

# La carta della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero superficiale della Piana di S. Eufemia Lamezia (Calabria)

## *The groundwater intrinsic vulnerability map of S. Eufemia Lamezia Plain (Calabria)*

Enzo Cuiuli

**Riassunto:** L'area di studio è la Piana di S. Eufemia Lamezia (Calabria) ubicata, in corrispondenza dell'omonimo golfo, lungo il versante tirrenico calabrese. La metodica impiegata per la costruzione della carta di vulnerabilità intrinseca dell'acquifero superficiale della piana è il SINTACS. Questo metodo prevede una stima della vulnerabilità attraverso il calcolo dell' "Indice di Vulnerabilità", per ciascuna cella, con cui viene discretizzata la zona di studio. Il territorio è stato così suddiviso in aree caratterizzate da un grado di vulnerabilità da medio a molto elevato, passando per i termini intermedi. Nel settore meridionale della piana, dove la soggiacenza della falda è variabile tra 4,00 m e 0,50 m dal piano campagna (p.c.), sono localizzate: l'area industriale/artigianale di Lamezia Terme, le zone a maggiore vocazione agricola/zootecnica, gli insediamenti turistici e le abitazioni private lungo la costa. Essi rappresentano un potenziale scenario di rischio inquinamento per l'acquifero superficiale. Nel settore settentrionale, dove la soggiacenza della falda è variabile tra 38,00 m dal p.c. (nelle zone più interne) e 1,00 m dal p.c. (lungo il litorale), le attività agricole praticate sono differenti, rispetto al settore meridionale della piana (uliveti, agrumeti, seminativi ecc.), mentre sono ugualmente presenti, lungo la costa, insediamenti turistici ed abitazioni private. Tutte queste attività concorrono a delineare un potenziale scenario di rischio inquinamento per l'acquifero superficiale della piana, scenario che tuttavia è leggermente meno preoccupante nel settore nord.

**Parole chiave:** Piana di Sant' Eufemia, acqua sotterranea, acquifero, carta della vulnerabilità, SINTACS.

**Keywords:** *Sant' Eufemia Lamezia Plain, Groundwater, Aquifer, Vulnerability map, SINTACS*

Enzo CUIULI ✉

Geologo

cuiuli@libero.it – e.cuiuli@arpacal.it

Ricevuto: 4 marzo 2013 / Accettato: 23 maggio 2013

Pubblicato online: 30 giugno 2013

© Associazione Acque Sotterranee 2013

**Abstract:** *The study area is the plain of S. Eufemia Lamezia (Calabria) located in correspondence of the homonymous gulf, along the Tyrrhenian coast. The method used for the construction of the vulnerability map of the superficial aquifer of S. Eufemia Lamezia plain is the SINTACS.*

*This method provides an estimate of vulnerability through the calculation of the Vulnerability Index, for each cell, with which it has been discretized the zone of study. The territory has been divided into areas characterized by vulnerability degree from medium to very high, passing through the intermediate terms. In the southern sector of the plain, where the depth of groundwater is variable, between 4,00 m and 0,50 m from the ground level, are located: the industrial/ handcrafted area of Lamezia Terme, the areas with the greatest agricultural and zootechnical yields, tourist facilities and private houses along the coast. They represent a potential pollution risk for the superficial aquifer. In the northern sector, where the depth of groundwater is variable between 38,00 m from ground level (inland areas) to 1,00 m from ground level (along the coast), the practiced agricultural activities, are different from those of the southern sector of the plain (olive trees, citrus groves, arable land, etc.), but here there are too tourist facilities and private houses along the coast. These various activities contribute, even in this area to outline a potential risk of pollution to the superficial aquifer of S. Eufemia Lamezia plain which, however, is slightly less worrying than in the south sector.*

### Introduzione

Il crescente grado d'inquinamento ambientale ha fatto maturare nel mondo tecnico scientifico una particolare attenzione alla protezione della risorsa idrica. Le azioni intraprese in tal senso sono principalmente di tipo qualitativo, attraverso la prevenzione di possibili fenomeni d'inquinamento. In quest'ottica assume grande rilevanza il concetto di vulnerabilità dell'acquifero. Tra le tante definizioni di vulnerabilità coniate negli anni si richiama la seguente: "La vulnerabilità intrinseca o naturale degli acquiferi è la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido od idroveicolato tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo" (Civita, 1994). La vulnerabilità intrinseca di un acquifero è funzione di diversi parametri tra cui i più importanti sono: la litologia, la permeabilità dei litotipi, la geometria dell'acquifero, la soggiacenza della falda, i processi di ricarica/discarica dell'acquifero, i processi idrogeochimici fisici e biologici che s'instaurano nel sistema suolo-sottosuolo

influenzando direttamente la qualità delle acque sotterranee e la migrazione di eventuali inquinanti idrosolubili/idrotrasportati all'interno di un acquifero potenzialmente inquinabile. Come è noto molte sostanze inquinanti sono solubili in acqua e quando vengono sparse sul suolo, diventano facilmente lisciviabili dalle acque meteoriche, costituendo, in una visione più ampia del fenomeno, un potenziale fattore di rischio ambientale per le matrici (suolo/sottosuolo – acque superficiali/sotterranee) che possono venire coinvolte nel processo. In generale l'inquinamento delle acque sotterranee può avere origine naturale o antropica, (domestica, agricola, industriale) come meglio specificato nella tabella 1. Gli inquinanti provenienti da attività domestiche sono quindi principalmente sostanze organiche costituite precipuamente da deiezioni e sostanze inorganiche (tensioattivi). Gli inquinanti di origine agricola sono invece generati principalmente dalle moderne pratiche agricole legate allo spandimento di sostanze chimiche (fertilizzanti/pesticidi) e di effluenti zootecnici. In ultimo l'inquinamento industriale può essere sia di tipo organico che inorganico a seconda del ciclo di lavorazione da cui esso scaturisce e del tipo di materie prime lavorate. Quindi si comprende, come l'immissione o lo spandimento sul suolo di prodotti inquinanti più o meno idrosolubili, possa costituire un potenziale rischio per importanti matrici ambientali quali il suolo/sottosuolo e le acque superficiali.

Tab. 1 - Origine e tipologia d'inquinamento delle acque sotterranee (modificata e ridisegnata da Gisotti e Zarlunga, 2004).

Tab. 1 - Origin and typology of groundwater pollution (modified and redrawn from Gisotti e Zarlunga, 2004).

ORIGINE		TIPOLOGIA
	NATURALE	Presenza di sedimenti nelle acque (alto grado d'intorbidamento e di sostanza disciolte)
ANTROPICA	DOMESTICA	Scarichi di reflui domestici (deiezioni, tensioattivi, olii e grassi ecc.)
	AGRICOLA	Liquami zootecnici, fertilizzanti, diserbanti, ammendanti, pesticidi ecc.
	INDUSTRIALE	Sostanze inquinanti, provenienti dai cicli di lavorazione, che possono trovarsi in soluzione/sospensione.

L'area di studio è parte della più ampia piana di Sant' Eufemia Lamezia (Calabria) che, nel complesso, ha un'estensione di circa 190 km<sup>2</sup> ed è ubicata, in corrispondenza dell'omonimo golfo, nel settore centrale della regione lungo il versante tirrenico. L'intera piana ricade, amministrativamente, nei territori comunali di Lamezia Terme, San Pietro a Maida, Gizzeria, Falerna, Feroletto Antico, Marcellinara, Curinga, Maida, Pianopoli, Amato, Jacurso, Filadelfia, Francavilla Angitola, Pizzo anche se, in gran parte, insiste nel territorio comunale di Lamezia Terme (composta dalle sue frazioni maggiori: Nicastro, Sambiasi e S. Eufemia Lamezia).

In particolare la zona studiata (Fig. 1), dell'ampiezza di circa 150 km<sup>2</sup>, interessa il Foglio IGM 574 "Lamezia Terme" alla scala 1:50.000 (Nuova Ed.) ed è grossomodo compresa, lungo la costa, tra Capo Suvero (a Nord) e Torre Mezza Praia (a Sud); nell'interno tra l'abitato di Lamezia Terme (a Nord) e di Curinga (a Sud).

La finalità del presente studio è quella di definire, attraverso l'impiego del metodo SINTACS (Release 5; Civita e De Maio, 2000; De Maio et al. 2001), le aree maggiormente vulnerabili della zona d'interesse, restituendo un prodotto cartografico utilizzabile nel tracciare i possibili scenari di rischio inquinamento per l'acquifero superficiale della piana di Sant' Eufemia Lamezia.

### Inquadramento litologico - strutturale, geomorfologico ed idrogeologico della Piana di S. Eufemia Lamezia

A scala regionale la Piana oggetto di studio, ricade nel settore tirrenico del "Graben di Catanzaro" che attraversa la Calabria centrale da est ad ovest separando il massiccio della Sila dalle Serre. Questo graben è una struttura tettonica d'importanza regionale imperniata nel più ampio contesto geologico dell'Arco Calabro Peloritano (Amodio Morelli et al., 1976). Il graben è colmato da depositi plio-quadernari ed è stato generato da faglie sub-verticali con direzione prevalente WNW – ESE con una componente di trascorrenza sinistra (Gulla et al., 2005). Il bordo settentrionale del graben è individuato dalla faglia, d'importanza regionale, "Gizzeria – Nicastro – Pianopoli – Marcellinara" che pone a contatto i litotipi cristallino-metamorfici della Catena Costiera e della Sila con i depositi plio-quadernari. Le faglie che hanno originato il bordo meridionale di questa struttura tettonica risultano invece meno evidenti e sono le direttrici "Jacurso – Copanello" e "Maida – Case San Fantino" che segnano il limite tra i litotipi cristallini del massiccio delle Serre ed i depositi plio-quadernari che colmano il graben (Sorriso-Valvo e Tansi, 1996; Cuiuli, 2004; Gulla et al., 2005). La maggiore evidenza dell'attività di queste faglie è l'esistenza di sette ordini di terrazzi marini (Tortorici et al., 2002) unitamente ai tipici indicatori morfostrutturali quali scarpate morfologiche, faccette triangolari ecc. (Sorriso-Valvo & Tansi, 1996; Cuiuli, 2004; Gulla et al., 2005). Il generale motivo a gradinata, dovuto al rigetto delle faglie sub-verticali, è ben evidente a ridosso della piana di S. Eufemia. Infatti l'importante direttrice "Gizzeria – Nicastro – Pianopoli - Marcellinara", con andamento WNW-ESE, ribassa, verso SSW, i sedimenti quadernari di riempimento della piana rispetto al dominio cristallino-metamorfico della Sila (Fig. 1). La scarpata di faglia è in parte mascherata, nella porzione orientale, a ridosso di Nicastro, Sambiasi ed oltre, da conoidi di dimensioni rilevanti (Tortorici et al., 2002; Gulla et al., 2005). Ulteriore testimonianza dell'intensa attività tettonica dell'area è la finestra tettonica di loc. Caronte, a monte dell'abitato di Lamezia Terme-Sambiasi, in cui affiorano, rocce dolomitiche triassiche in un contesto geologico evidentemente più giovane. Il settore meridionale della piana è invece caratterizzato da due faglie normali afferenti al sistema orien-

tato N-S e NNE–SSW che contraddistinguono la porzione della piana compresa tra Francavilla Angitola e Curinga (Tortorici et al., 2002; Gulla et al., 2005).

La litologia dell'area, di seguito brevemente descritta, è stata derivata dalla Carta Geologica della Calabria - scala 1:25.000 - F.241 "Nicastro" (ex CASMEZ, 1967) effettuando successivi accorpamenti di modo da derivare tipi litologici il più omogeneo possibile (Fig. 1). Da dati di letteratura sono stati desunti gli spessori indicativi delle litologie di seguito descritte.

#### Depositi Sedimentari

- *Depositi alluvionali* (Olocene): Sono costituiti da terreni sedimentari ghiaioso – sabbiosi di origine fluviale, da depositi di conoide e da sabbie eoliche; lo spessore di questi terreni è compreso, all'incirca tra gli 1,00 m e i 60,00 m. La permeabilità è elevata.
- *Depositi di conglomerati, Arenarie e Sabbie con intercalazioni argillose di terrazzo marino e continentale* (Pleistocene): I depositi conglomeratici che, nell'insieme, presentano una colorazione variabile tra il bruno ed il rossastro sono formati da ciottoli di rocce metamorfiche immersi in una matrice sabbiosa a grana grossa. Le sabbie e le arenarie presentano una granulometria da grossolana a fine ed una

colorazione giallastra talora con intercalazioni argillose. Questi depositi si presentano poco consolidati e con permeabilità elevata. Lo spessore di questi depositi è variabile da un minimo di 15,00 m circa per i conglomerati sino a un massimo di circa 300,00 m per le arenarie e sabbie.

- *Depositi Argilloso - Marnoso – Siltosi con intercalazioni sabbiose* (Pliocene): Di colorazione grigiasta, hanno resistenza all'erosione bassa. La permeabilità, variabile in funzione delle percentuali d'argilla presenti, è generalmente bassa. Questi litotipi hanno generalmente una potenza superiore ai 100,00 m.
- *Depositi conglomeratici* (Pliocene): Costituiti da ciottoli di rocce metamorfiche arrotondati, immersi in una matrice sabbiosa. Presentano una resistenza media all'erosione ed una permeabilità elevata. Lo spessore di tali depositi è compreso all'incirca tra i 10,00 m ed i 50,00 m.

#### Basamento Cristallino Metamorfico

- *Rocce Dolomitiche* (Dolomie e Calcari dolomitici; Triass): dolomie di colore grigio chiaro passanti localmente a calcari dolomitici. Affiorano in finestra tettonica in loc. Caronte presentandosi fratturate e brecciate. Queste rocce che hanno indicativamente una potenza superiore ai

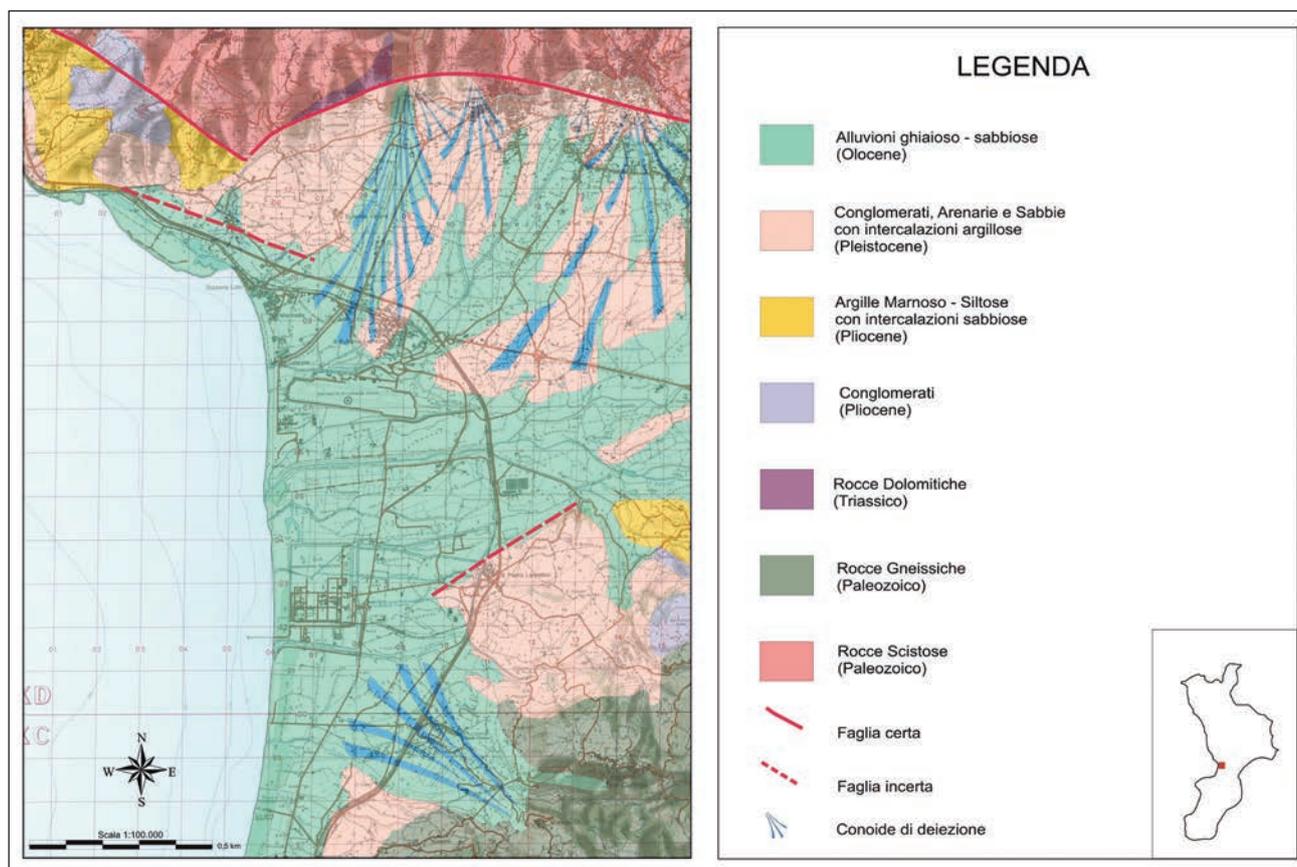


Fig. 1 - Carta Litologica - Strutturale della Piana di S. Eufemia Lamezia (base litologica modificata e ridisegnata da CASMEZ 1967; base strutturale modificata e ridisegnata da Sorriso –Valvo e Tansi, 1996).

Fig. 1 - *Lithological and Structural map of S. Eufemia Lamezia plain (lithological base modified and redrawn from CASMEZ 1967; structural base modified and redrawn from Sorriso –Valvo & Tansi, 1996).*

100,00 m, sono caratterizzate da una resistenza all'erosione da moderata ad elevata e da un'elevata permeabilità.

- *Rocce Gneissiche* (Gneiss e Gneiss occhiadini; Paleozoico): si presentano, in affioramento, spesso fortemente fratturate ed alterate. Questi litotipi, in generale, hanno elevata resistenza all'erosione e bassa permeabilità. Tali parametri tendono a variare in funzione del grado di fratturazione e di degradazione della roccia stessa. Lo spessore di tali litologie è di circa 700,00 m.
- *Rocce Scistose* (Scisti filladici e scisti biotitici; Paleozoico): presentano, in generale, una colorazione grigiastrea. Tali litotipi si presentano fratturati e piegati con spessori di circa 500,00 m. Queste rocce se integre presentano una buona resistenza all'erosione ed una permeabilità bassa che cresce in funzione dell'aumento del grado di fratturazione.

Dal punto di vista geomorfologico, procedendo da monte verso valle, in un profilo ideale, la morfologia dell'area di studio può essere schematicamente sintetizzata come segue: I rilievi montuosi della Sila degradano verso mare con ampie superfici terrazzate d'origine marina, sollevatisi per effetto delle ingenti vicissitudini tettoniche subite dall'intera area, per poi lasciar posto alle ampie ed estese conoidi (Fig. 1) che insistono principalmente in prossimità delle maggiori frazioni di Lamezia Terme (Nicastro, Sambiasse) ed oltre e che ricoprono i depositi terrazzati, d'origine continentale. Successivamente si passa invece ai depositi alluvionali. Infine, man mano che si ci avvicina alla costa, a ridosso del litorale si raggiungono i depositi sabbiosi marini e di trasporto eolico. Nell'intera stretta di Catanzaro ed in questo settore del graben, in particolare, il motore principale delle dinamiche geomorfiche è la tettonica. Quest'aspetto unitamente ai caratteri litologici primari ed al regime pluviometrico giocano ovviamente un ruolo fondamentale nell'attuale definizione dell'assetto geomorfologico della piana che è attraversata dal Fiume Amato che è il principale corso d'acqua della Calabria Centrale (nasce nella Sila Piccola e si getta nel Golfo di Sant'Eufemia Lamezia dopo un percorso complessivo di 56 km circa). Il F. Amato rappresenta il "livello di base locale" per tutte le acque drenate dai corsi d'acqua minori che confluiscono in esso. Il mar Tirreno (Golfo di S.Eufemia) rappresenta, invece, il livello di base generale per questo e per gli altri corsi d'acqua che sfociano direttamente a mare. Altri importanti corsi d'acqua, che solcano la piana, sono, da Nord verso Sud, il T. Zinnavo, il T. Spilinga, il T. Bagni, il T. Cantagalli, il T. Piazza, il T. Canne, il T. S. Ippolito, il T. Turrina - T. La Grazia, il Fiume Angitola (fuori carta). In particolare i torrenti Bagni, Cantagalli, Piazza sono i responsabili della formazione delle grandi conoidi che insistono sulla piana, nel settore nord, a ridosso delle frazioni Nicastro, Sambiasse (Fig.1). Il T. Turrina ha generato invece la conoide del settore sud dell'area di studio (Fig.1). L'assetto climatico della regione presenta inverni poco o mediamente freddi ma piovosi ed estati calde con lunghi periodi siccitosi. In questo quadro gli apporti meteorici, nella zona di studio, sono più abbondanti nei periodi piovosi dell'anno (ottobre – marzo) tendendo progressivamente a scemare sino a raggiun-

gere periodi poco o per nulla piovosi che registrano il minimo nei mesi estivi (luglio – agosto).

L'alimentazione dell'acquifero superficiale della piana è funzione dell'infiltrazione "efficace" delle acque meteoriche. Lo schema generale di circolazione idrica sotterranea prevede che l'acquifero freatico della piana sia alimentato da 3 meccanismi distinti: la ricarica zenitale, la ricarica laterale da parte dei settori montani e collinari resi maggiormente permeabili dall'altro grado di fratturazione e di alterazione che interessa gli ammassi rocciosi ed infine l'infiltrazione delle acque di ruscellamento superficiale che giunte nella zona pedemontana incontrano i depositi alluvionali e di conoidi ad elevata permeabilità. In generale, nei depositi alluvionali, nel fondo valle e nei depositi sabbiosi costieri ha sede un acquifero superficiale (o freatico) di potenza variabile in funzione dello spessore dei litotipi presenti (Cuiuli, 2012). Da dati di letteratura, da studi effettuati nella piana, a vario titolo, dalla campagna di rilevamento dei livelli idrici in pozzo eseguita nel 2011, per la ricostruzione della piezometria (Cuiuli, 2012), e della soggiacenza della falda superficiale, qui presentata (Fig.2), si desume l'esistenza di un sistema acquifero multistrato.

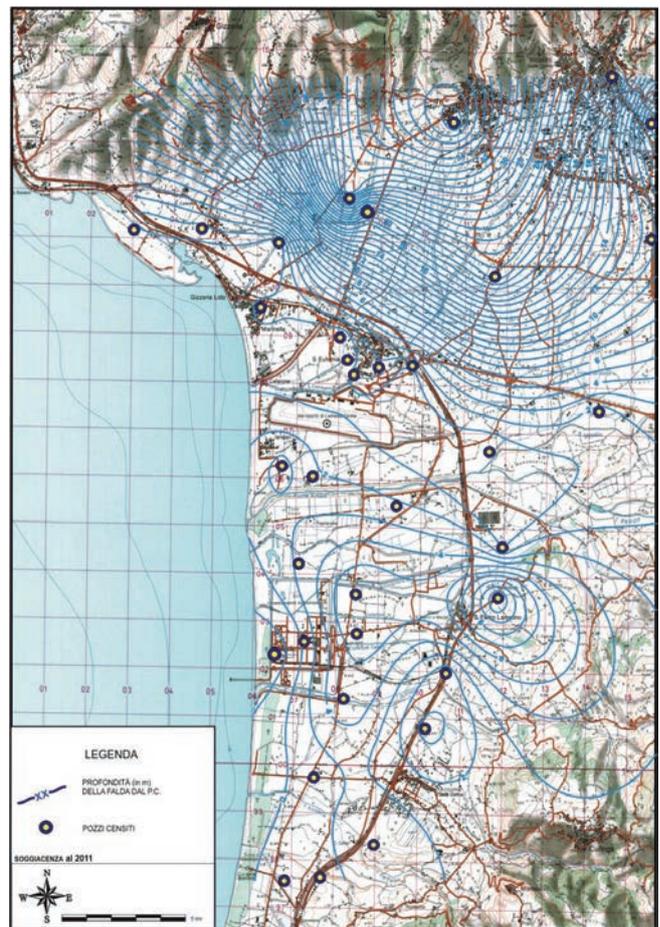


Fig. 2 - Carta della Soggiacenza della falda superficiale della Piana di S. Eufemia Lamezia e pozzi censiti.

Fig. 2 -Map of water table depth of the S. Eufemia Lamezia plain and surveyed wells

Dall'insieme dei dati si stima che:

- l'acquifero superficiale abbia una potenza variabile tra i 20,00 m circa, in prossimità del litorale, ed i 50,00 m circa, nelle aree più interne;
- l'acquifero intermedio abbia profondità variabile tra gli 80,00 m e 100,00 m,
- ed infine che l'acquifero profondo si attesti oltre i 200,00 m.

Le falde sono separate tra loro da orizzonti impermeabili e/o semipermeabili. La presenza di litotipi limo-argillosi tende a generare localmente uno schema di circolazione idrica sotterranea del tipo a falde sovrapposte che interagiscono tra loro mediante flussi di drenanza attraverso gli orizzonti semipermeabili (Sappa e Bianchini, 1999).

### La carta della vulnerabilità intrinseca della piana di S. Eufemia Lamezia

La metodica impiegata per la costruzione della carta di seguito presentata è il SINTACS (Release 5; Civita e De Maio, 2000; De Maio et al., 2001). Come è noto questo è un sistema parametrico di punteggi e pesi (PCSM) da attribuire ai 7 parametri da analizzare. Dalle iniziali di quest'ultimi trae origine l'acronimo SINTACS come di seguito specificato.

- Soggiacenza,
- Infiltrazione,
- Non saturo (effetto di autodepurazione del non saturo),
- Tipologia della copertura,
- Acquifero (caratteristiche idrogeologiche),
- Conducibilità idraulica dell'acquifero,
- Superficie topografica (acclività della superficie).

Per la redazione della carta della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero superficiale della piana di S. Eufemia Lamezia (Fig.3), quest'ultima è stata suddivisa in elementi finiti (EFQ) mediante una griglia a maglie quadre facendo coincidere tale maglia con il reticolato chilometrico UTM del Foglio IGM 574 "Lamezia Terme" alla scala 1:50.000 (Nuova Ed.) in cui ricade interamente l'area studiata. Successivamente sono stati acquisiti i dati di base, di seguito descritti, per la definizione dei parametri SINTACS.

#### Soggiacenza:

la determinazione di questo parametro, di grande importanza nel calcolo finale dell'indice SINTACS poiché influenza direttamente la vulnerabilità degli acquiferi, è stata effettuata facendo riferimento ai dati piezometrici già presentati in Cuiuli (2012). Lo scrivente ha provveduto, nei mesi estivi del 2011, a censire ed a rilevare il livello statico della falda in numerosi pozzi (n. 36) della piana (Fig.2), al fine di ricostruire la soggiacenza attuale e la piezometria dell'acquifero superficiale della Piana di S. Eufemia Lamezia. I dati ottenuti sono stati interpolati per la costruzione della carta piezometrica già presentata in Cuiuli (2012) e della carta della soggiacenza qui riportata (Fig.2). Ambedue gli elaborati cartografici sono stati realizzati utilizzando il Kriging come algoritmo di interpolazione. Dall'analisi della carta della soggiacenza (Fig.2) si os-

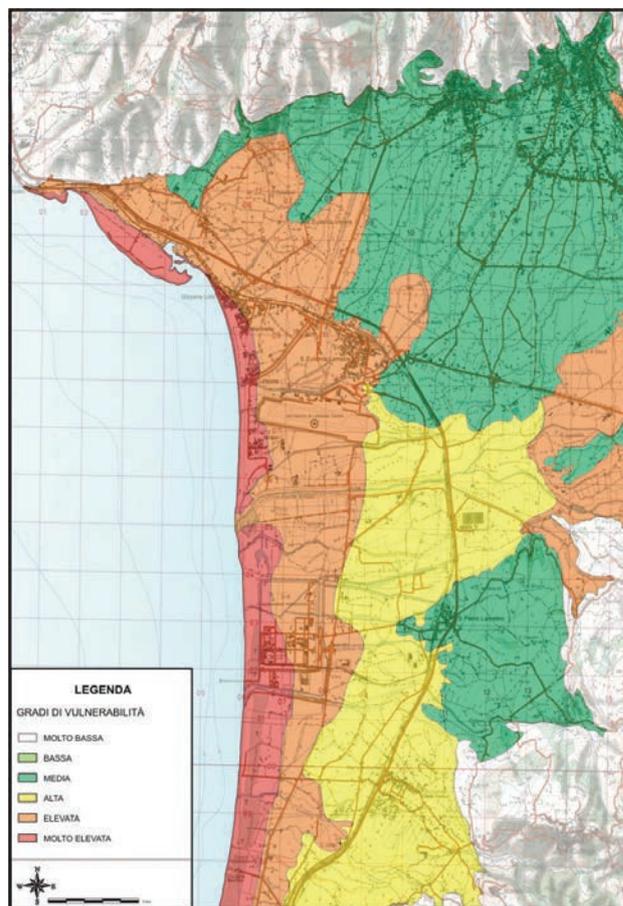


Fig. 3 - Carta della Vulnerabilità Intrinseca dell'acquifero superficiale della Piana di S. Eufemia Lamezia.

Fig. 3 - Groundwater intrinsic vulnerability map of S. Eufemia Lamezia plain.

serva che tale parametro è variabile tra il settore settentrionale e quello meridionale della piana con valori maggiori nelle aree interne e valori progressivamente decrescenti man mano che ci si sposta verso la costa. In generale, nel settore settentrionale, la soggiacenza della falda varia tra i 38,00 m dal p. c. (nelle zone più interne), e 1,00 m dal p. c. (lungo il litorale) mentre nel settore meridionale della piana, questo parametro è variabile tra 10,00 m dal p. c. (nelle zone più interne) e 0,50 -1,00 m dal p. c. (lungo il litorale) (Fig. 2).

#### Infiltrazione:

la definizione di questo parametro è di basilare importanza nella stima della vulnerabilità poiché la migrazione degli inquinanti in profondità, la loro diluizione nell'insaturo e successivamente nella zona di saturazione sono funzione dell'infiltrazione. Detto parametro è stato stimato mediante l'elaborazione dei dati meteorologici (precipitazione e temperatura) della banca dati meteorologica regionale. In particolare sono stati adoperati i dati registrati dalla stazione termo-pluviometrica di S. Eufemia Lamezia (25 m s.l.m.), utilizzando la serie storica (68 anni di misure termometriche e pluviometriche dal 1932 al 2000) disponibile in rete all'indirizzo: <http://www.cfd.calabria.it> dove sono indicati i valori di pioggia mensile, il totale annuo, i valori medi mensili ed

annuali; le temperature medie mensili ed annuali.

Nel range di valori reperito le precipitazioni, comprese tra un minimo di 625,00 mm/anno ed un massimo di 1.290,00 mm/anno, aventi un valor medio di 927,00 mm/anno, sono distribuite prevalentemente in autunno/inverno – primavera mentre le temperature medie sono invece comprese tra un minimo di 15,00 °C ed un massimo di 17,00 °C.

Il metodo di calcolo dell'infiltrazione efficace, nell'area di studio, è quello contenuto nella metodologia SINTACS che si basa sull'applicazione della tecnica, semplificata, del bilancio idrogeologico, applicando alle formule di calcolo il coefficiente correttivo (coeff. d'infiltrazione potenziale) proposto nella medesima metodologia (Civita, 1994; Civita e De Maio, 2000; De Maio et al., 2001). Le classi tessiturali relative ai terreni affioranti nell'area di studio, utilizzate per la determinazione dei valori del coefficiente di infiltrazione potenziale, sono le stesse descritte in seguito per la tipologia della copertura. La stima dell'Evapotraspirazione, necessaria per il calcolo dell'infiltrazione efficace, è stata effettuata utilizzando la formula di Turc.

**Non saturo (effetto di auto depurazione del non saturo):** nella zona insatura avviene la filtrazione dell'acqua principalmente verso il basso ovvero verso l'acquifero sottostante. In questa zona si esplicano fenomeni chimici e fisici che favoriscono i processi autodepurativi. La stima di tale parametro è stata effettuata attraverso la valutazione della litologia come previsto nella metodologia SINTACS. I litotipi costituenti, l'area d'esame, sono rappresentati nella carta litologica-strutturale (Fig.1). Quest'ultima è stata derivata dalla Carta Geologica della Calabria alla scala 1:25.000 – F.241 "Nicastro" (ex CASMEZ, 1967) accorpando le litologie presenti di modo da ottenere tipi litologici, il più omogeneo possibile, già descritti in precedenza.

#### Tipologia della copertura:

I suoli di copertura hanno un ruolo preponderante nel processo di mitigazione dell'impatto poiché esercitano una funzione di filtro delle sostanze che penetrano in profondità. La stima di questo parametro avviene attraverso la valutazione della tessitura del suolo.

Le informazioni sulle caratteristiche pedologiche dei suoli di copertura, desunte dalla Carta dei Suoli della Piana di S.Eufemia Lamezia (Bonfiglio et al., 1996) e della Calabria (Aramini et al., 2003), vengono di seguito brevemente descritte partendo dalla costa verso l'interno. Il settore della piana, corrispondente alla fascia litoranea, è costituito principalmente da sedimenti olocenici grossolani con suoli da moderatamente profondi a profondi caratterizzati da una tessitura grossolana-media (sabbiosa, sabbioso-franca, franca, franco-limoso). I depositi alluvionali e le conoidi recenti, ubicati nella fascia mediana della piana, a ridosso dei corsi d'acqua che insistono nell'area d'esame, sono invece caratterizzati da sedimenti a granulometria variabile. Queste aree sono ricoperte da suoli da moderatamente profondi a profondi con una tessitura da grossolana a moderatamente fine (franco sabbiosa, franca, franco-limoso). Infine le aree interne, costituite da terrazzi e conoidi antiche (conglomerati, arenarie e sab-

bie), sono caratterizzate da suoli da moderatamente profondi a profondi con tessitura da grossolana a fine (franco-sabbiosa, franco, franco-argillosa). In generale l'approccio seguito è stato quello di confrontare le informazioni ricavate dalle cartografie pedologiche disponibili con il grafico sulle caratteristiche tessiturali dei suoli e relativi punteggi riportato in SINTACS. Ad ognuno dei suoli di copertura è stato attribuito un punteggio cercando il valore più soddisfacente, all'interno degli intervalli riportati nel grafico stesso, ed assegnando ad ogni cella il punteggio più appropriato.

#### Acquifero (caratteristiche idrogeologiche):

questo parametro include la valutazione di tutti quei processi che avvengono nella zona satura e che possono influenzare il moto di un inquinante idroveicolato. Per eseguire la stima di questo parametro, in primo luogo, è stata determinata la natura dell'acquifero partendo dall'assetto litologico dell'area di studio (Fig.1). Successivamente, tenendo conto della schema di circolazione idrica sotterranea già presentato in Cuiuli (2012), è stato utilizzato il grafico SINTACS in cui sono riportati i principali litotipi costituenti gli acquiferi (complessi idrogeologici) ed il relativo punteggio. Anche in questo caso per la valutazione del parametro è stato cercato il valore più soddisfacente all'interno degli intervalli riportati nel grafico stesso tenendo conto dei criteri discriminanti sopra evidenziati.

#### Conducibilità idraulica dell'acquifero:

la conducibilità idraulica dell'acquifero rappresenta la propensione dell'acqua sotterranea e quindi di un inquinante idrosolubile e/o idroveicolato, a muoversi più o meno velocemente nella zona satura. In mancanza di dati diretti di campagna SINTACS offre una modalità d'approccio indiretto per la stima di questo parametro utilizzando due grafici differenti, uno per la valutazione della conducibilità dei complessi idrogeologici ed un altro per la valutazione della conducibilità idraulica e relativo punteggio. Poiché, non erano disponibili dati rilevati in maniera diretta, la stima di questo parametro è stata effettuata, in maniera indiretta, partendo dalla litologia dell'acquifero studiato, definendo la natura del complesso idrogeologico. Attraverso il primo grafico è stato individuato il valore della conducibilità idraulica per ogni cella in cui è stata discretizzata l'area mentre con il secondo grafico è stato determinato il punteggio corrispondente al valore di conducibilità idraulica scelto. Nell'area d'esame i valori di conducibilità idraulica sono compresi mediamente tra  $10^{-3}$  m/s e  $10^{-6}$  m/s.

#### Superficie topografica (acclività della superficie):

il parametro valuta l'acclività della zona di studio poiché la pendenza della superficie topografica favorisce il ruscellamento delle acque superficiali ed influisce sulla velocità di scorrimento delle stesse (e quindi di un inquinante fluido).

L'acclività della superficie topografica è stata determinata ricostruendo la carta delle pendenze dal DEM (Digital Elevation Model) della Calabria attraverso l'ausilio di un GIS open source (Q-GIS, Release 1.7). Per lo sviluppo della carta delle pendenze sono state stabilite classi percentuali di acclività (comprese tra 0% e 30%) come previsto dalla metodologia

SINTACS per tale parametro.

Nell'area di studio le pendenze (%) sono mediamente comprese: nei settori interni della piana (a ridosso dei primi rilievi collinari) tra il 30% ed il 20%, nei settori intermedi tra il 20% ed il 5% e nelle aree corrispondenti alla fascia litoranea tra 5% e lo 0%.

#### Calcolo dell'Indice di vulnerabilità SINTACS:

dopo aver attribuito il punteggio ai 7 parametri di base per ogni cella, è stato calcolato l'indice SINTACS, assegnando ad ognuna di esse un grado di vulnerabilità (Tab. 2).

Tab. 2 - Gradi di vulnerabilità e relativi intervalli di valori SINTACS.

Tab. 2 - Degrees of vulnerability and their ranges SINTACS.

GRADI DI VULNERABILITÀ	INTERVALLO DI VALORI INDICE SINTACS
Molto Bassa	26 - 80
Bassa	81 - 105
Media	106 - 140
Alta	141 - 186
Elevata	187 - 210
Molto Elevata	211 - 260

Questa operazione è stata effettuata mediante l'ausilio di un foglio di calcolo di Microsoft Excel, attribuendo ad ogni cella un numero identificativo e costruendo per ognuna di esse una matrice di 7 colonne (corrispondenti ai 7 parametri SINTACS ed indicizzate con le stesse lettere) e 3 righe relative rispettivamente: al punteggio attribuito ad ogni parametro, al peso corrispondente (nella stringa impatto ordinario), al prodotto del punteggio per il peso (per ognuno dei 7 parametri). Ogni matrice, così realizzata, afferisce ad una delle celle con cui è stata discretizzata l'area. Pertanto per ognuna di esse è stato calcolato l'Indice di Vulnerabilità Intrinseca SINTACS effettuando la sommatoria dei prodotti (punteggio x peso) di ognuno dei 7 parametri come previsto dalla procedura stessa.

$$I(SINTACS) = \sum_{i=1}^{n=7} P_i W_i$$

Esplicitando i termini: ( $P_i$ )= punteggio di ciascuno dei 7 parametri; ( $W_i$ )= peso della stringa scelta.

Il calcolo dell'Indice SINTACS, mediante la sommatoria sopra indicata, permette di ottenere un valore numerico (da 26 a 260). Quest'intervallo di valori è stato suddiviso, nell'ambito della procedura SINTACS, in 6 gradi di vulnerabilità (Tab. 2). Pertanto applicando la sommatoria, sopra riportata, per ogni EFQ, in cui è stata discretizzata l'area di studio, si ottiene l'indice di vulnerabilità intrinseca per ognuna di esse.

Per la definizione del peso da attribuire, per singola cella, ad ogni parametro è stata utilizzata la stringa di pesi *Impatto normale* (Civita, 1994; Civita e De Maio, 2000; De Maio et al., 2001).

Tale stringa include tutti quei casi in cui le zone di studio sono caratterizzate da ridotto gradiente topografico, con un insaturo composto principalmente da rocce a permeabilità matriciale. Questa stringa esalta al massimo il peso relativo alla soggiacenza ed all'insaturo, strettamente collegati all'effettiva penetrabilità del sistema da parte di un inquinante liquido (Civita e De Maio, 2000; De Maio et al., 2001).

Lo studio sin qui proposto si è concretizzato con la redazione della Carta della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento dell'acquifero superficiale della piana di S. Eufemia Lamezia (Fig.3) che evidenzia come nel territorio studiato siano presenti aree caratterizzate da un grado di vulnerabilità che varia da medio a molto elevato, passando per i gradi intermedi, man mano che ci si sposta dalle zone più interne della piana verso la costa.

- Le aree meno vulnerabili, caratterizzate da un grado di vulnerabilità media, sono ubicate nelle zone più interne (Fig.3). Nel dettaglio tali superfici comprendono:
- l'area che si estende, nel settore nord della piana, dagli abitati di Nicastro e Sambiasi sino grossomodo all'abitato di S. Eufemia ed all'aeroporto e che comprende depositi terrazzati d'origine continentale e depositi di conoide (Fig.1). Questi litotipi sono costituiti da ciottoli di rocce metamorfiche con pezzatura eterogenea, mal classati e immersi in una matrice limoso sabbiosa. In questa zona della piana la soggiacenza della falda varia da valori superiori ai 30,00 m dal p. c. (in prossimità dei rilievi collinari) sino a valori compresi tra i 5,00 m ed i 10,00 m circa dal p.c. nelle zone di valle (Fig.2).
- L'area a ridosso dell'abitato di S. Pietro Lametino, nel settore sud della Carta, contraddistinta da depositi conglomeratici di terrazzo marino (Fig.1) del tutto analoghi, litologicamente, a quelli descritti in precedenza. In questa zona la soggiacenza della falda è compresa tra i 4,00 m e i 10,00 m circa dal p.c. (Fig.2).
- L'area in corrispondenza della località Stretto (settore centrale della Carta) che rappresenta la propaggine di una più ampia superficie terrazzata (Fig.1) litologicamente non dissimile dalle precedenti.

Sempre nel settore centrale, intorno a questo lembo di terrazzo insiste, ad una quota più bassa, un'area formata da terreni alluvionali ghiaioso-sabbiosi debolmente limosi che in questa zona, hanno un grado di vulnerabilità elevata. Qui la falda è attestata tra gli 1,00 m ed i 7,00 m circa dal p.c. (Fig.2).

Verso il litorale, in posizione mediana tra la costa e l' hinterland della piana, è poi presente un'ampia area con grado di vulnerabilità alta (Fig.3) estesa, grossomodo, dal F. Amato sino all'estremo inferiore della Carta. La litologia di questa porzione della piana è rappresentata da terreni alluvionali nei quali prevalgono i termini sabbiosi rispetto a quelli ghiaiosi e limosi (Fig.1). La soggiacenza della falda varia tra 1,00 m e 5,00 m dal p.c. (Fig.2). Parallela a quest'area un settore a vulnerabilità elevata (Fig.3) si snoda lungo tutta la costa. Trattasi anche in questo caso di depositi alluvionali sabbioso-ghiaiosi (Fig.1) dove però la falda è attestata a profondità molto ridotta dal p. c. (da un minimo di 1,00 m ad un massimo di 5,00 m; Fig.2).

Infine lungo la costa, a ridosso del litorale, è presente un'estesa fascia a vulnerabilità molto elevata (Fig.3); qui si trovano depositi alluvionali, sabbie eoliche ed ampi tratti dell'antico cordone dunare (Fig.1) con falda sub affiorante (da un minimo di 0,50 m - 1,00 m ad un massimo di 2,00 m dal p.c.; Fig.2).

## Conclusioni

La carta della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero superficiale della piana di S. Eufemia Lamezia (Fig.3), realizzata utilizzando il metodo parametrico SINTACS, ha evidenziato una situazione assai articolata descritta al paragrafo precedente e di seguito brevemente riassunta:

- Zone a vulnerabilità media: localizzate nelle aree interne della piana in corrispondenza dei terrazzi e dei depositi di conoide;
- Zone a vulnerabilità alta: ubicata in posizione mediana tra l' hinterland della piana e la costa, si estende grossomodo dal F. Amato sino all'estremo meridionale della carta;
- Zone a vulnerabilità elevata: allungata, parallelamente alla precedente, lungo tutta la costa ad eccezione di una ridotta porzione presente all'interno, attorno alla zona a vulnerabilità media di località Stretto.
- Zone a vulnerabilità molto elevata: si snoda lungo la costa, a ridosso del litorale, dall'estremo sud all'estremo nord dell'area di studio.

In questo quadro eterogeneo va sottolineata la distribuzione nella piana di molteplici attività che possono generare impatti negativi sulle acque sotterranee. In merito l'attenzione va posta, in primo luogo, sulle zone della piana situate a valle del F. Amato (che divide schematicamente l'area di studio in due settori). Nel settore meridionale della piana insistono infatti l'area industriale/artigianale di Lamezia Terme-S. Pietro Lametino nonché le zone a maggiore vocazione agricola/zootecnica. In particolare la zona industriale, posta a sud, ricade in aree a vulnerabilità alta, elevata e molto elevata e ciò rende evidente il potenziale pericolo di inquinamento per le locali acque sotterranee. In quest'area insistono anche numerose aziende agricole a coltura intensiva, florovivaistiche e zootecniche. Queste attività unitamente alla presenza, lungo la costa, di insediamenti turistici ed abitazioni private pongono in risalto un potenziale scenario di rischio inquinamento per l'acquifero superficiale della piana di S. Eufemia Lamezia. Per ciò che concerne invece il settore settentrionale della piana questi è costituito da sedimenti alluvionali, lungo la costa, e depositi terrazzati d'origine continentale e depositi di conoide nelle aree più interne (Fig. 1); la soggiacenza della falda (Fig. 2) è variabile da un massimo di 38,00 m dal p.c., nelle zone più interne, e precisamente presso l'abitato di Sambiasse, sino ad 1,00 m dal p.c., a valle dell'abitato di S. Eufemia Lamezia e di Gizzeria Lido. Questo settore, rispetto al precedente, è caratterizzato da attività agricole differenti (uliveti, agrumeti, seminativi ecc.) praticate nelle aree a vulnerabilità alta, elevata e molto elevata ed anche a valle degli abitati di Nicastro e Sambiasse, all'interno dell'area classificata a vul-

nerabilità media. Inoltre anche il settore nord della piana è caratterizzato dalla presenza, lungo la costa, di insediamenti turistici ed abitazioni private. Tutte queste attività concorrono, anche in questo caso, a delineare un potenziale scenario di rischio d' inquinamento per l'acquifero superficiale della piana di S. Eufemia che tuttavia appare leggermente meno preoccupante del settore sud.

In conclusione il presente studio fornisce un utile contributo alla definizione dei potenziali scenari di rischio d'inquinamento ipotizzabili nella area di studio restituendo un prodotto cartografico che individua le aree maggiormente vulnerabili della piana.

## BIBLIOGRAFIA

- Amodio Morelli, L., Bonardi G., Colonna V., Dietrich D., Giunta G., Ippolito F., Liguori V., Lorenzoni S., Paglionico A., Perrone V., Picarreta G., Russo M., Scandone P., Zanettin-Lorenzoni E., Zupetta A. (1976). L'Arco Calabro-Peloritano nell' orogene Appenninico- Magrebide "The Calabria -Peloritani Arc in the Apennine-Maghrebian chain". Mem. Soc. Geol. It.,17: 1- 60.
- Arpacal – Centro Funzionale Multirischi – Banca dati meteoroidrologici (2012). Piogge e Temperature mensili della stazione meteoroidrologica Di S. Eufemia Lamezia "Monthly rainfall and temperature of the meteorological station Di S. Eufemia Lamezia ". <http://www.cfd.calabria.it> citato Aprile 2012
- Arssa (Aramini G., Colloca C., Corea A.M., Paone R., Caruso A., Bruno G.) (2003). Carta dei Suoli della Calabria (1:250.000) e monografia divulgativa "The soil map of Calabria (1:250.000) and popularizing monograph ". Rubbettino, Soveria Mannelli (CZ)
- Arssa (Bonofiglio R., Colloca C., Corea A.M., Oppedisano R., Vecchio G.) (1996). Carta dei Suoli della Piana di S. Eufemia Lamezia (1:50.000) e monografia divulgativa "The soil map of S. Eufemia Lamezia plain (1:50.000) and popularizing monograph". Rubbettino, Soveria Mannelli (CZ)
- Cassa per il Mezzogiorno (Burton A. N.) (1967). Carta Geologica della Calabria (1:25.000 ) – F. 241; Nicastro "Geological map of Calabria (1:25.000) – F. 241; Nicastro. Poligrafica & Cartevalori – Ercolano (NA)
- Civita M. (1994). Le Carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: Teoria & Pratica "The maps of groundwater vulnerability to pollution: Theory and Practice". Quaderni e Tecniche di Protezione Ambientale, 31: 325, Pitagora, Bologna
- Civita M., De Maio M. (2000). Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con Il sistema parametrico- SINTACS R5 - A new parametric system for The assessment and automatic mapping of ground water vulnerability to contamination. Quaderni e Tecniche di Protezione Ambientale, 72: 226., Pitagora, Bologna

- Ciuli E. (2004). Studio dell'influenza dei caratteri strutturali sulla geomorfologia dell'area compresa tra Il fiume Amato, monte Contessa e monte Covello (Calabria) "Study of the influence of structural characters on the geomorphology of the area between the Amato river, mount Countessa and mount Covello (Calabria)". *Geologia dell'Ambiente*, 4: 9 – 15.
- Ciuli E. (2012). Contributo alla conoscenza delle caratteristiche idrogeologiche della Piana di S. Eufemia Lamezia (Calabria) – Primi Risultati "Contribution to the knowledge of hydrogeological characteristics of S. Eufemia Lamezia plain (Calabria) - first results". *Acque Sotterranee*, 127: 19 - 32.
- De Maio M., Civita M., Farina M., Zavatti A., (2001). Linee Guida per la redazione e l'uso delle carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento "Guidelines for the preparation and use of maps of groundwater vulnerability to pollution". *Manuali e Linee Guida APAT*, 4: 1-99; IGER Srl, Roma.
- Gisotti G., Zarlenga F., (2004). *Geologia Ambientale – Principi e Metodi* "Environmental Geology - Principles and Methods". Dario Flaccovio, Palermo
- Gulla G., Antronico L., Sorriso Valvo M., Tansi C. (2005). Proposta metodologica per la valutazione di indicatori di pericolo e rischio frana a scala intermedia: L' area della stretta di Catanzaro (Calabria -Italia) "Methodological proposal for the evaluation of indicators of landslide hazard and risk to intermediate scale: The area of the Catanzaro graben (Calabria - Italy)". *Geologica Romana*, 38: 97- 121.
- Sappa G., Bianchini B. (1999). Caratterizzazione idrogeologica della Piana di S. Eufemia con l'ausilio di metodi termocoduttimetrici "Hydrogeological characterization of the S. Eufemia plain using thermoconductometric methods". *Ingegneria e Geologia degli Acquiferi*, 13: 19 – 29.
- Sorriso-Valvo M., Tansi C. (1996). Carta delle grandi frane e deformazioni gravitative profonde di versante della Calabria "Map of the large landslides and deep-seated gravitational slope deformations of Calabria". Selca Firenze.
- Tortorici G., Bianca M., Monaco C., Tortorici L., Tansi C., De Guidi G., Catalano S. (2002) Quaternary normal faulting and marine terracing in the area of Capo Vaticano and S.Eufemia Plain (Southern Calabria). *Studi Geologici Camerti – nuova serie*, 1: 156 - 171