



SCENARI
DI RISCHIO
NEL SISTEMA
TERRITORIALE
IBLEO

Atti del Seminario INGV
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
con la partecipazione degli Esperti locali

*Un'esperienza di grande rilievo
culturale e scientifico*



Libero
Consorzio
Comunale
Ragusa



Mediterraneo Palace, Ragusa, 9 giugno 2025

**SCENARI
DI RISCHIO
DEL SISTEMA
TERRITORIALE
IBLEO**

**Atti del Seminario
di Studi INGV
Istituto Nazionale di
Geofisica e
Vulcanologia**



**Iniziativa editoriale del
Libero Consorzio Comunale
di Ragusa nel quadro della
Convenzione INGV-LCCR**

Scenari di Rischio nel Sistema Territoriale Ibleo[©]

Atti del Seminario di studi INGV svoltosi a Ragusa il 9-10 giugno 2025
con la partecipazione degli Esperti locali
Coordinamento dei lavori di Francesco Venerando Mantegna





9	Messaggi di indirizzo
11	Maria Rita Annunziata Schembri, Presidente del Libero Consorzio Comunale di Ragusa
12	Giuseppe Cassi, Sindaco di Ragusa
13	Giuseppe La Placa, Vescovo di Ragusa
14	Giorgio Assenza, Parlamentare, Assemblea Regionale Siciliana
15	Nello Dipasquale, Parlamentare, Assemblea Regionale Siciliana
17	Stefano Laporta, Presidente dell'ISPRA-Istituto Superiore Protezione e Ricerca Ambientale
	Francesco Venerando Mantegna, Coordinatore delle Aree tematiche e dei lavori del Seminario
Relatori	
19	Massimo Chiappini, Direttore del Dipartimento Ambiente dell'INGV
25	Francesco Venerando Mantegna, Direttore Generale di MARIS Ricerca
45	Stefano Felice Branca, Direttore dell'Osservatorio Etneo INGV di Catania
57	Antonio Paonita, Direttore della Sezione INGV di Palermo
71	Domenico Patanè, Dirigente di Ricerca INGV, Osservatorio Etneo, Catania
79	Sergio Gurrieri, Dirigente di Ricerca INGV, Sezione di Palermo
89	Marco Anzidei, Dirigente di Ricerca INGV, Roma
103	Rosario Ruggieri, Membro della Karst Commission International Ass. of Hydrogeologists
119	Antonio Megna, Esperto in nutrifisiologia vegetale, ricercatore senior analisi agrarie
131	Rosario Mineo, Responsabile delle Reti Geofisiche del Libero Consorzio Comunale di Ragusa
141	Giovanni Randazzo, Professore di Geografia fisica e geomorfologica all'Università di Messina
153	Giorgio Flaccavento, Professore di Italiano e Storia, Esperto di storia e tradizioni ragusane
Appendice	
161	La memoria degli eventi, spazio culturale
167	Il Tavolo tecnico scientifico istituito dalla Presidenza del Libero Consorzio
169	Ringraziamenti



PUBBLICAZIONE A CURA DEL LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI RAGUSA
Sotto gli auspici della Presidente Maria Rita Annunziata Schembari

Distribuzione gratuita a scopo divulgativo culturale e scientifico
2025



Prof.ssa Maria Rita Annunziata Schembari
Presidente del Libero Consorzio Comunale di Ragusa

Il Seminario di studi dell'INGV a Ragusa, dedicato agli scenari di rischio del nostro territorio è stato un grande evento scientifico. Desidero esprimere tutta la mia gratitudine al Presidente dell'Istituto Fabio Florido, al Direttore del Dipartimento Ambiente Massimo Chiappini e al Coordinatore dei lavori seminariali Francesco Venerando Mantegna, assieme a tutti i prestigiosi relatori ufficiali che hanno partecipato.

La pubblicazione degli Atti del Seminario è strumento di conoscenza e di forte impulso alla consapevolezza della nostra complessa realtà territoriale, investendo l'attenzione di tutti i Sindaci, i Parlamentari della provincia, il quadro dirigente, le professioni e gli operatori culturali.

Nel mio ruolo di Presidente del Libero Consorzio, desidero confermare l'impegno nella realizzazione del Centro provinciale di monitoraggio dei rischi naturali e antropici, sulla base degli orientamenti scaturiti dai lavori seminariali e del tavolo tecnico-scientifico all'uopo dedicato.

In tale direzione ho anche avviato l'attività esplorativa per l'individuazione dell'immobile in cui realizzare il Centro, con i necessari requisiti di sicurezza e di spazio. Il Centro accoglierà diverse attività: dal proposto OSU Ragusa - Osservatorio Sismico Urbano e territoriale descritto nella relazione dell'INGV di Catania, per il monitoraggio specialistico dell'attività sismica in questo nostro territorio particolarmente esposto ai grandi terremoti, alle altre diverse sezioni di monitoraggio dei rischi naturali e antropici, come l'intrusione salina negli acquiferi costieri, la dispersione in mare delle materie plastiche, l'inquinamento dei suoli da pesticidi, l'erosione costiera.

Attività rientranti nella Convenzione in essere tra l'INGV e il Libero Consorzio Comunale.
Analoga attenzione sarà dedicata all'attività formativa culturale e scientifica, ai tirocini e stage per studenti, laureati, laureandi, dottorandi e assegnisti, come previsto dalla Convenzione.





Ragusa, Castello di Donnafugata



Avv. Giuseppe Cassi
Sindaco di Ragusa

La città di Ragusa ha avuto l'onore di ospitare il seminario di studi organizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel venticinquesimo anniversario dalla sua istituzione, ed un sentito ringraziamento rivolgo ai suoi dirigenti e al prof. Francesco Venerando Mantegna, comisano di origine, che ne ha coordinato i lavori.

Il tema del seminario “scenari di rischio nel sistema territoriale ibleo” è di enorme importanza per un luogo di grande bellezza e di riconosciuto fascino, ma anche di tante fragilità e potenziali rischi: il distretto geografico del sud est siciliano annovera nella propria storia episodi sismici devastanti i cui effetti sono ancora ben presenti nella memoria storica delle sue comunità.

L'approfondimento scientifico di argomenti così delicati come quelli che sono oggetto della missione dell'INGV contribuisce mirabilmente alla individuazione di strategie di prevenzione e di salvaguardia del territorio. Una corretta informazione e la adozione di buone pratiche collettive ed individuali possono essere dirimenti, in caso di eventi calamitosi, tra la sopravvivenza e la completa devastazione.

Dalle nostre scelte e dalle nostre azioni, non solo dalla sorte, dipende il nostro destino.



Città Tardo Barocche del Val di Noto
iscritto nella Lista
del Patrimonio Mondiale nel 2002



Mons. Giuseppe La Placa

Vescovo della Diocesi di Ragusa

Il nostro popolo è ben consapevole di abitare sulla schiena di un drago che dorme, ogni tanto si muove e, talvolta, si risveglia in un modo violento e devastante, come è avvenuto nel 1693.

Questo evento così distruttivo si è impresso nella memoria collettiva della gente iblea al punto che ancora oggi l'11 gennaio, giorno in cui avvenne “u terremotu ranni”, in quasi tutti i comuni della Diocesi viene celebrata la Messa in ricordo di quanto avvenne, con alcune particolarità.

A Vittoria, per esempio, in quel giorno viene portata in processione la statua del Patrono, San Giovanni Battista, come era solito fare quando avveniva una forte scossa di terremoto. A Comiso invece, in Chiesa madre, il ricordo è vissuto in modo ancora più realistico: l'11 gennaio, infatti, si celebra alle 14 la preghiera del Vespro (è all'incirca a quell'orario che il terremoto avvenne). Il secondo salmo che viene cantato è il salmo 113, fino al versetto 7, che in latino recita: “A facie Domini mota est terra (davanti al volto del Signore tremò la terra). Giunti a quel punto, la preghiera si interrompe e l'organo comincia a suonare i toni bassi della pedaliera: si tratta di un suono sordo e cupo, che sale dal basso e che immerge tutti i presenti nell'arcano e oscuro stato d'animo del terremoto che sta avvenendo. Successivamente, cessato il terremoto che ha interrotto la salmodia, viene intonato il Te Deum di ringraziamento, con un effetto liberatorio.

Anche la durata del terremoto è stata misurata dalle cronache del tempo a partire dalla profonda religiosità del popolo: dunque, infatti, “il tempo di un miserere”. Il Miserere è il salmo 50, che certamente non è uno dei più brevi del Salterio.

E' con grande fede che il nostro popolo ha affrontato l'immancabile tragedia, debordante di morti e macerie, trovando, a partire da essa, la resilienza che avrebbe ispirato la ricostruzione, progettando innanzitutto lo spazio per le chiese, attorno alle quali sarebbero risorti i centri abitativi. E la distruzione causata dalla natura, e dalle sue incontrollabili leggi, ha avuto come frutto la meraviglia del barocco del Val di Noto, che ancora oggi risplende in tutta la sua bellezza.

Voi avete a che fare con la natura e con le sue incontrollabili leggi; leggi che, talvolta, possono causare disastri inauditi. In effetti, Dio ha creato il mondo con le leggi che lo regolano; ma, all'interno del mondo, solo l'uomo è stato creato da Dio a sua immagine e somiglianza. Ciò significa che solo l'uomo può provare misericordia; e l'uomo soltanto può riflettere sulle dinamiche naturali e studiarle, mentre la creazione non può fare altro che svilupparsi materialmente attraverso il loro dispiegarsi. In questo sta l'importanza e la preziosità del vostro lavoro e – oserei dire – del vostro servizio.

Spetta a voi, infatti, sulla base delle vostre conoscenze e competenze, sia scientifiche che tecniche, determinare con la maggiore approssimazione possibile i profili relativi alla pericolosità, alla vulnerabilità e alla esposizione di un determinato territorio, al fine di valutarne il rischio sismico, in vista delle misure da adottare. Se, da un lato, è vero che le forze della natura – soprattutto quelle legate alla sismicità – sono incontrollabili e potenzialmente devastanti, dall'altro è anche vero che, grazie ad una adeguata capacità di prevenzione e – per quanto possibile – di previsione, le conseguenze del loro abbattersi su un determinato territorio possono essere ridimensionate, anche di molto. In questa ottica, saper affrontare adeguatamente il rischio sismico significa essere capaci di guardare oltre il terremoto, alla vita delle persone e delle comunità e, in ultima analisi, si tratta di un atto di speranza!

E' con questi sentimenti che auguro un proficuo svolgimento del vostro importante Convegno, grato all'INGV per il servizio di ricerca, previsione e prevenzione che svolge, aiutando tutti noi a vivere nel modo più sicuro possibile sulla incontrollabile schiena del drago in cui abitiamo. Vi saluto cordialmente.





On.le Avv. Giorgio Assenza
Deputato all'Assemblea Regionale Siciliana

Il Seminario di studi dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia a Ragusa è stato un evento di grande rilievo, tanto più per avere scelto la nostra provincia quale sede conclusiva, in ambito nazionale, del venticinquennale della fondazione dell'Istituto con legge dello Stato. Dobbiamo essere grati all'INGV e al Dipartimento Ambiente diretto da Massimo Chiappini per la partecipazione ai lavori dei prestigiosi dirigenti di ricerca.

Un ringraziamento particolare al coordinatore dei lavori Francesco Venerando Mantegna che ha reso possibile questo evento dedicato agli scenari di rischio del nostro territorio, chiamando a partecipare anche illustri studiosi e ricercatori locali.

Condivido la proposta conclusiva del seminario di creare a Ragusa un Centro di monitoraggio interdisciplinare dei rischi, non solo per quello sismico al quale siamo particolarmente esposti, ma anche per i diversi fattori di inquinamento affrontati scientificamente nelle due sessioni di lavoro, come quello delle materie plastiche rilasciate nell'ambiente costiero dalle pratiche dell'agricoltura intensiva e dai corsi d'acqua durante le piene, una questione che richiama ulteriormente la necessità strutturale della raccolta e dello smaltimento, con gli orientamenti verso le tecnologie più avanzate.

La stretta collaborazione tra il mondo scientifico e gli Enti locali attraverso la realizzazione del Centro provinciale di monitoraggio è quindi un obiettivo strategico per la tutela e la valorizzazione del nostro territorio, che merita ampiamente l'impegno di tutti.





On.le Nello Dipasquale
Deputato all'Assemblea Regionale Siciliana

L'evento seminariale organizzato a Ragusa dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia a conclusione delle celebrazioni del venticinquesimo anniversario dalla sua istituzione, dedicato alla ricerca scientifica e alla tutela del sistema territoriale ibleo, la cui antica storia geodinamica lo rende unico, rappresenta un esempio virtuoso e concreto di sinergia tra comunità scientifica e istituzioni, ricerca e azione amministrativa, cultura e formazione.

I temi, attualissimi, sono stati affrontati con la puntualità e la competenza cui l'INGV ci ha ormai abituati: dal rischio sismico cui il nostro territorio, cerniera tra Africa e Europa, è costantemente sottoposto, alle attività di monitoraggio e prevenzione attraverso l'uso di sistemi integrati a tecnologie digitali smart-wireless e ICT, utili non soltanto a raccogliere, elaborare e conservare dati ma anche e soprattutto a diffonderli in modo rapido e preciso, tenendo conto delle priorità urbane e territoriali. In tal senso, l'introduzione dell'Osservatorio Sismico Urbano sarebbe davvero auspicabile.

Interessantissimi e molto istruttivi anche gli altri temi trattati: l'intrusione marina negli acquiferi costieri e il relativo impatto sulla serricoltura ragusa-na; l'inquinamento da plastiche, l'erosione della costa e, infine, i sistemi di allertamento della popolazione in caso di eventi estremi.

Per quanto di mia competenza, mi metto sin da subito e molto volentieri a disposizione dell'INGV per qualsiasi attività o progetto vogliano portare avanti nel territorio ibleo e in Sicilia.





Prefetto dr. Stefano Laporta

Presidente dell'ISPRA-Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale e del SNPA-Sistema Nazionale della Protezione Ambientale, Vicepresidente dell'Agenzia Europea dell'Ambiente

Il territorio provinciale dell'area iblea è un sistema complesso e fragile, che necessita di attenzione e interventi mirati; dal punto di vista sismico, risentì pesantemente degli effetti del sisma del gennaio 1693 di magnitudo 7.3, l'evento più forte del catalogo sismico italiano. Il territorio presenta infatti una pericolosità elevata ed è delimitato da due faglie attive e capaci, mappate nel Catalogo ITHACA (ITaly HAzard from CApable faults); conoscere il posizionamento delle faglie è importante per la prevenzione del rischio sismico e per difendere il nostro patrimonio strutturale e infrastrutturale, soprattutto nella fase di pianificazione territoriale.

Per ciò che riguarda l'erosione costiera, la Sicilia è una regione ricchissima di spiagge, che valgono il 19% della lunghezza nazionale ed il 15% della superficie, seconda - in questi valori - solo alla Calabria.

La provincia di Ragusa, in particolare, ha una costa che si sviluppa per 90 dei circa 1600 km della lunghezza totale della costa regionale. Un dato estremamente positivo che vorrei ricordare riguarda il bilancio tra tratti di costa in erosione e tratti di costa in avanzamento; la provincia di Ragusa contribuisce a questo bilancio con oltre 10Km in più tra i tratti in avanzamento (circa 24km) e quelli in erosione (più di 13km).

In sintesi, tenendo conto della sua fragilità, ma anche dei suoi punti di forza, il territorio ibleo è un patrimonio da proteggere. Prevenzione sismica, gestione sostenibile dell'acqua, riduzione dell'inquinamento e difesa delle coste sono sfide cruciali per il presente e per il futuro di questo territorio come del resto del nostro Paese.







*Coordinatore delle Aree tematiche
e dei Lavori del Seminario di studi*

Francesco Venerando Mantegna

Direttore Generale di MARIS Ricerca, Esperto tecnico scientifico del MUR

Un'esperienza che sento poter definire come una svolta nello scenario culturale e della politica di governo del nostro territorio, avendone affrontato i rischi e le criticità in modo organico, multidisciplinare con rigore scientifico, al più alto livello. E' motivo di soddisfazione per me aver coordinato i lavori del Seminario di studi, affiancando ai prestigiosi dirigenti di ricerca dell'INGV gli esperti della nostra comunità iblea, ai quali sono legato da lunga amicizia e reciproca collaborazione.

Com'era nelle mie aspettative, oltre ad avere un quadro aggiornato delle conoscenze sui fattori di rischio e di vulnerabilità territoriale, è stato tracciato un percorso tecnico progettuale con l'indicazione di soluzioni e possibili interventi di mitigazione, in una logica di monitoraggio e sorveglianza, previsione, prevenzione e pianificazione.

La presente raccolta degli Atti seminariali si traduce in uno strumento conoscitivo approfondito della complessa e differenziata realtà del nostro territorio, a disposizione degli amministratori pubblici, della rappresentanza politica parlamentare, degli operatori culturali, delle professioni, della scuola e dei giovani in particolare, perché possano raccogliere e valorizzare il patrimonio di esperienze.

Un sentito apprezzamento alla Presidente del Libero Consorzio Comunale, prof.ssa Maria Rita Annunziata Sembardi per l'attenzione alle proposte progettuali, sia nell'ambito della Convenzione in essere tra INGV e il Libero Consorzio che in quello proprio istituzionale. La mia idea portante si spinge verso la realizzazione di un "*Centro provinciale di monitoraggio dei rischi naturali e antropici*", una struttura all'interno della quale potranno essere organizzati, oltre all'OSU-Ragusa, Osservatorio Sismico Urbano coordinato dalla Sezione O.E-INGV di Catania, anche le altre unità operative sui diversi scenari di rischio e inquinamento che abbiamo affrontato: dalla Sezione Geochimica INGV di Palermo al coinvolgimento diretto degli esperti locali e degli ottimi dirigenti tecnici dello stesso Libero Consorzio. In definitiva, una struttura operativa integrata e al contempo luogo di formazione, apprendimento, stage e qualificazione didattica. Le sfide del futuro prossimo sono importanti, già per la crisi climatica che incide ulteriormente sul processo di desertificazione della Sicilia (immagine del SITR nella pagina a fronte).

Analogo apprezzamento al Sindaco di Ragusa avv. Giuseppe Cassì, per l'attenzione e la disponibilità nell'ambito del Protocollo d'intesa tra l'INGV e il Comune capoluogo.

And last but not least, un grande riconoscimento ai Parlamentari regionali, l'On. Avv. Giorgio Assenza per la sua partecipazione attiva ai lavori e l'On. Nello Dipasquale che ne ha seguito da remoto lo svolgimento. Al di sopra delle appartenenze politiche e nel superiore interesse della nostra provincia, il loro sostegno e quello dell'intera deputazione iblea sarà indispensabile per la realizzazione del Centro di monitoraggio e sorveglianza.



SCENARI
DI RISCHIO
NEL SISTEMA
TERRITORIALE
IBLEO

9 e 10 giugno 2025
Hotel Mediterraneo Palace
Via Roma, 189 | Ragusa

I LAVORI

RELATORI



Direttore dell'organizzazione del Seminario nel quadro delle celebrazioni del 25° anniversario della fondazione dell'INGV

Massimo Chiappini

Geofisico, Dirigente di Ricerca INGV
Direttore del Dipartimento Ambiente dell'INGV

- * Con oltre 150 pubblicazioni scientifiche e numerose invenzioni industriali, è una figura di riferimento nel panorama scientifico internazionale nel campo della geofisica e delle scienze ambientali.
- * È stato membro del Comitato Scientifico per l'Antartide, settore Geofisica.
- * Ha condotto 9 campagne geofisiche internazionali in Antartide.
- * Membro del Comitato tecnico-scientifico del Centro di Geomorfologia Integrata per l'Area del Mediterraneo (CGIAM).
- * Membro del Comitato di Indirizzo per la Valutazione della Ricerca nazionale, nominato dal Ministro dell'Università e della Ricerca.
- * Coordinatore del nucleo tecnico-scientifico di consulenza per il Ministero degli Affari Esteri in materia di verifica tecnica dei trattati internazionali nell'ambito della non-proliferazione nucleare, disarmo e sicurezza.
- * Relatore al Senato degli Stati Uniti sullo stato della verifica del Trattato per la messa al bando degli esperimenti nucleari (CTBT- Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty).
- * Consigliere di Amministrazione del CRATI (Consorzio per la Ricerca e le Applicazioni di Tecnologie Innovative).
- * Presidente di MARIS (Monitoraggio Ambientale e Ricerca Innovativa Strategica).

SCENARI DI RISCHIO NEL SISTEMA TERRITORIALE IBLEO: UNA PROSPETTIVA MULTIDISCIPLINARE

Autore: **Massimo Chiappini**

Dirigente di Ricerca INGV

Direttore Dipartimento Ambiente dell'INGV

Abstract

The Hyblean territory in southeastern Sicily represents a geologically and environmentally complex area, where natural processes and anthropogenic pressures interact to generate a variety of risk scenarios. In this region, geomorphological evolution intertwines with increasing socio-economic vulnerability, demanding ~~ever~~ more sophisticated analytical and monitoring tools. The current global climate framework, marked by rising average temperatures, changes in rainfall patterns, and sea-level rise, amplifies local impacts, making the Hyblean system a natural laboratory of primary importance for studying interactions between environment and society.

The main hazards identified include slope instability and landslides, often triggered by intense and concentrated rainfall events; coastal erosion and shoreline retreat, exacerbated by more frequent and violent storm surges; flooding and temporary submersions in lowland areas; and chemical and marine pollution linked to industrial, agricultural, and urban activities. These processes are interpreted within the conceptual framework of the Anthropocene, the epoch in which human activity has become a dominant geological force, as evidenced by

seven distinctive markers: atomic explosions, fossil fuel consumption, geological imprint, fertilizers, global warming, chemical pollution, and new synthetic materials.

To address these challenges, INGV provides a multidisciplinary toolkit: remote sensing, photogrammetry, geophysical surveys, innovative systems such as the Smart Rainfall System (SRS) for hydrogeological risk management, and the Ocean Seismic Integrated Solution (OS-IS) platform for integrated monitoring of sea state. This approach goes beyond data collection, aiming to deliver predictive tools to support institutions and civil protection agencies in reducing vulnerability and increasing territorial resilience.

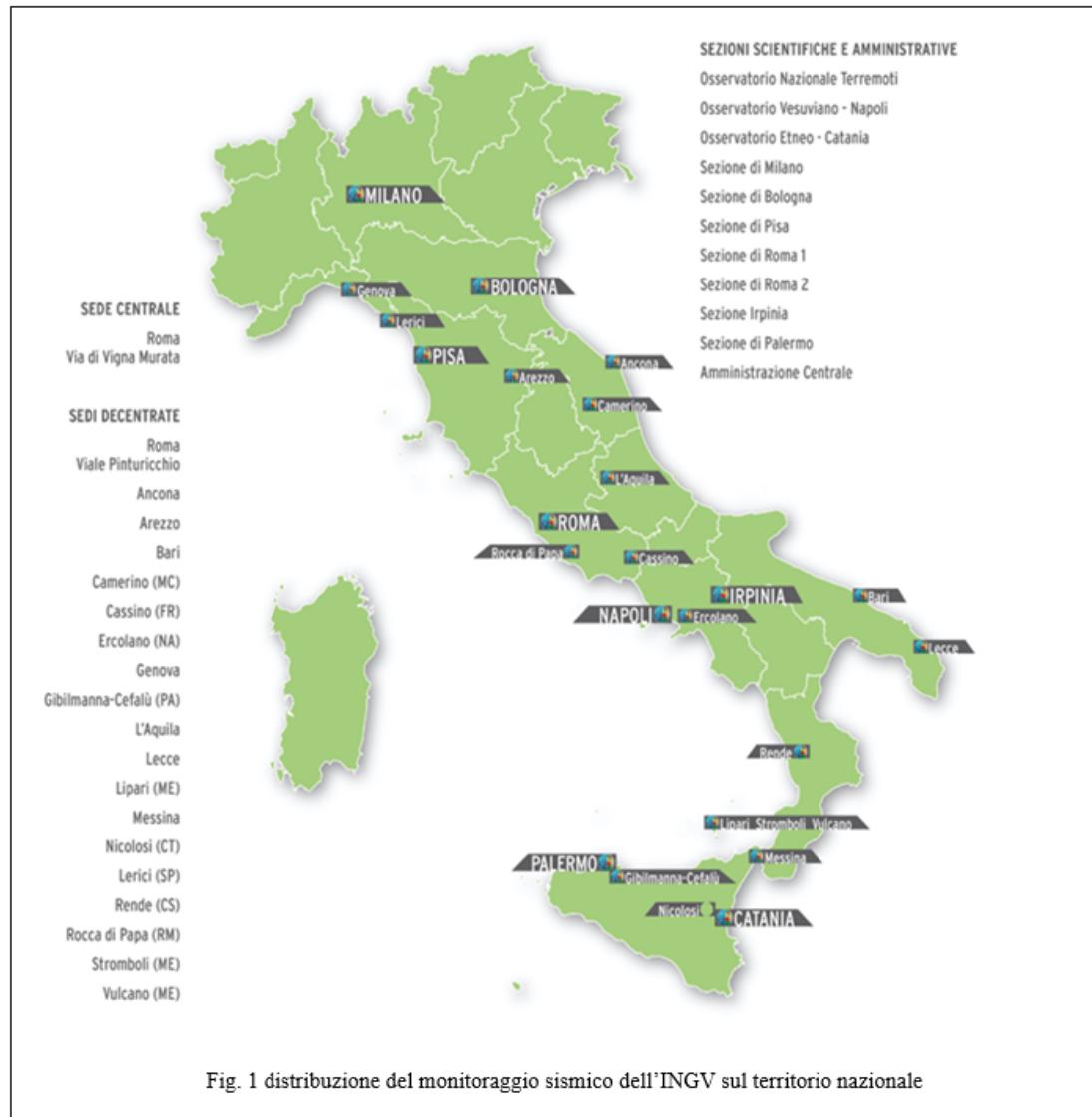
The work presented here emphasizes the need to integrate scientific research with territorial planning and management policies, ensuring that the knowledge produced can be translated into concrete actions of mitigation and adaptation. The safety of local communities and the preservation of ecosystems depend on a shared commitment, capable of addressing risks not as isolated events but as components of a complex and interconnected system. In this perspective, the Hyblean case study acquires a paradigmatic value for understanding environmental risks in the Anthropocene epoch.

Riassunto

Il territorio ibleo rappresenta un contesto geologico e ambientale di straordinaria complessità, in cui interagiscono processi naturali e pressioni antropiche che danno luogo a una molteplicità di scenari di rischio. In quest'area della Sicilia sud-orientale, l'evoluzione geomorfologica si intreccia con la

crescente vulnerabilità socioeconomica, richiedendo strumenti di analisi e monitoraggio sempre più sofisticati. L'attuale quadro climatico globale, caratterizzato da un incremento delle temperature medie, da variazioni nei regimi pluviometrici e dall'innalzamento del livello marino, contribuisce ad amplificare gli impatti locali, rendendo il sistema territoriale ibleo un laboratorio naturale di primaria importanza per lo studio delle interazioni tra ambiente e società.

Le principali tipologie di rischio identificate includono instabilità dei versanti e fenomeni franosi, spesso innescati da precipitazioni intense e concentrate; erosione e arretramento delle coste, aggravati da mareggiate più frequenti e violente; alluvioni e sommersioni temporanee nelle aree pianeggianti; inquinamento chimico e marino legato ad attività industriali, agricole e urbane. Questi processi sono analizzati all'interno della cornice teorica dell'Anthropocene, epoca in cui l'impronta dell'uomo sulla Terra è divenuta una forza geologica dominante, come testimoniato da sette segni distintivi: esplosioni nucleari, combustibili fossili, impronta geologica, fertilizzanti, riscaldamento globale, inquinamento chimico e nuovi materiali. Per affrontare tali sfide, l'INGV mette a disposizione un insieme di tecniche multidisciplinari: monitoraggio sismico e vulcanico, telerilevamento, fotogrammetria, rilievi geofisici, sistemi innovativi come lo Smart Rainfall System (SRS) per la gestione del rischio idrogeologico e la piattaforma OS-IS per il monitoraggio integrato dello stato del mare. L'approccio proposto non si limita alla raccolta di dati, ma mira a fornire strumenti previsionali utili alle istituzioni e alla protezione civile per la



riduzione della vulnerabilità e l'aumento della resilienza territoriale.

Il lavoro presentato sottolinea la necessità di integrare la ricerca scientifica con le politiche di pianificazione e gestione del territorio, affinché le conoscenze prodotte possano tradursi in azioni concrete di mitigazione e adattamento. La sicurezza delle comunità locali e la tutela degli ecosistemi passano attraverso un impegno condiviso, capace di affrontare i rischi non come eventi isolati, ma come componenti di un sistema complesso e interconnesso. In questa prospettiva, il caso del territorio ibleo assume un valore paradigmatico per la comprensione dei rischi ambientali nell'epoca dell'Antropocene.

Introduzione

Il contesto di Ragusa e dell'altopiano ibleo mostra una lunga storia di interazioni tra dinamiche naturali e sviluppo antropico. L'urbanizzazione, le attività agricole e le infrastrutture turistiche hanno accentuato l'esposizione della popolazione agli eventi estremi. Allo stesso tempo, questo territorio conserva un patrimonio geologico e ambientale unico, che ne fa un laboratorio privilegiato per lo studio dei rischi multi-pericolo.

Il sistema territoriale Ibleo, con la sua complessità geologica, geomorfologica e socioeconomica, è esposto a una pluralità di rischi naturali e antropici. La gestione integrata di tali rischi richiede approcci multidisciplinari, capaci di coniugare osservazioni geofisiche, monitoraggio ambientale e innovazione tecnologica.

L'analisi che segue si inserisce nel quadro delle attività di ricerca e monitoraggio dell'INGV – Dipartimento Ambiente, e intende offrire una panoramica delle principali criticità del territorio ibleo nel contesto più ampio dell'Antropocene, l'epoca in cui le attività umane costituiscono il principale fattore di trasformazione ambientale. L'Antropocene e i suoi segni sul territorio
Nel sistema ibleo, i segni dell'Antropocene si manifestano in modo evidente: le variazioni del regime idrico influenzano la stabilità dei versanti; l'uso intensivo dei suoli riduce la resilienza degli ecosistemi; le emissioni e i contaminanti industriali incidono sugli equilibri chimici delle acque sotterranee e superficiali. In questo quadro, la dimensione locale riflette processi globali, rendendo necessario uno sguardo comparativo con altri territori mediterranei.

La letteratura scientifica individua almeno sette “segni” che testimoniano l'ingresso in una nuova era geologica dominata dall'uomo: esplosioni atomiche, uso massiccio di combustibili fossili, impronta geologica delle attività antropiche, impiego dei fertilizzanti, riscaldamento globale, inquinamento chimico e diffusione di nuovi materiali. Nel contesto ibleo, molti di questi fattori si manifestano con particolare evidenza: incremento delle temperature medie, desertificazione dei suoli, pressione antropica sulle coste e modifiche profonde degli equilibri ecosistemici.

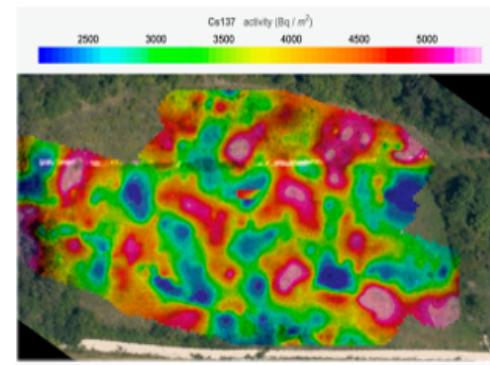
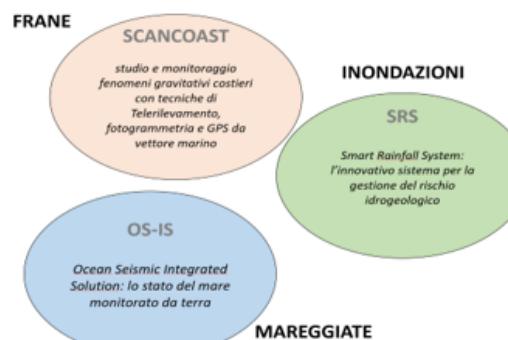


Fig. 2 - Mappa radiometrica Cs-137 (fallout di Chernobyl) in Europa meridionale

Rischi naturali e antropici nel territorio ibleo

Oltre ai rischi descritti, si devono considerare gli effetti cumulativi e concatenati dei diversi fenomeni: ad esempio, frane che si innescano a seguito di alluvioni, o mareggiate che accentuano l'erosione costiera. L'approccio sistematico è quindi indispensabile.

Fig. 3 - Dinamiche dei fenomeni franosi costieri e marini



Frane e instabilità dei versanti

Il paesaggio ibleo è caratterizzato da morfologie complesse che lo rendono suscettibile a fenomeni franosi, spesso innescati da eventi meteorici estremi. Le frane possono propagarsi fino all'ambiente marino, con implicazioni per la sicurezza delle infrastrutture costiere e degli insediamenti umani.

Il paesaggio ibleo è caratterizzato da morfologie complesse che lo rendono suscettibile a fenomeni franosi, spesso innescati da eventi meteorici estremi. Le frane possono propagarsi fino all'ambiente marino, con implicazioni per la sicurezza delle infrastrutture costiere e degli insediamenti umani.

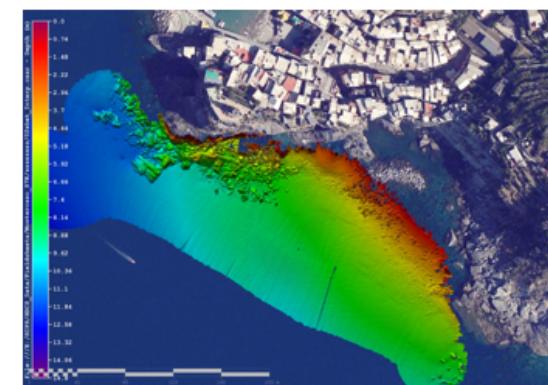


Figura 4 – Instabilità dei versanti - I fenomeni franosi si originano prevalentemente nella parte alta della costa, possono arrivare fino al mare e propagarsi anche in ambiente sottomarino. È necessario monitorare sia la parte subaerea che quella marina sotto costa.

Inondazioni e mareggiate

Le piane costiere del Mediterraneo, incluse quelle ragusane, sono particolarmente vulnerabili all'innalzamento del livello marino e all'aumento della frequenza e intensità delle mareggiate. Proiezioni al 2100 indicano estese superfici a rischio sommersione, con conseguenze ~~socioeconomiche~~ rilevanti.

Erosione costiera e inquinamento marino

L'erosione dei litorali, aggravata da interventi antropici e da dinamiche climatiche globali, ~~comporta~~ una progressiva perdita di suolo costiero. Contestualmente, l'inquinamento marino, sia di origine chimica sia legato a rifiuti solidi e microplastiche, minaccia gli ecosistemi e la salute pubblica.

Tecniche e strumenti per il monitoraggio e la prevenzione

Un aspetto fondamentale è la capacità di integrare dati provenienti da fonti differenti in sistemi informativi territoriali (GIS) e piattaforme di early warning. Le sinergie tra osservazioni satellitari, rilievi sul campo e modellistica numerica consentono di elaborare scenari previsionali più accurati. Inoltre, la collaborazione con enti locali e protezione civile è cruciale per garantire che i dati scientifici siano tradotti in azioni operative.

Il Dipartimento Ambiente dell'INGV ~~mette in campo~~ un ampio spettro di tecnologie per lo studio e la mitigazione dei rischi ambientali:



Figure 5-7 Attività di monitoraggio

- Rilevamenti geofisici (mappe radiometriche, magnetiche e gravitazionali) per la caratterizzazione del territorio;
- Telerilevamento e fotogrammetria per il monitoraggio dei fenomeni gravitativi costieri (progetto SCANCOAST);
- Smart Rainfall System (SRS), sistema innovativo per la gestione del rischio idrogeologico;
- Ocean Seismic Integrated Solution (OS-IS), per il monitoraggio dello stato del mare da terra.

Prospettive e sfide future

Il futuro richiederà lo sviluppo di strategie di adattamento che coniughino soluzioni basate sulla natura (Nature-Based Solutions) con innovazioni tecnologiche. Ad esempio, la riforestazione e la gestione sostenibile delle acque possono mitigare i rischi idrogeologici, mentre infrastrutture resilienti possono ridurre la vulnerabilità delle comunità costiere.

La domanda centrale è: dove ci porteranno erosione costiera, inquinamento marino, riscaldamento globale, desertificazione e innalzamento del livello marino? Il territorio ibleo rappresenta un laboratorio naturale in cui sperimentare approcci innovativi alla mitigazione e adattamento ai rischi, con l'obiettivo di coniugare sicurezza ambientale, sviluppo sostenibile e resilienza delle comunità locali.

Conclusioni

La consapevolezza dei rischi e l'adozione di strategie basate su solide basi scientifiche sono condizioni imprescindibili per garantire la



Fig. 8 – Sicilia orientale da satellite, analisi territoriale degli impatti antropici e inquinamento
Sistema marino-costiero

sicurezza del sistema territoriale Ibleo. In questo quadro, l'INGV offre competenze, risorse strumentali e capacità di ricerca multidisciplinare al servizio della collettività, con una missione chiara: contribuire alla salvaguardia dell'“astronave Terra” e dei suoi 8 miliardi di passeggeri.

RELATORI



Francesco Venerando Mantegna

Direttore Generale di MARIS-Monitoraggio Ambientale e Ricerca Innovativa Strategica - Architetto, esperto di Pianificazione territoriale e ambientale

- Esperto tecnico scientifico del Ministero dell'Università e della Ricerca (PON-Programma Operativo Nazionale)
- Membro senior del Consiglio Scientifico dell'ISPRA-Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale
- Ha presieduto il Comitato Istituzionale per la Sorveglianza Sismica e Vulcanica della Sicilia e Isole minori (APQ Presidenza del Consiglio dei Ministri-Dpc, Presidenza della Regione Siciliana, Presidenza dell'INGV) che ha realizzato 210 stazioni di monitoraggio sismico e geochimico. Ha presieduto anche l'antecedente Sistema POSEIDON (Sicilia Orientale).
- Già membro del Comitato Paritetico STATO-REGIONE per la rimodulazione dei fondi della L.433/91 per la ricostruzione delle zone colpite dal terremoto del 1990 nella Sicilia orientale
- E' stato Esperto della Presidenza della Regione Siciliana per un decennio e ha coordinato il Comitato Regionale della Protezione Civile, organo di legge presieduto dal Presidente della Regione
- Ha diretto la progettazione di infrastrutture di ricerca e programmi di gestione ambientale e prevenzione dei rischi naturali e antropici
- Ha condotto diverse campagne di ecologia marina e studi nel sistema costiero ibleo, coinvolgendo Università e Centri di ricerca (Fondaz. Mediterranea).
- Docente in numerosi master post-laurea su Remote sensing, Tecnologie satellitari (costellazione Copernicus), SIT, Marine pollution.
- Presidente dell'Associazione e Gruppo internazionale di lavoro "Conferenza Mediterranea-Comen", ove dirige i Colloqui Mediterranei a cui prendono parte numerosi scienziati, ricercatori, esponenti del mondo culturale dell'area Mediterranea.

GOVERNO DEL TERRITORIO MANAGEMENT STRATEGICO E SUPPORTO SCIENTIFICO

Autore: **Francesco Venerando Mantegna**
Direttore generale di MARIS Ricerca, Esperto scientifico del Ministero dell'Università e della Ricerca (PON), Membro senior del Consiglio scientifico dell'ISPRA.

Abstract

The territory of the province of Ragusa, extreme edge of the Italian peninsula in the Mediterranean, is affected by various risk scenarios, starting from the highest seismic danger of the national territory, due to the system of active Hyblean-Maltese faults capable of generating great earthquakes, such as the devastating one of 1693 (7.3 Richter), the strongest that occurred in Italy. This scenario requires a regulatory review aimed at the safety of populations and risk prevention, with particular attention to historic centers and interface areas with urban expansions, where the rebuilding took place with the same criteria as the cataclysm era. In addition, the Hyblean territory is penalized by forms of pollution of anthropogenic origin, especially by plastics, determined by the vast area intended for greenhouses (6000 hectares) to the shoreline, without respecting the bond of the 300meter state bracket. This gigantic plastic carpet contributes significantly to the dispersion in the sea of tons of residues and the progressive transformation into microplastics (from the 60s) which through the fish reaches man, with serious health risks. Another problem is determined by the overflowing of the aquifers for the need for irrigation, which generated the saline intrusion in most of

the Hyblean coastal system, with the consequent environmental impacts on agricultural soils and crops. The INGV-seminar has produced precise design indications for the realization of an integrated system of monitoring risks and environmental impacts.

Riassunto

Il territorio della provincia di Ragusa, estremo lembo della penisola italiana nel Mediterraneo, è interessato da vari scenari di rischio, a partire dalla più alta pericolosità sismica del territorio nazionale, dovuta al sistema di faglie attive ibleo-maltese capaci di generare grandi terremoti, come quello devastante del 1693 (7.3 Richter), il più forte verificatosi in Italia. Questo scenario impone una revisione normativa mirata alla sicurezza delle popolazioni e alla prevenzione del rischio, con particolare attenzione ai centri storici e alle zone di interfaccia con le espansioni urbane, ove la riedificazione è avvenuta con gli stessi criteri dell'epoca del cataclisma. Un tema di criticità particolare è anche quello dei costoni rocciosi instabili che interessano notevoli frange urbane (Modica). Inoltre, il territorio ibleo è penalizzato da forme di inquinamento di origine antropica, specie da materie plastiche, determinato dalla vasta area destinata a serre (6000 ettari) fin sulla battigia, senza rispettare il vincolo della fascia demaniale di 300 metri. Questo gigantesco tappeto di plastica contribuisce in maniera significativa alla dispersione in mare di tonnellate di residui e alla progressiva trasformazione in microplastiche (dagli anni 60) che attraverso il pescato giunge all'uomo, con gravi rischi per la salute. A questo si aggiunge l'inquinamento petrolifero causato dall'intenso traffico navale nel Canale di Malta antistante la

costa ragusana e dalle numerose piattaforme petrolifere lungo la costa meridionale siciliana. Un altro problema è determinato dal sovrasfruttamento delle falde acquifere per le necessità di irrigazione, che ha generato l'intrusione salina in buona parte del sistema costiero ibleo, con i conseguenti impatti ambientali sui suoli agricoli e sulle colture. Il Seminario di studi INGV ha prodotto precise indicazioni progettuali per la realizzazione di un sistema integrato di monitoraggio dei rischi e degli impatti ambientali.

Gli scenari e le criticità di riferimento

1. Centri storici, rischio sismico e riforma normativa urbanistica

Sul monitoraggio scientifico e la prevenzione del rischio sismico rimando alla relazione di Domenico Patanè, Dirigente di ricerca INGV dell'Osservatorio Etneo di Catania, con la proposta dell'OSU-RG Osservatorio Sismico Urbano, data l'elevata esposizione al rischio di grandi terremoti dell'area iblea.

Mi preme affrontare la questione sotto il profilo della sicurezza abitativa nei Centri storici della Sicilia e della sua parte orientale più in particolare, alla luce dei devastanti terremoti storici.

Assistiamo, infatti, alla contraddizione tra ~~normativa~~ urbanistica, normativa antisismica e prevenzione di protezione civile, come fossero ambiti distinti ancorché riguardanti la stessa materia, cioè gli insediamenti urbani e la qualità abitativa.

In urbanistica, il Centro storico è individuato nella parte di più antica formazione di una città, la cui origine risalga ad almeno un secolo,

sottoponendolo ad una tutela speciale per la conservazione delle sue testimonianze storiche, artistiche e ambientali. Viene identificato come "zona omogenea A" nel Piano regolatore, riconoscendolo come un patrimonio culturale con il suo tessuto urbano originario di pregio. La sua tutela è sancita da leggi e decreti, come il DM 1444/68, che ne definiscono le caratteristiche e le norme edilizie.

Ogni intervento edilizio richiede l'autorizzazione della Soprintendenza, che ne valuta la compatibilità. Cambi di destinazione d'uso e interventi di modifica della volumetria o la sagoma degli edifici richiedono l'approvazione della Soprintendenza, perché si tratta di beni culturali d'insieme.

Orbene, se da una parte è pienamente condivisibile l'intento di mantenere i valori storici, culturali, architettonici e artistici del nucleo più antico di una città, dall'altra vediamo una inammissibile dicotomia rispetto al bene superiore della sicurezza abitativa, cioè della prevenzione e della salvaguardia della vita umana. Il Centro storico non è un museo, è anzitutto una comunità di cittadini che lo abitano, i quali hanno diritto alle condizioni di sicurezza che nel tempo hanno determinato nuovi standard, grazie alle conoscenze scientifiche e all'evolversi delle tecnologie costruttive e impiantistiche.

La contraddizione palese sta nella teorizzazione della rigida conservazione del patrimonio edilizio, ignorando del tutto l'esposizione al rischio sismico e ad altri scenari di rischio naturale che caratterizzano i luoghi. Un criterio del tutto incoerente rispetto alla realtà storica degli impatti dei grandi terremoti sul tessuto urbano, con lo stravolgimento dell'assetto socioeconomico di intere regioni.

Contraddizione ancor più evidente, nel tempo attuale, rispetto agli studi che hanno condotto alla mappatura dei rischi e quindi della vulnerabilità degli insediamenti urbani.

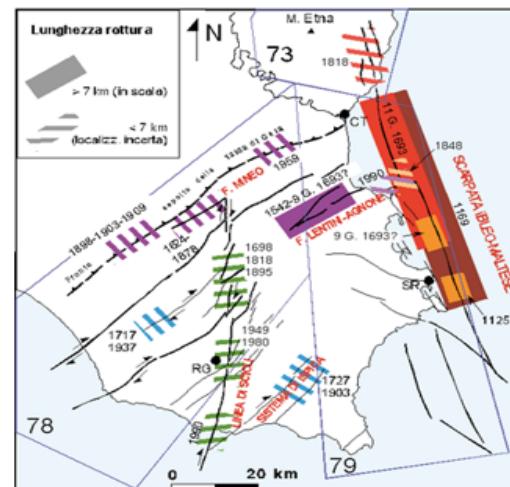


Fig. 1 – Sistema della famiglia Ibleo-Maltese

Ragusa Ibla, ricostruita dopo il cataclisma del 1693 con i materiali e le tecniche costruttive di quell'epoca, come tutti gli altri centri del Val di Noto e di tutta la Sicilia orientale, da Siracusa a Catania a Messina, è l'esempio emblematico della incoerenza normativa che assegna priorità alla conservazione fisica del costruito e non alla sicurezza abitativa.

Va ben evidenziato che il ripetersi di un forte evento sismico come quello del 1693, tutt'altro che impensabile sotto il profilo geologico, causerebbe una situazione in tutto analoga a quel tragico avvenimento, con l'aggravante di una perdita maggiore di vite umane a seguito del forte

incremento demografico dopo oltre tre secoli. Allora sorge spontanea la domanda se un criterio di conservazione edilizia ispirato alla musealizzazione possa essere accettato dalla cultura contemporanea più razionalmente collegata al tema della sicurezza.

Lungi da me negare la tutela del patrimonio storico urbano, la mia posizione è anzi mirata alla effettiva salvaguardia dei valori architettonici e urbanistici dei Centri storici, mantenendo intatti i volumi, le tipologie, le altezze, le coperture al tetto e ogni altra connotazione legata alla tradizione culturale identitaria. Ma per ottenerne questo risultato va consentita la demolizione e ricostruzione delle abitazioni (fotografando l'esistente), sia per renderle sicure sotto il profilo antismistico in virtù della normativa dedicata, sia per garantire una qualità abitativa allineata al modello contemporaneo. Non farlo significherebbe persistere in una stagnazione culturale destinata purtroppo a naufragare dinanzi alla realtà geologica di zone territoriali fortemente esposte al rischio sismico.

Se da una parte vanno mantenuti gli interventi di restauro e risanamento conservativo, con il consolidamento, il ripristino e il rinnovo degli elementi costitutivi del patrimonio monumentale-artistico, dall'altra va del tutto rivista la regolamentazione dell'edilizia abitativa diffusa e coinvolta in processi irreversibili di degrado e fatiscenza, obiettivo che si ottiene soltanto con la demolizione integrale e la ricostruzione, nel pieno rispetto dei caratteri esteriori originari. Non è ammissibile la sostanziale discriminante tra l'edilizia antisismica riconducibile alla legge 64/1974 e i successivi aggiornamenti normativi, tra cui le Norme Tecniche per le Costruzioni.

(NTC) 2018 e quella “storica” con l’esclusione di quest’ultima dal diritto alla sicurezza abitativa. E sarebbe altrettanto discriminatoria l’eccezione riedificativa per taluni edifici di pubblica utilità come ad esempio le scuole, fortemente degradati, negando lo stesso principio all’edilizia “povera” che costituisce la gran parte dei Centri storici.



Fig. 2 – Ragusa Ibla

E’ quindi auspicabile una revisione normativa riguardante i Centri storici, partendo dalle significative differenze nell’esposizione al rischio sismico. E’ paradossale l’allineamento normativo della conservazione edilizia tra un borgo storico della Sardegna (regione a bassissima sismicità in quanto blocco continentale stabile da 15 milioni di anni (non coinvolta nella placca tettonica attiva che genera terremoti) e un Centro storico come Ibla, Siracusa, Catania e Messina e tutti i paesi delle rispettive province.

Ecco perché tengo ad evidenziare che il Seminario di studi vada inteso come l’avvio di una nuova fase di stretta collaborazione tra la comunità scientifica e le Istituzioni locali

(Regione, Libero Consorzio Comunale, Comuni della provincia ragusana, Protezione civile).

2. Inquinamento petrolifero

Il sistema marino-costiero della Sicilia sud-orientale è interessato da forti impatti ambientali determinati dalla ricerca petrolifera con numerose piattaforme di coltivazione dei giacimenti, dagli impianti petrolchimici di Augusta-Priolo e in particolare dall’intenso traffico navale delle petroliere. Com’è noto, in Sicilia ricadono 4 SIS-Siti di Interesse Nazionale: Biancavilla, Gela, Milazzo, Priolo; siti nei quali è stata accertata un’alterazione delle caratteristiche qualitative delle matrici ambientali suolo, sottosuolo e acque sotterranee, tale da rappresentare un rischio per la salute umana. Gli interventi di bonifica e ripristino ambientale, tuttora in corso, sono attribuiti per legge al MASE, all’ISPRA e all’ARPA Sicilia.

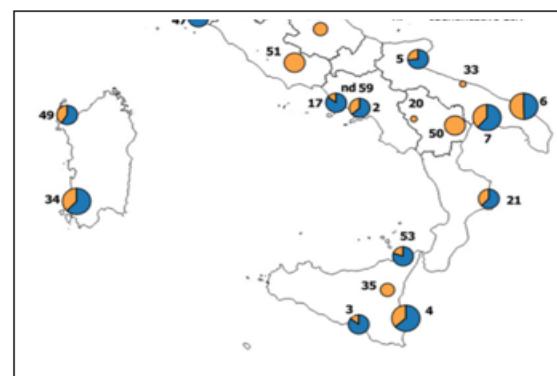


Fig. 4 – SIN dell’Italia meridionale e isole (ISPRA)

A partire dagli anni 60 le coste italiane e quelle meridionali in particolare, sono state oggetto di veri e propri assalti al patrimonio ambientale, con gravi impatti anche sulla salute umana e ~~sottraendo~~ alle comunità insediate grandi potenzialità di sviluppo economico legate alla salvaguardia e valorizzazione economica dell’ambiente costiero e marino di appartenenza.

Inoltre, la costa iblea meridionale subisce da ormai mezzo secolo l’impatto del traffico petrolifero, che, specie nel periodo antecedente alla legge 29/9/1980, n. 662, alla legge n. 979 del 31/12/1982 meglio nota come “legge sulla difesa del mare” e alle Direttive UE, ha causato il deposito di una coltre nera sui fondali del Canale di Sicilia, oltre ai numerosi spiaggiamenti di idrocarburi che hanno danneggiato le praterie di Posidonia oceanica, già sottoposte agli effetti di regressione determinati dalle reti a strascico dei pescherecci.

Il costo economico di tali impatti è rilevante, sia sotto il profilo del mancato sviluppo connesso alla caratterizzazione originaria dei territori, sia sotto il profilo socioeconomico, turistico e occupazionale.

Ulteriore scenario di criticità è determinato dalle recenti concessioni di 2 grandi parchi eolici flottanti appena fuori dal mare territoriale ragusano, caratterizzato da una piattaforma continentale con batimetriche molto contenute (max -100/120 mt). L’estensione di queste concessioni supera i 30mila ettari di superficie marina offshore, con i conseguenti impatti indicati nella fig. 5.



Fig. 5 – Impatti dell'attività petrolifera, petrolchimica e dei parchi eolici flottanti

3. Posidonia oceanica, mappatura e tutela

Le praterie di *Posidonia oceanica* sono fondamentali per le risorse ittiche del Mediterraneo, fungendo da "asili nido" per molte specie ittiche in quanto offrono riparo, sostanze nutrienti e zone di riproduzione. Le praterie di *Posidonia*, inoltre, sono importanti per la produzione di ossigeno e la limitazione dei processi di erosione costiera.

E' quindi importante la mappatura delle praterie di *Posidonia oceanica*, pianta marina fondamentale per gli ecosistemi costieri.

I dati raccolti dai satelliti, combinati con altre fonti di osservazione, forniscono informazioni utili per monitorare lo stato di salute delle praterie e per valutare gli impatti dei cambiamenti ambientali, sia quelli generati dalla crisi climatica che quelli di origine antropica, purtroppo presenti nella nostra zona di mare. La protezione dei Posidonieti lungo la costa ragusana passa dalla preliminare attività di mappatura che consenta la comparazione dello stato di conservazione areale nel tempo. Per essere concreto, affermo la piena disponibilità di MARIS Ricerca per la realizzazione di tale mappatura, facendo ricorso sia ad immagini multispettrali satellitari ad altissima risoluzione,

che a ricognizioni da droni e da ispezioni in situ.

I satelliti della rete Copernicus (particolarmente il Sentinel-2) possono essere utilizzati al fine di acquisire i dati rilevati, da combinare con altre fonti di osservazione, così da monitorare lo stato di salute delle praterie e poter valutare gli impatti nel tempo.

E' anche possibile la fotogrammetria, con l'impiego di un apparato fotogrammetrico e l'applicazione di una scala adeguata, in relazione all'ottica e alla quota di volo. In ogni caso è basilare la condizione di luce solare, per cui va programmato un calendario dei sorvoli con le ore adatte e l'assenza di foschie o nebbie, al fine di ottenere la migliore penetrazione della luce, evitando riflessi sulla superficie marina. Saranno stabiliti dei punti di riferimento a terra con metodi topografici che possano servire per il giusto orientamento e la restituzione in scala.

Su questo fronte sarà altrettanto importante seguire l'andamento delle attività dell'ISPRA con il progetto PNRR MER "A16 – A18" per la mappatura degli habitat costieri italiani, disponibili attraverso la piattaforma cartografica WebGIS Virgeo. Il progetto si inserisce nell'ambito della Missione 2 del PNRR, dedicata alla "Rivoluzione verde e transizione ecologica", in particolare nell'Investimento 3.5 che mira al ripristino e alla protezione dei fondali e degli habitat marini. L'obiettivo principale è la mappatura dettagliata delle praterie di *Posidonia oceanica* e *Cymodocea nodosa*, habitat marini fondamentali per la biodiversità. Il progetto utilizza tecnologie avanzate come immagini satellitari ad altissima risoluzione, sensori LiDAR topografici e bati-metrici, oltre a veicoli autonomi (AUV), per creare una banca dati ad

alta risoluzione utile alla gestione e tutela degli ecosistemi marino-costieri. Ma tali attività richiederanno anni, ecco perché la mia proposta di avviare in tempi brevi l'operazione.

Attualmente, infatti, i dati preliminari visibili su Virgeo riguardano la regione Liguria, dove è stato acquisito un dataset completo di immagini satellitari dalla costellazione Maxar, con risoluzioni multispettrali di 1,85 metri per il satellite WorldView-2 e 1,24 metri per il WorldView-3. Queste immagini sono state elaborate mediante algoritmi avanzati per determinare la riflettività e mappare le praterie di *Posidonia oceanica*. Inoltre, grazie all'innovativa tecnica di *Satellite Derived Bathymetry*, è stata ricavata la batimetria della costa ligure.

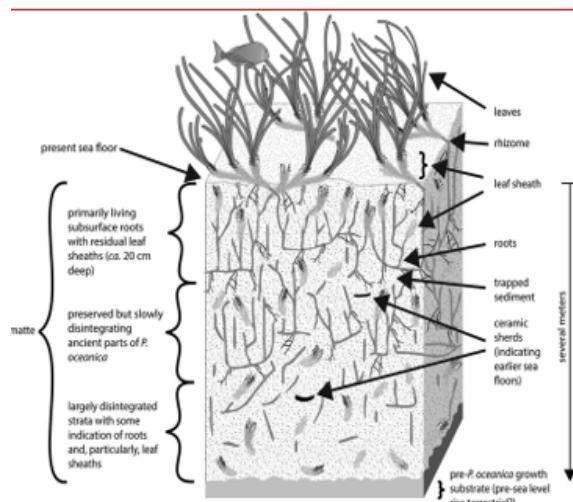


Fig.6 – *Posidonia oceanica*, schema grafico

4. Inquinamento marino da materie plastiche, ripristino ambientale per la valorizzazione del territorio

La serricoltura nella cosiddetta “*fascia trasformata*” della costa ragusana occupa circa 6mila ettari e dai primi anni 60 ad oggi ha realizzato un importante modello di sviluppo economico, primo per entità in Sicilia e tra i più significativi in ambito nazionale. E' quindi indispensabile per la società iblea mantenere questo livello di produzione.

Occorre, tuttavia, affrontare e superare le criticità connesse al comparto in un lasso di tempo ragionevole.

In primo luogo, va liberata l'area dei 300metri dalla battigia, occupata illegalmente da serre, situazione che rappresenta il maggiore impatto ambientale con la dispersione di residuati plasticci lungo la costa e soprattutto in mare. Si stima che non meno di 35 tonn. di plastiche (scarti e residui di teli plastici di copertura delle serre e altri materiali delle pratiche agricole) siano stati dispersi nel tratto di mare tra la foce del Dirillo e Scoglitti a partire dagli anni 60 ed una quantità di poco inferiore è stata rilasciata nella restante fascia costiera ragusana. Un contributo rilevante all'inquinamento del Mediterraneo, ove si riversano annualmente 570mila tonnellate di plastica, rendendolo uno dei mari più inquinati del mondo.

La restituzione al demanio, e quindi alla comunità ragusana, della fascia costiera in atto occupata da serre, comporterebbe il ripristino naturale di 2.500.000 mq. di litorali con pregevoli

aspetti importanti della corretta destinazione per lo sviluppo sostenibile del turismo, considerate le particolari connotazioni fisiche, morfologiche, meteomarine e del paesaggio costiero.

Sul piano della valorizzazione naturalistica, va programmata una estensione dell'area protetta demaniale forestale “*Pineta di Randello*” di almeno tre volte, amplificando la sua importanza in ambito sovranazionale per il turismo naturalistico.

Tale prospettiva si integra con un nuovo **Piano di valorizzazione della costa ragusana**, anche attraverso il sostegno della Regione Siciliana e l'integrazione nel **PPR-Piano Paesaggistico Regionale**.

La Pineta è già considerata tra le più belle spiagge d'Italia ed è entrata a far parte dei luoghi del FAI, già inserita nella Guida blu 2014 del Touring Club. La flora presente nella riserva è costituita da un bosco di pini di diverse varietà oltre ad altre essenze arboree sia endemiche che di importazione.

Fra le specie presenti si ricordano la quercia spinosa, il leccio, il lentisco, l'eucaliptus, il mirto, il cipresso e altre specie della macchia mediterranea. Nell'area vicina alla Riserva si trovano alcune necropoli del Parco Archeologico di Kamarina, fondata agli inizi del sec. VI a. C. (598 a. C. – 597 a.C.) dagli antichi greci dorici siracusani alla foce del fiume Ippari.



Fig. 7 – Zona costiera ragusana tra la foce del Dirillo e Scoglitti

4.1 Microplastiche e impatto sulla salute

Le microplastiche sono costituite da particelle di plastica inferiori a 5 millimetri di diametro. Studi recenti hanno evidenziato un possibile collegamento tra microplastiche e malattie cardiovascolari, infiammazioni e alterazioni del microbiota intestinale. Le microplastiche possono essere ingerite attraverso l'acqua, il cibo e l'aria, e

possono accumularsi in vari organi del corpo umano. Nel sistema costiero marino ibleo, i residui plastici della serricoltura impiantata agli inizi degli anni 60 hanno compiuto un ciclo temporale di trasformazione dei residui rilasciati in mare in microplastiche, in gran parte depositate nelle praterie di Posidonia oceanica, ove trovano nutrimento diverse specie ittiche.

Altre quantità vengono trasportate al largo e ingerite dai pesci e la loro presenza è stata accertata in varie specie, sia pelagiche che demersali, inclusi pesci di interesse commerciale. Alcuni studi hanno identificato le microplastiche nel tratto digerente, nei muscoli e in altre parti commestibili di gamberi, acciughe, naselli, triglie, sogliole, sugarelli, orate, tonno e pesce spada.

Grazie alla tecnologia micro-Fourier Transform Interferometer (μ FTIR), sono state scoperte oltre 1.800 particelle di microplastiche nei campioni analizzati. Le fibre plastiche risultano essere le più comuni, seguite da frammenti e pellicole. I dati raccolti indicano che i pesci contengono tra 0,02 e 1,08 particelle per grammo, mentre i gamberetti rosa hanno una media di 10,68 particelle per grammo nei campioni freschi.

Uno dei risultati più preoccupanti della ricerca sulle microplastiche è la loro presenza nel flusso sanguigno. Fino a pochi anni fa, l'idea che delle particelle di plastica potessero circolare nel sangue sembrava remota, ma le attuali ricerche lo hanno confermato. Tra queste, uno studio pionieristico dell'Università di Amsterdam ha dimostrato per la prima volta che le microplastiche possono essere effettivamente rilevate nel sangue umano. L'analisi dei campioni prelevati da volontari sani ha individuato la presenza di particelle plastiche in circa l'80% dei soggetti esaminati, tra cui PET, polistirene e polietilene.

4.2 La dispersione delle microplastiche nel Mediterraneo e nei mari italiani

Come riportato da Science in “*Seafloor microplastic hotspots controlled by deep-sea circulation*” (2020), “una quota considerevole, stimata al 13,5% del bilancio plastico marino si presenta sotto forma di microplastiche: frammenti (<1 mm) e fibre che hanno origine da particelle artificiali o derivano da tessuti sintetici o dalla scomposizione di detriti plastici più grandi. È stato dimostrato che i detriti plastici più grandi possono essere associati a densi flussi di fondo canyon nel Mediterraneo. A causa delle loro piccole dimensioni, le microplastiche vengono ingerite da organismi a tutti i livelli trofici, consentendo il trasferimento di sostanze tossiche nocive. Pertanto, determinare dove si accumulano le microplastiche e la loro disponibilità per l’incorporazione nella catena alimentare è fondamentale per comprendere le minacce agli ecosistemi dei fondali marini profondi di importanza globale”.

Da qui l’importanza di avviare campagne di monitoraggio lungo il mare costiero della Sicilia sud-orientale, a partire dalla costa ragusana, con particolare attenzione alla presenza di microplastiche nelle praterie di Posidonia oceanica e nell’ecosistema bentonico più in generale.

4.3 Le microplastiche nel sangue sollevano numerose preoccupazioni sulla salute

- Dal flusso sanguigno, le microplastiche possono trasferirsi e potenzialmente accumularsi

ovunque, nel fegato, nei reni e persino nel cervello;

- Interazione cellulare: le microplastiche possono interagire e alterare la normale funzione delle cellule nel sangue, stimolando risposte immunitarie e possibili infiammazioni;
- Rischio cardiovascolare: se le microplastiche si depositano nei vasi sanguigni, possono contribuire a processi patologici o alla formazione di placche aterosclerotiche.

Le microplastiche non si limitano a circolare nel sangue, possono accumularsi negli organi e interferire con diversi sistemi biologici.

Microplastiche nell'apparato respiratorio: le nanoplastiche possono raggiungere gli alveoli polmonari, mentre le microplastiche possono depositarsi nelle vie respiratorie superiori, sollevando preoccupazioni per potenziali effetti infiammatori e danni ai tessuti polmonari (soprattutto nei soggetti esposti ad elevati livelli di inquinamento atmosferico).

Microplastiche nel sistema gastrointestinale ed epatico: l’ingestione di microplastiche attraverso il cibo e l’acqua può favorire l’accumulo nel tratto gastrointestinale, provocando alterazioni nella flora batterica, danni alle pareti e alle barriere protettive; depositandosi nel fegato, causano anomalie del metabolismo epatico e dei processi di detossificazione.

Microplastiche nel sistema nervoso: possono attraversare la barriera ematoencefalica e raggiungere il cervello, potenzialmente inducendo un aumento dello stress ossidativo, della infiammazione nelle cellule neuronali e inter-

ferenze nella comunicazione sinaptica, aumentando il rischio di neurodegenerazione.

Microplastiche e sistema immunitario: l’esposizione alle microplastiche può scaturire sia l’iperattivazione del sistema immunitario, causa di possibili infiammazioni croniche, sia un indebolimento della risposta immunitaria, rendendo l’organismo più vulnerabile.

Microplastiche e salute riproduttiva: sussistono diversi rischi legati alla fertilità, alla gravidanza e allo sviluppo infantile, tra cui danni alla qualità dello sperma e degli ovociti, e la possibile esposizione fetale durante la gravidanza o attraverso il latte materno. (rif. *NanoSystem*).

*Nella Fig. 8 (da Science in “*Seafloor microplastic hotspots controlled by deep-sea circulation*” (2020) –*

4.4 Fonti di plastica e circolazione oceanica nel Mar Tirreno

Nella figura 8 tratta da Science, si possono vedere le fonti di plastica nel Tirreno.

(A) Ubicazione dell’area di studio nel Mar Tirreno, annotata con fonti di plastica terrestri (~80%) e marittime (pesca e navigazione; ~20%) pubblicate. Le fonti di input terrestri sono mostrate come cerchi e rombi. Il traffico navale e le rotte di navigazione sono mostrati come linee tratteggiate. I flussi di detriti plastici modellati (e quindi dedotti) sul fondale del Mediterraneo sono illustrati con ombreggiature colorate. Il periodo modellato è stato il 2013-2017, ipotizzando un assestamento verticale dalle distribuzioni superficiali utilizzando un modello lagrangiano

bidimensionale. I valori dedotti nel Mar Tirreno settentrionale sono <7 g km^{-2} giorno $^{-1}$, valori bassi rispetto a quelli del più ampio Mar Mediterraneo. (B) Distribuzione globale dei sistemi deposizionali di contourite documentati mostrati in rosso. (C) Batimetria del fondale marino del Mar Tirreno settentrionale annotata con fonti di input plastico terrestre documentate, caratteristiche fisiografiche denominate e campioni di sedimenti del fondale marino analizzati in questo studio (colorato in base al dominio fisiografico). Il modello regionale delle correnti termoaline in prossimità del fondale marino è mostrato da frecce bianche. La deriva lungo la costa sulle piattaforme continentali corsa e sarda è mostrata da una freccia tratteggiata gialla. La linea X-X' mostra la posizione della linea sismica multicanale in (D), che illustra le caratteristiche deposizionali che si sono sviluppate a seguito delle correnti di fondo, tra cui la formazione di spessi cumuli di detriti e l'inibizione dell'accumulo di sedimenti nei fossati.

4.5 La combustione dei residui plastici della serricoltura

La combustione dei residui plastici in agricoltura è un'attività illegale e pericolosa che costituisce reato di smaltimento illecito di rifiuti e "getto pericoloso di cose", sanzionata dal Codice penale e dal Codice dell'Ambiente (DL 152/2006), con pene detentive e multe seve-re. Questa pratica rilascia nell'aria sostanze tossiche come diossine, furani e idrocarburi policiclici aromatici (IPA), oltre a particolato (PM10), che danneggiano gravemente la salute umana

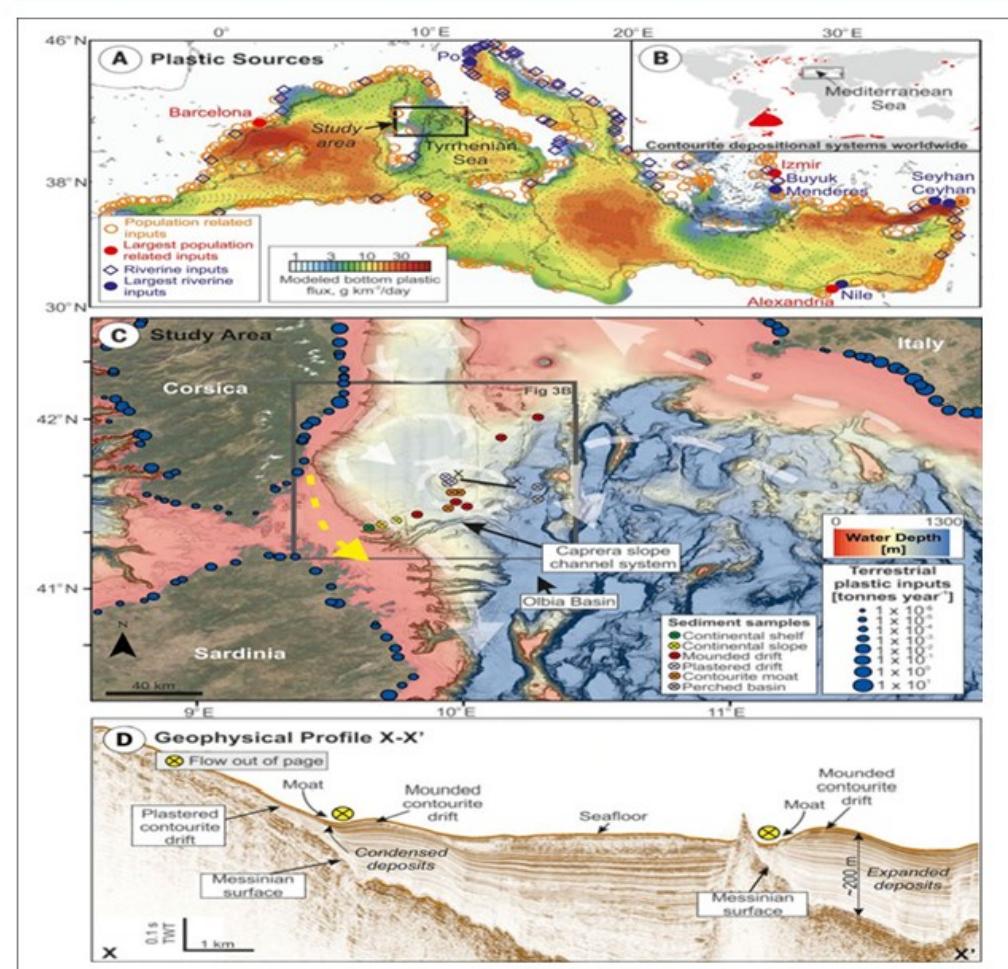


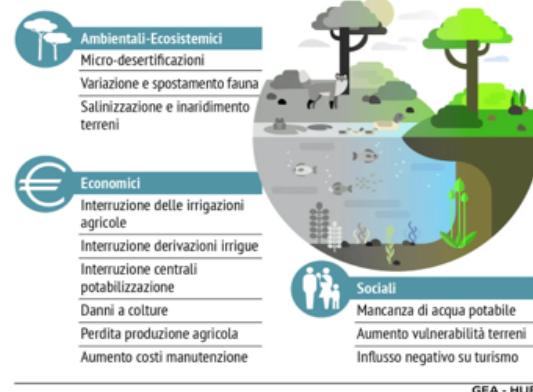
Fig. 8

Riferimenti normativi:

- 1 D.P.C.M. 28 marzo 1983 – appendice 2
- 2 DM 60 del 02/04/02
- 3 ISO10498:2004 e DM 60 del 02/04/02
- 4 Secondo la ISO 7996:1985 DM 60 DEL 02/04/02
- 5 ISO 13964:1998 e d.lgs. 183 del 21/05/04
- 6 Allegato ii, appendice 6 del decreto del presidente del Consiglio dei ministri 28 marzo 1983 e DM 60 DEL 02/04/02
- 7 D.P.C.M. 30/83 - appendice 10.11
- 8 DM 25 novembre 1994 mediante analizzatore automatico – rivelatore PID

5. INTRUSIONE SALINA NEGLI ACQUIFERI COSTIERI

Sotto il profilo tecnologico del monitoraggio rimando alla successiva relazione con proposta progettuale elaborata dal dr. Sergio Gurrieri dirigente di ricerca INGV della Sezione Geochimica di Palermo. Sugli impatti dell'inquinamento salino sulle colture, rimando alla successiva relazione del dr. Antonio Megna.

LE CONSEGUENZE DEL CUNEO SALINO**6. PREVENZIONE E SICUREZZA DELLE POPOLAZIONI, SISTEMI DI ALLERTA IN LOCALE**

Andando oltre il rischio sismico, il territorio provinciale ragusano è esposto ad ulteriori e differenziate tipologie di rischio in ciascuno dei 12 Comuni, ove si pone la questione della prevenzione e della sicurezza attraverso adeguati sistemi di allerta in modalità locale.

6.1 Rischio alluvionale

Fenomeni intensi caratterizzati da venti forti, piogge torrenziali e onde anomale, causano inondazioni, danni alle infrastrutture e pericolo per i cittadini residenti nelle zone maggiormente esposte. I comuni della provincia di Ragusa esposti a rischio alluvionale sono: Acate, Chiaramonte Gulfi, Comiso, Giarratana, Ispica, Modica, Monterosso Almo, Pozzallo, Ragusa, Santa Croce Camerina, Scicli e Vittoria. Al paragrafo successivo 6.3 si descrive lo schema di monitoraggio e allertamento in modalità locale (parti di popolazione esposta) in relazione alle soglie di monitoraggio degli eventi meteo estremi e delle piene di attraversamento nei centri abitati.

6.2 Rischio instabilità costoni rocciosi e latomie ragusane

Modica in particolare è esposta al rischio dei costoni rocciosi instabili in pieno centro abitato. A Ragusa si osserva la situazione del rischio localizzato di collassamento nelle latomie sottostanti parti edificate, di cui descrive la situazione il dr. Rosario Ruggieri nel suo intervento. In questi scenari si rende indispensabile un monitoraggio con le tecniche e le migliori strumentazioni disponibili, ai fini

della prevenzione e della sicurezza delle parti abitate.

6.3 Il sistema di allertamento in locale di MARIS Ricerca

Lo schema progettuale MARIS e al. del sistema di allertamento in locale, è impostato sull'impianto di una rete sensoristica dedicata a specifici scenari di rischio alluvionale, determinato dal verificarsi di eventi meteo estremi, piene torrentizie ed esondazioni, oltre a quello relativo al distacco di massi rocciosi dai costoni instabili. Tali scenari riguardano l'esposizione di significative porzioni della popolazione locale al pericolo, talché si rende opportuna la realizzazione di sistemi di allerta specificamente dedicati e caratterizzati dalla capacità di avvisare in tempo reale i cittadini, allorquando la rete di monitoraggio registra il superamento delle soglie di sicurezza preimpostate sui dati storici e statistici dei singoli scenari. In tale evenienza il sistema lancia l'allerta a tutti i cellulari e personal computer delle persone esposte e preventivamente censite, oltre alla comunicazione di protezione civile sulle reti tv locali.



Fig.12 – Piena torrentizia su Via Papa Giovanni XXIII a Comiso (Torrente Cucchi)



Fig.13 – Modica, costoni rocciosi

Lo schema progettuale che segue traccia i percorsi programmati da MARIS per la finalizzazione allo scenario di rischio locale.

Passaggi sostanziali sono quelli del censimento della parte di popolazione direttamente esposta, con tutti i recapiti (cellulari, posta elettronica, indirizzo via e numero civico); oltre al perfezionamento delle modalità dei messaggi di allerta e del loro lancio in conformità al sistema di monitoraggio dedicato, con i vari gestori di rete.

Il lancio dei messaggi di allerta comprende anche le previsioni e le localizzazioni dei punti di riunione negli scenari emergenziali, attraverso i Piani comunali di Protezione civile.

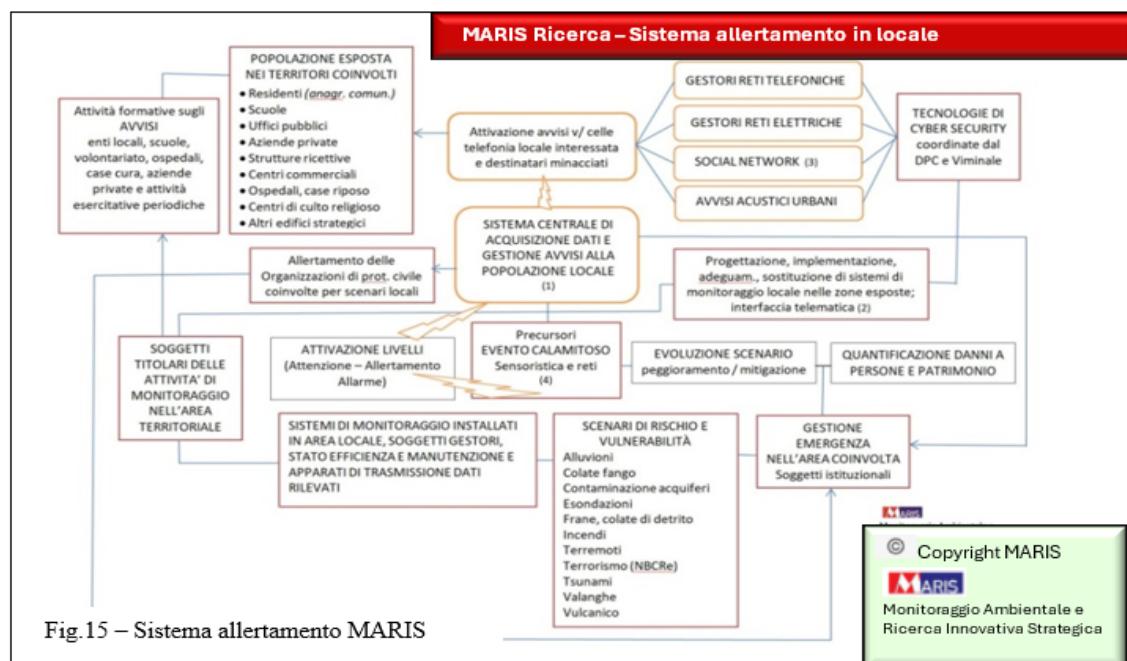


Fig.15 – Sistema allertamento MARIS

6.4 Sistema di monitoraggio dello stato del mare OSIS-Ocean Seismic Integrated System

OS-IS® brevetto registrato da AGI, INGV e MARIS consiste nell'impiego di accelerometri ad alta sensibilità posizionati in terraferma, che mediante l'applicazione di opportuni algoritmi, permettono la determinazione di parametri caratteristici del moto ondoso (altezza significativa Hs, periodo di picco Tp e periodo medio Tm), su base microsismica.

Il metodo OS-IS® è uno dei primi casi di installazioni di stazioni microsismiche il cui scopo principale è quello della misura del moto ondoso piuttosto che il monitoraggio sismico.

Tra i principali vantaggi di questo sistema vi è il fatto che l'intero apparato funziona a terra, cioè senza la necessità di utilizzare strumentazione in mare. Il sistema si basa sul fenomeno fisico noto, per cui le onde di mare si comportano come una sorgente di rumore microsismico dovuto alla variazione di pressione esercitata sul fondale marino. Il metodo OS-IS® si concentra precisamente sul segnale microsismico la cui forma spettrale è identica a quella delle onde del mare ma a frequenza doppia; questo fenomeno prende il nome di "picco secondario" il cui periodo varia da 2 a 10 secondi e la frequenza oscilla tra 0,1 e 0,5 Hz.

Il sistema OS-IS® si rivela particolarmente utile nell'informazione in tempo reale ai navigatori, con particolare riguardo ai diportisti, sulle condizioni dello stato del mare in avvicinamento alle strutture portuali o in uscita dalle stesse, al fine di gestire in sicurezza la navigazione. L'adozione del sistema è sicuramente utile in

corrispondenza delle strutture portuali di Pozzallo, Marina di Ragusa, Scoglitti.

Applicazioni:

OSIS può essere utilizzato per una varietà di scopi, tra cui:

- Sicurezza della navigazione: fornire informazioni sulle onde in tempo reale a navi e imbarcazioni.
- Gestione costiera: monitorare l'attività delle onde per la protezione costiera e la pianificazione delle infrastrutture.
- Ricerca: studiare il comportamento delle onde e il loro impatto sulle aree costiere.
- Operazioni di recupero: fornire dati ambientali per le consulenze di recupero.

Economico e sostenibile:

OSIS offre un'alternativa più sostenibile e potenzialmente economica ai tradizionali metodi di monitoraggio delle onde.

Nessuna autorizzazione richiesta:

In molti casi, OSIS può essere implementato senza richiedere autorizzazioni specifiche da parte delle autorità.



Fig. 16 - OS-IS® - Sistema acquisizione dati



Fig. 17 – Porto turistico di M-na di Ragusa



Fig. 18 - Porto di Pozzallo (parte diporto)



Fig. 19 – Porto di Scoglitti

7. GOVERNO DEL TERRITORIO

Il sistema di management avanzato DSS-Decision Support System con applicazioni di AI

Tutti gli scenari affrontati dal Seminario di studi INGV a Ragusa, con i lavori da me coordinati, convergono sull'impiego di un sistema di governance territoriale basato sul DSS-Decision Support System, al fine di porre le amministrazioni locali nelle migliori condizioni di gestire la programmazione degli interventi, sulla base dell'acquisizione ed elaborazione dei dati. Anche in questo settore MARIS Ricerca è particolarmente impegnata.

Tutti i dati relativi al monitoraggio delle criticità ambientali, delle scelte di pianificazione territoriale e urbanistica, delle infrastrutture, dei servizi di pubblica utilità e delle relazioni di protezione civile rientranti nelle competenze del Libero Consorzio e dei singoli Comuni, possono essere inseriti nel sistema che sarà in grado di simulare le variazioni e le comparazioni di scenario in funzione degli interventi programmati.

Considerata la dimensione demografica della provincia di Ragusa, il Sistema DSS-AI proposto può essere centralizzato nella struttura del Libero Consorzio Comunale, con le parti dedicate ai singoli Comuni (le cui strutture tecniche avranno accesso al sistema) e la parte generale afferente alle attività del LCCR.

Oltre all'impianto della infrastruttura di sistema, sono previsti un periodo di almeno un anno per l'acquisizione dei dati di base e di quelli provenienti dal monitoraggio multidisciplinare, e del successivo semestre per la formazione del personale tecnico.

Di tutta evidenza l'importanza della partecipazione e della responsabilizzazione delle popolazioni attraverso la libera consultazione del portale internet dedicato del DSS, acquisendo ogni segnalazione inerente le criticità ambientali, gli abusi, l'abbandono di rifiuti, le anomalie dei servizi pubblici, le perdite di acquedotto ed ogni altra anomalia.

La chiave essenziale del DSS-AI è quella di accelerare le valutazioni e i processi decisionali della pubblica amministrazione per una gestione razionale del territorio, l'ottimizzazione dei servizi di pubblica utilità, la manutenzione e la qualità delle infrastrutture.

SCHEMA PROGETTUALE DEL DSS-DECISION SUPPORT SYSTEM CON APPLICAZIONI DI A.I.

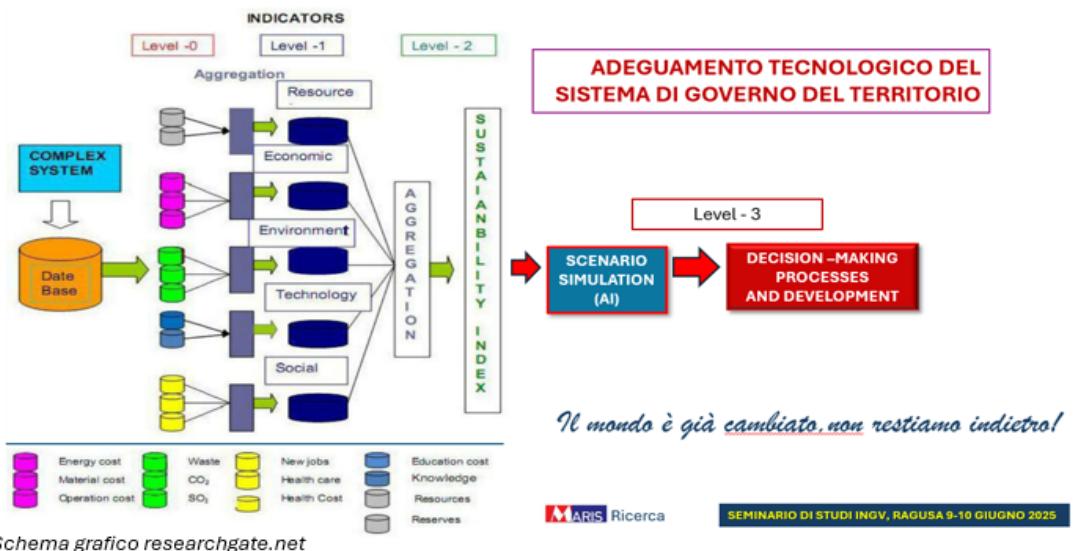


Fig. 20 – Schema grafico del DSS-AI in Thétis

A titolo esemplificativo riporto sopra uno degli schemi di DSS-AI del **Progetto pilota strategico Thétis** dedicato alla riqualificazione e rigenerazione del sistema costiero tirrenico orientale della Sicilia e delle Isole Eolie, in fase di esame alla Regione Siciliana, capofila del progetto l'INGV con UNIME, CNR e MARIS, del quale sono coordinatore.

7.1 L'esempio del Progetto pilota strategico Thétis

Il progetto Thétis è dedicato all'implementazione del monitoraggio dei rischi naturali e antropici, alla rigenerazione dei valori patrimoniali

1. IMOS-INTEGRATED MONITORING SYSTEM costituito dalla riqualificazione e integrazione del sistema di monitoraggio dei rischi naturali e antropogenici, implementato con sistemi di allertamento per gli interventi di protezione civile e la gestione emergenziale; oltre che da una rete di monitoraggio della qualità ambientale, con particolare riguardo agli ecosistemi marini e costieri.
 2. DSS-DECISION SUPPORT SYSTEM – Sistema avanzato con applicazioni di intelligenza artificiale in grado di fornire il corretto orientamento decisionale sulle priorità di pianificazione degli interventi nel territorio da parte degli enti locali coinvolti ed un management interattivo per la corretta gestione delle risorse ambientali, della sicurezza, della pianificazione territoriale e del decoro urbano nei Comuni costieri.
 3. RIGENERAZIONE TERRITORIALE, FORMAZIONE D'IMPRESA E SISTEMA TURISTICO – Rigenerezione delle infrastrutture e dei servizi, potenziamento dell'armatura culturale dei territori, decoro urbano e paesaggio, gestione dei flussi nell'arco annuale, qualificazione dell'offerta turistica competitiva nei circuiti internazionali e realizzazione di un portale interattivo multilingue, valorizzazione delle risorse culturali, delle tradizioni identitarie, delle produzioni tipiche, definizione strategica degli itinerari territoriali nelle forme differenziate della domanda turistica, incentivazione del diporto nautico. Linee

guida e azioni di contenimento degli impatti del turismo massivo stagionale.

Attività formative mirate alla cultura d’impresa nel territorio e in relazione alle sue potenzialità, all’armatura culturale, alla gestione di iniziative interconnesse alla produzione tipica locale e al supporto logistico-gestionale dell’offerta turistica, finalizzate all’occupazione giovanile.

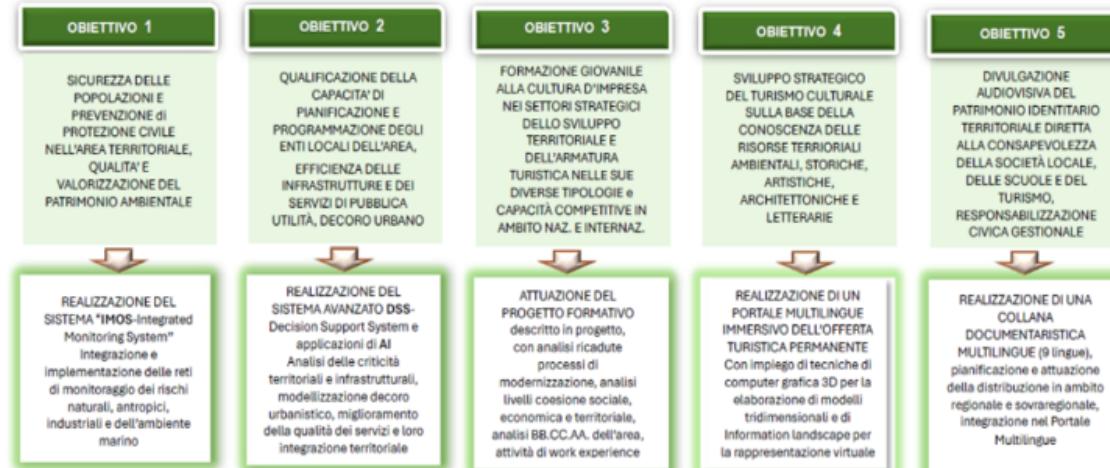
Progettazione esecutiva di una Rete elicotteristica per il trasporto passeggeri e l’impegno in scenari di soccorso e di emergenza, con base a Milazzo ed Elistazioni in tutte le Isole Eolie.

3. RISORSE IDRICHE ED ENERGETICHE – Analisi scientifica delle criticità infrastrutturali nell’approvvigionamento idrico, individuazione e progettazione di soluzioni tecnologiche innovative mirate alla completa autonomia delle Isole Eolie; progettazione di impianti sperimentali di produzione energetica da fonti rinnovabili non impattanti con il patrimonio ambientale e paesaggistico (Geotermico a media-alta entalpia, Ondoso marino).

5. DIVULGAZIONE DEL PATRIMONIO IDENTITARIO E PARTECIPAZIONE RESPONSABILE
Attività formative dedicate all’impiego del DSS nell’area della pubblica amministrazione (personale tecnico EE.LL. e Organi regionali).

PROGETTO THÉTIS (Capofila INGV – Compagine UNIME-CNR-MARIS)

A) Schema di base degli obiettivi progettuali e delle azioni



B) Schema degli interventi infrastrutturali (progettazione e proposta realizzazione)

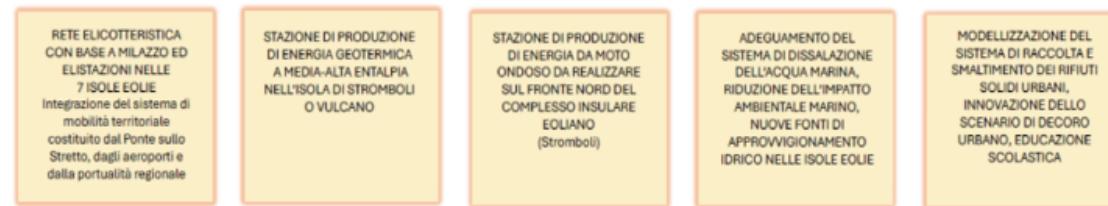


Fig.21 – Obiettivi e azioni d’intervento (Progetto Thétis).

POLITICHE TERRITORIALI TRA RECUPERO, VALORIZZAZIONE DELLE RISORSE E SICUREZZA DELLE POPOLAZIONI

INNOVAZIONE

La vulnerabilità di gran parte del territorio italiano rispetto ai maggiori scenari di rischio naturale, quali i terremoti, le alluvioni, le esondazioni, le frane e i processi di desertificazione e tropicalizzazione del Mediterraneo, sotto l'influenza della crisi climatica in atto, impone una revisione delle normative e dei metodi di pianificazione territoriale, ambientale e urbanistica, tenendo conto delle sostanziali differenze di scala, di posizione geografica e di esposizione al rischio. Una speciale attenzione va rivolta alla regolamentazione urbanistica dei centri storici delle città siciliane, partendo proprio dal caso Ragusa e Comuni della provincia.

I centri storici della Sicilia orientale

I centri storici delle città siciliane ricadenti nella parte orientale dell'isola, esposta al più elevato rischio sismico in ambito nazionale, non possono essere equiparati a quelli ricadenti in zone molto meno vulnerabili. Per fare un esempio concreto, città come Messina, Catania, Siracusa, Ragusa e tutti i paesi delle rispettive province che subirono gli effetti distruttivi dei grandi terremoti del 1693 e del 1908, ove la ricostruzione avvenne con gli stessi criteri edificatori del tempo, non possono essere vincolati a normative di conservazione ordinaria. Va data priorità alla sicurezza degli abitanti, quindi alla possibilità di demolire e ricostruire integralmente gli edifici secondo i criteri antisismici, pur nel rispetto delle tipologie

storiche esistenti. A maggior ragione tale considerazione vale per gli edifici strategici e le scuole. E' quindi auspicabile che la Regione Siciliana si faccia promotrice di una riforma normativa su urbanistica sulla base della reale esposizione al

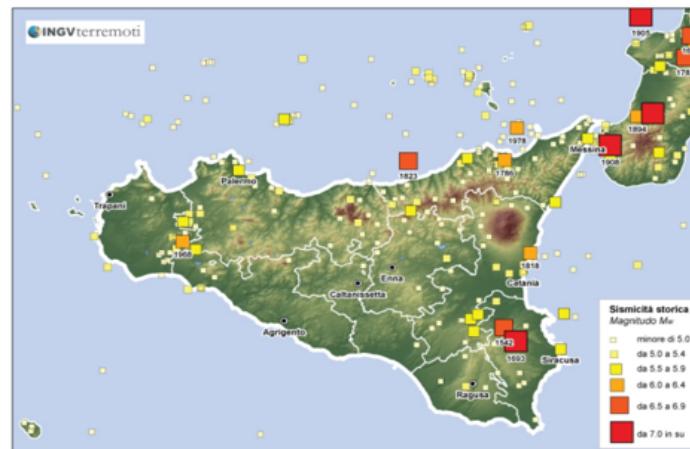


Fig. 22 – INGV – Sismicità storica della Sicilia

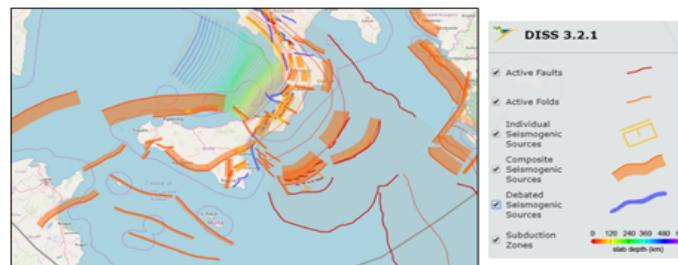


Fig. 23 – INGV - Mappa delle sorgenti sismogenetiche potenzialmente attive

rischio sismico. Ciò in piena coerenza con le mappe dedicate dall'INGV.

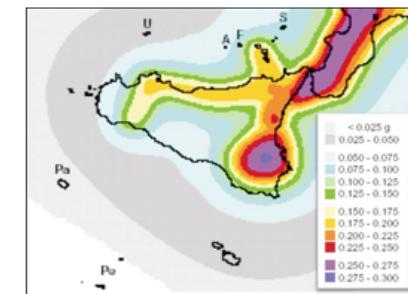


Fig. 24 – Dettaglio della mappa di pericolosità sismica per la regione Sicilia (da Gruppo di Lavoro MPS, 2004). Si noti che l'intero settore orientale dell'isola è esposto a valori significativi di scuotimento (accelerazione max attesa, PGA)

La Pianificazione urbanistica integrata con la previsione, prevenzione dei rischi e protezione civile. Indispensabile un percorso innovativo al medio-lungo termine.

Sul percorso delle conoscenze acquisite, delle esperienze condotte negli ultimi decenni e dell'innovazione, gli strumenti urbanistici e di regolamentazione edilizia vanno riconsiderati anche in una logica di coerenza sociale. Non possono essere concepiti esclusivamente secondo geometrie spaziali cartografiche di derivazione storica, a cui assegnare i vincoli edificatori.

Va introdotta indispensabilmente l'esposizione al rischio degli scenari locali, come la vulnerabilità sismica, le piene alluvionali e le esondazioni, i costoni instabili, le porzioni soggette a frane.

Al riguardo dell'attività pianificatoria, i piani comunali di protezione civile non possono essere strumenti avulsi e paralleli, formali adempimenti come spesso accade. Al contrario, le zone urbane riconosciute quali esposte al maggiore rischio e quindi rientranti negli scenari emergenziali di protezione civile, vanno delimitate nei piani regolatori e opportunamente regolamentate. In questa direzione va anche considerata la potenziale adattabilità della rete viaria urbana in relazione alla gestione degli scenari emergenziali e di evacuazione in caso di calamità. Situazioni che possono apparire utopiche a prima vista, specie sotto il profilo economico-finanziario, ma che vanno affrontate comunque in sede di programmazione al lungo termine.

Va quindi approfondito ogni aspetto di rischio per la sicurezza della popolazione, anche per quanto riguarda le infrastrutture e le reti tecnologiche,

specie quella elettrica e metanifera, che in caso di forte scuotimento sismico potrebbero generare incendi distruttivi.

Sarebbe irrazionale la rinuncia a questi processi innovativi, perpetuando una stagnazione delle realtà urbane di generazione in generazione.

Il recupero delle zone degradate e la loro valorizzazione economica

Il sistema territoriale ibrido va riconsiderato nella cultura politica e amministrativa locale quale complesso di risorse costituenti un dominio culturale dinamico costituito dai luoghi, dal loro stato di conservazione, dalle azioni di monitoraggio, dai servizi pubblici mirati alla valorizzazione economica del patrimonio. In sintesi, alla capacità di management territoriale.

Obiettivo abbastanza complesso nella realtà degli Enti locali oggi più che mai alle prese con i conti economici che impongono restrizioni. Tuttavia, la posta in gioco è tale da rendere ineludibile programmare scelte in grado di superare, nel tempo, i processi di abbandono e degrado, che aggraverebbero il disagio economico e in particolare le prospettive di sviluppo locale.

In questa direzione, il ruolo del **Libero Consorzio Comunale** è fondamentale al fine di orientare le amministrazioni locali verso scelte condivise in una pianificazione provinciale coordinata e finalizzata alla difesa del patrimonio culturale e ambientale identitario, in un percorso strategico che coinvolga gli attori diretti: i cittadini, le imprese, le professioni, i singoli amministratori pubblici.

Il punto di partenza di questo procedimento è abbastanza semplice, considerando la storia

locale e l'osservazione oggettiva del patrimonio di risorse. Si fa più complessa nell'impianto della gestione programmatica, nella individuazione degli interventi prioritari e dei risultati attesi, nella gestione amministrativa dei servizi dedicati.

Lo stimolo essenziale di questa strategia è quello dell'investimento nello sviluppo dell'economia locale. Tutte le statistiche di settore dimostrano che la gestione virtuosa del patrimonio culturale si traduce in ricchezza economica per le comunità locali coinvolte. Le molteplici tipologie attrattive del turismo, collegate alla qualità delle risorse territoriali e dei servizi, rappresentano in questo nostro paese una delle prospettive portanti dello sviluppo, data la consistenza del patrimonio culturale diffuso: la natura del paesaggio, la biodiversità, la storia e le tradizioni locali, le produzioni tipiche agroalimentari.

Questo processo diventa compensativo della carenza di altre risorse, specie nel campo energetico. L'immagine dell'Italia quale metà preferenziale del turismo internazionale è costituita dalle singole realtà locali dei Comuni e dalle ex Province, nella virtuosa e spontanea competizione per la valorizzazione delle rispettive risorse.

Nel mio ruolo di direttore di MARIS Ricerca ho assegnato uno spazio prioritario al tema della governance territoriale, che ritengo non solo strategico ma anche indispensabile per gli Enti locali.

Una delle situazioni più delicate, riguardo alla governance territoriale, è quella della crescente occupazione di territori (paesaggio, agricoltura) sotto ingannevoli forme di sviluppo che in realtà

si traducono ormai in obiettivi speculativi finanziari. Mi riferisco alla proliferazione degli impianti eolici e fotovoltaici che già in Sicilia hanno deturpato interi brani territoriali, sottraendoli all'originario assetto naturale e compromettendo le potenzialità di sviluppo. Il tema è talmente delicato da meritare proporzionali spazi di approfondimento e confronto.

Il sistema marino-costiero della nostra provincia è già esposto a queste nuove frontiere di sviluppo energetico che riducono la bellezza ambientale su cui va fondata una corretta strategia politica. Le aberranti situazioni invasive che osserviamo in Sardegna e in altre regioni italiane devono essere assunte come esempi di progressiva aggressione territoriale che sottrae spazi sempre più consistenti all'agricoltura, al paesaggio e alla stessa identità culturale, innescando fattori di inquinamento irreversibile nel tempo, in relazione alla durata prevedibile e alla dismissione degli impianti, con la rimozione e la bonifica dei siti.

Le concessioni di territori e ambiti marini alle aziende energetiche, per fare un concreto esempio, prevedono l'obbligo tassativo della bonifica ambientale per dismissione, con il versamento di una cauzione proporzionale alla dimensione dell'impianto? La logica del "mordi e fuggi" sotto la bandiera della produzione energetica va impedita.

Non meno grave è la questione delle concessioni in ambiente marino, nel mare d'altura antistante la costa ragusana, come ho evidenziato all'inizio di questo mio intervento. L'impatto ambientale dei grandi parchi eolici flottanti, oltre a rappresentare un fattore negativo sotto il profilo visuale e della navigazione, è critico per le risorse ittiche

e del pescato già di per sé in regressione per altre cause, a partire dall'intenso traffico navale petrolifero e commerciale, con i relativi apporti inquinanti.

Il litorale ragusano

Come ho già evidenziato, va data priorità al recupero del demanio marittimo nella parte occidentale della costa ragusana. A parte il grave impatto in tempi di inquinamento da residuati plastici, si tratta di una grave perdita sotto il profilo economico per la collettività, ben più rilevante rispetto alla produzione agricola abusivamente effettuata. E' il più grave fenomeno di sottrazione territoriale al processo di sviluppo, la cui persistenza da oltre mezzo secolo ci porta oggi a prendere coscienza e rilevare l'assenza di controlli e rimozioni forzate che le Istituzioni regionali competenti avrebbero dovuto garantire. Ora è giunto il momento di superare la passiva rassegnazione, sia della popolazione che del quadro politico e dirigente ragusano.

Quella consistente parte della nostra costa va riacquisita al patrimonio naturale originario, con una attenta pianificazione della sua valorizzazione socioeconomica e turistica. Alcuni passaggi che qui sinteticamente desidero evidenziare:

- Estensione della Riserva naturale di Randello (demanio forestale);
- Realizzazione di cortine alberate lungo il perimetro demaniale marittimo, da porre a carico dei legittimi proprietari dei suoli destinati alla serricoltura;
- Obbligo di sostituzione, in un termine assegnato, dei teli plastici di copertura delle

serre con le nuove tipologie di materiali rigidi resistenti (polycarbonato, vetro)

- Limitazione programmata di concessioni per stabilimenti balneari, fissando un limite invalicabile di superficie e i requisiti minimi d'impresa per l'assegnazione concessoria, a parte l'obbligo di garantire il libero accesso alla spiaggia;
- Istituzione di un servizio provinciale di vigilanza ambientale con il potenziamento dell'organico della Polizia provinciale;
- Manutenzione dell'alveo e delle sponde del Fiume Dirillo e degli arenili compresi tra la sua foce e Scoglitti, con il possibile affidamento a qualificate imprese locali;
- Rigenerazione del modello turistico e della sua offerta nei circuiti nazionali e sovranaziali, successivamente agli interventi di riqualificazione territoriale.

Analogo criterio va assunto per le altre parti del territorio costiero occupate abusivamente da serre.

La bellezza da riconquistare

La qualità delle acque marine costiere è un obiettivo di rilievo, con il superamento di talune criticità. Tanto più essenziale diventa l'azione di contenimento dell'inquinamento da materie plastiche, con una adeguata vigilanza soprattutto nelle zone di foce dei torrenti e nelle parti verso levante rispetto alla foce interessate dal trasporto solido litoraneo. Le situazioni da attenzionare:

- Marine litter, materie plastiche e depositi di rifiuti plastici sui litorali e nelle praterie di Posidonia oceanica, già in parte compromesse dalla pesca a strascico; con graduale accumulo di microplastiche;

- trasporto solido litoraneo di materiali inquinanti e sostanze contaminanti causato dai corsi d'acqua;
- immissione di scarichi fognari, ridotto funzionamento di impianti costieri di trattamento dei reflui, insufficiente estensione delle condotte sottomarine ai fini della biodepurazione (il mare costiero ragusano è caratterizzato da una batimetria molto ridotta; la piattaforma petrolifera Vega, a 12 miglia da Pozzallo poggia su una batimetria di appena 110 mt);
- spiaggiamento di idrocarburi causato da fuoruscite di petrolio e oli combustibili da navi cisterna, piattaforme petrolifere e da incidenti nelle pratiche di estrazione e trasporto;
- aumento delle specie marine aliene determinato dalla crisi climatica e dalla temperatura del Mediterraneo, specie nelle zone poco profonde, con impatto sulle specie ittiche e le risorse di pesca;
- abbandono volontario di rifiuti sugli arenili.

Scenario abbastanza complesso, in definitiva, che merita quell'azione di monito-raggio e di vigilanza più volte richiamata.

I brani dell'armatura culturale iblea

Si ricordano quelli più noti, ove programmare interventi di salvaguardia, integrazione di servizi di vigilanza e guida turistico-culturale:

- Percorso dell'Irminio da Ragusa Ibla fino alla Riserva Naturale Speciale Biologica Macchia Foresta dell'Irminio
- Lago di Santa Rosalia e percorsi escursionistici alle Cave Gria e Misericordia

- Cava del San Leonardo, da Ibla (S. Antonio Abate) fino a Ragusa alta (contrada Scassale)
- Cava dei Servi, in prossimità della frazione di San Giacomo Bellocozzo
- Vallata Santa Domenica e valorizzazione in parco urbano attrezzato
- Latomie di Cava Santa Domenica, Cava del Confalone e di Viale Sicilia (con gli accertamenti e le misure di contrasto al rischio di collassamenti – v. relazione R. Ruggieri)
- Giardini iblei di Ragusa Ibla e antico Portale di San Giorgio
- Percorso archeologico tra gli insediamenti dell'antica Età del Bronzo (Monte Raci, Ciavole, Monte Tabuto);
- Valle dell'Ippari e Riserva del Pino d'Aleppo (riqualificazione ambientale della zona di foce, l'antico *Lacus Camarinensis* (la "patria palude" ricordata da Pindaro e altri);
- Cammino dell'Antica Trasversale Sicula, da Chiaramonte Gulfi a Comiso e alle sue contrade storiche;
- Le Terme urbane di Diana a Comiso e i percorsi letterari (G. Bufalino), artistici (da S. Fiume ai contemporanei), monumentali (Castello Aragonese), naturalistico-paleontologici con l'importante Museo Civico di Storia Naturale;
- Parco della Forza di Ispica
- Parco archeologico di Camarina
- Pineta di Chiaramonte Gulfi, con ulteriore valorizzazione dell'Area attrezzata demaniale Arcibessi Mangiameli, a fronte dell'iniziativa del LCCR con la realizzazione dell'Istituto alberghiero
- Sistema dunale del litorale di Santa Maria del Focallo
- I siti naturalistici dichiarati "Siti di interesse geologico" ai sensi del D.A. 20 luglio 2016, e di prossima istituzione quali *Geositi* ai sensi della L.R. 25/2012:
 - Grotta Mastro Carmine (Comune di Giarratana);
 - Complesso delle Grotte del Salto e percorso Fiumara di Modica (Comune di Modica);
 - Cava Martorina (Modica);
 - Valle fluvicarsica del Prainito (Modica);
 - Valle fluvicarsica del Torrente Tellesimo (Modica);
 - Sistema delle Valli fluvicarsiche San Leonardo-Misericordia-Paradiso-Mastratello-Volpe (*elencazione in collaborazione con il dr. Rosario Ruggieri*)

A queste valenze geomorfologico-naturalistiche vanno aggiunti i siti di Archeologia industriale Miniere di asfalto di C. da Streppenosa e di C. da Tabuna, anch'essi siti di interesse geologico ai sensi del suddetto decreto assessoriale.

Un complesso di risorse perfettamente in grado di essere trasformato in una vera e propria **"armatura culturale integrata"** degli Iblei, da restituire alla piena consapevolezza della comunità iblea, pienamente fruibile nel corpo sociale e divulgata nelle scuole, oltre che proporla quale offerta turistica di rango nel panorama nazionale e sovranazionale. Offerta alla quale si aggiunge il consistente **patrimonio letterario, architettonico, monumentale e artistico** presente nei 12 Comuni.

In definitiva, un'operazione strategica che superi la frammentazione storica e una certa apatia per

disinformazione, trasformando questo complesso di risorse in una visione unitaria, sistemica e mirata allo sviluppo economico territoriale.

D'altro lato, questa impostazione è coerente con lo Schema di sviluppo dello spazio europeo, in riferimento al noto documento di orientamento delle politiche territoriali della UE, il quale “territorializza” i temi, gli impegni e le opzioni politiche per il raggiungimento di uno sviluppo “equilibrato e competitivo” dei paesi dell'Unione (cfr. European Commission, European Spatial Development Perspective Towards Balanced and Sustainable Development of the Territory of the European Union, Potsdam, 1999).

In questa direzione il Tavolo tecnico-scientifico proposto dal Seminario di studi al LCCR può diventare strumento di orientamento delle politiche territoriali.



Parco Archeologico della Forza, Ispica



Museo Archeologico di Camarina



Museo di Storia Naturale, Comiso



Lago di Santa Rosalia

RELATORI



Stefano Felice Branca

Direttore del Dipartimento Vulcani INGV

- Direttore dell'Osservatorio Etneo, INGV, Catania (2019-25)
- Dottore di ricerca in "Evoluzione geologica di orogeni di tipo mediterraneo" - XII Ciclo presso Dip. Scienze Geologiche-Università di Catania
- Specializzazione in Field Studies in Volcanology presso University of New Mexico, Department of Earth and Planetary Sciences, Albuquerque-Los Alamos National Laboratory (U.S.A)
- Responsabile dell'Unità Funzionale Vulcanologia e Geochimica dell'Osservatorio Etneo, INGV, Catania (2017-19)
- Responsabile della Linea di Attività V1 "Storia e struttura dei sistemi vulcanici" della Struttura Vulcani dell'INGV (2014-17)

Tra le sue attività di ricerca:

- Indagini geologiche e stratigrafiche dei depositi vulcanici dell'Etna e di Stromboli volte alla ricostruzione dell'attività eruttiva e alla definizione di un modello geologico-strutturale di funzionamento degli edifici vulcanici in relazione con l'assetto morfostrutturale del basamento sedimentario;
- Studio dei processi deformativi, dei meccanismi di intrusione magmatica e delle relazioni fra la dinamica dei vulcani siciliani e le strutture regionali;
- Ricostruzione crono-stratigrafica delle eruzioni dell'Etna finalizzata alla comprensione dello stile eruttivo del vulcano e allo studio della pericolosità;
- Attività di recupero, catalogazione e valorizzazione del patrimonio iconografico storico dei vulcani italiani.

L'OSSESSATORIO ETNEO INGV

Autore: **Stefano Branca**

Direttore dell'Osservatorio Etneo

Vi porgo anzitutto i saluti del **Presidente dell'INGV Fabio Florido** che mi ha delegato in quanto impossibilitato a presenziare per sopraggiunti impegni istituzionali. Da un'idea di Alfred Rittmann nel **1960** ad Helsinki, durante l'assemblea generale dell'Association Internationale de Vulcanologie nasce l'**Istituto Internazionale di Ricerche Vulcanologiche (IIRV)**. Nel **1968** questo istituto fu trasformato nel **Laboratorio Internazionale per le Ricerche Vulcanologiche (LIRV)** del Consiglio Nazionale delle Ricerche, sotto il patronato dell'UNESCO. Nel **1970** il LIRV diventò l'**Istituto Internazionale di Vulcanologia (IIV)**. Dall'inizio del XXI secolo l'IIV diventerà l'**Osservatorio Etneo dell'INGV**, che oggi rappresenta un punto di riferimento per le attività di ricerca, di monitoraggio e sorveglianza dei vulcani siciliani.



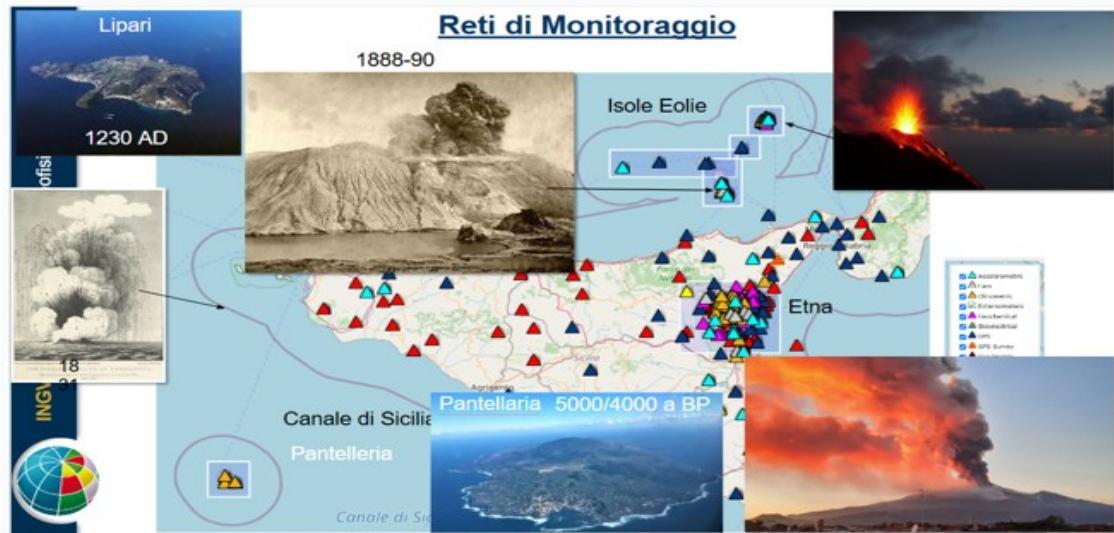
Luglio 1969, Da sx a dx: Santonocito, Romolo Romano (LIRV),
Violetta Gottini (UniCt), Alfred Rittmann, Letterio Villari (IIV),
Taffara (UniCt)



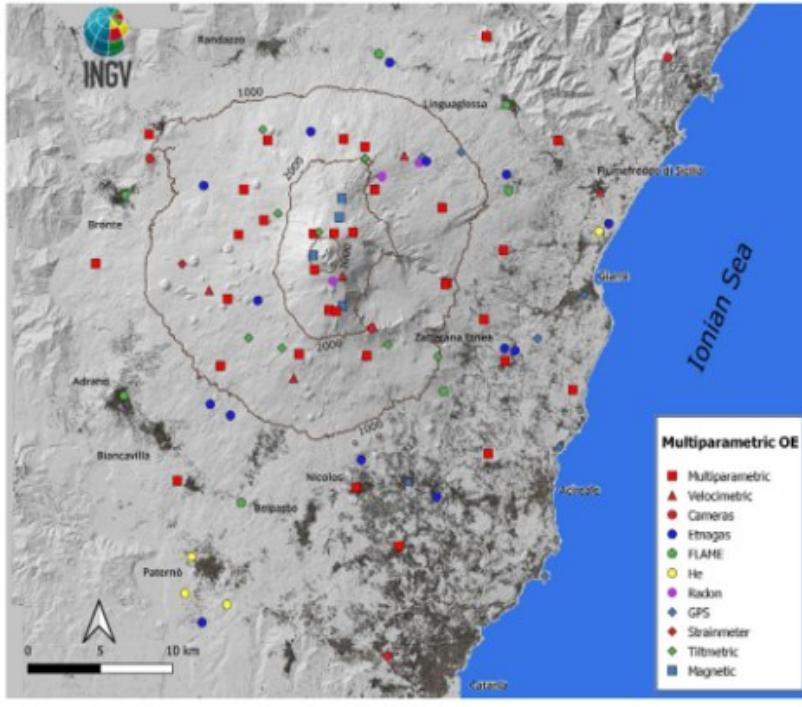
Alfred Rittmann (1893-1980)



L'Osservatorio Etneo (O.E.) INGV di Catania



Etna real-time rete di monitoraggio: 175 stazioni



Seismology

- volcanic tremor (amplitude, source location);
- Infrasonic Events (amplitude; source location);
- Daily earthquake occurrence rate and strain release;
- Earthquakes space\time distribution.

Ground Deformation

- GNSS permanent data;
- Tilt data;
- Strainmeter data;
- Gravimetry;
- Magnetic data
- InSAR.

Gas geochemistry

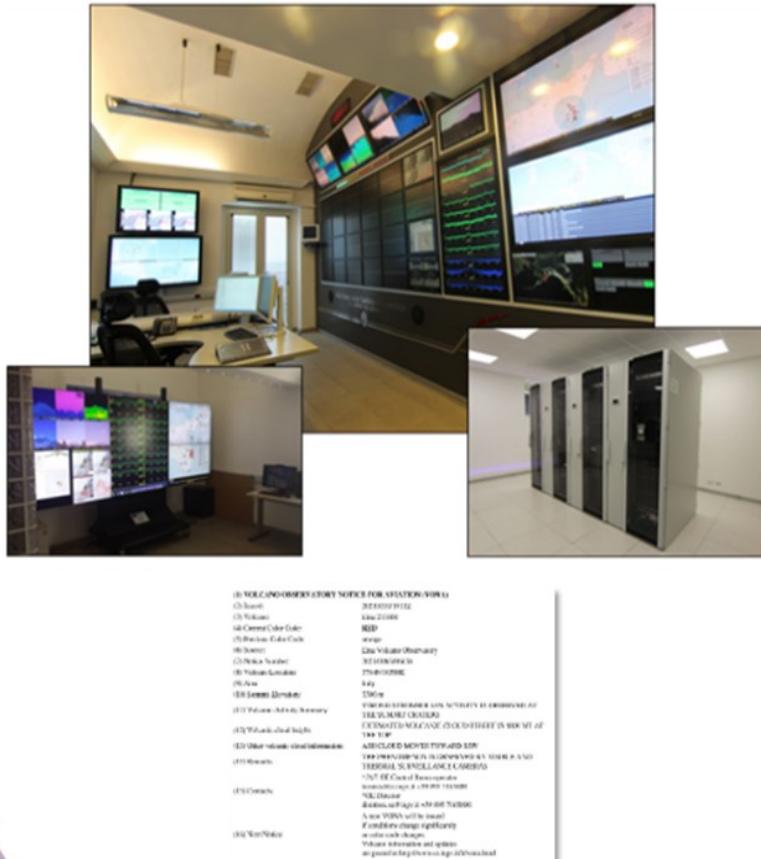
- $^3\text{He}/^4\text{He}$ isotope ratio (periodic);
- Soil CO₂ fluxes;
- SO₂ plume flux;
- HCl plume flux.

Volcanology

- volcanic clouds dispersion modelling;
- plume height retrieval;
- petrography, volcanic glass composition;
- Mapping of the erupted products;
- Thermal and visible video surveillance;
- DEM;
- mass estimation and spatial dispersion of tephra;
- satellite monitoring.



Sistema di sorveglianza vulcanica: Sala Operativa dell'Osservatorio Etneo



1. VOLCANO OBSERVATORY NOTICE FOR AVIATION (VONA)
(1) Source: 2021-03-24T00:00:00Z
(2) Volcano: Etna
(3) Current Color Code: RED
(4) Previous Color Code: GREEN
(5) Alert Level: Low Volcano Observatory
(6) Volcano Number: 37-00000000
(7) Volcano Location: 37.61000000, 15.18000000
(8) Alert: 0.4
(9) Alert Status: 2021-03-24T00:00:00Z
(10) Volcano Activity Summary: THE VOLCANO IS QUIETLY EJECTING GAS AND DUST. NO VOLCANIC ERUPTION IS OCCURRING.
(11) Estimated Volcanic Threat Level: 0
(12) Volcanic Alert Height: 1000
(13) Other relevant visual information: AIR-SEA GAS MOVES TOWARD SSW.
(14) Remarks: 1.000 METERS ABOVE THE VOLCANO ARE IN DORMANT STATE. NO VOLCANIC SUSTAINABLE EJECTION.
2. 0.1% DE GASEOUS EMISSIONS.
3. NO VOLCANIC ACTIVITY.
4. VOLCANO IS QUIETLY EJECTING GAS AND DUST.
5. NEW YORK CITY IS IN ALERT.
6. VOLCANO IS QUIETLY EJECTING GAS AND DUST.
7. VOLCANO IS QUIETLY EJECTING GAS AND DUST.
8. VOLCANO IS QUIETLY EJECTING GAS AND DUST.
9. VOLCANO IS QUIETLY EJECTING GAS AND DUST.
10. VOLCANO IS QUIETLY EJECTING GAS AND DUST.

VONA notifications

Volcano Observatory Notice for Aviation

Sala Operativa – Osservatorio Etneo

Tutti i segnali in tempo reale vengono acquisiti presso il CUAD.

Per la sorveglianza 24h/7 dei vulcani attivi siciliani vengono utilizzati dati provenienti da stazioni sismiche, infrasoniche, GNSS, telecamere.

I flussi di comunicazione, regolamentati nell'Allegato Tecnico della convenzione INGV-DPC, forniscono valutazione della pericolosità vulcanica finalizzate a pianificare strategie di mitigazione, da parte di DPC e DRPC Siciliano, per le comunità locali

Comunicati di Sala Operativa

Earthquake notification

Localizzazione EWITA
Evento sismico avvenuto il 2021-03-24 00:00:00Z (ore italiane) di magnitudo 3.8, profondità 5.0 km, 0.1 km a N di Vizzagrate (ET).

VEP/PGD incarrozzi
Terremoto: avvenuto in Etna area, regione Sicilia 2021-03-24 00:00:00Z (italian time) magnitudo 3.8, prof. 5.0 km, Cittadella (Reggio Calabria) 0.1 km a N di Vizzagrate (ET).

Dettagli

Dati sismici originari (Dati di origine sismica):
Data sismicità: 2021-03-24 00:00:00Z (ora italiana)
Data UTC: 2021-03-24 00:00:00Z (UTC)

Localizzazione (Localizzazione):
Long: 15.00000000 Lat: 37.81140000 Alt: 5.00000000

Protezione (Protezione): 0.1 km a N di Vizzagrate (ET)

Magnitude / Magnitude:
M: 3.8±0.2
Verifica / Verify:
Localizzazione: 0.1 km a N di Vizzagrate (ET)
Qualità / Quality:
Lat: 37.81140000 Long: 15.00000000

Localizzazione più vicina / Closest localities:

Capo	Provincia	Dist. sismica	Cap. sismica	Città	Municipality	Altitudine
Denia	CT	0.1 km	Tigadri	1090		
Denia	CT	0.1 km	Tigadri	1090		
Denia	CT	0.1 km	Al-Boragh	1026		
Denia	CT	0.1 km	Al-Sant'Antonio	1020		
Denia	CT	0.1 km	Pierce	1080		

Volcanic notification

2. Dipartimento Protezione Civile, Seta Direzione Isola
Email: isola.ingv@ingv.it
Tel: 0963-21-90-10
PEC: isola.ingv@pec.ingv.it
Email: isola.ingv@ingv.it
Tel: 0963-21-90-10
PEC: isola.ingv@pec.ingv.it

3. DPC - Regione Sicilia
Email: isola.ingv@pec.ingv.it
Tel: 0963-21-90-10
PEC: isola.ingv@pec.ingv.it

4. DPC - Regione Calabria
Email: isola.ingv@pec.ingv.it
Tel: 0963-21-90-10
PEC: isola.ingv@pec.ingv.it

5. Ufficio di Protezione Civile di Catania
Email: isola.ingv@pec.ingv.it
Tel: 0963-21-90-10

6. INGV Sala Operativa Roma
Email: isola.ingv@pec.ingv.it
Tel: 06-504-607

7. INGV Direzione di Catania
Email: isola.ingv@pec.ingv.it
Tel: 0963-21-90-10 (UTC)

COMUNICATO ETNA (AGGIORNAMENTO n. 256)

L'Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Università di Roma, comunica che il vulcano Etna, attivo in posta ad ovest dell'ultima fontana di lava Ad Cratere di Sud-Est, avrà uno più di uno è il fronte sono in evoluzione. L'ampiezza media del fronte, valutata in secondo su valori medi e l'attività effervescente delle fontane.

Per le persone che monitoraggio delle deformazioni del cratere non mostrano variazioni significative.

Ultimo aggiornamento: 2021-03-24 00:00:00 (08:04 UTC).

N.B. I messaggi di fax sono attivati in caso di non corretta decodifica del messaggio di posta elettronica.



Attività di Sorveglianza della Sala Operativa

Emergenza Etna 2021

N. 56 Fontane di lava



13/14 dicembre 2020



23 Ottobre 2021

n. 2 Turnisti per 3 turni\g per 365 g



Giarre, 7 marzo 2021

Emergenza Vulcano 2021

Ottobre potenziamento attività di monitoraggio



Anno 2021

- 52 bollettini settimanali Etna
 - 52 bollettini settimanali Stromboli
 - 10 bollettini settimanali Vulcano
 - 412 comunicati attività vulcanica Etna
 - 100 comunicati attività vulcanica Stromboli
 - 31 comunicati per eventi sismici sopra soglia
 - 10 comunicati sciami relativi a 4 sciami
 - 1135 eventi sismici localizzati
- 230 VONA message



Early Warning: ETNAS

ETNAS (ETna iNtegrated Alert System) è una piattaforma digitale operativa da aprile 2022 in grado di aggregare molteplici sottosistemi di allertamento indipendenti, singolarmente basati su modelli e/o dati geofisici e geochimici.

ETNAS
2024-08-14 14:00:00 UTC

SUBSYSTEM LEVELS

STOPPED	LOW	MEDIUM	HIGH	VERY HIGH	NOT UPDATED
Tremor Dine Tremor alert by INGV-OC (based on seismic tremor alert) Status: Low level Update time (UTC): 2024-08-14 13:59:32 (date after 01 h and 02 m)	BN Bayesian Network Early Warning System (INGV-OC) Status: Pre-warning Update time (UTC): 2024-08-14 14:13:18 (date after 00 h and 30 m)	EW (IP) Early Warning Alert over Infrasound Parameter (IP) Status: EW 0 Update time (UTC): 2024-08-14 14:00:00 (date after 00 h and 30 m)			
HMM Hidden Markov Model over Seismic Tremor Rate (INGV-OC) Status: Quiescent Update time (UTC): 2024-08-14 14:00:00 (date after 00 h and 30 m)	Strain PW Patologico warning from strainmeter sensor-CP/UV Status: No Alert Update time (UTC): 2024-08-14 14:00:00 (date after 00 h and 30 m)	HR GPS HR GPS DR (INGV-OC) - anomalous variation on deformation Status: No data Update time (UTC): 2023-11-24 09:25:00 (date after 00 h and 30 m)			
Strain IW Kinematic learning from strainmeter sensor-CP/UV Status: No Alert Update time (UTC): 2024-08-14 14:00:00 (date after 00 h and 30 m)	DVV EW DDVW DR (INGV-OC) for volcano seismic and inflation, calculated from GPS Status: No alert Update time (UTC): 2024-08-14 01:00:00 (date after 48 h and 00 m)				

ALERT LEVELS

F4	F0	F1	F2	NOT UPDATED
ETNAS ETNAS ensemble value Status: F0 Update time (UTC): 2024-08-14 14:00:00 (date after 00 h and 30 m)	ETNAS IW ETNA4D inflation warning Status: I0 Update time (UTC): 2024-08-14 14:00:00 (date after 00 h and 30 m)			

INGV-CATANIA 14/08/2024 14:00:00.000 EMOV



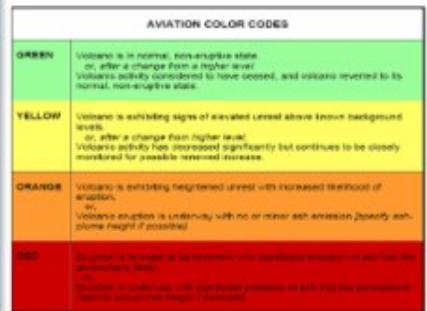
14/08/2024 14:00:00.000 ENT



14/08/2024 14:00:00.000 EMOT



Organizzazione internazionale
dell'aviazione civile



(1) VOLCANO OBSERVATORY NOTICE FOR AVIATION (VONA)

(2) Issued: 202102300542
(3) Volcano: Etna 211060
(4) Current Color Code: RED
(5) Previous Color Code: red
(6) Source: Etna Volcano Observatory
(7) Notice Number: 2021-0214-06C44
(8) Volcano Location: 3744N 01500E
(9) Area: Italy
(10) Summit Elevation: 3380 m
(11) Volcanic Activity Summary: LAVA FOUNTAIN IS OBSERVED AT SUMMIT CRATERS
VERY STRONG ASH EMISSION ONGOING
ESTIMATED VOLCANIC CLOUD HEIGHT IS 7500 M AT THE TOP; DATA FROM SURVEILLANCE CAMERA
DARK GREY COLOUR CLOUD ASH CLOUD MOVES TOWARD E NE
THE PHENOMENON IS OBSERVED BY VISIBLE AND
THERMAL SURVEILLANCE CAMERAS
(12) Volcano cloud height:
(13) Other volcanic cloud information:
(14) Remarks:
(15) Contacts:
(16) Next Notice:

*24/7 OE Control Room operator:
summit@ingv.it +39 095 716500
*OE Director:
direttore.oe@ingv.it +39 095 716500
A new VONA will be issued
if conditions change significantly
or color code changes
Volcano information and updates
are posted at <http://www.ct.ingv.it/vona.html>

Messaggi VONA

2020-2024

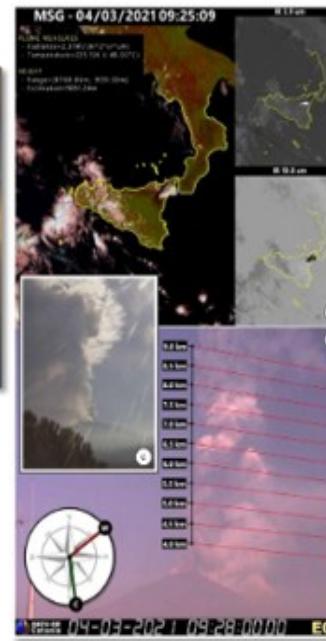
543 Messaggi VONA

79 per il vulcano Stromboli

77 Arancio
2 Rosso

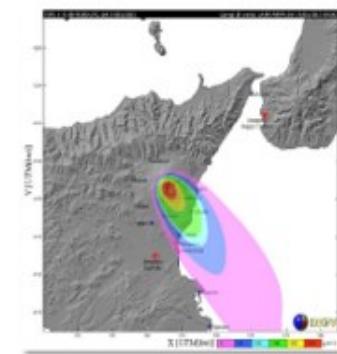
464 per il vulcano Etna

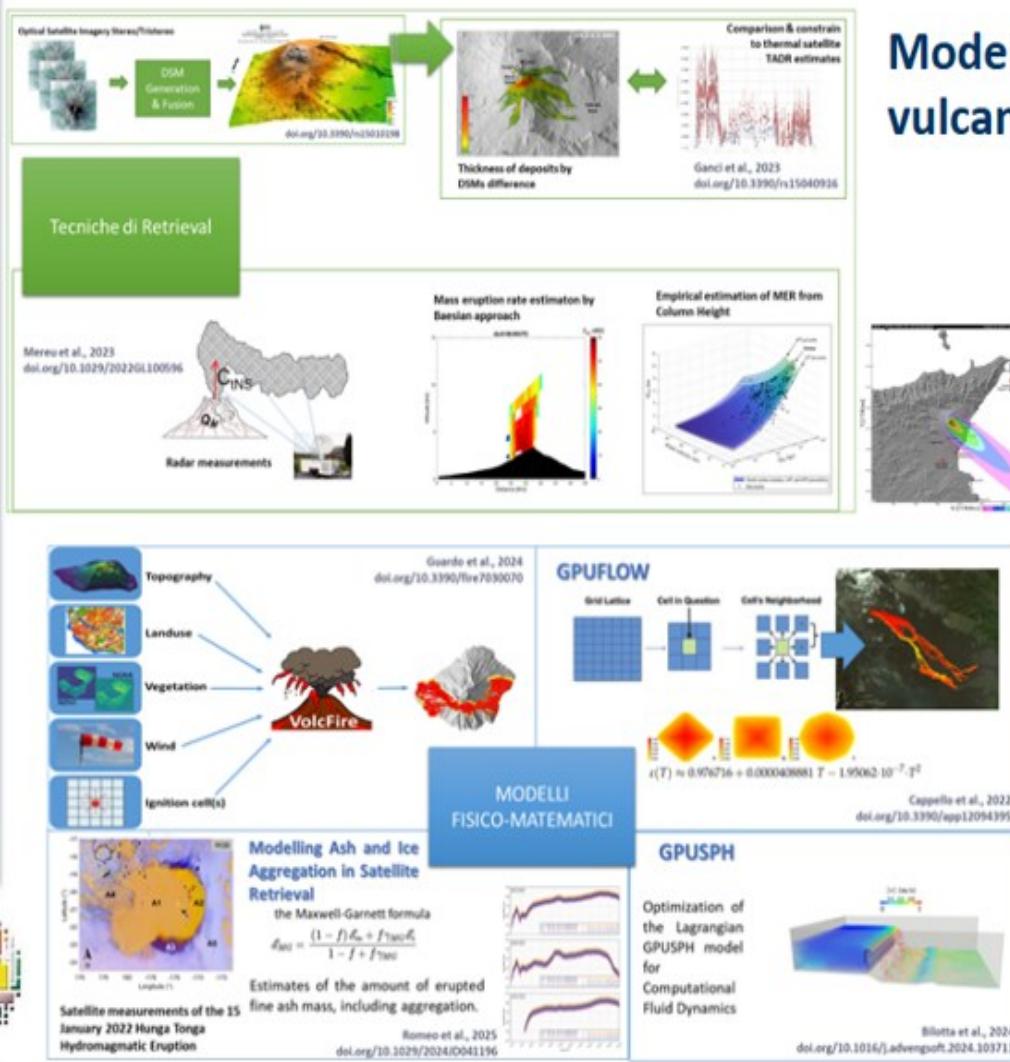
23 VERDE
53 Giallo
211 Arancio
177 Rosso



Dal 2007 l'OE è State
Volcano Observatory
(SVO) qualifica ICAO
assegnata agli
osservatori vulcanici

Convenzione con Aeronautica Militare ed ENAC





Modellistica dei fenomeni vulcanici *SIMULAZIONE DEI FLUSSI LAVICI*

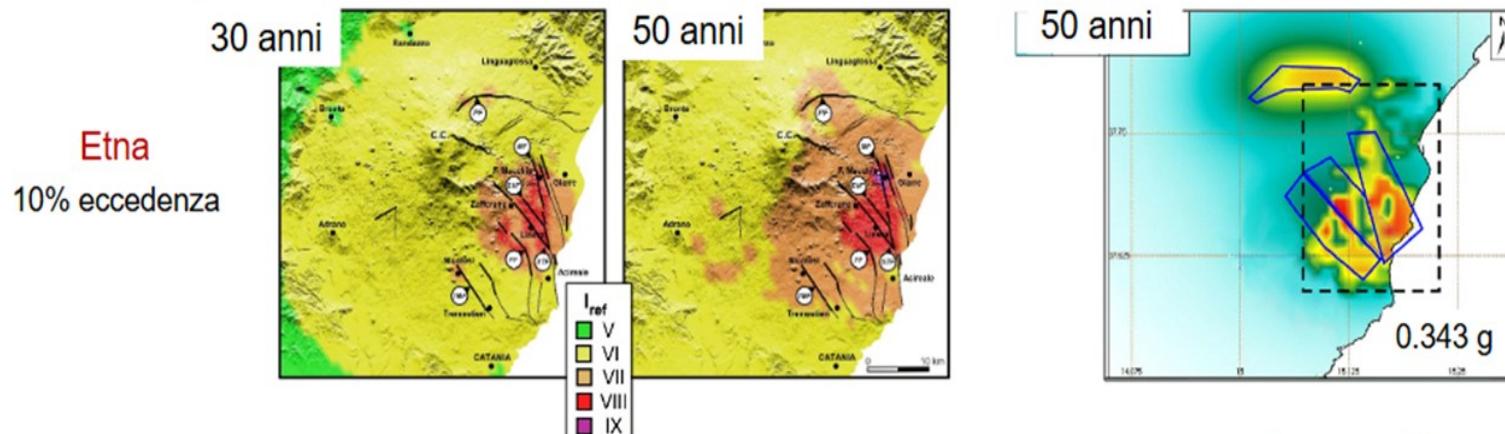
Sviluppo di un nuovo modello per la diffusione degli incendi di origine vulcanica chiamato *VolcFire* e per la simulazione della messa in posto delle colate laviche. Il modello *GPUFLOW* considera anche la variazione dell'emissività della lava al variare della temperatura.

PLUME VULCANICI

Inoltre è stato introdotto un modello di aggregazione che permette di valutare la stima della massa osservata da satellite anche in presenza di ghiaccio ed è stato ottimizzato il modello *GPUSPH* che permette di simulare problemi complessi di fluidodinamica incluse le reologie non newtoniane, superfici libere, dipendenza dalla temperatura e interazione fluido solido

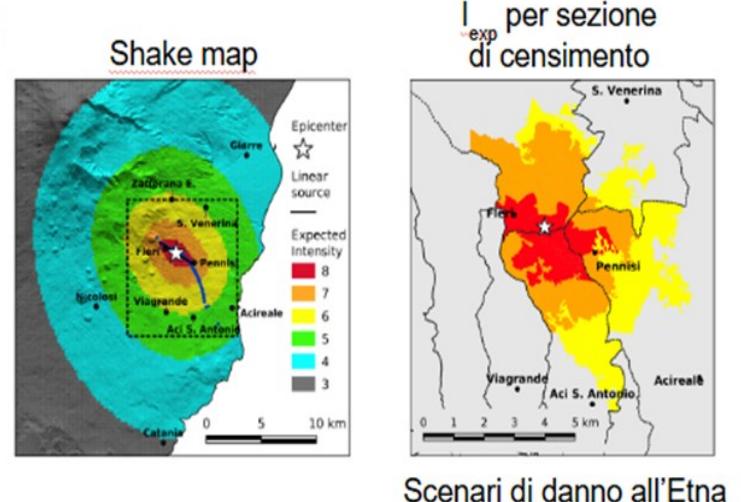
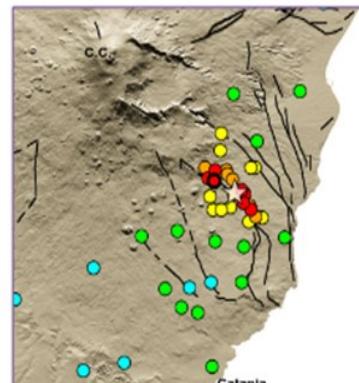


- **Mappe di pericolosità sismica in aree vulcaniche**
riferimento per nuova mappa nazionale MPS19



- **Shake map e scenari di danno in aree vulcaniche**
Progetti DPC

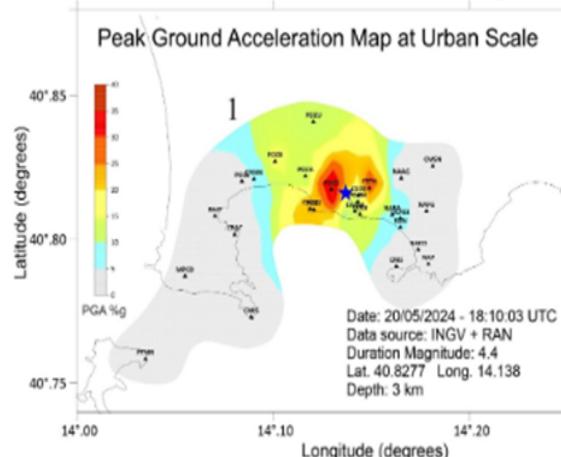
Etna
Terremoto 26-12-2018
 M_w 5.0





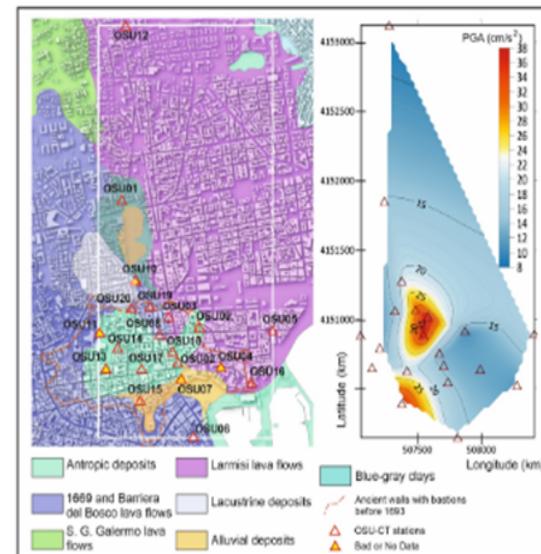
Scenari sismici a scala urbana

Mappa di scuotimento per i Campi Flegrei del terremoto del 20/05/2024 ($M_d = 4.4$)



Occhipinti et al. (2025b)

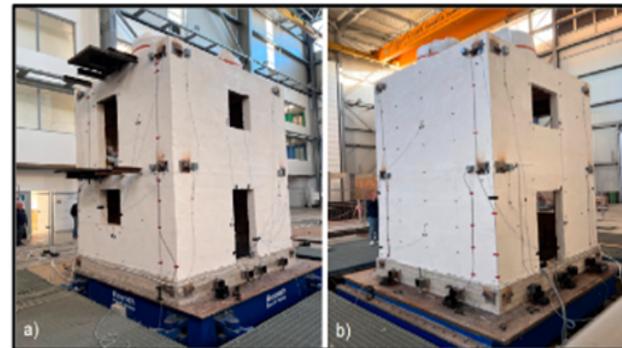
Mappa di scuotimento per Catania del terremoto del 23/12/2021 ($M_w = 4.3$)



Patanè et al. (2022)

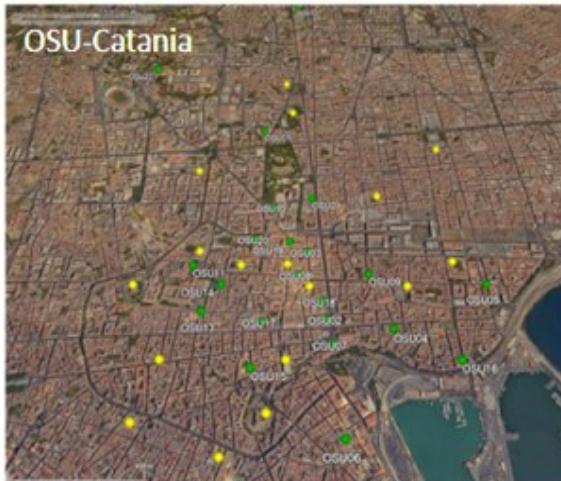
Monitoraggio infra-strutturale

Occhipinti et al. (2025a)



Test su tavola vibrante (Uni Kore) su edificio in muratura in scala ridotta

Monitoraggio Sismico Urbano e delle Infrastrutture (Osservatori Sismici Urbani)



Osservatorio Sismico Urbano di Catania - Rete sismo-accelerometrica 22 Stazioni



Altri OSU

Messina
30 Stazioni

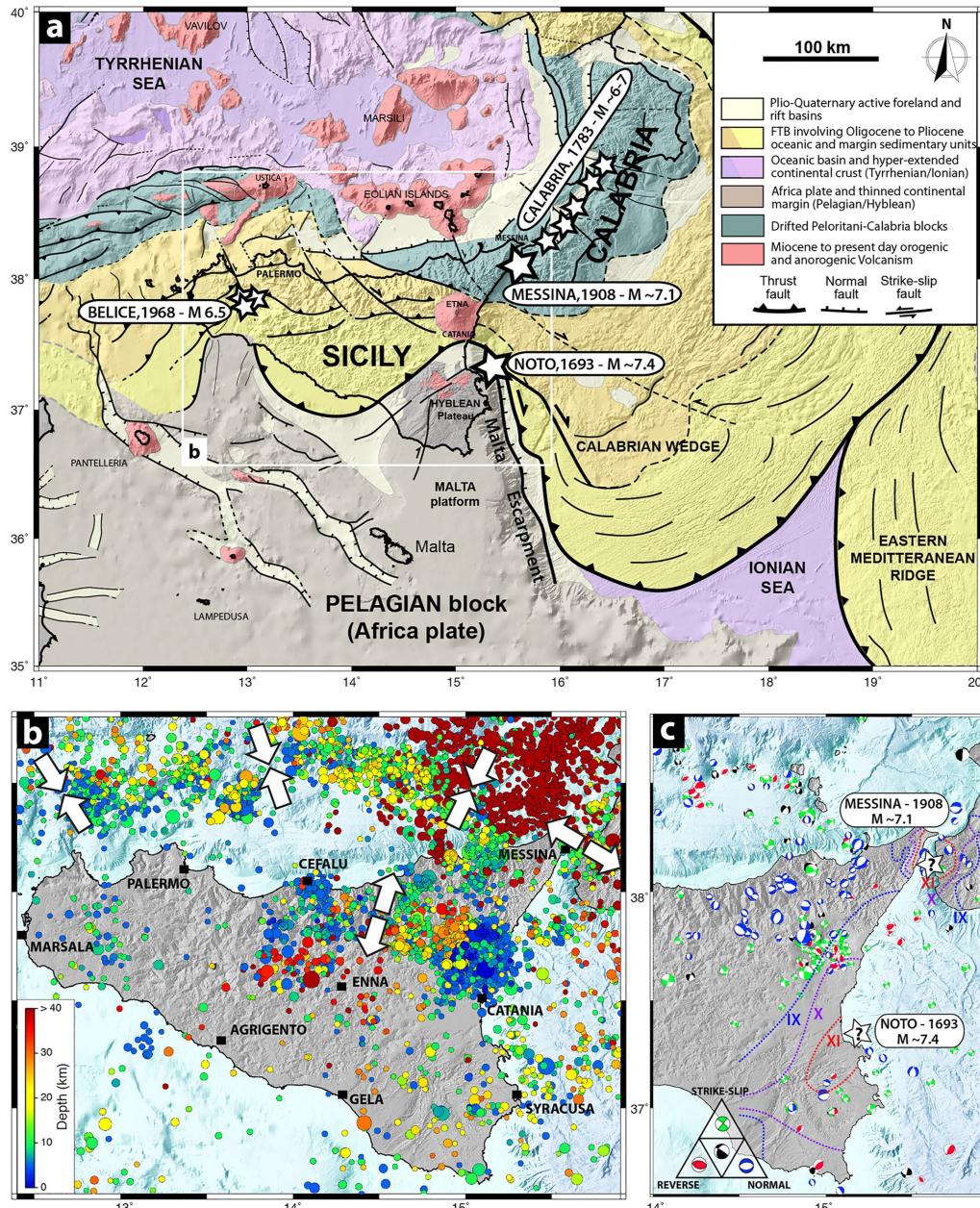
Reggio Calabria
18 Stazioni



18 Stazioni OSU integrano la rete INGV-OV
e la Rete Accelerometrica Nazionale del DPC



OSU-Ragusa 2 Stazioni e OSU-Noto 1
Stazione



Geological and geodynamic context of Central Mediterranean and seismicity of Sicily. (a) Simplified neotectonic and structural map of Sicily (modified from Henriet et al., 2020). Main Plio-Quaternary faults are outlined in black, and yellow stars show the approximate locations of major historical and instrumental earthquakes. Instrumental seismicity shows hypocentral locations of $M > 2.5$ events from 1985 to 2021 (b, from <http://cnt.rm.ingv.it>) and focal solutions of $M > 3$ events from 1999 to 2020 in Eastern Sicily, excepted earthquakes related to the Ionian subduction (c, from <http://ct.sismowebingv.it>). White arrows represent the general tectonic context from D'Agostino et al. (2008). Macroseismic intensity contours of the Messina 1908 and the Noto 1693 earthquakes are from Ridente et al. (2014) and Barbano (1985).

Journal of Geophysical Research-Solid Earth
**Present-Day Surface Deformation of Sicily
Derived From Sentinel-1 InSAR Time-Series**
First published: 08 March 2022,
<https://doi.org/10.1029/2021JB023071>

RELATORI



Antonio Paonita

Geochimico, Direttore della Sezione INGV di Palermo

Attività di coordinamento svolte:

- Responsabile (RUF) dell'Unità Funzionale "Reti e Monitoraggio Geochimico", Sezione di Palermo
- Responsabile del Laboratorio di Ablazione Laser della Sezione di Palermo-Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia dal
- Rappresentante della Sezione di Palermo per la "Linea di Attività Ricerca e Servizi per la Società"
- Coordinatore per la sorveglianza geochimica dell'Isola di Vulcano presso la Sezione di Palermo-Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- Capo del Gruppo di Lavoro "Sorveglianza geochimica delle fumarole di Vulcano" presso l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia-Sez. di Palermo
- Rappresentante della Sezione di Palermo per Il Tema Trasversale Coordinato (TTC) "Laboratori di fisica e chimica delle rocce" dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- Rappresentante della Sezione di Palermo per Il Tema Trasversale Coordinato (TTC) "Modellazione fisico-matematica dei processi vulcanici" dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- Responsabile dell'UR04 "Solubilità dell'N2 nei magmi dei Campi Flegrei", Progetto V2-Precursori di eruzioni, Convenzione INGV-DPC 2012-2014.

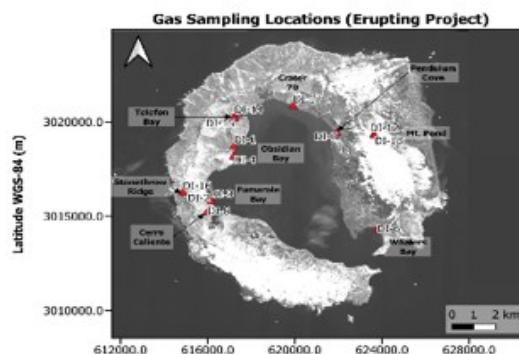
LA SEZIONE INGV DI PALERMO QUADRO DELLE ATTIVITÀ

Autore: Antonio Paonita

Direttore della Sezione INGV di Palermo

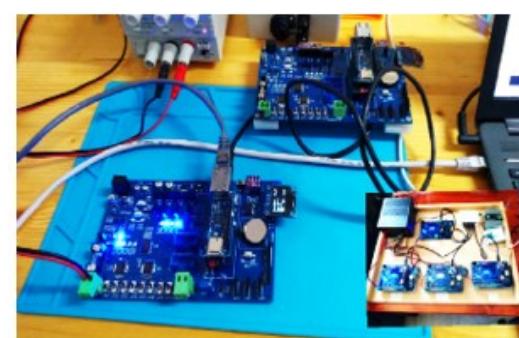
Le attività della Sezione

- Monitoraggio Vulcani attivi (Convenzione con il DPC-Dipartimento nazionale della Protezione civile della Presidenza del Consiglio dei ministri)
- Attività di supporto analitico per l'Istituto e per terzi (Laboratori Geochimici e meccanici)
- Attività di supporto alla ricerca internazionale (utilizzo di infrastrutture, labs, reti e foresterie)
- Attività di ricerca in progetti nazionali e internazionali
- Attività di alta formazione (dottorati, stages, tirocini pre e post-laurea)
- Attività di terza missione (GdL, comunicazione e divulgazione)



Le infrastrutture gestite

- Reti automatiche di monitoraggio geochimico in continuo
- Sala di monitoraggio
- Laboratori tecnologici (meccanica, elettronica)
- Laboratori geochimici (chimica, isotopi stabili, gas nobili, elementi in traccia)
- Infrastrutture per la ricerca marina (osservatori, meda, veicoli filoguidati, reti di sensori)



Monitoraggio geochemico in Convenzione con il DPC-Dipartimento nazionale della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri

- Etna
- Stromboli
- Vulcano
- Vesuvio
- Ischia
- Pantelleria
- Panarea

Per tali aree vulcaniche la Sezione INGV di Palermo è responsabile delle attività di sorveglianza geochemica concordate con il DPC nell'Allegato Tecnico della Convenzione.

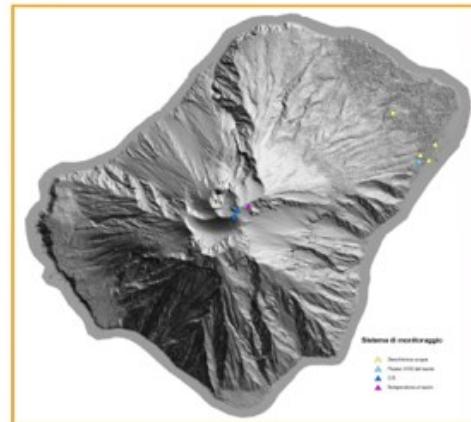
La Sezione coordina i campionamenti discreti e verifica il corretto funzionamento di una rete di monitoraggio composta da oltre 60 stazioni multiparametriche, programmando in maniera tempestiva le attività di manutenzione ordinaria e straordinaria a carico dei laboratori tecnologici.

Inoltre, sovraintende ai flussi di comunicazione INGV-DPC: bollettini settimanali, comunicati straordinari, relazioni semestrali, VTC mensili e incontri straordinari con DPC, CGR, autorità locali.

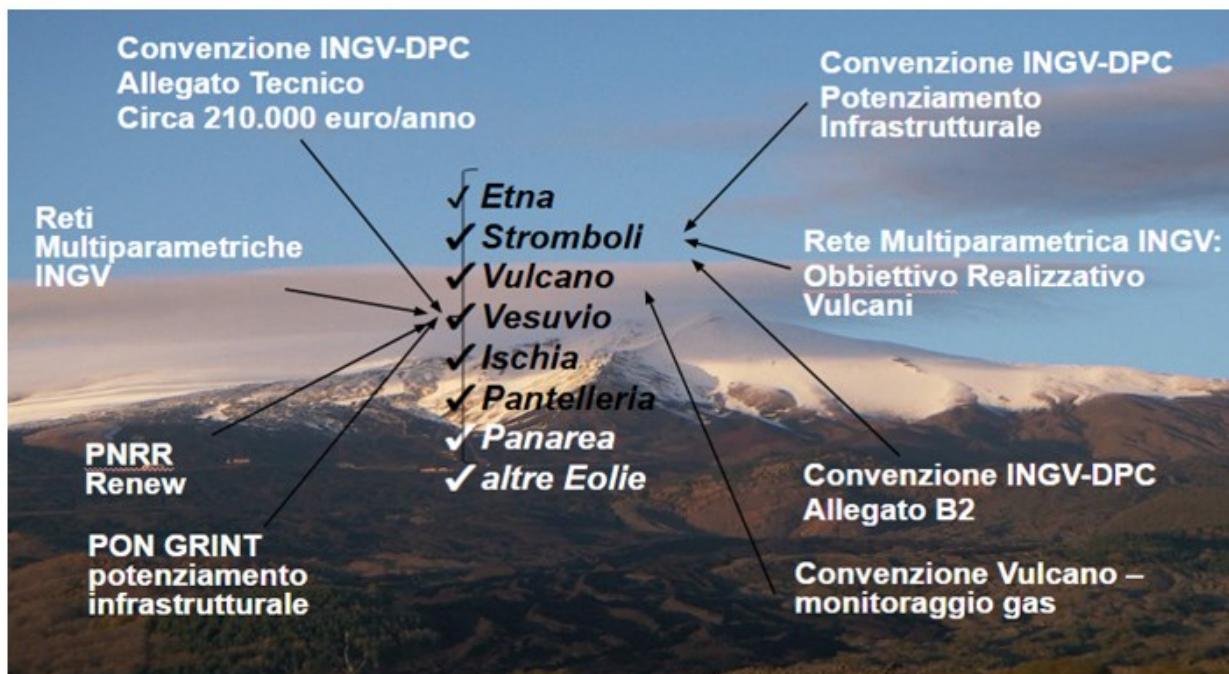


Reti per monitoraggio in continuo dei vulcani attivi

Oltre 60 stazioni automatizzate per la registrazione in continuo dei parametri geochemicali.



Aree vulcaniche sottoposte a monitoraggio geochimico della Sezione INGV di Palermo e fonti di finanziamento



Panarea



Ischia



Vesuvio



Pantelleria



Stromboli

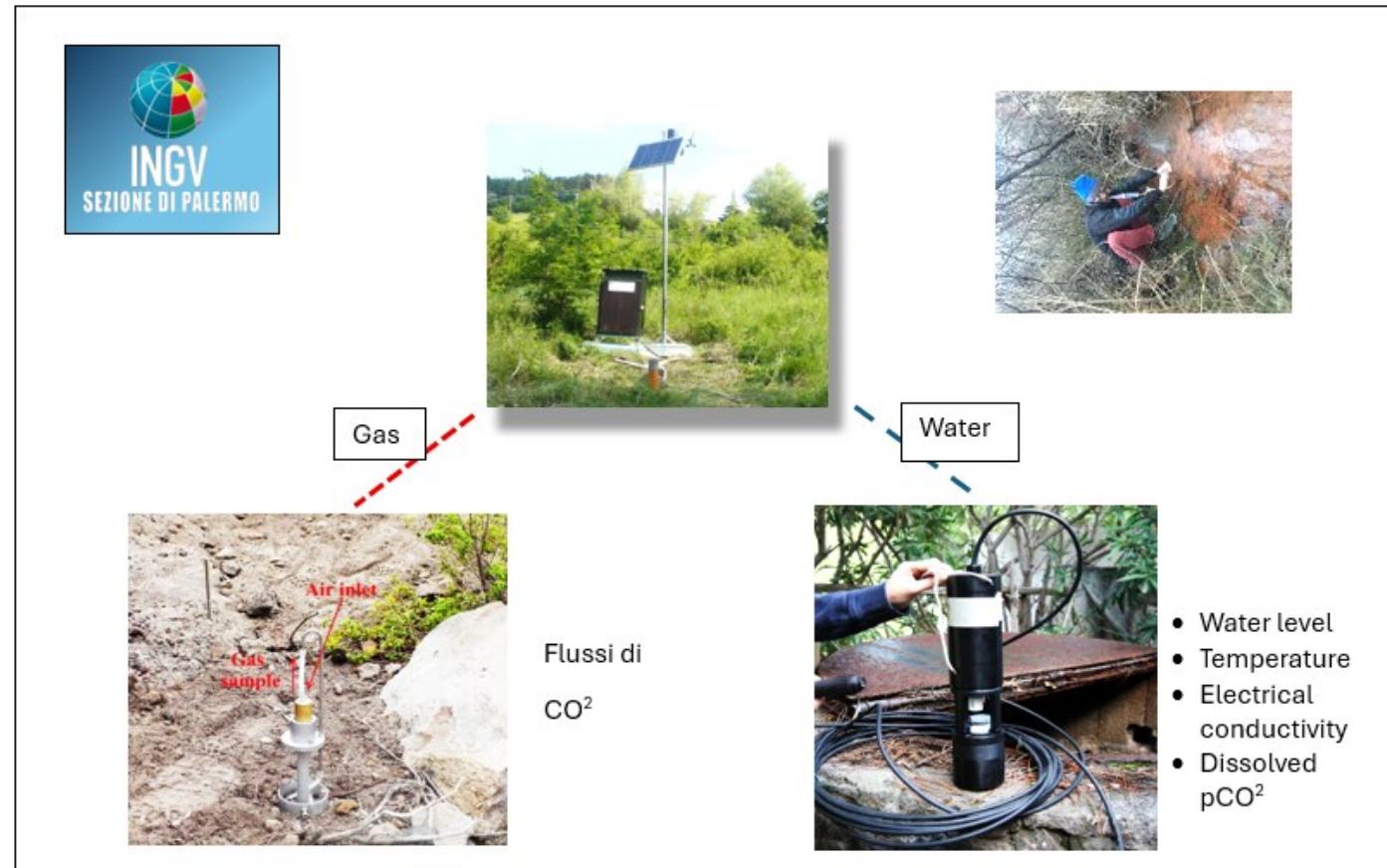


58

La Rete Idrogeochimica Sonde e Stazioni in sintesi

Soil Gas flux (CO₂) & Water Geochemical Stations

- Meteo Stations
- Air temperature
- Barometric pressure
- Rainfall
- Wind speed and direction
- Moisture



Rete Idrogeochimica

- 11 stazioni gas
- 52 stazioni acque
- 60 sonde acque sul territorio nazionale

DM737/2021 Rete Idrogeoch. (in corso)

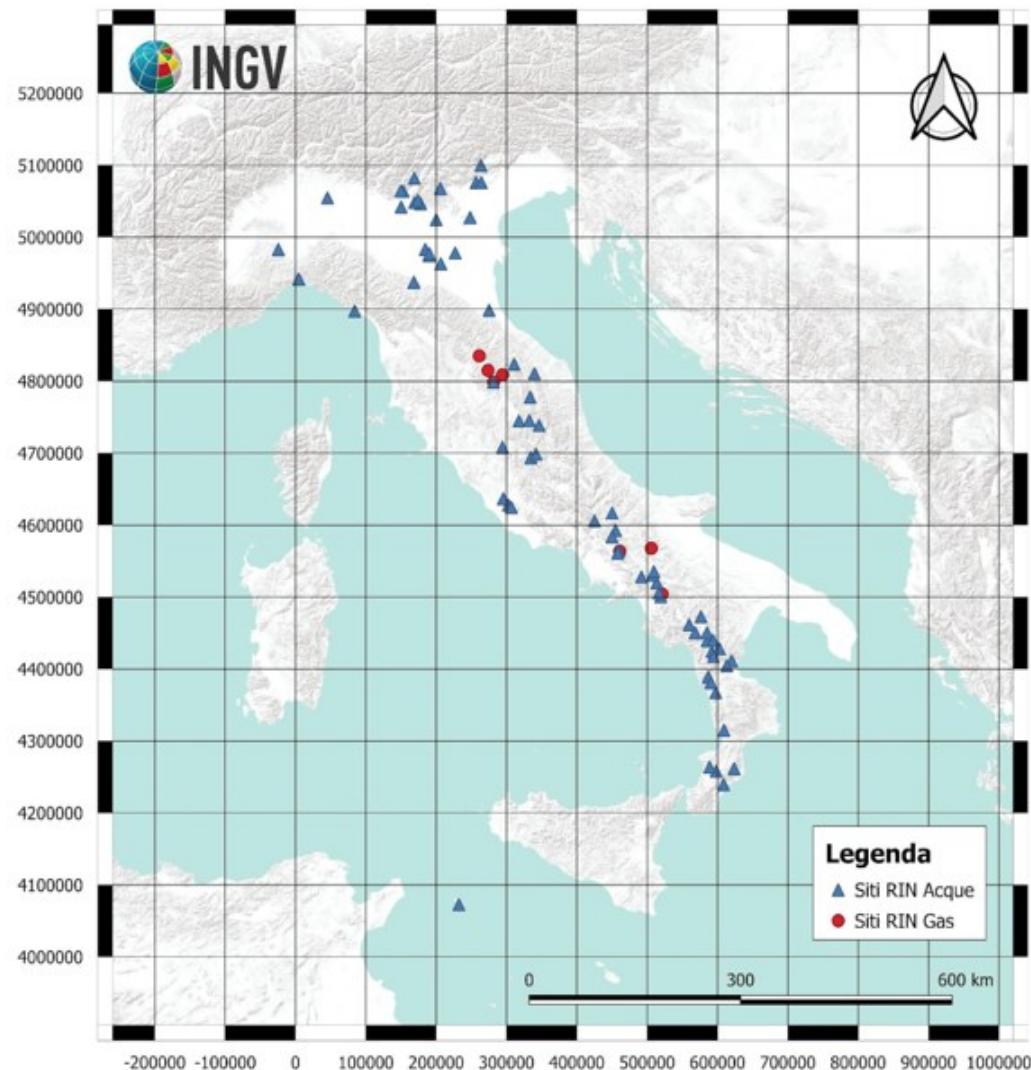
DM1644/2024 Ampliamento Rete Idrogeoch. (in corso)

PNRR_MEET (in corso, impegno al mantenimento per 10 anni)

Rete Multiparametrica – Idrogeochimica (aprile 2026)

DL 50_Rete Idrogeochimica (marzo 2025)

PON_GRINT (febbraio 2024, impegno al mantenimento per 10 anni)

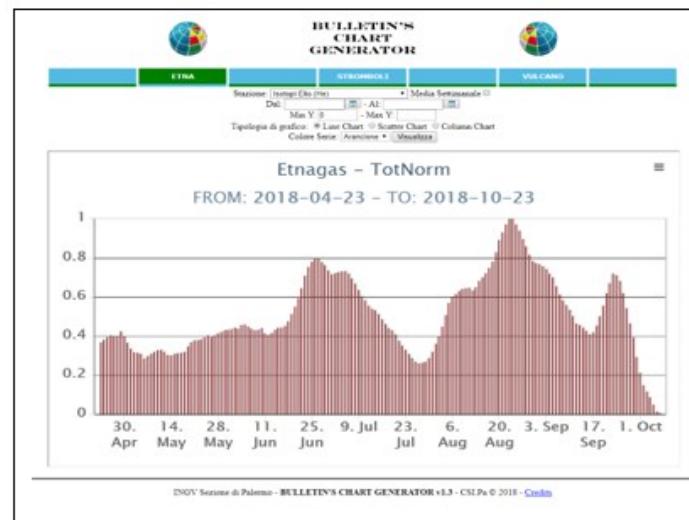
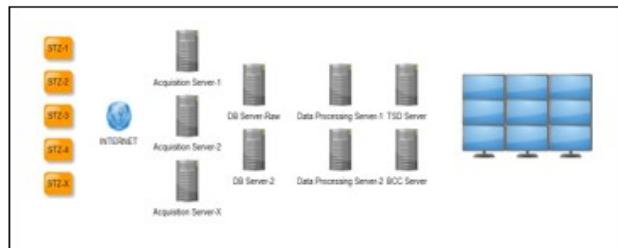


La sala di monitoraggio multiparametrica della Sezione INGV di Palermo

I dati acquisiti in real e near real-time vengono registrati da oltre 60 stazioni multiparametriche automatiche, dislocate anche in ambiente sottomarino

I dati confluiscono nella Sala di Monitoraggio dove vengono archiviati, ridondati, processati ed interpretati da personale esperto.

Il Bulletin's Charts Generator è usato infine per interrogare i dati e generare i grafici per comunicazioni con DPC.



Laboratori geochimici

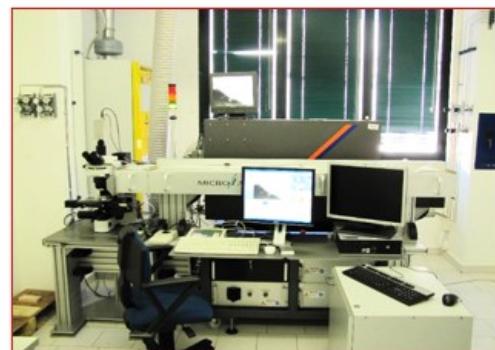
6 labs. con 12 unità di personale (8 I-III, 4 IV-VIII):

- **Cromatografia Ionica**
- **Elementi in traccia**
- **Gas cromatografia**
- **Isotopi stabili**
- **Gas nobili**
- **Laser-ablation**

Nel corso delle attività annuali vengono analizzati una media di 5000 campioni (8000/anno 2017-2019).

62% progetti di ricerca:

- ~ 66% a titolo gratuito/convenzioni
- ~ 34% a titolo oneroso
- ~ 38% Monitoraggio:
- ~ 80% Palermo
- ~ 20% Roma 1, INGV-OV, altre sedi.



Laboratori tecnologici Officina meccanica ed Elettronica

- Progettazione e costruzione di parti meccaniche con l'ausilio di macchine utensili quali Tornio Parallello, Fresatrice universale, Sega a nastro, Trapano radiale etc
- Costruzione di manufatti con l'utilizzo di lamiera metallica mediante Cesoa, Pressa Piegatrice idraulica, Rotolatrice e Bordatrice.
- Progettazione e costruzione di strutture con collegamenti mobili e fissi con saldature TIG, MIG (Filo continuo), ad Elettrodo e Saldobrasatura con Ossigeno ed Acetilene.

- Attività di supporto ai laboratori geochimici della Sezione attraverso la costruzione di linee di adduzione di gas agli strumenti, sistemi di introduzione per misure in ultra alto vuoto e sistemi puliti di introduzione per la misura degli elementi in tracce.
- Prototipazione e produzione di schede e sensori per misura ed automazione in ambito terrestre e marino (oscilloscopi, generatori di segnale, alimentatori a controllo digitale, analizzatore di stati logici, saldatura manuale, forno SMD, P&P).



Infrastrutture per la ricerca marina

Installazione e Gestione di una stazione sottomarina per acquisizione di parametri chimico-fisici ed acustica passiva nel sistema idrotermale sottomarino di Panarea.

Potenziamento Infrastrutturale per ricerche multidisciplinari nel campo idrotermale di Panarea.

IPANEMA (Implementazione del laboratorio naturale ECCSEL di Panarea e dell'osservatorio marino - PON 2014-2020)

PARTNERS: OGS, INFN, INGV, SZN

Test site EMSO





Metodologie di Misurazione

INGV
SEZIONE DI PALERMO

Misure in situ
Campionamenti diretti sul campo

Misure Remote
Telerilevamento del plume

Misure Discontinue
Campagne periodiche a bassa frequenza

Misure Continue
Acquisizione automatica ad alta frequenza

Ricerca sui Processi Vulcanici



Sviluppo del Monitoraggio di Emissioni Vulcaniche

Analisi chimica e termica dei gas vulcanici per tracciare lo stato di attività vulcanica.

Utilizzo e implementazione di sensori remoti e campionamenti diretti.



Modellazione del Degassamento Magmatico

Sviluppo di modelli avanzati per simulare il rilascio di gas dai magmi a diverse profondità. Integrazione di dati di laboratorio e osservazioni sul campo.



Processi Secondari nei Gas Vulcanici

Studio delle reazioni chimiche che modificano la composizione dei gas vulcanici durante la risalita.

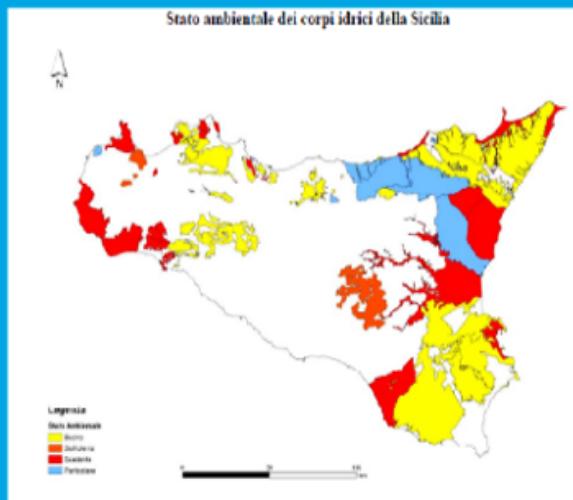
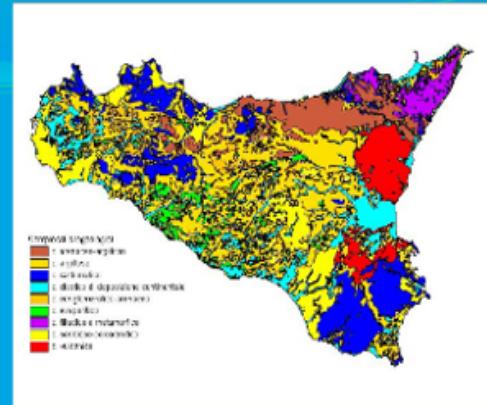
Interazione Gas-Acqua, Interazione Gas-Roccia, Reazioni Chimiche

Partecipazione a progetti di ricerca internazionali (es. MED-SUV, EUROVOLC) volti a comprendere la dinamica dei vulcani attivi e quiescenti. Collaborazione con università e istituti scientifici internazionali per lo sviluppo di nuove tecniche di monitoraggio e modellazione.

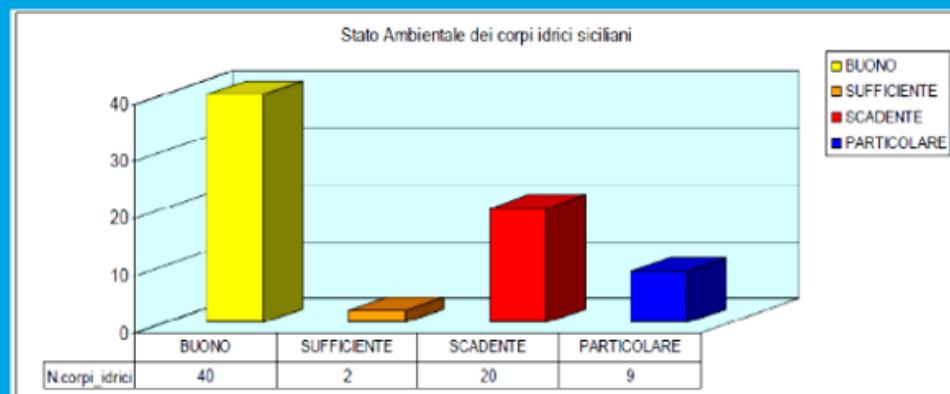


Monitoraggio delle Acque sotterranee Siciliane

Nell'ambito dei lavori svolti per la redazione del Piano di Tutela delle Acque della Regione Siciliana è stata predisposta una rete regionale di controllo delle acque sotterranee ai sensi del D.Lgs. 152/99. La rete di monitoraggio è stata realizzata nel 2004-2005 e consisteva in 493 punti di campionamento, su 77 corpi idrici afferenti a 14 bacini idrogeologici.



STATO CHIMICO	
classe 1	impatto antropico nullo o trascurabile, qualità pregiata
classe 2	impatto antropico ridotto e sostenibile sul lungo periodo, qualità buona
classe 3	impatto antropico significativo, qualità buona con segnali di compromissione
classe 4	impatto antropico rilevante, qualità scadente
classe 0	impatto antropico nullo o trascurabile ma con particolari facies idrochimiche naturali





RELATORI



Domenico Patané

Dirigente di Ricerca INGV, Osservatorio Etneo di Catania

Geophysicist / Seismologist with experience in earthquake engineering, real-time seismology, seismic monitoring, and applied geophysical. Expertise also includes the management of seismic networks and monitoring of civil infrastructures.

Geofisico / Sismologo con pluridecennale esperienza nel monitoraggio sismico, nella geofisica applicata e nell'ingegneria sismica.

Le competenze maturate includono anche la gestione di reti sismiche e il monitoraggio strutturale di infrastrutture civili. Le principali ricerche hanno riguardato la sismicità della Sicilia e dei suoi vulcani attivi, con un focus su meccanismi di sorgente, propagazione della radiazione sismica, effetti di sito e indagini tomografiche.

Le competenze tecnico-scientifiche, di natura interdisciplinare, si sono consolidate anche attraverso il coordinamento di reti multi-parametriche per il monitoraggio in ambito tettonico e vulcanico, supportate dall'adozione di tecnologie avanzate.

Un ulteriore ambito di attività ha riguardato lo sviluppo di soluzioni hardware e software per l'analisi automatica e il riconoscimento in tempo reale di segnali sismici, vulcanici e ambientali.

A partire dal 2012, una parte rilevante dell'attività si è concentrata sullo studio dei rischi naturali e della pericolosità sismica, con particolare attenzione agli effetti dei terremoti nelle aree urbane e sul patrimonio culturale.

È autore di oltre 120 pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali.

Mitigazione del rischio sismico: un progetto di Rete Sismica Urbana a Ragusa e nel territorio provinciale

Domenico Patanè, Dirigente di Ricerca dell'Osservatorio Etneo dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Abstract

Southeastern Sicily and the Province of Ragusa are among the areas in Italy with the highest seismic risk, having experienced devastating events such as the 1693 (Mw 7.3) earthquake. Ragusa, recently upgraded to seismic zone 1, has a unique and particularly fragile architectural and historical heritage.

Implementing urban seismic networks and structural monitoring systems (SHM/EEW) is essential for effective seismic risk mitigation and prevention, enabling real-time surveillance of key buildings and infrastructure. Only through investment in advanced technology and careful planning can the community and its cultural assets be properly safeguarded.

La Sicilia sud-orientale è una delle aree a più elevata pericolosità sismica d'Italia, essendo stata teatro di numerosi eventi tellurici di rilievo. In particolare, si ricordano tre grandi terremoti: quello del 1169 (Io=XI MCS), del 1542 (Io=X MCS) e soprattutto quello dell'11 gennaio 1693 (Io=XI MCS). Quest'ultimo rappresenta il più catastrofico nella memoria storica, sia per la gravità dei danni provocati, sia per la vastità dell'area colpita. Il terremoto del 1693 ha determinato profondi cambiamenti storici,

sociali, architettonici e urbanistici, segnando in modo indelebile il territorio.



Ragusa Ibla e il duomo di San Giorgio

Si tratta di uno degli eventi sismici più forti e distruttivi mai registrati nella storia italiana, la cui gravità fu accentuata dalla vulnerabilità degli insediamenti dell'epoca. Ragusa, come molte altre città del Val di Noto, fu quasi interamente ricostruita dopo il sisma, dando origine a un patrimonio architettonico tardo-barocco unico, oggi riconosciuto nella World Heritage List dell'UNESCO.

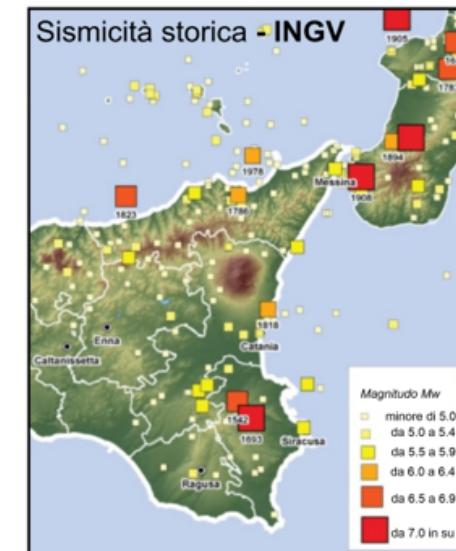
Queste città presentano tuttora una significativa vulnerabilità sismica, dovuta sia agli edifici storici privi di criteri antisismici sia alle costruzioni più recenti, realizzate prima dell'introduzione delle moderne normative sismiche. Il patrimonio edilizio rappresenta così un fattore di rischio rilevante per futuri terremoti, rendendo indispensabili interventi di ~~prevenzione~~ mitigazione e messa in sicurezza.

PREVENZIONE E MITIGAZIONE

Prevenzione e mitigazione sono strategie che fanno parte di una gestione integrata del rischio, finalizzata a garantire la sicurezza e la resilienza delle comunità e delle infrastrutture.

Prevenzione: Si concentra sull'evitare o minimizzare l'insorgenza dei rischi (ad esempio, attraverso la pianificazione territoriale, l'applicazione di normative antisismiche e la manutenzione preventiva).

Mitigazione: Mira a ridurre gli effetti di un rischio già esistente o inevitabile (attraverso sistemi di monitoraggio, interventi di miglioramento o adeguamento sull'edificato e sulle infrastrutture, piani di evacuazione).



La realizzazione di una rete sismica moderna e integrata a Ragusa e nel territorio provinciale costituisce un passo fondamentale per ridurre il rischio, migliorare la conoscenza dell'attività sismica locale e fornire dati utili alla pianificazione e alle attività di protezione civile.

Pericolosità e Rischio Sismico nella Provincia di Ragusa

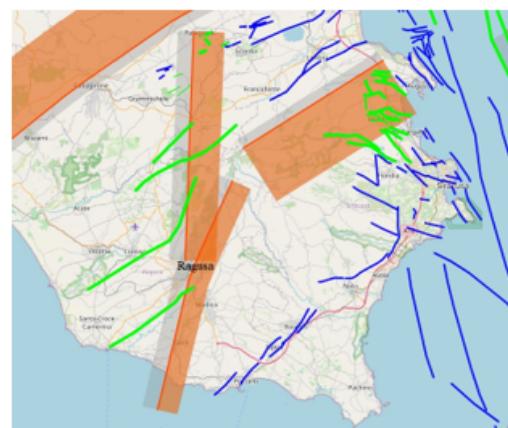
Nel 2022, cinque comuni della provincia di Ragusa — Ragusa, Modica, Chiaramonte Gulfi, Giarratana e Monterosso Almo — sono stati riclassificati in zona sismica I, la categoria di massima pericolosità secondo la normativa nazionale. Questo cambiamento ha un impatto rilevante sul territorio, poiché comporta l'obbligo di adottare criteri più restrittivi nella pianificazione urbana, nella progettazione, costruzione e adeguamento degli edifici e delle infrastrutture, secondo quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018).

Tali misure riconoscendo l'elevata pericolosità e vulnerabilità dell'area rispetto al rischio di eventi sismici di elevata intensità, mirano ad aumentare la sicurezza della popolazione e la tutela del patrimonio urbano e storico.

La nuova classificazione impone agli enti locali, ai tecnici e ai cittadini una maggiore attenzione nella gestione del territorio, sottolineando la necessità di interventi di prevenzione e mitigazione del rischio sismico. È fondamentale rafforzare la cultura della prevenzione e della protezione civile, affinché la comunità sia più consapevole e preparata ad affrontare eventuali emergenze sismiche.

Uno dei principali elementi di criticità del territorio è rappresentato dalla presenza di numerose faglie sismogenetiche attive nella provincia di Ragusa e nelle aree limitrofe, come la Faglia di Scicli-Ragusa, Ispica, Chiaramonte Gulfi, Monte Lauro, Santa Croce Camerina e Cava d'Ispica, individuate dai principali studi e cataloghi nazionali (ISPRA, INGV).

Queste strutture tectoniche costituiscono una potenziale fonte di rischio per il territorio.



Faglie attive e capaci (fonte INGV-ISPRA).
<https://diss.ingv.it/ithdiss/#>

Il monitoraggio accurato delle faglie è essenziale per la sicurezza e la pianificazione territoriale. Per garantire un controllo sempre più preciso della sismicità locale e dei movimenti delle faglie è fondamentale potenziare la rete sismica realizzata nel 2000 dal Libero Consorzio Comunale di Ragusa, adottando tecnologie moderne per aumentare il numero di stazioni di rilevamento dell'INGV e della Protezione Civile presenti sul territorio.

Una più densa rete sismica permetterebbe di rilevare anche eventi di bassa magnitudo e di monitorare costantemente l'attività delle faglie. Inoltre, come già avviene in altre aree del territorio nazionale, una siffatta rete integrata con quelle dell'INGV e della Protezione Civile può essere ulteriormente densificata nei centri urbani per garantire un monitoraggio più accurato di edifici e infrastrutture, offrendo dati tempestivi e dettagliati utili per la gestione delle emergenze e la pianificazione delle attività di prevenzione.



Rete Sismica INGV. I triangoli rossi indicano stazioni non operative. <https://diss.ingv.it/ithdiss/#>

Sismologia Urbana: Le reti sismiche urbane e lo SHM

Le città del futuro, sempre più orientate al modello di “Smart City”, mirano all’integrazione di tecnologie avanzate per migliorare qualità della vita, sicurezza e sostenibilità urbana. In questo contesto, dotare i centri urbani a elevato rischio sismico di Reti Sismiche Urbane (Urban Seismic Networks, USN o Osservatori Sismici Urbani, OSU), sistemi di Structural Health Monitoring (SHM) e Earthquake Early Warning (EEW) rappresenta una scelta strategica per una gestione moderna e consapevole del rischio, a tutela di persone e infrastrutture.

Negli ultimi decenni, soprattutto nelle aree ad alto rischio sismico come Giappone, California e Sumatra, si è assistito allo sviluppo di reti sismiche urbane e sistemi di Early Warning sismico, che assicurano monitoraggio continuo e l’elaborazione in tempo reale dei dati raccolti.

Questi sistemi permettono di fornire rapidamente ai centri per la gestione delle emergenze mappe di scuotimento e informazioni sull’intensità del terremoto, facilitando una gestione ottimale delle priorità e delle risorse. In caso di terremoto, le verifiche di danneggiamento e agibilità degli edifici possono così essere organizzate in modo mirato, in base alle aree con maggiori scuotimenti misurati dalla rete.



Le USN/OSU forniscono dati in tempo reale per il monitoraggio continuo di territorio e infrastrutture. Integrando queste reti con sistemi smart SHM e piattaforme digitali di supporto alle decisioni, si creano ecosistemi urbani più resilienti e capaci di gestire le emergenze in modo innovativo.

La diffusione di queste tecnologie non solo rafforza la capacità di risposta, ma promuove la cultura della prevenzione, rendendo le città più intelligenti e sicure.

In Italia, alcune città stanno recentemente diventando laboratori di innovazione per la mitigazione del rischio sismico, grazie allo sviluppo di OSU: micro-reti di sensori sismo-

accelerometrici integrate nelle infrastrutture di monitoraggio nazionali e regionali.

Le USN/OSU perseguitano due obiettivi principali:

- migliorare la conoscenza della risposta sismica locale in ambiente urbano, superando i limiti degli studi tradizionali di microzonazione e consentendo di valutare come le diverse caratteristiche geologiche influenzano l’amplificazione delle onde sismiche;
- fornire dati in tempo reale per sistemi di allerta rapida e per la sorveglianza di edifici strategici e infrastrutture critiche.

Questi obiettivi risultano particolarmente rilevanti alla luce dei più recenti terremoti dell’Aquila e dell’Italia centrale, che hanno messo in evidenza l’inadeguatezza della sola classificazione sismica regionale o delle zone omogenee basate sulla microzonazione. Le differenze significative nel movimento del suolo osservate anche a breve distanza hanno, infatti, mostrato la necessità di un monitoraggio più capillare e dinamico, capace di cogliere le reali condizioni locali per supportare decisioni tempestive ed efficaci.

In Italia, la realizzazione degli OSU è iniziata nel 2020 a Catania, nel suo centro storico, con l’installazione di una rete di 22 stazioni sismooaccelerometriche, oggi parte dell’infrastruttura **“Monitoraggio Sismico Urbano e delle Infrastrutture – CMSU”** dell’INGV.

In Sicilia sono in fase di realizzazione l'OSU di Messina-Reggio Calabria; nell'Italia meridionale quello di Potenza, finanziato dal CGIAM e gestito in collaborazione con l'INGV; mentre l'OSU dei Campi Flegrei integra le reti dell'Osservatorio Vesuviano e della Protezione Civile.

A Ragusa, un primo nucleo di OSU è stato realizzato nel 2022 con una stazione presso il Municipio, cui si sono aggiunte altre due postazioni tra il 2022 e il 2023, nel periodo del monitoraggio del ponte Papa Giovanni XXIII durante il progetto "Monyia". Quest'opera, nota anche come ponte San Vito, è strategica perché collega il centro storico con la parte sud della città, attraversando la vallata Santa Domenica. Vista la sua importanza per la mobilità cittadina e le condizioni di degrado, sono necessari interventi di miglioramento strutturale e il ripristino del sistema di monitoraggio per garantirne sicurezza e funzionalità.

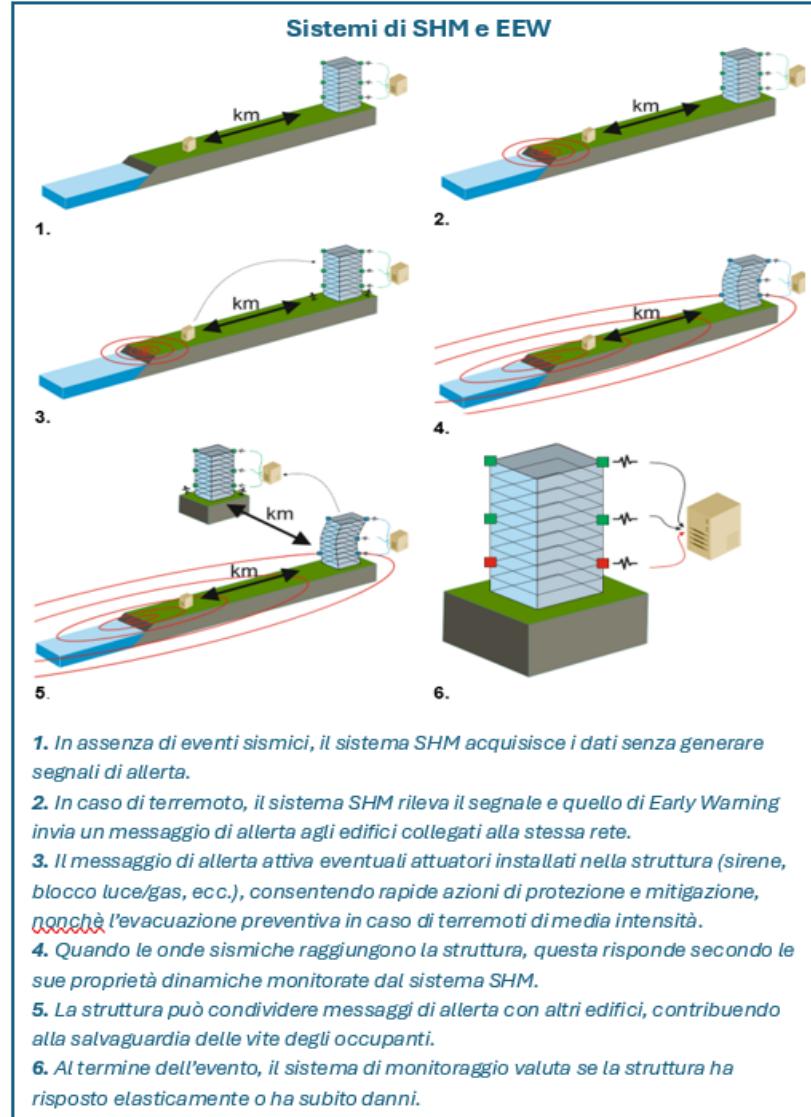
L'intensa crisi bradisismica che sta interessando l'area dei Campi Flegrei ha evidenziato la necessità di strumenti integrati per la gestione del rischio sismico. Tra questi, l'integrazione tra USN/OSU e sistemi di SHM consente una visione completa dello stato di salute degli edifici e delle infrastrutture, permettendo di monitorarne il comportamento prima, durante e dopo i terremoti. L'SHM, abbinato alla rete accelerometrica urbana, monitora in tempo reale le condizioni delle strutture, rileva temporaneamente eventuali danni e permette di correlare i dati sismici con la risposta degli edifici, individuando rapidamente situazioni di rischio e ottimizzando la gestione delle infrastrutture. Parallelamente, un sistema di Earthquake Early Warning (EEW), in caso di terremoti di forte magnitudo e con epicentro situato a una certa

distanza dal sito target, può offrire la possibilità di **rilevare e comunicare in anticipo** l'arrivo delle onde sismiche più distruttive, consentendo l'attivazione di procedure di emergenza e **l'allertamento automatico di infrastrutture e popolazione**.

L'integrazione tra OSU, SHM ed EEW permette quindi di massimizzare la sicurezza urbana: le **informazioni** generate in tempo reale favoriscono decisioni tempestive, la gestione **coordinata** delle emergenze e interventi mirati per la salvaguardia di edifici **strategici** e beni culturali.

Questo approccio innovativo rende le città più resilienti e capaci di affrontare in modo efficace sia la prevenzione che la risposta agli eventi sismici, promuovendo una cultura della sicurezza e della tutela del territorio.

Tuttavia, a differenza di paesi come Giappone e Stati Uniti, dove i sistemi di Early Warning sono già operativi,



in Italia la responsabilità legale della loro attivazione resta delicata. Questi sistemi, ancora sperimentali, presentano rischi di falsi o mancati allarmi e la mancanza di una normativa specifica complica la definizione di responsabilità e procedure.

Un Progetto di Osservatorio Sismico Urbano a Ragusa

Alla luce di quanto riportato nei paragrafi precedenti, la realizzazione di un Osservatorio Sismico Urbano a Ragusa rappresenterebbe un passo fondamentale per la tutela del territorio, dei suoi abitanti e del patrimonio storico-artistico cittadino. Quest'ultimo costituisce non solo il cuore della comunità locale, ma anche un elemento centrale per lo sviluppo economico e turistico dell'intera area. L'implementazione di una rete di monitoraggio avanzata garantirebbe una gestione più consapevole del rischio sismico, contribuendo a proteggere e valorizzare le risorse e le identità della città.

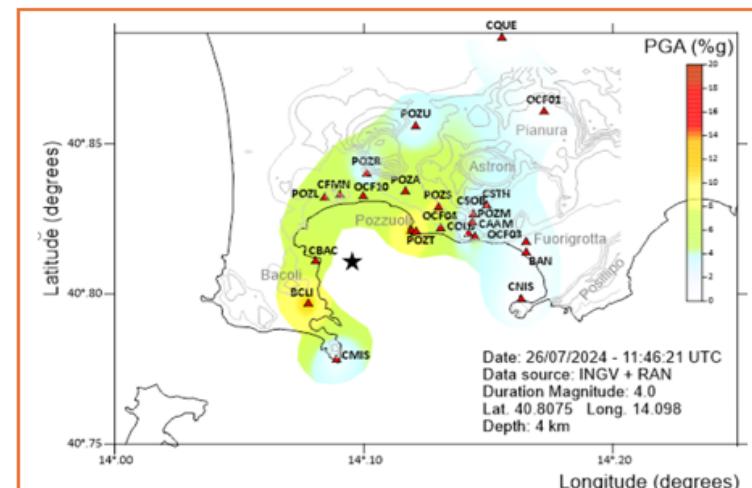
Come già accennato, uno dei principali elementi di criticità è legato alla "fragilità" del patrimonio edilizio, in gran parte realizzato prima dell'introduzione delle normative antisismiche, e dalla recente classificazione in zona sismica I, che richiede un adeguamento delle strategie di prevenzione e protezione.

La presenza di una rete di sensori accelerometrici, sistemi avanzati di monitoraggio strutturale e allerta rapida consentirebbe di acquisire dati dettagliati in tempo reale, facilitando interventi tempestivi e una più efficace mitigazione degli effetti dei terremoti. Ad esempio, sarebbe possibile elaborare in tempo reale mappe di scuotimento (shake maps)

ad alta risoluzione, utili per visualizzare e valutare gli effetti di eventi sismici anche di bassa magnitudo e individuare aree soggette ad amplificazioni locali. I parametri ingegneristici estratti dai segnali registrati (PGA, PGV, SA, AI, HSI) consentirebbero di identificare con precisione le zone più vulnerabili, supportando progettisti e autorità nella pianificazione degli interventi e nella gestione delle emergenze. Questo approccio integrato promuove una visione moderna e consapevole della sicurezza urbana e della tutela del patrimonio.

Considerazioni e riflessioni per il futuro

Questo documento fa seguito ai lavori del seminario di studi "Scenari di rischio nel sistema territoriale ibleo" tenutosi a Ragusa il 9-10 giugno 2025, dove è stata approfondita la possibilità di sviluppare un modello virtuoso di collaborazione tra comunità scientifica e istituzioni territoriali. In particolare, riguardo alla Convenzione già attiva tra INGV e Libero Consorzio Comunale di Ragusa. La Presidente del Libero Consorzio, prof.ssa Maria Rita Schembari ha confermato la piena disponibilità di promuovere le iniziative finalizzate alla riduzione del rischio sismico e al ripristino-adeguamento-potenziamento della rete sismica provinciale. In tale contesto, richiamando l'Ordine del giorno conclusivo dei lavori



Esempio di mappa di scuotimento per un terremoto registrato nell'area densamente urbanizzata dei Campi Flegrei, ottenuta dall'interpolazione dei valori di picco accelerometrici (PGA) registrati dalle reti dell'Osservatorio Vesuviano-INGV, della Protezione civile RAN e del CMSU-INGV.

seminariali, è atteso il tavolo tecnico-scientifico presso il Libero Consorzio, quale passaggio essenziale per l'auspicata nascita a Ragusa di un "Centro di monitoraggio interdisciplinare per la Mitigazione dei Rischi", comprensivo della Sala Operativa per la rete sismica urbana e provinciale. In tale direzione sono stati avviati contatti con il Commissario liquidatore della ex ASI Ragusa, al fine di esplorare la possibilità di collocare il Centro nell'immobile di forma circolare attualmente dismesso.

La prevenzione e la mitigazione del rischio sismico nella Provincia di Ragusa, come nel resto d'Italia, rappresentano una sfida urgente e

complessa, resa ancora più difficile dalla vulnerabilità di edifici e infrastrutture spesso privi di criteri antisismici.

L'elevata pericolosità del territorio e la presenza di numerosi edifici storici rendono impraticabile una messa in sicurezza estesa, sia per tempi che per costi. Risulta quindi fondamentale concentrare le risorse su aree e strutture a maggiore rischio, quali ospedali, scuole e infrastrutture strategiche.

Dal punto di vista della governance territoriale, la prevenzione deve superare la logica emergenziale e fondarsi su una pianificazione strategica di lungo periodo, con priorità territoriali e strumenti coordinati tra le istituzioni. Solo attraverso una forte integrazione tra azioni individuali, consapevolezza collettiva e programmazione istituzionale sarà possibile ridurre in modo efficace il rischio sismico.

Per quanto riguarda l'edilizia privata, strumenti come il Sismabonus, pur promettenti, hanno avuto un impatto limitato a causa della burocrazia e della priorità accordata all'efficientamento energetico. Anche il PNRR ha destinato poche risorse agli interventi antisismici e presenta ritardi attuativi. Tuttavia, è necessario rafforzare queste iniziative e coinvolgere i cittadini in modo sempre più attivo e responsabile, affinché la cultura della prevenzione e della sicurezza diventi patrimonio condiviso della comunità.

Infine, per rafforzare la consapevolezza pubblica, è necessario adottare decisioni basate su dati scientifici e strumentali. In questo scenario, le Urban Seismic Networks (USN), i sistemi di Structural Health Monitoring (SHM) e quelli di Earthquake Early Warning (EEW) assumono

un ruolo fondamentale per una gestione urbana più efficace e una mitigazione del rischio sismico



Ipotesi di Rete Provinciale con circa 20 stazioni



Ipotesi di "Centro di monitoraggio interdisciplinare per la Mitigazione dei Rischi" presso struttura ex ASI, comprensivo della Sala Operativa dove transitano e sono gestiti i dati della rete sismica urbana e provinciale



Ipotesi di Rete Sismica Urbana a Ragusa con circa 30 stazioni ubicate presso edifici strategici (Municipio, Prefettura, Protezione Civile, ecc..) e edifici rilevanti (scuole, ospedali, ecc..). I triangoli in rosso sono siti OSU_CMSU.



INGV, O.E.- Osservatorio Etneo di Catania, attività divulgativa

RELATORI



Sergio Gurrieri

Geochimico, Dirigente di Ricerca INGV, Sezione di Palermo
Consigliere di Amministrazione dell'INGV

Coautori: Roberto M. R. Di Martino, Vincenzo Francofonte, Giuseppe Messina, Giuseppe Passafiume.

Le risorse idriche della Provincia di Ragusa sono minacciate da tre fattori principali: i cambiamenti climatici, l'ingressione marina e l'uso di fitofarmaci nelle attività agricole intensive. Indagini recenti confermano l'intrusione marina nelle falde costiere ed una elevata presenza di fitofarmaci soprattutto nelle falde acquifere più superficiali, superiori ai limiti imposti dalle normative europee.

Per proteggere le risorse idriche dell'area, è indispensabile che gli enti preposti al controllo del territorio adottino un quadro normativo dinamico. Tale strumento dovrebbe regolare l'estrazione dell'acqua e l'uso di fitofarmaci, adattandosi in tempo reale alle condizioni effettive delle falde.

A tal fine, si propone un sistema di monitoraggio delle falde acquifere della provincia ragusana, basato su stazioni permanenti automatiche e campionamenti da svolgere su base trimestrale. Tutti i dati raccolti verrebbero resi disponibili in tempo reale attraverso una piattaforma informatica dedicata, in modo da valutare tempestivamente l'efficacia delle misure adottate e, eventualmente, apportare le correzioni necessarie per la protezione delle risorse idriche della provincia.

ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO GEOCHIMICO SUGLI ACQUIFERI, FENOMENI INTRUSIVI, PROGRAMMAZIONE DEL MONITORAGGIO DELLA COSTA RAGUSANA

Autori: Sergio Gurrieri, Roberto M. R. Di Martino, Vincenzo Francofonte, Giuseppe Messina, Giuseppe Passafiume.

*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia,
Sezione di Palermo*

Abstract

The Province of Ragusa boasts abundant and high-quality water resources, which have historically supported flourishing livestock farming and agricultural activities in the plains of Catania and Vittoria-Comiso. Today, the future of these resources is primarily threatened by three factors: climate change, saltwater intrusion, and the use of pesticides in agriculture and farming. Recent studies have confirmed saltwater intrusion into coastal aquifers and pesticide levels exceeding current regulations. Both factors indicate that the shallow aquifer is in a severe state of degradation.

To address this issue, a monitoring program is proposed. This program will consist of automatic and permanent measuring stations, along with quarterly sampling and analysis of water from wells and springs, all integrated into a management information system. The proposed activities will allow for the evaluation of water quality over time, suggesting potential corrective measures to local authorities for more effective

water resource management. Furthermore, it is essential that the population be guided towards a more rational use of water resources, reducing waste and reusing wastewater and/or utilizing brackish water where the activity permits. In this regard, local authorities must invest in training and define sustainable practices to protect water reserves and ensure a resilient future for the province.

Riassunto

La Provincia di Ragusa vanta risorse idriche abbondanti e di buona qualità che negli anni hanno supportato fiorenti attività di allevamento ed agricole nelle piane di Catania e Vittoria-Comiso. Oggi, il futuro di queste risorse è minacciato principalmente da tre fattori: i cambiamenti climatici, l'ingressione marina e l'uso di fitofarmaci in agricoltura. Studi recenti hanno confermato l'intrusione marina nelle falde costiere e livelli di fitofarmaci superiori alle normative Europee (Piano di Tutela delle Acque – 2006: Testo Unico Ambientale T.U.A. - 2012), entrambi i fattori indicano che la falda superficiale è in forte stato di degrado.

Per affrontare questo problema, si propone un programma di monitoraggio che consiste in stazioni di misura automatiche permanenti ed attività di campionamento ed analisi delle acque dei pozzi e sorgenti da svolgere su base trimestrale, integrate in un sistema informatico gestionale. Le attività proposte permettono di valutare lo stato di qualità delle acque nel tempo suggerendo agli enti locali eventuali correttivi per la gestione più efficace delle risorse idriche.

È essenziale, inoltre, che la popolazione venga indirizzata verso un uso più razionale delle risorse idriche riducendo gli sprechi e riutilizzando acque reflue e/o utilizzando acque salmastre quando l'attività lo consente. In quest'ottica, gli Enti locali devono investire in formazione e definire pratiche sostenibili per proteggere le riserve idriche e garantire un futuro resiliente per la provincia.

Introduzione

La provincia di Ragusa vanta risorse idriche abbondanti e di buona qualità, come dimostrato dagli studi idrogeologici e geochimici condotti nel corso degli anni. Il bacino idrogeologico dei Monti Iblei sostiene l'approvvigionamento idrico di due delle aree siciliane a più alta ~~concentrazione~~ di agricoltura intensiva: la Piana di Catania e la Piana di Vittoria-Comiso. Il bacino è costituito da sei corpi idrici, di cui quattro carbonatici, uno vulcanico e un altro situato in depositi carbonatici e vulcanici.

Le caratteristiche principali di questi corpi idrici consistono in:

- Un'estensione complessiva prossima a 1 miliardo di m³.
- Un'elevata permeabilità dovuta a porosità, fratturazione, fessurazione e carsismo.
- Un elevato grado di vulnerabilità intrinseca delle falde libere.
- Una grande risorsa idrica immagazzinata di buona qualità.
- La presenza di zone protette e riserve naturali (dell'Irminio e, più distanti, di Vendicari, Valle dell'Anapo, il Cassibile) che contribuiscono

alla salvaguardia della risorsa idrica nel suo complesso.

Probabilmente grazie alla disponibilità di risorse idriche di qualità e in quantità e al forte spirito imprenditoriale che contraddistingue la popolazione locale, la Provincia di Ragusa vanta attività produttive di notevole rilevanza, basate sull'agricoltura intensiva e sull'allevamento per la produzione di carne, latte e derivati. Fino ad oggi, le risorse idriche necessarie allo sviluppo di queste attività sono state sufficienti per raggiungere importanti traguardi economici, portando benessere e ricchezza in quest'area della Sicilia.

I cambiamenti climatici, l'ingressione marina nelle falde costiere, l'utilizzo di fitofarmaci e prodotti affini nelle coltivazioni intensive sono i principali fattori di rischio che in futuro potrebbero ridurre la qualità e la disponibilità idrica nell'area.

Cambiamenti Climatici

Il cambiamento climatico è fortemente legato al riscaldamento globale, causato dall'aumento dei gas serra in atmosfera. Dall'epoca preindustriale ad oggi, è stato osservato un incremento di circa 1.5 °C della temperatura della Troposfera. L'anidride carbonica (CO₂) è uno dei gas serra principalmente responsabili di questo aumento. Dagli anni '50 ad oggi, la concentrazione di CO₂ è aumentata da 300 ppmVol a oltre 420 ppmVol, secondo i dati acquisiti dall'osservatorio oceanografico NOAA situato sul vulcano Mauna Loa, nella Big Island dell'arcipelago Hawaiano (figura 1).

Se è vero che il clima è sempre cambiato dinamicamente riflettendo l'evoluzione del pian-

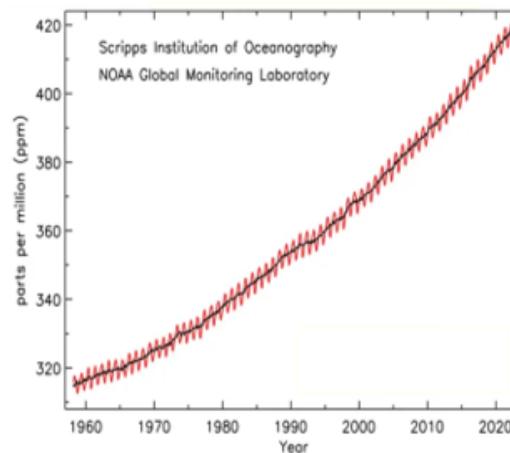


Fig. 1 - *Killing plot* – Mostra l'andamento della concentrazione di CO₂ in atmosfera dal 1959 ad oggi (Mauna Loa Observatory, <https://keelingcurve.ucsd.edu/>).

eta, è altrettanto vero che la velocità di cambiamento attuale non è paragonabile a quanto osservato nelle centinaia di migliaia di anni precedenti, dove le oscillazioni della concentrazione di CO₂ si sono manifestate nel range 150-290 ppmVol. Solo negli ultimi decenni si è verificato un incremento di oltre 130 ppmVol (figura 2).

Il cambiamento climatico ha un impatto profondo e sempre più evidente sulla disponibilità di acqua utilizzabile. Tra gli aspetti più critici si annoverano la riduzione delle risorse idriche di falda, l'alterazione dei regimi di precipitazione, la fusione dei ghiacciai e della neve e l'aumento dell'evaporazione. Anche gli eventi meteorologici estremi sono correlati al

cambiamento climatico. La figura 3 mostra gli effetti disastrosi del nubifragio (Medicane) avvenuto nel 2023 a Valencia (Spagna).

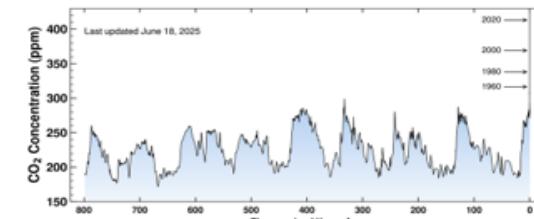


Fig. 2 – Andamento della concentrazione di CO₂ in atmosfera da 800.000 anni ad oggi. Il grafico mostra la rapida crescita della concentrazione di CO₂ dalla fine degli anni '50 a fronte di variazioni altalenanti comprese fra 170 e 300 ppmVol (<https://keelingcurve.ucsd.edu/>).

Il cambiamento climatico espone varie aree del pianeta a rischio di aridità. Per la regione Sicilia, l'indice di aridità calcolato indica che oltre metà del territorio è in uno status di aridità o semi-aridità. (figura 4).



Fig. 3 – Immagine del disastro provocato dall'alluvione di Valencia (ottobre 2024).

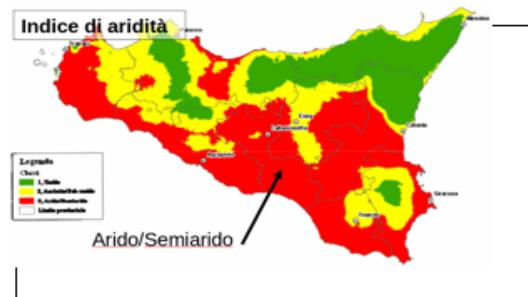


Fig. 4 – Indice di aridità della regione Sicilia. Oltre metà del territorio della regione mostra valori estremamente elevati (P.T.A. 2006).

Ingressione marina

Un altro aspetto cruciale da considerare è l'ingressione marina nelle falde acquifere costiere, una minaccia silenziosa per le risorse idriche in queste aree. L'ingressione marina è dovuta alla migrazione di acqua salata nei corpi idrici costieri a seguito di mutati equilibri idrodinamici, dipendenti da minori precipitazioni o maggiore emungimento della risorsa idrica. L'intrusione marina è una delle sfide ambientali più pressanti e pervasive nelle zone costiere a livello globale, che minaccia direttamente la disponibilità di acqua potabile, la produttività agricola e la sostenibilità degli ecosistemi. Comprendere le sue cause, gli impatti e trovare soluzioni per contrastare questo fenomeno è di estrema importanza per garantire la sicurezza idrica futura e la resilienza delle comunità.

Il fenomeno dell'ingressione marina nelle falde dolci costiere è un processo complesso che dipende dalle differenze di densità tra acqua dolce e acqua salata. Negli acquiferi costieri,

l'acqua dolce a contatto con l'acqua di mare, a causa della differenza di salinità, forma una lente galleggiante sopra l'acqua salata. Quando il livello piezometrico dell'acquifero dolce si abbassa al di sotto di un certo limite, l'acqua salata risale dalla base dell'acquifero o penetra lateralmente dalle zone di scarico compromettendo, spesso irrimediabilmente, la qualità delle acque sotterranee. Le cause principali di tale abbassamento includono:

- L'eccessivo sfruttamento della risorsa idrica per scopi agricoli, industriali o urbani, superiore ai valori di ricarica naturale dell'acquifero (fattore scatenante preponderante a livello mondiale).
- L'innalzamento del livello del mare legato ai cambiamenti climatici e il conseguente aumento della pressione idrostatica dell'acqua salata contro la costa.
- La riduzione della ricarica naturale in seguito ad alterazioni del ciclo idrologico (per siccità prolungate, impermeabilizzazione del suolo dovuta all'urbanizzazione), a modificazioni del regime pluviometrico o a un utilizzo differente delle acque fluviali (dighe).
- La costruzione di canali artificiali che creano percorsi diretti per l'intrusione di acqua salata nelle aree interne.
- L'ingressione attraverso estuari e fiumi, dove l'acqua salata risale lungo il letto del fiume o dell'estuario durante le maree o in periodi di bassa portata del fiume.

L'impatto dell'intrusione marina è vario e può avere pesanti conseguenze ambientali, economiche e sociali. Il degrado della qualità dell'acqua potabile, ad esempio, impone la ricerca di fonti alternative spesso più costose e/o

distanti. I danni all'agricoltura, dovuti all'eccesso di sale nel suolo e nell'acqua di irrigazione, riducono drasticamente la fertilità, diminuiscono i rendimenti dei raccolti e possono portare all'abbandono di terreni precedentemente produttivi, sfociando, talvolta, in migrazioni forzate.

L'ingressione marina ha un impatto drammatico anche sugli ecosistemi d'acqua dolce, come zone umide, fiumi e laghi, provocando l'estinzione di specie vegetali e animali che non si adattano ad ambienti salini o salmastri, con conseguente perdita di biodiversità e distruzione di habitat naturali unici. Anche il deterioramento delle infrastrutture per corrosione accelera il degrado di tubature, pompe e altre infrastrutture idriche, aumentando i costi di manutenzione e rendendo meno disponibile la stessa risorsa idrica.

Combattere il fenomeno dell'intrusione salina richiede un approccio multidisciplinare che combini misure preventive, strategie di gestione e soluzioni tecnologiche. Diverse regioni del mondo hanno implementato approcci innovativi, investendo anche in modo cospicuo in opere per contrastare il fenomeno dell'ingressione marina. L'approccio, meno impegnativo in termini di risorse finanziarie, consiste nello sviluppo di sistemi integrati di gestione delle risorse idriche. Ciò implica la pianificazione e la gestione coordinata dell'acqua, del suolo e delle risorse correlate, per massimizzare il benessere sociale ed economico in modo equo, senza compromettere l'integrità degli ecosistemi. Questo approccio richiede una profonda conoscenza del contesto in cui si opera. In quest'ottica, il monitoraggio continuo delle risorse idriche attraverso reti di monitoraggio

permanenti per la misura della salinità e dei livelli piezometrici di acquiferi consente di valutare precocemente il livello di intrusione marina ed intervenire tempestivamente.

La regolamentazione dell'emungimento è una strada obbligata da seguire per proteggere le risorse idriche: gestire il prelievo e fissare i limiti massimi di emungimento basati sulla capacità di ricarica degli acquiferi sono due obiettivi fondamentali da raggiungere. In aree come lo stato di Israele e la California, sono state istituite agenzie di gestione degli acquiferi con poteri di regolamentazione adeguati al problema.

D'altro canto, ridurre l'emungimento e/o incrementare la ricarica delle falde acquifere sono le due azioni che possono contrastare l'ingressione marina nelle falde acquifere costiere.

La riduzione dell'emungimento si ottiene tramite un uso razionale delle risorse idriche; occorre mettere in atto politiche di riduzione degli sprechi e di trattamento e riutilizzo delle acque reflue. Queste ultime, dopo opportuni processi, possono essere reimpiegate per l'irrigazione, la ricarica di acquiferi o per vari scopi industriali. In paesi quali lo stato di Israele e la California tramite il Groundwater Replenishment System dell'Orange County, il riutilizzo delle acque reflue è una pratica consolidata di grande successo che consente la ricarica artificiale degli acquiferi. Attraverso la ricarica, il livello freatico della falda può essere innalzato fissando condizioni che impediscono o limitano l'ingressione di acqua marina nella falda costiera.

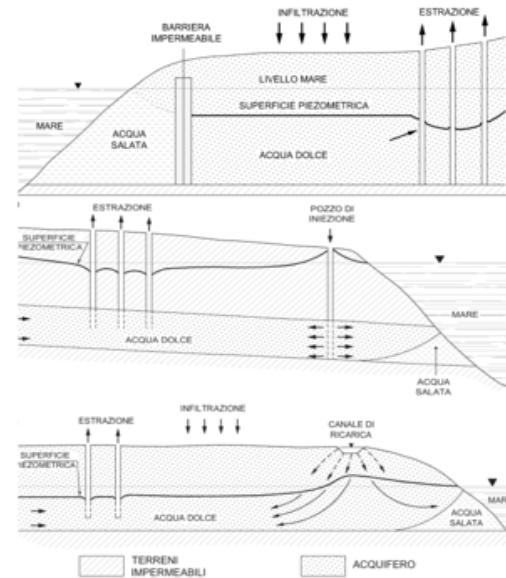


Fig. 5 – Interventi per contrastare l'ingressione salina nelle falde costiere. Dall'alto verso il basso: barriere impermeabili, array di pozzi di iniezione di acque dolci paralleli alla linea di costa, canali di ricarica (immagini estratte da Cottecchia V., 2014).

La tecnica viene applicata in modi molto differenti in relazione al contesto naturale in cui si opera (figura 5). In aree quali l'Arabia Saudita, gli Emirati Arabi Uniti ed isole fra cui Malta e le Canarie l'immissione di acqua dolce desalinizzata in falda avviene in modo diretto iniettando attraverso pozzi di ricarica. Anche se la desalinizzazione è una tecnica fortemente energivora e costosa, può rappresentare una soluzione obbligata soprattutto in regioni con gravi problemi di intrusione salina.

In altre aree si usa acqua proveniente da fiumi o piovana che viene immessa attraverso la bacini di infiltrazione e pozzi.

La realizzazione di barriere fisiche che si oppongono all'ingresso dell'acqua di mare nelle falde costiere è un altro metodo oggi usato per combattere l'intrusione marina. Le barriere possono essere di tipo fisico (malte cementiziose o sedimenti a bassa permeabilità) o idrauliche, ottenute iniettando acqua dolce o talvolta acqua marina desalinizzata in pozzi strategicamente posizionati lungo la costa (West Coast Basin Barrier Project a Los Angeles).

La pianificazione urbana e costiera che integri la gestione dell'intrusione salina nelle strategie di sviluppo urbano costiero è un ulteriore strumento di grande importanza per la protezione delle risorse idriche. Attraverso una pianificazione del territorio che tiene conto di questi aspetti si evita di costruire nuove infrastrutture che penalizzano l'infiltrazione delle acque piovane nelle falde costiere.

Attività che contribuiscono a ridurre ulteriormente la pressione sugli acquiferi consistono in: i) promozione di politiche per un utilizzo più responsabile dell'acqua in tutti i settori produttivi (agricolo, industriale, domestico) attraverso tecnologie a basso consumo idrico, riutilizzo delle acque reflue, utilizzo di acque salmastre nei settori che lo consentono, pratiche irrigue più efficienti (irrigazione a goccia, sistemi smart); ii) campagne di sensibilizzazione dell'opinione pubblica anche attraverso le scuole.

In aree dove la salinizzazione è inevitabile, fra le pratiche che potremmo definire resilienti

possono essere evidenziate l'adattamento agricolo ottenuto tramite la piantumazione di colture tolleranti al sale (Alicole) e la gestione del suolo per il miglioramento del drenaggio e la lisciviazione dei sali.

Fitofarmaci impiegati nelle coltivazioni intensive

L'utilizzo di fitofarmaci è un'altra causa potenziale del degrado della qualità di una risorsa idrica. Le colture intensive, pur essendo fondamentali per la produzione alimentare su larga scala, presentano un importante rovescio della medaglia: l'uso massiccio di fitofarmaci (pesticidi, erbicidi, fungicidi) può compromettere irreversibilmente la qualità delle acque dolci, soprattutto delle acque di falda superficiali. Questo fenomeno ha ripercussioni ecologiche ed economiche profonde, che meritano un'analisi approfondita in quanto i fitofarmaci una volta applicati sui campi, non rimangono confinati alla superficie delle piante ma, in parte, seguono varie vie di dispersione quali:

- Il ruscellamento superficiale durante eventi piovosi e attraverso i sistemi di irrigazione. I fitofarmaci dilavati dal terreno raggiungono le falde acquifere, i fiumi, i laghi e gli stagni.
- La percolazione nel suolo, che interessa principalmente i fitofarmaci più solubili e meno legati alle particelle del terreno che, attraverso questo canale, raggiungono le falde freatiche.
- La deriva aerea, sostenuta dal vento che durante l'applicazione trasporta in parte i fitofarmaci sotto forma di aerosol su varie aree limitrofe, inclusi i corpi idrici.

La presenza di fitofarmaci nelle acque dolci causa tossicità per gli organismi acquatici, con effetti che vanno dalla mortalità diretta all'alterazione riproduttiva, a modifiche comportamentali e fisiologiche in pesci, anfibi, invertebrati e alghe, compromettendo interi ecosistemi. Altri effetti riguardano il bioaccumulo, che consiste nell'accumulo di fitofarmaci persistenti nei tessuti degli organismi acquatici e nell'aumento di concentrazione lungo la catena alimentare (biomagnificazione), raggiungendo livelli pericolosi nei predatori apicali, compresi uccelli e mammiferi che si nutrono di organismi acquatici. La riduzione o l'eliminazione di alcune specie faunistiche sensibili ai fitofarmaci può, a catena, alterare drasticamente la struttura e la funzione degli ecosistemi acquatici, riducendo la biodiversità e compromettendo servizi ecosistemici fondamentali come la depurazione naturale delle acque.

La contaminazione delle falde acquifere superficiali, e/o sotterranee con fitofarmaci rappresenta un rischio non trascurabile per la salute umana. I processi di potabilizzazione possono non essere sufficienti a rimuovere completamente tutti i residui, esponendo la popolazione a potenziali effetti a lungo termine sulla salute.

Per mitigare il danno da fitofarmaci alle acque dolci, viene generalmente seguito un approccio multifattoriale che include pratiche agricole sostenibili (agricoltura biologica, agricoltura di precisione, rotazione delle colture, uso di tecniche di lotta integrata e gestione consapevole dei parassiti per ridurre la dipendenza dai fitofarmaci chimici). L'aumento dei controlli sull'approvazione, l'uso e lo smaltimento dei

fitofarmaci e l'applicazione di sanzioni per chi non rispetta le direttive comunitarie è un deterrente oggi largamente utilizzato con risultati non sempre positivi. Lo sviluppo di alternative ai fitofarmaci, quali biopesticidi, organismi di controllo biologico e altre soluzioni ecocompatibili per la protezione delle colture, sono obiettivi che in futuro si dovrà cercare di raggiungere per risolvere radicalmente questo problema.

Qualità delle Acque del Ragusano

Recenti studi condotti sulle falde acquifere prossime alla linea di costa nel ragusano evidenziano alcuni aspetti critici sullo stato di qualità delle acque che destano grande preoccupazione. Gli studi indicano che il livello di salinizzazione dovuto ad ingressione marina nelle falde costiere è tutt'altro che trascurabile anche se all'epoca delle indagini (2012) i valori erano costanti nel tempo con valori di conducibilità elettrica inferiori ai valori soglia previsti dalla normativa (P.T.A 2006). Nel suolo i tenori di fitofarmaci risultano costantemente superiori agli standard di qualità ambientale. Coerentemente, all'interno delle serre le concentrazioni di fitofarmaci sono risultate costantemente al di sopra dei limiti normativi. L'acquifero superficiale risulta fortemente compromesso, con uno stato chimico non buono per la presenza di fitofarmaci. L'acquifero profondo presenta tracce di inquinanti, ma lo stato chimico risulta buono rispetto agli standard dettati dalle normative.

Infrastruttura per il monitoraggio delle falde acquifere

Un sistema osservativo idoneo al monitoraggio dell'ingressione marina nelle falde acquifere costiere del ragusano e della qualità delle acque in falda deve prevedere una rete di stazioni permanenti installate in sorgenti e pozzi non soggetti ad emungimento e campagne di misura periodiche estese a pozzi anche in zone dell'entroterra, allo scopo di ottenere indicazioni sulla circolazione idrica sotterranea sull'intera area soggetta a coltivazioni intensive. I dati acquisiti da questa infrastruttura devono infine confluire in una piattaforma informatica in grado di consentire lo storage, l'elaborazione, la visualizzazione e la disseminazione controllata dei dati a diverse tipologie di stakeholder.

Per realizzare l'infrastruttura è necessario svolgere indagini e test allo scopo di verificare l'idoneità dei siti ad ospitare strumentazioni di misura permanenti ma le numerose informazioni riguardanti l'assetto idrogeologico dell'area disponibili in letteratura e presso gli enti locali preposti al controllo del territorio, semplificheranno la fase logistica preliminare. Enti locali quali il Libero Consorzio della Provincia di Ragusa, i Comuni, il Genio Civile dispongono di informazioni acquisite negli anni di grande dettaglio riguardanti il contesto idrogeologico, il numero, la tipologia e il grado di sfruttamento dei pozzi, e altre caratteristiche tecniche utili per la realizzazione dell'infrastruttura. Gli enti locali saranno necessariamente coinvolti fin dalle prime fasi per la realizzazione dell'infrastruttura in modo da realizzare un'infrastruttura efficiente in grado di produrre le informazioni necessarie

alla gestione razionale delle risorse idriche nell'area.

Di seguito vengono discussi i punti più importanti per la realizzazione di un'infrastruttura per il monitoraggio delle falde acquifere costiere e pre-costiere della provincia di Ragusa.

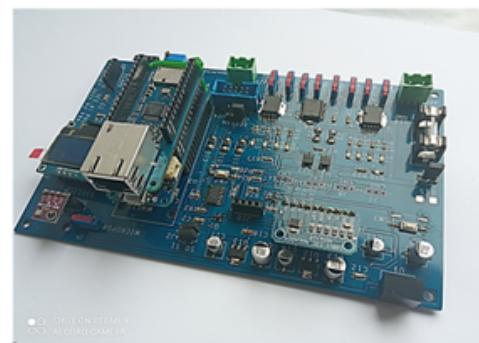


Fig. 6 – Datalogger sviluppato da INGV per il monitoraggio di parametri geochimici in fluidi in aree soggette a rischi naturali.

Rete Permanente di Monitoraggio

Le strumentazioni da utilizzare per la realizzazione di questa infrastruttura consistono essenzialmente in sonde per il monitoraggio di tre parametri principali: temperatura, conducibilità elettrica e livello freatico. Esistono numerosi strumenti commerciali in grado di effettuare queste misure e, ad intervalli costanti, trasmettere i dati a un sistema informatico per lo storage, elaborazione, la visualizzazione e la disseminazione dei risultati.

Le sonde vanno installate in pozzi dedicati, non soggetti ad emungimento, e ubicate secondo allineamenti (array) perpendicolari alla linea di costa. Tenendo conto dell'assetto idrogeologico dell'area, le sonde devono essere installate in pozzi che intercettano la falda più superficiale e in pozzi connessi alla falda più profonda.

Almeno in fase di prima attuazione dell'infrastruttura, devono essere realizzati tre/quattro array, ciascuno costituito da altrettante sonde, poste a una distanza compresa fra 50 e 200 metri l'una dall'altra e posizionati in prossimità della linea di costa nelle aree intensamente coltivate Vittoria-Santa Croce Camerina e Donnalucata-Scicli, situate rispettivamente a est e ad ovest di Marina di Ragusa.

I dati acquisiti in pozzo devono essere corredati anche da informazioni riguardo la composizione chimica e la portata di acqua emesse dalle sorgenti presenti nel ragusano. Almeno quattro sorgenti vanno monitorate con strumentazioni permanenti adatte a monitorare i parametri chimico-fisici e la portata delle acque emesse. Le strumentazioni in questo caso sono differenti dalle precedenti, per cui sarà necessario sviluppare strumentazioni ad hoc e realizzare opere in situ per consentire la misura delle portate di acqua (figura 6).

L'acquisizione dati attraverso le reti permanenti deve avvenire su tempistiche adeguate a rilevare e filtrare le variazioni giornaliere, di marea e stagionali. Acquisizioni su base oraria sono adatte per fornire serie idonee al tipo di processing previsto per questi studi.



Fig. 7 – Stazione automatica per il monitoraggio delle acque sviluppata da INGV utilizzata per il monitoraggio geochemico in aree vulcaniche (Etna, Vulcano).

In considerazione del basso numero di dati prodotti dall'infrastruttura, il trasferimento dei dati può essere sostenuto dalle reti mobile commerciali (figura 7).

Campagne di Misura Periodiche

Il sistema osservativo permanente non è sufficiente per ottenere indicazioni esaustive sul livello di ingressione marina nelle falde acquifere costiere e per valutare la qualità delle acque in generale. A tale scopo è necessario associare

campagne di misura periodiche su almeno 20 pozzi, definendo una rete fiduciaria di riferimento, individuati nelle due aree soggette a coltivazione intensiva, sia in prossimità della linea di costa sia nell'entroterra. Almeno in prima attuazione, la rete di pozzi fiduciaria deve essere campionata con frequenza trimestrale. Nel corso di queste campagne vanno misurati *in situ* i parametri chimico-fisici delle acque (temperatura, conducibilità elettrica, pH, livello freatico) e prelevati campioni per successive analisi di laboratorio riguardanti i costituenti maggiori (Na, K, Ca, Mg, HCO_3 , SO_4 , HCl, F, NH_3), alcuni minori (Li, B) ed in tracce (Be, C, Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, Tl, Pb, U). Ulteriori analisi riguarderanno i fitofarmaci utilizzati nelle colture intensive (erbicidi, fungicidi, insetticidi e altro). A differenza dei precedenti, i campioni di acqua per la valutazione del contenuto in fitofarmaci dovranno essere analizzati presso laboratori specializzati, in quanto l'INGV non dispone delle strumentazioni e del know-how necessario. Il monitoraggio discreto deve includere anche le acque delle principali sorgenti e pozzi a monte della rete fiduciaria, in modo da ottenere un'informazione complessiva sullo stato di qualità delle acque del ragusano.

Sistema Informatico per la Gestione dell'Infrastruttura

Un'infrastruttura per il monitoraggio delle acque è un sistema estremamente complesso costituito da più componenti e richiede elaborazioni e controlli frequenti per valutare lo stato di

funzionamento dell'intero sistema e valutare la comparsa di eventuali anomalie. La gestione dell'infrastruttura deve essere semplificata tramite un sistema informatico, termine con cui si intende un sistema hardware/software integrato che automatizzi i processi di acquisizione e storage dei dati inviati dalle stazioni remote, evidenzi malfunzionamenti della rete, elabori in modo automatico e semi-automatico i dati acquisiti attraverso l'applicazione di programmi per il filtraggio delle componenti periodiche, l'analisi di frequenza e risonanza, e la creazione di mappe di allarme. Il sistema informatico deve anche contenere strumenti per la visualizzazione e la disseminazione dei dati e degli elaborati prodotti. Il sistema informatico riduce in modo considerevole l'impegno del personale e facilita i processi manutentivi e decisionali.

Esistono prodotti commerciali, anche open-source, che assolvono almeno in parte alle funzionalità indicate. Presso gli enti di ricerca come l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), fortemente impegnati in attività di monitoraggio di rischi naturali quali sistemi vulcanici attivi ed aree sismo-genetiche, vengono sviluppati e continuamente aggiornati sistemi informatici di questo genere.

Presso la Sezione di Palermo dell'INGV è stato sviluppato un sistema informatico adatto alla gestione di dati geochimici riguardanti le emissioni gassose naturali in aree vulcaniche, facilmente espandibile attraverso programmi esterni (plug-in) ed adattabile per la gestione delle acque. Questo software può essere adattato per la gestione dell'infrastruttura osservativa per

il monitoraggio delle acque nella provincia di Ragusa.

La figura 8 mostra il software GasNetAnalytics, utilizzato presso la Sezione di Palermo dell'INGV. Questo software visualizza, tramite grafici e tabelle dinamiche, serie di dati su base temporale acquisiti dalle reti di monitoraggio geochimico e inseriti in appositi database.

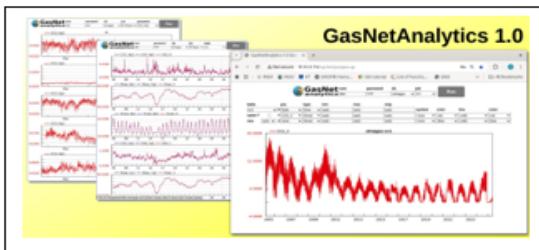


Fig. 8 – Software GasNetAnalytics sviluppato per la gestione tecnica e scientifica dei dati acquisiti dalle reti della Sezione di Palermo dell'INGV (Gurrieri S. 2021).

I vantaggi di questo sistema informatico sono:

- possibilità di accesso remoto a dati e programmi di elaborazione;
- velocità di calcolo (codice scritto in linguaggio C che risiede su macchine performanti);
- ampliamento delle capacità di elaborazione attraverso *plug-in*;
- sistema altamente scalabile.

La figura 9 mostra i *plug-in* attualmente sviluppati.

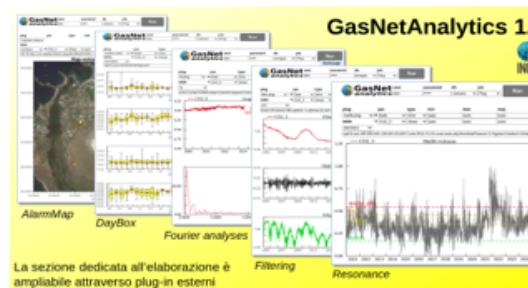


Fig. 9 – *Plug-in* attualmente disponibili per il software GasNetAnalytics. Da sinistra verso destra: a) *AlarmMap* e *DayBox* – Utilizzati per valutare su base areale e temporale il livello di concentrazione di CO₂ nella bassa atmosfera nell'isola di Vulcano (Eolie); b) *Fourier analyses* – Analisi di frequenza di generiche serie temporali; c) *Filtering* – Rimozione delle componenti periodiche (stagionali, maree, giorno/notte); d) *Resonance* – Software sviluppato per la sorveglianza di aree vulcaniche attive (Vulcano, Etna) attraverso la misura del flusso di CO₂ dal suolo.

Costi e Disseminazione

Alla luce di quanto esposto appare evidente che la realizzazione di un'infrastruttura per il monitoraggio delle acque di falda del ragusano richiede uno sforzo economico non trascurabile. Le principali voci di costo includono:

- La realizzazione della rete di monitoraggio (hardware per 15 stazioni in pozzo e 5 stazioni in sorgenti).

- L'adeguamento del sistema informatico messo a disposizione dall'INGV agli obiettivi del sistema osservativo.
- Missioni per il campionamento delle acque di pozzi e sorgenti (20 pozzi x 4 campagne all'anno).
- Analisi dei campioni di acqua presso uno o più laboratori (costituenti maggiori, minori e in tracce, e concentrazioni di fitofarmaci).
- Manutenzione periodica delle stazioni permanenti.

La stima dei costi per la realizzazione del progetto del sistema osservativo e per la gestione nei successivi tre anni proposto è dell'ordine di € 200.000.

La disseminazione dei dati acquisiti e la loro interpretazione può essere affidata a bollettini di sintesi periodicamente trasmessi agli stakeholder.

Altre attività riguardanti la divulgazione per sensibilizzare la comunità locale sull'importanza della gestione delle risorse idriche ragusane potranno essere svolti presso le scuole di vario grado e/o attraverso eventi rivolti all'intera comunità da programmare con gli enti locali di gestione del territorio.

Conclusioni

L'intrusione salina è una minaccia persistente e crescente per la sicurezza idrica globale, aggravata dai cambiamenti climatici e dalla crescente domanda di acqua. Non esiste una soluzione universale, ma piuttosto un portfolio di strategie che devono essere adattate alle specifiche condizioni idrogeologiche, climatiche e socioeconomiche di ciascuna regione.

L'adozione di un approccio integrato, che combina una gestione sostenibile delle risorse idriche, l'applicazione di tecnologie avanzate, l'adattamento delle pratiche agricole e una rigorosa pianificazione del territorio, è essenziale.

Anche la protezione delle acque dolci dalla contaminazione da fitofarmaci è una sfida complessa, ma cruciale per la salute del nostro pianeta e delle future generazioni. Un'azione concertata a livello normativo, scientifico e pratico è indispensabile per garantire un futuro in cui l'agricoltura e le risorse idriche possano coesistere in modo sostenibile.

La gestione delle risorse idriche non può prescindere dalla conoscenza dello stato di salute della falda acquifera e di eventuali anomalie che in essa si vanno manifestando. L'infrastruttura osservativa, con reti permanenti di monitoraggio e campagne periodiche di campionamento, descritta in questo lavoro, ha l'obiettivo di valutare nel tempo l'evoluzione degli effetti di ingressione di acqua marina e della presenza di fitofarmaci nelle falde ragusane. I dati ottenuti forniranno indicazioni per regolare l'emungimento e l'uso di pesticidi ed altri prodotti chimici utili per le coltivazioni intensive, ma devastanti per le falde acquifere. Le indicazioni saranno importanti per valutare l'efficacia delle misure di regolamentazione introdotte e correggerne eventualmente l'azione a breve e lungo termine.

Si aggiunge inoltre che sensibilizzare agricoltori, operatori del settore e il pubblico sui rischi associati all'uso dei fitofarmaci e la popolazione sull'importanza di proteggere le risorse idriche e

sull'uso corretto che è necessario farne, è un'attività su cui occorre investire.

Proteggere le nostre riserve idriche sotterranee è una responsabilità collettiva che richiede un impegno costante e azioni decise a tutti i livelli a cui a nessuno può essere concesso di sottrarsi.

Bibliografia

- Bear, J. (1979). *Hydraulics of Groundwater*. McGraw-Hill.
- Sherif, M., & Hamza, M. (2001). Management of coastal aquifers in arid regions: a case study from the Gaza Strip. *Environmental Geology*, 41(3), 329-338.
- Ghassemi, F., & White, I. (2007). *Groundwater Recharge and Wells: A Guide to the Development and Management of Aquifers*. CRC Press.
- Gurrieri S. (2021) GasNetAnalytics, software per la gestione scientifica e tecnica di reti geochimiche in aree vulcaniche e sismiche.
- P.T.A. 2006 - Piano di tutela delle acque della Sicilia (art. 121 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n° 152).
- Foster, S., & van der Heijden, P. (2012). *Groundwater Management: A Case Study from the West Coast Basin Barrier Project, California*. *Water Resources Management*, 26(10), 2821-2835.
- Brugaletta, L. (2012) Monitoraggio dei processi di inquinamento delle acque di falda da attività agricole intensive. Il caso studio di Donnalucata (2011-2012). Tesi di Dottorato dell'Università di Catania.
- Piano per la salvaguardia delle risorse idriche europee (2012) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?from=IT&uri=CELEX%3A52012DC0673>
- Cottecchia, V. (2014) - Le acque sotterranee e l'intrusione marina in Puglia: dalla ricerca all'emergenza nella salvaguardia della risorsa - SGN - Periodici tecnici Vol. 92/2014 ISBN:978-88-9311-003-7
- Post, V. E. A., & Kooi, H. (2018). *Saltwater Intrusion in Coastal Aquifers*. In: *The Geology of Water*. Elsevier.
- Delle Rose, M. & D'Angelo, D. (2018). *Hydrogeology of Coastal Aquifers: Saltwater Intrusion and Management Issues*. Springer.
- UN-Water. (2018). *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-based Solutions for Water*. UNESCO.
- 2023 - Studio e gestione del cuneo salino, effetti sugli ecosistemi del delta del Po, monitoraggio e modellistica - ECOSCIENZA Numero 6 • Anno 2023.

RELATORI



Marco Anzidei

Dirigente di Ricerca dell'INGV.

Laurea in Scienze Geologiche, PhD in Fisica dei Sistemi Complessi.

Si occupa di deformazioni del suolo in aree sismiche e vulcaniche e variazioni del livello del mare Mediterraneo. Autore di circa 180 pubblicazioni e 3 documentari scientifici.

Ha diretto progetti di ricerca nazionali e internazionali tra i quali i progetti Save-medcoasts (www.savemedcoasts.eu) e Savemedcoasts2 (www.savemedcoasts2.eu), finanziati dalla Comunità Europea.

Anzidei, M.; Tolomei, C.; Tripanera, D.; Alberti, T.; Bosman, A.; Brunori, C.A.; Serpelloni, E.; Vecchio, A.; Falciano, A.; Deli, G. Multi-Temporal Relative Sea Level Rise Scenarios up to 2150 for the Venice Lagoon (Italy). *Remote Sens.* 2025, 17, 820. <https://doi.org/10.3390/rs17050820>

Anzidei, M., Alberti, T., Vecchio, A. et al. Sea level rise and extreme events along the Mediterranean coasts: the case of Venice and the awareness of local population, stakeholders and policy makers. *Rend. Fis. Acc. Lincei* (2024). <https://doi.org/10.1007/s12210-024-01236-x>

Faranda, D., Ginesta, M., Alberti, T. et al. Author Correction: Attributing Venice Acqua Alta events to a changing climate and evaluating the efficacy of MoSE adaptation strategy. *npj Clim Atmos* 7, 56 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00601-9>

A Vecchio, M Anzidei and E Serpelloni Sea level rise projections up to 2150 in the northern Mediterranean coasts *Environmental Research Letters*, 19, 1, 2023. DOI 10.1088/1748-9326/ad127e

AUMENTO DEL LIVELLO MARINO FINO AL 2150 SULLE COSTE DELLA SICILIA

Autori: **Marco Anzidei**, Dirigente di Ricerca, INGV; **Tommaso Alberti**, Ricercatore INGV e **Daniele Tripanera**, Assegno di Ricerca INGV

Abstract

Climate change is one of the most urgent and complex challenges facing humanity. Rising sea levels, triggered by global warming and melting polar ice, are one of the most significant impacts shaping worldwide coastlines, with socioeconomic implications for communities. Furthermore, extreme weather events, increasingly frequent and intense, are clear evidence of an evolving climate system. In this complex framework, Sicily is a natural laboratory for observing the effects of climate change in the Mediterranean. This study provides an overview of its exposure to climate change, with particular attention to future coastal scenarios. Through a multidisciplinary analysis based on climate projections, geodesy and high-resolution topography, the risks associated with sea level rise are presented through 2150. Seven coastal areas are analyzed, which are undergoing erosion, shoreline retreat, and subsidence, resulting in the loss of socioeconomic and cultural impacts. It is therefore important to adopt shared policies to limit global warming and undertake adaptation measures for integrated coastal management. Scientific analyses offer new tools to understand and address the effects of climate change, but only through collaboration

between institutions, communities, and individuals can counteract the expected changes and build a resilient future. Investing in regional resilience, scientific knowledge and environmental education is not an option, but a necessity to ensure the safety and well-being of present and future generations. This study on Sicily aims to indicate a step in that direction.

Riassunto

Il cambiamento climatico è una delle sfide più urgenti e complesse che l'umanità si trova ad affrontare. L'aumento del livello marino, alimentato dal riscaldamento globale e dalla fusione dei ghiacci polari, è uno degli effetti più importanti che sta trasformando le coste di tutto il mondo, con implicazioni profonde per le comunità, gli ecosistemi e le economie. In aggiunta, gli eventi meteorologici estremi – sempre più frequenti e intensi – rappresentano una chiara manifestazione di un sistema climatico in evoluzione. La Sicilia rappresenta un laboratorio naturale per osservare gli effetti del cambiamento climatico in ambiente mediterraneo. In questo studio, viene fornita una panoramica sull'esposizione della Sicilia al cambiamento climatico, facendo un particolare riferimento ai futuri scenari costieri in questa regione particolarmente vulnerabile a questi fenomeni. Attraverso un'analisi multidisciplinare basata su dati di proiezioni climatiche, studi geodetici e modelli topografici digitali ad alta risoluzione, vengono presentati i rischi legati all'innalzamento del livello marino fino al 2150. Vengono analizzate sette aree costiere siciliane, incluse le isole di Lipari e Ustica, che rappresentano un campione significativo della fascia costiera soggetta ad erosione, arretramento

della linea di riva e subsidenza, con conseguente perdita di funzionalità delle infrastrutture costiere e impatti economici e culturali. Diviene quindi importante adottare delle politiche condivise per il contenimento del riscaldamento globale e intraprendere misure di adattamento per una gestione integrata delle coste. Le analisi scientifiche ci offrono gli strumenti per comprendere e affrontare gli effetti del cambiamento climatico, ma è solo attraverso la collaborazione tra istituzioni, comunità e individui che possiamo cercare di contrastare i cambiamenti attesi costruendo un futuro resiliente. Investire nella resilienza del territorio, nella conoscenza scientifica e nell'educazione ambientale non è solo un'opzione, ma una necessità per garantire sicurezza e benessere alle generazioni presenti e future. Questo studio sulla Sicilia vuole indicare un passo in quella direzione.

Introduzione

La Sicilia, posta al centro del Mediterraneo, comprende numerose isole e arcipelaghi, tra cui le Eolie (Vulcano, Lipari, Alicudi, Filicudi, Salina, Panarea e Stromboli), Ustica, le Egadi (Levanzo, Favignana e Marettimo), Pantelleria e le Pelagie (Lampedusa, Lampione e Linosa). Questa Regione è contraddistinta da una complessa storia geologica e presenta una grande varietà litologica, le cui età vanno dal Paleozoico fino all'Olocene. L'assetto geologico della Sicilia è caratterizzato dall'orogene Appenninico-Maghrebide, che collega l'Appennino al Nord-Africa attraverso l'Arco Calabro-Peloritano, nella quale sono presenti più unità tettoniche con differenti domini paleogeografici. In questo contesto, in Sicilia sono predominanti

le rocce di origine sedimentaria, sebbene siano presenti anche quelle di origine magmatica. Queste ultime sono localizzate in corrispondenza degli apparati vulcanici dell'Etna, delle Isole Eolie, Ustica e Pantelleria. Rocce metamorfiche affiorano invece solo nei Peloritani. Questa varietà litologica condiziona la geomorfologia costiera della regione, in combinazione con l'azione delle forze esogene e della tectonica. Le coste della Sicilia si estendono per 1.652 km, pari al 22% della lunghezza totale delle coste italiane. Sono molto varie, con prevalenti coste alte e rocciose, ampie insenature e promontori sul lato tirrenico nord, mentre la costa ionica presenta alternanze di coste basse con spiagge sabbiose o ghiaiose e coste rocciose frastagliate. Le coste meridionali sono invece prevalentemente basse e sabbiose, con presenza di alcune zone paludose. Il Piano di assetto idrogeologico della Regione Siciliana indica che circa il 76.5% delle coste sono a rischio erosione. Di queste, il 43.6% è considerato a rischio elevato e il 32.9% a rischio moderato o basso. L'erosione costiera è causata da fattori naturali e antropici e in alcune zone si sono verificate perdite significative di spiaggia negli ultimi anni. Si stima che circa il 6% della costa è stata erosa negli ultimi 15 anni con conseguenti riduzione delle spiagge e danni alle infrastrutture. Secondo il rapporto di Legambiente Sicilia, tra le principali cause dell'erosione costiera in Sicilia negli ultimi 30 anni sono stati gli interventi antropici, in particolare di cementificazione. Dal 2006 al 2021, la cementificazione nei comuni costieri è aumentata del 6% e il consumo di suolo costiero sul totale regionale è pari al 56,4%, il più elevato in Italia. Oltre alle cause antropiche, si aggiungono i cambiamenti climatici, che hanno un ruolo

sempre maggiore nel plasmare le coste, tra cui forti mareggiate sempre più energetiche e la formazione di Medicane (Uragani Mediterranei, Flaounas et al., 2022; Miglietta et al., 2019; Scardino et al., 2022). Questo nel contesto di un progressivo innalzamento del livello del mare particolarmente accelerato (4 mm/anno) e che potrebbe raggiungere o superare il metro di aumento nel 2100 (Fox-Kemper et al., 2021; Vecchio et al., 2024). L'interazione fra l'azione antropica, i processi geomorfologici e gli effetti dei cambiamenti climatici amplificano i rischi costieri. La diretta conseguenza è che le infrastrutture, gli insediamenti industriali e umani, i beni culturali e le attività turistiche nelle aree costiere diventano sempre più vulnerabili.

Il contesto climatico e l'analisi IPCC

Il Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (IPCC) considera la Sicilia un hotspot climatico del Mediterraneo dal tra quelli globali del XXI secolo. Il Sesto Rapporto IPCC (2021, www.ipcc.ch) evidenzia che l'Europa meridionale, incluso il Mediterraneo, sta subendo aumenti di temperature superiori alla media globale e una riduzione delle precipitazioni con impatti significativi su ecosistemi, società e infrastrutture. In questo contesto, la Sicilia rappresenta un territorio particolarmente vulnerabile per le sue caratteristiche climatiche, idrogeologiche e socioeconomiche. I cambiamenti osservati negli ultimi decenni (IPCC 2021, www.ipcc.ch), tra cui l'aumento della frequenza e dell'intensità di eventi estremi come ondate di calore, piogge torrenziali e alluvioni improvvise, pongono sfide urgenti per la gestione del territorio e la resilienza climatica.

Temperature estreme e ondate di calore

L'estate del 2021 ha segnato un evento storico: l'11 agosto, nella località di Floridia (SR), si è registrata una temperatura di 48,8 °C, il valore più alto mai documentato in Europa secondo l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO). Negli ultimi anni, le ondate di calore in Sicilia sono diventate più frequenti, lunghe e intense. Il rapporto IPCC 2021 segnala un aumento della frequenza dei giorni caldi (temperature massime >35 °C, si veda Figura 1) in tutto il Mediterraneo meridionale, con effetti rilevanti per la salute pubblica, l'agricoltura e la disponibilità idrica. Recentemente, l'unico lago naturale siciliano, il Lago di Pergusa, è diventato a rischio prosciugamento a causa della siccità prolungata e delle temperature elevate, evidenziando la crescente pressione climatica sugli ecosistemi interni isolani.

Precipitazione e rischio idrogeologico

Parallelamente all'aumento delle temperature, si osserva una modifica nei regimi pluviometrici: le precipitazioni annuali totali tendono a diminuire, ma gli eventi estremi diventano più concentrati e intensi. Questo paradosso si spiega con l'aumento dell'umidità atmosferica legato al riscaldamento globale (circa +7% di contenuto di vapore acqueo per ogni °C), che può favorire piogge più intense ma localizzate. Secondo Forestieri et al. (2018), le proiezioni climatiche regionali (EURO-CORDEX, scenario RCP8.5) indicano un aumento significativo dell'intensità delle piogge brevi (1–3 h) in Sicilia, con conseguenze dirette sulle capacità drenanti dei sistemi urbani e sul rischio di alluvioni improvvise. Un esempio concreto è

rappresentato dall'evento alluvionale del 15 luglio 2020 a Palermo (Francipane et al., 2021) quando un episodio di pioggia torrenziale ha causato gravi danni al centro urbano, con veicoli sommersi e trasportati dalla corrente in gallerie allagate. Lo studio evidenzia la difficoltà delle infrastrutture urbane a far fronte a questi eventi, resi più probabili dal cambiamento climatico. Ulteriori studi (Arnone et al. 2013; Maugeri et al. 2015) hanno mostrato come in Sicilia vi sia una tendenza all'aumento delle intensità giornaliere massime delle piogge in aree specifiche, soprattutto lungo le coste tirreniche ed etnee.

Medicane: cicloni tropicali nel Mediterraneo e il loro impatto sulla Sicilia

Negli ultimi decenni, la Sicilia è stata anche colpita da fenomeni "nuovi", indotti dal cambiamento climatico, i cosiddetti Medicane (Mediterranean Hurricanes). Sono cicloni rari ma intensi che si formano nel bacino del Mediterraneo, caratterizzati da un nucleo caldo (*warm core*), una struttura simile a quella degli uragani tropicali e una forte attività convettiva. La loro genesi è favorita dalla presenza di una depressione isolata in quota (*cut-off low*) che, interagendo con la superficie marina relativamente calda e con aria fredda sovrastante, può innescare la formazione di un vortice simmetrico e profondo, talvolta con un occhio centrale ben definito (Miglietta & Rotunno, 2019). Sebbene le temperature superficiali del mare (SST) nel Mediterraneo siano inferiori rispetto a quelle tipiche delle zone tropicali (generalmente tra 15 °C e 26 °C), l'interazione con anomalie atmosferiche e flussi di umidità può favorire lo sviluppo di sistemi di tipo tropicale (Flaounas et

al., 2022). I Medicane sono generalmente di piccole dimensioni (100–300 km di diametro) e durata limitata (2–5 giorni) rispetto a quelli oceanici ma possono generare venti oltre i 100 km/h, intense precipitazioni (>200 mm in 48 ore) e mareggiate significative. Recenti studi hanno identificato un comportamento ricorrente nella formazione di questi eventi: un raffreddamento della SST nei giorni precedenti l'evento (fino a -4 °C), interpretato come segnale premonitore dello sviluppo di un medicane (Scardino et al., 2024).

La Sicilia, in particolare il settore orientale, risulta particolarmente vulnerabile agli impatti dei Medicane a causa della combinazione di urbanizzazione costiera diffusa, bacini idrografici di piccole dimensioni ma a risposta rapida, infrastrutture spesso inadeguate a gestire eventi estremi e topografia che favorisce allagamenti e frane. Ad esempio, il Medicane Apollo che si è sviluppato sul Mar Ionio tra il 25 ottobre e il 5 novembre 2021, acquisendo caratteristiche tropicali nei giorni successivi, ha colpito le province di Catania, Siracusa e Ragusa con piogge intense (fino a 448 mm), venti superiori ai 100 km/h e mareggiate fino a 4 metri (Cione et al., 2022). L'evento ha causato 7 vittime e danni stimati in centinaia di milioni di euro. Il medicane Helios (febbraio 2023) ha interessato nuovamente la Sicilia orientale con venti fino a 90 km/h e piogge abbondanti, provocando frane, allagamenti e interruzioni delle infrastrutture viarie e ferroviarie (Musumeci & Peres, 2024). Qendresa, nel novembre 2014, ha colpito Sicilia e Malta con venti superiori agli 80 km/h e piogge torrenziali. Anche in questo caso si registrarono danni rilevanti e disagi alla popolazione (Cavicchia et

al., 2014). Un caso recente da menzionare e che offre ulteriori evidenze della pericolosità di tali eventi convettivi è l'evento del 19 agosto 2024, in cui lo yacht *Bayesian* affondò al largo di Porticello durante un evento meteorologico estremo. Utilizzando dati radar Doppler, modelli ad alta risoluzione (LAMI e WRF a 1 km), video e immagini satellitari, uno studio di De Martin et al. (2025) ha dimostrato che l'evento è stato determinato da un downburst convettivo, caratterizzato da raffiche discendenti superiori a 60 nodi (oltre 110 km/h). L'analisi ha inoltre evidenziato come questo fenomeno fosse prevedibile con un anticipo di circa 24 ore, suggerendo l'importanza di sistemi di allerta tempestiva per evitare tragedie simili.

Proiezioni future e vulnerabilità territoriale

Le simulazioni climatiche ad alta risoluzione del modello COSMO-CLM, analizzate da Zollo et al. (2015), suggeriscono che la Sicilia potrebbe affrontare un aumento della frequenza di giorni estremamente caldi e una riduzione dei giorni con pioggia moderata, favorendo condizioni di stress termico e siccità. Uno studio più recente, Vitanza et al. (2023), ha applicato metodi di machine learning a dati pluviometrici regionali (2009–2021), identificando cluster di eventi estremi principalmente in Sicilia orientale. I risultati supportano l'idea di una crescente instabilità meteorologica, utile alla pianificazione di sistemi di allerta precoce. Il riscaldamento globale potrebbe inoltre favorire l'aumento dell'intensità dei Medicane, anche se la frequenza totale potrebbe rimanere invariata o ridursi leggermente (Cavicchia et al., 2014; Flaounas et al., 2022). Tuttavia, l'aumento della

temperatura del mare e della disponibilità di vapore acqueo potrebbe rendere più probabile lo sviluppo di eventi estremi più intensi e persistenti. Secondo simulazioni ad alta risoluzione (Med-CORDEX, RCP8.5), l'intensità media dei Medicane potrebbe aumentare fino al 15–20% entro il 2100, con un'estensione delle aree potenzialmente colpite verso nord e una maggiore incidenza su Sicilia e Grecia (Flaounas et al., 2022).

I cambiamenti climatici in Sicilia non sono solo un problema ambientale, ma pongono sfide economiche e sociali. Le colture tipiche come ulivo, agrumi e vite sono esposte a fenomeni di stress termico e idrico, mentre le città affrontano rischi crescenti legati a ondate di calore urbane e alluvioni improvvise. La combinazione di siccità, ondate di calore e cambiamenti nei regimi pluviometrici sta già producendo impatti socioeconomici rilevanti. Secondo The Guardian (2024), la crisi idrica ha portato alla perdita di oltre 33.000 posti di lavoro agricoli nel sud Italia nel solo 2023, con cali produttivi nel settore vitivinicolo e della frutticoltura. Studi modellistici sulle risorse idriche (Peres et al., 2019) mostrano che, con lo scenario RCP8.5, la disponibilità d'acqua per l'agricoltura e gli usi civili diminuirà significativamente nel bacino del Pozzillo, richiedendo una riorganizzazione degli invasi e delle reti di distribuzione. Una risposta efficace al cambiamento climatico richiede l'integrazione tra modelli climatici, osservazioni e dati ad alta risoluzione, al fine di migliorare la capacità di previsione e valutazione dei rischi. È necessario sviluppare strategie di adattamento urbano, come piani di drenaggio, incremento del verde urbano e sistemi di allerta precoce per mitigare gli impatti degli eventi estremi. Occorre

inoltre potenziare la governance a livello locale e regionale, favorendo il coordinamento tra enti pubblici, università e comunità. Infine, è fondamentale promuovere una cultura del rischio climatico attraverso campagne di sensibilizzazione e percorsi di formazione dedicati alla popolazione.

Gli studi mostrano che gli eventi estremi (con tempi di ritorno di 100 anni circa), potrebbero diventare eventi annuali entro il 2100 o anche più frequenti in condizioni di alte concentrazioni di gas serra (IPCC 2022). Inoltre, le temperature superficiali del Mar Mediterraneo sono aumentate di circa 1.5°C dalla fine del XIX secolo e si prevede che aumenteranno fino a 3°C entro il 2100, intensificando ulteriormente i fenomeni meteorologici estremi (Seneviratne et al., 2021).

Già all'inizio dell'estate 2025 l'anomalia di temperatura media del Mediterraneo ha raggiunto i 4°C e localmente anche quasi 8°C (<https://marine.copernicus.eu/access-data/ocean-monitoring-indicators/mediterranean-sea-surface-temperature-time-series-and-trend>). In questo complesso quadro socioeconomico e ambientale, diviene necessario valutare attraverso metodi multidisciplinari i rischi naturali sulle coste della Sicilia, in particolare quelli indotti dall'aumento del livello marino.

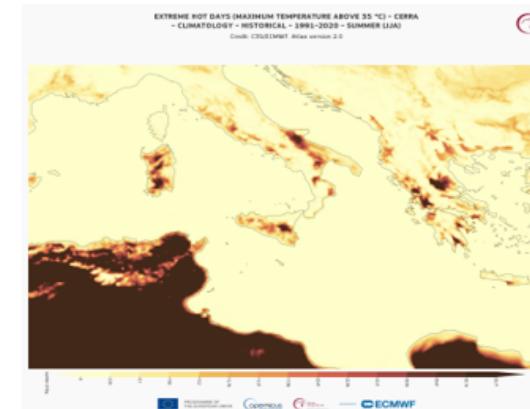


Figura 1: giorni consecutivi estivi con temperatura massima giornaliera maggiore di 35 °C nel periodo 1991-2020 (da <https://atlas.climate.copernicus.eu/atlas>)

Le variazioni del livello del mare in Sicilia

La Sicilia è un laboratorio naturale per lo studio dei livelli marini del passato, mostrando evidenze che vanno indietro nel tempo di centinaia di migliaia di anni. Si deve infatti considerare che il livello del mare non è costante ma varia da luogo a luogo, nel tempo e nello spazio per molteplici cause, come i movimenti astronomici, le variazioni climatiche, i movimenti delle placche tettoniche e per l'attività sismica e vulcanica (Lambeck et al., 2010). Questi ultimi caratterizzano la Sicilia, regione del Mediterraneo sede di vulcani attivi e forti terremoti. Durante l'ultimo massimo glaciale (LGM), avvenuto tra 18.000 e 20.000 anni fa, il livello marino si trovava 130 m più

basso di oggi tale che parte delle isole Egadi e Malta fossero unite alla Sicilia.

Successivamente, il livello del mare risale rapidamente fino a raggiungere il livello attuale (Lambeck et al. 2010; Anzidei et al., 2014). Tuttavia, dopo un periodo di relativa stabilità durato alcuni secoli, l'aumento del livello del mare che stiamo osservando oggi è principalmente connesso al riscaldamento globale principalmente causato dallo sviluppo industriale iniziato nella seconda metà del 1800, che ha portato ad un continuo aumento della concentrazione di gas serra nell'atmosfera (in particolare CO₂ e CH₄). Questi trattengono il calore emesso dalla superficie terrestre con conseguente progressivo aumento delle temperature globali e della fusione dei ghiacci del nostro Pianeta, che si riversano negli oceani. Questi ultimi, riscaldandosi si espandono termicamente, portando ad un progressivo aumento di livello del mare (Fox-Kemper et al., 2021) che sta procedendo alla velocità di circa 4 mm/anno (Oppenheimer et al., 2019; Fox-Kemper et al., 2021), più che raddoppiata rispetto al secolo scorso (<https://science.nasa.gov/climate-change/>).

Con tali valori, entro il 2100, il livello medio del mare potrà essere più alto anche di oltre 1 metro rispetto all'inizio di questo secolo e nel 2150 potrebbe aumentare fino a circa 1.5 metri (Figura 1, Fox Kemper et al., 2021). Le dinamiche climatiche regionali che avvengono in Sicilia e nelle sue isole minori, con fenomeni di subsidenza (e in alcuni casi di sollevamenti) del suolo per cause naturali e antropiche, influenzano le variazioni locali del livello marino. In particolare, la subsidenza può aumentare localmente gli effetti della sola

componente marina, come nel caso di Lipari (Anzidei et al., 2017; Romagnoli et al., 2022). Infine, si deve tenere presente il ruolo dei ghiacci di Antartide e Groenlandia che, nel caso di una loro rapida fusione, potrebbero causare un ulteriore aumento del livello marino a scala globale, i cui effetti si risentirebbero anche sulle coste della Sicilia. La sola Antartide contribuirebbe all'aumento di livello marino fino a 2.3 m nel 2100 e 5.4 m nel 2150 (Bakker et al. 2017; Kopp et al. 2017; DeConto et al. 2021). Questo fenomeno ha conseguenze significative sulla popolazione costiera di tutto il mondo (circa 1 miliardo di persone). Vecchio et al., (2024) mostrano che nel Mediterraneo una superficie costiera pari a circa quella della Svizzera è esposta all'aumento del livello del mare e nei prossimi decenni si potranno verificare impatti rilevanti su tutte le coste, in particolare quelle basse e sabbiose, (Vecchio et al., 2024; Loizidou et al., 2023). In questo contesto globale, gli oltre 1600 km di coste della Sicilia, sede di importanti città costiere, siti storici e culturali, centri economici e infrastrutture, sono vulnerabili agli impatti dell'aumento marino. Le conseguenze di questi cambiamenti già si osservano in molte aree costiere, dove l'erosione, l'arretramento delle spiagge, il cuneo salino ed eventi di inondazione sempre più frequenti ed energetici, stanno interessando sempre più le coste (Anzidei et al., 2021; Anzidei et al., 2025). In condizioni di livello marino più alto, le mareggiate e gli eventi meteorologici estremi che avvengono in Sicilia, stanno amplificando i loro effetti e i rischi associati sulle coste (Anzidei et al., 2017; 2021; 2023). Anche i futuri tsunami potranno causare effetti amplificati sulle coste quando avverranno in condizioni di livello marino più alto di oggi

(Grezio et al., 2024). Con queste premesse, diviene quindi importante disporre di proiezioni sui livelli marini attesi e dei conseguenti possibili scenari costieri in Sicilia per sensibilizzare i decisori politici a prendere adeguate misure per la protezione delle coste e delle comunità costiere.

Metodo di studio

Per valutare i possibili effetti sulle coste dell'aumento del livello del mare entro il 2150, diviene necessario creare mappe tematiche di inondazione, utilizzando approcci multidisciplinari. A tale scopo vengono utilizzati: i) dati geodeticici delle reti di monitoraggio Global Navigation Satellite System (GNSS) e ii) radar satellitari InSAR per calcolare la velocità di subsidenza o sollevamento del suolo lungo le coste; iii) i dati mareografici per valutare i trend attuali di livello del mare; iv) i Modelli Digitali del Terreno (DTM) ad alta risoluzione e, infine, v) dati climatici pubblicati nei Rapporti del Pannello Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC) (www.ipcc.ch). Per scopo cautelativo, in questo articolo vengono considerate proiezioni del livello del mare nello scenario più sfavorevole (SSP5-8.5 nel Rapporto AR6 e RCP8.5 nel Rapporto AR5). Per quanto riguarda i dati GNSS, abbiamo utilizzato i risultati elaborati dal centro di analisi dati geodeticici INGV (Serpelloni et al., 2022), con la soluzione delle velocità geodetiche nell'area euro-mediterranea. I dati InSAR provengono, invece, dalle soluzioni disponibili dal sistema Copernicus (<https://land.copernicus.eu/en/products/europaen-ground-motion-service>). Le mappe di velocità di deformazione verticale del suolo vengono

quindi ottenute con una precisione di circa ± 1.5 mm/anno.

Le più recenti proiezioni climatiche del Rapporto AR6 dell'IPCC (<https://zenodo.org/record/6382554>), consistono in valori mediani del livello del mare ed errori standard calcolati su una griglia globale ottenuta sommando i contributi delle sorgenti geofisiche che determinano le variazioni a lungo termine del livello del mare. L'IPCC fornisce le proiezioni per cinque *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP1, SSP2, SSP3, SSP4 e SSP5), con i possibili scenari fino all'anno 2150. Le differenti condizioni socioeconomiche sono collegate a diversi valori attesi di aumento di temperatura globale fino a 4-5 °C (www.ipcc.ch) dipendenti dalla stima della quantità di produzione dei gas serra nei prossimi anni. L'aumento di livello marino viene quindi calcolato combinando il valore nei punti della griglia delle proiezioni IPCC più vicini alla località interessata, con i valori di subsidenza calcolati dall'analisi geodetica per l'area corrispondente. Assumendo che la velocità di subsidenza rimanga costante per direzione e velocità fino al 2150, in assenza di eventi tettonici o vulcanici non prevedibili, la componente verticale del movimento del suolo per ciascuna area, dipende dal tempo compreso tra l'anno di riferimento e l'anno a cui si riferisce la proiezione. La topografia sulla quale vengono proiettati gli scenari, è stata estratta dai rilievi LiDAR realizzati a scala nazionale tra il 2008 e il 2010 dal Ministero dell'Ambiente, con la quota ricalcolata nel geoide ITALGEO 2005 (Barzaghi et al., 2007).

Alcuni risultati

Di seguito vengono mostrati alcuni risultati relativi a casi di studio, in parte già pubblicati negli ultimi anni, con scenari ad alta risoluzione di aumento di livello marino per le proiezioni climatiche intermedie e più severe SSP5-8.5, per gli anni 2050, 2100 e 2150, per sette zone della Sicilia (Lipari, Catania, Siracusa-Vendicari, Pantano Longarini, Licata, Trapani-Marsala e Isola di Ustica) (Figura 2).

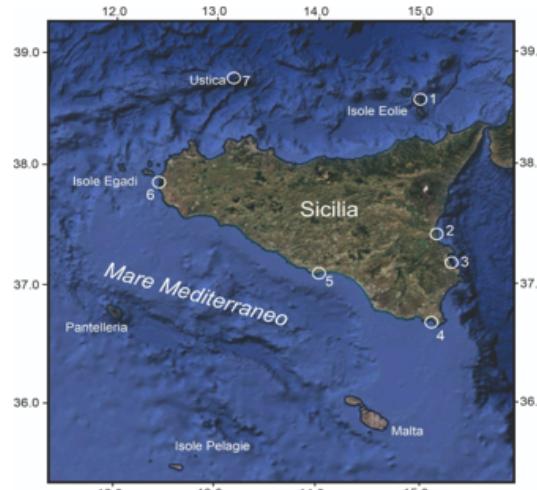


Figura 2. Le sette zone costiere discusse in questo studio

Negli studi pubblicati prima del 2021, gli scenari si riferiscono alle proiezioni climatiche RCP 2.6 (basse emissioni) e RCP 8.5 (alte emissioni) riportati nel rapporto AR5 dell'IPCC (SROCC, Oppenheimer et al., 2019).

Isola di Lipari (Isole Eolie). Anzidei et al. (2017) stimano lo scenario di inondazione per la costa di Marina Lunga considerando la subsidenza desunta dai dati GPS e delle proiezioni di aumento di livello del mare fino al 2100 secondo il rapporto AR5 dell'IPCC (Figura 3). Lungo la costa est di Lipari, in particolare nella baia di Marina Grande, entro il 2100 il livello marino potrebbe aumentare di 1.6 m (rispetto al 2014), con importanti impatti ambientali e perdita di valore economico. A Lipari, la subsidenza gioca un ruolo chiave nell'aumento del livello del mare locale, contribuendo tra il 47% e il 56%.

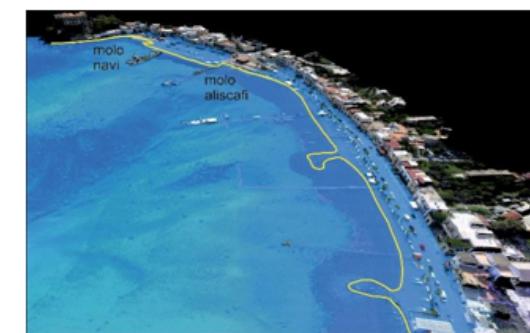


Figura 3. Scenario di aumento di livello marino a Marina Grande di Lipari per l'anno 2100. La linea gialla corrisponde alla linea di costa al momento dei rilievi (settembre 2014).

Piana di Catania. La costa è in arretramento con valori compresi tra 6.3 e 3.2 m/anno. In particolare, in prossimità delle foci dei fiumi Simeto, Gurnazza e San Leonardo, l'arretramento della linea di riva, raggiunge 10 m/anno. Si deve considerare che la parte meridionale di questa zona costiera è soggetta a

subsidenza con valori fino a 8 ± 2.5 mm/anno nell'area di Lentini. La diminuzione dell'apporto sedimentario determina un bilancio negativo, con conseguente erosione costiera. Inondazioni significative sono possibili anche nell'area di Lentini, dove la complessa topografia può determinare un'infiltrazione marina fino a 5 km nell'entroterra, anche nello scenario di bassa emissione RCP 2.6 (Figura 4).

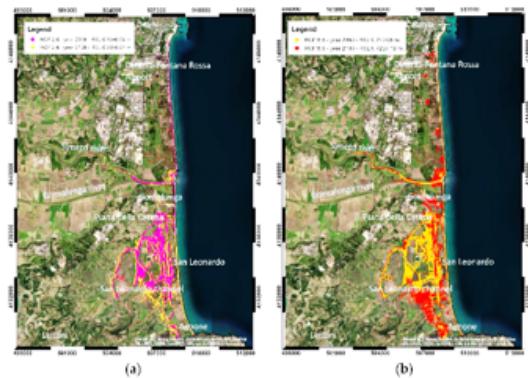


Figura 4. Scenario di aumento di livello marino nella piana di Catania nel 2050 e nel 2100, per gli scenari di emissione (a) RCP2.6 e (b) RCP8.5. La perdita massima di territorio nel 2100 è di 4,094 km². La fascia costiera è caratterizzata da una subsidenza di 0.7 ± 0.35 mm/anno, rispetto alle zone interne che mostrano invece subsidenze superiori a 10 ± 2.5 mm/anno, probabilmente causati dall'estrazione di fluidi dal sottosuolo (da Anzidei et al., 2022).

Costa di Siracusa e Augusta. La costa è in arretramento di circa 4 m/anno. In particolare, a sud della foce del Ciane l'arretramento ha

raggiunto circa 70 m, causando la rottura del sistema dunale.



Figura 5. Scenario di aumento di livello marino per il golfo di Siracusa nel 2050 e nel 2100 per gli scenari climatici (a) RCP 2.6 e (b) RCP 8.5 per una subsidenza media di 7 ± 2.5 mm/anno. La perdita massima prevista di territorio è di 2378 km² (da Anzidei et al., 2022).

Anche questa zona è subsidente con valori compresi tra 2 e 5 ± 2 mm/anno. Valori anche maggiori avvengono nella zona portuale di Siracusa. Infine, la presenza di piccole dighe disposte nel letto del torrente Ciane, riducono l'apporto sedimentario sulla costa, favorendo l'erosione. Nella baia di Augusta, l'estensione dell'area potenzialmente allagata potrebbe estendersi fino a circa 1 km nell'entroterra nello scenario RCP 8.5. Lungo la costa di Siracusa l'inondazione più significativa potrebbe estendersi per oltre 2 km nell'entroterra anche nello scenario RCP2.6, coinvolgendo la salina, parte della città e la linea ferroviaria (Figura 5).

La costa di Vendicari e Marzamemi

Questo tratto costiero ha una subsidenza compresa tra 4 e 2.5 mm/anno. Sebbene il sistema dunale mostri una certa stabilità, la linea di costa sta arretrando con un valore medio di 0.7 ± 0.4 m/anno mentre la costa è soggetta a continua subsidenza. Vendicari è esposta a un potenziale allagamento fino a 1 km nell'entroterra, coinvolgendo le lagune di Pantano Roveto e Pantano Piccolo. Anche nella baia di Marzamemi, il rischio di allagamento marino potrebbe causare un'estensione delle inondazioni di circa 300 m verso l'entroterra, determinando la potenziale perdita della battigia e del retrospiaggia, portando al possibile abbandono dello storico villaggio di pescatori (Figure 6, 7).

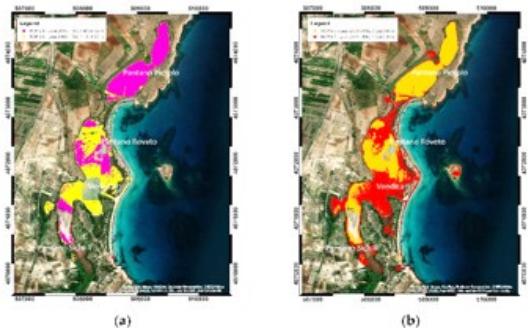


Figura 6. Scenario di aumento di livello marino per la baia di Vendicari nel 2050 e nel 2100 per gli scenari climatici (a) RCP 2.6 e (b) RCP 8.5 e una subsidenza media di 4 ± 2.5 mm/anno. Il tasso massimo di subsidenza è di 10 ± 2.5 mm/anno. La perdita massima di territorio è di 1528 km^2 (da Anzidei et al., 2022).



Figura 7. Scenario di aumento di livello marino per la costa di Marzamemi per il 2050 e il 2100, per gli scenari climatici (a) RCP 2.6 e (b) RCP 8.5. La perdita massima di territorio è di 0.043 km^2 . La subsidenza è circa nulla, tranne che al porto, che è interessato da valori di 1.02 ± 2.5 mm/anno (da Anzidei et al., 2022).

Sicilia meridionale da Pantano Longarini a Licata

La costa da Pantano Longarini a Licata è in generale arretramento a causa dell'erosione marina, sebbene alcune parti siano rimaste più o meno stabili negli ultimi anni. In generale, la costa è stata urbanizzata al di sopra della duna costiera, rendendola così più vulnerabile alle inondazioni marine durante gli eventi estremi e, in generale, all'aumento del livello del mare. La laguna di Pantano Longarini è un sito di rilevanza Comunitaria (Direttiva Habitat dell'Unione Europea), essendo una delle zone umide più importanti del Mediterraneo.

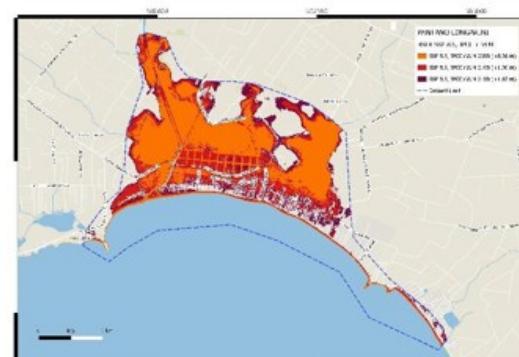


Figura 8. La costa di Pantano Longarini con l'estensione dell'ingressione marina nel 2050, 2100 e 2150 per lo scenario climatico SSP5-8.5 (questo studio).



Figura 9. La costa e il porto di Licata con l'estensione dell'ingressione marina nel 2050, 2100, 2150 per lo scenario climatico SSP5-8.5 (questo studio).

Le proiezioni di livello marino relativo mostrano una diffusa esposizione alla sommersione della costa nello scenario climatico SSP5-8.5 con valori compresi tra 1.67 e 1.75 m nel 2150, anche a causa della subsidenza che agisce alla velocità compresa tra circa 2 e 3 ± 1.5 mm/anno (Figure 8, 9).

Sicilia occidentale da Trapani a Marsala e l'isola di Mozia. Questo tratto di costa è caratterizzato dall'alternanza di costa bassa, da sabbiosa a paludosa e costa rocciosa. La costa bassa ha favorito lo sviluppo di Saline, in particolare a sud di Trapani, dove si trovano la riserva naturale orientata Saline di Trapani e Paceco e lo Stagnone con l'Isola Grande e l'isola di Mozia. Quest'ultima è sede di un importante sito archeologico di epoca fenicia. Sebbene la costa della Sicilia occidentale sia in genere stabile dal punto di vista tettonico a lungo

termine, tuttavia i dati geodetici mostrano una subsidenza di circa 2 ± 1.5 mm/anno. La zona è esposta all'aumento di livello marino per la presenza di infrastrutture importanti, come l'aeroporto di Trapani Birgi e il porto di Trapani, posti appena al di sopra del livello marino attuale.

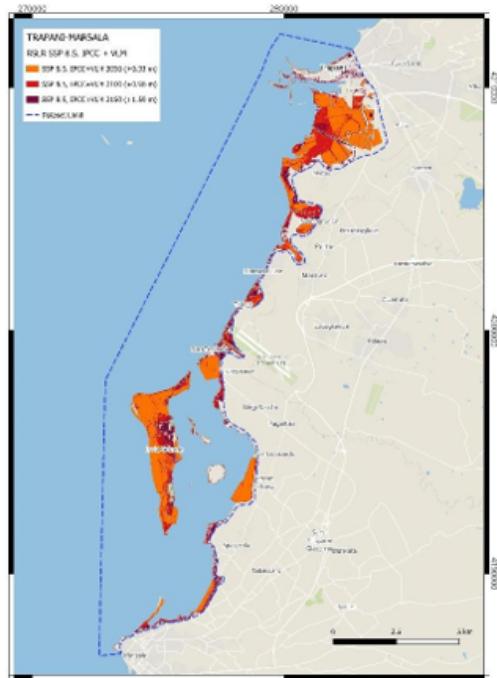


Figura 10. La costa tra Trapani e Marsala. In colori è riportata l'estensione del livello medio del mare nel 2050, 2100 e 2150 per lo scenario climatico SSP5-8.5 (questo studio).

Lo studio di Ravanelli et al. (2019), stima che a nel 2100 il livello marino a Mozia potrebbe

essere più alto di circa 59 cm rispetto ad oggi, secondo il modello climatico RCP 8.5 del Report AR5 dell'IPCC. Mentre nel 2150 nello scenario climatico SSP5-8.5 del Report AR6, il livello relativo del mare potrebbe aumentare fino a 1.59 m. Nella condizione di massimo innalzamento del livello del mare, le strutture archeologiche del **Kothon**, la costa nord-occidentale di Mozia così come molti tratti costieri posti a quota più bassa, verrebbero sommersi (Figure 10,11).



Figura 11. Scenario di aumento di livello marino per l'isola di Mozia. In colori è riportata l'estensione del livello medio del mare nel 2100 per lo scenario climatico RCP 8.5 (da Ravanelli et al., 2019).

Isola di Ustica. L'isola di Ustica, posta nel Mar Tirreno meridionale a Nord di Palermo, rappresenta la sommità emergente di un complesso vulcanico che si eleva per oltre 2850

m dal fondale marino. La proiezione di aumento di livello marino nel 2150, corretta per la subsidenza di 0.71 ± 0.35 mm/anno calcolata alla vicina stazione GNSS USIX, è di 1.28 ± 0.52 m nello scenario SSP5-8.5 dell'IPCC AR6 (rispetto al 2020) (Anzidei et al., 2023). La mappa del porto di Ustica mostra come il molo e la spiaggia nel 2100 potranno essere già ampiamente sommersi, sebbene parte della banchina venga sommersa già oggi dal mare in occasione di forti mareggiate (Figura 12).

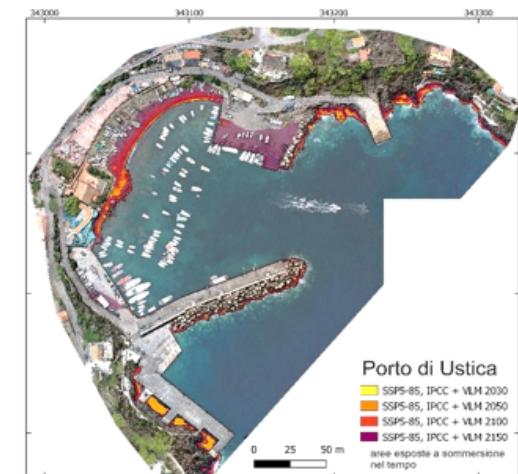


Figura 12. Scenario di aumento di livello marino fino all'anno 2150 per il porto di Ustica (da Anzidei et al., 2023).

Conclusioni

In questo studio sono stati mostrati alcuni possibili scenari di esposizione al rischio di aumento di livello marino per sette zone costiere della Sicilia. L'approccio multidisciplinare che

integra dati geodetici, topografici e proiezioni climatiche, ha permesso di calcolare scenari fino al 2150. Per scopi cautelativi, è stato considerato lo scenario climatico più severo SSP5-8.5 e l'estensione delle potenziali aree allagate è stata calcolata attraverso un approccio passivo standard, in cui viene considerata allagata ogni area che si trova al di sotto di un livello idrico definito e non necessariamente collegata idraulicamente al mare. Si deve tenere conto che gli scenari di inondazione proposti non considerano i sistemi di adattamento o protezione già esistenti o quelli che potrebbero essere realizzati prima del 2150. In generale, l'estensione potenziale delle aree esposte ad allagamento marino, dipendono dalle caratteristiche topografiche e dalle ampiezze di marea, che sono in genere contenute entro ± 30 cm in questa zona del Mediterraneo. Per quanto riguarda il ruolo dei sistemi dunali nel contrastare l'ingressione marina, le evidenze raccolte sul campo e le immagini satellitari ottime mostrano che negli ultimi due decenni i sistemi spiaggia-duna sono stati soggetti a un continuo arretramento a causa di molteplici fattori, principalmente connessi all'aumento del livello del mare, la crescente intensità degli eventi marini estremi, la subsidenza e il deficit di apporto di sedimenti nel sistema costiero. I tassi di subsidenza evidenziati osservati, suggeriscono che gli scenari futuri potrebbero essere guidati da processi di superamento, ribaltamento o rottura delle dune. In particolare, le immagini satellitari delle coste sabbiose di Siracusa tra il 2009 e il 2020, mostrano il verificarsi di rotture dunali in prossimità delle saline. Considerando il trend accelerato delle emissioni clima alteranti, il sistema spiaggia-duna sarà sempre più

vulnerabile nei prossimi anni rispetto ai decenni passati.

Se il livello del mare continuerà a salire ai ritmi attesi, sarà ragionevole aspettarsi impatti importanti sulla zona costiera, tra cui erosione accelerata, contaminazione da acqua salata delle acque superficiali e sotterranee, perdita di zone umide e aumento delle inondazioni marine (Rizzo et al., 2025). Un ulteriore fattore, che agisce in combinazione con l'aumento del livello del mare, è il verificarsi di eventi marini estremi causati da tempeste come Medicane. Diversi modelli hanno mostrato che i futuri eventi di tempesta saranno più intensi di quelli attuali e che l'avvenimento di tempesta in condizioni di livello marino più alto, può aumentare la vulnerabilità costiera con perdite di superficie significative. Inoltre, l'intensità degli eventi estremi di tipo tropicale sta aumentando nel Mediterraneo e, in combinazione con l'aumento del livello del mare e la subsidenza, potrebbero determinare inondazioni estese verso le zone interne. In tali condizioni, anche gli tsunami potranno avere effetti amplificati, come mostrato in recenti studi (Grezio et al., 2024). Poiché questi fenomeni potrebbero presto portare a perdite socioeconomiche rilevanti, diviene necessario avviare una pianificazione territoriale che adotti strategie di mitigazione atte a salvaguardare le infrastrutture, i beni culturali e le aree di alto valore ambientale presenti sulle coste della Sicilia. Dato il ruolo essenziale che queste hanno nell'economia regionale, gli impatti attesi potranno avere effetti a cascata sulla stabilità economica, sul turismo, oltre che sulle capacità di risposta alle emergenze e sulla sicurezza delle persone. Il rafforzamento delle difese costiere, la revisione delle politiche di

pianificazione urbana sulle coste e l'integrazione delle valutazioni del rischio climatico nei piani di rischio e di sviluppo delle infrastrutture presenti o pianificate, sono solo alcuni degli aspetti principali da considerare, calibrando le azioni da intraprendere sugli scenari climatici attesi. Si rende necessario definire linee di sviluppo dei piani regolatori futuri e prevedere misure di delocalizzazione o adattamento delle strutture esistenti, resilienti e durature. In questo contesto, diviene importante attuare una collaborazione interdisciplinare tra scienziati, tecnici, urbanisti e responsabili politici al fine di favorire uno sviluppo costiero sostenibile, in grado di essere resiliente agli impatti attesi a cui è esposta la fascia costiera a causa del cambiamento climatico.

Ringraziamenti

Lo studio è stato finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca nell'ambito del progetto GAIA (PRIN2022 PE10 2022ZSMRXJ02). La ricerca riflette la metodologia dei progetti SAVEMEDCOASTS (ECHO/SUB/2016/742473/PREV16) e SAVEMEDCOASTS2 (874398) (www.savemedcoasts.eu, www.savemedcoasts2.eu), finanziati dalla Unione Europea. I dati LiDAR sono disponibili dal Ministero dell'Ambiente.

Bibliografia

Anzidei, M.; Lambeck, K.; Antonioli, F.; Furlani, S.; Mastronuzzi, G.; Serpelloni, E.; Vannucci, G. (2014). Coastal structure, sea-level changes and vertical motion of the land in the

Mediterranean. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, 388, 453–479.

Anzidei, M.; Tripannera, D.; Bosman, A.; Martin, F.F.; Doumaz, F.; Vecchio, A.; Serpelloni, E.; Alberti, T.; Rende, S.F.; Greco, M. (2023). Relative Sea-Level Rise Projections and Flooding Scenarios for 2150 CE for the Island of Ustica (Southern Tyrrhenian Sea, Italy). *J. Mar. Sci. Eng.*, 11, 2013. <https://doi.org/10.3390/jmse11102013>

Anzidei, M.; Bosman, A.; Carluccio, R.; Casalbore, D.; D'Ajello Caracciolo, F.; Esposito, A.; Nicolosi, I.; Pietrantonio, G.; Vecchio, A.; Carmisciano, C.; et al. (2017). Flooding scenarios due to land subsidence and sea-level rise: A case study for Lipari Island (Italy). *Terra Nova*, 29, 44–51.

Anzidei, M.; Scicchitano, G.; Scardino, G.; Bignami, C.; Tolomei, C.; Vecchio, A.; Serpelloni, E.; De Santis, V.; Monaco, C.; Milella, M.; et al. (2021). Relative Sea-Level Rise Scenario for 2100 along the Coast of South Eastern Sicily (Italy) by InSAR Data, Satellite Images and High-Resolution Topography. *Remote Sens.*, 13, 1108.

Anzidei, M., Alberti, T., Tripannera, D., Tolomei, C., Chiappini, M. (2025). Assessing critical infrastructure exposure to Sea Level Rise and land subsidence under climate change: the cases of Venice and Fiumicino airports. In Climate Change and Natural Hazards in the Euro-Mediterranean Region: Security Impacts and Crisis Management. E. Casini and F. Buongiorno Eds. Springer Nature, in press.

Arnone, E., Pumo, D., Viola, F., Noto, L. V., and La Loggia, G. (2013). Rainfall statistics changes in Sicily, *Hydrolog. Earth Syst. Sci.*, 17, 2449–2458, <https://doi.org/10.5194/hess-17-2449-2013>.

Bakker, A.M.R., Wong, T.E., Ruckert, K.L. et al. (2017). Sea-level projections representing the deeply uncertain 237 contribution of the West Antarctic ice sheet. *Sci. Rep.* 7, 3880. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-23804134-5>

Barzaghi, R.; Borghi, A.; Carrion, D.; Sona, G. (2007). Refining the estimate of the Italian quasi-geoid. *Boll. Geod. E Sci. Affini*, 66, 145–159.

DeConto, R.M., Pollard, D., Alley, R.B. et al. (2021). The Paris Climate Agreement and future sea-level rise from 247 Antarctica. *Nature* 593, 83–89. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03427-0>

Forestieri, A., Arnone, E., Blenkinsop, S., Candela, A., Fowler, H., Noto, L. (2017). The impact of climate change on extreme precipitation in Sicily, Italy. *Hydrological Processes*, 32. 10.1002/hyp.11421.

Cavicchia, L., von Storch, H., & Gualdi, S. (2014). A GCM-based ensemble study of Medicane in present and future climates. *Climate Dynamics*, 43(5–6), 1183–1195. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1893-7>

Cione, J. J., Bell, M. M., Davis, C. A., Kalina, E. A., & Zhang, J. A. (2022). The structure,

evolution, and impacts of Medicane Apollo (2021): Insights from remote sensing and surface observations. *Remote Sensing*, 14(24), 6162. <https://doi.org/10.3390/rs14246162>

De Martin, F., Miglietta, M.M., Gastaldo, T., Martinazzo, M., Pavan, F., Siena, M. and Di Sabatino, S. (2025). The Bayesian sinking in Porticello: a predictable convective windstorm. *Weather*. <https://doi.org/10.1002/wea.7715>

Flaounas, E., Akritidis, D., & Drobinski, P. (2022). Mediterranean cyclones in present and future climates: A review. *Weather and Climate Dynamics*, 3(1), 173–196. <https://doi.org/10.5194/wcd-3-173-2022>

Fox-Kemper, B.; Hewitt, H.T.; Xiao, C.; Aðalgeirsdóttir, G.; Drijfhout, S.S.; Edwards, T.L.; Golledge, N.R.; Hemer, M.; Kopp, R.E.; Kriinner, G.; et al. (2021). Ocean, Cryosphere, and Sea Level Change. In *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK.

Francipane, A., Pumo, D., Sinagra, M., La Loggia, G., and Noto, L. V. (2021). A paradigm of extreme rainfall pluvial floods in complex urban areas: the flood event of 15 July 2020 in Palermo (Italy), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 21, 2563–2580, <https://doi.org/10.5194/nhess-21-2563-2021>.

Grezio, A., Anzidei, M., Baglione, E., Brizuela, B., Di Manna, P., Selva, J., Taroni, M., Tonini,

R., Vecchio, A. (2024). Including sea-level rise and vertical land movements in probabilistic tsunami hazard assessment for the Mediterranean Sea. *Sci Rep* **14**, 28873. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79770-9>

Kopp, R.E., DeConto, R.M., Bader, D.A., Hay, C.C., Horton, R.M., Kulp, S., Oppenheimer, M., Pollard, D. and Strauss, B.H. (2017). Evolving Understanding of Antarctic Ice-Sheet Physics and Ambiguity in 265 Probabilistic Sea-Level Projections. *Earth's Future*, **5**: 1217-1233. <https://doi.org/10.1002/2017EF000663>

Lambeck, K.; Woodroffe, C.D.; Antonioli, F.; Anzidei, M.; Gehrels, W.R.; Laborel, J.; Wright, A.J. (2010). Paleoenvironmental Records, Geophysical Modeling, and Reconstruction of Sea-Level Trends and Variability on Centennial and Longer Timescales. In *Understanding Sea-Level Rise and Variability*; Blackwell: Hoboken, NJ, USA, pp. 61–121

Loizidou XI, Orthodoxou DL, Loizides MI, Petsa D, Anzidei M (2023) Adapting to sea level rise: participatory, solution-oriented policy tools in vulnerable Mediterranean areas. *Environ Syst Decis*. <https://doi.org/10.1007/s10669-023-09910-5>

Maugeri, M., Brunetti, M., Garzoglio, M., and Simolo, C. (2015). High-resolution analysis of 1 day extreme precipitation in Sicily, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, **15**, 2347–2358, <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2347-2015>.

Miglietta, M. M., & Rotunno, R. (2019). Development mechanisms for Mediterranean

tropical-like cyclones (Medicanes). *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **145**(724), 1444–1460. <https://doi.org/10.1002/qj.3503>

Musumeci, C., & Peres, D. (2024). Il Medicane “Helios” del 9–10 febbraio 2023 in Sicilia: analisi idrologica e idraulica. *L’Acqua – Rivista dell’Associazione Idrotecnica Italiana*, **2**, 67–76. IPCC, 2021. *Sixth Assessment Report (AR6), Working Group I – Climate Change 2021: The Physical Science Basis*.

Oppenheimer, M.; Bruce, G.; Jochen, H.; van de Wal, R.S.W.; Alexandre, A.; Abd-Elgawad, A.; Cai, R.; Cifuentes-Jara, M.; de Conto, R.; Tuhin, G.; et al. (2019). Sea Level Rise and Implications for Low Lying Islands, Coasts and Communities. In *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*; Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegria, A., Nicolai, M., Okem, A., Eds.; IPCC: Geneva, Switzerland.

Peres, D.J., Modica, R., Cancelliere, A. (2019). Assessing Future Impacts of Climate Change on Water Supply System Performance: Application to the Pozzillo Reservoir in Sicily, Italy, *Water*, **11**, 2541.

Ravanelli, R., Riguzzi, F., Anzidei, M., Vecchio, A., Nigro, L., Spagnoli, F., Crespi, M. (2019). Sea level rise scenario for 2100 A.D. for the archaeological site of Motya, *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, **10.1007/s12210-019-00835-3**, **30**, 4, (747-757).

Rizzo, A., Mattei, G., Dumon Steenssens, L., Anzidei, M., Aucelli, P.P.C., Alberti, T., Antonioli, F., Bezzi, A., Bonaldo, D., Fontolan, G., Furlani, S., Liso, I.S., Parise, M., Sansò, P., Scicchitano, G., Tripanera, D., Vecchio, A., Mastronuzzi, G. (2025). Methodological advances in sea level rise vulnerability assessment: implications for sustainable coastal management in a climate change scenario. *Ocean & Coastal Management*, **268**, 107751. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2025.107751>

Romagnoli, C.; Bosman, A.; Casalbore, D.; Anzidei, M.; Doumaz, F.; Bonaventura, F.; Meli, M. (2022). Verdirame, C. Coastal Erosion and Flooding Threaten Low-Lying Coastal Tracts at Lipari (Aeolian Islands, Italy). *Remote Sens.*, **14**, 2960. <https://doi.org/10.3390/rs14132960>
Scardino, G., Piccioni, G., Bonafoni, S., Gagliardini, M., & di Paola, F. (2024). Thermal anomalies as precursor signatures for Mediterranean tropical-like cyclones: A statistical approach. *Remote Sensing*, **16**(14), 2552. <https://doi.org/10.3390/rs16142552>

Zollo, A. L., Rillo, V., Buccignani, E., Montesarchio, M., Mercogliano, P. (2015). *Extreme temperature and precipitation events over Italy: COSMO-CLM simulations*. *Int. J. Climatol.*, **36**(2), 987–1004. <https://doi.org/10.1002/joc.4401>

Vecchio, A.; Anzidei, M.; Serpelloni, E. (2024). Sea level rise projections up to 2150 in the northern Mediterranean coasts. *Environ. Res. Lett.* **2023**, **19**, 014050.



Territorio ibleo, Eremo Maria SS. della Misericordia

RELATORI



Rosario Ruggieri

Idrogeologo e Dottore di ricerca internazionale in Karstology (PhD) presso il Karst Research Institute of Postojna, Presidente del CIRS ETS - Centro Ibleo di Ricerche Speleo-Idrogeologiche di Ragusa.

Membro della **Karst Commission** - Unione Internazionale Idrogeologi.

- Nell'arco di cinquant'anni di attività, esplora, studia e documenta i fenomeni carsici della Sicilia, promuovendone la conoscenza, la valorizzazione e la tutela.
- A partire dal 1988, in collaborazione con istituti di ricerca stranieri, ha condotto campagne di ricerca internazionali sui fenomeni geocarsici di alcune aree continentali, tropicali e sub-tropicali dell'**Asia**, dell'**America centro-meridionale** e **del continente africano**.
- Nel settembre 2006, ha l'onore di presentare una sintesi delle spedizioni in Cina presso la prestigiosa sede della **Royal Geographical Society** a Londra, nell'ambito di un convegno internazionale dedicato alle scoperte carsiche e speleologiche condotte in Cina negli anni da team di diverse nazionalità.
- Nel 2019 riceve il conferimento di **Honorary Speleologist of Armenia** per le ricerche condotte nella regione transcaucasica armena, per averne pubblicato le risultanze in prestigiose riviste internazionale e per aver contribuito allo sviluppo degli studi sul carsismo del Caucaso Armeno.
- Ha al suo attivo numerose partecipazioni a convegni nazionali e internazionali e pubblicazioni di divulgazione e scientifiche. Ha scritto su riviste nazionali, quali "Speleologia", della Società Speleologica Italiana. la rivista Nazionale del CAI, e internazionali quali "Acta Carsologica" e *International caver*, edita in Inghilterra.
- Pubblica le ricerche nella Collana **Speleologia Iblea** edita dal CIRS ETS Ragusa.

EMERGENZE LOCALIZZATE: LA PRIMA ESPERIENZA DI STUDIO DEL CUNEO SALINO NEGLI ACQUIFERI COSTIERI, IMPATTI INQUINANTI DI ORIGINE DIVERSA E PROBLEMATICHE DI COL-LASSAMENTO DI STRUTTURE IPOGEE NEL TERRITORIO IBLEO

Autore: Rosario Ruggieri

Membro della Karst Commission della International Association of Hydrogeologists
Presidente del CIRS ETS - Centro Ibleo di Ricerche Speleo-Idrogeologiche di Ragusa

Abstract

This article describes several scenarios of environmental disruption related to both groundwater pollution and the potential risk of underground collapses in urban environments. Regarding the salt wedge in the coastal aquifers, 50% of the coastal system of the province of Ragusa with an average depth of 2 km is affected by salination processes; in relation to the karst context that characterizes much of the central-southern Hyblean area, there are issues of aquifer vulnerability that have already impacted water quality and limited its availability for human consumption. The exclusion of two of Ragusa's most important historical springs due to pollution has deprived the city of a significant water supply of approximately 300,000 cubic meters, resulting in increased energy and general logistics costs due to the use of other wells to supply the missing water. Finally, the geostatic context of some urban areas of the city of Ragusa is described, where the presence of anthropogenic structures due to karst erosion effects that could collapse underground due to

seismic shaking makes them potential risk factors for collapse both due to karst erosion/corrosion problems along the structural discontinuities that dissect the urban limestone substrate and due to the effects of seismic shaking.

Premessa

Si riportano in questa memoria 3 casi di studio riguardanti problematiche di inquinamento di varia origine, naturale e antropica, che hanno interessato il territorio Ibleo a partire dagli ultimi decenni del secolo scorso, ma con effetti devastanti ancora presenti sulla qualità degli acquiferi utilizzati in agricoltura e per il consumo umano. Inoltre, un 4° caso di studio riguarda la presenza di vaste aree ipogee nel substrato roccioso della città di Ragusa, le cosiddette Latomie, alcune delle quali obbligate dalla memoria collettiva in quanto ostruite negli originari accessi e per tale motivo poiché non monitorate, costituenti dei potenziali areali di collassamento per motivi sia geostatici sia sismici.

I casi studio menzionati e di seguito in sintesi descritti riguardano:

- L'insalinamento della fascia costiera iblea
- L'inquinamento della Sorgente Paradiso del Comune di Santa Croce Camerina (RG)
- L'inquinamento delle Sorgenti Oro e Scribano-Misericordia del Comune di Ragusa
- Problematiche di stabilità del substrato roccioso urbano di Ragusa

Insalinamento fascia costiera iblea

Nel quadro di un più vasto impegno riguardante la conoscenza dei fenomeni di turbativa e di inquinamento dell'ambiente, la Provincia

Regionale di Ragusa nel 1988 dà incarico alla Fondazione Mediterranea di condurre una campagna di studi sull'assetto idrogeologico del sistema costiero ragusano. Al riguardo, la campagna di indagine si focalizzò sui fenomeni di intrusione delle acque marine nell'entroterra costiero, nonché alle particolari situazioni di sovrasfruttamento delle falde acquifere. Tale sovrasfruttamento è determinato dall'abnorme domanda idrica delle colture intensive localizzate nel sistema costiero in argomento e dall'incontrollata diffusione delle perforazioni abusive (Ruggieri, 1990).

All'atto dell'indagine venne stimato che il rapporto fra pozzi idrici regolarmente denunciati e pozzi abusivi era di 1 a 5. Questo dato, rapportato al numero di pozzi censiti nel corso della campagna di studi (n. 2542 pozzi), può dare da solo l'idea della gravità del problema relativo all'abbattimento delle risorse idriche disponibili

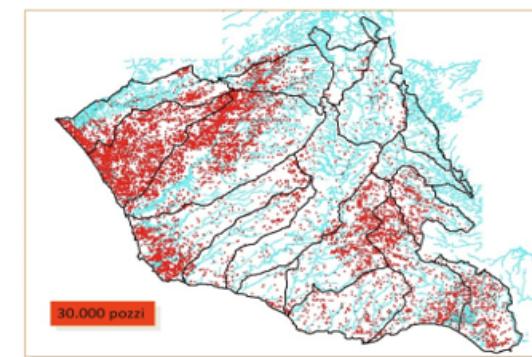


Fig. 1 – Pozzi censiti

Il degrado ambientale connesso a questa preoccupante situazione viene riscontrato nei bacini dei principali corsi d'acqua della provincia

iblea e della Sicilia sud-orientale più in generale. Il trasporto solido litoraneo ha subito modificazioni qualitativamente tali da incidere notevolmente sulla morfologia della linea di costa.

Su questi elementi e su questi indizi si è sviluppata la campagna di studi della Fondazione Mediterranea.

Elementi della Campagna di indagine

L'analisi dell'idrodinamica superficiale e sotterranea dell'immediato entroterra è stata condotta attraverso la ricostruzione, l'elaborazione e l'interpretazione dei seguenti parametri:

- Spartiacque superficiali;
- Pozzi censiti;
- Punti di prelievo e analisi geochimiche
- Sezioni idrogeologiche
- Curve isochimiche

L'andamento del deflusso superficiale nell'immediato entroterra costiero è stato analizzato tramite l'individuazione dei bacini presenti e della loro estensione nella fascia costiera considerata.

La profondità territoriale dell'indagine, che come risulta dalle carte elaborate si agira mediamente sui 4/5 Km a partire dalla linea di costa, è stata fissata sulla base di opportune valutazioni di natura fisica (cambiamenti litologici), di natura antropica (aree prevalentemente abitate e/o coltivate) e in accordo alle finalità di studio (inquinamento marino e turbative ambientali) di cui la campagna è stata indirizzata.

Con tale criterio i bacini fluviali e i relativi spartiacque superficiali presenti nell'area considerata sono stati così elencati:

- Bacino del Fiume Dirillo o Acate
- Bacino del Fiume Ippari
- Bacino del Fiume Irminio
- Bacini del Torrente di Modica
- Bacini dei Torrenti Salvia, Favara, Fossa Bufali e Carrubba

Idrodinamica sotterranea

Lo studio dell'idrodinamica sotterranea, effettuato tramite l'elaborazione e la successiva analisi di un certo numero di parametri più avanti riportati, ha consentito la determinazione delle caratteristiche principali del deflusso sotterraneo esistente nella fascia costiera.

Dallo studio della morfologia degli acquiferi è stato infatti possibile selezionare aree classificabili come zone di alimentazione, di drenaggio preferenziale e aree soggette a sovrasfruttamento.

Censimento pozzi e sorgenti

Il primo passo per arrivare alla caratterizzazione dell'idrodinamica sotterranea è stato quello del censimento dei punti d'acqua esistenti nell'area di indagine, costituiti da pozzi e sorgenti.

Sono stati pertanto censiti:

- 2542 pozzi
- 27 sorgenti

Costruzione curve isopiezometriche

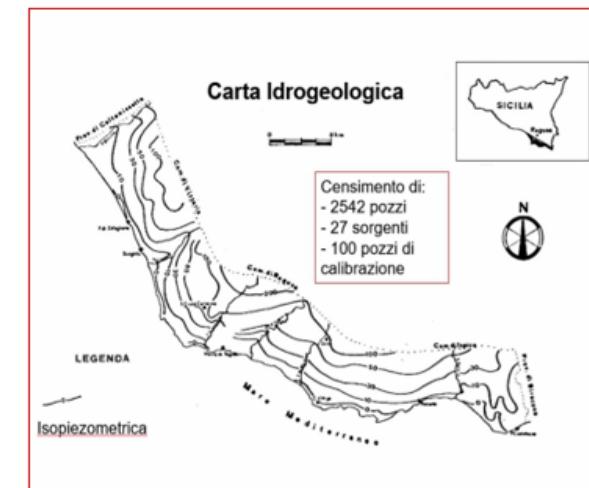
La morfologia degli acquiferi è stata successivamente evidenziata tramite la costruzione delle curve isopiezometriche, effettuata con l'elaborazione dei livelli statici disponibili. Il controllo e la verifica su tutta la fascia costiera dell'andamento delle isopiezometriche sono

stati, inoltre, realizzati in virtù di n. 100 pozzi piloti nei quali, oltre alla misurazione dei livelli statici, è stato effettuato un prelievo di acqua per analisi geochimiche.

Carta idrogeologica

L'insieme degli elementi su riportati ha infine consentito la redazione della "Carta idrogeologica della fascia costiera", nella quale l'analisi della morfologia delle curve, congiuntamente alle conoscenze litologiche della zona geografica in argomento, ha permesso di caratterizzare le aree così come riportate nella Fig. 2.

Ai fini dell'inquinamento marino, dall'analisi della anzidetta Carta Idrogeologica, è stato possibile rilevare che in tutte quelle aree dove la curva isopiezometrica "zero" si estende verso l'entroterra, è certamente in atto una ingerazione marina.



Indagine geochemica

Una fase significativa della campagna di studi in argomento è stata quella concernente i parametri dell'analisi geochemica.

L'analisi è stata rivolta in modo particolare all'identificazione, lungo la fascia costiera, di zone di ingressione marina e del connesso inquinamento delle falde acquifere. Al fine di avere pertanto un certo numero di dati distribuiti in maniera omogenea su tutta l'area interessata, è stata preordinata una rete a maglie quadrate e sono stati selezionati in prossimità dei nodi di maglia n. 100 pozzi, disposti con una numerazione crescente, procedendo da ovest ad est. Tali pozzi oltre, oltre che essere stati oggetto dei campionamenti d'acqua per l'indagine geochemica, hanno costituito un elemento di controllo fondamentale per quanto riguarda i livelli statici di tutta la fascia costiera.

Elaborazione e rappresentazione grafica dati geochemici

I dati geochemici ottenuti sono stati elaborati e rappresentati graficamente mediante l'utilizzazione dei seguenti diagrammi:

- Diagrammi di comparazione (Schoeller)
- Diagrammi di caratterizzazione (Stiff, a torta, Collins, Schoeller)
- Diagrammi di correlazione

Carte idrogeochemiche

La fase conclusiva della ricerca, mirata allo studio delle principali turbative ambientali esistenti nella fascia costiera, ha avuto come obiettivo sostanziale la localizzazione delle zone

di infiltrazione marina nell'immediato entroterra di quest'area geografica.

Ed effettivamente questo traguardo è stato raggiunto attraverso la rappresentazione cartografica dei risultati chimico-analitici relativi ai seguenti parametri:

- Cloro
- Solfati
- Conducibilità
- Durezza

Nelle carte tematiche idrogeochemiche sono state riportate le curve di isovariazione dei parametri riportati, costruite attraverso la collocazione dei punti di prelievo e assegnando agli stessi il valore del singolo parametro misurato.

L'interpolazione dei punti è stata realizzata in un primo momento mediante elaborazione computerizzata, con il supporto di un appropriato software di "Contour", e successivamente affinata a tavolino, attraverso valutazioni di tipo morfologico.

Al fine di facilitare la lettura delle carte e distinguere immediatamente l'ubicazione delle aree contraddistinte da valori bassi, medi e alti dei singoli parametri considerati, sono state selezionate tre fasce di isovariazione restituite, nella presente memoria, con idonee retinature nelle di seguito riportate carte:

- Carta idrogeochemica della distribuzione dei cloruri (Fig. 3)
- Carta idrogeochemica della distribuzione dei solfati (Fig. 4)
- Carta della distribuzione del Th (Fig. 5)
- Carta della conducibilità elettrica delle acque (Fig. 6)

Considerazioni conclusive

E' venuta ad evidenziarsi una situazione di sovrasfruttamento delle falde acquifere, determinata dall'eccessivo prelievo idrico per gli usi agricoli, in corrispondenza delle colture protette in serra nella cosiddetta "fascia trasformata".

Tale situazione, come illustrato, è emersa sia dall'andamento delle curve isopiezometriche che dalla successiva analisi geochemica.

L'andamento delle curve ha evidenziato in certe aree una inversione nei rapporti "falda-fiume" collegabile ai prelievi irrazionali e indiscriminati già citati.

L'isopiezometrica "zero" all'interno della fascia costiera, indica l'esistenza del cuneo intrusivo marino verso l'entroterra.

Questo cuneo è stato meglio identificato per il tramite dell'elaborazione dei determinati parametri idrogeochemici e di carte tematiche, ove sono state evidenziate le fasce a diversa concentrazione chimica.

I dati relativi al contenuto di cloruri ($>10 \text{ me/l}$) hanno fatto emergere l'esistenza di un'area, lungo la fascia costiera ragusana, fortemente inquinata dalla intrusione marina e costituente il 22.6% dell'intero sistema costiero considerato (550 Km²).

In pratica, considerando anche l'entità della fascia costiera a contenuto "medio", i cui valori sono comunque al di sora della norma, si può considerare che circa il 50% della costa ragusana, per una profondità media di 2 Km, è coinvolto dai processi di insalinamento delle falde idriche determinati dal cuneo marino intrusivo.

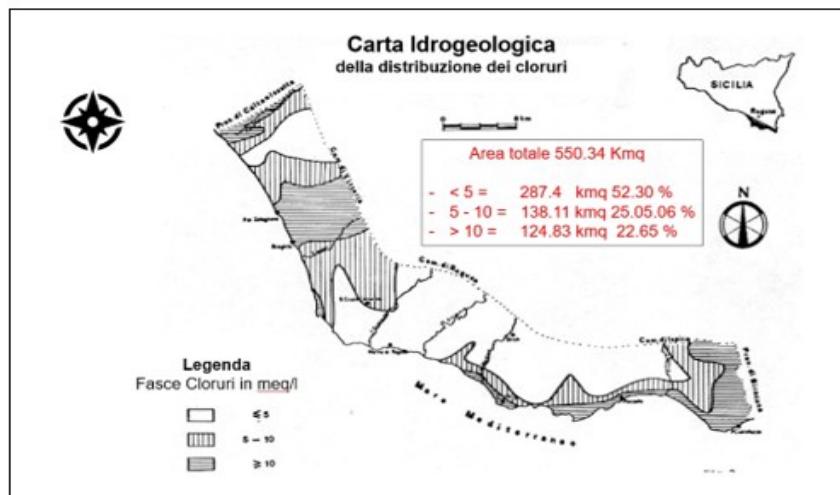


Fig. 3 – Distribuzione Cloruri

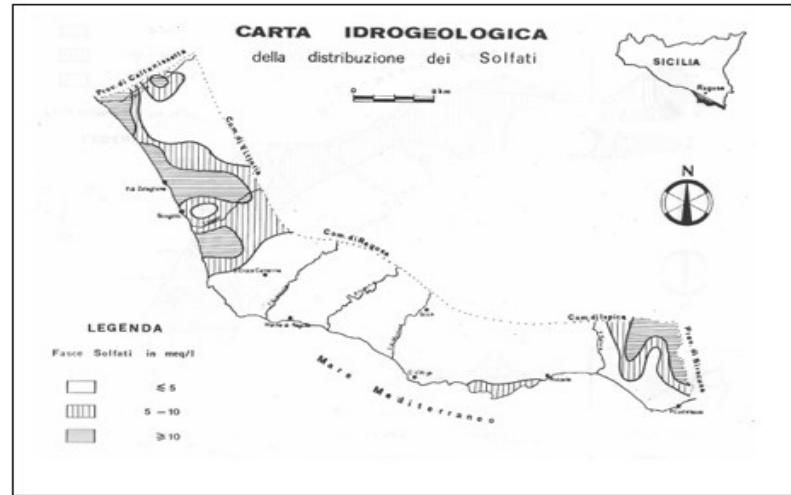


Fig. 4 – Distribuzione Solfati



Fig. 5 – Conducibilità elettrica

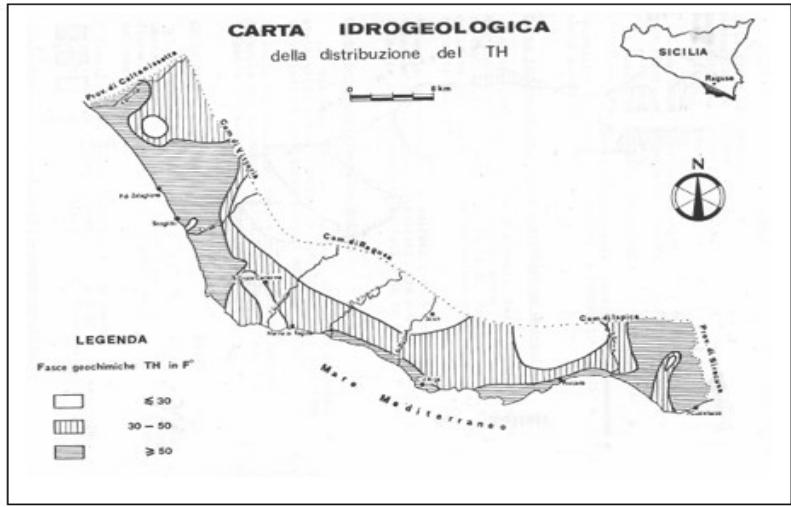


Fig. 6 – Distribuzione TH

Turbative da cause antropiche: inquinamento di sorgenti

Tra le cause di turbative non più naturali, queste ultime da intendere causate dalla salinità del cuneo marino, sebbene, come si è detto, il sovra-sfruttamento ha una sua componente antropica non secondaria, vanno ad aggiungersi degradi qualitativi degli acquiferi dell'entroterra ibleo legati alle acque sorgentizie utilizzate per il consumo umano. Da ciò il caso di inquinamenti dovute a cause prettamente antropiche, verificatisi in questi ultimi anni riguardanti alcune sorgenti quali la sorgente Paradiso utilizzata dal Comune di Santa Croce Camerina, attualmente in uso, e le sorgenti Oro e Scribano-Misericordia, queste ultime fino a qualche anno fa utilizzate dal Comune di Ragusa, delle quali se ne dà di seguito un sintetico resoconto.

Inquinamento sorgenti Oro e Scribano-Misericordia

Le sorgenti Oro e Scribano-Misericordia, distanti in linea d'area 580 m circa, sono ubicate la prima sul versante sinistro della Cava Misericordia a quota 555 m slm, a circa 2 m dall'alveo del torrente, la seconda ubicata a quota 545 m slm sul versante sinistro di una breve incisione affluente nella suddetta vallata (Fig. 7). Sono entrambe cavità-sorgenti costituite l'Oro da un condotto impostato su frattura, esteso circa 80 m terminante con un laghetto, la Scribano-Misericordia da una cavità impostata su una faglia percorsa da un fiume sotterraneo, estesa circa 300 m. Le suddette sorgenti, a seguito di opere di canalizzazione realizzate nei primi decenni del secolo scorso, alimentavano la città di Ragusa, vincolate assieme ad altre fonti



Fig. 7 – Sorgenti Oro e Misericordia

nell'ambito del Piano Regolatore Generale degli Acquedotti che regolamenta l'approvvigionamento idropotabile nella Regione Sicilia. Tuttavia, limitatamente alla provincia di Ragusa e su iniziativa dell'Ufficio del Genio Civile, è solo a partire dal 1996 che, in attuazione delle direttive europee sulla salvaguardia delle fonti idropotabili (DPR 236/88), per le predette sorgenti vengono definite le aree di salvaguardia, includenti sia le aree di ricarica che le fasce di rispetto ai fini qualitativi.

Fattori di vulnerabilità e inquinamento

Studi condotti sul regime delle anzidette sorgenti, hanno evidenziato la presenza di un sistema carsico particolarmente complesso, contraddistinto da una rete di condotti con sistemi a sifone e soglia che innescano ciclicamente, in relazione all'entità degli eventi piovosi, una interconnessione fra le due sorgenti (Ruggieri, 2014a, b).

Al riguardo, per quanto attiene il regime delle suddette sorgenti, nel diagramma di Fig. 8 si evidenziano alcuni caratteri distintivi legati alla variabilità e complessità della circolazione in sistemi carbonatici fratturati. In particolare, il grafico, che mette in relazione le piogge del periodo gennaio-novembre 1996 con le portate della sorgente Oro, evidenzia una curva di decremento contraddistinta da una ciclicità con picchi di portata e valori prossimi allo zero, tipica di un meccanismo di svuotamento a sifone, mentre nel grafico relativo alla sorgente Misericordia, si evidenzia un tratto di curva in rapido decremento, tipico di una circolazione concentrata in condotti carsici (free flow or conduit flow aquifer) cui segue un tratto a più blanda pendenza che caratterizza una prevalente alimentazione diffusa su una rete di fratture carsificate (*diffuse flow aquifer*).

Ciò evidenzia una situazione idrogeologica caratterizzata, per ciò che concerne le aree di ricarica delle sorgenti in oggetto, da una vulnerabilità da alta ad elevata, in relazione sia allo stato di fratturazione che interessa l'acquifero sia, in particolar modo, per l'accentuata carsogenesi che, ampliando per processi di soluzione la rete di fratture, ha determinato condizioni di flusso idrico in condotti contraddistinti da elevata velocità. Tali caratteri di vulnerabilità sono altresì desumibili a livello cartografico dalla "Carta della Vulnerabilità delle falde idriche (settore sud-occidentale Ibleo (Sicilia S.E.))", edita dall'Università di Catania e redatta dall'U.O. 4.17 del Gruppo Nazionale per la difesa delle catastrofi idrogeologiche del C.N.R. (Aureli et al., 1993).

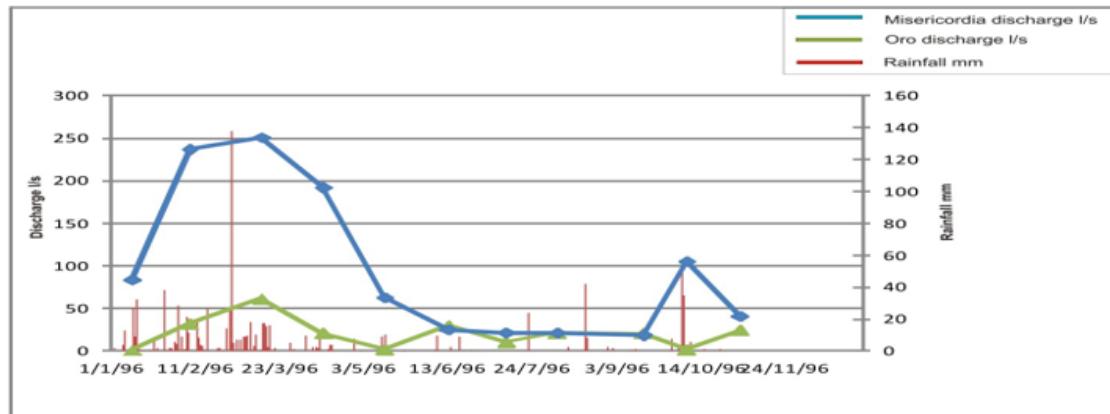


Fig. 8 – Regime sorgenti Oro e Misericordia

Nella sorgente Oro le osservazioni condotte nel corso di una decina di anni avallano il suddetto comportamento intermittente con ciclicità di picchi di portata, non sempre collegabili ad eventi piovosi, con fasi di portate prossime allo zero. In questo contesto, la variabilità delle portate si colloca dai circa 50-100 l/s a 0 l/s, con una portata media nel corso degli anni di circa 10-15 l/s.

Nella sorgente Misericordia, la cui portata media annua si aggira intorno ai 20-30 l/s, il range delle portate varia dai 150-200 l/s nelle fasi di piena con portate quindi via via decrescenti in relazione all'andamento piovoso stagionale e dei periodi di magra.

I suddetti caratteri idrologici, elevata vulnerabilità e velocità di flusso in condotti carsici, costituiscono gli elementi che hanno innescato il pesante evento di inquinamento delle sorgenti Oro e Scribano-Misericordia, la cui comparsa ed evoluzione di seguito si riassume.

L'inquinamento della sorgente Oro

manifestatosi per la prima volta nel settembre del 2010 (Fig. 9), si attenua a fine 2010 per scomparire fino a marzo del 2011. A partire dal mese di maggio dello stesso anno ricompare con elevate concentrazioni di ammoniaca assumendo un carattere persistente in entrambe le sorgenti. Al riguardo, si evidenzia la contemporaneità tra la ricomparsa della contaminazione con il periodo di realizzazione, da parte di alcune realtà produttive, a seguito di ordinanze sindacali emanate dal Comune di Ragusa, dei lavori di adeguamento delle concime e delle vasche di raccolta dei liquami. A ciò non può escludersi l'eventuale concorso legato a perdite di percolato da settori non monitorati, perché realizzati precedentemente, della limitrofa discarica di cava dei Modicani, quest'ultima progettata e realizzata incredibilmente in parte all'interno dell'area di ricarica delle anzidette sorgenti.

Allo stato attuale, le sorgenti da controlli periodici risultano ancora inquinate e per tale motivo dirottate nel depuratore della Lusia,

comportando questa esclusione una perdita di circa 300.000 mc annuali di acqua per il sistema acquedottistico del Comune di Ragusa (Ruggieri, 2014a, b).



Fig. 9 – Sorgente Oro, inquinamento

Inquinamento sorgente Paradiso

Lo sfruttamento dei giacimenti petroliferi ospitati in rocce carbonatiche mesozoiche è un'attività ben nota nell'area di Ragusa (Sicilia) (Fig. 10). Rocce meno permeabili ricoprono questi serbatoi, mentre affioramenti di unità carbonatiche Oligo-mioceniche che ospitano importanti acquiferi caratterizzano la geologia superficiale. Le principali sorgenti carsiche sono sfruttate per l'approvvigionamento idrico potabile: pertanto, questi acquiferi vulnerabili devono essere adeguatamente monitorati e protetti.

La peculiarità degli acquiferi carsici e la conseguente impossibilità di trattarli allo stesso modo degli acquiferi porosi più studiati erano ben note in Italia da almeno 30 anni (Forti 1986) anche al di fuori della ristretta cerchia degli idrogeologi carsici. Infatti, per quasi vent'anni, alla fine del secolo scorso, un gruppo di ricerca



Fig. 10 – Inquinamento sorgente Paradiso

specificamente dedicato alle problematiche connesse agli acquiferi carsici e alla loro protezione era attivo all'interno del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del CNR.

Nonostante tutto ciò, si sono verificati gravi fenomeni di inquinamento, il più grave dei quali è stato certamente quello della primavera del 2011 quando alle ore 6.30 del 30 maggio 2011 l'acqua del bacino idrografico della sorgente Paradiso era di colore bianco opalescente (Fig. 10). La sua immissione in rete è stata immediatamente sospesa e l'acqua inquinata ha raggiunto il mare in meno di 3 ore (a oltre 4 km dalla sorgente) inquinando la palude di Cannitello al confine con il Mar Mediterraneo (Fig. 11).

Tuttavia, i dati sulle perdite di fluidi avvenute in passato durante la perforazione di numerosi fori (tra cui: Ragusa 17 (795 m³), Ragusa 19 (692 m³), Ragusa 57 (4568 m³), Ragusa 58 (7155 m³), Ragusa 63 (1030 m³) sono ancora più

significativi per valutare la diffusione dei vuoti carsici nell'intera area.

Tutti i dati sperimentali suggeriscono quindi che l'intera area presenta un carsismo profondo attivo che risulta sovrapposto e interconnesso con una zona epicarsica/vadosa ancora idrologicamente attiva. Questo fatto consente una percolazione verticale molto rapida, normalmente seguita da un trasferimento orizzontale ancora rapido di tanto in tanto lungo tratti di drenaggi fossili sospesi o lungo condotti sempre attivi a livello della falda freatica. A causa dell'elevato grado di carsificazione, gli acquiferi ospitati sono certamente molto vulnerabili a causa dell'elevata velocità di trasferimento delle masse d'acqua non solo nella zona di percolazione ma anche durante il suo trasferimento verso gli sbocchi, come affermato da tutti gli autori che se ne sono occupati (Forti 1986, Aureli 1993, Grasso et al. 2000, Ruggieri e Grasso 2000, Ruggieri 1997, 2005, 2015, Ruggieri et al. 2017, Forti & Ruggieri, 2025).



Fig. 11 – Palude di Cannitello

Idrodinamica

L'estrema variabilità della portata della sorgente Paradiso suggerisce che sia alimentata da un acquifero carsico fortemente disomogeneo: il suo regime idrico consiste infatti in lunghi intervalli di scarsa portata (10-20 l/s) durante le stagioni secche e in brevi e improvvise piene durante le principali precipitazioni con 3 o più m³/s. Di conseguenza, le piene non solo lasciano evidenti segni sulle pareti del serbatoio di accumulo a valle la sorgente, ma spesso ne provocano anche la tracimazione con conseguente allagamento del piazzale antistante l'edificio dell'Acquedotto.

Prima dell'evento di inquinamento, non erano disponibili dati sperimentali sulla velocità di flusso delle acque sotterranee relative al bacino carsico che alimenta la sorgente Paradiso.

Tuttavia, considerando l'omogeneità del cedimento litologico e strutturale, nonché del livello di carsificazione della formazione carbonatica, è ragionevole ritenere che la trasmissività a livello di bacino dovesse essere simile nei diversi sottobacini in cui è segmentata l'area tra Ragusa e il mare, in particolare nel bacino idrogeologico centrale del settore Ibleo centro-meridionale (Ruggieri 2005).

Pochi anni prima della contaminazione della Sorgente Paradiso, è stata effettuata una prova di tracciamento con colorante nell'area del Salto di Lepre. Grazie a questa prova di tracciamento, la velocità apparente di flusso tra uno dei pozzi e la sorgente è stata definita in media pari a 133 m/ora su un percorso di 400 metri.

Per questo motivo, il risultato sperimentale ottenuto nello studio della sorgente del Salto di

Lepre, che evidenzia una velocità media di 133 m/ora su un percorso di circa 400 metri (Ruggieri 1997), è valido.

Ora, è normale che in ambiente carsico la velocità apparente tenda ad aumentare con l'aumentare dell'ampiezza del bacino carsico. Pertanto, si potrebbe ragionevolmente supporre un valore di circa 200 m/ora come caratteristico dell'area del settore ibleo meridionale per le velocità apparenti di flusso a livello del grande bacino carsico.

Tuttavia, l'evento di inquinamento verificatosi il 29 maggio 2011 ha permesso di definire con relativa elevata precisione la velocità apparente del flusso idrico all'interno dell'intero bacino di alimentazione della sorgente Paradiso.

È stato infatti dimostrato che la composizione chimica dei metalli nelle acque della sorgente Paradiso e quella dei fluidi persi nel foro Tresauro 2, a parte l'effetto di diluizione, sono esattamente le stesse.

Sono state inoltre testate le singole attività antropiche note nel bacino di ricarica della sorgente Mirio-Paradiso (ovvero le fogne di marmo), che teoricamente potrebbero rilasciare inquinanti inorganici dello stesso tipo. Il risultato chiaro è stato che, senza ombra di dubbio, la miscela di queste acque con quelle della sorgente Paradiso non poteva aver causato l'inquinamento (Ruggieri et al. 2017).

Per accettare che l'inquinamento osservato della sorgente fosse dovuto esclusivamente alla perdita di fluidi dal pozzo Tresauro 2, sono state anche verificate le singole attività antropiche che potrebbero contribuire all'inquinamento della sorgente Paradiso. In ogni caso, l'andamento delle acque di lavorazione del marmo a monte

della sorgente dimostra che non sono compatibili con l'evento di inquinamento.

È stato quindi possibile utilizzare i dati relativi a questo evento come un test di tracciamento colorante peculiare per definire l'idrodinamica del bacino di alimentazione della sorgente Paradiso.

L'orario di prima evidenza dell'evento suggerisce che gli inquinanti siano arrivati alla fonte tra 53,5 ore (arrivo del contaminante subito dopo le 19:30 del 29 maggio 2011) e 64,5 ore (arrivo del contaminante poco prima delle 18:30 del 30 maggio 2011) dall'inizio delle perdite al pozzo Tresauro.

Entrambi questi tempi limite, tuttavia, devono essere scartati a favore di un tempo intermedio: infatti, alle 6:30 del 30 maggio 2011, la vasca di raccolta della sorgente era già completamente riempita di liquido lattiginoso (stimata in 200 m³). Pertanto, sarebbero state necessarie quasi 4 ore per sostituire completamente l'acqua nella vasca di raccolta, poiché la portata della sorgente era in realtà di circa 15 l/s. D'altro canto, la forma della curva di esaurimento relativa ad Alluminio e Ferro indica chiaramente che alle ore 10 del mattino del 30 maggio 2011 la curva di esaurimento era già iniziata. Tuttavia, ciò non consente di fissare con esattezza il raggiungimento del picco troppe ore prima delle 6:30 del mattino, dato che la curva di incremento dei valori deve necessariamente essere molto più corta di quella di esaurimento.

È stato quindi corretto stimare il momento di primo arrivo dell'inquinante a livello della sorgente Paradiso in un momento intermedio tra il massimo e il minimo, che, per comodità, si assume esattamente a metà delle 59 ore (quindi all'1 del 30 maggio). Da ciò è facile dedurre che

la velocità apparente di flusso tra il foro Tresauro 2 e la sorgente Paradiso avrebbe dovuto essere di 232 m/h (corrispondenti a 5568 m/giorno). Questo valore è superiore di circa il 40% a quello osservato nell'area di alimentazione della sorgente Salto di Lepre (Ruggieri 1997) e di circa il 15% del valore stimato per l'intera area.

Ma vi è un altro dato oggettivo, che permette di stabilire come la portata all'interno del bacino di ricarica della sorgente Paradiso sia particolarmente rapida e, in ogni caso, molto più rapida rispetto a tutte le altre sorgenti presenti nell'area.

In primo luogo, la Sorgente Paradiso presenta il più basso contenuto ionico tra tutte le sorgenti considerate nell'area e questa caratteristica si è mantenuta anche durante l'evento inquinante, rendendo così evidente che il tempo di residenza dell'acqua all'interno di questa falda è, in ogni caso, il più breve rispetto a quello di qualsiasi altra falda acquifera presente nell'area.

Inoltre, il maggiore valore di velocità apparente registrato tra il foro Tresauro 2 e la sorgente Paradiso è stato certamente, almeno in parte, anche la conseguenza diretta della perdita di fango di perforazione verificatasi nel pozzo Tresauro nelle ore immediatamente precedenti l'evento inquinante. Infatti, la perdita, in un arco di tempo relativamente breve, di oltre 1100 m³ di fluidi di perforazione ha determinato, a livello del sistema carsico, un aumento della portata stimato in circa 10 litri/s.

Questo aumento corrisponde a circa due terzi della portata di base stimata, misurata solo pochi giorni prima dell'evento. Un tale aumento di portata ha certamente causato un notevole "effetto pistone" e quindi aumentato la velocità di

flusso in tutto il sistema. Ovviamente, questo aumento di velocità è stato maggiore nei primi chilometri perché il rapporto tra i fluidi pesanti iniettati e la portata di base era ovviamente, nei primi chilometri, estremamente sbilanciato a favore dei primi.

Tutti i dati sperimentali confermano quindi che la maggiore velocità apparente di flusso dell'acqua che alimenta la sorgente Paradiso è conseguenza non solo dell'effetto scala nel suo bacino di ricarica, che è di gran lunga il più grande dell'area, ma è stata anche parzialmente indotta dall'evento di inquinamento stesso.

Osservazioni finali

Un esperimento di tracciamento molto particolare si è verificato accidentalmente durante la perforazione di un pozzo di esplorazione petrolifera a sud-ovest di Ragusa (pozzo Tresauro 2) nel maggio 2011. Questa perdita di fluido dal pozzo, una delle tante registrate in questa regione ad alta intensità di esplorazione petrolifera, è la prima in assoluto ad aver purtroppo intercettato un condotto principale di drenaggio carsico sotterraneo, consentendo la rapida trasmissione dei contaminanti a una sorgente destinata all'approvvigionamento idrico civile.

Lo studio di questo evento ha confermato che la sorgente Paradiso è direttamente collegata a un drenaggio principale all'interno di un acquifero carsico ampio e disomogeneo, come dimostrato dalle ricorrenti piene improvvise e violente in periodi di forti precipitazioni e dalla presenza di evidenti livelli di piena brevi ma elevati, principalmente in primavera. Questo fatto significa che a livello della sorgente Paradiso non vi sono praticamente barriere temporali contro

l'arrivo di un possibile inquinante. Questo evento è anche un utile esempio di come tali test "accidentali" con traccianti possano essere utilizzati per identificare percorsi di flusso carsici rapidi su lunghe distanze. Infatti, il trasferimento della maggior parte dei componenti di questi fluidi è stato estremamente rapido, probabilmente a causa dell'effetto pistone causato dall'elevata quantità di fluidi persi a monte.

La composizione unica di questo fluido tracciante, composto da particelle pesanti ricche di Ba (barite), ha permesso di monitorare il comportamento di queste particelle fini pesanti all'interno dell'acquifero. Questo sedimento pesante subisce un "effetto placer" e grandi quantità di fluidi ricchi di Ba rimangono intrappolate all'interno del sistema di condotti carsici. Infatti, solo gli eventi piovosi intensi e le conseguenti alluvioni sono in grado di rimobilizzare questi sedimenti, causando un aumento della concentrazione di Ba alla sorgente. Sebbene queste concentrazioni non raggiungano mai valori allarmanti, questo caso di studio accidentale mostra i lunghi tempi di residenza dei sedimenti pesanti in acquiferi estremamente carsici (Ruggieri et al. 2017, Forti & Ruggieri, 2025).

Infine, questo evento offre un esempio istruttivo di come lo sfruttamento degli idrocarburi in aree intensamente carsificate, dove le sorgenti naturali forniscono acqua per uso domestico le forniture idriche devono essere attentamente controllate per prevenire tali eventi.

Problematiche di crolli da vuoti nel substrato del tessuto urbano di Ragusa

Premessa

Il substrato roccioso di alcune aree urbane di Ragusa è caratterizzato dalla presenza, a profondità variabili sulle decine di metri, in alcuni casi di pochi metri, di grandi vuoti costituiti dalle Latomie storiche create dalla estrazione delle pietre calcarea utilizzata per la ricostruzione della città negli anni successivi al devastante terremoto del 1693. Fra queste, solo lungo la Cava Santa Domenica e lungo la Cava del Confalone sono visibili lungo i versanti le grandi aperture da cui è ancora possibile penetrare per diverse decine di metri nel sottosuolo sottostante il tessuto urbano della città, mentre di altre, la più estesa delle quali è la Latomia sottostante il Viale Sicilia, non risultano vie di accesso poiché, per motivi vari, a suo tempo ostruiti. Ciò ha determinato, per queste ultime l'impossibilità di un loro monitoraggio attinente lo stato geostatico delle volte e delle pareti diffusamente fratturate e in diversi casi percorsi da acque di infiltrazione di varia provenienza (Fig.12). Tutto ciò assume un carattere di maggior rischio se si considera l'elevato grado di sismicità che caratterizza l'area Iblea.

Per quanto sopra, si riporta in sintesi il programma di indagine realizzato e le risultanze conclusive dello studio sulle Latomie d Ragusa, finalizzato sulla verifica dello stato fisico dei suddetti aggrottati all'indomani del terremoto di Santa Lucia del 1990 (Ruggieri, 1991, 1994, 1996).

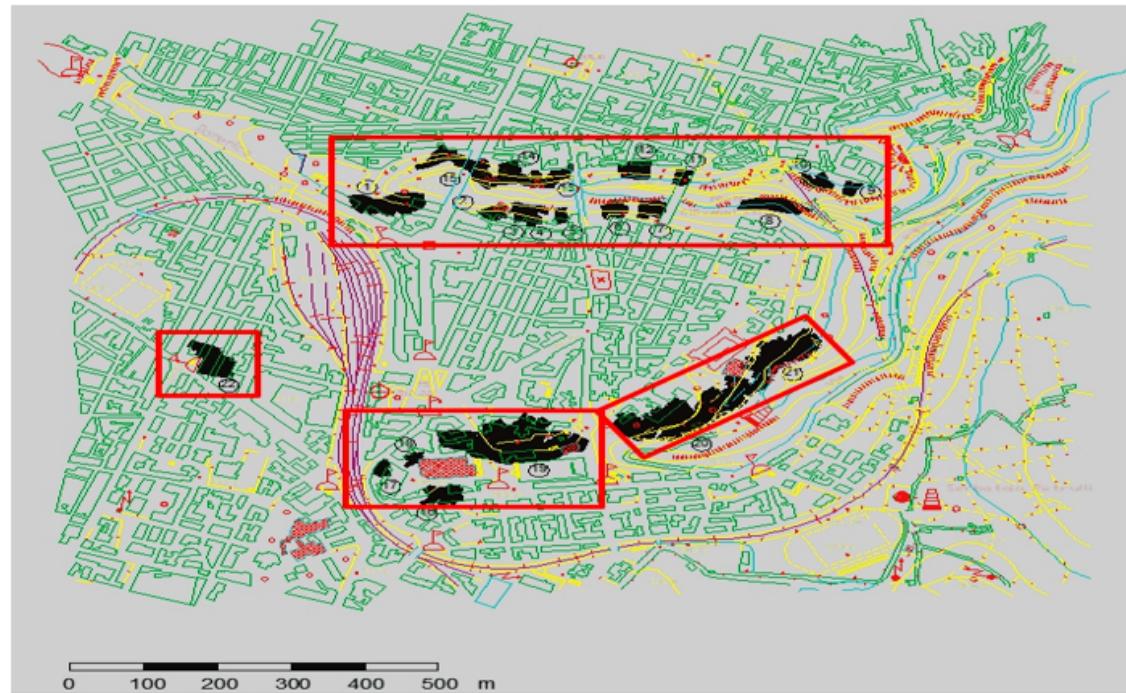


Fig. 12- Ragusa, Latomie

Antefatto

A seguito del sisma del 12.13.1990, l'Ufficio Tecnico Comunale Settore XIII, preoccupato dello stato precario degli aggrottati sottostanti l'abitato della città di Ragusa, ritenne opportuno che fossero eseguiti dei sopralluoghi al fine di accettare le condizioni statiche di alcune Latomie.

La natura particolare dei siti, alcuni dei quali con ingressi a pozzo e sviluppi sotterranei parecchio estesi, e la mancanza di attrezzature idonee per

eseguire gli accertamenti richiesti, indusse il capo ufficio a proporre che tali sopralluoghi fossero effettuati da tecnici specialisti nelle esplorazioni sotterranee e cioè da speleologi. Accogliendo tale proposta, con delibera n. 1227 del 17.5.91, l'Amministrazione comunale di Ragusa affidava al "Gruppo Grotte Ragusa", oggi CIRS ETS, l'incarico di una indagine speleologica sullo stato fisico delle latomie presenti nel sottosuolo della città.

Tale incarico, che come riportato, nasceva dalla necessità di effettuare un primo sistematico monitoraggio sulle condizioni di stabilità e sullo stato di degrado presente sulle volte e sui pilastri dei suddetti aggrottati, venne ritenuto altresì indispensabile per la programmazione di periodici controlli atti a verificare eventuali variazioni nel tempo delle caratteristiche geomeccaniche, sia in relazione al verificarsi di futuri eventi sismici che ad involuzioni determinate dalla presenza di fenomeni di carrogenesi.

Successivamente in data 23 aprile 1992, con la firma del disciplinare di incarico fra le parti suddette, l'indagine diventava operativa secondo un programma di lavoro distinto nelle seguenti fasi:

1) Fase

Ricerca bibliografica ed indagine storica atta a ricostruire i periodi e le vicende che hanno visto la nascita, lo sviluppo e la successiva decadenza degli aggrottati di Ragusa.

2) Fase

Rilevamento planimetrico di massima delle Latomie indagate per la successiva rappresentazione cartografica dello stato di degrado.

3) Fase

Indagine geostrutturale, sullo stato di fratturazione presente in ogni Latomia, finalizzata alla classificazione qualitativa dell'ammasso roccioso.

4) Fase

Indagine morfo-strutturale atta ad evidenziare:

- a) L'attività carsica nelle diverse sezioni di indagine, attraverso l'attribuzione di un parametro definito come "Grado di carsificazione";
- b) La tendenza evolutiva dei processi di carsificazione, tramite la ricerca della cosiddetta "Energia carsogenetica-dinamica", la cui impostazione metodologica è stata appositamente messa a punto con il presente studio.

5) Fase

Elaborazione dei dati geostrutturali e carsici e valutazione finale sulla tendenza evolutiva dello stato fisico dell'ammasso roccioso, in relazione alla dinamica dei processi carsogenetici riscontrati nelle suddette sezioni di rilevamento.

Il programma di indagine su riportato, che ha richiesto un intero anno di lavoro, è stato condotto su n. 22 Latomie di seguito ripartite (Fig. 12):

- a) Cava Santa Domenica N. 15 Latomie
- b) Area di Viale Sicilia N. 4 Latomie
- c) Cava Confalone N. 2 Latomie
- d) Area di via Archimede - via Carducci N. 1 Latomia.

L'espletamento delle fasi suddette ha consentito la redazione della seguente cartografia:

- 1) Corografia della città di Ragusa con ubicazione di massima delle Latomie studiate;
- 2) Carte tematiche di "Zonazione geostrutturale dell'ammasso roccioso";

- 3) Carte tematiche del "Grado di Carsificazione".

Le suddette carte tematiche e una documentazione fotografica, sugli aspetti più interessanti rilevati durante l'indagine, sono stati inseriti a corredo dello studio presentato (Fig. 13).



Fig. 13 – Particolare latomia

Valutazioni conclusive

Nelle schede di valutazione complessiva compilate dell'indagine condotta sono stati elencati, per ogni singola Latomia, i valori dei parametri R.M.R., Gc, Ecd che descrivono le caratteristiche geomeccaniche e carsogenetiche dell'ammasso roccioso carbonatico nelle stazioni di rilevamento.

Inoltre, per ogni singola stazione accanto ai suddetti valori, è stata riportata una valutazione complessiva che sintetizza gli aspetti prettamente statico-strutturali con quelli carso-dinamici.

Nella tabella di Fig. 14, inoltre, sono stati riassunti i dati percentuali competenti ad ogni classe e sottoclasse di valutazione, la cui numerazione crescente (da 1 a 3), indica il peggiorare delle condizioni geomeccaniche e una potenziale crescente azione carsogenetica nei setti fratturati.

In tal modo, a titolo di esempio, la classe 3, che rappresenta le peggiori situazioni riscontrate nelle stazioni di rilevamento, raggruppa sia la sottoclasse B (Qualità scadente - Valore di Ecd medio-alto), che la sottoclasse A (Qualità scadente - Valore di Ecd medio). Inoltre, le valutazioni che ricadono nella suddetta classe 3, sono state formulate per 42 stazioni (pari al 33,6%) presenti in 17 Latomie (pari al 77%).

La suddetta classe 3 viene altresì richiamata per ché, raggruppando le situazioni peggiori rilevate, fornisce i punti di riferimento essenziali (latomie e stazioni) per una programmazione degli interventi di consolidamento e, nelle more, per un successivo e periodico monitoraggio.

Quest'ultimo si ritiene necessario per evidenziare eventuali ulteriori peggioramenti nella stabilità delle strutture ipogee causati sia da fattori statici

(aumento dei carichi) e dinamici (scosse sismiche), che, in ultima analisi, dal progredire dell'attività carsica nelle fratture. Difatti, come più volte evidenziato nel suddetto lavoro, la carsogenesi può significativamente contribuire alla diminuzione della coesione dell'ammasso roccioso e quindi al suo colllassamento.

Conclusivamente, desidero esprimere il più vivo apprezzamento per i lavori del seminario di studi INGV che, grazie alla capacità di coordinamento interdisciplinare di Franco Venerando Mantegna, hanno riportato l'attenzione delle Istituzioni sul complesso quadro della realtà territoriale iblea. Confido nell'azione concreta del tavolo tecnico scientifico proposto al Libero Consorzio Comunale con l'Ordine del giorno conclusivo dei lavori seminariali.

Bibliografia

Aureli, A., 1993. Carta della vulnerabilità delle falde idriche: settore sud-occidentale Ibleo (Sicilia S.E.).
Map in 1:50,000 scale, SELCA, Florence.

AA.VV., 1994 - Indagine Speleologica negli aggrattati sottostanti l'abitato della Città di Ragusa. Speleologia Iblea Anno IV, N. 4 1994, pp. 1- 88 + Allegato n. 11 cartografie tematiche.

Forti P., 1986 - Problemi di inquinamento e di salvaguardia degli acquiferi carsici. In "Ambiente protezione e risanamento", Pitagora, Bologna, v.1: 491-506.

Classe	Sotto Classe	VALUTAZIONE	Lat. Classe	% Lat. Classe	LATOMIE N°22		Staz. Classe	%Staz. Classe	STAZIONI N°125		LATOMIE N°
					N°	%			N°	%	
1	A	Qd - Emb	15	68	1	5	3	2,4	1	0,8	1
	B	Qd - Em			14	64			2	1,6	
2	A	Qd - Ema	15	71	1	5	80	65,6	32	26,2	12
	B	Qs - Emb			14	66			48	39,3	
3	A	Qs - Em	17	77	13	59	42	33,6	34	27,2	1-3-6-8-11-14-15-16-17-18-19-20-22
	B	Qs - Ema			4	18			8	6,4	

Qd - Qualità discreta Qs - Qualità scadente
Emb - Energia medio-bassa Em - Energia media Ema - Energia medio-alta

Fig. 14 – Tabella riassuntiva

- Grasso, M., Pedley, H. M., Maniscalco, R., Ruggieri, R., 2000. Geological context and explanatory notes of the Carta Geologica del settore centromeridionale dell'Altopiano Ibleo. Memorie della Società Geologi Italiana 55, 45-52.
- Ruggieri R., 1990 - Assetto idrogeologico e intrusione delle acque marine nell'entroterra costiero degli Iblei (Sicilia sud-orientale). Atti I^o Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque sotterranee Metodologie, Tecnologie e Obiettivi, Modena 20-21-22 Settembre 1990, Vol. 1, pagg. 501-517.
- Ruggieri R., 1991 - Osservazioni preliminari sulla presenza di sistemi ipogei nel substrato roccioso di Ragusa. Atti della Ia Conferenza Provinciale di ~~www~~, Prefettura di Ragusa.
- Ruggieri R., 1996 - Fenomeni di carsogenesi nel substrato roccioso di Ragusa: aspetti qual-quantitativi e tendenza evolutiva. Atti del I^o Congr. Reg. Geologi di Sicilia.
- Ruggieri R., 1997 - Problematiche di ~~di~~ protezione della risorsa idrica in rocce fessurate e carsificate: la fiumara di Moodica e la sorgente Salto di Lepre (RG), un caso emblematico di inquinamento negli Iblei. Atti del 2^o Congresso Reg. OG.S., Erice, pp. 91-102.
- Ruggieri, R., Grasso, M., 2000. Caratteristiche stratigrafiche e strutturali dell'Altopiano Ibleo Ragusano e sue implicazioni sulla morfogenesi carsica. Atti Seminario di Studi "Il carsismo negli Iblei", Ragusa 1999, Speleologia Iblea 8, 19-35.
- Ruggieri, R., 2005. Il sistema idrogeologico del settore centro-meridionale Ibleo (Sicilia sud-orientale). Proceedings of the Congress 'L'acqua che berremo 2002-2004", Speleologia Iblea 11, 17-37.
- Ruggieri r., 2014a - Tracing the Sources of Pollution of Wells and Karst springs Supplying Water to the City of Ragusa, South-Eastern Sicily. Ambient Science, Vol (12): (online) Year 2014, <http://www.caves.res.in/>.
- Ruggieri R., 2014b - An emblematic case of pollution of wells and karst springs supplying the city of Ragusa (South-eastern Sicily). Environmental Earth Sciences, Volume 1, Hydrogeological and Environmental Investigations in Karst Systems, Springer, pp. 441-468.
- Ruggieri, R., 2015. An emblematic case of pollution of wells and karst springs supplying the city of Ragusa (South-Eastern Sicily). In: Andreo, B., Carrasco, F., Duran, J.J., Jinénez, P., Lamoreaux, J.W. (Eds.), Hydrogeological and Environmental Investigations in Karst Systems, Springer, Berlin-Heidelberg (pp. 441-448).
- Ruggieri R., Forti P., ~~Antoci~~ M.L., De Waele J., 2017 Accidental contamination and the transfer of heavy fines in a highly karstified aquifer (Paradiso spring, SE Sicily) Journal of Hydrogeology 546, 123-132.
- Paolo Forti & Rosario Ruggieri, 2025 - The accidental contamination of the Paradiso spring (Ragusa, Italy) & the new data achieved on its Hydrodinamics and Hydrochemistry. International Scientific Conference Man and Karst 2024, June 24/29 2024. Ragusa, Italy, Speleologia Iblea Vol. XIX, pp. 127-132, Ragusa 2025.



Fig.15 – Latomie Cava Gonfalone, Ragusa



La serricoltura iblea nell'area tra la foce del Dirillo e Scoglitti, con la fascia demaniale occupata illegalmente

RELATORI



Antonio Megna

Agronomo esperto in nutrifisiologia vegetale
Ricercatore senior di analisi agrarie
Sviluppatore di sistemi esperti di fertilizzazione
Reti neurali artificiali e machine learning
Algoritmi complessi di calcolo e simulazione
Interpolazione ed extrapolazione dati territoriali

- Ho coordinato e sviluppato assieme al mio gruppo di programmati il software AGRONIX (ADM) che permette la corretta gestione dei fertilizzanti sia in ambito agricolo protetto che in pieno campo, testato e adattato per oltre 150 colture.
- Ho coordinato un team di 20 specialisti e ricercatori per realizzare il DVD AGRI-MEDIA, la prima enciclopedia agraria Multimediale e sono stato premiato nel 1993 con medaglia d'oro per l'innovazione tecnologica in agricoltura per aver reso disponibile online il quotidiano agricolo AGRA.
- Ho coordinato lo sviluppo e la ricerca in Italia, Austria e Spagna per il sistema AGROEXPERT (Adcon telemetry) con uso di tecnologia wireless di acquisizione dati ambientali con sensoristica avanzata e necessaria ad implementare sistemi di monitoraggio e preallarme per le malattie delle piante e sistemi di irrigazione di precisione.
- Ho collaborato a livello Europeo alla progettazione e realizzazione di diversi progetti di ricerca e corsi di specializzazione in AGROINFORMATICA. Sono stato rappresentante nel programma Europeo INNOVATION e TELEMATICS, indicato dal CNR e dai rappresentanti della Cooperazione agricola come esperto Italiano per la predisposizione delle linee guida Europee.
- Attualmente mi sono candidato come esperto presso la FAO.

IMPATTO DELLA SALINIZZAZIONE DEI SUOLI NELLE COLTURE, TECNOLOGIE DI ULTIMA GENERAZIONE NELLA GESTIONE DELL'IRRIGAZIONE E POSSIBILI SCENARI EVOLUTIVI DELLA SERRICOLTURA NELLA FASCIA COSTIERA IBLEA

Autore: **Antonio Megna**, agronomo con competenze in nutrifisiologia vegetale e ricercatore senior nel settore delle analisi agrarie.

Abstract

Soil salinization is recognized at the European level and is included in the list of soil threats. Salinization reduces the value and productivity of large areas worldwide: it is estimated that three hectares of arable land are lost every minute. It is the main phenomenon behind the desertification process, which affects a quarter of the Earth's surface. It poses a serious threat to agricultural productivity.

Applied research can offer specific solutions for different situations if properly supported and disseminated to technicians and industry professionals.

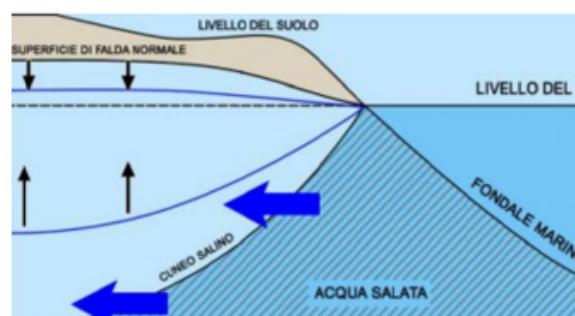
Local institutions play a stimulating and guiding role in promoting initiatives of interest to their local area.

Il processo di salinizzazione dei suoli è riconosciuto a livello europeo e rientra nell'elenco delle minacce del suolo. La salinizzazione riduce il valore e la produttività di grandi aree in tutto il mondo: si stima che ogni minuto si perdono tre ettari di terreni coltivabili. È il principale fenomeno alla base del processo

di desertificazione dei terreni che interessa 1/4 dell'intera superficie terrestre



La salinizzazione dei suoli causata principalmente dall'intrusione del **cuneo salino** che si forma quando l'acqua salata penetra nelle falde acquifere costiere, sostituendo parte dell'acqua dolce. L'acqua salata ha una densità maggiore rispetto all'acqua dolce, questa differenza di densità, in prossimità delle coste, permette all'acqua marina di "incunearsi" sotto quella dolce infiltrandosi nelle falde acquifere rendendole salmastre.



Nelle colture protette della fascia costiera ragusana, l'impiego irriguo di acque salmastre è spesso associata ad un impiego elevato di fertilizzanti ed all'uso di basse dosi irrigue. Ciò non facilita la lisciviazione dei sali in eccesso ma

accelera la salinizzazione dei suoli ed il loro degrado (de-flocculazione della struttura del suolo, elevazione del pH e della conducibilità e lo squilibrio cationico) che causano limitazioni alla produttività.

La salinità in eccesso rispetto ai livelli di tolleranza specifica innesca risposte di stress nelle piante in maniera similare allo stress idrico

- **Alterazione dello stato idrico**, dovuto una riduzione dell'approvvigionamento di acqua provocato dalla diminuzione della capacità dei tessuti radicali di assorbirla dal terreno poiché il suo potenziale idrico (ψ_w) diventa più negativo man mano che cresce la concentrazione di ioni in soluzione con conseguente stress osmotico.

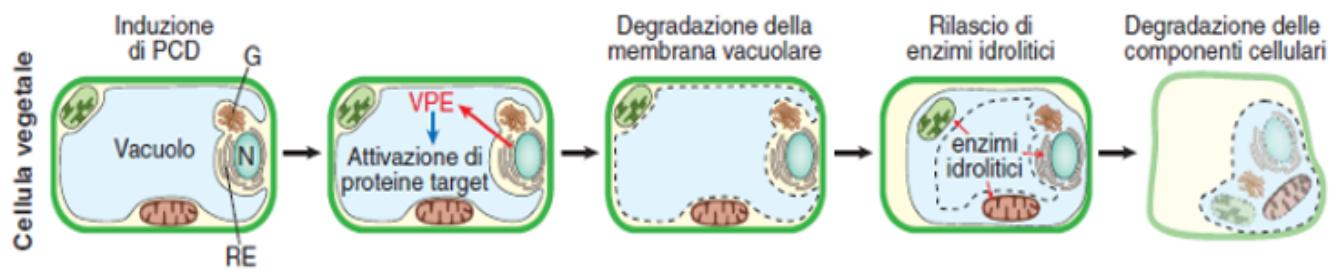


- **Tossicità indotta nei tessuti vegetali** dall'alta concentrazione di alcuni ioni (quali Na^+ e Cl^-), che possono raggiungere livelli di tossicità estrema a concentrazioni facilmente riscontrabili creando interferenze con l'assorbimento di altri nutrienti.

- **Shock salino o stress ossidativo** è l'impatto diretto della salinità sulle colture che conduce alla produzione di **ROS Reactive Oxygen Species** e conseguente induzione del processo **PCD (Programmed Cell Death)** con l'intervento del **VPE (vacuolar processing enzyme)**:

- Le membrane cellulari aumentano la permeabilità, quindi si giunge alla rottura del tonoplasto (*membrana del vacuolo*) ed al conseguente collasso del vacuolo con perdita di soluti e rilascio di enzimi idrolitici; Gli organi cellulari: ribosomi, mitocondri e nucleo subiscono quindi la degradazione delle proteine e del DNA provocando l'autolisi e morte cellulare
- Lo stato di stress salino delle piante oltre la soglia di tolleranza specifica provoca il rallentamento dei processi di crescita, la riduzione del ciclo vegetativo e della produzione e oltre un certo punto la morte (punto di appassimento permanente).

Di seguito una tabella su dati FAO (autori vari) che riporta i diversi range di tolleranza delle più importanti specie orticole e la riduzione produttiva in % in funzione dell'aumento di salinità di 1 ds/m (decisiemens/ metro) rispetto al livello soglia di riferimento.



Coltura	EC soglia (ds/m)	Riduzione resa (%/ds/m)	Classificazione	Range tolleranza (ds/m)
Barbabietola	7	5	Tollerante	6.5 – 7.0 – 9.0
Asparago	4,1	5	Tollerante	3.0 – 4.1 – 7.0
Rapa	3	6	Moderatamente tollerante	2.5 – 3.0 – 5.0
Pomodoro	2,5	9	Moderatamente tollerante	2.0 – 2.5 – 6.0
Cetriolo	2,5	13	Moderatamente tollerante	2.0 – 2.5 – 4.0
Melone	2,2	11	Moderatamente tollerante	2.0 – 2.5 – 5.0
Zucchino	2	13	Moderatamente tollerante	1.5 – 2.0 – 4.0
Spinacio	2	7	Moderatamente tollerante	2.0 – 3.0 – 5.0
Carciofo	2	8	Moderatamente tollerante	2.0 – 2.5 – 5.0
Finocchio	2	10	Moderatamente tollerante	1.8 – 2.0 – 3.5
Anguria	2	10	Moderatamente tollerante	2.0 – 2.5 – 5.0
Patata	1,7	12	Moderatamente sensibile	1.4 – 1.7 – 3.0
Peperone	1,5	14	Moderatamente sensibile	1.5 – 1.7 – 3.5
Melanzana	1,5	10	Moderatamente sensibile	1.5 – 2.0 – 4.0
Lattuga	1,3	13	Sensibile	1.0 – 1.3 – 2.5
Cipolla	1,2	16	Sensibile	1.2 – 1.4 – 2.5
Carota	1	14	Sensibile	1.0 – 1.2 – 2.0
Fagiolino	1	19	Sensibile	1.0 – 1.3 – 2.0
Fragola	1	33	Molto sensibile	0.7 – 1.0 – 1.5

Le piante utilizzano diversi sistemi per opporre resistenza alla salinità, tra cui:

- *Selettività e filtraggio radicolare nella fase di assorbimento*
- *Traslocazione in strati cuticolari o organi in fase di senescenza*
- *Allontanamento radicale dalle aree del suolo ad alta salinità*
- *Compartimentazione degli ioni tossici all'interno dei vacuoli*
- *Chiusura degli stomi per preservare lo stato idrico*
- *Accumulo di potassio, nitrati ed altri ioni per osmoregolazione*
- *Biosintesi di osmoliti per aumentare il potere osmotico (zuccheri, vitamine, enzimi e aminoacidi: proлина, betaina, glicina, alanina.*

La tolleranza ad eccessi di salinità varia in base alla specie e l'attivazione dei meccanismi di resistenza può in una prima fase migliorare la qualità delle produzioni causando comunque una contemporanea riduzione di produttività.

In alcuni casi, l'irrigazione mirata con acque leggermente salmastre permette di ottenere miglioramenti qualitativi dovuti alla maggiore concentrazione di vitamine, zuccheri, proteine e antiossidanti. E' questo il caso ad esempio del famoso «Pomodoro di Pachino».

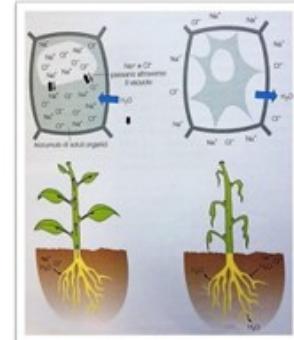
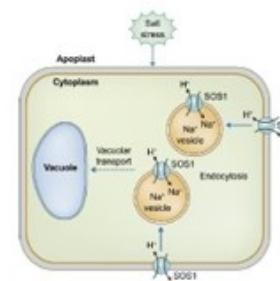
Resistenza allo stress salino

ELUSIONE (meccanismi per evitare lo stress)

SALT AVOIDANCE
crescita differenziata delle radici

ESTRUSIONE
Pompe ioniche attive

ESCLUSIONE
bassa permeabilità ai sali

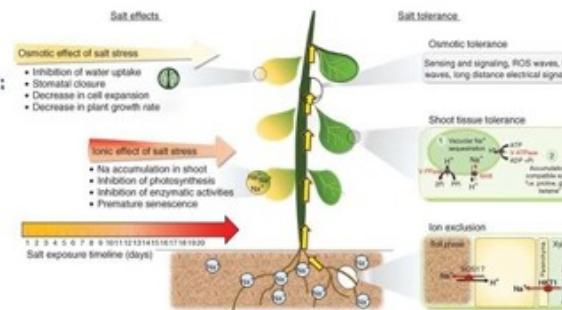


TOLLERANZA (adattamento alle condizioni sfavorevoli)

ACCUMULO DI IONI
assorbimento di sali e loro accumulo nelle cellule (vacuolo)

BIOSINTESI DI OSMOLITI:
Zuccheri, amminoacidi, sali ammonici quaternari

OSMOREGOLAZIONE
variazione della concentrazione dei soluti



L'ingegneria agronomica utilizza soluzioni tecnologiche che consentono di contrastare la salinizzazione dei suoli e/o evitarne l'impatto alle colture

Irrigazione e concimazione di precisione

- Analisi dei suoli e acque
- Sistemi esperti per il calcolo delle reintegrazioni e delle asportazioni culturali
- Ottimale distribuzione di acqua, ammendanti, correttivi e nutrienti durante il ciclo culturale (*ritmo fenologico*)
- Uso di sensori in campo e/o dispositivi di controllo mobili (*Smart irrigation*)

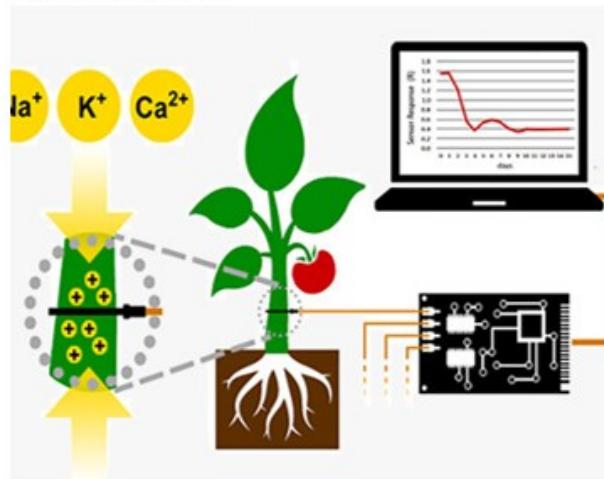


Bio-monitoraggio dello stato idrico e nutrizionale

Uso di bio-sensori telemetrici che controllano parametri vitali direttamente sugli organi delle piante:

- Flusso linfatico

- Variazioni dendrometriche
- Variazioni della T° fogliare
- Indici vegetazionali NDVI
- Indici di stress idrico NDMI
- Potenziale idrico



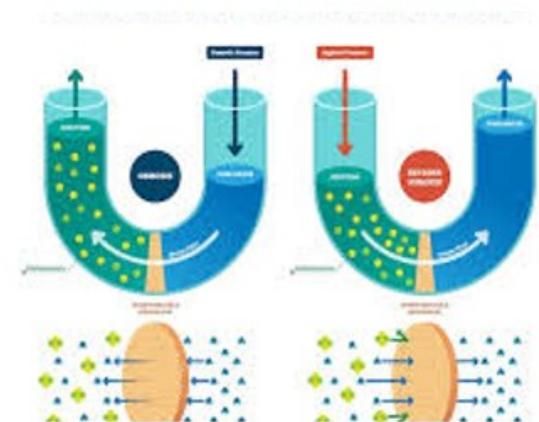
Colture fuori suolo

- Aeroponica
- Idroponica floating system
- Idroponica su pellicola nutritiva NFT
- Acquaponica
- Coltivazione su substrati inerti con sistemi di micro-irrigazione e fertirrigazione automatizzati
- Sistemi idroponici e aeroponici verticali



Desalinizzazione acque salmastre

Uso di tecnologie di osmosi inversa e filtrazione a membrane semipermeabili per ridurre la salinità e contemporaneo utilizzo della irrigazione di precisione e colture fuori suolo per una riduzione sostanziale dei volumi irrigui. Sono disponibili nuovi impianti di piccole dimensioni alimentati con energia fotovoltaica che abbattono il costo di desalinizzazione



COLTIVAZIONE SU SUOLO

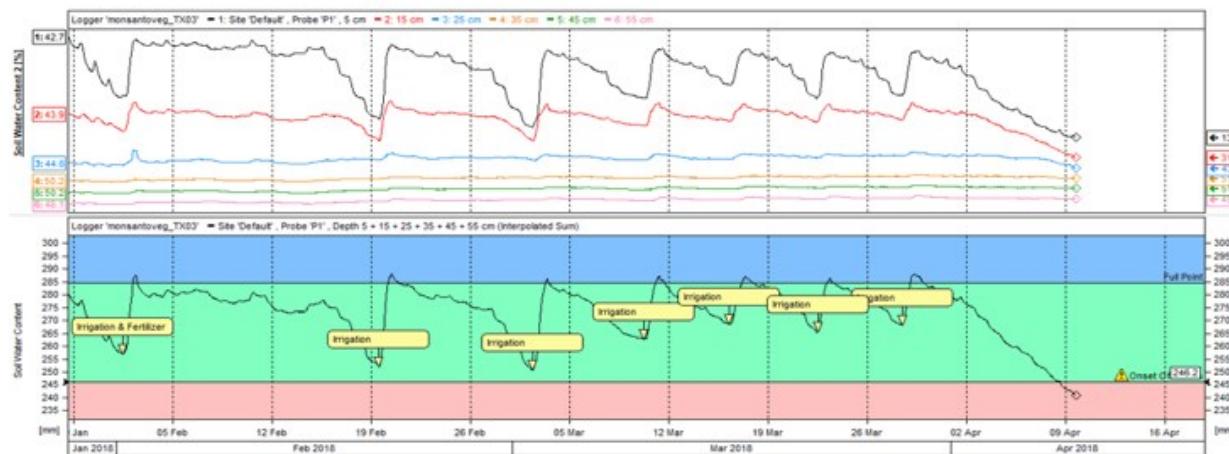
- Analisi chimico fisica del suolo (Tessitura, pH, Conducibilità, Sostanza organica, CSC e cationi scambiabili (Ca++, Mg++, Na+, K+), macro-nutrienti (NPK) e micro-nutrienti (Fe-Mg-Mn-B-Cu-Zn)

- Analisi idrologica del suolo (Capacità di campo, Permeabilità)
- Analisi dell'acqua di irrigazione (Conducibilità, pH, Sali disciolti TDS, SAR, ESP, Pot. osmotico)
- Correzione del suolo (pH e Conducibilità)
- Ammendamento e sovescio di leguminose (Sost. organica, Porosità e miglioramento struttura)
- Lisciviazione dei Sali solubili con uso di gesso agricolo e zolfo
- Uso di sensori di umidità del suolo (Tensiometri, Watermark, FDR, TDR)

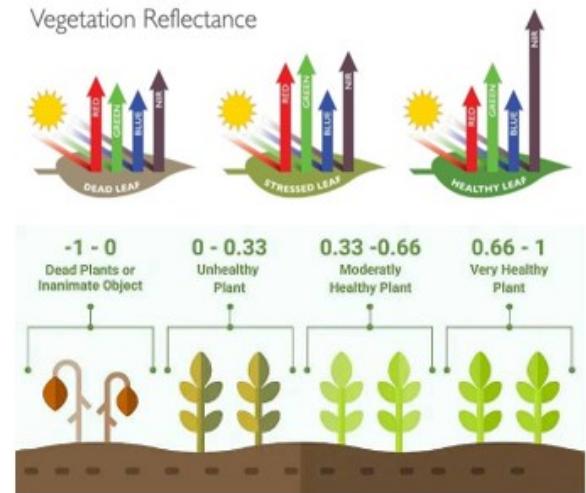
- Uso di bio-sensori (flusso linfatico e composizione linfa, dendrometri, potenziale idrico, T° fogliare)



- Uso di indicatori dello stato idrico della pianta (NDVI, NDMI, CWSI, etc.) (Sentinel 2, Landsat, Modis)



Vegetation Reflectance



Spettroradiometri in campo e sensori multispettrali fissi e su droni mobili



- Uso della pacciamatura (riduzione dell'evaporazione dal suolo)
- Trattamento desalinizzante e ozonizzazione con **nanobolle** delle acque di irrigazione
- Uso impianti di irrigazione localizzata, micro-irrigazione di precisione e fertirrigazione

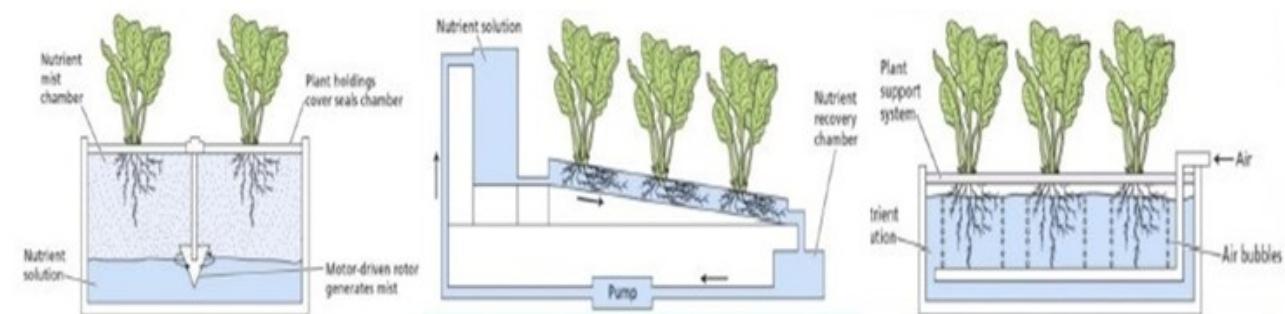
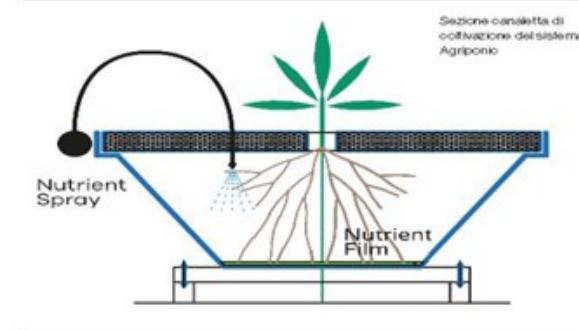
- Tecniche di raffrescamento (cooling) e tecniche di nebulizzazione (riduzione traspirazione)
 - Applicazione di tecniche di stress idrico controllato
 - Applicazione di tecniche di disseccamento parziale dell'apparato radicale
 - Uso di biostimolanti (acidi umici, idrolizzati proteici, estratti di microalghe, biochar)
 - Tecniche di micorrizzazione (simbiosi piante-funghi)
 - Coltivazione congiunta o a rotazione con specie alofite (asportazione differenziata dei sali)
 - Innesto su piante (*compatibili o ibridi*) dotate di elevata tolleranza allo stress salino



COLTIVAZIONE FUORI SUOLO

La coltivazione fuori suolo è in rapida crescita e si basa sui seguenti principali modelli:

- Aeroponica (nebulizzazione radicale)
 - Idroponica (floating system con supporto inerte e aerazione dell'acqua)
 - NFT (Nutrient film technique) o su pellicola nutritiva)
 - Acquaponica (floating system con allevamento di pesci)
 - Sistemi integrati (Idroponica + NFT)



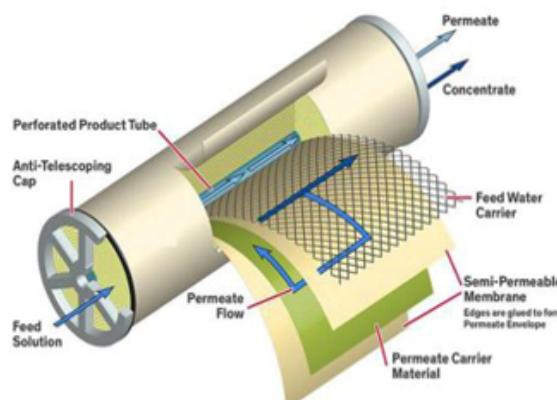
Il trend di crescita della salinità delle acque irrigue coniugato alle ridotte disponibilità idriche ed alla disponibilità di tecnologie di **desalinizzazione** accoppiato all'uso di energie rinnovabili promuove l'uso di queste tecnologie, che fanno intravedere per il futuro uno scenario in piena evoluzione, anche in considerazione dello sviluppo di modelli che utilizzano IoT (Internet of Things) e di sistemi assistiti direttamente da AI (Artificial Intelligence).

Gli scenari evolutivi

Desalinizzazione con tecnologie di **osmosi inversa**

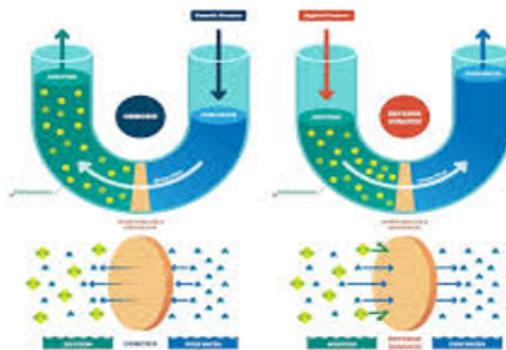
Nel processo di osmosi inversa:

- L'acqua salata viene filtrata per rimuovere impurità.
- Le pompe spingono l'acqua attraverso le membrane con una pressione sufficiente a superare la pressione osmotica.
- L'acqua pura passa attraverso le membrane che sono fatte di materiali polimerici come il poliammide e sono disposte in moduli per ottimizzare l'area di superficie e l'efficienza del processo di filtrazione, mentre i sali vengono trattenuti.



- L'acqua pura (permeato) viene raccolta nei recipienti che la convogliano al sistema di irrigazione, e l'acqua salata con i sali (salamoia) viene scartata.

OSMOSIS AND REVERSE OSMOSIS



La capacità produttiva degli impianti è progettata per far fronte al consumo delle colture in idroponica, o con sistemi di microirrigazione a bassi consumi e considerando anche la possibilità di un successivo riutilizzo delle acque di recupero.



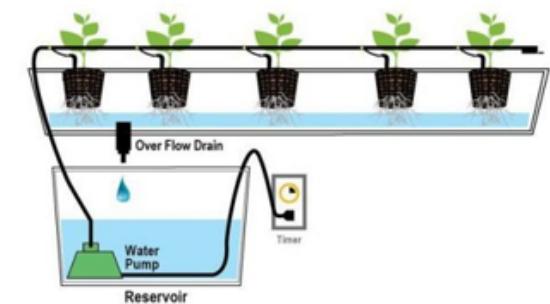
- Sono in corso verifiche su nuove tecnologie di trattamento delle acque, alcune delle quali molto promettenti tra cui: l'*uso di resine e polimeri a scambio ionico per il filtraggio dell'acqua, sistemi di attivazione elettromagnetica*

dell'acqua, ed infine l'immissione di nano-bolle di ossigeno nell'acqua e l'ozonizzazione dell'acqua irrigua con uso di macchinari già disponibili a costi accettabili.

Quando le radici delle piante sono esposte a



nanobolle arricchite di ossigeno combinate con un elevato contenuto di ossigeno dissolto, possono assorbire i nutrienti in modo più efficace, traducendosi in rese più elevate. La diversa tolleranza delle piante alla salinità offre diverse opportunità:



Coltivazione di piante più tolleranti

Alcune colture sono già oggetto di sperimentazione per la loro introduzione con conseguente allargamento del panorama produttivo:

- Asparago
- Bietola rossa
- Spinacio

Consociazione/rotazione di piante naturalmente tolleranti

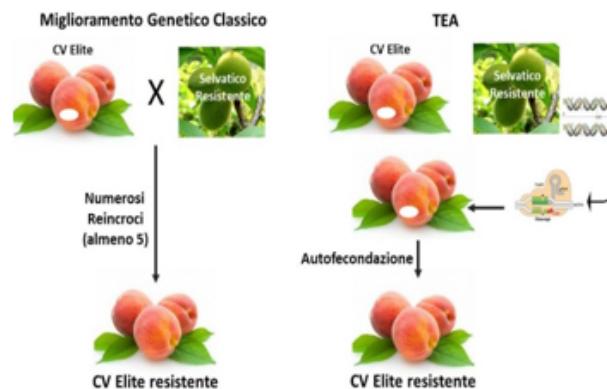
Alcune colture sono già oggetto di studio e prove in campo:

- Salsola (Barba di frate), Atriplex (bietola selvatica), Portulaca oleracea (Erba porcellana)
- Aster Tripolium, Artemisia maritima, Plantago maritima, Suaeda maritima
- Salicornia fruticosa, glauca, persica (asparago di mare)

Uso di portinnetti resistenti

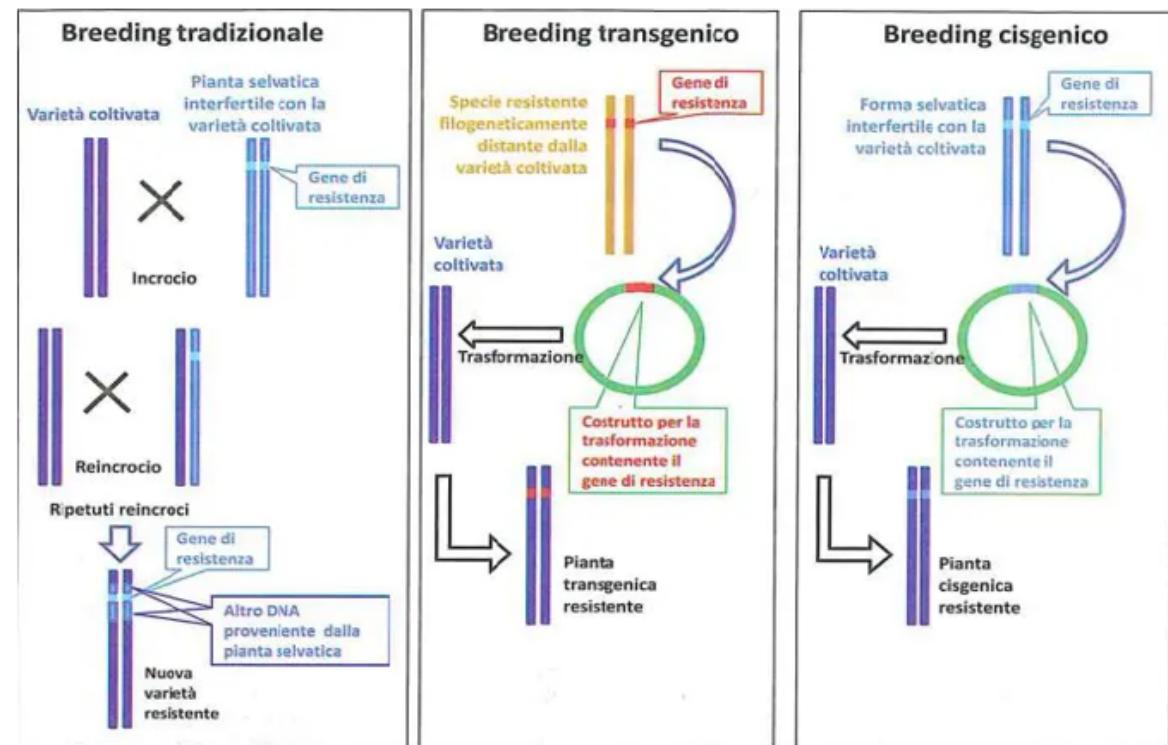
Alcuni sono già disponibili per solanacee e cucurbitacee:

- **Naturali** (Solanum pimpinellifolium, Solanum Torvum)
- **Ibridi** (Fullpro, Kronosor, Arnold, Optifort, MaxifortHY, Polifemo, Fexifort, Shintoza)
- **Ibridi interspecifici** (Maxifort HY, Giseya, TopGun, Cobalt RZ)



Sviluppo di Bio-tecnologie di evoluzione assistita (TEA)

Con l'utilizzo di TEA si interviene con breeding cisgenico direttamente a livello di DNA per modificare la configurazione genetica degli alleli che migliorano la tolleranza allo stress idrico e salino e che inducono incrementi di produttività e qualità con tempi ridotti rispetto al metodo classico.

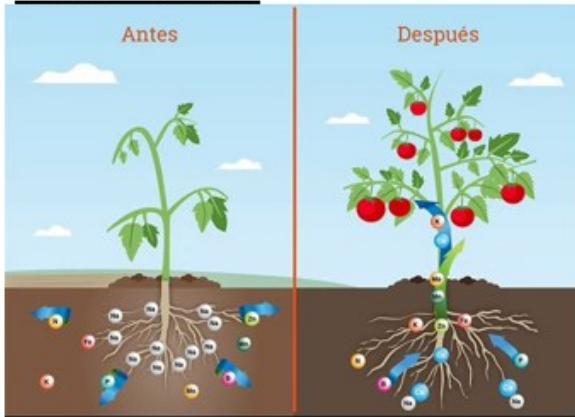


Confronto tra metodi di breeding tradizionale, transgenico (OGM) e cisgenico per lo sviluppo di una pianta

La tolleranza alla salinità può essere incrementata con specifici trattamenti
AMMENDANTI E CORRETTIVI DEL SUOLO

- Gesso agricolo, Zolfo e altri acidificanti
- Humus
- Biochar

BIOSTIMOLANTI



Estratti di Alghe brune e microalghe tra cui:

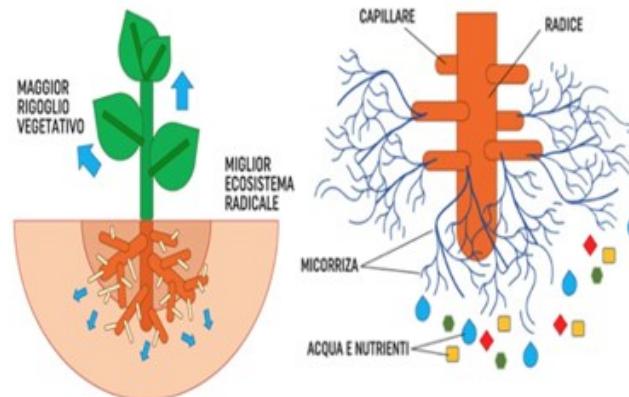
Chlorella vulgaris; Acutodesmus dimorphus; Arthrospira platensis; Scenedesmus; Quadricauda; Dunaliella salina; Ecklonia maxima

Chlorella ellipsoidea; Spirulina maxima; Calothrix elenkinii.

- Microrganismi tra cui:

Batteri PGPR, Azotobacter salinestris, Bacillus haynesii, Bacillus subtilis, Pseudomonas fluorescens, Azospirillum spp, Trichoderma spp, Agaricus, Bacillus amyloliquefaciens, Bacillus megaterium

MICORRIZAZIONE RADICALE *Glomus mosseae, Glomus intraradices, Glomus fasciculatum, Glomus occultum Rhizophagus*



intraradices), Phylum Glomeromycota, Acaulospora, Funneliformis, Scutellospora

INTEGRATORI

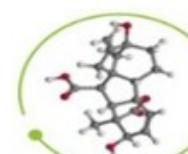
- Acidi umici e fulvici
- Serina, Prolina e acido Aspartico
- Idrolizzati proteici da leguminose (es. *erba medica*)
- Acidi carbossilici

'Azotobacter salinestris induce la pianta a sintetizzare tre sostanze metabolicamente attive di grande valore e interesse:



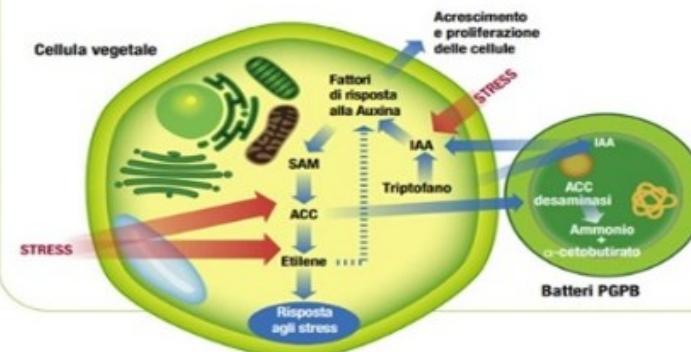
ACIDO INDOLACETICO

Ormone vegetale di tipo auxinico che controlla i processi di crescita dei tessuti delle piante, in particolare l'allungamento e la divisione cellulare. *Azotobacter salinestris CECT9690* è in grado di promuovere la produzione endogena di acido indolacetico attraverso la via metabolica del triptofano.



ACIDO GIBBERELLICO

Ormone vegetale che controlla i processi di crescita vegetale dei tessuti, in particolare i processi di germinazione dei semi, la mitosi durante l'allegagione e la rottura della dominanza apicale, ecc. *Azotobacter salinestris CECT9690* è in grado di promuovere la produzione endogena di questo ormone.



ACC-DEAMINASI

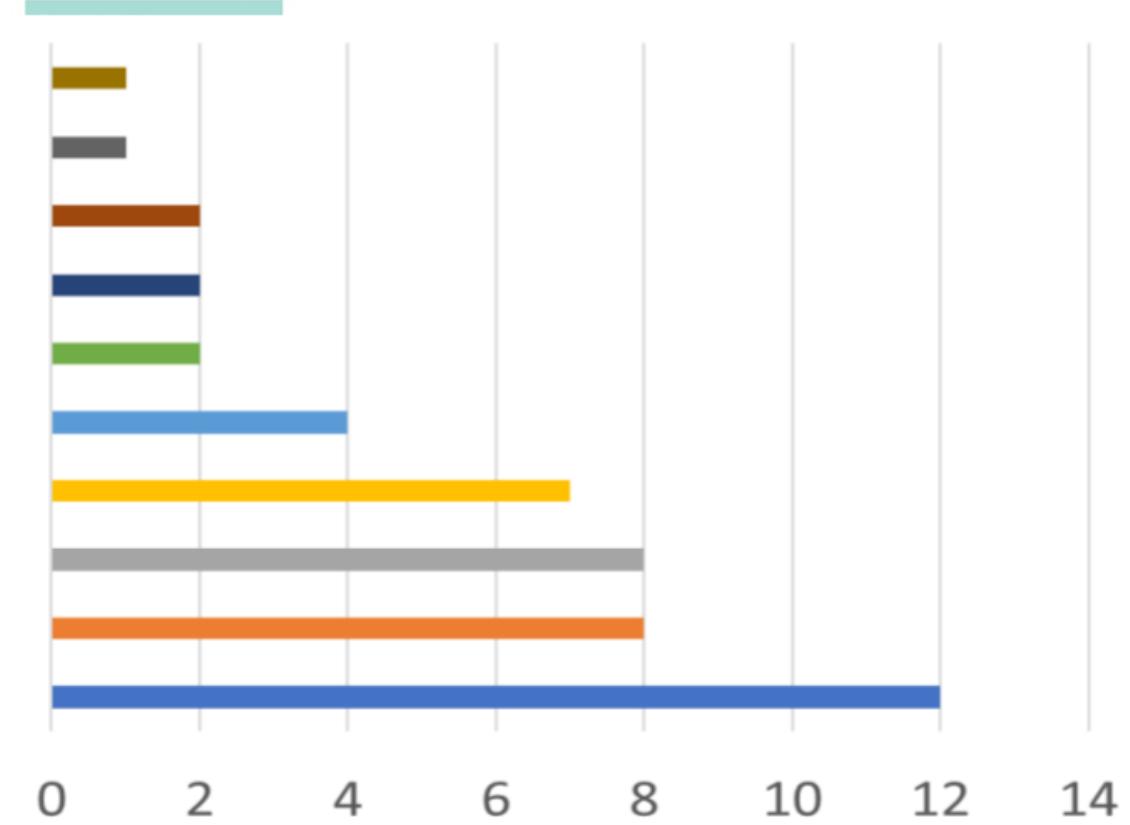
E' l'enzima antistress delle piante, fondamentale per il controllo della produzione dell'etilene endogeno. Durante i periodi di stress la pianta produce ACC: l'*Azotobacter salinestris CECT9690* produce un enzima in grado di disattivare questo composto e ottenerne in cambio dell'azoto.

CONCLUSIONI

La salinizzazione dei suoli è una minaccia grave per la produttività agricola. La ricerca applicata, le attività di trasferimento tecnologico e la validazione in campo possono fornire soluzioni specifiche se opportunamente supportate, finalizzate e correttamente divulgata ai tecnici e agli operatori del settore. Le istituzioni locali rivestono un ruolo di stimolo e di guida per selezionare e favorire le iniziative di maggiore interesse per il proprio territorio.



- New tolerant crops
- Adaptive agriculture
- Biological methods
- New irrigation systems
- Groundwater management
- Soil management
- Salinity of irrigation water
- Salinity modeling
- Minimizing salt application
- Using extra water for leaching





Libero Consorzio Comunale di Ragusa, laboratorio Reti Geofisiche

RELATORI



Rosario Mineo

Fisico, Funzionario del Settore Ambiente e Geologia del Libero Consorzio Comunale di Ragusa (LCCR)

- Responsabile Unità Operativa Semplice 2.3 - Reti e Sistemi di Rilevamento Geofisici
- Responsabile delle attività inerenti alla convenzione di collaborazione tra LCCR e INGV
- Responsabile delle attività di acquisizione di dati geologici, geomorfologici ed ambientali tramite droni
- Responsabile della gestione del sito web del Settore Ambiente e Geologia
- Referente del progetto pilota “Indagine sul Radon in Provincia di Ragusa” condotto da ARPA e LCCR
- Esperienza pluriennale nella realizzazione di campagne di misure in campo sismologico e nella lettura di sismogrammi
- Esperienza pluriennale nella realizzazione di campagne di misure di concentrazione di radon in ambienti indoor, acqua, suolo ed atmosfera
- Abilitazione al pilotaggio di droni in categoria A1/A3, A2, IT-STS
- Attività divulgativa e didattica rivolta a studenti di scuole elementari, medie e superiori con visite guidate presso i laboratori del LCCR o progetti PON PCTO
- Partecipazione come autore/coautore/relatore in articoli/seminari/convegni in 25 lavori su tematiche sulla sismologia, sul radon e sui droni.
- Preposto alla sicurezza, addetto antincendio, operatore BLSD per le attività svolte presso il LCCR

L'ESPERIENZA DEL LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI RAGUSA NELLO STUDIO DEI TERREMOTI E DEL GAS RADON

Autore: **Rosario MINEO**, responsabile reti geofisiche del Libero Consorzio Comunale di Ragusa

Abstract

The paper describes the experience of the Libero Consorzio Comunale di Ragusa (LCCR) in studying earthquakes and radon gas. It illustrates the processes of collecting and interpreting seismic data, including event identification, epicentral location, and magnitude calculation, and presents the results obtained and the critical issues encountered. The seismicity of the Iblean plateau and the need for ongoing public education are highlighted. The paper also focuses on radon monitoring, detailing measurement sites, factors that influence radon concentration (such as seasonal and meteorological variations), and mitigation methods, such as ventilation. Finally, it describes a pilot project to assess radon exposure in residential homes in the province of Ragusa, emphasizing the importance of public awareness of the risks associated with this gas.

La spinta principale che ha motivato lo studio dei terremoti da parte del Libero Consorzio Comunale di Ragusa (ex Provincia Regionale di Ragusa) e che ha portato alla creazione di una rete di rivelamento sismico è naturalmente la considerazione che il territorio ibleo insiste in

una zona ad alto rischio sismico. Diversi terremoti storici hanno infatti interessato la Sicilia sud-orientale, nel 1169 e nel 1542, fino a quello devastante del 1693 (Tabella 1), che ha causato gravissimi danni anche nel territorio ibleo; Ragusa, ad esempio, ha visto praticamente dimezzare il numero di abitanti a causa delle vittime.

Data	I _o (MCS)	M	Zona epicentrale
4 Febbraio 1169	X	6.4	Sicilia orientale
10 Dicembre 1542	X	6.8	Sicilia sud-orientale
11 Gennaio 1693	XI	7.4	Sicilia orientale
20 Febbraio 1818	IX	6.0	Etna
28 Dicembre 1908	XI	7.1	Calabria meridionale e Sicilia
15 Gennaio 1968	X	6.4	Valle del Belice

Tabella 1. Terremoti storici della Sicilia sud-orientale (tratto da D'Alessandro A. et al., (2021). Sullo sviluppo della rete multiparametrica in Sicilia. *Quad. Geofis.*, 172: 1-40, <https://doi.org/10.13127/qdg/172>).

Alla fine degli anni 90 nel territorio della Provincia di Ragusa era presente solo una delle stazioni sismiche facenti parte del Sistema Poseidon (triangolini in rosso in Figura 1) che è poi confluito nella rete sismica dell'INGV. Sebbene valida a livello regionale, tuttavia a livello locale questa geometria lasciava scoperta una buona porzione del territorio meridionale degli Iblei. Così, partendo da queste considerazioni, è nata la Rete Sismometrica Provinciale, una struttura composta di stazioni sismiche da dislocare omogeneamente nel territorio provinciale; le prime stazioni sismiche sono state posizionate nell'anno 2000 a Ragusa, Giarratana, Santa Croce Camerina e Ispica, le quali sono state affiancate dal 2003 da quella di Acate (Figura 2).

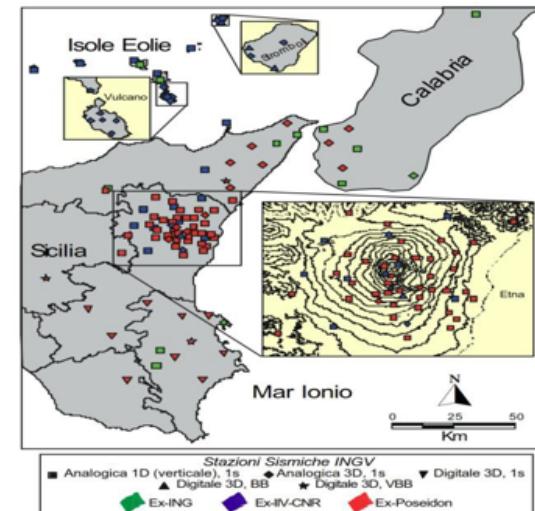


Figura 1. Mappa delle stazioni sismiche permanenti gestite dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nell'area della Sicilia orientale - Calabria meridionale (tratto da GNDT-PE2000. Progettazione di reti di monitoraggio e allarme in aree marine prospicienti zone ad elevato rischio sismico. Prima realizzazione di un nodo nella Sicilia Orientale, [1 Relazione Annuale](#), Roma, 30/9/2001).

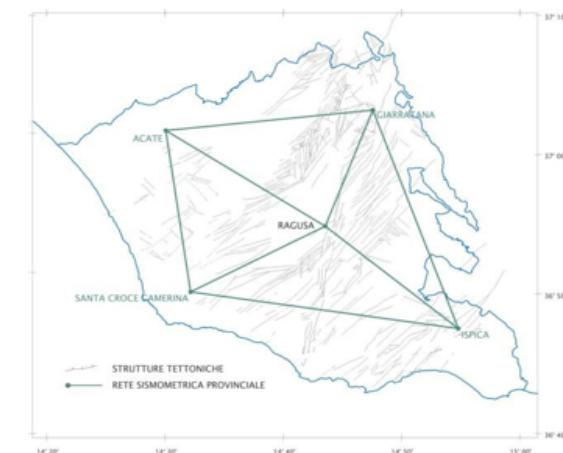


Figura 2. Mappa delle stazioni della Rete Sismometrica Provinciale.

In ogni stazione sismica i dati erano registrati da un sensore sismico posizionato in un pozzetto di profondità 1 metro, digitalizzati da un acquisitore e inviati tramite modem a 56k al Centro di Elaborazione Dati di Ragusa. La sincronizzazione temporale dei dati (fondamentale in questi casi) era effettuata da una antenna che intercettava il segnale radio DCF77 di trasmissione dell'ora irradiato dalla Germania (Figura 3).

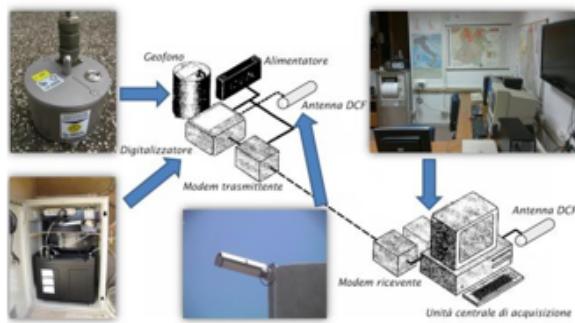


Figura 3. Attrezzature utilizzate nelle stazioni della Rete Sismometrica Provinciale.

Inoltre, presso il CED di Ragusa era presente anche un sismografo analogico su rullo a carta termica a tre componenti, collegato direttamente al sensore sismico della stazione di Ragusa.

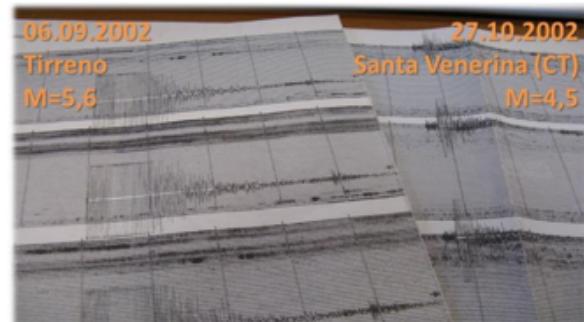


Figura 4. Registrazione su carta termica di sismogrammi relativi a due significativi eventi sismici del 2002.

La Figura 4 mostra per esempio due sismogrammi registrati dal sismografo a rullo, relativi a due eventi sismici di media intensità del 2002 che portarono molta apprensione tra gli abitanti di Palermo e di Santa Venerina. La Figura 5 mostra invece la registrazione digitale, della durata di un'ora, effettuata dal sismometro di Giarratana del terremoto avvenuto in Giappone nel 2011, che, oltre a causare circa 20.000 vittime e ingentissimi danni dovuti al successivo maremoto, è stato la causa del famoso incidente nucleare di Fukushima.

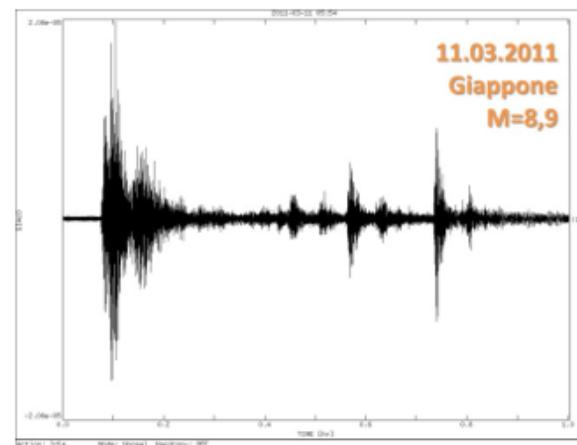


Figura 5. Registrazione del terremoto del Giappone del 11.03.2011.

La localizzazione epicentrale degli eventi sismici registrati era effettuata tramite un software, appositamente realizzato da un programmatore, che, dalla lettura dei tempi di arrivo delle fasi P e S del sismogramma, generava un report con le coordinate ipocentrali. La Figura 6 mostra la successione sequenziale delle analisi condotte sulle registrazioni: si parte dalla lettura di un sismogramma registrato su carta o sul computer, per arrivare alla pubblicazione di

un report con i dati più significativi che caratterizzano l'evento sismico (localizzazione dell'epicentro e stima della magnitudo).



Figura 6. Processo sequenziale di analisi degli eventi sismici registrati.

Questi dati erano poi pubblicati in un report periodico (Bollettino Sismico Ibleo, Figura 7) che è stato reso disponibile al pubblico sul sito web istituzionale del Libero Consorzio.



Figura 7. Copertine dei primi numeri del Bollettino Sismico Ibleo.

I dati pubblicati nel Bollettino sono:

- il numero identificativo del terremoto;
- la data dell'evento sismico;
- il tempo origine dell'evento (errore < 0,3 s);
- la latitudine epicentrale (errore < 2 km);
- la longitudine epicentrale (errore < 2 km);
- la profondità dell'ipocentro in chilometri;
- la magnitudo Wood-Anderson equivalente;
- la località più prossima all'epicentro.

Simultaneamente alla pubblicazione dei Bollettini, il sito web istituzionale del Libero Consorzio ha ospitato anche una pagina con interfaccia per la consultazione libera dei report finali associati agli eventi sismici registrati giornalmente, comprendenti la visualizzazione dei sismogrammi delle stazioni sismiche coinvolte nella registrazione dell'evento, le coordinate ipocentrali e la magnitudo (Figura 8). I dati analizzati e pubblicati nel sito web e poi nel Bollettino hanno riguardato i soli eventi sismici ricadenti all'interno di un'area di forma poligonale (evidenziata in azzurro in Figura 9); questa area è stata opportunamente scelta perché garantiva una accettabile precisione nella localizzazione epicentrale, la quale faceva uso

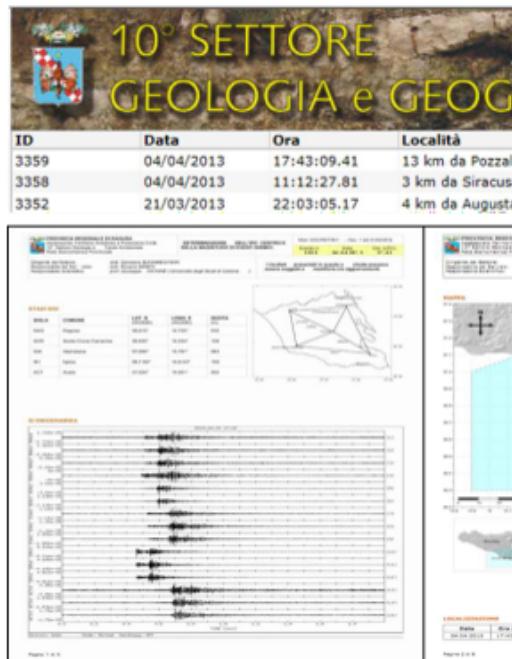


Figura 8. Pagina web per la consultazione libera dei report degli eventi sismici registrati.

di un modello della crosta terrestre ideale per l'utilizzo nell'area Iblea. Eventi sismici ricadenti in aree limitrofe, come l'Etna, lo Ionio, il canale di Malta e la Sicilia centrale, comportano l'uso di volta in volta di modelli crustali differenti; inoltre, le localizzazioni di eventi sismici "esterni" alla geometria della rete sismica sono di per sé poco attendibili a causa delle minime differenze dei tempi di arrivo di una fase sismica nelle diverse stazioni. Dal 2000 al 2018 sono stati registrati oltre 4000 eventi sismici, con circa 400 eventi con epicentro ricadente nell'area di studio; le analisi confermano la presenza di un livello sismogenetico attivo localizzato tra 10 e 30 km di profondità (Figura 10).

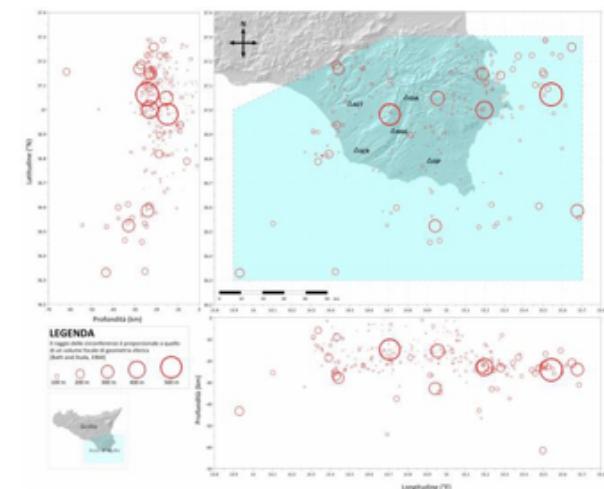


Figura 9. Area di studio (in azzurro) per gli eventi sismici registrati.

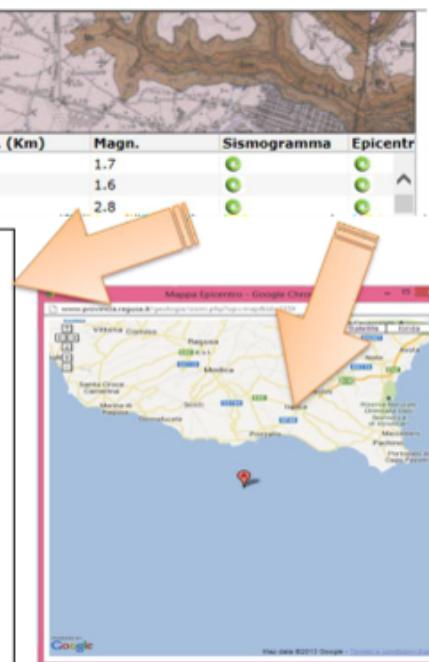


Figura 10. Distribuzione delle profondità ipocentrali.

Gli anni di funzionamento continuo della rete (2000-2018) hanno pertanto dimostrato che il tavolato ibleo è un territorio interessato da sismicità, con terremoti ubicati prevalentemente in aree intensamente fratturate e fagilate. È certamente un merito della struttura quello di avere erogato una informazione continua dell'attività sismica locale alla popolazione. Tuttavia, vanno segnalate anche alcune criticità che si sono via via presentate negli anni, in particolare:

- malfunzionamenti causati da eventi atmosferici intensi;
- sottostima della magnitudo rispetto a quella calcolata da INGV;
- eventi non registrati dal software di acquisizione automatica;
- necessità di espansione della rete anche nelle province limitrofe;
- necessità di aggiornamento tecnologico delle attrezzature.

Gran parte delle suddette criticità sono state affrontate e superate grazie alla convenzione stipulata nel 2018 tra il Libero Consorzio Comunale di Ragusa e l'Osservatorio Nazionale Terremoti dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia che sancisce l'inizio di una collaborazione per la realizzazione di attività di ricerca e sperimentazione sul monitoraggio multiparametrico e multidisciplinare dei fenomeni sismici, geologici e ambientali dell'area iblea. La convenzione stipulata ha previsto anche un primo upgrade tecnologico delle stazioni sismiche di Acate (ACAT), Santa Croce Camerina (CROCE) e Ispica (ISPIC), con l'installazione di attrezzature multiparametriche di ultima generazione (Figura 11) ed apparati per la

trasmissione dei dati sismici in tempo reale

presso la Sala di Monitoraggio INGV di Roma e presso il Centro Elaborazione Dati di Ragusa.

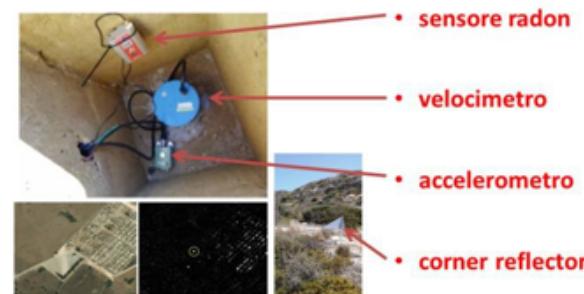


Figura 11. Attrezzature multiparametriche installate nelle stazioni sismiche oggetto del primo upgrade tecnologico.

Successivamente, un secondo upgrade tecnologico ha coinvolto l'attuale stazione sismica di Ragusa (IPAI) ed una nuova stazione sismica a Scicli (SCIC), con l'installazione di un sensore da pozzo (visualizzato in Figura 12) da posizionare sul fondo di una perforazione appositamente realizzata dai tecnici del Settore Ambiente e Geologia del LCCR, della profondità di circa 20 metri, che garantisce un notevole abbattimento del rumore sismico causato da sorgenti superficiali (rumori antropici, vento, vegetazione, ecc.). La Figura 13 mostra la differenza tra i segnali sismici registrati da un sensore in pozzo ed uno di comparazione installato in superficie.

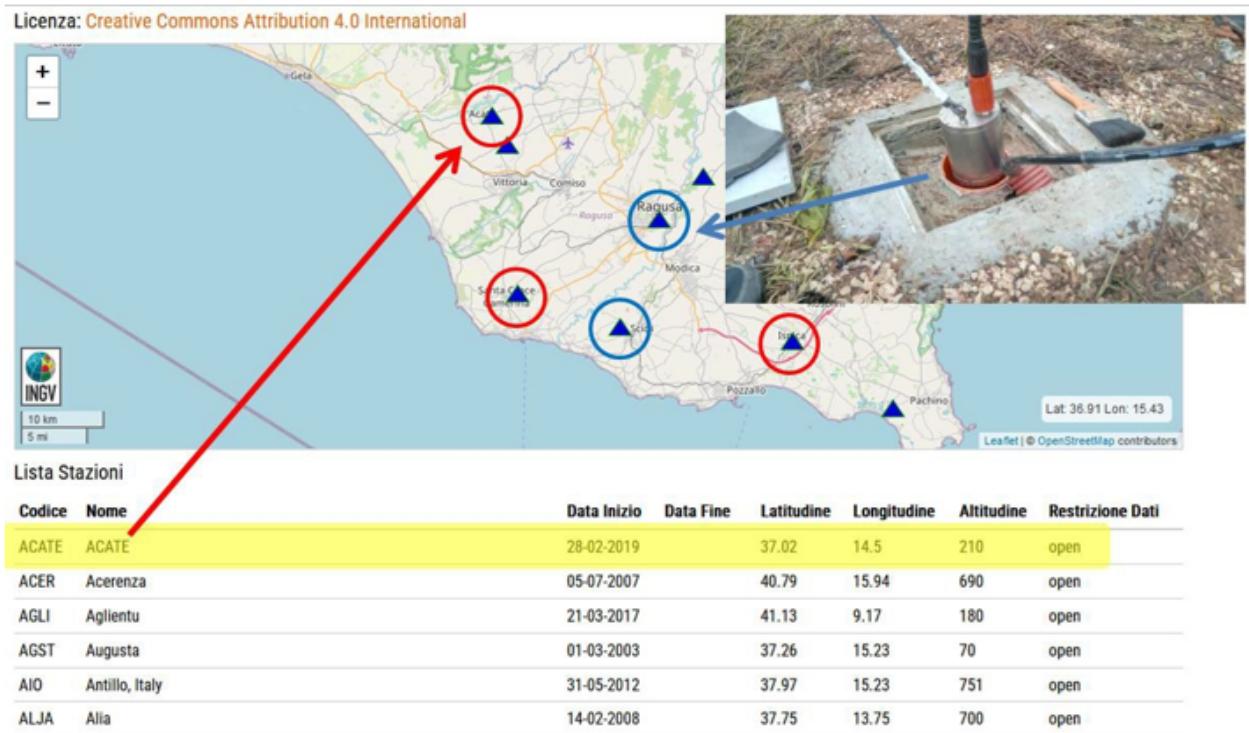


Figura 12. Mappa delle stazioni sismiche oggetto del primo (in rosso) e del secondo (in blu) upgrade tecnologico.

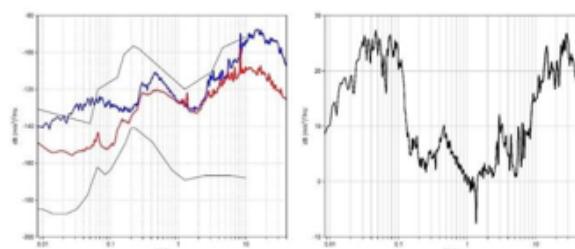


Figura 13. Confronto tra i segnali accelerometrici registrati da un sensore in pozzo (linea rossa) e in superficie (linea blu); a destra la loro differenza (tratto da D'Alessandro A. et al., (2021). Sullo sviluppo della rete multiparametrica in Sicilia. Quad. Geofis., 172: 1-40, <https://doi.org/10.13127/qdg/172>).

Nel 2003 la Rete Sismometrica Provinciale è stata affiancata dalla Rete Rilevamento Emissioni Gas Radon, una struttura composta da sensori posizionati in un primo momento a Ragusa, Modica e Scicli e successivamente a Monterosso Almo, lungo il sistema di faglie Scicli-Ragusa (Figura 14).

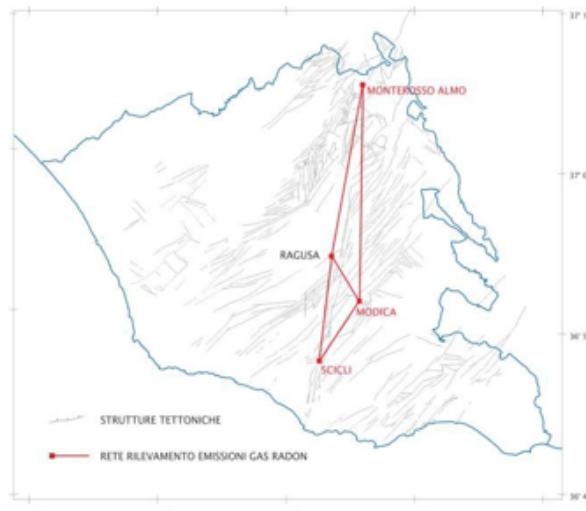


Figura 14. Mappa delle stazioni della Rete Rilevamento Emissioni Gas Radon.

Il radon è un gas nobile e radioattivo, originato dagli elementi uranio e torio, presenti quasi ovunque nelle rocce del sottosuolo in quantità variabili. L'interesse di affiancare la rete radon alla preesistente rete sismometrica scaturisce dal fatto che da parecchi decenni il mondo scientifico ha avviato studi per la ricerca di correlazioni tra i movimenti di faglie sismogenetiche e l'immissione in atmosfera di radon proveniente dal sottosuolo. Sebbene varie ricerche abbiano dimostrato un certo rapporto tra l'aumento della concentrazione di radon nel suolo ed il manifestarsi di un evento sismico prossimo all'area dell'anomalia, queste correlazioni non erano state ancora verificate su un'area sismicamente attiva quale quella iblea. Le stazioni di rilevamento sono costituite da una sonda infissa nel terreno a profondità di un metro, da una pompa di aspirazione che convoglia l'aria raccolta in continuo ad un rivelatore per l'analisi della misura (Figura 15). È in dotazione anche un rivelatore portatile per misurazioni libere di concentrazione di radon in aria, acqua, suolo.



Figura 15. Stazione di rilevamento fissa (a destra) e portatile (a sinistra).

Le indagini effettuate con il rivelatore portatile per la ricerca della concentrazione di radon nel suolo hanno confermato la bontà della scelta di posizionare le stazioni fisse lungo l'allineamento di faglie del sistema Scicli- Ragusa. La Figura 16 mostra i risultati di alcune misurazioni della concentrazione di radon effettuate trasversalmente ad una faglia di questo sistema, dimostrando proprio quanto siano elevati i valori di concentrazione lungo la linea di faglia o nelle immediate vicinanze.

Sito: C.DA MALTEMPO
Data: maggio 2005
Tipologia: INSOIL
Strumento: AlphaGUARD
Durata: 40-50 minuti
Unità: kBq/m³
Incertezza: 10-15%

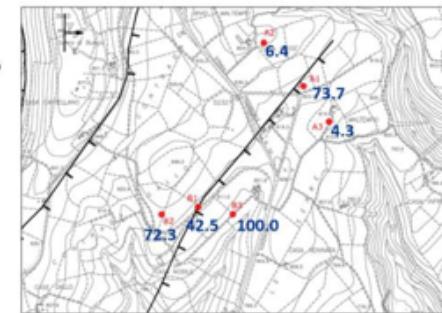
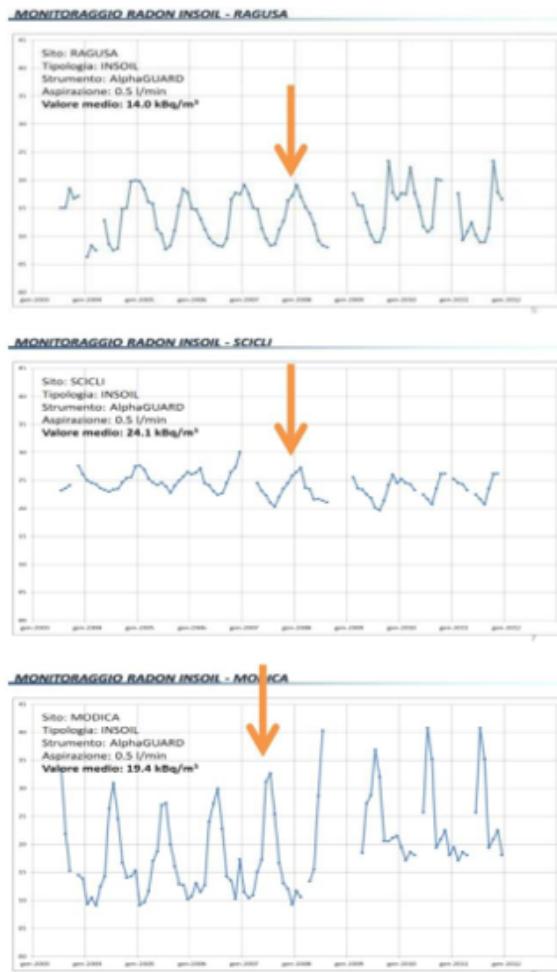


Figura 16. Misurazioni di concentrazione di radon lungo una faglia.

Negli anni, l'analisi delle registrazioni continua delle concentrazioni di radon nel suolo nei siti di Ragusa, Modica, Scicli e Monterosso Almo ha mostrato come lo stile emissivo del radon sia diverso da sito a sito. A Ragusa e a Scicli i massimi di concentrazione avvengono in corrispondenza dei mesi invernali, mentre nella stazione di rilevamento di Modica avviene l'esatto contrario (Figura 17). Questo differente comportamento può essere spiegato dalla differente presenza di suolo libero nell'area attorno alle stazioni di rilevamento, che favorisce la saturazione d'acqua degli strati più superficiali del terreno durante le precipitazioni.



Un lavoro di ricerca effettuato da un borsista presso il Centro Elaborazione Dati di Ragusa ha trattato i primissimi dati registrati (della durata di poco superiore ad un anno) per indagare la possibilità di correlazione tra radon e sismicità.

Ebbene, questa è risultata del tutto assente, principalmente per due motivi:

- assenza di eventi sismici rilevanti nel breve periodo investigato;
- notevole dipendenza della concentrazione di radon dai parametri meteoclimatici che potrebbero nascondere eventuali anomalie legate al manifestarsi di eventi sismici.

La Figura 18 mostra, per la stazione di Ragusa, due “false” anomalie della concentrazione di radon, già depurate dall’influenza della temperatura esterna, non ascrivibili alla sismicità locale in quanto “distanti” temporalmente dall’attività geodinamica; pertanto sembra che queste anomalie siano dovute a fluttuazioni statistiche piuttosto che a fattori esterni.

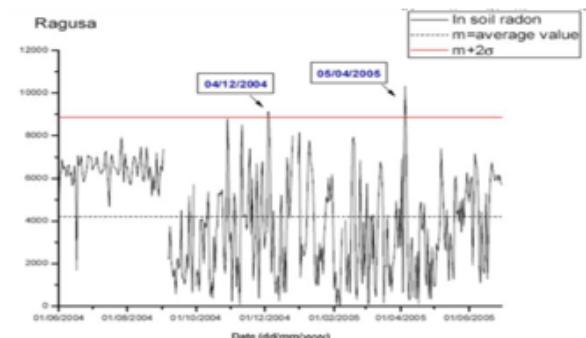


Figura 18. Anomalie di concentrazione di radon nella stazione di rilevamento di Ragusa.

Nel 2013 la rete radon vantava già 10 anni di registrazioni sufficientemente continue per una analisi statistica. Questo ha permesso di ricevere l’invito ad inserire i dati registrati (concentrazione di radon nel suolo e parametri meteorologici) in una banca dati nazionale nell’ambito del progetto INGV-DPC 2012- 2013 “Previsione a lungo termine dei terremoti” (Figura 19).

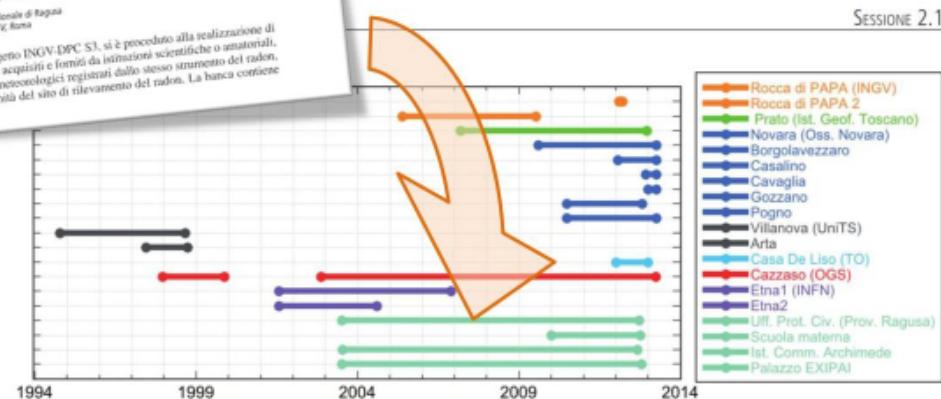


Figura 19. Confronto tra le serie temporali di registrazione della concentrazione di radon da parte di varie istituzioni scientifiche ed enti di ricerca italiani (in verde chiaro le serie temporali della rete radon del LCCR).

Nell'ambito della già citata collaborazione tra il LCCR e l'INGV stipulata con la convenzione del 2018, è stato realizzato un interessante studio sulle emissioni di radon da una serie temporale a lungo termine, in cui l'analisi nel dominio della frequenza temporale delle medie giornaliere ha evidenziato tre cicli principali (Figura 20):

- un ciclo principale a 365 giorni (variazione annuale della temperatura);
- un ciclo secondario a 180 giorni (variazione semestrale della temperatura);
- un ciclo secondario a 29 giorni (ciclo lunare, causa di maree terrestri).

Negli anni l'interesse del LCCR ha abbracciato anche l'aspetto sanitario del radon, a causa della ormai accertata pericolosità di questo gas a seguito di esposizione ad elevate concentrazioni specie in ambienti indoor come uffici e abitazioni. D'altra parte, l'aria respirata all'interno di un edificio può essere soggetta a potenziale inquinamento (Tabella 2), non solo a causa del radon, ma anche a causa di agenti come formaldeide, idrocarburi, particolato, amianto, ecc.

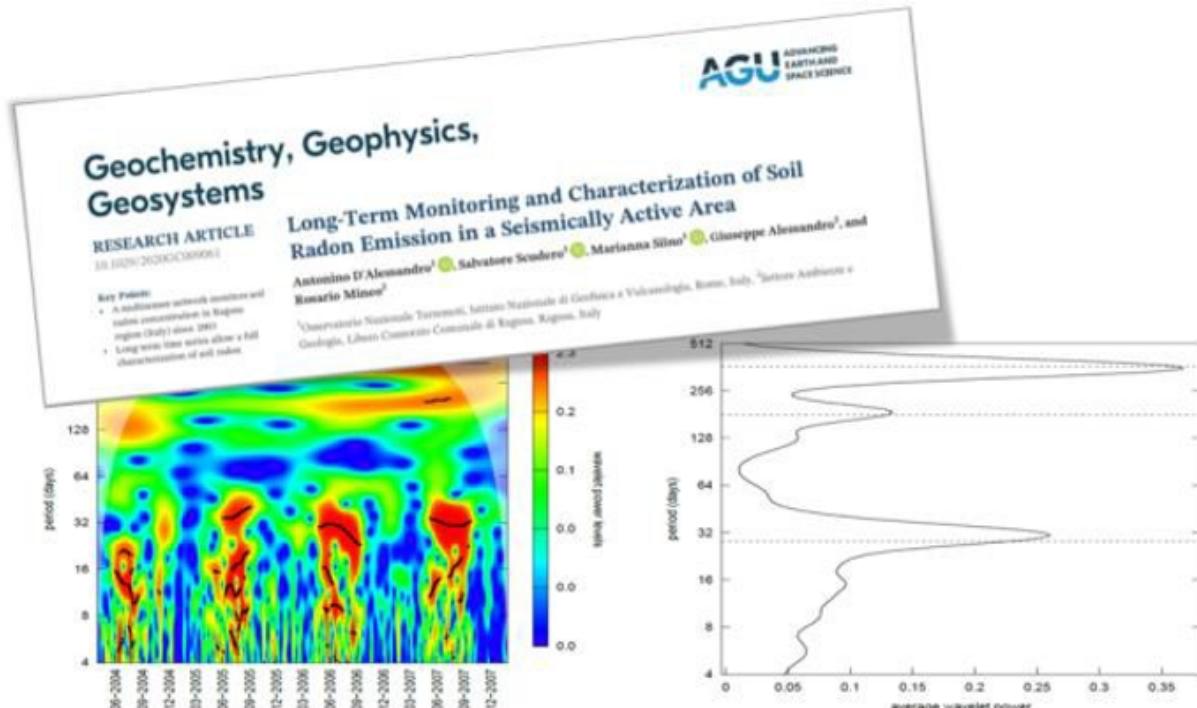


Figura 20. A sinistra: spettro di potenza della serie delle concentrazioni medie giornaliere di radon nel dominio della frequenza temporale nel sito Modica. A destra: densità del spettro di potenza della serie delle concentrazioni medie giornaliere di radon (tratto da D'Alessandro, A., Scudero, S., Siino, M., Alessandro, G., & Mineo, R. (2020). Long-term monitoring and characterization of soil radon emission in a seismically active area. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 21, e2020GC009061. <https://doi.org/10.1029/2020GC009061>).

A tal proposito, tra le attività condotte dal LCCR tramite il Settore Ambiente e Geologia, va segnalata la continua operazione di divulgazione e informazione dei rischi connessi alle problematiche del radon, tramite visite didattiche presso i laboratori, pagine web dedicate e opuscoli informativi (Figura 2).

POZI	INQUINANTI
Processi di combustione a gas o carbone per ricavare aria cucinare, camini e stufe a legna, gas di scarico veicoli	Prodotti di combustione (CO, NOx, SO2, particolato)
Materassi da costruzione e isolanti	Amianto, fibre sintetiche minerali, Particolato, Radon, agenti biologici (per presenza di umidità e/o polvere)
Materassi di rivestimento e moquette	Formaldeide, acrilato, COV e agenti biologici (per presenza di umidità e/o polvere)
Arredi	Formaldeide, COV e agenti biologici (per presenza di umidità e/o polvere)
Prodotti e prodotti per la pulizia	Formaldeide, polvere di fiori, idrocarburi volatili (COVs)
Fornaci elettrici	Idrocarburi polliclorici, COV formaldeide, CO, particolato fine
Fumo di sigaretta	CO2 e COV (per scarso numero di ricambi aerei o eccesso di ricambi); Agenti biologici (per mancanza di pulizia/riidemontaggio)
Impianti di condizionamento	Agente di raffreddamento (amianto, acrilato)
Polvere	CO2 e agenti biologici (dust, virus ecc.)
Individui	Allergeni indoor (polli ecc.)
Animali	
Sorprendenti naturali (terre, tufo, graniti, ecc.)	
	Radon

Tabella 2. Principali agenti di inquinamento indoor.

A parte casi più gravi che necessitano di interventi architettonici per l'abbattimento di elevate concentrazioni di radon, è opportuno segnalare come una adeguata areazione di un ambiente indoor può essere di grande aiuto nel garantire una maggiore salubrità dell'aria; anche la semplice apertura di una finestra "a vasistas" permette il ricambio d'aria in una stanza di medie dimensioni in circa 30 minuti.



Figura 21. Opuscolo informativo realizzato dal LCCR e da ARPA sui rischi connessi all'esposizione al radon.

Tra il 2008 e il 2012 è stato condotto, insieme ad ARPA Sicilia, un importante progetto pilota che ha coinvolto il territorio della provincia di Ragusa, rendendola la prima e, finora, l'unica in Sicilia ad avere completato il monitoraggio, come riportato dalla banca dati del Sistema Informativo Nazionale sulla Radioattività (Figura 22).



Figura 22. Mappa del SINRAD sulle misurazioni di concentrazione di radon condotte nei comuni italiani.

Il progetto ha previsto una campagna di misura di concentrazione di radon tramite dosimetri in circa 430 abitazioni selezionate tramite un algoritmo di estrazione casuale applicato alle anagrafe comunali. Il numero di abitazioni estratte in ogni comune della provincia è in rapporto proporzionale alla popolazione del comune, secondo il grafico riportato in Figura 23.

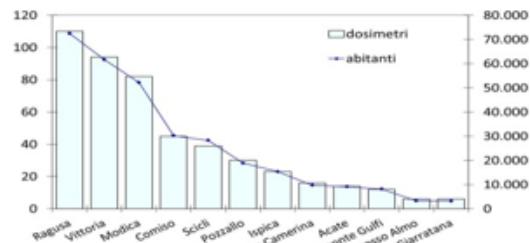


Figura 23. Numero di dosimetri installati in relazione al numero di abitanti del comune.

Questo ha permesso di realizzare una mappatura della concentrazione del radon in accordo alla densità abitativa nel territorio, secondo quanto previsto dal Piano Nazionale Radon (Figura 24).



Figura 24. Distribuzione dei dosimetri installati a Ragusa.

La distribuzione dei dati mostra che la quasi totalità delle misure (97%) rimane al di sotto del valore di 200 Bq/m^3 (Figura 25), in relazione alla Direttiva 2013/59/Euratom che definisce un livello di riferimento per la concentrazione media annua di radon non superiore a 300 Bq/m^3 negli ambienti di lavoro e nelle abita-zioni.

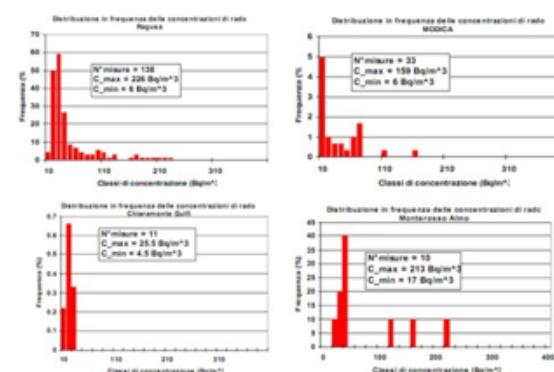


Figura 25. Distribuzione dei valori misurati in alcuni comuni.

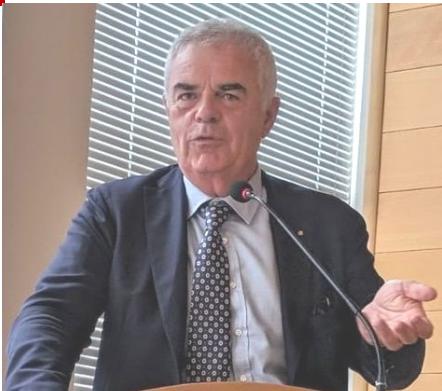
Questo progetto pilota vuole essere solo un punto di partenza verso una maggiore consapevolezza del problema che possa portare nel tempo alla misurazione della concentrazione del radon in ogni ambiente indoor. Questo ambizioso obiettivo sarebbe auspicabile in quanto la concentrazione di radon presenta una forte variabilità nello spazio; in altre parole, da una misurazione in un edificio non si può desumere la concentrazione di radon in un edificio adiacente, perché sono coinvolti molteplici fattori come:

- caratteristiche geologiche del suolo;
- tipo di fondamenta;
- caratteristiche tecniche dell'edificio;
- tipologia dei materiali da costruzione;
- grado di vetustà dell'edificio;
- presenza di crepe e fessurazioni;
- presenza di impianti di ventilazione;
- abitudini di areazione degli occupanti;
- presenza e utilizzo di acqua negli ambienti;
- presenza di camini;
- grado di depressurizzazione dell'edificio;
- destinazione d'uso degli ambienti.

Inoltre, la concentrazione di radon presenta anche una notevole variabilità temporale, con forti oscillazioni sia giornaliere che stagionali. Esse sono dovute alla forte correlazione del potere di esalazione del radon con la temperatura atmosferica. Da qui la necessità di eseguire misurazioni che durano tipicamente per un intero anno solare.



RELATORI



Giovanni Randazzo

Professore ordinario nel SSD GEOS-03/A - Geografia fisica e geomorfologia
Senatore Accademico dell'Università degli Studi di Messina (2024 - attuale)

- Presidente del Comitato Tecnico Scientifico del Parco dei Nebrodi (2024 – attuale)
- Membro del comitato regionale GEOSITI e della commissione Osservatorio per il Paesaggio rispettivamente presso l'ARTA e l'assessorato BCI.
- Ha co-fondato e coordinato corsi di laurea triennali (AGRINA) e magistrali (GERIT) in ambito geologico e master di secondo livello in campo ambientale (MARA) e costiero (GIAC)
- Oltre che in Italia ha studiato spiagge lagune e delta in Egitto, Tailandia, Stati Uniti (Texas), Messico, Francia e Mozambico e ha partecipato alla X Spedizione Italiani in Antartide.
- Ha partecipato alla redazione del Piano Paesistico Territoriale della Provincia di Messina e, nel 2020, alla redazione del Piano Regionale contro l'Erosione Costiera della Regione Siciliana.
- Per l'Autorità di Bacino della Ragione Siciliana ha redatto il Piano Coste e il Piano per l'uso dei Depositi Marini di Sedimenti Remotì/Relitti (2025).
- E' autore di più di 140 pubblicazioni scientifiche.

EVOLUZIONE DEI PROCESSI DI EROSIONE DELLA COSTA IBLEA

Autore: **Giovanni Randazzo**

Professore Ordinario di Geografia Fisica e Geomorfologia; docente di Cartografia e Dinamica dei Litorali e di Geologia Ambientale presso il Dipartimento di Matematica e Informatica, Scienze Fisiche e della Terra dell'Università degli Studi di Messina.

Abstract

This paper illustrates the current state of the erosion process in Sicily and uses some interventions carried out in the Hyblaean region over the last fifty years as an illustrative system of what has happened throughout the island.

The technical-political evolution occurred with the progressive abandonment of the PAI-coast, first with the Regional Plan for Coastal Erosion Prevention (PRCEC) and then with the Coastal Plan and the Plan for Remote Marine Sediment Deposits/Wrecks (DSMR). These transformed regional coastal defence planning from a purely political contest to a scientifically sustainable framework, with geomorphological, sedimentological, and hydraulic aspects analysed at the scale of the third-order Physiographic Unit, taking into account anthropogenic pressure from land and coastal structures.

The transition between the two different approaches was illustrated by following the evolution of a project proposed, through its various temporal phases, by the Regional Province of Ragusa, which later became the Free Municipal Consortium of Ragusa.

Indeed, a project that envisioned a strict defence intervention with artificial nourishment (the amount of material planned for nourishment was negligible) was moved to a project of exclusively artificial nourishment, with the remediation of the coastline from inorganic waste and seasonal protection of certain stretches of beach using BAF© Filtering Anti-Erosion Barriers, to be installed in November and removed in early spring.

Monitoring was planned throughout the various phases of the intervention (during and especially post-construction), using fixed survey stations and drone photogrammetric flights, to identify where, if necessary, sediment transplantation actions could be performed, moving it from the submerged beach to the emerged one.

Riassunto

Il lavoro illustra lo stato di fatto del processo erosivo in Sicilia e utilizza alcuni interventi realizzati nel territorio ibleo negli ultimi cinquant'anni come sistema esemplificativo di quanto accaduto in tutta l'Isola.

L'evoluzione tecnico – politica si è avuta con il progressivo abbandono del PAI-coste, prima con il Piano Regionale Contro l'erosione Costiera (PRCEC) e poi con il Piano Coste e il Piano dei Depositi di Sedimenti Marini Remoti/Relitti (DSMR) che hanno portato la pianificazione regionale degli interventi di difesa costiera da un ambito meramente politico a uno scientificamente sostenibile, con gli aspetti geomorfologici, sedimentologici e idraulici analizzati alla scala dell'Unità Fisiografica di III ordine, tenendo conto della pressione antropica da terra e delle opere costruite lungo la costa.

Il passaggio tra i due diversi approcci è stato illustrato seguendo l'evoluzione di un progetto proposto, nelle sue diverse fasi temporali, dalla Provincia Regionale di Ragusa, poi diventata Libero Consorzio Comunale di Ragusa.

Si è, infatti, passati da un progetto che prevedeva un intervento di difesa rigida con ripascimento artificiale (quantitativo di materiale previsto per il ripascimento era irrigorio) a un progetto di esclusivo ripascimento artificiale, con bonifica del litorale dai rifiuti inorganici e protezione stagionale di alcuni tratti di spiaggia, mediante Barriere Antierosione Filtranti BAF© da posizionare a novembre e rimuovere all'inizio della primavera.

Nelle diverse fasi dell'intervento è stato previsto un monitoraggio (durante e soprattutto *post operam*), mediante stazioni di rilievo fisse e voli aerofotogrammetrici da drone, per individuare dove eventualmente intervenire con azioni di autotripianto di sedimenti, spostandoli dalla spiaggia sommersa a quella emersa.

Introduzione

Il titolo di questa relazione non è casuale, in altri contesti il titolo sarebbe stato “analisi dell'evoluzione diacronica della linea di riva iblea”, invece in questo specifico ambito territoriale, che può essere esteso per omogeneità all'intera costa mediterranea della Sicilia è interessante notare come i processi erosivi si siano evoluti nel tempo in funzione di una reazione di causa ed effetto, che ha portato a spostarli a causa di come e quanto si operava sopraflutto senza tenere in conto appunto l'evoluzione del sistema. In questo modo aree apparentemente in arretramento venivano protette con opere rigide, spostando sottoflutto il

processo erosivo che poi sarebbe stato inseguito negli anni successivi da una lunga teoria di opere rigide di diversa forma, senza comprendere che non era quest'ultima la responsabile, ma l'approccio concettuale.

Questo è quello che si è verificato per il sistema costiero ibleo e più in generale per la Sicilia, da qua l'esigenza di redigere per la Regione Siciliana il Piano Coste, ancora in fase di "apprezzamento" o più correttamente di metabolizzazione, essendo stati sovertiti i paradigmi concettuali di approccio a un processo che alla fin fine è assolutamente naturale.

Il problema dell'erosione della linea di riva e della messa a rischio del patrimonio costruito, pubblico e privato, inizia a porsi verso la fine degli anni '70, quando, a fronte di un'urbanizzazione costiera diffusa e poco controllata e una volontà di turismo marinaresco privo di qualsiasi conoscenza, si manifestarono i primi arretramenti della linea di riva che iniziarono a minacciare le strutture nel frattempo realizzate.

E' corretto testimoniare che questa attività sebbene sia continuata per i successivi cinquant'anni, non ha provocato evidenti devastazioni come riscontrato in diversi tratti costieri siciliani, ma semplicemente bisogna prendere atto che un'azione più ponderata e meno emergenziale avrebbe mantenuto un migliore stato dell'ambiente costiero, risparmiando diversi milioni di euro.

Considerato che per il futuro, oltre agli effetti di azione e reazione provocati dalle diverse strutture costiere, si dovrà tenere conto degli effetti dei Cambiamenti Climatici questo articolo, evidenziando quanto realizzato in

passato potrebbe essere di apertura verso un diverso approccio alla protezione della costa votato alla restaurazione della naturale resilienza del sistema costiero.

In Provincia di Ragusa sono paradigmatici gli errori progettuali commessi lungo la costa compresa tra Playa Grande e Punta d'Aliga, nel territorio comunale di Scicli, oppure dei continui aggiustamenti dei porti di Scoglitti e di Pozzallo che hanno provocato una complessa evoluzione dei settori sottofondo a cui si è posto rimedio sempre ed esclusivamente con interventi rigidi che da un lato provocavano un peggioramento della qualità del tratto protetto, aumentandone i rischi di balneazione, e dall'altro innescavano ulteriori processi erosivi nelle aree sottofondo.

Anche quando, successivamente, a Kaucana (Comune di Santa Croce Camerina) si provarono approcci più morbidi, orientandosi verso interventi di ripascimento artificiale, protetti da strutture rigide ben inserite nel contesto geomorfologico costiero locale, si usarono materiali di prestito non compatibili (più grossi, di almeno un'unità di misura da mm a cm, più chiari, bianchi su una spiaggia dorata, e carbonatici su una spiaggia quarzosa) che per diverso tempo hanno reso la spiaggia poco fruibile e in seguito quando i granuli di quarzo hanno eroso quelli carbonatici (nella scala di Mohs i primi sono duri, mentre i secondi semiduri) il materiale pulverulento prodotto ha coperto la flora costiera, uccidendola.

Ultimamente il Libero Consorzio Comunale di Ragusa ha deciso di dare una svolta sostanziale all'approccio concettuale relativo all'erosione costiera, abbandonando una vecchia idea progettuale che prevedeva una difesa rigida, lungo la fascia costiera tra i comuni di Acate e

Vittoria, e intraprendendo un sistema di difesa morbida e resiliente, adottando ripascimenti artificiali con materiale compatibile, fisiologiche ricariche di questi ripascimenti con autotripianto di sedimenti locali e protezioni stagionali (autunno inverno) delle zone antropizzate da rimuovere in primavera; questo soprattutto per favorire la ricostituzione delle dune, da sempre esistite nella zona, che è appunto denominata Macconi (il nome delle dune, in siciliano).

Con il presente lavoro, verrà illustrato il cambio di paradigma proposto nel nuovo Piano Coste della Regione Siciliana e verranno illustrati i possibili interventi migliorativi per la gestione delle coste, collegandoli al progetto di Acate - Vittoria.

Inquadramento concettuale

La Sicilia, da PRCEC, con i suoi 1.623 km di costa (anche se questo numero tende a variare di qualche chilometro a causa del fatto che i sistemi di rilevamento del perimetro costiero sono sempre più precisi; nelle stime regionali questa variazione viene comunque assorbita dall'esplicitazione in delle diverse informazioni), includendo le isole minori, detiene un patrimonio inestimabile di spiagge che nel corso del tempo hanno attratto un'espansione urbanistica non sempre regolata e fungono da catalizzatori per lidi e attività ricreative, porti e aree protette che, sebbene talvolta in contrasto e/o in competizione, rappresentano una risorsa imprescindibile per l'Isola che deve investire su uno sviluppo sostenibile e resiliente in uno scenario nel quale sempre di più dovrà fare i conti con gli effetti dei cambiamenti climatici.

Il litorale Siciliano risulta diviso tra 123 comuni che occupano una superficie di pertinenza pari a

8.536,83 Km² (circa il 33% della superficie totale) e hanno una popolazione complessiva di 3.041.000 abitanti (ISTAT, 2024).

Per questa ragione è indispensabile partire dai numeri che rappresentano il sistema costiero che può essere sintetizzato, ma non più di tanto compresso, con la seguente tabella proveniente dal PRCEC, dall'analisi di immagini satellitari ad alta definizione, e dalla somma dei numerosi studi di ricerca condotti negli anni precedenti (Figura 1 e Tabella 1).

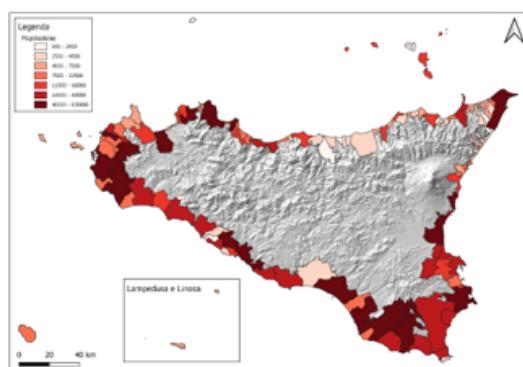


Figura 1 - Comuni costieri suddivisi per numero di abitanti

Tabella 1- Morfotipi costieri e loro stato di evoluzione individuato dal PRCEC (2020)

	LUNGHEZZA Km	PERCENTUALI (%)
TIPOLOGIA DI COSTA (1623 KM)	Costa Rocciosa (alta e bassa, morbida e dura)	392,4
	Costa Mobile (spiagge)	1.117,0
	Costa artificiale (protetta da opere rigide, strutture portuali, fiumi armati)	113,6
VARIAZIONE DELLA LINEA DI COSTA	Spiaggia in avanzamento	324,6
	Spiaggia in erosione	438,2
	Costa stabile	795,3
	Non valutabile	64,9

Per quasi venti anni la pianificazione costiera in Sicilia è stata gestita sulla base del PAI-coste, strumento assolutamente ben congegnato, alla sua origine, ma carente, in quanto non supportato da dati tecnici relativi alla geomorfologia o alla sedimentologia costiera nonché alla idraulica marittima. Inoltre, lo stesso dato sull'evoluzione diacronica della linea di riva era tratto dal confronto di cartografie, di diversa origine, pedissequamente sovrapposte in GIS e i dati meteoclimatici erano acquisiti da stampa e Capitanerie di Porto.

Nel 2020 il Commissario su spinta del Governo Regionale, coinvolgendo le tre università pubbliche dell'Isola, ha predisposto la redazione del Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera (PRCEC) che superava la logica PAI dal punto di vista sia tecnico sia concettuale, in quanto vennero introdotte informazioni territoriali oggettive, in termini di caratteristiche geomorfologiche, sedimentologiche, idrauliche ed evolutive della linea di riva, basate sui risultati scientifici delle quattro università siciliane.

Successivamente, nel 2025 a implementazione del PRCEC e per l'adattamento alla transizione dal PAI-coste l'Autorità di Bacino per il dissesto idrogeologico, che nel frattempo aveva sostituito il Commissario di Governo nella funzione, incaricò l'Università degli Studi di Messina per la redazione del Piano Coste e quella di Catania per l'analisi idraulica di dettaglio dei diversi paraggi.

Nel PREC e nel Piano Coste è stata proposta una classificazione degli ambiti costieri che tiene conto della forte geodiversità del territorio, sia in termini strettamente geologici, sia geomorfologici nonché sedimentologici.

Innanzitutto, è stata effettuata una suddivisione in tre grandi classi: le coste rigide, le coste mobili e le coste artificiali.

Le coste rigide vengono classificate come alte (falesie), che sono quelle più diffuse, e quelle basse (pavimenti rocciosi), molto limitate territorialmente e legate alla giacitura di specifici affioramenti geologici.

Le coste mobili sono le spiagge, depositi di sedimenti non coesi che possono essere sabbiosi, ghiaiosi o ciottolosi.

Le spiagge vengono ulteriormente suddivise, in base al loro entroterra, in funzione del fatto che l'aspetto che più incide sulla loro evoluzione, a parità di esposizione alle mareggiate, è il confinamento che può essere antropico o naturale e l'eventualmente aggettanza dei limiti laterali. Sono state quindi distinte spiagge antropizzate (parzialmente o integralmente limitate, verso terra, da lungomare o da una strada locale o da insediamenti industriali o agricoli o urbanistici) e spiagge naturali, confinanti con un sistema dunale o con un deposito alluvionale recente o una falesia morta.

Infine, le coste artificiali che sono assimilabili a quei tratti di costa occupati da porti oppure da tratti in cui la protezione di un rilevato ferroviario giunge a mare.

Quindi data la necessità di suddividere la costa in tratti con caratteristiche omogenee e tra loro assimilabili per migliorare la gestione della fascia costiera dal punto di vista ambientale e naturale, è stata proposta una nuova gerarchizzazione del territorio costiero secondo Unità Fisiografiche, ossia unità dal punto di vista morfodinamico indipendenti a cui ricondurre qualunque ipotesi di intervento lungo i litorali, distinguendone tre ordini gerarchici: le Unità

Fisiografiche costiere principali, secondarie e gestionali, ovvero, ambito costiero di I ordine, di II ordine e di III ordine (Figura 2).

Per il Piano Coste, rispetto al PRCEC, si è proposto tramite l'uso di un GIS – WEBGIS, un ulteriore duplice scopo : 1) permettere ai comuni di prendere coscienza del reale stato oggettivo del proprio tratto costiero, al di là delle suggestioni conseguenti alle mareggiate invernali e 2) fornire una continua implementazione, inserendo nel WEBGIS le informazioni che nel frattempo si possono ottenere dal monitoraggio della VAS, dai nuovi progetti relativi ai diversi tratti costieri e dal contributo dei progetti europei a cui sarebbe stato utile che le amministrazioni locali imparassero a fare riferimento.

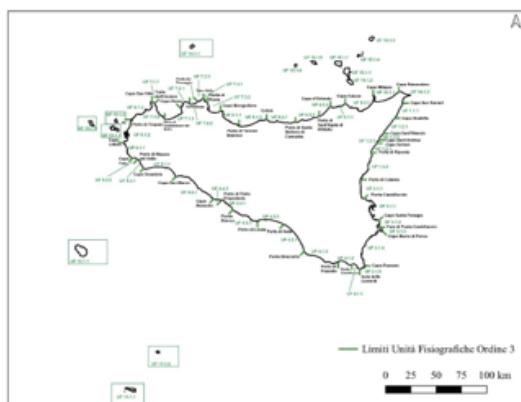


Figura 2 - Unità Fisiografiche di III° ordine.

Nel frattempo, fotografando lo stato di fatto, è stato valutato il livello della pericolosità della costa siciliana che, grazie al grande numero di

interventi realizzati che hanno di fatto denaturalizzato 1/3 del territorio costiero mobile dell'isola, non presenta delle caratteristiche particolarmente allarmanti.

Nel Piano Coste per valutare l'evoluzione diacronica della linea di riva e quindi calcolare la pericolosità/vulnerabilità, sono state utilizzate le cartografie ufficiali degli anni 2008, 2012 e 2019, mentre per il 2024 è stata utilizzata un'immagine satellitare proveniente dal sistema Copernicus. E' stato scelto come limite rigido interno di riferimento quello del 2008, che di fatto è stato digitalizzato, con estremo dettaglio, per avere un'unica linea di riferimento per l'evoluzione diacronica degli anni successivi.

La pericolosità/vulnerabilità (P) dei tratti di costa bassa mobile (718 spiagge) è stata definita, sulla base della variazione della profondità della spiaggia e del numero di anni intercorsi tra le due linee di costa confrontate, lungo 7.142 transetti generati automaticamente, perpendicolarmente rispetto al limite rigido del 2008 (isole minori incluse).

Oltre all'evoluzione diacronica della linea di riva nei diversi periodi, sono stati introdotti dei fattori di correzione riferiti alle Unità Fisiografiche del III ordine

I fattori di correzione sono stati definiti in funzione: 1) della granulometria della spiaggia (funzione del diametro medio), 2) degli apporti solidi, calcolato a partire da "An estimate of net erosion and sediment transport using WaTEM/SEDEM in European Union" (European Soil Data Centre), 3) della presenza o meno di dighe all'interno dei bacini che sfociano nell'Unità Fisiografica di II ordine considerata e 4) della distanza della profondità di chiusura dalla linea di costa.

La pericolosità/vulnerabilità così definita è stata classificata secondo i quattro livelli classici crescenti da P0 a P4, introducendo un ulteriore valore.

Nei casi in cui il limite rigido del 2008 è risultato completamente superato dalla linea di riva confrontata è stato inserito un livello pericolosità P5.

Con questa metodologia è stata analizzata la pericolosità per il periodo complessivo 2008-2024 per tutta la costa mobile dell'isola (683 km, isole minori escluse), e si nota immediatamente che il 79,4% della costa è stabile o addirittura in avanzamento, mentre condizioni considerabili pericolose, quindi tra P3 e P4, riguardano l'11,7% del litorale e solo per il 2,9% delle spiagge si riscontrano valori di pericolosità P5, rimanendo così al di là del limite rigido del 2008. Mentre il 6% presenta caratteristiche di pericolosità tra 0 e 2 (Tabella 2; Figura 3).

Tabella 2 - Pericolosità in percentuale per l'intero periodo (2008-2024) e per tutta la costa mobile dell'isola.

INTERVALLO 2008 - 2024	PERICOLOSITÀ %
Avanzamento	42,6%
Stabile	36,8%
P0	2,4%
P1	1,5%
P2	2,1%
P3	4,2%
P4	7,5%
P5	2,9%
Totale	100,0%



Figura 3 - Pericolosità in chilometri per l'intero periodo (2008-2024) e per tutta la costa mobile dell'isola.

Inoltre, è stata analizzata la pericolosità per tre diversi periodi compresi tra il 2008 e il 2012, tra il 2012 e il 2019 e infine tra il 2019 e il 2024, e in questo confronto ci si ritrova spesso a confrontare linee di costa estive con linee invernali senza comprendere che l'erosione deducibile è legata alla fisiologica evoluzione stagionale tra profilo di spiaggia di stagioni diverse. Tutto questo genera un errore variabile dovuto a diverse ragioni tecniche, ma in qualche modo circoscrivibile ai +/-3 m suggeriti da Pranzini (comunicazione personale) e utilizzati anche nel Piano Coste, questo errore può essere ancora maggiore se il confronto avviene tra linee di riva acquisite in diverse stagioni e sotto diverse condizioni meteo (Figura 4).

Per l'evoluzione tra il 2019 e il 2024 sia perché si confrontavano due sistemi di acquisizione differenti sia per l'assenza di un formale collaudo del documento più recente, è stato considerato un errore di +/-5 m. Dalla bibliografia, infatti, emerge che per le estrapolazioni automatiche della linea di costa è possibile raggiungere con le

immagini Sentinel-2 una risoluzione sub-pixel che varia tra 2 e 5 metri.

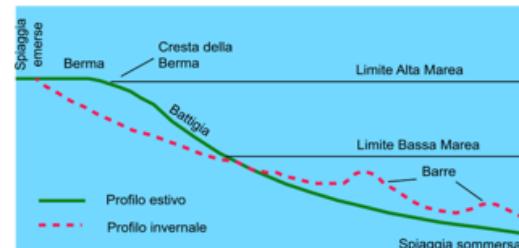


Figura 4 - Nel periodo primaverile – estivo le spiagge sono, fisiologicamente più profonde, mentre in autunno primavera, tendono ad accorciarsi, trasferendo parte dei sedimenti dalla spiaggia emersa a quella sommersa (processo importante per l'autotripianto di sedimenti).

Dal confronto del risultato per i diversi periodi analizzati, si nota l'aumento della lunghezza della costa stabile che dal primo periodo al terzo passa dal 37,9 al 48,4%, con un 42,7% intermedio.

Anche l'avanzamento registra un andamento positivo passando da 30,7 a 38,2% dal primo al terzo periodo, ma con una flessione intermedia nel secondo periodo.

Per quanto riguarda i tratti di costa con pericolosità P3 e P4 si osserva un andamento contrastante tra i primi due periodi: al debole aumento del P3 corrisponde il dimezzamento di P4; mentre nel terzo periodo entrambi vengono drasticamente ridotti.

La costa con livello P5, cioè quei casi in cui il limite rigido del 2008 è stato superato, mostra un andamento variabile, ma questo è comprensibile in quanto episodi eccezionali sono spesso legati

a eventi meteorologici eccezionali e quindi esulano dalla mera evoluzione diacronica.

Le coste con pericolosità da P0 a P2 hanno andamento variabile, ma generalmente poco incidente sul sistema complessivo sia perché riguardano pochi metri di arretramento sia perché riguardano pochi chilometri di costa.

Tabella 3 – Variazione nel tempo delle diverse classi di pericolo, includendo la condizione di stabilità e di avanzamento

	INTERVALLO 2008 - 2012	INTERVALLO 2012 2019	INTERVALLO 2019 2024	INTERVALLO 2008 2024
Avanzamento	30,7%	28,1%	38,2%	42,6%
Stabile	37,9%	42,7%	48,4%	36,8%
P0	0,3%	2,6%	0,0%	2,4%
P1	0,6%	1,7%	0,4%	1,5%
P2	1,2%	3,0%	0,8%	2,1%
P3	4,8%	6,9%	2,6%	4,2%
P4	22,8%	11,6%	8,3%	7,5%
P5	1,7%	3,3%	1,3%	2,9%

Considerato il fatto che le misure sono state effettuate lungo transetti interdistanziati di 100 m, è stato rilevato che tranne il comune di Sant'Alessio Siculo che, nonostante le decine di milioni di euro spese continua ad avere più del 20% di costa in P3 e il 33% in P4, tutti gli altri comuni, nel periodo 2019 – 2024, cioè fino all'attuale, hanno condizioni di P3 inferiori al 20% del proprio territorio e condizioni di P4 che, fatta eccezione per Bagheria (41%), Balestrate (23%), Carini (22%), Cattolica Eraclea (23%), Falcone (20%), Ispica (21%), Monforte San Giorgio (50%), Pace del Mela (32%), Ribera (28%), Terrasini (29%), Torregrotta (27%), Trappeto (30%), Valdina (68%) e Villafranca (32%), hanno anch'essi valori inferiori a 20% (Castellammare e Cinisi di poco meno).

Gestione sostenibile vs. difesa emergenziale
E' evidente che le opere rigide, tutte, con qualsiasi inclinazione o forma o materiale di

costruzione, tranne rari casi, anche quando hanno protetto l'area immediatamente retrostante, hanno provocato sempre erosione sottoflutto e decadimento della qualità del paesaggio e della sicurezza in termini di balneabilità dell'area protetta.

Un altro aspetto da stigmatizzare è quello relativo al greenwashing letterario dei titoli degli interventi: a fronte di progetti denominati come "ripascimenti", "risanamento ambientale", "piste ciclabili" si nascondono interventi strutturali che non hanno nulla di "verde", se non in minima parte: a fronte di un progetto di ripascimento protetto di 100 milioni di euro, molto spesso la parte relativa alla protezione rigida supera il 90% mentre il ripascimento, quando eseguito, si limita a una spruzzata di sedimento non ben definito dal punto di vista qualitativo.

Un aspetto assolutamente carente per non dire assente che ha caratterizzato la progettualità degli ultimi decenni è quello relativo al monitoraggio prima dell'opera, in corso d'opera e soprattutto *post operam*. Oggettive informazioni erano assenti, carenti o non proprio viciniore, e i progettisti in tempi molto ristretti dovevano provare a ricostruire le caratteristiche geomorfologico – sedimentologiche e idrauliche dell'area di interesse, senza avere alcun riscontro relativa all'evoluzione storica del sistema; non esiste la cultura del valutare l'evoluzione dell'intervento durante la sua realizzazione e infine, il *post operam*, quando valutato, si limita alla constatazione dello stato di fatto finale dell'intervento, senza monitorare in modo scientifico, sulla base di indicatori misurabili nel tempo e nella quantità, l'evoluzione dell'intervento stesso in modo da mitigarne gli

eventuali effetti negativi e indirizzarne meglio le potenzialità gestionali.

Un esempio paradigmatico che supera questi aspetti critici è il progetto per "Ricostruzione della spiaggia compresa tra la foce del fiume Acate - Dirillo e Punta Zafaglione nel territorio dei comuni di Acate e Vittoria, per una tratta estesa km 11+200 mediante ripascimento con sabbie contenute da pennelli costituiti da massi calcarei, soffolti rispetto al livello del mare e radicati nel litorale".

Poco meno di 25 anni fa, la Provincia di Ragusa, di fronte ai danni subiti dal lungomare di Marina di Acate e all'erosione del piede delle dune coperte da serre, diede l'incarico per la progettazione di cui sopra.

Un gruppo di progettazione portò avanti il progetto, attenendosi in modo pedissequo, ma poco convinto, a quanto richiesto e si arrivò a un progetto che prevedeva 25 pennelli radicati nella spiaggia, un ripascimento di circa 50.000 mc (per più di 11 km) e la bonifica dell'interfaccia spiaggia – duna con piantumazioni e altre soluzioni di ingegneria naturalistica.

Il progetto seguì il suo iter burocratico amministrativo, ottenne la VIA con numerose prescrizioni e si arenò. Il procedimento, privo di finanziamento, cadde nel dimenticatoio per 10 anni, facendo scadere il parere di VIA.

Ripreso il progetto, grazie a una nuova possibilità di finanziamento, l'Ente che ora si chiama Libero Consorzio Comunale di Ragusa, il progettista e i tecnici dello Studio di Impatto Ambientale hanno deciso che il progetto andava rivisitato secondo lo spirito evidenziato dal Piano Coste ancora non ufficializzato.

L'intero tratto è caratterizzato da una linea di riva assolutamente rettilinea con una spiaggia sommersa costituita da sabbie da fini a medie a bassissimo gradiente e da una spiaggia emersa di sabbie prevalentemente medie, con una pendenza costante inferiore all'1%, e un margine interno costituito da un ampio duneto, completamente coperto da serre che, quando sono aumentati i controlli contro l'incenerimento abusivo delle plastiche usate, hanno occupato anche il sottosuolo con il loro interramento.

Nel Progetto iniziale si era tenuto in considerazione un'analisi dell'evoluzione diacronica del periodo 1967 – 2010 e le caratteristiche sedimentologiche delle spiagge emersa e sommersa, desunte da uno studio della Provincia Regionale del 2004.

Per colmare questo gap di informazione si è fatto ricorso al Piano Coste che confermava le caratteristiche sedimentologiche con sabbie comprese tra le sabbie medie e fini sia nella spiaggia emersa sia in quella sommersa (Figura 5).

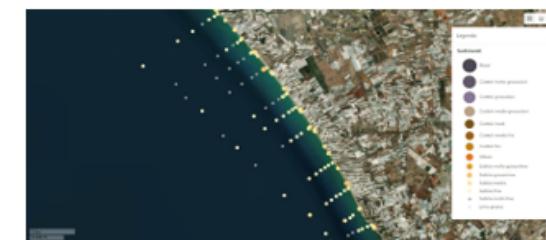


Figura 5 - Rappresentazione della granulometria dei sedimenti tra la Spiaggia Pezza Fico e quella dei Macconi - Acate (RG). Piano Coste.

Mentre più variegata risulta la risposta dell'evoluzione diacronica tra il 2008 e il 2024. Infatti, si registra una linea di riva pressoché stabile (Figura 6), fatta eccezione per il tratto in corrispondenza della spiaggia Pezza di Fico dove circa 5-600 m appaiono in forte erosione, con un solo punto dove la linea di riva del 2024 mostra di avere superato il limite rigido del 2008, attestato alla base della duna (Figura 7).



Figura 6 – Esempio di analisi diacronica di un tratto compreso tra Punta Zafaglione e la foce del Fiume Dirillo Acate che mostra un sostanziale equilibrio.



Figura 7 – Evoluzione diacronica della spiaggia Pezza Fico tra il 2008 e il 2024.

A seguito di un sopralluogo, nel giugno 2025, si è preso atto che la linea di riva ha assunto nuovamente la propria posizione “normale”, allineata con il resto del sistema.

Di fatto, anche dove una linea di riva recente superasse il limite interno del sistema di riferimento, attestato su un elemento naturale, la naturalità dei processi è in grado di restaurare autonomamente la resilienza della spiaggia. Questo è evidente, in assenza di elementi antropici costieri che possano influenzare da remoto la spiaggia.

Sulla base dei dati recenti, nel nuovo progetto è stato proposto un approccio differenziato per tratti.

Nel primo tratto, più occidentale, di poco meno di 2 km, tra la foce del fiume Dirillo Acate e l'abitato di Marina di Acate è stata proposta la bonifica della duna esistente, rimuovendo le plastiche a vista incastrate tra i sedimenti e la pulizia dei rifiuti non inorganici presenti sulla spiaggia a ridosso della duna.

L'intervento viene completato da un intervento di ripascimento di circa 50.000 mc di materiale compatibile proveniente o da una cava vicinore o da depositi marini sommersi remoti/relitti (DSMR).

Il secondo tratto, inferiore al chilometro, relativo all'abitato di Marina di Acate evidenzia un'enorme quantità di sedimenti che hanno invaso anche le strutture di accesso alla battigia (Figure 8 e 9).



Figura 8 – Stato di fatto della spiaggia di Marina di Acate a giugno 2025.

Per tale ragione l'intervento prevederà la ristrutturazione delle opere in legno e in calcestruzzo connesse con l'accesso al mare.



Figura 9 – Stato di fatto della spiaggia di Marina di Acate a giugno 2025.

La spiaggia emersa, laddove necessario, verrà protetta, posizionando, all'inizio del periodo

invernale della Barriera Antierosione Filtranti (BAF©) che verranno rimosse all'inizio della primavera (Figure 9 e 10).

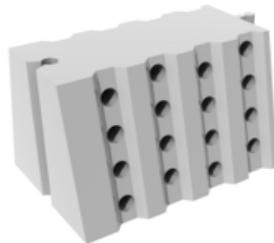


Figure 9 – Modello di una BAF©.



Figure 10 – Posizionamento di una BAF© in linea sulla spiaggia emersa.

Nel terzo tratto, da Marina di Acate a Punta Zafaglione, per una lunghezza di circa 8 km, l'intervento di bonifica deve fare i conti con il sequestro giudiziario della duna "riempita" di plastica e la concomitanza di un altro specifico progetto (completamente avulso da presente) mirato alla riqualifica dell'interfaccia duna – spiaggia.

Per questa ragione, non conoscendo tempi e modalità di quest'altro intervento, si è ritenuto utile creare un nuovo sistema di duna tra quello esistente, completamente artificializzato dalla plastica e la spiaggia attuale. Per raggiungere questo obiettivo sono necessarie due condizioni: la disponibilità di spazio di spiaggia asciutta e la qualità dei sedimenti. Di fatto è necessario avere una spiaggia sufficientemente profonda perché la sabbia si possa asciugare e quindi essere presa in carico dal vento per ablazione ed essere depositata nell'immediato entroterra; chiaramente questa spiaggia più profonda deve essere composta anche da sabbie più fini che possono essere meglio prese in carico dal vento. L'intervento quindi prevede, la bonifica della spiaggia emersa, portando a discarica i rifiuti inorganici, quindi un ripascimento con 150.000mc di materiale con la medesima provenienza del primo.

In alcuni punti particolarmente esposti potranno essere posizionate delle file di BAF©.

Lungo tutti gli 11,2 km dell'area di intervento i rifiuti organici rimossi, prevalentemente vegetali, verranno riallocati al piede della duna. Inoltre, stagionalmente, a seguito dei risultati del monitoraggio che verrà effettuato mediante telecamere fisse e voli aerofotogrammetrici mediante droni, verranno proposti interventi di manutenzione mediante autotripianto di sedimenti dalla spiaggia sommersa a quella emersa per quantità inferiori ai 2 metri cubi per metro lineare (Decreto 173/2016, con esplicito riferimento al combinato disposto dell'Art. 1 comma 2a e dell'Art. 2 comma g).

Conclusioni

Il convegno organizzato a Ragusa dall'INGV il 9 e 10 giugno 2025 su SCENARI DI RISCHIO NEL SISTEMA TERRITORIALE IBLEO è stato utilissimo per confrontare le diverse componenti del rischio territoriale, riportandole da un piano regionale e quello provinciale e locale.

In ambito costiero, l'evoluzione del sistema ibleo riflette quanto osservato a livello regionale.

Ma proprio utilizzando un progetto di difesa della costa che ha attraversato quasi un quarto di secolo fino alla sua nuova formulazione che dovrebbe essere presentata entro settembre 2025, è stato possibile illustrare il passaggio verso un sistema di gestione della costa sostenibile e resiliente.

Questo è stato possibile grazie al nuovo paradigma d'approccio proposto dal Piano Coste e dall'esistenza di un Piano dei Depositi di Sedimenti Marini Remoti/Relitti (DSMR).

Il Piano Coste prende in considerazione alla scala dell'Unità Fisiografica del III ordine: l'evoluzione diacronica della linea di riva rispetto a un comune limite rigido interno lungo un transetto ogni 100 m, le caratteristiche sedimentologiche con almeno un campione per ognuno dei 683 km di costa mobile (isole minori escluse) e le caratteristiche idrauliche appunto riferite all'Unità Fisiografica di III ordine.

Infine, mediante il WEBGIS, il Piano Coste fornisce a ogni amministrazione comunale lo strumento per valutare in maniera oggettiva lo stato della propria fascia costiera che non deve essere mai apprezzata all'indomani della peggiore mareggiata invernale, ma nel periodo primaverile – estivo e possibilmente osservando le più recenti cartografie disponibili, tra le altre quella gratuita di Google Earth.

In questo modo il Piano risulta essere uno strumento utile per la conoscenza del proprio territorio e da porre alla base di qualsiasi forma di intervento in area costiera

Bibliografia

Gli articoli e i testi di seguito citati non sono stati riportati nel corpo del testo perché riguardano solamente la minima parte delle fonti che nella realtà sono state utilizzate.

Archetti R., Schiaffino C.F., Ferrari M., Brignone M., Rihouey D. (2008). Video systems for the coastal monitoring. In Beach Erosion Monitoring, E Pranzini, L Wetzel (eds). Nuova Grafica Fiorentina, 101-109.

Archetti R., & Zanuttigh B. (2010). Integrated monitoring of the hydro-morphodynamics of a beach protected by low crested detached breakwaters. *Coastal Engineering*, 57(10) 879-891.

BEACHMED Strategic management of beach protection for sustainable development of Mediterranean coastal zone. Interreg IIIC

Bertoni D., Sarti G., Grottoli E., Ciavola P., Pozzebon A., Domokos G., Nova'k-Szabo' T. (2016). Impressive abrasion rates of marked pebbles on a coarse-clastic beach within a 13-month timespan. *Marine Geology*, 381, pp. 175-180.

BESS Pocket Beach Management & Remote Surveillance System. Interreg Italia Malta

BIOBLU Robotic BIOremediation for coastal debris in BLUE Flag beach and in a Maritime Protected Area. Interreg Italia Malta Bird, E.C.F. (2008) *Coastal Geomorphology: An Introduction*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York.

- Buhmann, E., Nothelfer, U. & M. Pietsch (Eds.) (2002): Trends in GIS and Visualization in Environmental Planning and Design. Proceedings at Anhalt University. Heidelberg: Wichmann, 192.
- Castiglioni G.B.; (1986) – Geomorfologia. 421pp, UTET- Torino.
- COASTNAP A global citizen science project to capture changing coastlines
- Conciatore 1969 Decreto legge del 7 marzo 2001 della Regione Sicilia, Classificazione dei porti ricadenti nell'ambito del territorio della Regione siciliana.
- Direttiva 2007/2/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 14 marzo 2007, ha istituito INSPIRE (acronimo di INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe), recepita nell'ordinamento italiano con il decreto legislativo 27 gennaio 2010, n. 32 e s.m.i.
- Lazarus E. D., Ellis M. A., Brad Murray A., Hall D. M.. (2016) An evolving research agenda for human-coastal systems. *Geomorphology*, Volume 256, Pages 81-90.
- EUROSION Vivere con l'erosione costiera in Europa. Sedimenti e spazio per la sostenibilità. Commissione Europea.
- Folk R.L. and Ward W.C. (1957) A Study in the Significance of Grain-Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.
- Folk R. L., Peter B. A. & Lewis D. W (1970). Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 13, Issue 4.
- Goodchild, M.F. (2005): GIS, spatial analysis and modeling overview. In: Maguire, Batty& Goodchild (Eds.): *GIS, Spatial Analysis, and Modeling*. Redlands: ESRI Press, 1-18

Harley M. D., Turner I. L., Short A. D., Ranasinghe R. (2006). Assessing the accuracy and applicability of a multi-decadal beach survey dataset.

Harley M.D. & Kinsela M.A. (2022). CoastSnap: A global citizen science program to monitor changing coastlines. *Coastal Engineering*.

Grottoli, E., Bertoni, D., Pozzebon, A., Ciavola, P. "Influence of particle shape on pebble transport in a mixed sand and gravel beach during low energy conditions: Implications for nourishment projects." *Ocean & Coastal Management*, 169, 171-181, 2019.

ISTAT. (2023) Confini delle unità amministrative a fini statistici al 1° gennaio 2023 - <https://www.istat.it/it/archivio/222527>

James W.R. (1975). Techniques in evaluating suitability of borrow material for beach nourishment. Technical Memo™ - 60, Coastal Engineering Research Center U.S Army Waterways Experiment Station, Vicksburg; Miss

Kimber O, Cromley JG, Molnar-Kimber KL. Let Your Ideas Flow: Using Flowcharts to Convey Methods and Implications of the Results in Laboratory Exercises, Articles, Posters, and Slide Presentations. *J Microbiol Biol Educ*. 2018 Mar 30;19(1):19.1-22.

Kroon A., Aarninkhof S.G.J., Archetti R., Armaroli C., Gonzalez M., Medri S., Osorio A., Aagaard T., Davidson M.A., Holman R.A., Spanhoff R. (2007). Application of remote sensing video systems to coastline management problems. *Coastal Engineering* 54, 493-505.

Jutz S. and Milagro-Perez M.P. (2020) Copernicus: the European Earth Observation

- programme European Space Agency, Revista de Teledeteccion, 56, 1 – 7.
- Jiménez J.A., Osorio A., Marino-Tapia I., Davidson M., Medina R., Kroon A., Archetti R. Ciavola P., Aarnikho S.G.J. (2007). Beach recreation planning using video-derived coastal state indicators. *Coastal Engineering*, 54, 507-521.
- MATTM-Regioni, 2018. Linee Guida per la Difesa della Costa dai fenomeni di Erosione e dagli effetti dei Cambiamenti climatici. Versione 2018 – Documento elaborato dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera MATTM-Regioni con il coordinamento tecnico di ISPRA, 305 pp
- Manegold, J. (2003): Using the ModelBuilder of ArcGIS 9 for Landscape Modeling. In: Buchmann, E. & S. Ervin (Eds.): Trends in Landscape Modeling. Proceedings at Anhalt University of Applied Sciences 2003. Heidelberg: Wichmann, 240-245.
- McFeeters S.K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, 17, Issue 7, 1425 – 1432.
- Orford, J.D., Forbes, D.L., Jennings, S.C. (2002). Organisational controls, typologies and time scales of paraglacial gravel-dominated coastal systems." *Geomorphology* 48, pp. 51–85.
- Panagos P., Van Liedekerke M., Borrelli P., König J., Ballabio C., Orgiazzi A., Lugato E., Liakos L., Hervas J., Jones A., Montanarella L. (2022). European Soil Data Centre 2.0: Soil data and knowledge insupport of the EU policies. *Journal Soil Sciences*;73, 1-18.
- Panagos, P., Montanarella, L., Barbero, M., Schneegans, A., Aguglia, L., & Jones, A. (2022). Soil priorities in the European Union. *Geoderma Regional*, 29,
- Piano Regionale Contro l'Erosione Costiera, approvato con Delibera di Giunta n.290 del 16/7/2020
- Pan, S.; Wang, K.; Wang, L.; Wang, Z.; Han, Y. Risk Assessment System Based on WebGIS for Heavy Metal Pollution in Farmland Soils in China. *Sustainability* 2017, 9, 1846.
- Randazzo G.; Italiano F.; Micallef A.; Tomasellos A.; Cassetti F.P.; Zammit A.; D'Amico S.; Saliba O.; Cascio M.; Cavallaro F.; Crupi a.; Fontana M.; Gregorio F.; Lanza S.; Colica E.; Muzirafuti A. (2021). WebGIS Implementation for Dynamic Mapping and Visualization of Coastal Geospatial Data: Case Study of BESS Project. *Applied Sciences*, 11, 8233.
- REMACO Multi-disciplinary monitoring system for a resilient management of coastal areas. Interreg Italia Malta.
- Takewaka S. & Nakamura Y. (2000). Surf Zone Imaging with a Moored Video System. *Coastal Engineering*
- Udden J.A. (1914). Mechanical Composition of Clastic Sediments. *Geological Society of America Bulletin*, 25, 655-744.
- Veenendaal, B.; Brovelli, M.A.; Li, S. Review of Web Mapping: Eras, Trends and Directions. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2017, 6, 317
- WATEM/SEDEM in European Union
- Wentworth, C.K. (1922) A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392.
- WENTWORTH, C.K., 1935, The terminology of coarse sediments: National Research Council, Bulletin 98, p. 225–246.



Palazzo La Rocca, Ragusa Ibla, particolare balcone

RELATORI



Giorgio Flaccavento

Professore di Italiano e Storia, già Dirigente scolastico
Esperto di storia e urbanistica locale.

E' stato consigliere comunale dal 1970 al 1985 e consigliere provinciale dal 1985 al 1994, ricoprendo le cariche di capogruppo e di assessore ai beni culturali.

Dal 1979 al 1987 ha svolto le funzioni di Presidente del Comitato delle chiese di Ibla, partecipando attivamente all'elaborazione della legge speciale su Ibla del 1981 e facendo parte della Commissione di risanamento prevista dalla legge.

Dal 2010 è presidente dell' associazione Insieme in Città, un laboratorio di urbanistica partecipata che si prefigge di restituire alla comunità una mappa dei suoi valori condivisi.

Fra le sue pubblicazioni: *"Uomini, campagne chiese nelle due Raguse"*, *"Profilo storico-urbanistico di Ragusa dai Siculi ai giorni nostri"*, Comitato per le chiese di Ibla, La Grafica, Modica, 1982; *"Ragusa nel tempo"*, con Paolo Nifosi e Marco R. Nobile, Editalia, Roma-Catania, 1997; *"Nostalgia di una Signoria"*, in Giuseppe Leone, *Ibla, la forma della Storia*, Libreria Paolino Editrice, Ragusa, 2004; *"La vicenda umana e poetica di Vann'Antò"*, in *"Ragusa Sottosopra"*, anno X, n.4, luglio-agosto 2010.

Il fallimento politico di un mirabile piano urbanistico: la fondazione di Ragusa Nuova dopo il terremoto del 1693

Autore: **Giorgio Flaccavento**, docente, esperto di storia locale, sviluppo urbanistico, patrimonio culturale e cultura identitaria.

Abstract

In this document, the author Giorgio Flaccavento, an expert on Ragusa's history and local traditions, illustrates the urban evolution of the city following the great earthquake of 1693. The Ragusa community was divided between two factions, headed by the parishes of Sangiorgio and Sangiovanni. The heated dispute over the reconstruction and the city's shape lasted a long time, gradually concluding with the new construction on the Ragusa plateau, while the ancient city remained on the hill, between the two streams that flowed into the Irminio River.

La pianificazione urbanistica settecentesca del Centro storico di Ragusa Superiore è ammirabile. Strade larghe e dritte, ortogonali all'incrocio degli assi principali costituiti dalla Strada Mestra (oggi Corso Italia) che l'attraversa da Est a Ovest per tutta la sua lunghezza e dalla Strada dell'Addolorata (oggi Via Roma) che la percorre in orizzontale nella direzione Nord-Sud. Entrambe le strade ubbidiscono ai rigorosi canoni antisismici che imponevano alle strade maestre la larghezza di otto canne, vale a dire sedici metri. Ai quattro canti si estende il vastissimo lotto che comprende l'imponente

Basilica di San Giovanni e l'antistante sagrato detto Piano delle Logge, perché adibito (anche) a piazza di mercato.

Ed è davvero sorprendente apprendere che tale mirabile pianificazione subì presto un cocente fallimento politico. È noto che Ragusa ha due centri storici: Ragusa Centro e Ragusa Ibla, eredi della divisione effettuata dopo il terremoto del 1693.

Esso fece esplodere l'antagonismo, già esistente da tempo, tra le due parrocchie di San Giorgio e di San Giovanni.

Si dice e si legge spesso che i Sangiorgiari ricostruirono la Vecchia Ragusa sull'antico sito sopra la scoscesa collina di Ibla alta 380 metri sull'impianto medievale e che i Sangiovannari insediarono la Nuova Ragusa sul vicino altopiano del Patro, a 500 metri d'altezza su un impianto rigorosamente ortogonale.

In realtà soltanto una parte minoritaria dei Sangiovannari si insediò sull'altopiano, la maggior parte ricostruì le proprie case entro il recinto dell'antica parrocchia a Ragusa Ibla.

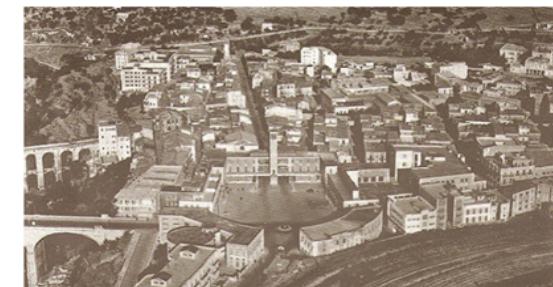
La divisione di Ragusa dopo il terremoto in Ragusa Antica e Ragusa Nuova fu determinata, come vedremo, dall'intenzione di porre così fine ai conflitti fra le due chiese. Pertanto, si procedette alla divisione secondo i confini delle due parrocchie.

Sicché al momento della divisione molto territorio assegnato a Ragusa Nuova restava nell'attuale Ibla.

Il sogno politico dei Sangiovannari di fondare sul vicino altopiano una nuova realtà urbana non si attuò interamente. La divisione trovò il pieno consenso della popolazione Sangiovannara, solo per quanto riguardava l'indipendenza della parrocchia dalla Matrice di San Giorgio.

Ma la prospettiva di trasferirsi in una nuova città, sia pure più confortevole e moderna, incontrò il netto rifiuto della maggioranza dei Sangiovannari.

Alla base della precoce fine dell'esperienza della Nuova Ragusa, non c'è soltanto la feroce opposizione dei Sangiorgiari che videro ridotti ai minimi termini i confini di Ragusa Antica, ma la contrarietà della maggioranza degli stessi Sangiovannari.



Il sogno politico della Nuova Ragusa durò pochissimo: dal 1695 al 1703.

Il sogno dei Sangiovannari partiva da lontano. Perciò è opportuno premettere alcune riflessioni di carattere storico e geografico. Ragusa prima del terremoto si trovava, come dice l'Amico, nella Contea di Modica di cui costituisce la miglior parte. A sua volta la contea è considerata tra i più ricchi feudi di Sicilia. Tanta ricchezza nasceva dalla particolare condizione delle sue terre eccezionalmente ricche d'acqua, e per questo fu possedimento privilegiato delle più potenti famiglie di Sicilia, dai Normanni ai Chiaramonti, ai Cabrera che ottennero per essa così ampie autonomie da farne uno stato nello

stato. Con gli Henriquez Cabrera, che possedevano la contea al momento del terremoto e che risiedevano in Spagna, un sistema assai articolato di procure e deleghe permise alla ricca borghesia l'accesso alla sua amministrazione, al cui governo era preposto il Tribunale del Patrimonio, presieduto dal Procuratore del Conte, da un Governatore Generale e diversi Contadori e Razionali.

I confini della Contea coincidevano con l'Altipiano Ibleo, un sollevamento calcareo di circa 500 metri, in dialetto chiamato 'la piana'.

Esso è interessato da profonde incisioni vallive ricche d'acqua, in dialetto 'le cave'. Il fiume Irminio divide la 'piana' di Ragusa di circa 40.000 ettari dalla 'piana' di Modica di circa la metà.

Fino al Quattrocento la ricchezza del territorio fu dovuta soprattutto ai terreni irrigui delle cave che circondavano i centri abitati, arroccati sui promontori fluviali facilmente difendibili. Ma a partire dalla metà del Quattrocento, contemporaneamente al venir meno delle ragioni difensive degli arroccamenti, si assiste alla valorizzazione dei terreni dell'altipiano, fino ad allora solo parzialmente coltivato, particolarmente adatto alle coltivazioni cerealicole e all'allevamento bovino, grazie alla diffusione della concessione in enfiteusi delle terre della Contea. Dalla censuazione delle terre trae enorme vantaggio Ragusa per la maggior estensione del suo territorio sull'altipiano. La formazione di nuovi ceti legati alla colonizzazione accresce fortemente la popolazione residente nei quartieri fuori le mura, producendo l'espansione di Ragusa ad Occidente verso l'altipiano.

A seguito della saturazione edilizia, i nuovi quartieri si saldano con quelli della città murata facendo assumere, nel corso di due secoli, alla città la forma di un pesce fra corsi d'acqua (*piscis inter aquas*), la cui testa occupa gli attuali Giardini Iblei e la coda i quartieri a Occidente della Piazza degli Archi (così detta perché vi passavano gli archi di un acquedotto), attualmente Piazza della Repubblica, mentre al centro è il Castello che protegge la parte del paese che si trova a Levante.

Il quartiere di San Giovanni scendeva fino alla chiesa del Purgatorio e dell'antistante Piazza degli Archi. Da questa parte il colle non era isolato, ma risaliva a Ponente presso l'altopiano nei quartieri delle Scale, di San Paolo e di San Rocco, le ultime case dei quali si inerpicavano sull'altipiano del Patro [1].

A partire dal Cinquecento la parrocchia di San Giovanni entra in conflitto con quella di San Giorgio, contestandone i diritti di Matricità.



È questa la città murata, di cui è patrono San Giorgio, che la confluenza del torrente San Leonardo a Nord e del Fiumicello a Sud, nel largo alveo del fiume Irminio, isolando la collina rendeva imprendibile da Levante e Mezzogiorno. Extra moenia, ai piedi del castello, sorgevano le case dei nuovi ceti agricoli aggregati attorno alla chiesa di San Giovanni che sorgeva a ridosso delle mura.

A sostenerne le ragioni non è soltanto il clero, ma l'intera popolazione, guidata dal nuovo patriziato sortito dalle trasformazioni agricole. Il peso sempre maggiore dei nuovi ceti è dimostrato urbanisticamente dalla creazione della Piazza del Mercato: la Piazza degli Archi in concorrenza con la Piazza Maggiore entro le mura, e da qui anche la denominazione delle due fazioni come partiti degli 'Archi' e della 'Piazza'.

Il conflitto ha il suo culmine nel Seicento quando la parrocchia di San Giovanni riesce ad ottenere nel 1620 l'autonomia per essere poi definitivamente sconfitta nel 1643 dalla proclamazione di San Giorgio ad unico patrono della città, ed esploderà in occasione del terremoto.

Il terremoto del 1693 è rimasto impresso in modo straordinario nella memoria del popolo del Val di Noto dove il 9 e l'11 gennaio due terribili scosse distrussero quasi tutti i paesi: a stare alle cronache quelli distrutti furono una settantina e altrettante le migliaia di vittime, e di esse un buon quinto nella Contea di Modica: a Ragusa toccò il triste primato di cinquemila morti.

Qui la classe dirigente sangiovannara, con un gran seguito di popolazione guidata dal sacerdote G. B. Nicita e dal barone Mario Leggio, costruisce le proprie baracche sul vicino altopiano del Patro, dove i Leggio e gli altri capi hanno i loro terreni. È facile immaginare come l'idea di dividere Ragusa in due città distinte fosse suggerita dal sacerdote Nicita, parroco succedaneo della chiesa di San Giovanni, che le cronache contemporanee descrivono come fanatico sostenitore dell'autonomia della parrocchia. Poiché la monarchia aveva imposto di riedificare una sola chiesa Matrice nei paesi da ricostruire, l'unico modo per ottenere l'agognata autonomia della parrocchia era quello di fondare una nuova Ragusa sul Patro.

L'idea si sposava con le considerazioni di ordine urbanistico e antisismico che suggerivano di ricostruire in un posto più pianeggiante e più centrale rispetto al territorio agricolo dell'altopiano.

In teoria la decisione sulla scelta del sito spettava al Conte, in quel momento Giovanni Tomaso Enriquez Cabrera, che non mostra di aver

pensiero dell'"universal rovina", come gli rimproverano i sudditi.

E neanche il Procuratore del Conte, il genovese Francesco Federici, sembra interessato a impiegarsi in modifiche degli equilibri di potere e la decisione di rimettersi ai consigli civici sembra un modo per rinviare il problema.

Le cose cambiano con la nomina del nuovo procuratore avvenuta alla fine del maggio 1693. Il nuovo governo della Contea ovvero il Tribunale del Patrimonio, appare connotato da caratteri punitivi nei confronti dell'uscente classe dirigente modicana e ragusana sangiorgiara accusata di malversazione. Il nuovo procuratore è lo spagnolo Giovanni Antonio Romeo Y Anderas, intenzionato a sostituire all'immobilismo politico del predecessore un decisionismo che sblocchi la stagnante situazione conflittuale che impedisce l'avvio della ricostruzione nei due maggiori centri della Contea.

L'opportunità di una rapida ricostruzione era dettata dalla necessità di evitare un crollo demografico. Non è escluso infatti che nei cinquemila, dati per morti a Ragusa, fosse incluso un gran numero di dispersi. Già parecchi contadini e diversi massari si erano trasferiti a Giarratana allettati dalle favorevoli condizioni assicurate dai Settimi a chi decideva di stabilirvi la propria residenza. E il Procuratore era giustamente preoccupato della probabile emorragia del bene più prezioso per la colonizzazione delle terre rappresentato dalle braccia degli uomini.

La presenza nel nuovo governo della Contea di personaggi di spicco Sangiovannari fra i quali: Bernardo Arezzo che diverrà governatore nel 1694 spiega l'alleanza del nuovo procuratore col

ricco patriziato sangiovannaro nella necessaria celerità della ricostruzione.

Nel settembre dello stesso 1693 egli elogia in una sua lettera il fervore dei Sangiovannari ragusani nella ricostruzione [2]. I più ricchi dei Sangiovannari quindi, ancor prima della autorizzazione della fondazione della nuova Ragusa, han posto mano alla costruzione sul Patro che per la naturale configurazione dei luoghi rappresentava l'unica direzione in cui il paese poteva espandersi. Già, infatti, con la costruzione del santuario della Madonna del Carmine negli ultimi anni del Cinquecento diverse case si erano insediate sul ciglio del Patro.

La scelta del luogo delle nuove costruzioni era perciò obbligata, ma l'idea di dare ad esse i caratteri di una città autonoma costituiva il sogno politico sangiovannaro incentrato ideologicamente nella ricostruzione al centro della nuova Ragusa del tempio di San Giovanni Battista.



Nell'aprile del 1694 i Procuratori della chiesa di San Giovanni chiedono al vescovo di Siracusa l'autorizzazione a ricostruire una nuova chiesa sul Patro essendo la precedente totalmente distrutta, e l'ottengono, anche se con qualche

remora da parte del presule, che preferirebbe la ricostruzione nello stesso sito. La costruzione della chiesa, all'incrocio delle odierne Via Roma e Corso Italia, a nord dell'attuale basilica, poco più che una baracca, verrà affidata a Mario Spata, che diverrà il primo capomastro della Nuova Ragusa. E nella sua funzione contribuirà alla stesura della pianta ortogonale. [3]

Non è documentata la paternità del disegno, ma è accettabile la tradizione che lo attribuisce allo stesso Mario Leggio, aiutato per l'acquisizione dei suoli dall'Avv. Ignazio Garofalo, che sarà sindaco di Ragusa Nuova, e tecnicamente dal Capo Mastro.

Ed è in questo momento che è documentata la stabile presenza a Ragusa dell'Anderas a cui la classe dirigente ragusana suggerisce che il miglior mezzo per troncare una volta per tutte i conflitti fra le due chiese rivali sarebbe stato dividere la città.

Il Procuratore, in apprezzamento 'del fervore dei Sangiovannari ragusani nella ricostruzione' abbraccia la proposta.

Nel gennaio del 1695 l'Anderas avanza l'istanza di divisione al Viceré Uzeda [4] motivandola con l'opportunità di porre così fine al conflitto tra le due opposte fazioni, ma facendo anche alcune considerazioni di ordine urbanistico e antisismico sull'opportunità di trasferire la Nuova città sul vicino altopiano del Patro, oggettivamente evidenti come l'andamento pianeggiante del sito e l'abbondanza di acque. Ma altre considerazioni sembrano più dettate dal programma politico della classe dirigente Sangiovannara, che non dalla reale situazione. Egli afferma, infatti, che 'la maggior parte delle genti degli Archi hanno andato ad abitare sul Patro... che è molto distante dalla Piazza (Maggiore)... con restare nel mezzo

gran parte del terreno vacante e in molti luoghi inaccessibile'. L'affermazione, oggettivamente forzata, deriva con evidenza dal programma politico della classe dirigente Sangiovannara di trasferire tutta la numerosa popolazione della parrocchia sul Patro, ma nel momento solamente una minoranza aveva optato per la residenza sul Patro. Solo con l'abbandono definitivo dell'impervio declivio che porta al Patro, e del restante territorio dell'antica parrocchia si sarebbe ottenuto 'il terreno vacante fra i due centri abitanti'.



Il 17 aprile del 1695 il decreto viceregale ratificava l'istituzione della Nuova città di Ragusa e la divisione dall'Antica.

Al nuovo Governatore della Contea, il Sangiovannaro Bernardo Arezzo toccò procedere alla separazione amministrativa delle due città, dandole per limiti i confini delle due antiche parrocchie. In tal modo non v'era distanza fra le due città, poiché alla Nuova Ragusa toccò tutto il recinto antico della parrocchia di San Giovanni e il nuovo sito del Patro, mentre a Ragusa Antica toccò il ristretto territorio delle parrocchie di San Giorgio e San Tommaso.

La divisione segnava la supremazia demografica della Nuova Ragusa con oltre 4.000 abitanti, contro i poco più di 1.000 della Vecchia Ragusa. E però il meccanismo che ha portato a questa supremazia s'inceppa presto. Malgrado le favorevoli condizioni che gli amministratori della nuova città ritengono sufficienti a convincere tutto il popolo Sangiovannaro a riedificare sul Patro, sono sempre più numerosi quelli che preferiscono rifabbricare le vecchie casupole negli impervi sentieri piuttosto che edificare più comode case lungo le ampie strade del nuovo abitato nei suoli concessi in enfiteusi, con modicissimo censo, sul piano del Carmine. Il grimaldello ideologico della devozione al Patrono che è servito a scardinare la supremazia sangiorgiara si è rivoltato contro chi lo ha escogitato.

Molti Sangiovannari fra i più fanatici reclamano a gran voce il restauro della vecchia sede parrocchiale che ritengono fattibile. Dicono che non è giusto abbandonare il sacro suolo dove sono sepolti gli antenati. Qualche prete dei più radicali, contro ogni norma, è rimasto a esercitare abusivi riti entro la vecchia chiesa, in effetti, solo parzialmente rovinata, e il vescovo, che spera in cuor suo nel fallimento della nuova città, ne esorta il restauro.

Di questa ambigua situazione è testimonianza la intitolazione alla Natività di San Giovanni rimasta alla vecchia chiesa, mentre la nuova in costruzione è intitolata alla Decollazione del Battista.

Ma l'argomento principe contro la divisione che coinvolge anche i meno fanatici Sangiovannari è di ordine urbanistico. Passato il momento di terrore che li aveva trascinati a costruire le loro baracche sul Patro, un numero sempre maggiore

di Sangiovanni vorrebbe ricostruire la propria casa sulle sue rovine. Ma le nuove norme edilizie emanate sia dal Procuratore che dalla nuova amministrazione vietano la ricostruzione isolata dal corpo della nuova fondazione e subordinano la concessione edilizia a rigorose norme costruttive.

Il malcontento si trasforma ben presto in aperta contestazione con proteste e ricorsi contro gli abusi degli ufficiali, tanto che lo stesso governatore Arezzo è costretto a ordinare ispezioni severe contro gli eventuali abusi. Di due fazioni che erano prima del terremoto, si son formati tre partiti essendosi aggiunto ora quello dei Sangiovanni di sotto o degli "Archi" contro i Sangiovanni di sopra.

Il malcontento dei Sangiovanni di sotto si univa quindi alle recriminazioni dei nobili Sangiorgiari contro la penalizzazione della "città antica".

La mutata situazione politica internazionale segnò la sconfitta del progetto politico della Nuova Ragusa. Nella guerra di successione spagnola, il Conte di Modica Giovan Tommaso Enríquez Cabrera si schierò apertamente con gli Asburgo contro i Borboni. Il nuovo re di Spagna Filippo V condannò a morte in contumacia il Conte e la Contea passò al regio demanio. L'esautorizzazione del Conte privava il partito sangiovannaro del suo principale sostenitore rappresentato dal precedente Governo della Contea. Sollecitato da una vibrante lettera delle autorità civili e religiose di Ragusa Antica [5], il 13 febbraio 1703 il nuovo viceré cardinale Giudice mandava a ispezionare sulla situazione delle due Ragusa come vicario generale l'avvocato Pietro La Grua.

Nella relazione che invia al viceré [6] all'ispettore non rimane che prendere atto della

situazione sottolineando come dietro il conflitto religioso fra le parrocchie di San Giorgio e San Giovanni stessero ragioni sociali e politiche: della prima sono "parziali i nobili e i cittadini antichi" e della seconda "borghesi e gente di campagna".

Dietro le rivendicazioni della parrocchia di San Giovanni stava "la pochissima soddisfazione de' borghesi per non avere eglino parte nel governo della città e di cui officiali regolarmente erano i nobili e i cittadini della parrocchia di San Giorgio".

Come al momento del terremoto "alcuni borghesi più comodi della Parrocchia di San Giovanni si trasferirono al piano del Pardo, sito eminenti, ma contiguo e facendo in esso le loro barracche, suggerirono a D. Giò. Romeo allora Procuratore generale di questi stati il pensiero che il miglior mezzo per troncare una volta le competenze di dette chiese e le quotidiane amarezze dei parochiani sarebbe stato fabricare in quel sito una nuova città di Ragusa, trasferendo e rifabricando in quello la Chiesa già distrutta di San Giovanni". Come i confini della divisione non lasciano alcuna distanza fra le due parrocchie, comprendendo i confini della Nuova Ragusa il recinto antico della parrocchia di San Giovanni "dove habitano più di quattromila e seicento anime, e il nuovo sito del Pardo, dove nel corso di quest'anni si sono fabricate assai buonissime case, habitate da due mille persone, ma però con una pianta spatioissima di piazze e strade, e simile quella di Catania. Dismembrata in tal forma Ragusa la Vecchia, pare che sia piuttosto un castello che città, poiché tutti li suoi abitanti non giungono a mille e cinquecento anime".

La relazione del Vicario coglie il carattere sociale e politico del conflitto fra le due Parrocchie,

riconosce i pregi della pianificazione urbanistica della Nuova Ragusa, registra indirettamente la rapida ripresa demografica della stessa, ma denuncia il fallimento dell'obiettivo dello scopo principale della divisione che era il raggiungimento della pace sociale.

Invece che la pace si è alimentata "tra li medesimi della città nova quasi una guerra civile intestina" originata "dagli aggravi e dispetti con i quali i novi abitanti del Pardo hanno procurato obligare gli abitanti del recinto antico della parrocchia di San Giovanni, ad abbandonare le loro case e fabricare nel piano suddetto valendosi a tale effetto di molti mezzi, indiretti e ingiusti che sarebbe prolioso voler tutti riferire".

In realtà in base allo statuto della Nuova Ragusa che i mezzi usati dai funzionari fossero "indiretti e ingiusti" è tutto da dimostrare, e non risulta dalla documentazione, purtroppo inadeguata. La questione era di fondo: appare indiscutibile la pretestuosità del ricorso agli antichi confini, un vero e proprio colpo di mano che nasconde la volontà di procedere alla divisione, senza nemmeno consultare tutti i soggetti interessati. D'altro canto che la liberalizzazione delle concessioni edilizie corrispondesse alla autorizzazione ad un selvaggia edificabilità lo dimostra i punto riguardante questo argomento delle istruzioni e regole che seguono il decreto di riunificazione emanato nel marzo del 1703 dal nuovo Governatore della Contea Antonino Nigro [7] che recita testualmente: "Che qualunque persona si fosse che voglia o le piacesse di fabricare o reedificare casa in qualunque luogo di questa suddetta città così nel quartiere nominato della Piazza quanto in quello dell'Archi, quanto in quello del Patro, quanto in qualunque altra parte di suddetta Città possa liberamente farlo ad

libitum proprie voluntatis nelli luoghi e siti propri di ciascheduno senza che da nessuno dell'officiali o ministri possa venire impedita e difficoltata sudetta fabrica e reedificazione come sopra”.

Il fallimento politico del progetto di insediare tutti i Sangiovannari nella Nuova Ragusa ebbe conseguenze urbanistiche nel quartiere degli Archi, di Santa Maria, di San Paolo e di San Rocco che si inerpicarono ammassandosi sulle scoscese pendici del Patro. Ancora oggi, dopo le vaste demolizioni operate nel 1926, per aprire la carrozzabile per unire Ragusa Superiore a Ragusa Inferiore, i tre quartieri appaiono come un confusissimo mucchio di case senza nessun disegno.

E facciamo fatica a immaginare la realtà di Ragusa immediatamente dopo il terremoto e come la maggioranza dei Ragusani scegliesse di abitare in questi quartieri e negli altri che ad oriente circondavano la piazza degli Archi inerpicandosi sulle pendici del colle di Ibla fino alle mura della città dei nobili Sangiorgiari. La triplice ripartizione di Ragusa si riflette nella composizione del consiglio della riunita città: al quartiere degli Archi toccò il Sindaco e un giurato, a quello del Patro il segreto e un giurato, e al più piccolo quartiere di San Giorgio, per la maggiore nobiltà degli abitanti, il Capitano di Giustizia e due giurati. La maggioranza in consiglio toccò quindi agli abitanti dei quartieri sottani, e questo spiega il fermo della costruzione della nuova Chiesa di San Giovanni. Fino al 1718 essa non ebbe nessun sostegno dall'amministrazione municipale e il più feroce ostacolo dal clero sangiorgiaro.

Contro ogni fallimento rimaneva però l'oggettiva validità della nuova urbanizzazione sul Patro,



Ragusa Antica e la città nuova nell'altipiano

l'obbligata direttrice espansiva della città ad occidente, ma la ricostruzione di Ragusa ci insegna anche come senza l'adeguata partecipazione della popolazione anche la migliore pianificazione urbanistica è destinata al fallimento politico.

NOTE

[1] La “forma piscis” è uno schizzo a penna contenuto in un manoscritto anonimo in latino, conservato nella biblioteca di casa Garofalo, ed è stato pubblicato a cura di FRANCESCO GAROFALO, *Un manoscritto anonimo sulla Ragusa del Seicento*, Erea Editrice, Ragusa 1980, pag. 62. Riporta lo scartario: *Topografia seu descriptio status et formae civitatis Ragusiae et eius territorii 1642*.

[2] G. MORANA - *L'indomani dell'11 gennaio 1693 nella Contea di Modica - Lussografica Caltanissetta 1997*, pagg. 37 e 62.

Per le citazioni testuali si rimanda all'ampia raccolta di documenti e regesti allegata.

[3] GAUDENZIA FLACCAVENTO - *La Chiesa di San Giovanni Battista e il lavoro delle maestranze: contributi per la storia dell'architettura a Ragusa nella prima metà del 700*, tesi di laurea, Università di Catania, Facoltà di Lettere e Filosofia, A.A. 1996/97 (Relatore Vito Librando) pagg. 26 e segg.

[4] Archivio Storico della Chiesa Madre di San Giorgio di Ragusa (A.S.G.) Vol. 16. Cfr. G. BARONE - *Ragusa 1643-1744. Il conflitto politico e religioso* – in *Società Ragusana di Storia Patria, Archivio Storico Ibleo, Ragusa I* pag. 29.

[5] Archivio di Stato di Ragusa, Sezione di Modica, Fondo Contea (ASRG Contea) registro di lettere patenti Vol XI.

[6] La relazione è conservata in A.S.G., Fondo Cannezio 08, Vol. III, Scritture attinenti alle liti della Chiesa Madre di San Giorgio con quella di San Giovanni Battista graduate dal 1700 al 1730. Il testo originario redatto in spagnolo è stato pubblicato da G. Morana, op. cit. pagg 245 e segg. Compreso nelle Lettere del Viceré al Governatore Antonio Nigri per la riunione di Ragusa, SASM, Archivio della Contea, Lettere patenti, libro XI. Il testo conservato in ASG è stato pubblicato in appendice alla tesi di GAUDENZIA FLACCAVENTO, op. cit. pagg.



Cona del Gagini, Duomo di San Giorgio, Ibla

243 e segg. E da esso sono tratte le citazioni riportate.

[7] G. MORANA, op. cit. *Instruttiioni e regole che al buon regimento del governo politico della città riunita di Ragusa lascia in essa il spettabile signor Antonino Nigro... governatore. SASM, Archivio della Contea, Cautele XXVI cc. 289-292, pag. 238./*

LA MEMORIA DEGLI EVENTI



IL TERREMOTO DEL 1693

Due forti scosse, la prima il 9 gennaio e la seconda l'11 gennaio, colpirono la Sicilia orientale. Il secondo evento (magnitudo momento 7,3) è stato il terremoto più forte e catastrofico avvenuto degli ultimi 1000 anni in Italia (*Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI11*) e ha generato uno tsunami ben descritto dai cronisti dell'epoca.

Questo evento, conosciuto anche come il terremoto del Val di Noto, è ricordato non solo per le sue conseguenze immediate in termini di perdite umane e materiali, ma anche per l'impatto duraturo che ebbe sulla storia, l'urbanistica e la cultura della Sicilia sud Orientale.

L'intero sud-est dell'isola, infatti, subì mutamenti socio-demografici e culturali da quella che definita una delle più gravi calamità naturali che colpirono l'Europa in età moderna.

La scossa principale dell'11 gennaio 1693 alle ore 13:30 GMT (circa le 21 secondo l'orario italiano in vigore all'epoca), fu avvertita in una vasta area dell'Italia meridionale. Le oscillazioni causate dal forte terremoto furono avvertite sino a Malta, in alcune zone della Calabria e a Napoli. Il maggior numero di vittime e danni materiali si registrarono tra le province di Catania, Siracusa e Ragusa, fino all'entroterra del Vallo di Noto (la statistica ufficiale, redatta nel maggio 1693 riporta circa 54.000 morti).

In aggiunta alle perdite causate dal terremoto, furono devastanti gli effetti generati dal maremoto. Le fonti storiche descrivono diffusamente l'iniziale ritiro del mare, un fenomeno che oggi riconosciamo come segno premonitore di uno tsunami.

La città di Augusta (SR), all'epoca fiorente porto commerciale e crocevia della tratta di prodotti provenienti dal Mediooriente, fu tra le località maggiormente colpite.

Il primo effetto fu il ritiro del mare, che prosciugò completamente il porto, causando gravi danni alle navi ormeggiate, in particolare a due grandi imbarcazioni maltesi che batterono violentemente la chiglia nel fondale.

L'onda dello tsunami sommerso il quartiere adiacente al porto, fino alla chiesa di S. Domenico, a circa 150m dal mare (Acquaviva, 1693; Boccone, 1697a, b, c; Mongitore, 1743; Anonimo, 1693d; Burgos, 1693; Muñielgini, 1695) e furono molte le vittime causate dal maremoto, soprattutto donne e bambini.

A Catania venne osservato un notevole innalzamento del livello del mare (Burgos, 1693) seguito dal ritiro di molte imbarcazioni (Campis, 1980; Anonimo, 1693a, b). Per circa 15 minuti furono osservate una sequenza di onde, tre delle quali lambirono le mura della città. L'acqua del mare inondò la città fino a piazza San Filippo; le aziende agricole situate nei pressi della città furono inondate (Boccone, 1697a).

Secondo Boccone (1697a), a Siracusa si osservarono tre ritiri e inondazioni. Il porto rimase asciutto per oltre 50 passi (più di 70 metri) rendendo visibile il fondale; le successive onde raggiunsero altezze di oltre 8 piedi (run-up di circa 2,5 m) rispetto al livello abituale. I pescatori, che di solito gettavano le reti ad una profondità di 15 "passi di corda", rimasero sbalorditi che per circa 15 giorni le reti raggiungessero il fondale con soli 5 passi di corda.

A Messina, presso la fortezza della Cittadella, furono osservati 3 ritiri e ritorni del mare (Anonimo, 1693a): il mare si ritirava per 60 passi (circa 50 m) e poi ritornava violentemente superando la banchina del molo. Sulla spiaggia furono trovati molti pesci (Boccone, 1697a).

A Taormina (Giardini Naxos) il mare si ritirò per circa mezzo miglio trascinando alcune piccole imbarcazioni (Boccone, 1697a).

A Mazzarelli (oggi Marina di Ragusa) il mare si ritirò e poi tornò violentemente causando danni a una barca ormeggiata (Guidoboni et al., 2018). Nell'isola di Lipari il mare agitato allagò la spiaggia (Guidoboni et al., 2018).

A Gozo (arcipelago di Malta), secondo Camilleri (2006), che a sua volta cita Aguis De Soldanis, il mare a Xlendi si ritirò fino a circa un miglio per poi tornare indietro poco dopo "con grande impeto e mormorio".

Recenti studi interdisciplinari hanno combinato analisi geologiche, sismologiche e storiche. I sedimenti marini prelevati lungo la costa orientale della Sicilia rivelano tracce inequivocabili del maremoto del 1693, confermando l'entità e l'estensione dell'evento. Gli storici, invece, hanno esaminato attentamente le cronache dell'epoca, confrontando le descrizioni dell'evento con le moderne conoscenze sulla dinamica dei terremoti e degli tsunami.

La combinazione degli studi ha permesso di ricostruire ciò che accadde e di valutare l'impatto complessivo dell'evento, che trasformò radicalmente il paesaggio fisico e culturale della Sicilia sud-orientale e del Vallo di Noto.

Tratto da <https://cat.ingv.it/>

1693 - Le testimonianze storiche dell'evento

«L'orribilissimo terremoto dell'anno 1693 è stato, senza alcun dubbio, il maggiore il più pernicioso che tra tanti avesse danneggiato la Sicilia, e sarà sempre l'inafustissima sua memoria luttuosa negli annali dell'isola, tanto per la sua durazione, quanto per la rovina portata dappertutto. Il giorno di venerdì 9 gennaio nell'ora quarta e mezza della notte tutta la Sicilia tremò dibattuta dalla terribile terremoto. Nel Val di Noto e nel Val Demone fu più gagliardo: nel Val di Mazara più dimesso [...]. Ma la domenica 11 dello stesso mese, circa l'ore 21, fu sconquassata tutta la Sicilia con violentissimo terremoto, con la strage e danno non accaduti maggiori ne' secoli scorsi.»

A. Mongitore, Istoria cronologica de' terremoti di Sicilia (1743)

Le vittime

Secondo le fonti il numero di vittime fu molto elevato:

a **Catania** morirono 16.000 persone su una popolazione di circa 20.000;
a **Modica** morirono 3.400 persone su una popolazione di 18.200;
a **Ragusa** morirono circa 5.000 persone su 9.950;
a **Lentini** con 4.000 vittime su 10.000 abitanti;
a **Occhiolà** (l'antica Grammichele) che contava 2.910 abitanti, ne perirono il 52%;
a **Siracusa** con circa 4.000 vittime su 15.339 abitanti;
a **Militello** con circa 3.000 vittime su una popolazione di quasi 10.000;
a **Mineo** i morti furono 1.355 su 6.723 abitanti;
a **Licodia Eubea** vi furono 258 vittime censite su una popolazione di circa 4.000 abitanti;

Tutte le altre città e paesi della Sicilia orientale subirono gravi perdite di vite umane.

La sequenza

La prima forte scossa (circa VIII grado MCS) della sequenza sismica che comprende questo terremoto arrivò improvvisamente la sera del venerdì 9 gennaio 1693 alle ore 21 circa con epicentro tra Melilli e Sortino[9]. Crollarono numerosi edifici un po' dappertutto e vi furono vittime, altri edifici si lesionarono seriamente. Dato che il giorno dopo, il sabato, passò senza forti scosse, la gente si illuse che tutto fosse finito. La domenica mattina, 11 gennaio, alle ore 9 si ebbe una nuova forte scossa ed un'altra circa un'ora dopo.

Ma l'evento principale (XI grado MCS), la tremenda e distruttiva scossa di 7.3 Mw, scoccò alle 13:30 provocando la distruzione e l'innesto del successivo maremoto. Si è proposto che il secondo evento, il cui epicentro è stato identificato al largo del Porto di Catania, non facesse parte dell'evento accaduto due giorni prima, ma che si trattò di un vero e proprio secondo terremoto, che coinvolse un'ampia area della Sicilia e della Calabria, con attestazioni di effetti anche sull'isola di Malta; tuttavia l'estrema vicinanza tra i due eventi e l'assenza di dati tecnici rilevati non permettono di stabilire con precisione la natura dei due eventi.

Un testimone oculare racconta dell'evento dell'11 a Catania: *"Vide che alle due mezza improvvisamente rovinò tutta la città con la morte di più di 160 persone e che durante il terremoto si era ritratto il mare di due tiri di schioppo e per la risacca conseguente aveva trascinato con sé tutte le imbarcazioni che erano ormeggiate in quell'insenatura [...] State certi che non c'è penna che possa riferire una tale sciagura."*

Lo sciame sismico con le scosse di assestamento, anche forti, si protrasse ancora per circa 2 anni con un numero elevatissimo di repliche (circa 1.500 eventi).

IL TERREMOTO DI MESSINA DEL 1908

Prima dell'inizio del Concerto organistico nel Duomo di San Giorgio a Ibla, è stata data lettura di alcuni versi del poeta dialettale ragusano **Giuseppe Bonafede**, figlio naturale di Serafino Amabile Guastella, tratti dalla sua lunga ode dedicata al Terremoto di Messina del 1908. Nato a Chiaramonte Gulfi nel 1857, il poeta dalla vita travagliata e inquieta visse per un trentennio a Ragusa, ove morì nel 1940.



*O Eterna Sapienza e Viritati
Misù 'ntronu tra l'Ancili e li Santi,
Jùrici ri Suprema Maistati
Iu mi prisientu a Vui tuttu trimanti.*

*La me' povera menti alluminati
Pi ffari li me' versi cunzunanti,
Si l'assistenza Vui nu' mmi la dati
La me' canzuni nun po' jiri avanti.*

*Nell'annu milli noviclientu e uottu,
Lu vintuottu dicembri ri matina
Miraculu ri Diu cu nu' nn'è mmuortu
Tantu fu lu spavientu e la ruina!*

*Ma lu cciù fèriu, lu cciù trannu cuorpu
L'èppi dda svinturata ri Missina;
Pi ddà Cità nu' nci nn'è cciù cunfuortu
Parsi c'a' mmari la purtau la cina.*

*O Missina, Missina svinturata,
Ri l'ariu ti scuppau ssu fuocu ranni,
'Nti nu mumientu paristi allampata,
La terra si rapiu ri tanti banni!*

*Nun cc'è un palazzu, nun cc'è cciù na strata,
Si subbissaru picciriddi e granni,
Nu 'mmunzieddu ri petri è addivintata,
la Giustizzia ri Diu sa quantu è granni!*

*Viecci, cattivi, schietti, maritati,
Poviri, rricchi, jurici, parrini,
Patruna ri putiei, sani e malati,
Picciuli e granni, principi e spazzini,
Dotti e gnuranti, monici e ssurdati,
Vistuti e nnuri, ricchi e pillirini,
tutti sutta li petri accatastati
Ca mi trema lu sancu ri li vini!*

*Chi vuci, chi fracassu, chi suspira,
na casa supra l'autra s'abbissava;
N'animmulu paria ca sempri gira
Missina tutta ccu li campanara!*

*Mienzu li petri cu mori e cu spira,
Un palazzu ccu ll'autru s'abbrazzava,
Tutti li putiei càschinu a ffila
Un cc'è na petra ca nunn'abballava!*

*Unni si nnieru tutti ssi ricchizzi.
Ssa bbella Palizzata a la Marina!
Unni spirieru tutti ssi billizzi
Ch'èritu un tiempu na vera Reggina!*

*U' mmientu si purtau li tò furtizzi
Povira svinturata ri Missina!
Cu lu criria, ccu tutti ssi grannizzi
Rirucìriti nura e pillirina!*

*O Matri ri cunfuortu e di pietati
Ca ccu lu Vuostru mantu ni cupriti,
Tutti ssi figghi vuostri vurricati,
Ri sarvalli Vui sula li putiti.*

*Mamma, pi ccarità cciù nu 'ntardiati
Rati aiutu a li vivi e a li firiti,
Sunu mienzu la terra suffucati,
Tutti ciàminu a Vui, cc'un lu sintiti?! ...*

Lo spazio culturale del 9 giugno 2025 dedicato alla Memoria degli Eventi

SCENARI
DI RISCHIO
NEL SISTEMA
TERRITORIALE
IBLEO

DUOMO DI SAN GIORGIO

RAGUSA IBLA | 9 giugno 2025, ore 19:30

Introduce la Presidente della Provincia Maria Rita A. Schembri

LA MEMORIA DEGLI EVENTI - Recitazione di alcuni versi del poeta dialettale ragusano Giuseppe Bonafede, tratti dalla sua oda dedicata al Terremoto di Messina del 1908.

Apertura Concerto, all'Organum maximum il M° Marco D'Avola

LA MUSICA ORGANISTICA BAROCCA E ROMANTICA IN ITALIA

Repertorio:

- Tomaso Albinoni (1671-1751), Adagio in sol min.
- Vincenzo Bellini (1801-1835), Sonata in sol magg. - Casta Diva, Norma
- Giovanni Morandi (1777-1856), Offertorio in re magg.
- Giulio Caccini (1551-1618), Ave Maria
- Gaetano Donizetti (1797-1848), Grande offertorio in do magg.
- Pietro Mascagni (1863-1945), Santa Maria (da Interm. Cavalleria rusticana)
- Marco d'Avola (1959), Elevazione op.40 n.2



Marco D'Avola



9 e 10 giugno 2025

Hotel Mediterraneo Palace

Via Roma, 189 | Ragusa

Il Duomo di San Giorgio a Ragusa Ibla ospita l'**Organum maximum**, un pregevole organo Serassi (opera 833) costruito tra il 1881 e il 1882. Questo strumento è dotato di tre tastiere da 61 note, una pedaliera da 18 note e 3368 canne. La famiglia Serassi, rinomata dinastia di organari attivi dal 1720 al 1895, ha realizzato numerose opere in Lombardia, Emilia-Romagna, Piemonte e Liguria. Il Duomo di San Giorgio è sede di importanti festival organistici internazionali che attirano maestri da tutta Europa.

Il Maestro **Marco D'Avola**, organista diplomato al Conservatorio Bellini di Palermo, si è perfezionato con Maestri di fama internazionale e ha tenuto concerti in Europa e negli Stati Uniti, in luoghi prestigiosi come la St. Patrick's Cathedral di New York e la Westminster Abbey di Londra. È anche laureato in Giurisprudenza. Come compositore, D'Avola ha creato numerose opere sinfoniche, corali e strumentali, inclusa una "Messa di Requiem" dedicata a Papa Giovanni Paolo II. È membro del Royal College of Organists di Londra e dell'International Fellowship of Rotarian Musicians (U.S.A.), ed è Direttore Artistico dei Festival Organistici Internazionali "Città di Ragusa" e "Itinerari Organistici Iblei", oltre a essere Ispettore Onorario della Regione Sicilia per gli organi antichi.



Ragusa superiore in alto e Ibla in basso

**IL TAVOLO TECNICO SCIENTIFICO
ISTITUITO DALLA PRESIDENZA DEL LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI RAGUSA**

La Presidente del Libero Consorzio Comunale di Ragusa, prof.ssa **Maria Rita Annunziata Schembari**, ha convocato la prima riunione del Tavolo tecnico scientifico dedicato agli Scenari di Rischio del Sistema Territoriale Ibleo in data 15 settembre 2025.

E' stata formata un'agenda dei lavori che comprende i seguenti scenari:

- rischio sismico, sicurezza della popolazione e patrimonio vulnerabile
- intrusione salina negli acquiferi costieri, circolazione delle acque sotterranee, suoli e contaminazione da pesticidi
- inquinamento da materie plastiche nella fascia costiera occupata dalle serre, impatti sulla salute da micro e nanoplastiche
- marine litter e marine pollution
- rischio alluvionale e parti urbane esposte, prevenzione e mitigazione degli impatti da eventi meteo estremi
- inquinamento petrolifero, attività di pesca, tutela delle praterie di Posidonia oceanica
- erosione costiera
- costoni rocciosi instabili e monitoraggio della parti urbane esposte a rischio
- perdite di acquedotto nelle reti idriche comunali e contaminazioni organiche dovute al collassamento delle condutture idriche e fognarie (*vetustà e usura delle infrastrutture non adeguate al traffico veicolare pesante*)
- attività di simulazione di eventi calamitosi con il supporto di medici e psicologi specialisti in medicina delle catastrofi e supporto psicologico in emergenza (attività in collaborazione con il Dipartimento regionale della Protezione civile e le organizzazioni di Volontariato).

Nella prima riunione sono stati affrontati gli scenari del rischio sismico e quello dell'intrusione salina negli acquiferi costieri.

Il Tavolo tecnico scientifico è composto da:

- **Francesco Venerando Mantegna**, Esperto del Ministero dell'Università e della Ricerca (PON), già Membro del Consiglio Scientifico dell'ISPRA e già Presidente del Comitato Istituzionale per la sorveglianza sismica e vulcanica in Sicilia
- **Domenico Patanè**, Dirigente di ricerca dell'INGV, Osservatorio Etneo di Catania, Geofisico, Sismologo, Esperto di geofisica applicata e nell'ingegneria sismica
- **Sergio Gurrieri**, Dirigente di Ricerca INGV, Sezione Geochimica di Palermo, Geochimico, Esperto di monitoraggio ambientale e tecnologie applicate
- **Massimo Chiappini**, Dirigente di Ricerca e già Direttore del Dipartimento Ambiente INGV, Esperto di geofisica ambientale e modellistica crustale
- **Giovanni Randazzo**, Professore ordinario di Geografia fisica e geomorfologia, Senatore accademico, Università degli Studi di Messina
- **Marco Anzidei**, Dirigente di ricerca INGV, Esperto sulle variazioni di livello del Mare Mediterraneo
- **Rosario Ruggieri**, Idrogeologo, già Dirigente del Servizio Acque del Genio Civile di Ragusa, Membro della Karst Commission - Unione Internazionale Idrogeologi
- **Antonio Megna**, Agronomo, ricercatore senior di analisi agrarie, esperto di nutrifisiologia vegetale, sistemi esperti di fertilizzazione e reti neurali
- **Giorgio Flaccavento**, Professore di Italiano e Storia, già Dirigente scolastico, Esperto di storia e urbanistica della città di Ragusa
- **Raffaele Falconieri**, Dirigente I e V Settore LCCR e Comandante della Polizia Provinciale
- **Carlo Sinatra**, Ingegnere, Dirigente IV Settore LL.PP. e Infrastrutture del LCCR
- **Rosario Mineo**, Fisico, Responsabile delle Reti Geofisiche LCCR
- **Francesco Roccaro**, Medico, specialista in Medicina delle catastrofi e gestione sanitaria negli scenari emergenziali
- **David Venerando**, Funzionario INGV di supporto amministrativo, organizzativo e funzionale alla Convenzione INGV-LCCR.



15 settembre 2025, prima riunione del Tavolo tecnico scientifico, palazzo della Provincia

Ringraziamenti



Un sentito ringraziamento alla Presidente della Provincia-Libero Consorzio Comunale di Ragusa prof.ssa Maria Rita Annunziata Schembaci che ha fatto da padrona di casa dell'evento, al Sindaco di Ragusa avv. Peppe Cassì, al Vescovo di Ragusa mons. Giuseppe La Placa, ai parlamentari On. Giorgio Assenza e On. Nello Dipasquale, al Prefetto prof. Stefano Laporta Presidente dell'ISPRA e SNPA, alla Prefettura di Ragusa e alle Autorità civili e militari intervenute, a tutti i prestigiosi Relatori per la loro disponibilità e la stesura dei rispettivi interventi in forma più ampia rispetto ai limiti di tempo imposti dai lavori seminarii.

Un particolare apprezzamento al personale INGV che ha curato lo svolgimento dell'evento: al dr. David Venerando funzionario distaccato a Ragusa presso il Libero Consorzio Comunale per il supporto amministrativo e funzionale alla Convenzione INGV-LCCR, alla dr.ssa Isabella Munda che ha condotto i lavori al fianco del Direttore del Dipartimento Ambiente INGV e curato i rapporti con gli organi di stampa, alla dr.ssa Francesca Schiavoni e alla collega Loredana Salzano che hanno curato la corrispondenza e l'accoglienza delle autorità e dei cittadini ai lavori, alla dr.ssa Lili Cafarella che ha curato i rapporti con i responsabili dei social media delle Istituzioni.

Analogo apprezzamento al personale INGV della Sezione di Palermo: a Giuseppe Messina che ha curato la regia audio e video, a Loredana Napoli per la logistica e ai ricercatori Roberto Di Martino, Giuseppe Luca Passa Fiume, Filippo Altavilla, Paolo Cosenza.

Un ringraziamento speciale al Maestro organista prof. Marco D'Avola per lo splendido concerto eseguito all'Organum maximum del Duomo di San Giorgio, che ci ha fatto dono del magnifico repertorio di musica barocca nello spazio culturale dedicato alla Memoria degli Eventi. Un ringraziamento al Parroco del Duomo don Giuseppe Antoci e al sacrista Francesco Criscione per la sensibilità e la preziosa assistenza.

Grazie al dr. Francesco Roccaro per l'assidua collaborazione tecnica e ancor più per la sua disponibilità a collaborare nel gruppo di lavoro in veste di specialista in Medicina delle catastrofi.

Dulcis in fundo, un ringraziamento particolare alla dr.ssa Sonia Fuschi, Madrina artistica dell'Evento, che oltre al suo messaggio di grande armonia tra Scienza e Arte, ha voluto donare una delle sue opere all'INGV, la cui immagine è qui riprodotta a fianco.

Massimo Chiappini - Francesco Venerando Mantegna

Si fa espresso divieto di riprodurre integralmente o parzialmente i contenuti della presente pubblicazione per iniziativa di altri soggetti, senza la preventiva e formale autorizzazione da parte del Coordinamento dei Lavori del Seminario,
a seguito di motivata richiesta indirizzata a:
protocollo@pec.provincia.ragusa.it