinistra del T. Fantina, i depositi alluvionali sono caratterizzati da materiale non selezionato, costituito da grossi blocchi subspigolosi immersi in limi sabbiosi (a). In alcuni tratti il deposito ha superato gli argini artificiali a seguito di esondazioni (b).
 - Along the T. Raiù, left tributary of the T. Fantina, alluvial deposits are characterized by no-selected material, consisting of large sub-angular blocks, sandy silt matrix supported (a). In some places the deposit oversteps the artificial riverbanks as a result of overflowing (b).



Fig. 529 – Frana complessa sul versante nord-orientale di Monti Ritagli di Lecca (Foglio "Taormina", SERV. GEOL. D'IT., 2010b). Il dissesto si sviluppa lungo il T. Raiù a nord-ovest di Fondachelli-Fantina.
 - Complex landslide on the north-eastern of Monti Ritagli di Lecca (Sheet "Taormina", SERV. GEOL. D'IT., 2010b). The instability develops along the T. Raiù to the north-west of Fondachelli-Fantina village.

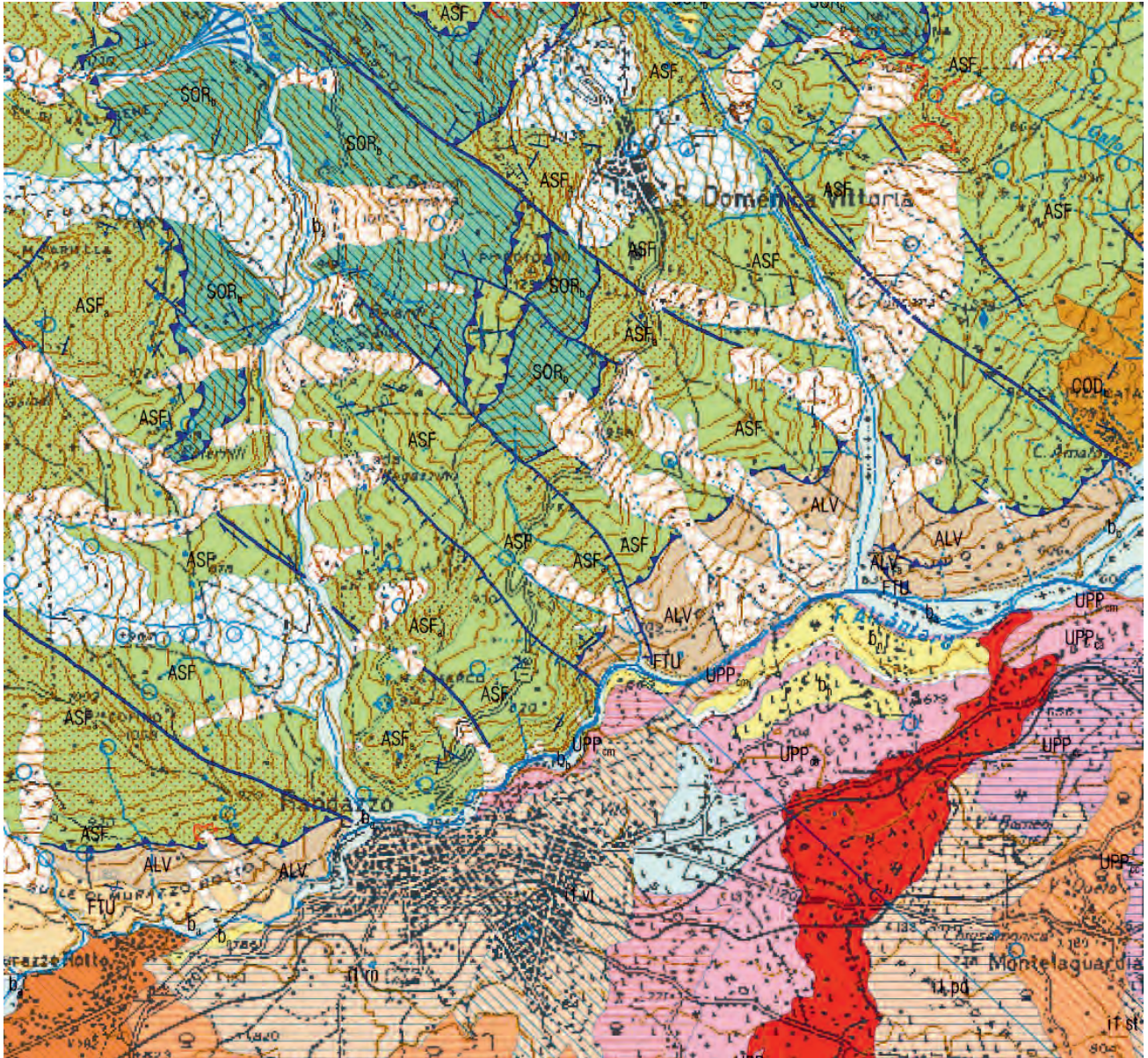


Fig. 530 – Carta Geologica dell’alta valle del F. Alcantara (da SERV. GEOL. D’IT., 2012c). L’area tra Randazzo e S. Domenica Vittoria è caratterizzata da Unità Sicilidi, costituite da una successione tettono-stratigrafica i cui termini sono invertiti per effetto di sistemi di *thrust* sud-vergenti. Sul versante in sinistra della valle affiorano, dal basso verso l’alto, le oligoceniche argille varicolori superiori (ALV) con lembi del Flysch di Troina-Tusa (FTU), le “Argille Scagliose Superiori” del Cretacico (ASF) e il flysch di M. Soro, facies arenitica (SORb) del Cretacico. I contatti di ricoprimento principali si distinguono dai *thrust* perché questi ultimi hanno i triangolini più piccoli. Faglie trascorrenti destre orientate NO-SE (Sistema Sud-Tirrenico) attraversano l’area. Il versante destro della valle è occupato dalle vulcaniti etnee.

- Geological map of the high valley of F. Alcantara (SERV. GEOL. D’IT., 2012c). The area between Randazzo and S. Domenica Vittoria is characterized by Sicilide Unit, constituted by a tectono-stratigraphic succession, whose terms are inverted due to the south-verging thrust systems. On the left side of the valley outcrop, from the bottom to the top, the Oligocene Argille Varicolori Superiori (ALV) with levels of the Troina-Tusa Flysch (FTU), the Cretaceous Argille Scagliose Superiori (ASF) and the M. Soro Flysch, arenaceous lithofacies (SORb). The overthrust contacts are distinguished from thrust because the latter have smaller triangles. NW-SE right transcurrent faults (System-South Tyrrhenian) cross the area. The right side of the valley is occupied by Etna volcanics.

arenarie e calcareniti, specialmente laddove sovrapposte a livelli più erodibili ed esposte a cedimento al piede. Tali masse, interessate da fratture beanti di decompressione, ovvero suddivise in blocchi per la presenza di fratture subverticali o subparallele alla parete, possono aumentare l’instabilità potenziale con rischi di crollo di singoli blocchi e/o di materiale detritico. Questi fenomeni sono diffusi su tutto il territorio regionale. Si possono citare

varie località interessate come quelle della Provincia di Messina (zona di Taormina, Forza d’Agrò, Alcara Li Fusi) (fig. 532) delle province di Palermo (Rocca di Cefalù, Monte Pellegrino, M. Catalfano) e di Trapani (M. San Giuliano di Erice). Il piccolo borgo di Macari sul versante ovest della penisola di Capo S. Vito è stato investito da enormi blocchi calcarei, che hanno sventrato alcune case, fortunatamente in quel momento disabitate.



Fig. 531 - Il paese di Giampilieri (Provincia di Messina) è ubicato all'interno della valle omonima, in cui confluiscono coltri fangose e detriti specialmente in presenza di precipitazioni meteoriche particolarmente intense e prolungate.
- *The Giampilieri village (Province of Messina) is located within the homonymous valley, into which muddy flows and debris converge especially in the presence of particularly intense and prolonged rains.*



Fig. 532 - Versante meridionale della dorsale di Forza d'Agro (provincia di Messina). Il costone subverticale di calcari giurassici, interessato da fitti sistemi di fratture, incombe su un complesso alberghiero ed altri edifici.
- *Southern slope of the Forza d'Agro ridge (province of Messina). The subvertical Jurassic limestone, affected by dense systems of fractures, hanging over a hotel complex and other buildings.*

Nella città di Enna la stabilità dei bordi dei piastroni calcarenitici poggianti sulle Marne di Enna (v. fig. 424) è minacciata da fenomeni di crollo. Lo stesso avviene nei rilievi collinari dei Templi di Agrigento, poggianti sulle calcareniti quaternarie (v. fig. 436).

4. - ELEMENTI DI IDROGEOLOGIA

Anche per quanto concerne gli aspetti idrogeologici si riportano qui di seguito alcune considerazioni di carattere generale.

La Sicilia, contrariamente a quanto ritenuto, possiede un certo numero di acquiferi di notevole interesse. Tra questi vi sono l'edificio vulcanico etneo, le Madonie e i Monti di Palermo, i rilievi del

Trapanese, i Monti Sicani e l'altipiano Ibleo. Acquiferi minori sono rappresentati dalle aree alluvionali lungo i corsi d'acqua, e dalle fasce costiere, mentre nelle metamorfite e nelle coperture sedimentarie della dorsale peloritana la circolazione delle acque sotterranee risulta discontinua a causa dell'irregolarità dell'assetto litologico e strutturale. Ciò vale anche per la dorsale nebrodica, dove gli acquiferi sono condizionati dalla litologia e dalla struttura delle potenti successioni argilloso-arenacee dei vari flysch. L'indagine idrogeologica, condotta da FERRARA (1973) nell'area del Foglio Mistretta e successivamente dallo stesso Autore (v. CARBONE & GRASSO, 2012) nelle Madonie orientali, evidenziava che il differente grado di permeabilità delle alternanze argilloso-arenacee comporta la suddivisione in diversi livelli di acquiferi di modesta entità ed estensione, con conseguente circolazione sotterranea estremamente frazionata.

Anche le coperture calcarenitiche e sabbiose plio-quaternarie, laddove siano ampie e potenti possono suscitare un discreto interesse per lo sfruttamento idrico.

L'edificio vulcanico dell'Etna ha un'elevata potenzialità idrica. Numerose sorgenti, talora con portate consistenti marcano il contatto tra le vulcaniti e i terreni sedimentari del substrato. La permeabilità è in relazione con la litologia; i corpi vulcanici presentano discontinuità che consistono: in fessurazioni dovute ai processi di raffreddamento ovvero a stress tettonici, in bollosità per degassazione e in caverne di svuotamento generate da deflusso magmatico sotto una crosta lavica già consolidata. Si può aggiungere il contributo della porosità dovuta alla presenza di bolle, vacuoli e intervalli scoriacei al tetto dei banchi lavici, come anche di ammassi detritici accumulatisi durante il deflusso lavico.

La permeabilità dell'edificio vulcanico può quindi considerarsi elevata e le ricche falde acquifere, originatesi dalle copiose precipitazioni piovane e nevose, defluiscono verso il substrato sedimentario e lungo le depressioni costituite da paleovalli e condizionate dalle strutture tettoniche. L'elevata permeabilità può tuttavia favorire la penetrazione di inquinanti, specie nelle zone pedemontane, dove la densità di centri abitati, talora privi di reti fognarie efficienti, e la diffusione di discariche di RSU si configurano come fonti di potenziale inquinamento. Per un approfondimento del tema in aree vulcaniche si rimanda a FERRARA (1990, 1994).

Nella Sicilia nord-occidentale in una fascia da Trapani a Cefalù BARTOLOMEI *et alii* (1983) riconoscono delle idrostrutture, all'interno delle quali delimitano i bacini sotterranei più importanti e le direzioni di flusso. Nel Trapanese essi distinguono le unità idrogeologiche di Erice, di M. Inici e di M. Sparagio. Nei Monti di Palermo sono state distinte

cinque unità: M. Castellaccio, M. Palmeto-Cozzo di Lupo, M. Sagana-M. Gradara, Belmonte Mezzano e M. Kumeta. Nei Monti di Trabia le idrostrutture sono rappresentate dall'Unità Imerese e da quelle presenti nelle Madonie, dove l'unità di M. Castellaro è data dall'Unità Imerese e quella di Pizzo Carbonara dalle piattaforme carbonatiche panormidi. Infine gli autori descrivono gli acquiferi delle aree di pianura (Partinico, Carini, Palermo e Buonfornello).

Le Madonie con i loro potenti corpi carbonatici, caratterizzati da permeabilità elevata per fessurazione e carsismo, costituiscono uno dei più importanti acquiferi della Sicilia. Nell'Unità Imerese l'intervallo calcareo-dolomitico (f.ni Scillato e Fanusi) presenta permeabilità elevata per fessurazione, mentre quello silico-calcareo-marnoso (f.ne Crisanti) possiede permeabilità variabile. Il deflusso dell'idrostruttura di M. dei Cervi è diretto in parte verso l'area di Termini Imerese e Collelano, in parte in direzione SO verso la sorgente di Scillato (portata media 500 l/s), mentre quello proveniente dall'Unità Panormide, peraltro sostenuta in basso dalle argille di Portella Colla e confinata a nord dalle argille di Portella di Mandarini e dal flysch numidico, presenta due direzioni: una verso la Rocca di Cefalù e l'altra verso il bacino idrografico del F. Pollina. In corrispondenza della Rocca di Cefalù vi sono manifestazioni sorgentizie di notevole portata, localizzate non solo nello stesso centro abitato, ma anche lungo l'intero perimetro costiero fino al porto di levante, dove si ha un'emergenza di varie centinaia di l/s che si riversa nell'area portuale (fig. 533). Questa zona è stata oggetto di studi per definire le opportune modalità di captazione (COLTRO & FERRARA, 1980). I rilevamenti condotti per la Carta Geologica delle Madonie (GRASSO *et alii*, 1978) reinterpretarono i blocchi isolati dello schema geologico di OGNIBEN (1960) come elementi affioranti per faglia, ma collegati in sottosuolo tra loro e con la Rocca di Cefalù. Pertanto è evidente che l'alimentazione ha origine dai massicci carbonatici delle Madonie, con le quali la Rocca di Cefalù è in collegamento idrostrutturale: ciò rappresenta un caso in cui è il dato idrogeologico che conferma l'interpretazione dei rapporti di sovrapposizione tettonica.

Ulteriori manifestazioni sorgentizie si osservano sul versante meridionale connesse all'idrostruttura di M. Quacella.

Emerge chiaramente lo stretto legame tra le caratteristiche geologico-strutturali e la distribuzione e il comportamento idrodinamico degli acquiferi.

Pubblicazioni più recenti distinguono nel Trapanese tre grandi unità idrostrutturali: Unità M. Rammallo-M. Inici, M. Monaco-M. Sparagio e Unità Prepanormidi, quest'ultime di limitato interesse

idrogeologico (CUSIMANO *et alii*, 2002); mentre nei Monti di Trabia e Termini Imerese CONTINO *et alii* (2004) individuano quattro idrostrutture sovrapposte di un certo interesse.

Anche i Monti Sicani possiedono acquiferi di un discreto interesse: si tratta di sistemi a *thrust*, in cui i corpi carbonatici mesozoici sono spesso confinati dai Trubi e da terreni argillosi plio-pleistocenici. Sono presenti pertanto varie sorgenti, molte delle quali sono utilizzate per uso idropotabile.

Altri importanti acquiferi sono presenti nell'area iblea: l'assetto tabulare e i caratteri stratigrafici consentono di individuare e caratterizzare le falde. Gli studi idrogeologici in quest'area si fondano su una corretta analisi di facies e dei caratteri strutturali. I potenti corpi carbonatici permeabili per carsismo e per fratturazione contengono delle intercalazioni di vulcaniti; tra queste quelle cretatiche possiedono un discreto grado di alterazione, che tende ad abbassare la permeabilità e costituiscono pertanto un livello di base dei sovrastanti calcari miocenici. Interessante è notare come nella successione della formazione Monti Climiti l'intervallo superiore (membro dei calcari di Siracusa) presenta una permeabilità molto elevata per carsismo, favorito dalla litofacies a rodoliti; al passaggio al sottostante membro di Melilli si creano sorgenti per limite di permeabilità indefinito.



Fig. 533 – Sorgente della Rocca di Cefalù al Porto di Levante.
- Spring of the Rocca di Cefalù flowing into the Porto di Levante.

I sistemi di faglie sono stati ben individuati e pertanto anche le relative idrostrutture, tra le quali si ricordano qui i *Graben* di Augusta, di S. Cusumano, di Floridia e la depressione di Pachino sul versante ionico, e quella di Vittoria sul versante sud-occidentale.

Per quanto concerne la vulnerabilità degli acquiferi l'attenzione viene rivolta alla presenza degli insediamenti industriali di Priolo e all'eccessivo ed irrazionale sfruttamento che favorisce l'intrusione di acqua marina. Numerosi sono i pozzi, spesso per uso idropotabile, che registrano fenomeni di insalinamento. In questi casi solo una definizione dei rapporti stratigrafici e strutturali tra i corpi carbonatici, le vulcaniti e soprattutto le argille pleistoceniche può orientare sugli interventi da adottare. Per approfondimenti si rimanda ad AURELI *et alii* (1989) e FERRARA in CARBONE (2011).

Le piane alluvionali possiedono una permeabilità per porosità e possono rappresentare degli acquiferi di un certo interesse. La Piana di Catania, nella quale confluiscono i fiumi Simeto, Dittaino e Gornalunga, rappresenta un sistema complesso, in cui i corpi idrici, separati o interconnessi, vengono alimentati dalle acque piovane e dai deflussi superficiali e sotterranei dei principali corsi d'acqua. Nella parte settentrionale della Piana si ha una discreta produttività e molti pozzi garantiscono l'approvvigionamento idrico della zona industriale; le falde contenute nei depositi alluvionali sono confinate dal substrato prevalentemente argilloso. Le indagini atte a migliorare lo sfruttamento vanno indirizzate all'identificazione di ispessimenti della copertura e di eventuali paleoalvei.

Altra piana alluvionale è quella della zona di Barcellona P.G., che assieme alle varie fasce presenti lungo le coste ioniche e tirreniche del messinese, contiene acquiferi di un certo interesse. La permeabilità, elevata per porosità, è tuttavia variabile in funzione della granulometria. Permeabilità mediamente elevata presentano le ghiaie e sabbie di Messina, con una superficie piezometrica solitamente poco elevata rispetto al livello marino.

Un ulteriore esempio è quello della Piana di Partinico e dei dintorni di Palermo, nei quali sono presenti acquiferi multifalda oppure dove la falda ospitata è irregolarmente suddivisa in una serie di corpi idrici sovrapposti.

Lo sfruttamento delle risorse idriche nelle fasce alluvionali è spesso irrazionale ed eccessivo rispetto alle disponibilità. Alta si presenta la vulnerabilità in relazione all'elevata permeabilità e alla limitata soggiacenza delle falde nel fondovalle e nella fascia costiera. Per di più queste aree sono invase da discariche abusive di materiale di ogni genere e rifiuti pericolosi.

5. - RISORSE ENERGETICHE E RICERCA DI FONTI ALTERNATIVE

Dalla scoperta negli anni '50 del giacimento petrolifero di Ragusa la Sicilia è stata oggetto di ricerca di idrocarburi. Oltre ai campi petroliferi presenti nell'Avampese Ibleo e nell'Avanfossa Gela-Catania sia a terra, che nell'*offshore*, si hanno gli impianti di sfruttamento di Gagliano Castelferrato, Fiumetto e Bronte; qui il gas è contenuto nei livelli quarzarenitici del flysch numidico "esterno", cioè quello profondo, non affiorante, dell'Unità Gagliano. La copertura è data dalle Unità Sicilidi e dal flysch numidico "alloctono".

LENTINI *et alii* (1996b), evidenziano le analogie tra le caratteristiche geologico-strutturali della Sicilia e dell'Appennino meridionale, dove importanti giacimenti petroliferi sono stati scoperti nel sottostante Sistema a *Thrust* Apulo. Gli autori suggeriscono come *target* petrolifero lo stesso sistema, che in Sicilia si trova prevalentemente sepolto sotto il *roof thrust system* della Catena Appenninico-Maghrebide. Al riguardo un'attenta lettura della Carta Geologica a scala 1:250.000 può fornire spunti per la ricerca di idrocarburi.

Tra le fonti di energia rinnovabile la geotermia si impone alle altre tecnologie (fotovoltaico, eolico), per il bassissimo impatto ambientale e per la costanza e continuità della produzione geotermoelettrica.

La ricerca di nuove fonti energetiche non legate ai giacimenti fossili, pongono la Sicilia al centro dell'interesse nello sfruttamento dell'energia geotermica a media ed alta entalpia. Sistemi geotermici di ultima generazione; quali tecnologie binarie per la produzione di energia elettrica, si adattano alle condizioni geotermiche già conosciute nelle aree delle isole Eolie, Pantelleria e Sciacca.

Ulteriore ed importante area vocata allo sfruttamento è localizzabile nell'area sud-etnea e nella Piana di Catania, sino al bordo del *Plateau* Ibleo. È applicabile in queste aree l'impiego delle alte temperature indotte nelle rocce carbonatiche dalla presenza del complesso vulcanico etneo. Tecnologie quali EGS (*Exchange Geothermal System*) consentono l'utilizzo della risorsa anche in assenza di fluidi caldi.

Ringraziamenti

Si ringraziano per i proficui suggerimenti riguardo la geologia del vulcanico delle Isole Eolie FEDERICO LUCCHI e per le isole di Pantelleria e Linosa GIOVANNI ORSI e GIANNI LANZAFAME. Si desidera inoltre ringraziare i Drr. GIUSEPPE L. CANTARELLA, FABIO C. MANUELLA, ALBERTO PISTORIO, FERDINANDO REITANO per l'elaborazione digitale delle iconografie (figure e foto), e GAETANO A. COCO per l'informatizzazione e l'elaborazione di carte geologiche, figure e tabelle, contenute nella presente Memoria.