



**COMUNE DI SESSA AURUNCA  
PROVINCIA CASERTA**

**PIANO URBANISTICO COMUNALE  
STUDIO GEOLOGICO**

**Elaborato GEO-T-00  
RELAZIONE GEOLOGICO - TECNICA**

Maggio 2023

Ph. D Geol. Michele Nappi

Ph. D Geol. Gerardo De Nisco

Geol. Angelo D'Onofrio



## Sommario

Premessa .....	2
Inquadramento geografico e caratteristiche territoriali .....	4
Geologia – caratteri generali .....	5
Il vulcano Roccamonfina .....	5
Il contesto carbonatico-arenaceo .....	9
Il contesto alluvionale .....	10
Storia sismica e inquadramento sismotettonico .....	11
Strutture sismogenetiche dell'Appennino Meridionale .....	16
Sismicità locale .....	20
Definizione della pericolosità sismica di base e degli eventi di riferimento .....	21
Carta Geo-Litologica .....	25
Indagini di campo e di laboratorio .....	30
Prove d'identificazione .....	31
Analisi granulometrica .....	32
Prova di taglio .....	33
Indagini sismiche – Down-Hole e profili sismici - Sintesi dei risultati .....	34
Carta della Stabilità .....	36
Carta Idrogeologica .....	39
Complessi Idrogeologici .....	40
Complesso delle sabbie .....	40
Complesso alluvionale .....	40
Complesso calcareo dolomitico .....	41
Complesso prevalentemente arenaceo .....	41
Complesso detritico .....	41
Complesso delle piroclastiti in posto o rimaneggiate .....	42
Complesso dei tufi .....	42
Complesso delle lave .....	42
Carta della zonazione in prospettiva sismica .....	43
Zonazione per suscettibilità alla liquefazione .....	46
Sezioni geologiche ed ipotesi morfoevolutiva .....	47
Conclusioni .....	49

## Premessa

Con determinazione n° 13 del 27/03/2023 (a seguito di RdO n° 3480977) il Responsabile del Settore X Assetto del Territorio conferiva al geol. Michele Nappi in qualità di Capogruppo di un RTP denominato Nappi-De Nisco-D'Onofrio, l'incarico relative alla *“attività di redazione dello studio geologico per la redazione definitiva del PUC”*.

Il presente studio geologico, riprende il precedente studio geologico redatto nell'anno 2007 dall'Unità Operativa “Dinamiche del territorio in area sismica”, responsabile Prof. Geol. Giuseppe Luongo dell'Università Federico II di Napoli, facente parte del CRdC BENECON con la responsabilità scientifica del Prof. Arch. Carmine Gambardella Direttore del Dipartimento di Cultura del Progetto della Seconda Università di Napoli; a tale studio gli scriventi geologi Nappi Michele e Gerardo De Nisco parteciparono sia alle fasi di indagine che a quelle di sintesi, firmando tutti gli elaborati progettuali.

Per la redazione dello studio geologico del 2007 è stata realizzata una campagna di indagini geognostiche e sismiche che ha permesso di caratterizzare dal punto di vista geologico tecnico il territorio comunale di Sessa Aurunca con particolare riferimento ai nuclei abitati delle principali frazioni comunali; sulla scorta delle indagini e di rilievi eseguiti e alla luce di un'approfondita ricerca bibliografica, furono redatte le carte tematiche previste dalla normative vigente.

L'attuale incarico ricevuto dagli scriventi è stato espletato essenzialmente con un aggiornamento della base cartografica passando dalla CTR 2004 all'ultima versione disponibile del 2011, con il recepimento degli aggiornamenti del PSAI e con la redazione della carta della zonazione del territorio in prospettiva sismica così come stabilito dalla DGR n° 118 del 27/05/2013 ovvero redatta come definito negli standard ICMS 2008 (Carta delle MOPS - Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, livello 1).

Al fine di redigere la carta della zonazione del territorio in prospettiva sismica e le sezioni geologiche interpretative è stata effettuata una campagna di indagine sismica che ha integrato quella precedentemente eseguita, oltre a recepire le indicazioni stratigrafiche derivanti dai pozzi ad uso irriguo presenti sul portale dell'ISPRA e il sondaggio profondo MONDRAGONE 1 realizzato da AGIP nel 1968.

Questa relazione è redatta come sintesi di tutte le conoscenze acquisite.

Gli studi geologici ed i documenti elencati e descritti sono improntati a criteri di oggettività e correttezza scientifica, reale fattibilità e possibilità di verifica. Detti documenti sono stati realizzati nel rispetto ed in armonia con quanto previsto dalle normative nazionali e regionali vigenti e alle relative modifiche ed integrazioni, ed in particolare a:

- Legge n° 64 del 2 febbraio 1974 “*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche*”;
- Legge Regionale n° 9 del 7 gennaio 1983 “*Norme per l’esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico*”, da produrre a corredo del P.R.G.;
- D.M. LL. PP. dell’11.03.1988 “*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*”;
- D.G.R. Campania n° 5447 del 07.11.2002 “*Aggiornamento della classificazione sismica dei comuni della Campania*”;
- OPCM 3274 del 20.03.2003 “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche*”;
- Legge Regionale n° 16 del 22.12.2004 “*Norme sul Governo del Territorio*”;
- DM 17.01.2018 “*Norme tecniche per le costruzioni*”

In riferimento alla L.R. 9/83 sopra citata, si rileva che questa fornisce gli strumenti urbanistici esecutivi di cui si devono dotare i comuni dichiarati sismici. Tali strumenti sono definiti dall’art 14 che recita come segue: “*Prima della formazione, revisione ed adeguamento degli strumenti urbanistici generali o loro varianti, ogni Comune della Regione dichiarato sismico o ammesso a consolidamento, è tenuto a predisporre indagini geologiche – geognostiche, ai fini della prevenzione del rischio. Le indagini dovranno reperire dati per la compilazione delle seguenti carte:*

- *Carta Geolitologica*
- *Carta della Stabilità*
- *Carta Idrogeologica*
- *Carta della Zonazione del territorio in prospettiva sismica*

Le indicazioni tecniche contenute nella presente relazione e negli elaborati ad essa collegati hanno valore in sede di pianificazione territoriale e non sostituiscono le indagini geologiche, geotecniche e sismiche di dettaglio, da effettuarsi in sede di progettazione esecutiva dei singoli interventi, e previste come riportato dal D.M. 11/03/88 “*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*” e dal Decreto 17/01/2018 “*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*”.

## Inquadramento geografico e caratteristiche territoriali

Il Comune di Sessa Aurunca si sviluppa al limite settentrionale della Regione Campania, al confine con la Regione Lazio; esso si estende per circa 162 Km<sup>2</sup> ed è limitato a W-NW dal corso del fiume Garigliano, ad W-SW dal litorale del mar Tirreno, a S dal rilievo del monte Massico e a N dai Comuni di Rocca d'Evandro, Galluccio, Roccamonfina e Teano.

Il territorio comunale è caratterizzato, oltre che dagli elementi già evidenziati, anche e soprattutto dal rilievo del vulcano Roccamonfina che ne occupa la parte nord orientale (Fig. 1).

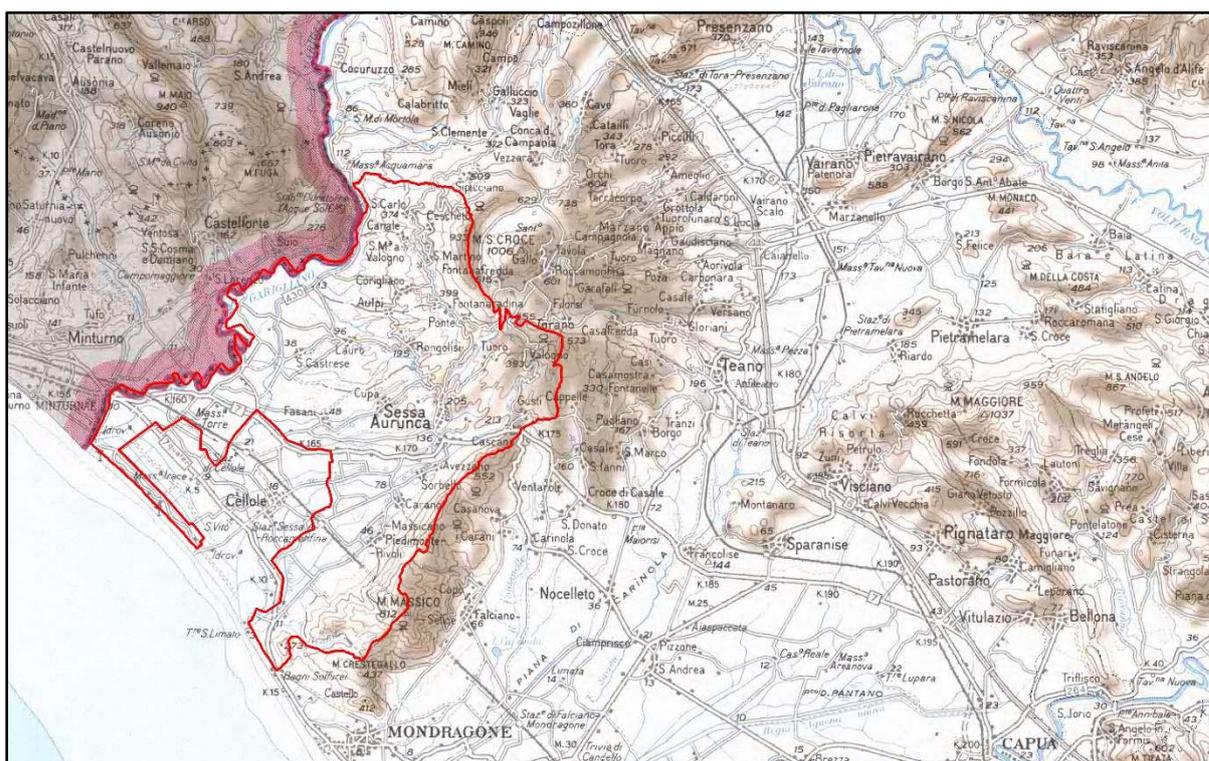


Fig. 1 – Inquadramento geografico del territorio di Sessa Aurunca

Oltre al centro urbano del capoluogo, ubicato nella zona NE del territorio comunale, sono presenti numerose frazioni sparse su tutto il territorio: le frazioni di Cascano, Avezzano, Sorbello, Carano e Piedimonte Massicano ubicate ai piedi del monte Massico; Baia Azzurra-Levagnole e Baia Domitia presenti sul litorale tirrenico; Fasani, Cupa, S. Castrese, Lauro e Rongolisi presenti nella parte centrale del territorio; Valogno, Tuoro, Sassi, Ponte, Fontanaradina, Corigliano, Aulpi, S. Martino, Cescheto e S. Carlo presenti nella parte settentrionale del territorio. Sono altresì presenti molti nuclei abitati di ridotte dimensioni e con una popolazione a volte di poche centinaia di persone oltre a numerosi aggregati di case sparse. Nel presente studio sono state caratterizzate ogni frazione del territorio dal punto di vista geologico tecnico e sismico senza perdere di vista l'obiettivo generale di fornire un modello geologico interpretativo di tutto il territorio comunale.

## **Geologia – caratteri generali**

Il territorio del Comune di Sessa Aurunca si sviluppa prevalentemente sul versante meridionale del vulcano di Roccamonfina, estendendosi a SW oltre l'*Apron* dell'apparato vulcanico fino al mare.

Le rocce affioranti sono di natura vulcanica di deposizione primaria con meccanismi da flusso (lave e colate piroclastiche dense) o da caduta, depositi alluvionali e calcari.

### **Il vulcano Roccamonfina**

Il vulcano poggia su sedimenti di ambiente lagunare del Pleistocene, della sequenza della "Valle del Liri", sovrastanti arenarie e marne Cenozoiche che, a loro volta, ricoprono una potente serie carbonatica mesozoica.

La nascita del vulcano è associata alla tettonica distensiva del margine tirrenico. In particolare il vulcano emerge in una complessa struttura a graben formata da due sistemi di faglie ad andamento appenninico ed antiappenninico. Quest'ultimo, noto come graben del Garigliano, avrebbe troncato la struttura ad andamento appenninico e condizionato l'evoluzione strutturale del vulcano con il collasso del versante orientale e la formazione della caldera sommitale. I numerosi centri eruttivi eccentrici distribuiti fino a quote inferiori a 200 metri, senza mostrare particolari allineamenti, evidenziano l'azione di un campo di sforzi locale molto attivo. Tali centri eruttivi sono coni di scorie, ai quali talvolta sono associate colate di lava, o duomi lavici.

Il vulcano è costituito dall'alternanza di colate di lava e flussi piroclastici in orizzonti a debole pendenza (5°-8°). L'edificio vulcanico è ben conservato nella zona occidentale, dove il versante si raccorda dolcemente alla pianura, e distrutto nella parte orientale. Frequenti sono le valli radiali che incidono in profondità i fianchi del vulcano.

I prodotti che costituiscono la struttura del vulcano sono: leucititi, tefriti-leucitiche, tefriti fonolitiche a leucite, fonoliti tefritiche a leucite e fonoliti leucitiche.

Dell'attività eruttiva al vulcano di Roccamonfina in tempi storici, mancano dati attendibili. Le datazioni assolute fanno risalire l'inizio dell'attività a circa 600.000 anni fa.

Informazioni sulla struttura profonda del vulcano sono fornite dalla stratigrafia di una perforazione effettuata nel 1985 nel territorio di Gallo per ricerche geotermiche. Il pozzo è stato perforato sul lato Ovest del duomo di M. S. Croce, all'interno della caldera, fino alla profondità di 886.7 m (Fig. 2).

## PROFILO STRATIGRAFICO

Sondaggio GALLO 85-1

Roccamonfina (CE)

Coordinate UTM: VF 413550 E - 4573687 N

Quota: 670 m

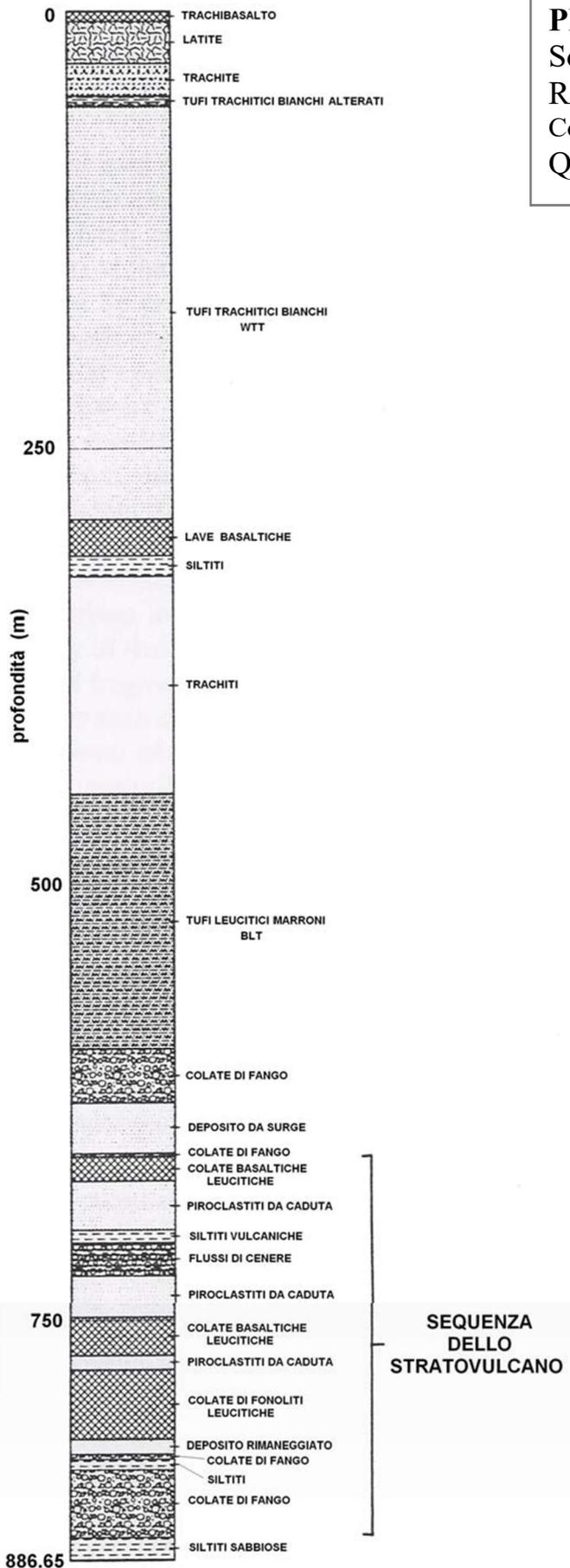


Fig. 2 – Sondaggio profondo in località Gallo

La perforazione attraversa l'intera serie vulcanica fino ai sedimenti post miocenici. La successione stratigrafica inizia con un flusso trachibasaltico che ricopre il limite estremo del M.S.Croce, poi, si passa a blocchi trachibasaltici e flussi cinerei che poggiano sull'unità sottostante, formata da una sequenza dello spessore di 237 m di tufi pomicei ricchi in litici, indicati in letteratura come White Trachytic Tuff (WTT). Alla base dei tufi WTT si sviluppa uno strato di siltiti dello spessore di alcuni metri che segnala una temporanea quiescenza nell'attività vulcanica. Segue una successione di numerosi flussi lavici, di natura trachitica e trachibasaltica, per una potenza di 124 m.

Al di sotto si rinviene un banco tufaceo, noto in letteratura con la denominazione Brown Leucitic Tuff (BLT), per uno spessore di circa 150 m. Segue una colata di fango, che ricopre depositi di surge e depositi di cenere rielaborati. Alla profondità di circa 660 m inizia la sequenza dello stratovulcano che include flussi di basalti leucitici, depositi piroclastici da caduta ricchi in pomice e flussi di ceneri ricchi in litici. L'unità più bassa dello stratovulcano, è una colata di fango, che contiene significative quantità di xenoliti sedimentari, tendenti ad aumentare in profondità. Nella parte finale del foro si rinvencono siltiti sabbiose.

Di fondamentale importanza, ai fini, della conoscenza della struttura del vulcano e del suo basamento, risultano i lavori di carattere geofisico. Negli anni 1985-86 sul vulcano di Roccamonfina furono effettuate indagini geofisiche finalizzate all'esplorazione di sorgenti ad alta entalpia geotermica.

I dati gravimetrici, magnetotellurici (MT) ed elettromagnetici (TDEM) mostrano che l'edificio vulcanico giace su una struttura complessa, formata da un basamento roccioso che consiste in una sequenza di carbonati mesozoici, coperti da una spessa unità di flysch Miocenico.

Il vulcano si colloca in un'area di minimi gravimetrici, risultante dall'intersezione di due zone allungate di minimi con trend NE-SW e N-S corrispondenti a strutture a graben.

Una sintesi delle conoscenze geologiche e geofisiche sulla struttura del Roccamonfina e del basamento sul quale si è costruito il vulcano, è riportata in una sezione E-W che si sviluppa fino alla profondità di 2 km (Fig. 3).

Nell'evoluzione dell'attività del vulcano di Roccamonfina sono largamente presenti formazioni tufacee prodotte da eruzioni ignimbriche che caratterizzano due stadi della storia del vulcano. Al primo stadio appartengono diverse eruzioni esplosive che hanno messo in posto ignimbrite conosciute come tufo leucitico marrone (BLT) durante questa fase, datata a circa 380.000 anni, è probabile che ci sia stato l'iniziale collasso della caldera sommitale principale.

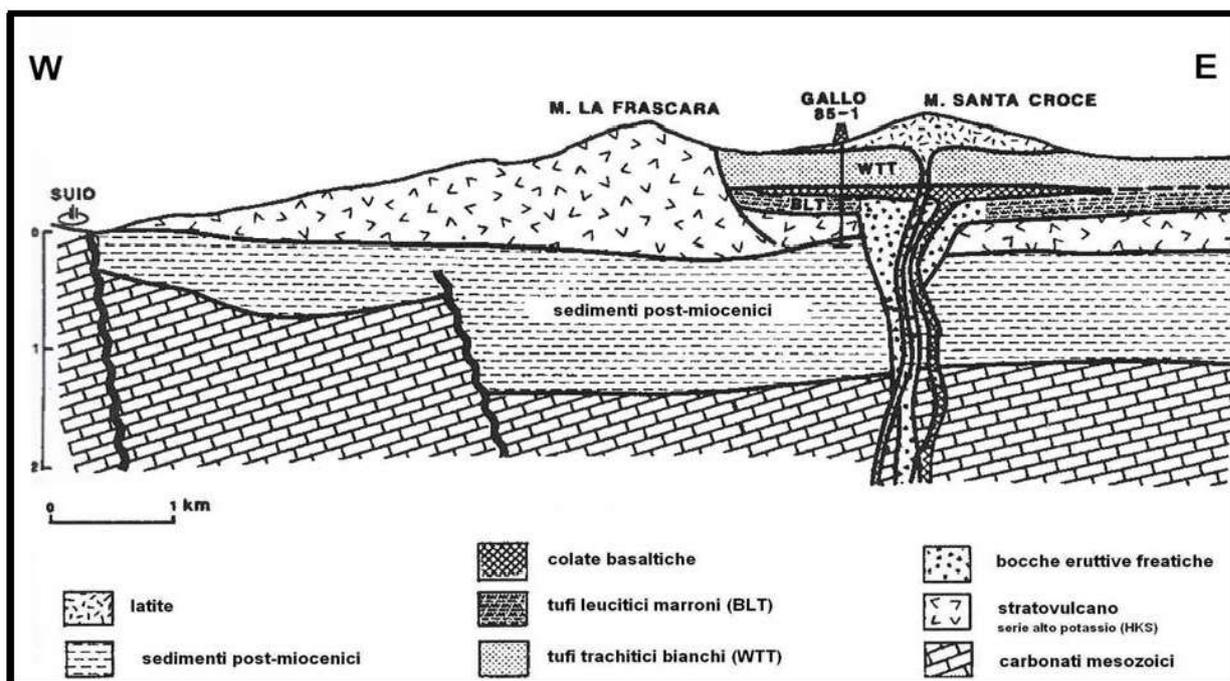


Fig. 3 - Sezione E-W dell'apparato vulcanico del Roccamonfina e del basamento sedimentario dai dati geologici di campo, della geofisica e dalla perforazione Gallo.

Successivamente ci sono state altre eruzioni esplosive, a cui si sono associati altri collassi della caldera, e le più importanti misero in posto un tufo trachitico bianco, (WTT: White Trachytic Tuff) circa 300 ka fa.

Il WTT contiene più di un paleosuolo intercalato ed è, pertanto, il prodotto di più eruzioni. L'unità più antica è il WTTG di Cupa. L'evento più recente del WTTG (1-2) è denominato "Tufo di Galluccio" formato da tre unità eruttive: Tufo di Galluccio Inferiore (WTTG), Medio (WTTG1) e Superiore (WTTG2).

Tra il WTTG di Cupa e il WTTG di Galluccio si collocano, dal più antico al più giovane, il WTTA di Aulpi e il WTTSC di San Clemente, tutti separati da paleosuoli ben sviluppati.

Inoltre i WTTG di Cupa e i WTTG (1-2) di Galluccio sono suddivisi in sottosistemi in quanto mostrano evidenti discontinuità. L'eruzione del WTTG Galluccio è stata la più estesa.

Ogni sequenza eruttiva è caratterizzata da una complessa stratificazione interna, legata a cambiamenti nelle condizioni eruttive, costituita da depositi di caduta, di surge e di flusso piroclastico.

Le caratteristiche delle quattro unità eruttive del WTT a partire dalla più antica, sono le seguenti:

L'unità eruttiva del WTTG di Cupa è esposta in maniera discontinua e stratigraficamente è suddivisa in due subunità superiore ed inferiore, separate da un intervallo temporale.

La subunità inferiore inizia con un deposito di base surge seguito da un'ignimbrite. Al top di

questa unità sono localizzati depositi sedimentari rielaborati.

La subunità superiore è costituita, principalmente, da ignimbriti massive, esposte solo nel settore occidentale del vulcano;

I depositi del WTTA Aulpi si trovano sul pendio SW del vulcano. Alla base è presente un deposito da caduta contenente litici e pomice con uno spessore di 30-40 cm. Il deposito basale presenta una gradazione inversa ed è seguito da depositi da surge, e, poi, da due ignimbriti massive;

La sequenza stratigrafica di WTTSC di S. Clemente inizia con un deposito da caduta contenente pomice, segue un deposito da surge, ricco in pomice, al di sopra del quale vi è un'ignimbrite massiva;

La sequenza eruttiva del WTTG (1-2) Galluccio è la più potente e la più estesa tra i tufi bianchi trachitici. La stratigrafia è caratterizzata da una sequenza complessa da caduta, di surge e di depositi di flusso piroclastico, ed è suddivisa in subunità. La subunità inferiore è costituita da depositi da caduta, di surge e di flusso piroclastico, e presenta, alla base, depositi freatomagmatici a grana fine; quella inferiore è costituita principalmente da ignimbrite.

I flussi piroclastici nelle zone prossimali al collasso eruttivo, sono caratterizzati da moti turbolenti, laminari, nelle zone mediali; a "plug" nelle aree distali prima della messa in posto finale. Nella zona prossimale ed al fronte i flussi sono stati molto fluidificati, mentre nelle zone mediali e distali il processo di fluidificazione è meno sviluppato.

Da un punto di vista strutturale il vulcano è costituito da bancate di lava omogenea e ricca di cristalli di leucite di grosse dimensioni. Queste bancate sono estese solo in alcuni punti, mentre in genere si risolvono in grossi blocchi isolati, sono coriacee nella parte inferiore e bollose nella parte superiore; in alcuni casi si presentano sovrapposte direttamente l'una all'altra, in altri casi si alternano a strati di prodotti piroclastici.

I maggiori affioramenti si osservano in corrispondenza della cinta calderici sommitale. Queste lave sono prevalentemente tefriti leucitiche, leucititi tefritiche e fonoliti leucitiche.

## **Il contesto carbonatico-arenaceo**

La parte meridionale del territorio comunale è caratterizzata dalla presenza del monte Massico, un rilievo che raggiunge la quota massima di circa 800 m slm. In effetti il massiccio del Massico è suddiviso in differenti rilievi: nella porzione più meridionale è presente il monte Costa a sole e monte Malagna con quota massima di circa 490m. Questa porzione del massiccio del Massico è caratterizzata dalla presenza di depositi del Miocene medio e superiore costituiti dai più antichi

calcari detritici, calcareniti e calcilutiti fino alle più recenti calcareniti organogene.

Spostandoci verso le porzioni più settentrionali si lambisce la vetta del monte Massico fino ad arrivare alla cima di monte S. Martino (556 m) per poi passare per monte Tre Croci e monte Pecoraro (552m) fino a giungere a monte Crocifisso (468 m). Dal punto di vista geologico si tratta di depositi calcareo-dolomiti che vanno dal Trias superiore fino al Cretacico superiore.

Il massiccio del Massico è interessato da un'importante fagliazione bordiera a carattere distensivo con direzione NE-SW, che ribassa verso nord i depositi calcareo dolomitici; fagliazioni coniugate con direzione NW-SE interessano il massiccio dislocando i depositi arenacei e calcareo-dolomitici e dando origine a valli susseguenti.

Sui rilievi sono presenti depositi piroclastici da caduta che hanno però generalmente spessori inferiori ai 3m.

La parte pedemontana del massiccio del Massico è interessata dalla presenza di una estesa anche se poco spessa falda di detriti da sciolti a poco cementati. A questi depositi, procedendo verso NW fanno seguito i depositi tufacei descritti in precedenza mentre si segnala nella zona pedemontana di Avezzano, Sorbello e Carano la presenza di depositi fluviali costituiti da conglomerati sabbiosi e litici lavici a spigoli arrotondati di età di circa 360.000 anni

### **Il contesto alluvionale**

Nella porzione occidentale del territorio comunale, in prossimità del corso del fiume Garigliano sono presenti depositi alluvionali costituiti essenzialmente da argille sabbiose e sabbie ghiaiose di età recente e attuale. Tali depositi sono legati al disfacimento dei depositi essenzialmente tufacei e al loro successivo trasporto verso valle.

Nella zona litorale sono presenti depositi sabbiosi e sabbioso limosi con la presenza di un'estesa duna litorale più continua e intatta nella parte più settentrionale della fascia costiera.

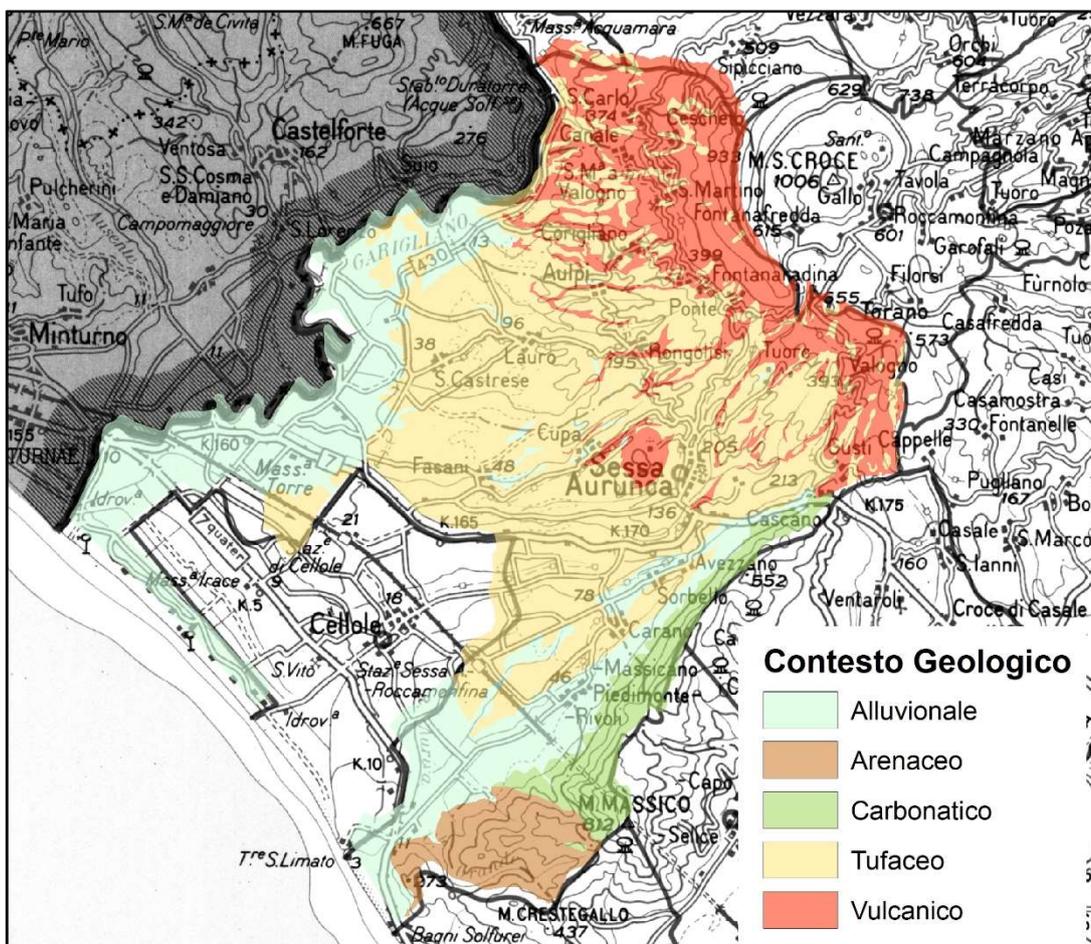


Fig. 4 – Contesti geologici del territorio analizzato

## Storia sismica e inquadramento sismotettonico

L'analisi della storia sismica ha lo scopo di definire la scuotibilità di un'area, ovvero l'intensità del moto al suolo corrispondente ad una data probabilità di occorrenza.

L'intensità del moto del suolo è rappresentabile attraverso ampiezza e contenuto in frequenza. L'analisi strumentale degli eventi sismici è iniziata in Italia nella prima metà del secolo scorso. I dati raccolti, se da un lato hanno fornito informazioni importantissime per la comprensione dei fenomeni sismici, non rappresentano un set statisticamente significativo in quanto si riferiscono ad una serie temporale troppo breve.

Per la maggior parte degli eventi storici si dispone soltanto di una valutazione dell'intensità del danno in prossimità dell'area epicentrale, generalmente valutata con la scala MCS, ricavata dall'analisi di fonti storiche.

Inoltre l'attendibilità di questi dati tende a diminuire andando indietro nel tempo ed il parametro intensità non ha una corrispondenza biunivoca con le grandezze accelerazione e velocità che

descrivono il moto del suolo.

Lo studio della sismicità recente ha però consentito di mettere a punto dei criteri per esprimere le correlazioni intensità macrosismica e i valori di picco del moto al suolo, attraverso le quali è possibile estendere la significatività dei dati storici disponibili.

Dopo il terremoto irpino del 1980 un intenso lavoro di raccolta e catalogazione dei dati sismici è stato eseguito dal CNR prima e dall'INGV dopo, per cui attualmente si dispone di un'accurata analisi di un numero abbastanza elevato di eventi sismici avvenuti nelle aree sismogenetiche di interesse per l'area in oggetto.

Si dispone inoltre di leggi di attenuazione sia in termini di intensità macrosismica che di accelerazioni e/o velocità del moto del suolo.

In definitiva si dispone di più di un dato per la valutazione della pericolosità sismica dell'area investigata, e ciò consente di ottenere mediante la loro comparazione un miglioramento della stima del livello di scuotibilità.

Le fonti di tali analisi sono stati il Catalogo dei forti terremoti italiani (CFTI 5med), il Catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI.DBm15 v 4.0) e il Modello di pericolosità sismica MPS04-S1.

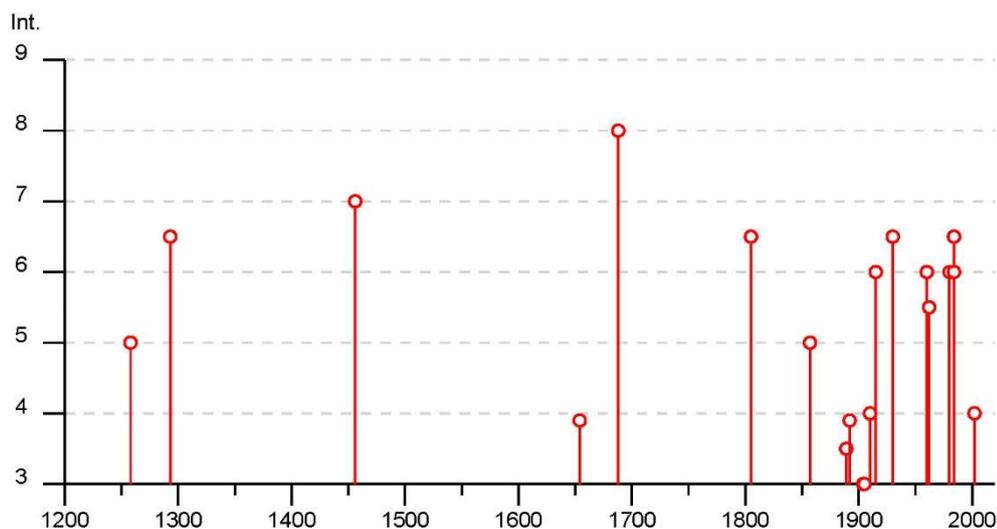


Fig. 5 – Distribuzione temporale dei terremoti risentiti nel territorio di Sessa Aurunca

La storia sismica del territorio oggetto di indagine evidenzia che, in generale, gli effetti osservati sono prodotti prevalentemente da sorgenti sismiche localizzate nell'Appennino e solo in piccola parte da sorgenti locali (Fig. 6).

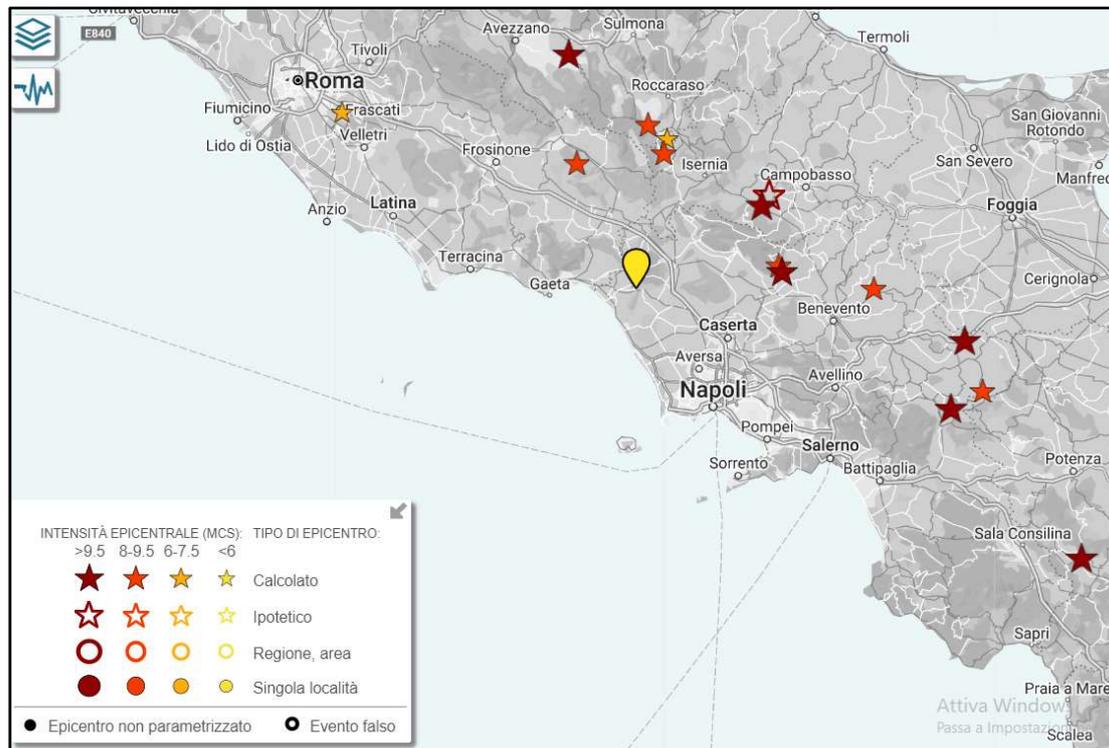


Fig. 6 – Distribuzione spaziale dei maggiori terremoti che hanno avuto risentimenti nel territorio di Sessa Aurunca

Il terremoto del 23.11.1980 rappresenta l'ultimo di una serie di eventi distruttivi che hanno interessato l'Appennino Meridionale in tempi storici.

L'analisi degli effetti dei terremoti storici più distruttivi ed in particolare l'involuppo delle isosiste che racchiudono le aree con intensità IX grado MCS definiscono con sufficiente chiarezza la fascia sismogenetica appenninica, determinata da movimenti di grandi masse rocciose lungo superfici di faglia profonde. Infatti gli studi più recenti, e in particolare quelli condotti sul terremoto del 23.11.1980, indicano che le profondità ipocentrali sono, in generale, comprese tra 10 e 15 km e che l'energia sismica è liberata lungo segmenti di faglia della lunghezza di alcune decine di km. Questi segmenti spesso si attivano in tempi differiti anche della durata di diverse decine di anni, allora si osserva una migrazione dell'attività lungo l'asse della fascia sismogenetica.

Talvolta l'attivazione di più sorgenti è quasi contemporanea, come sarebbe accaduto per il grande terremoto del 1456 che è caratterizzato da un'area di grave danneggiamento molto estesa.

L'analisi della distribuzione spazio-temporale dei terremoti distruttivi dell'Appennino Meridionale mostra che a periodi di grande attività sismica si alternano periodi di quiescenza. Questa distribuzione non è una peculiarità dell'Appennino al contrario è un fenomeno osservato anche in altre regioni del mondo. Questo fenomeno può essere modellato con un campo di forze che produce accumulo di tensioni nelle rocce della Litosfera che poi vengono scaricate periodicamente attraverso l'energia elastica dei terremoti. Il campo di forze ha il suo motore nei processi dinamici che si generano per

l'interazione Astenosfera-Litosfera, sebbene non esista a tutto oggi un modello interpretativo univoco e pienamente soddisfacente dei fenomeni osservati. Per quanto riguarda poi la successione ravvicinata degli eventi, sia in termini temporali che spaziali, un'interpretazione possibile è quella che prevede la rottura di un equilibrio precario nelle rocce sottoposte a sforzi, a seguito di un terremoto. Questo potrebbe, infatti, innescare un processo a catena che perdura un certo numero di anni finché non viene rilasciata dalle strutture sismogenetiche una parte consistente dell'energia accumulata attraverso i processi tettonici.

La sismicità dell'Appennino è un chiaro segno che i processi tettonici che hanno determinato l'attuale configurazione della catena sono ancora in atto. Tuttavia non è evidente una correlazione tra strutture geologiche superficiali e distribuzione dei fuochi sismici. Infatti l'Appennino è una catena a falde, così la tettonica evidente in superficie non corrisponde alle strutture dello strato sismogenetico profondo e pertanto diventa arduo procedere ad un monitoraggio puntuale delle strutture; necessitano allo scopo modelli tettonici complessi.

Per quanto riguarda l'orientazione delle faglie sorgenti dei terremoti di maggiori energia i dati macrosismici e quelli strumentali mostrano che la direzione secondo l'asse longitudinale della catena prevale fortemente rispetto alla direzione trasversale.

Altre sorgenti sismogenetiche, con effetti sul territorio comunale di Sessa Aurunca, sono localizzate nell'apparato vulcanico del Roccamonfina; in questo il livello di sismicità è di gran lunga più basso che nell'Appennino. Le rocce delle aree vulcaniche mostrano proprietà meccaniche peggiori di quelle della crosta in area di catena e tendono inoltre, a peggiorare (bassa rigidità) con la profondità per l'aumento della temperatura.

In tali condizioni sono preclusi elevati accumuli di energia elastica e, quindi, in questi sistemi è praticamente impossibile il verificarsi di eventi sismici paragonabili, per energia, a quelli che si verificano nell'Appennino.

Inoltre proprio l'incremento della temperatura con la profondità limita lo strato sismogenetico a pochi km di profondità. In queste condizioni i terremoti sono caratterizzati dall'aver un'area epicentrale molto limitata e rapida attenuazione degli effetti con la distanza.

L'apparato vulcanico rappresenta la parte "debole" della struttura tettonica regionale e lo sforzo applicato localmente decade rapidamente con una repentina deformazione rappresentata da uno sciame di eventi sismici di bassa o moderata energia, mentre altre parti della faglia o dei sistemi di faglie che si sviluppano al di fuori della struttura vulcanica continuano ad accumulare energia.

La fascia costiera tirrenica del territorio in esame e prossima a Sessa Aurunca è caratterizzata dall'assenza di sismicità. L'analisi neotettonica ha mostrato che in quest'area si sono verificati, negli ultimi milioni di anni, movimenti verticali di alcune migliaia di metri (Fig. 7).

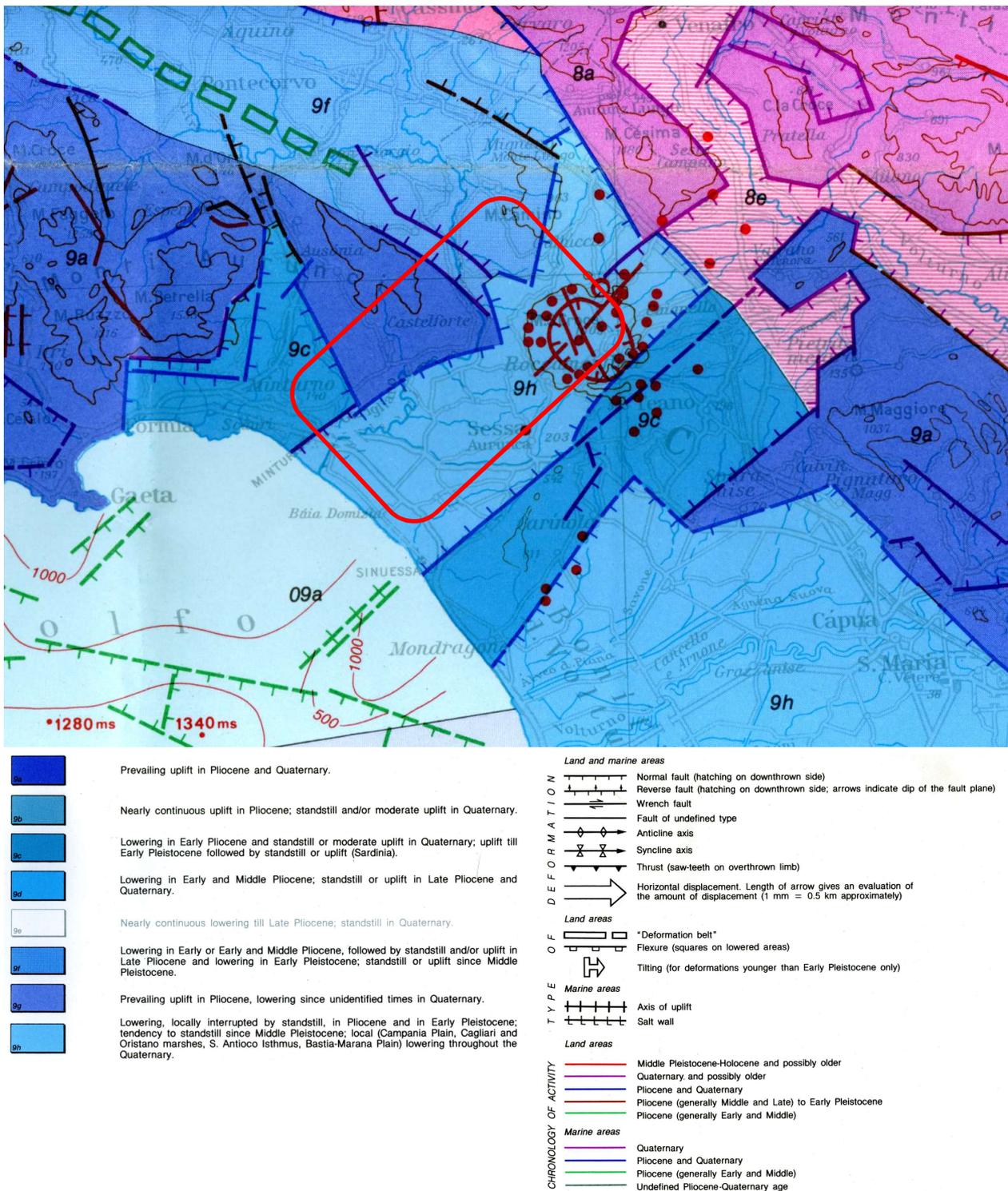


Fig. 7 – Stralcio della Carta Neotettonica d'Italia con in evidenza l'area di studio.

Questa discrasia tra elevata dinamica dell'area e scarsa sismicità può essere interpretata secondo due ipotesi:

- i movimenti in atto sono accompagnati da processi di deformazione lenta;
- il periodo di ritorno è molto lungo rispetto alla serie temporale disponibile.

I modelli sismogenetici finora prodotti sono quelli che si richiamano ad una struttura arco- fossa- bacino marginale prevista dalla teoria della tettonica a zolle. Diversi elementi strutturali giocano a favore di un tale modello, ma numerose incongruenze rilevano anche la complessità dell'area che non può essere interpretata solo in chiave di tettonica globale classica.

Le deformazioni in atto nel bacino Tirrenico e nell'Appennino mostrano che i processi in atto sono più complessi di quanto possa giustificare un modello semplice di subduzione. L'espansione del Tirreno, in seguito alla risalita del Mantello, la migrazione della penisola Italiana verso est, la velocità di migrazione della penisola differenziata procedendo da nord a sud, il sollevamento della catena, il perdurare del campo di sforzi prodotto dalla convergenza delle zolle Africana ed Eurasiatica, sono fenomeni che possono giustificare la complessità delle deformazioni rilevate.

Il modello strutturale proposto per l'Appennino Meridionale è quello di una catena a falde di ricoprimento, ancora in compressione lungo il margine orientale e in forte distensione lungo il margine occidentale.

Lo stato di forte disequilibrio crostale e subcrostale nell'area è testimoniato dai movimenti verticali quaternari, che hanno portato sedimenti marini fino a -3000 metri nelle piane costiere tirreniche e a +1500 metri sul crinale appenninico.

Dislocazioni con 4500 metri di rigetto in meno di 2 milioni di anni possono essere interpretate dall'insorgere di disequilibri nella catena per l'accumulo di masse a bassa densità, durante l'orogenesi, che avrebbe determinato il sollevamento; a questi si sarebbero sovrapposti fenomeni tensionali che avrebbero rapidamente assottigliato ampie porzioni di crosta generando il collasso della fascia tirrenica. Questo processo è testimoniato dalla rapida risalita della discontinuità di Moho che da circa 40 km sotto l'asse della catena si porta ad appena 10- 15 km nella piana abissale tirrenica.

### **Strutture sismogenetiche dell'Appennino Meridionale**

L'analisi della sismicità dell'Appennino evidenzia quattro aree sorgenti di interesse per il territorio di Sessa Aurunca in termini di effetti sensibili alle strutture. Queste aree sono identificate in corrispondenza dei maggiori addensamenti epicentrali.

**Abruzzo Meridionale:** Comprende la porzione più settentrionale dell'Appennino Meridionale; la sismicità di quest'area è in generale di livello medio-basso, ma nelle aree limitrofe la sismicità è

sensibilmente più elevata; si ricorda infatti il terremoto del 13 gennaio 1915 noto come terremoto di Avezzano con  $I_{max}$  di XI MCS (Fig. 4). Per la sismicità recente risulta di particolare interesse la sequenza del Maggio 1984 caratterizzata da due eventi principali, il primo del 7 maggio con  $M_s = 5.8$  (NEIS) ed il secondo dell'11 maggio con  $M_s = 5.2$  (NEIS). Dal punto di vista macrosismico questa sequenza, conosciuta come terremoto di Val Comino, presenta isosiste dal VIII al IV grado MCS, evidenziando un generale allungamento in direzione N-S e nella Piana Campana.

**Molise:** L'attività sismica storica registra due grandi eventi nel 1456 e 1805, con  $I_{max}$  XI e X MCS, rispettivamente, che hanno interessato aree vastissime.

**Sannio:** Quest'area è stata interessata da una forte attività sismica storica. Il terremoto di maggiore energia è l'evento del 1688 che ha il suo epicentro in Cerreto Sannita con  $I_{max} = XI$  MCS (Fig. 6). Nell'ambito dell'attività sismica recente, il terremoto del 21 agosto 1962 è tra quelli a più elevata intensità, raggiungendo nell'area epicentrale il valore del IX grado MCS.

**Appennino Campano-Lucano:** In quest'area la sismicità storica registra il più alto numero di eventi disastrosi, con  $I_{max} = X$  MCS; il più recente è il terremoto del 23/11/80, che è stato uno dei più forti che abbia colpito l'Italia Meridionale ( $I_{max} = X$  MCS).

L'analisi della sismicità storica e recente dimostra che l'area del versante meridionale del Roccamonfina e della piana che si sviluppa tra il Fiume Garigliano a nord ed il Monte Massico a sud e che corrisponde in larga parte al Comune di Sessa Aurunca, è stata interessata dagli effetti dei grandi terremoti localizzati nella Catena Appenninica e da una sismicità locale di bassa energia.

La normativa sismica e la zonazione del territorio si basano sulla pericolosità sismica stimata attraverso un modello sismotettonico costruito su tre specifiche assunzioni: la magnitudo (Intensità epicentrale) degli eventi ha una distribuzione esponenziale (legge di potenza), i tempi di ricorrenza seguono un processo di Poisson e la sismicità è distribuita uniformemente nelle Zone Sismogenetiche. La pericolosità sismica è calcolata sia in termini di intensità macrosismica che di PGA (g) (Picco di Accelerazione del moto del suolo).

L'attribuzione di un terremoto ad una specifica Zona Sismogenetica è generalmente geografico (corrispondenza tra la zona sorgente e la zona dell'effetto massimo) ma in alcuni casi l'interpretazione sismotettonica può suggerire di assegnare l'evento ad una Zona Sismogenetica diversa da quella nella quale sono stati osservati gli effetti maggiori.

La zonazione sismogenetica è definita da vincoli prodotti dal modello cinematico evolutivo

regionale, piuttosto che da quelli associati ad elementi strutturali neotettonici ed alla distribuzione degli epicentri; in quanto i primi sono molto più forti.

Le zone sismogenetiche sono individuate integrando i dati dei cataloghi dei terremoti con i modelli sismotettonici.

Gli eventi sismici, che hanno maggiormente colpito il territorio di Sessa Aurunca sono localizzati nell'Abruzzo Meridionale, in Molise e nell'Appennino Campano.

Limitando la valutazione della pericolosità sismica alla sola analisi dei terremoti di più elevata magnitudo ( $M_s \geq 6.0$ ), in quanto il contributo degli eventi di minore energia è meno significativo, si ottengono per le diverse zone sismogenetiche i seguenti valori del livello di sismicità, rappresentati in numero di eventi normalizzati a 100 anni per  $M_s \geq 6.0$ :

Abruzzo Meridionale      0.8 eventi  
Molise                              0.5 eventi  
Appennino Campano      0.8 eventi

Il periodo di ritorno per questi eventi è compreso tra 125 e 200 anni. I terremoti di maggiore energia e più significativi delle zone sismogenetiche indicate sono:

- terremoto del 1456, noto come terremoto del Matese, prodotto da una faglia che si è sviluppata tra Abruzzo Meridionale e Molise;
- terremoto del 1688, noto come terremoto del Sannio;
- terremoto del 1805, localizzato in Molise;
- terremoto del 1915, noto come terremoto di Avezzano nella Piana del Fucino.

**Elenco dei maggiori eventi sismici che hanno colpito il comune di Sessa Aurunca.**

DATA	EPICENTRO	I <sub>Max</sub> (MCS)	I (Sessa)	Magnitudo	Lunghezza faglia (km)
05.12.1456	MATESE	XI	VII-VIII	7.5	100
05.06.1688	SANNIO	XI	VII-VIII	6.8	45
26.07.1805	MOLISE	X	VII-VIII	6.8	45
13.01.1915	AVEZZANO	XI	VI-VII	6.8	45

Gran parte dei terremoti distruttivi con magnitudo circa 7 sono localizzati in una stretta fascia lungo la cresta occidentale della catena appenninica, con un allineamento delle isosiste di massima intensità dei terremoti storici secondo la direzione appenninica NW-SE, coerentemente con la distribuzione dei lineamenti tettonici più significativi. È da ritenere quindi che le strutture sismogenetiche dei terremoti di più elevata energia abbiano andamento secondo l'asse longitudinale della catena. Dall'analisi della sismicità storica, è possibile evidenziare che nell'area in esame:

- le isosiste sono chiaramente allungate nella direzione della catena e seguono i maggiori lineamenti tettonici;

- la magnitudo degli eventi storici di maggiore energia, stimata confrontando le aree danneggiate dai terremoti passati e recenti, varia tra 6.8 e 7.5;
- la lunghezza massima delle faglie sismogenetiche raggiunge il valore di 100 km;
- i periodi di attività sismica sono separati da periodi di quiescenza talvolta molto estesi;
- per grandi terremoti prevalgono meccanismi di rottura complessi, così come può dedursi dal terremoto del 1456; la complessità del meccanismo di rottura può trovare giustificazione in un mezzo molto fratturato dove le strutture longitudinali alla catena possono essere notevolmente segmentate da faglie trasversali generate dalla rotazione e migrazione della penisola verso est;
- le strutture trasversali alla catena possono essere attivate dai terremoti lungo l'asse della catena stessa, oppure possono avere le funzioni di canalizzatori di energia sismica; in tal caso le isosiste tenderebbero a ruotare dalla direzione prevalente NW-SE a quella NS come si osserva per il campo macrosismico dell'evento del 26 luglio 1805;
- i meccanismi sono prevalentemente distensivi con i piani principali in direzione NW-SE.

La sismicità recente dell'area caratterizzata da terremoti frequenti e di bassa energia è concentrata in una fascia relativamente stretta della penisola con profondità focali inferiori a 20 km. Così come evidenziato dall'analisi della sismicità storica, l'attività sismica recente e attuale è associata ad una struttura tettonica complessa.

Per la definizione delle zone sismogenetiche nell'area investigata, risulta necessario che l'analisi delle strutture locali sia inserita in un contesto geodinamico più ampio, sia per meglio definire i limiti delle aree sottoposte ai diversi campi di sforzi che le interazioni tra queste.

Tale percorso appare indispensabile in quanto i dati locali non sono da soli sufficienti per definire le aree sismicamente attive e le modalità di liberazione di energia. Infatti le sorgenti dei terremoti di maggiore energia sembrano attraversare più strutture tettoniche superficiali, evidenziando la non completa corrispondenza tra deformazioni superficiali e deformazioni profonde. Inoltre, poiché l'accumulo e la liberazione di energia avviene su lunghi intervalli di tempo, per gli eventi che attraversano più strutture tettoniche superficiali, i processi che sono alla base dei fenomeni osservati interessano necessariamente segmenti di catena molto estesi, e quindi, sono condizionati da campi di sforzi a carattere regionale piuttosto che locali.

La distribuzione dei fuochi dei terremoti e i loro meccanismi non appaiono sempre correlabili alle strutture geologiche superficiali. Questo dato evidenzia la complessità della ricostruzione del campo di sforzi che ha prodotto l'attuale assetto della catena.

I meccanismi focali sono prevalentemente di tipo *dip slip* per i terremoti di maggiore energia e *strike slip* per gli altri. I meccanismi *dip slip* mostrano l'asse tensile normale alla catena, fenomeno interpretato con un processo di *rifting* che migra dalla costa tirrenica alla catena, mentre i meccanismi

*strike slip* possono essere riferiti a movimenti trascorrenti normali all'asse della catena. L'andamento del campo degli sforzi dedotto dall'analisi delle deformazioni dei sedimenti pleistocenici è coerente con il campo degli sforzi tensile mostrato dai meccanismi focali.

I meccanismi focali, tuttavia, spesso non rappresentano i campi di deformazione attesi per i processi geodinamici in atto. Questo risultato sarebbe determinato dall'azione dei campi di sforzi locali anziché di quelli a carattere regionale nell'ipotesi della tettonica a zolle. La scarsa correlazione tra deformazioni osservate nella catena e quelle dedotte dall'analisi dei meccanismi focali può trovare una interpretazione ragionevole nelle variazioni del campo di sforzi nel corso del tempo. Infatti analizzando l'orientazione dei piani di faglia si rileva che nel Pleistocene Inferiore il regime tettonico è compressivo con sforzo massimo orizzontale in direzione ENE-WSW; successivamente il campo diventa tensile con distensione in direzione NE-SW. Quest'ultimo è simile a quello rilevato con i meccanismi focali.

Si assiste in pratica alla formazione di una catena lungo un margine non convergente.

Questo processo consente di interpretare la struttura geologica della catena che consiste di una serie di falde scollate e sovrascorse verso est e nord-est. Il risultato è una geometria estremamente complessa, soprattutto perché ogni fase tettonica ha modificato i rapporti geometrici costruiti nelle fasi precedenti. La struttura è interessata inoltre da un fitto reticolo di faglie orientate prevalentemente NW – SE e NE – SW, che rende ancora più complesso l'assetto geologico strutturale.

Questi elementi evidenziano l'azione di un campo di sforzi che produce un'ampia area di tensione che dal Tirreno si estende fino ai primi contrafforti della catena appenninica.

## **Sismicità locale**

L'analisi della sismicità storica consente di ottenere un "catalogo locale" costituito da alcune centinaia di eventi di bassa o moderata intensità.

L'evento più antico segnalato a Sessa Aurunca risale al 1713, mentre solo dalla seconda metà dell'Ottocento il catalogo degli eventi locali è completo. L'intensità più elevata non supera il VII MCS, solo nel 1960 a Roccamonfina si raggiunse l'VIII MCS. Ogni crisi sismica ha carattere di sciame sismico che può durare anche alcuni mesi.

La distribuzione degli epicentri mostra, un allineamento appenninico, da S. Pietro Infine a Roccamonfina; nella zona intorno alla città di Roccamonfina si rileva un allineamento antiappenninico.

I pochi campi macrosismici ricostruibili, hanno forma ellittica, secondo tre andamenti principali:

a) Gli eventi con epicentro nell'area di Roccamonfina hanno direzione prevalente di propagazione

NE-SW (antiappenninica);

- b) Quelli con epicentro tra Roccamonfina e S. Pietro Infine hanno direzione prevalente di propagazione circa N-S;
- c) Quelli con epicentro nei pressi di S. Pietro Infine hanno direzione di propagazione sia N-S che NW-SE (appenninica).

Le profondità ipocentrali variano tra 2 e 5 km.

Dall'analisi della sismicità locale si rileva che l'attività sismica localizzata nell'apparato del Roccamonfina sia da attribuire a strutture tettoniche, poste tra S. Pietro Infine e Roccamonfina, con andamento meridiano.

L'analisi della sismicità storica sulla distribuzione degli epicentri è stata ottenuta per lo più con metodi macrosismici, in quanto non esiste alcuna stazione sismica permanente nell'area di Roccamonfina; la più vicina è a 15 km a SW dal vulcano (M. Massico) installata nel 1983. Gli epicentri dei terremoti recenti locali con Intensità max > V e  $2.0 \leq \text{Magnitudo} \leq 4.5$ , sono concentrati lungo la struttura tensile che si estende verso N, verso Mignano Montelungo. Le profondità focali non sono note ma l'attività viene considerata superficiale.

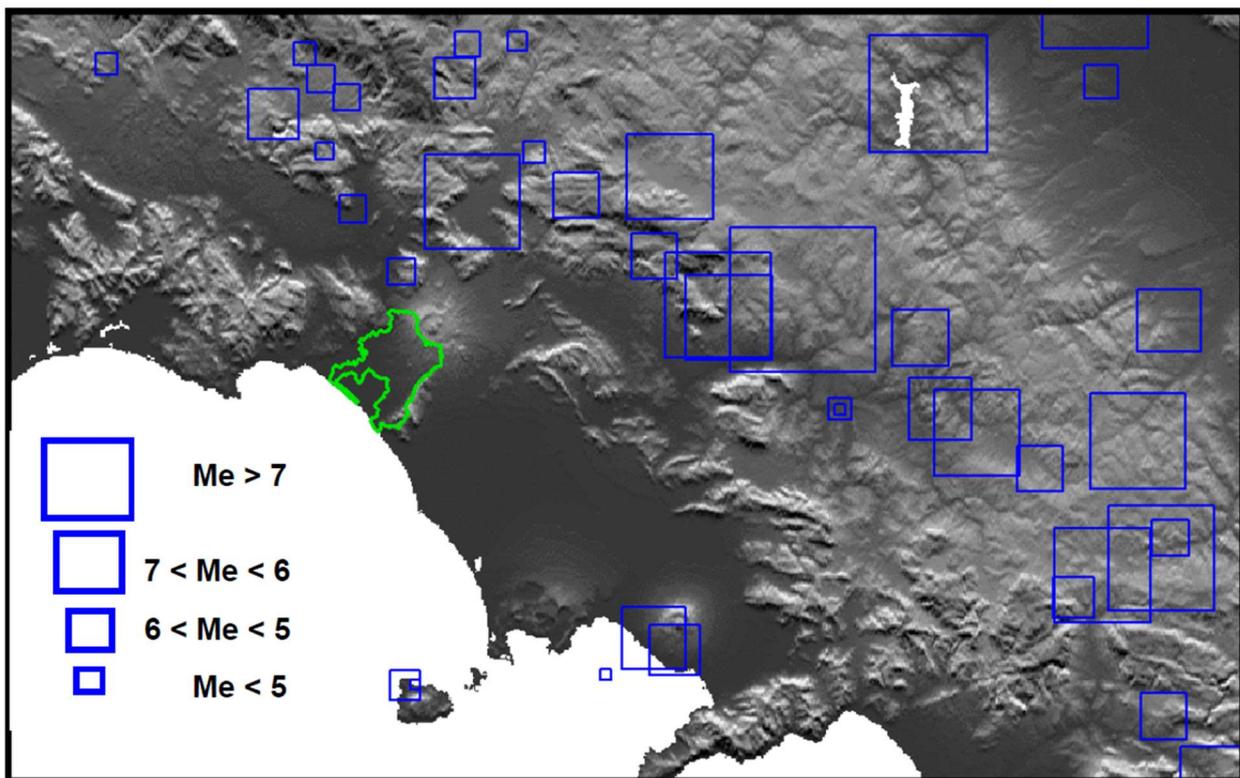


Fig. 8 – Sismicità dell'Appennino Abruzzese-Campano-Lucano

## Definizione della pericolosità sismica di base e degli eventi di riferimento

Il Database Macrosismo (2015) riporta la storia sismica di Sessa Aurunca a partire dal 1258; esso conta 25 eventi con intensità MCS a Sessa Aurunca comprese tra 2 e massimo 7. Le distanze epicentrali degli eventi sono comprese invece tra 7 e 335 km. Le massime intensità a Sessa Aurunca si sono registrate in occasione dei terremoti del 1293 (6-7), del 1456 (7), del 1688 (8), del 1688 (Sannio), del 1805 (6-7), del 1930 (6-7) e del 1984 (6-7). Per tali eventi corrispondono distanze epicentrali comprese tra 49 - 117 km. Le intensità massime MCS a Sessa Aurunca sono state raggiunte per valori di Magnitudo momento (Mw) comprese tra 5.8 e 7.19 risultando più frequente una distanza epicentrale media di 50 km a cui sono associate Mw comprese tra 5.8 e 7.06

Is	Anno	Mese	Giorno	Ora	Minuti	Secondi	Area epicentrale	Lat.	Lon.	DIST (Km)	Mw
5	1258	2	19	16	30		Monti della Meta				
6-7	1293	9	4				Sannio-Matese	41.304	14.548	52	5.8
7	1456	12	5				Appennino centro-meridionale	41.302	14.711	83	7.19
F	1654	7	24	0	25		Sorano	41.635	13.683	335	6.33
8	1688	6	5	15	30		Sannio	41.283	14.561	53	7.06
6-7	1805	7	26	21			Molise	41.5	14.474	54	6.68
5	1857	12	16	21	15		Basilicata	40.352	15.842	188	7.12
3-4	1889	12	8				Gargano	41.83	15.688	160	5.47
F	1892	1	22				Colli Albani	41.725	12.712	115	5.14
2	1899	7	19	13	18	54	Colli Albani	41.798	12.686	121	5.1
3	1904	6	9	1	14		Mignano Monte Lungo	41.47	13.996	26	4.51
NF	1904	11	2	15	32	5	Marsica	41.932	13.918	77	4.54
NF	1905	3	14	19	16		Avellinese	40.951	14.807	80	4.9
3	1905	11	26				Irpinia	41.134	15.028	92	5.18
4	1910	6	7	2	4		Irpinia-Basilicata	40.898	15.421	130	5.76
6	1915	1	13	6	52	43	Marsica	42.014	13.53	93	7.08
6-7	1930	7	23	0	8		Irpinia	41.068	15.318	117	6.67
6	1960	1	11	11	27		Roccamonfina	41.283	13.986	7	5.16
5-6	1962	8	21	18	19		Irpinia	41.23	14.953	85	6.15
6	1980	11	23	18	34	52	Irpinia-Basilicata	40.842	15.283	121	6.81
NF	1984	4	29	5	2	59	Umbria settentrionale	43.262	12.525	253	5.62
6-7	1984	5	7	17	50		Monti della Meta	41.667	14.057	49	5.86
6	1984	5	11	10	41	49.27	Monti della Meta	41.651	13.843	47	5.47
4	2002	11	1	15	9	1.92	Molise	41.741	14.843	94	5.72
NF	2003	6	1	15	45	18.04	Molise	41.661	14.821	88	4.44
NF	2005	5	21	19	55	19	Area Nolana	40.991	14.515	119	4.07

Con il D.M. 7 marzo 1981 il comune di *Sessa Aurunca* veniva dichiarato sismico e classificato in seconda categoria con grado di sismicità S=9; l'aggiornamento della Classificazione sismica dei Comuni della Campania adottata con la Delibera della Giunta della Regione Campania n. 5447 del 7 novembre

2002 riclassifica Sessa Aurunca in II categoria (media sismicità).

L'O.P.C.M. n. 3274/2003 ha classificato il comune di Sessa Aurunca in zona 2 a cui compete una accelerazione di picco massima orizzontale  $a_g = 0.25g$  su suolo di categoria A ( $V_S > 800$  m/s).

Il progetto S1 – INGV (<http://esse1.mi.ingv.it>), recepito dal N.T.C. 2008, definisce il moto al suolo secondo un reticolo di riferimento con interdistanze tra in nodi della griglia inferiori a 10 km per l'intero territorio nazionale. La pericolosità sismica di base è stata espressa in termini di spettri di risposta elastici delle componenti orizzontali del moto, definiti su suolo di Categoria A ( $V_S > 800$  m/s) per opportuni periodi di ritorno  $T_r$ , in ottemperanza a quanto prescritto dal D.M. 14 gennaio 2008 e 17 gennaio 2018. Dalla consultazione del progetto S1 – INGV e della Tabella dei Parametri Spettrali, allegata al Decreto Ministeriale, sono stati definiti i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  necessari alla definizione degli spettri di risposta elastici per il comune di Sessa Aurunca

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima del terreno (g);

$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (adimensionale);

$T_c^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (s);

La *pericolosità sismica di base* è stata definita per i seguenti periodi di ritorno  $T_r$ :

$T_r = 30$ anni	$T_r = 201$ anni
$T_r = 50$ anni	$T_r = 475$ anni
$T_r = 72$ anni	$T_r = 975$ anni
$T_r = 101$ anni	$T_r = 2475$ anni
$T_r = 140$ anni	

Si riassumono in Tabella 1 ed in Figura 9 i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  definiti per il sito di indagine

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0.039	2.504	0.280
50	0.048	2.496	0.319
72	0.054	2.569	0.336
101	0.060	2.634	0.354
140	0.068	2.640	0.370
201	0.076	2.630	0.412
475	0.102	2.666	0.451
975	0.126	2.690	0.510
2475	0.163	2.793	0.539

Tab. 1 - Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento definiti per il sito in studio.

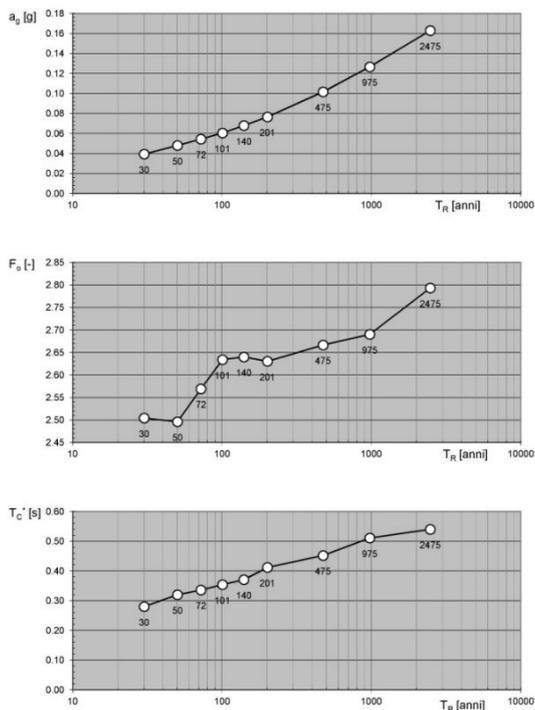


Fig. 9 - Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento definiti per il sito in studio.

A partire dai valori precedentemente determinati, sono stati definiti, per ciascun periodo di ritorno, gli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontali del moto secondo il *progetto S1 – INGV* e secondo quanto prescritto dal *Decreto Ministeriale* (Fig. 10).

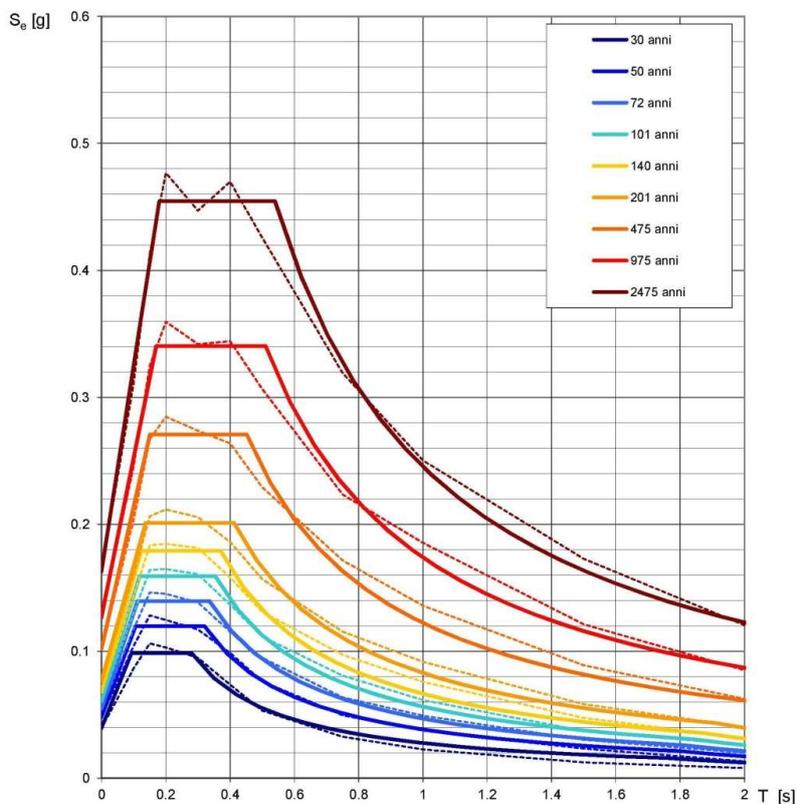


Fig. 10 - Spettri di risposta elastici delle componenti orizzontali del moto definite per i nove periodi di ritorno  $T_R$  (in linea tratteggiata spettri del progetto S1 INGV; in linea continua spettri del D.M. 14 gennaio 2008).

Da quanto appena esposto, il progetto S1 – INGV definisce delle *Peak Ground Acceleration* per il territorio comunale di Sessa Aurunca comprese tra 0.039 e 0.163g per periodi di ritorno variabili da 30 a 2475 anni.

## **Carta Geo-Litologica**

La carta Geo-Litologica è stata redatta in scala 1:5.000 (n°33 fogli) e rappresentata anche in scala 1:25.000 come quadro d'insieme riportata in allegato.

Il rilievo di campagna, unitamente ai dati di sondaggi geomeccanici, sono stati integrati con i dati della letteratura maggiormente utili agli obiettivi del lavoro propeedeutico alla stesura del P.U.C.

Unitamente alla carta sono state predisposte n° 4 sezioni, due ad andamento radiale rispetto al vulcano del Roccamonfina e due trasversali per rappresentare, nel modo più completo possibile, le strutture geologiche superficiali e profonde rilevate nell'area indagata.

La rappresentazione degli affioramenti ed i loro reciproci rapporti è stata realizzata seguendo i criteri della moderna cartografia geologica in aree vulcaniche, come indicato dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e dei servizi Tecnici (APAT, 2004).

Per una completa lettura dei rapporti delle numerose formazioni litologiche affioranti nell'area di studio è stata predisposta una legenda molto dettagliata in cui oltre ad una prima e sommaria descrizione delle litologie, fa seguito una descrizione a maggior dettaglio illustrante le caratteristiche formazionali e dei meccanismi deposizionali con le loro caratteristiche granulometriche prevalenti.

L'apparato vulcanico del Roccamonfina, il fiume Garigliano, il rilievo del Monte Massico rappresentano gli elementi morfo-strutturali che caratterizzano fortemente il territorio di Sessa Aurunca.

A tali morfo-strutture corrisponde anche una distribuzione delle litologie alquanto definite. Infatti procedendo dalla parte alta dell'apparato vulcanico verso la costa si rileva, in primo luogo, la massiccia presenza di lave trachitiche e tuffi appartenenti alle formazioni del Brown Leucitic Tuff (BLT) e White Trachitic Tuff (WTT); queste litologie si ritrovano alternate sia verticalmente che lateralmente in ragione dei diversi meccanismi eruttivi del Roccamonfina.

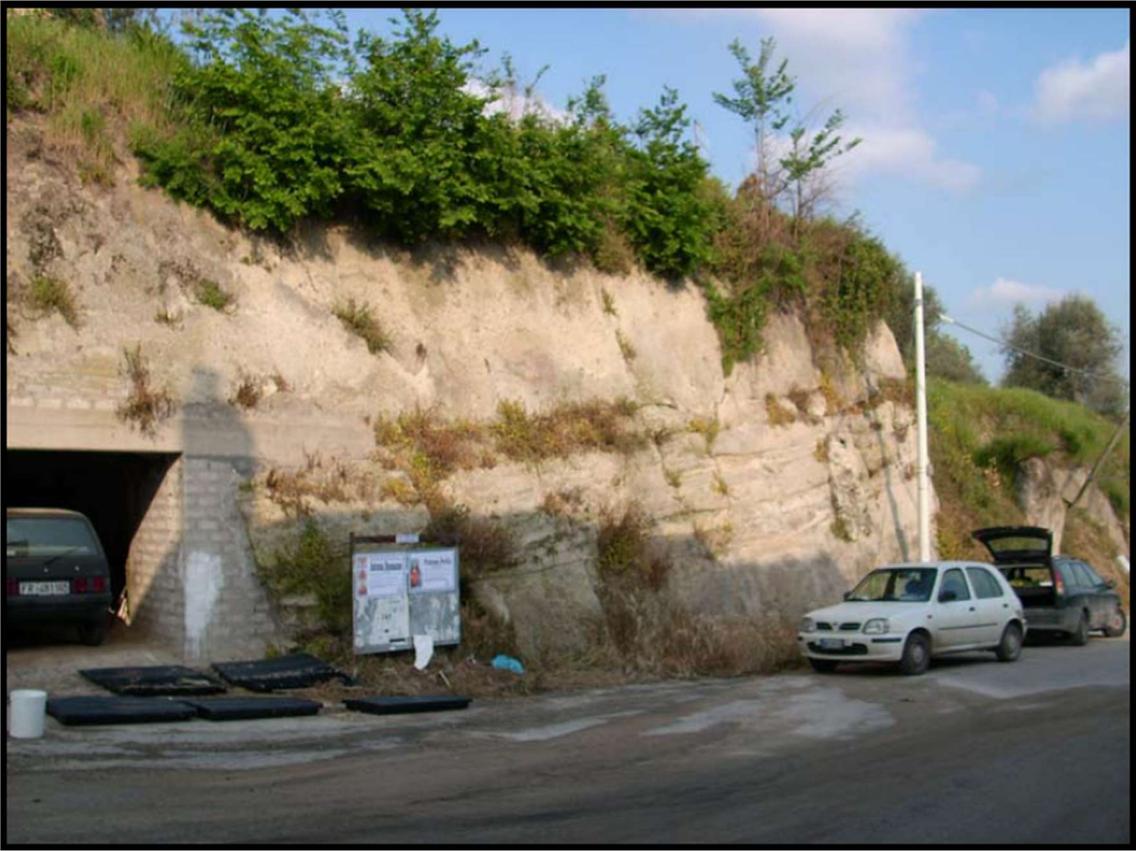


Fig. 11 a, b – a) Sezione ad Aulpi –Tufo trachitico bianco di Aulpi (WTTA) Alla base affiora un livello di lapilli di pomici e litici, verso l'alto deposito cineritico-lapilloso a stratificazione incrociata; b) dettaglio, a letto e a tetto, tufi stratificati poco cementati



Fig. 12 – Rongolisi – parete di cava dismessa, Tufi Bianchi Trachitici di Cupa WTTC1. Nel piazzale di cava è stato realizzato il sondaggio S 12.



Fig. 13 – Cava attiva tra Rongolisi e Cupa - Tufi Bianchi Trachitici di Cupa WTTC1

Nella fascia intermedia tra la parte alta del vulcano e la piana, emergono prevalentemente depositi tufacei, con meccanismi di messa in posto da flusso, intercalati da depositi da *fall*, appartenenti principalmente alla formazione dei Tufi Trachitici Bianchi (WTT). In questa fascia si sviluppa il Monte Ofelio, nei pressi dell'abitato di Sessa Aurunca, che rappresenta un duomo lavico di natura tefritico-leucitica.



Fig. 14 – In primo piano la bocca eccentrica di Monte Ofelio; sullo sfondo l'apparato del Roccamonfina e la caldera sommitale.

La cintura basale del vulcano (Apron) termina nella piana alluvionale con le interdigitazioni delle parti meno litificate dei flussi piroclastici potentemente sviluppate a quote più elevate.

Segue la piana alluvionale formati dai depositi limo - argillo – sabbiosi del Fiume Garigliano fino alle dune costiere e i depositi sabbiosi del litorale. A quote maggiori tali depositi si incuneano anche nei terreni prevalentemente vulcanici lungo il corso del Fiume Garigliano.

Al margine meridionale del territorio di Sessa Aurunca affiorano in prevalenza le rocce carbonatiche mesozoiche ed i detriti di versante del Monte Massico; nella porzione SW del massiccio del Massico sono presenti i depositi arenaci e argillosi miocenici.



Fig. 14 – Bonifica Aurunca – canale di scolo.



Fig. 15 – Massiccio del Monte Massico, versante occidentale – loc. S. Sebastiano.

Tutto il versante dell'apparato vulcanico del Roccamonfina, rientrante nel territorio comunale di Sessa Aurunca, è solcato da profondi canali, che si sviluppano nei potenti depositi tufacei secondo direttrici radiali a partire dal ciglio della caldera sommitale. In tali valloni affiorano i depositi più antichi, lave (LMO) e tufi (BLT), prodotti del disfacimento degli stessi e l'ignimbrite campana (IG).



Fig. 16 – Sessa Aurunca, il centro abitato con canali ad oriente e Monte Ofelio ad occidente

## Indagini di campo e di laboratorio

Al fine di caratterizzare il territorio comunale di Sessa Aurunca del punto di vista fisico – meccanico e sismico è stata condotta una campagna di indagine nel 2007 finalizzata alla prioritaria conoscenza delle su-indicate caratteristiche nelle aree urbanizzate.

Sono stati eseguiti:

- n° 16 sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni, li dove le caratteristiche litologiche e tensionali lo consentivano con SPT in foro; tutti i sondaggi sono stati spinti almeno fino alla profondità di 32 m dal p.c. per ottemperare a quanto prescritto dal DM 14.09.2005 “*Testo unitario delle norme tecniche per le costruzioni*”;
- n° 8 di questi sondaggi sono stati attrezzati per l’esecuzione di prove Down-Hole fino alla profondità di 32 m dal p.c.;
- n° 19 profili sismici con lunghezze tra 80 e 200 m, che hanno permesso di indagare le

caratteristiche sismiche dei terreni analizzati da un minimo di 30 di spessore, fino a circa 100 m, mediante l'analisi Frequency-Time Analysis (FTAN);

- n° 1 profilo sismico di sismica passiva, realizzato nel centro storico di Sessa Aurunca, per una lunghezza totale di 200 m che ha permesso di indagare le caratteristiche sismiche del sottosuolo, fino alla profondità di 95 m dal p.c.;
- n° 15 CPT realizzate nella fascia costiera e lungo il corso del Fiume Garigliano, con profondità d'indagine tra circa 3 m e circa 20 m dal p.c.;
- n° 8 DPSH realizzate nelle stesse aree in cui sono state eseguite le CPT, fino ad una profondità massima di circa 20 m dal p.c.

Le prove effettuate per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni in laboratorio, sono state effettuate su campioni prelevati con campionatori Ostemberg nelle seguenti località:

Baia Azzurra	(Campione S1 C1)
Garigliano	(Campione S2 C1)
Piedimonte	(Campione S4 C1)
Carano	(Campione S5 C1)
Sessa Aurunca	(Campione S7 C1)
San Castrese	(Campione S9 C1)
Fasani	(Campione S10 C1)
Stazione Sessa A.	(Campione S11 C1)
Rongolisi	(Campione S12 C1)
Lauro	(Campione S14 C1)
Cupa	(Campione S15 C1)
Tuoro	(Campione S16 C1)

Le specifiche sui sondaggi sono riportate in allegato. Le prove eseguite sono:

- Prove d'identificazione (parametri fisico-volumetrici; parametri meccanici; analisi granulometrica)
- Prove di taglio

### **Prove d'identificazione**

Nella seguente tabella sono riportati i parametri inerenti alle caratteristiche fisiche e volumetriche dei campioni riproposti in modo completo negli allegati per ogni singolo sondaggio.

CAMPIONE	CONTENUTO D'ACQUA (W) %	PESO DI VOLUME NATURALE ( $\gamma_{nat}$ ) g/cm <sup>3</sup>	PESO DI VOLUME SATURO ( $\gamma_{sat}$ ) g/cm <sup>3</sup>	PESO DI VOLUME SECCO ( $\gamma_{dry}$ ) g/cm <sup>3</sup>	PESO SPECIFICO ( $\gamma_s$ ) g/cm <sup>3</sup>
S1 C1	32,5	1,780	1,330	1,806	2,54
S2 C1	65,03	1,572	1,005	1,622	2,62
S4 C1	29,39	1,939	1,603	1,982	2,58
S5 C1	27,93	1,635	1,278	1,770	2,52
S7 C1	33,27	1,568	1,120	1,680	2,54
S9 C1	36,34	1,576	1,075	1,658	2,58
S10 C1	38,98	1,655	1,226	1,721	2,42
S11 C1	33,40	1,604	1,214	1,675	2,25
S12 C1	44,42	1,642	1,115	1,646	2,38
S14 C1	30,74	1,631	1,180	1,723	2,58
S15 C1	56,07	1,478	0,924	1,545	2,44
S16 C1	44,85	1,691	1,111	1,678	2,57

### Analisi granulometrica

L'analisi granulometrica ci permette di identificare la distribuzione percentuale, per massa, dei grani secondo le loro dimensioni.

A tale scopo è stata adoperata una successione di vagli e setacci nella quale è stata introdotta una quantità rappresentativa del materiale per ogni sondaggio e nei casi in cui il passante al setaccio 0.075 mm è risultato maggiore del 15% si è dovuto ricorrere all'analisi di *decantazione di Casagrande* (sedimentazione).

I dati della prova vengono successivamente rappresentati su un diagramma semilogaritmico riproposti in allegato per ogni singolo sondaggio.

CAMPIONE	CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA
S1 C1	Sabbia limosa debolmente ghiaiosa
S2 C1	Argilla con limo sabbiosa
S4 C1	Limo con sabbia e argilla
S5 C1	Sabbia con ghiaia debolmente limosa
S7 C1	Sabbia con ghiaia debolmente limosa
S9 C1	Limo debolmente ghiaio-sabbioso
S10 C1	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa
S11 C1	Sabbia debolmente ghiaio-limosa
S12 C1	Sabbia con ghiaia
S14 C1	Limo con sabbia
S15 C1	Sabbia limosa debolmente ghiaiosa
S16 C1	Ghiaia limosa sabbiosa debolmente argillosa

### Prova di taglio

La prova di taglio è una prova consolidata drenata che ci permette di ottenere il valore della forza tangenziale applicata al provino affinché raggiunga la rottura.

Tale prova viene effettuata con l'ausilio della macchina di Casagrande su tre provini dello stesso materiale sui quali viene applicata la pressione di sito, raddoppiata e triplicata.

Ultimata la consolidazione, per un tempo di 24h, per ognuno dei provini si procede alla fase di applicazione della forza di taglio con una velocità di avanzamento costante calcolata tenendo conto del coefficiente di consolidazione ( $C_v$ ).

I dati riportati negli allegati forniscono diagrammi sforzi di taglio - spostamento e come risultato finale l'involuppo di rottura rappresentato nel diagramma  $\tau$ - $\sigma$  che permette di ricavare l'angolo di attrito e la coesione.

Nella tabella a seguire sono indicati i valori medi dell'angolo d'attrito e coesione per ogni sondaggio.

CAMPIONE	Angolo d'attrito $\sigma$ (°)	Coesione $c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
S1 C1	44,75	0
S2 C1	14,12	0,2985
S4 C1	23,72	0,4528
S5 C1	29,30	0,343
S7 C1	34,68	0,2483
S9 C1	34,05	0,9346
S10 C1	22,27	0,2913
S11 C1	34,15	0,3096
S12 C1	36,73	0,8571
S14 C1	19,93	0,2813
S15 C1	47,30	1,0014
S16 C1	17,04	0,9069

## Indagini sismiche – Down-Hole e profili sismici - Sintesi dei risultati

Le indagini sismiche effettuate sia in superficie (profili), che in foro (Down-Hole), sono descritte nell'allegato "Indagini Sismiche" congiuntamente ai risultati ottenuti dalle elaborazioni.

Le indagini effettuate interessano prevalentemente terreni sciolti, da poco a moderatamente litificati. Nessuno profilo sismico è stato realizzato su lave compatte ne su calcari, per i quali i valori delle  $V_s$  sono significativamente superiori a quelli relativi ai tufi litoidi (superiore ad 800 m/s) equivalente alla categoria di suolo di fondazione A.

Località	Vs30 (m/s)		
	Down-Hole	sismica attiva (FTAN)	noise (FTAN)
Avezzano		524	
Baia Azzurra		236	
Canale		456	
Cascano		322	
Cesceto		300	
Cupa		456	
Lauro		636	
Piedimonte		466	
Pietre bianche		294	
Ponte		343	
Rongolisi		375	
San Martino		617	
Sassi		536	
Sessa_1		454	
Sessa_2		520	
Sessa_3		474	
Sessa_noise			479
Valogno		385	
Garigliano_1		222	
Garigliano_2		232	
Consorzio Bonifica	204		
Fasani	617		
Corigliano	530		
San Carlo	430		
San Castrese	513		
Carano	397		
Stazione ferroviaria	435		
San Sebastiano	404		

Tabella 2 - Sintesi dei risultati delle indagini sismiche e classificazione delle categorie di suolo in base ai valori di  $V_{s30}$

## Integrazione indagini sismiche - HVSR (2022)

Per l'aggiornamento dello studio geologico sono state eseguite n. 9 HVSR; l'ubicazione delle indagini è stata appositamente programmata secondo le tracce delle sezioni geologiche successivamente elaborate.

La strumentazione impiegata è un sismografo MAE ST6 a 6 canali ed una tripletta velocimetrica EG-2-II con frequenza propria di 2 Hz.

Le misure hanno avuto una durata temporale pari a 20 minuti ed acquisite con una frequenza di 500 Hz. Nelle elaborazioni si è tenuto conto degli standard SESAME (2005) per l'identificazione della frequenza fondamentale di risonanza ( $F_0$ ) di ciascun punto di misura. Successivamente sono state identificate anche frequenze superiori ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ ) associabili a contrasti di rigidità dei depositi più superficiali.

I valori di  $F_0$  sono compresi tra 0.28 - 1.15 Hz mentre le frequenze superiori di risonanza variano tra 0.57 e 12.5 Hz. Solo per il punto di misura SES6 è stata individuata in maniera palese anche la frequenza  $F_3$ .

Sulla base dei valori riconosciuti e dei valori medi di  $V_s$  desunti dalle indagini sismiche della campagna 2007 sono state stimate le profondità delle interfacce dei depositi, corrispondenti a ciascuna frequenza individuata, sulla base della nota formula  $H=V_s/4F$  (con H spessore medio della successione;  $V_s$  velocità media delle onde di taglio del deposito, F frequenza di risonanza misurata).

N. Indagine	Lat. (°N)	Long. (°E)	Località	$F_0$ (Hz)	$F_1$ (Hz)	$F_2$ (Hz)	$F_3$ (Hz)
SES1	41.242914	13.820240	SP per Lauro S. Castrese	0.30			
SES2	41.240928	13.841783	SS 430	0.32	0.82	1.23	
SES3	41.228585	13.919966	ISISS Taddeo da Sessa	1.15	5.43		
SES4	41.273952	13.878315	Via Saglitola	0.32	1.68	5.49	
SES5	41.282270	13.869006	Traversa della SS 430	0.43	0.65	1.68	
SES6	41.298731	13.914827	Valogno	0.41	1.22	1.82	12.5
SES7	41.207405	13.791670	SP 272 – Baia Domizia	0.32	0.57	0.80	
SES8	41.242593	13.932359	Via XXI Luglio	0.43	2.86	5.41	
SES9	41.187759	13.889206	Via Scalo Ferroviario – SP125	0.28			



Fig. 17 – Stralcio ortofoto relativo al territorio comunale di Sessa Aurunca con ubicazione delle indagini eseguite.

## Carta della Stabilità

La carta della stabilità individua tutte le criticità del territorio analizzato sia dal punto di vista del rischio idrogeologico da frane e da eventi idraulici sia per quanto concerne il potenziale di liquefazione dei terreni.

Oltre ad un rilievo dell'intero territorio, mirato all'individuazione dei corpi di frana, è stata consultata la documentazione inerente il rischio e la pericolosità da frana e da eventi idraulici del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale (ex Autorità di bacino dei fiumi Liri – Garigliano Volturno) e quella del progetto IFFI (Inventario Fenomeni Fransi Italiani).

Le frane riportate sono di tipo scorrimento rotazionale e planare, colate, sia rapide che lente; altre hanno un cinematismo complesso.

Sulla carta di sintesi, per ragioni di scala (1:25.000), sono state rappresentate solo i movimenti franosi di maggiore estensione, rimandando ai fogli in scala 1:5.000 un maggior dettaglio.

È possibile notare come le frane interessino diffusamente la zona del Monte Massico e la parte del territorio comunale che si sviluppa sulle pendici del vulcano Roccamonfina; sono altresì presenti fenomeni franosi anche nella parte mediana del territorio comunale, principalmente in corrispondenza dei valloni che si sviluppano radialmente rispetto il cono vulcanico e nella zona a più bassa pendenza in vicinanza del corso del Garigliano.

Analizzando la situazione del rischio e della pericolosità da frana in corrispondenza delle pendici del monte Massico c'è da evidenziare come gli abitati di Piedimonte Massicano, Piedimonte Rivoli e Carano sono interessati da aree a rischio da frana molto elevato (R4) e da estese aree a ad alta attenzione (A4); a monte degli abitati di Sorbello e Avezzano sono presenti aree ad alta attenzione (A4) oltre a limitate aree a rischio da frana (R4). Anche nei dintorni degli abitati di Cascano, S. Felice, Giusti e Corbara sono presenti aree a rischio molto elevato (R4) e aree ad alta attenzione (A4). In generale quindi le aree pedemontane del Massico, comprensive di quelle prospicienti la linea di costa, presentano un rischio e una pericolosità da frana rilevante.

A quote più alte, in corrispondenza del Monte Costa a Sole e del Vallone Cesco Cupo sono presenti aree di attenzione potenzialmente alta che necessitano di ulteriori indagini e studi specifici per meglio definire la propensione dei terreni a mobilitarsi in eventi franosi.

La zona centrale del territorio, lì dove si estende il centro urbano del capoluogo sono presenti aree a rischio da frana molto elevato (R4) in corrispondenza del Vallone Grande e del Vallone Fossitiello oltre al vallone che borda verso Sud monte Ofelio.

I centri abitati presenti nella parte alta del cono del vulcano Roccamonfina, quali San Carlo, Le Conche, Cescheto, Canale, S. M. a Valogno, Le Vigne, San Martino, Fontanaradina, li Paoli, Ponte sono interessati da estese aree che presentano un rischio da frana molto elevato (R4) e aree a rischio potenzialmente alto; sono altresì presenti aree di attenzione alta (A4) e potenzialmente alta (APA).

Il Rio della Selva che partendo dal comune di Fontanafredda attraversa la parte alta del cono del vulcano nella porzione centro orientale fino a ricongiungersi con il Vallone Grande, in corrispondenza del Capoluogo, è caratterizzato da una estesa e diffusa presenza di aree a rischio molto elevato (R4) e potenzialmente alto (RPA) mentre il vallone immediatamente ad Est, che passa nelle vicinanze dell'abitato di Sassi, presenta diffuse aree ad alta attenzione (A4) e aree di attenzione potenzialmente alta (APA). Anche l'abitato di Valogno è interessato da aree di alta attenzione (A4).

Spostandoci a quote più basse si evidenzia come anche l'abitato di Fasani è interessato da area a rischio frana molto elevato (R4) e area di alta attenzione (A4). Gli abitati di Lauro, Cupa e Casale sono invece interessati da condizioni di rischio e pericolosità più bassi, A3 ed R3 per Cupa e Casale e A2 e R2 per Lauro.

Diffuse aree a rischio molto elevato (R4) e potenzialmente elevato (RPA) sono presenti in prossimità del corso del Garigliano.

Passando al rischio idraulico si evidenzia come esso sia presente in corrispondenza del corso del fiume Garigliano mostrando diffuse aree a rischio moderato (R1) e a rischio medio (R2), mentre le aree interessate da rischio elevato (R3) sono poco estese e presenti esclusivamente nella parte bassa del corso del Garigliano; poche e localizzate sono le aree soggette a rischio molto elevato (R4): una in adiacenza del sito occupato dalla ex centrale nucleare ad Ovest dell'abitato di San Castrese e l'altra in corrispondenza dell'area produttiva III ubicata alla intersezione

tra la via Domitiana e la SS7. Altre aree di minore estensione sono interessate a livelli di rischio elevato e molto elevato per la cui identificazione si rimanda alla visione della carta della stabilità.

Il territorio di Sessa Aurunca presenta anche un altro tipo di rischio legato alla possibilità di liquefazione dei terreni in occasione di eventi sismici a più alta energia; le aree interessate da questo potenziale rischio si sviluppano essenzialmente in vicinanza del corso del Garigliano e della linea di costa. Gli elementi a cui prestare attenzione per la più puntuale definizione del rischio di liquefazione sono la profondità della falda e le litologie che in queste zone sono essenzialmente sedimenti torbosi (ap), sabbie fini (s), sabbie d'intraduna (e1) e sedimenti alluvionali (a2) come desumibile dalla carta Geo-Litologica.

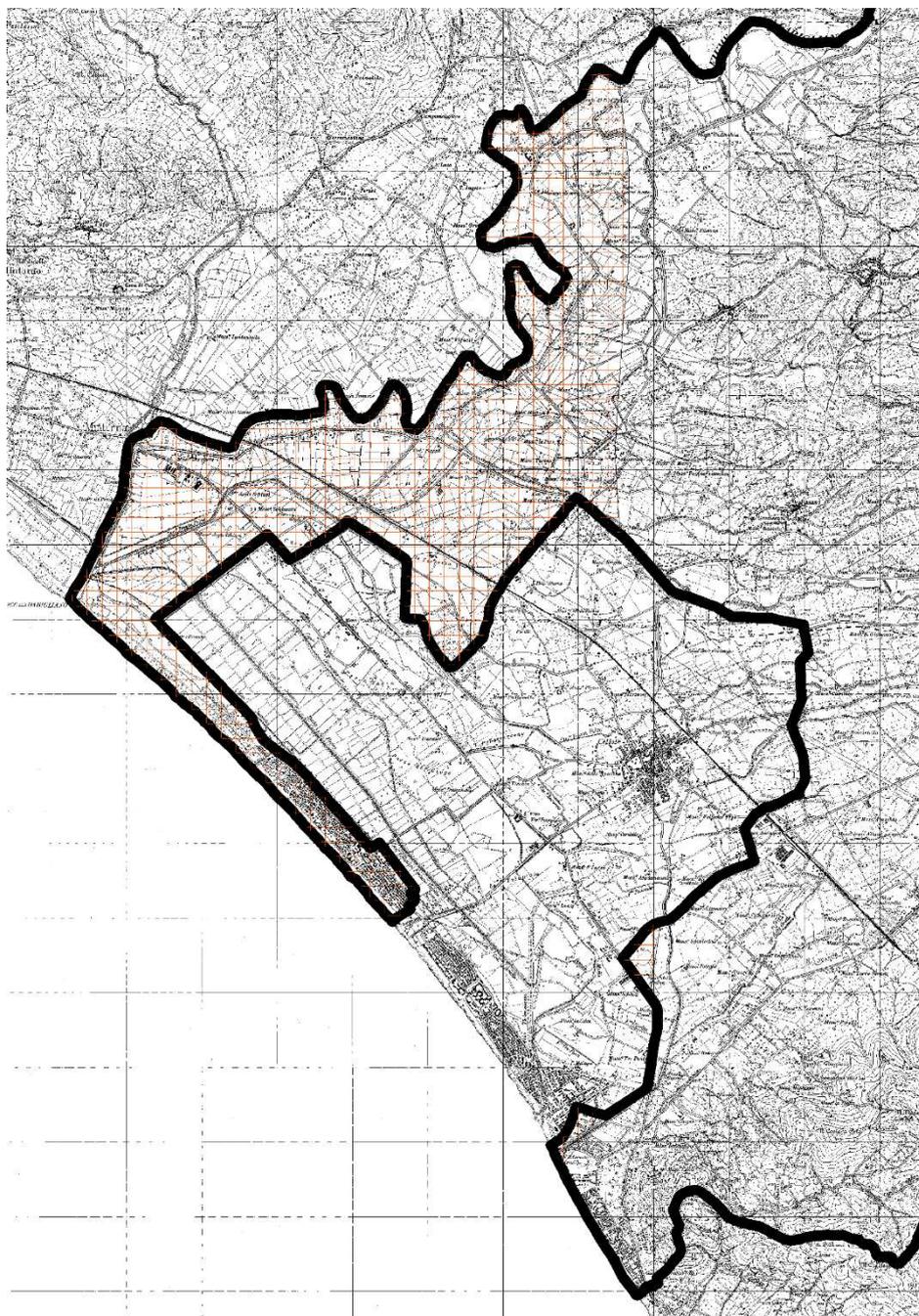


Fig. 18 – Aree soggette a possibile rischio di liquefazione

## Carta Idrogeologica

Il contesto idrogeologico del territorio di Sessa Aurunca, è caratterizzato dalla struttura del vulcano di Roccamonfina, dal massiccio del Monte Massico e dal Fiume Garigliano.

L'apparato vulcanico del Roccamonfina rappresenta l'acquifero principale, caratterizzato da una permeabilità medio bassa sia per fratturazione che per porosità; esso alimenta le poche sorgenti sospese che non presentano elevate portate.

I litotipi presenti nel territorio indagato sono caratterizzati da una permeabilità molto variabile, infatti si passa dai bassi valori caratterizzanti i depositi tufacei e piroclastici, agli alti valori tipici delle lave e dei calcari.

Dai meccanismi di deposizione dei vari litotipi e dalla loro diversa permeabilità deriva una circolazione idrica sotterranea strutturata in un sistema di falde sovrapposte e/o lentiformi, caratterizzante la parte sommitale e mediana dell'apparato vulcanico, mentre nella parte pianeggiante, caratterizzata da depositi prevalentemente alluvionali, la circolazione idrica sotterranea assume carattere di monofalda.

Il sistema a falde sovrapposte ha per lo più carattere locale mentre il sistema di monofalda assume una rilevanza arealmente maggiore.

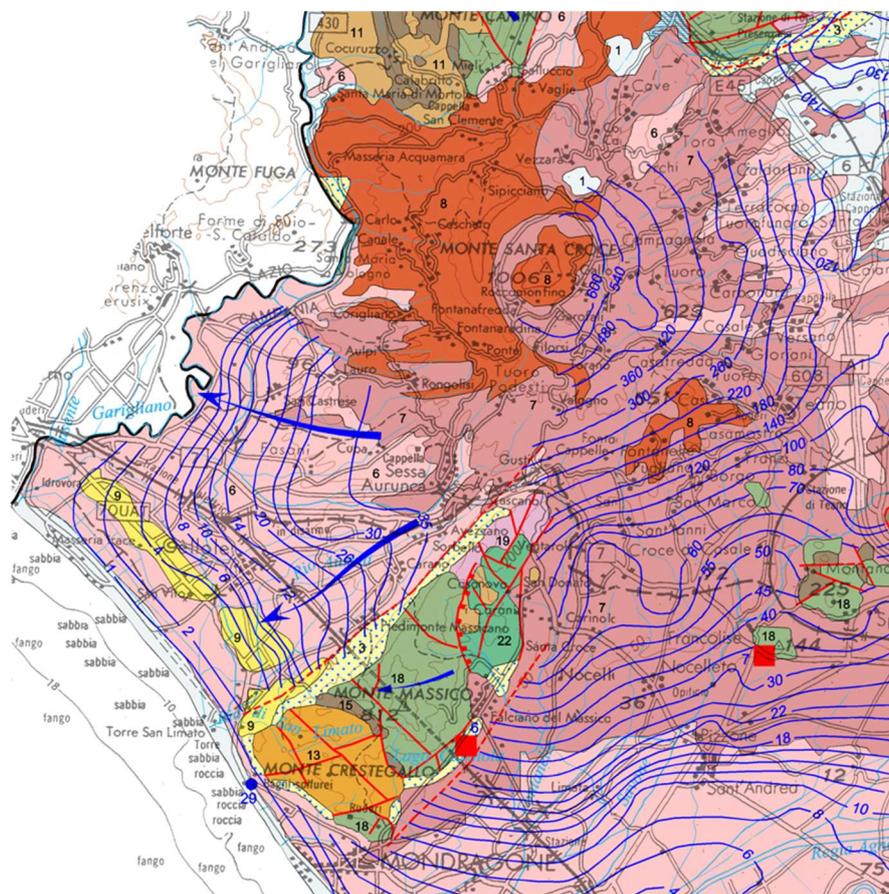


Fig. 19 – Stralcio della Carta Idrogeologica dell'Appennino Meridionale (Celico et alii, 1999)

## **Complessi Idrogeologici**

Per poter descrivere le caratteristiche idrogeologiche delle varie litologie, sono stati definiti n° 8 complessi idrogeologici.

Per complessi idrogeologici si intende un insieme di termini litologici simili aventi una comprovata unità spaziale e giaciturale, un tipo di permeabilità prevalente comune ed un grado di permeabilità relativa che si mantiene in un campo piuttosto ristretto.

I principali complessi idrogeologici presenti nel territorio di Sessa Aurunca sono:

- Complesso della sabbie
- Complesso alluvionale
- Complesso calcareo-dolomitico
- Complesso prevalentemente arenaceo
- Complesso dei detriti di falda
- Complesso delle piroclastiti in posto o rimaneggiate
- Complesso dei tufi
- Complesso delle lave

### **Complesso delle sabbie**

Questo complesso è costituito da depositi sabbiosi di spiaggia e dunari; la permeabilità per porosità è generalmente medio alta. Spesso questo complesso idrogeologico è completamente saturo a causa della ridotta profondità a cui si rinviene la falda. Il ruolo idrogeologico giocato da tale complesso è quello di drenare verso mare i complessi presenti a monte.

### **Complesso alluvionale**

Questo complesso è circoscritto alla zona di pianura dove ha sede un acquifero molto complesso a causa della notevole eterogeneità litostratigrafica dei depositi che lo costituiscono.

I terreni che costituiscono questo complesso sono di natura diversa e relazionati principalmente alle vicende vulcaniche, stratigrafiche e morfoevolutive che le stesse depressioni che li hanno accolto, e i rilievi al suo contorno, hanno subito. Tali terreni consistono in sedimenti a granulometria limoso – sabbiosa, piroclastiti rimaneggiate, intercalati a paleosuoli con livelli torbidity.

Data la eterogeneità litostratigrafica del complesso in esame, è difficile attribuire un grado di permeabilità relativo comune; in senso generale la permeabilità, tipicamente per porosità, assume valori medio – bassi. La circolazione idrica sotterranea è molto influenzata dal reticolo idrico superficiale, con frequenti scambi di rapporti tra corsi d'acqua e falda.

### **Complesso calcareo dolomitico**

Questo complesso è costituito da calcari, calcari dolomitici, calcari detritico – conglomeratici, calcareniti e livelli marnosi ed ha un'età compresa tra il Trias ed il Cretacico superiore.

I calcari si presentano ben stratificati e fratturati, in modo tale da rendere l'ammasso roccioso generalmente omogeneo ed anisotropo nei confronti della permeabilità.

L'alto grado di fratturazione e la stratificazione fitta favoriscono l'instaurarsi di una permeabilità (K) per fessurazione molto elevata. La circolazione idrica sotterranea è caratterizzata da una falda basale con recapito prevalente verso il complesso dei detriti di falda e più in generale verso la piana.

### **Complesso prevalentemente arenaceo**

Questo complesso è costituito prevalentemente da arenarie e dolomie, calcari marnosi ed argille siltose di età miocenica. La porosità prevalente è per fratturazione anche se la componente per porosità non è trascurabile.

Sia la circolazione idrica sotterranea che il ruolo idrogeologico di questo complesso è da ritenersi del tutto simile a quello calcareo dolomitico; la maggiore differenza risiede nella diversa permeabilità che per il complesso arenaceo è media.

### **Complesso detritico**

In questo complesso sono raggruppati gli accumuli detritici pleistocenici ed olocenici che affiorano lungo il bordo della dorsale del Monte Massico.

Litologicamente il complesso in esame risulta composto, nella parte bassa da breccia di pendio di età pleistocenica, ad elementi angolosi di natura calcarea, quasi sempre ben cementata da una matrice calcitica o arenitico – calcitica, con giacitura conforme al pendio o meglio al paleo pendio, queste breccie presentano a luoghi segni di carsismo.

Nella parte superiore affiora detrito di falda olocenico, sciolto o debolmente cementato frammisto a materiale piroclastico dilavato disposto con giacitura conforme al pendio; il detrito di falda assume forma di conoide in corrispondenza delle incisioni maggiori. La permeabilità, generalmente tra bassa e media, è dovuta sia alla porosità che alla fratturazione. Il ruolo di tale complesso è essenzialmente di raccordo idrogeologico tra l'acquifero carbonatico e l'acquifero di piana.

### **Complesso delle piroclastiti in posto o rimaneggiate**

I litotipi di questo complesso idrogeologico hanno avuto origine dalle numerose eruzioni avutesi dal centro eruttivo del Roccamonfina.

La permeabilità relativa è in generale medio - bassa, dovuta essenzialmente per porosità; la dove si rinvencono porzioni più litoidi, la permeabilità relativa è più alta in quanto, in tali terreni, si prevale una permeabilità per fratturazione. Il ruolo idrogeologico giocato da tale complesso è quello di impermeabile relativo.

### **Complesso dei tufi**

I litotipi costituenti tale complesso sono tufi e tufiti in prevalenza, piroclastiti, banchi di pomici e livelli pomicei, a volte associati a paleosuoli. Il complesso si presenta alterato marginalmente e superiormente, in modo da far aumentare localmente il grado di permeabilità che in generale è medio – basso e dovuto essenzialmente per porosità, anche se nei termini più litoidi spesso la permeabilità è dovuta alla fratturazione. Data l'eterogeneità dei depositi, la circolazione idrica sotterranea assume carattere di multifalda, anche se di non grosse portate; infatti la peculiarità di tale complesso è quella di essere un impermeabile relativo. A luoghi la circolazione idrica sotterranea è influenzata dal reticolo idrico superficiale.

### **Complesso delle lave**

Le litologie componenti tale complesso sono essenzialmente lave di tipo rachitico e leucitico, associate a luoghi a scorie. La permeabilità è dovuta essenzialmente alla fratturazione ed è generalmente alta. La circolazione idrica sotterranea da origine a falde e sorgenti sospese, data la discontinuità laterale e verticale della permeabilità.

Per definire la profondità di rinvenimento della falda freatica nell'ambito del territorio comunale, è stata effettuata una campagna di misure del livello statico della falda nei pozzi idrici.

Dall'individuazione di punti di uguale misura si è passato alla individuazione delle curve isopiezometriche (curve di uguale quota del pelo libero della falda sul livello del mare) e conseguentemente all'individuazione della direzione del flusso preferenziale delle acque sotterranee come si evince dalla "Carta idrogeologica" redatta in scala 1:25.000.

## **Carta della zonazione in prospettiva sismica**

Sulla base delle modellazioni geologiche, pur mancando conoscenze dirette del sottosuolo, è possibile classificare il rilievo del Monte Massico come un'area stabile dal punto di vista della risposta sismica, con spessori delle coperture e/o della fasce di cataclasizzazione entro i 3 metri. La loro presenza tuttavia determina l'individuazione di locali aree instabili per franosità.

Nel resto del territorio comunale sono state individuate n.7 microzone omogenee tra stabili suscettibili di amplificazione sismica ad instabili per liquefazione e per frana:

**La Zona 1** è caratterizzata dal Complesso lavico, scoriaceo, tufaceo più antico del Roccamonfina che poggia sui complessi sedimentari di tipo marnoso e conglomeratico. Tale zona comprende la parte alta del territorio comunale in particolare le frazioni di Valogno, Sassi, Tuoro, Casarinoli, Ponte, S. Martino, Cescheto, S. Carlo. Sono anche individuate locali zone instabili per franosità.

**La Zona 2** comprende buona parte del territorio comunale ed è caratterizzata da depositi piroclastici recenti seguiti dal complesso tufaceo e dal complesso lavico, poggianti sul complesso sedimentario (marne e conglomerati). Essa comprende il Capoluogo e le frazioni di Cupa, Rongolisi, Lauro, Corigliano, Canale, le Conche, S. Castrese, Fasani. Sono anche individuate locali zone instabili per franosità.

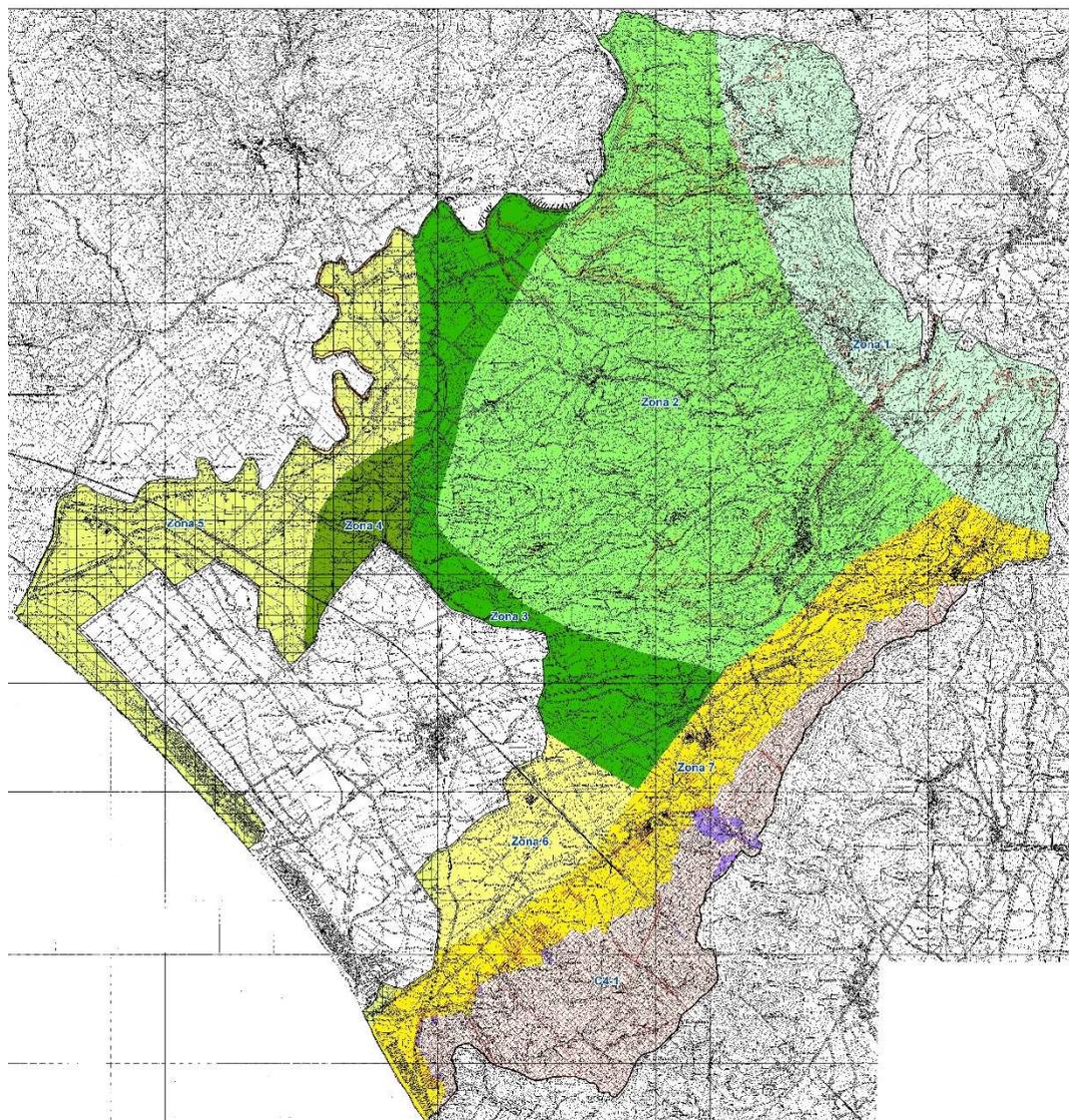
**La Zona 3** comprende i depositi piroclastici recenti seguiti dal complesso tufaceo, poggianti sul complesso sedimentario (marne e conglomerati). Essa è collocata nell'area rurale del territorio (località Giaccio, Masseria Cadeccchia, Masseria Pastene, Masseria Arvanese, Masseria Lamia, Masseria Derola. Sono anche individuate locali zone instabili per franosità.

**La Zona 4** è stata identificata come zona di attenzione instabile per possibile liquefazione. Essa è caratterizzata dal complesso da sabbioso ad argilloso fluvio-marino seguito dal complesso tufaceo, poggianti sul complesso sedimentario (marne e conglomerati). Essa è collocata nell'area rurale del territorio (Masseria Pozzillo, Masseria Arianova, Masseria Torino, Masseria Seccareccia.

**La Zona 5** è stata identificata come zona di attenzione instabile per possibile liquefazione. Essa è caratterizzata dal complesso da sabbioso ad argilloso fluvio-marino, poggianti sul complesso sedimentario (marne e conglomerati). Essa comprende l'area rurale limitrofa al fiume Garigliano e la fascia costiera di Baia Domizia. Sono anche individuate locali zone instabili per franosità.

**La Zona 6** comprende i depositi tufacei poco litificati seguiti dal complesso da sabbioso ad argilloso, poggianti sul complesso sedimentario (marne e conglomerati). Essa comprende l'area rurale attraversa dal Rio della Grotta e comprende la Masseria degli Aitani, la Masseria Zocconari, la Masseria Spinniccio. L'area compresa tra il limite comunale e la Masseria del Medico è stata classificata come Zona di Attenzione per instabilità per liquefazione.

**La Zona 7** comprende i depositi di versante seguiti dai depositi vulcanici piroclastici e lavici oppure dai depositi da sabbiosi ad argillosi fluvio-marini che poggiano sul complesso sedimentario (marne e conglomerati). Tale zona comprende l'area pedemontana del Massico ed interessa le frazioni di Cascano, Avezzano, Sorbello, Carano, Piedimonte. Sono anche individuate locali zone instabili per franosità.



**Microzone omogenee in prospettiva sismica**

**Zona stabile**

Substrato sismico stratificato, fratturato e alterato  
 Complesso calcareo e arenaceo, a luoghi ricoperto da depositi piroclastici con spessori minori di 3m

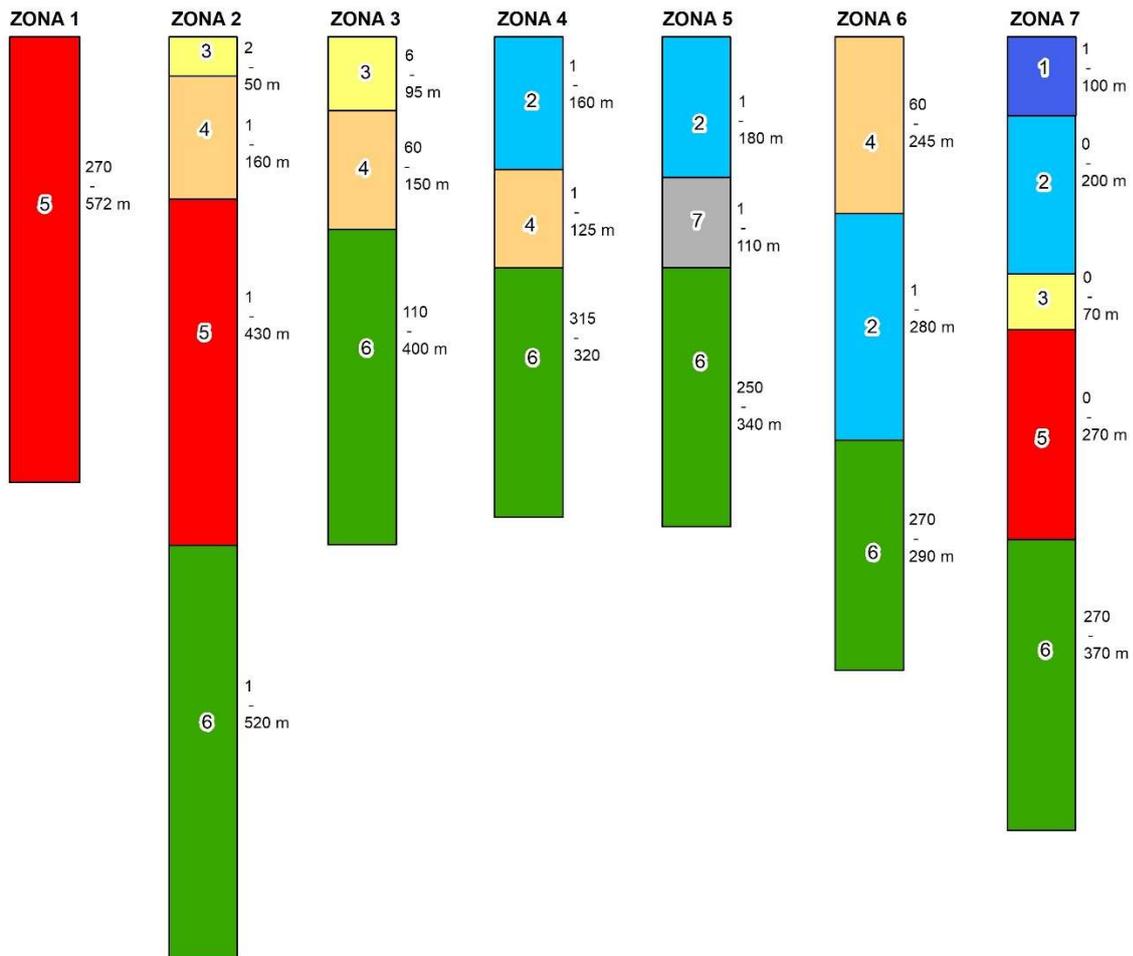
**Zona stabili suscettibili di amplificazione sismica locale**

- Zona 1  
 Complesso lavico, scoriaceo, tufaceo del Roccamorfinia
- Zona 2  
 Depositi piroclastici recenti seguiti dal complesso tufaceo e dal complesso lavico, poggianti sul complesso sedimentario (marne e conglomerati)
- Zona 3  
 Depositi piroclastici recenti seguiti dal complesso tufaceo, poggianti sul complesso sedimentario (marne e conglomerati)
- Zona 6  
 Depositi tufacei poco litificati seguiti dal complesso da sabbioso ad argilloso, poggianti sul complesso sedimentario (marne e conglomerati).
- Zona 7  
 Depositi di versante seguiti dai depositi vulcanici piroclastici e lavici.

**Zone instabili**

- Zona 4 - Instabilità per possibile liquefazione  
 Complesso da sabbioso ad argilloso seguito dal complesso tufaceo, poggianti sul complesso sedimentario (marne e conglomerati)
- Zona 5 - Instabilità per possibile liquefazione  
 Complesso da sabbioso ad argilloso, poggianti sul complesso sedimentario (marne e conglomerati) -
- Zona 1 - Instabilità per fenomeni franosi a rischio elevato e molto elevato
- Zona 2 - Instabilità per fenomeni franosi a rischio elevato e molto elevato
- Zona 3 - Instabilità per fenomeni franosi a rischio elevato e molto elevato
- Zona 5 - Area soggetta a due differenti instabilità, per liquefazione e per fenomeni franosi a rischio elevato e molto elevato
- Zona 7 - Instabilità per fenomeni franosi
- Area soggetta ad instabilità per fenomeni franosi che interessano le coltri di copertura piroclastica di spessore minore di 3m poggianti su substrato sismico, stratificato, fratturato e alterato
- Faglia
- Faglia presunta

Fig. 20 – Carta delle microzone in prospettiva sismica



1 - Depositi di versante	5 - Complesso lavico, scoriaceo, tufaceo
2 - Complesso da sabbioso ad argilloso fluvio-marino	6 - Complesso marnoso
3 - Depositi piroclastici più recenti	7 - Complesso conglomeratico
4 - Complesso tufaceo	

Fig. 21 – Modelli di sottosuolo caratteristici di ogni singola MOPS

## Zonazione per suscettibilità alla liquefazione

Per valutare il potenziale di liquefazione del territorio di Sessa Aurunca si è tenuto conto anche di eventuali evidenze storiche di fenomeni di liquefazione. E' nota la scarsità di evidenze di fenomeni di liquefazione in Campania, come risulta dallo studio riportato nelle *Linee Guida finalizzate alla mitigazione del rischio sismico*, del Settore Geologico Regionale della Campania (2006). In particolare non sono disponibili dati storici sulla liquefazione della piana del fiume Garigliano e della fascia costiera.

Mancano, altresì, per il territorio italiano leggi empiriche che consentano di dedurre potenziali fenomeni di liquefazione in funzione della magnitudo o intensità degli eventi sismici e della distanza epicentrale. In tal caso, qualora si intendesse seguire il criterio basato su magnitudo/distanza o intensità/distanza, bisogna rifarsi a leggi empiriche effettuate prevalentemente da ricercatori giapponesi, cinesi ed anglosassoni, in territori al di fuori dell'Italia.

Pertanto al fine di valutare la possibilità di liquefazione si ricorre a quanto riportato dalle NTC 2018 (D. M 17/01/2018) che al paragrafo 7.11.3.4.2 identifica quali sono le condizioni affinché la valutazione della liquefazione può essere omessa; di tali condizioni deve essere verificata al meno una; esse sono:

- **eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;**
- **accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;**
- **profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;**
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc1N > 180$ ;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 10 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U < 3,5$  ed in Figura 16 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U > 3,5$ .

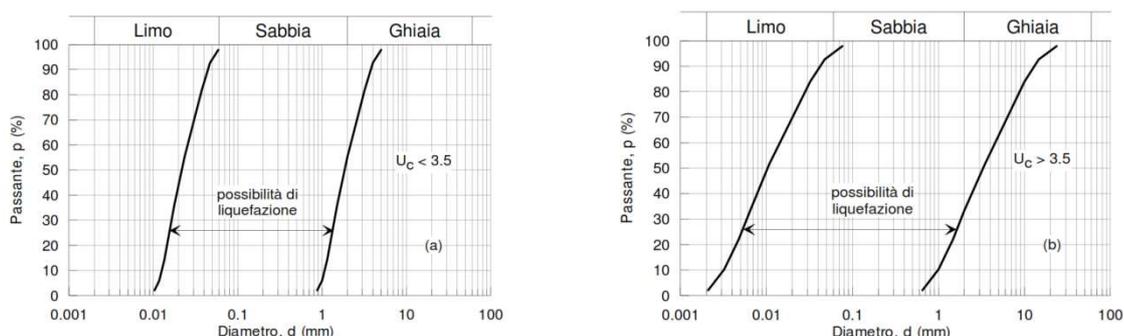


Fig. 22 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Alla luce degli studi effettuati risulta che tre delle cinque condizioni per cui può essere omessa la verifica alla liquefazione non sono verificate.

Pertanto è stato necessario identificare delle zone del territorio comunale, corrispondenti alla fascia costiera e quella limitrofa al corso del Garigliano, in cui è stata riconosciuta la possibilità di liquefazione dei terreni. Quindi, tenuto conto del quadro complessivo, si ritiene di dover invitare il pianificatore a prevedere un vincolo di ulteriori approfondimenti nella fase progettuale per quelle aree segnalate come potenzialmente liquefacibili, nelle unità geomorfologiche che caratterizzano la zona adiacente al Fiume Garigliano e la fascia dunale costiera.

## **Sezioni geologiche ed ipotesi morfoevolutiva**

Sono state elaborate n.4 sezioni geologiche che attraversano il territorio comunale sia in senso longitudinale che trasversale. Esse sono state delineate a partire sia dai dati geognostici della campagna indagini 2007 che dalle risultanze delle indagini HVSR eseguite nel 2023.

Esse mostrano un'estrema variabilità laterale dei principali complessi geologici, appartenenti ad ambienti sedimentari completamente differenti, che sono coesistiti nel Quaternario.

Le ricostruzioni hanno consentite di modellizzare il sottosuolo fino a circa 700 metri di profondità. Tali informazioni sono state desunte principalmente dalle indagini HVSR che hanno evidenziato frequenze fondamentali di risonanza, in diversi casi, molto basse (inferiori ad 1 Hz) consentendo la stima delle interfacce più profonde con la nota formula  $H=V_s/4F_0$  (con H spessore medio della successione;  $V_s$  velocità media delle onde di taglio del deposito,  $F_0$  frequenza fondamentale di risonanza misurata). I valori medi di  $V_s$  sono stati attribuiti sulla base dei modelli di velocità delle onde di taglio elaborati con i risultati delle indagini eseguite nel 2007. Oltre alle frequenze fondamentali, le misure HVSR hanno individuato anche frequenze superiori, consentendo l'individuazione di contrasti di rigida più superficiali. L'interpretazione delle interfacce profonde individuate dalle misure HVSR è stata eseguita a partire dalla stratigrafia del pozzo MONDRAGONE 1, ubicato nel territorio di Cellole e perforato fino a 2 km di profondità nel 1968 dall'AGIP; ad essa sono state aggiunte le stratigrafie di n. 25 pozzi idrici estratte dal portale cartografico ISPRA (Legge 464/1984) e le stratigrafie dei sondaggi geognostici realizzati nel 2007.

Le formazioni più antiche sono quelle carbonatiche (dal Giurassico al Cretaceo) e da arenacee a calcareo marnose (Miocene) del Monte Massico che borda lateralmente il territorio comunale verso Sud-Est.

Sulla base della taratura eseguita tra la stratigrafia del pozzo Mondragone e le interfacce individuate dal punto di misura SES7, si ritiene che l'ultimo complesso individuato nelle sezioni geologiche corrisponda ad una successione prevalentemente conglomeratica di età quaternaria (7) a cui segue diffusamente nell'area un complesso marnoso (6). A livello morfoevolutivo, si ritiene plausibile che queste formazioni

siano antecedenti all'attività vulcanica del Roccamonfina e costituiscano i depositi di riempimento della depressione tettonica delimitata a nord – ovest dai Monti Aurunci ed a sud – est dal Monte Massico. Il successivo complesso conglomeratico (7) individuato nel pozzo Mondragone 1 indica una palese variazione del livello marino che diventa più superficiale evolvendo nel successivo complesso sabbioso – argilloso di ambiente transazionale (fluvio-marino, 2). Si ritiene che questi ultimi due complessi sedimentari siano coevi con l'attività vulcanica del Roccamonfina che abbia conosciuto una prima fase a moderata energia (complesso lavico, scoriaceo, tufaceo) a cui è seguita una fase esplosiva caratterizzata dalla messa in posto del complesso tufaceo (4) e delle piroclastiti più recenti (3). L'attività vulcanica ha conosciuto anche fasi eccentriche in cui l'attività vulcanica si è manifestata lateralmente con la formazione di duomi lavici e cupole vulcaniche (ad esempio Monte Ofelio). I depositi più recenti riconosciuti nelle sezioni geologiche sono gli accumuli di versante (1), il cui spessore è solo stimato geomorfologicamente.

Seppur riconosciute sono lateralmente, è ipotizzabile collocare le unità più antiche del Monte Massico (unità da carbonatiche e marnoso arenacee) tenendo della stratigrafia del pozzo Mondragone 1 (che posizionale le unità mioceniche conto dell'assetto strutturale generale dell'area (dai Monti Aurunci al Monte Massico), dello stile tettonico e della morfologia del tetto del complesso conglomeratico di base della sezione EF

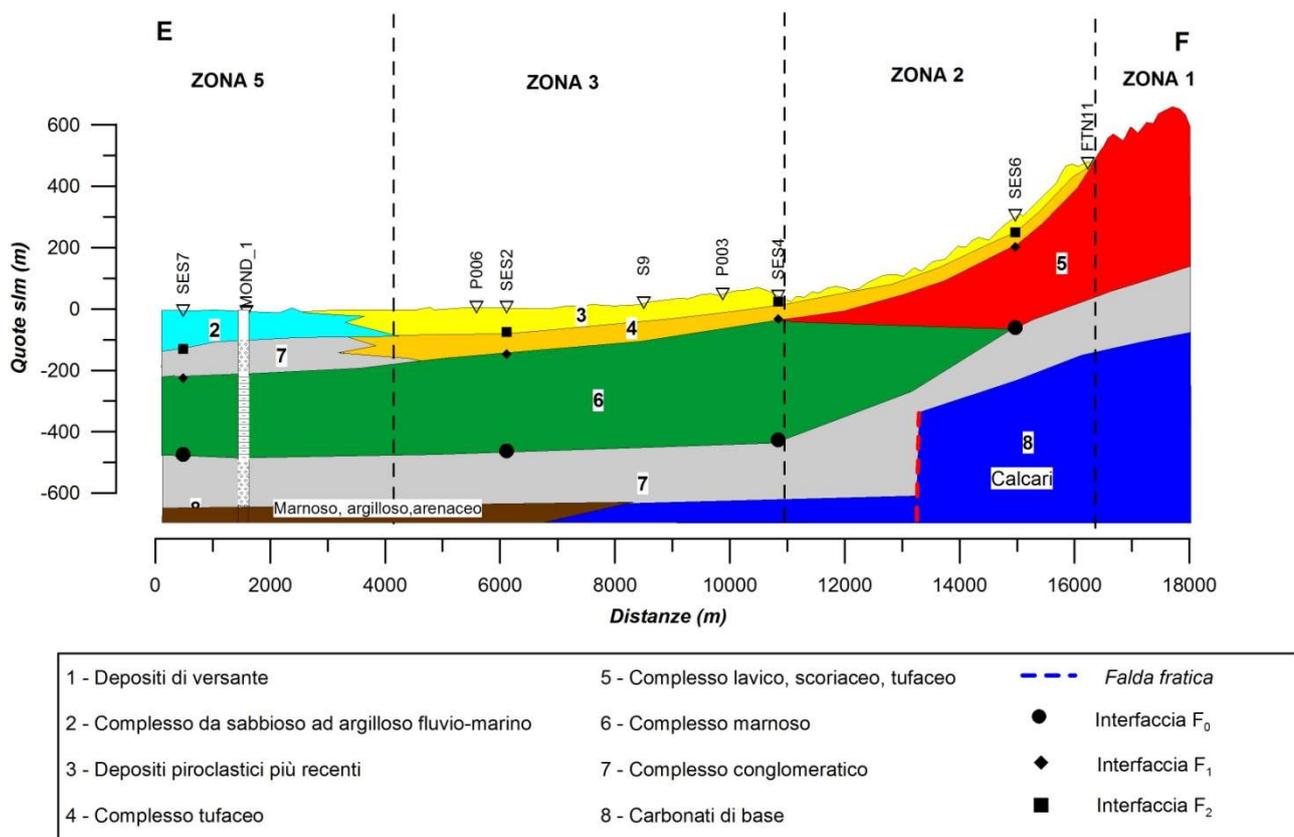


Fig. 23 – Sezione interpretativa dei rapporti stratigrafici

## Conclusioni

Il presente studio geologico-tecnico è parte integrante e funzionale alla redazione del Piano Urbanistico Comunale di Sessa Aurunca. Esso mira alla verifica delle compatibilità previste dalle norme del settore, richiamate in premessa, al fine di permettere l'adozione del PUC acquisendo i pareri degli uffici preposti.

Lo studio svolto rappresenta la sintesi delle conoscenze geologico – tecniche e sismiche del territorio di Sessa Aurunca; tali conoscenze sono state acquisite grazie a rilievi di superficie, ad una nutrita raccolta di dati e pubblicazioni scientifiche a carattere vulcanologico, idrogeologico e stratigrafico inerenti il territorio studiato e all'analisi di prove geognostiche dirette ed indirette eseguite.

Il territorio di Sessa Aurunca è caratterizzato dalla presenza del vulcano Roccamonfina, dal massiccio del monte Massico e dal corso del fiume Garigliano. Tali elementi geografici hanno caratterizzato anche la natura dei depositi sedimentari presenti sul territorio comunale.

Due campagne di indagini sono state sintetizzate; la prima eseguita nel 2007 e la seconda nel 2022 che ha visto essenzialmente un approfondimento delle conoscenze sismiche del territorio comunale. Sono stati eseguiti sondaggi geognostici spinti fino a profondità maggiori di 30 m in cui sono state eseguite prove SPT in foro e sono stati prelevati campioni indisturbati sui quali sono state eseguite prove di laboratorio al fine di ricavare le caratteristiche fisico – volumetriche e meccaniche, oltre che alla caratterizzazione granulometrica; sono state eseguite anche prove penetrometriche statiche CPT e dinamiche DPSH al fine di una ricostruzione in continuo delle caratteristiche meccaniche dei terreni.

Sono state eseguite indagini sismiche sia attive (Down-Hole, FTAN) che passive (HVSR e microtremori). Tali indagini hanno permesso di approfondire le conoscenze geologiche a maggiori profondità. In particolare le indagini sismiche HVSR hanno restituito valori della frequenza fondamentale di risonanza compresi tra 0,28 e 1,15 Hz che hanno permesso di stimare la profondità del substrato sismico fino a circa 700 m.

Le frequenze superiori hanno consentito di stimare inoltre le interfacce dei depositi più superficiali. La modellizzazione geologica è stata possibile tarando le interfacce determinate con la stratigrafia del sondaggio profondo denominato Mondragone 1, unica conoscenza diretta a queste profondità. Si ritiene, pertanto, che il presente studio, oltre a soddisfare i requisiti tecnici richiesti dalla pianificazione urbanistica, abbia assunto un valore scientifico fornendo una interpretazione sull'assetto geologico generale del settore occidentale del vulcano Roccamonfina, i cui rapporti stratigrafici risultano ancora incerti.

Allo stato attuale delle conoscenze, si ritiene che esistano delle incertezze sulla modellazione geologica profonda che comunque non si riflettono sulla modellazione geologica funzionale alla pianificazione urbanistica generale.

La complessità geologica che si è rilevata nel presente studio si riflette senza dubbio sulla risposta sismica locale che si ritiene debba essere analizzata in maniera particolareggiata con studi specifici di microzonazione sismica.

Il territorio comunale è interessato da numerose ed estese aree in cui sono presenti differenti tipi di fenomeni che determinano condizioni di rischio reale e/o potenziale anche molto elevato. Le tipologie di rischio riscontrate afferiscono al rischio idrogeologico sia idraulico che da frana ed è stata identificata anche la possibilità che si manifestino fenomeni di liquefazione.

Le aree maggiormente soggette al rischio e alla pericolosità da frana sono molto diffuse sul territorio anche se si concentrano maggiormente alle pendici del monte Massico, in corrispondenza delle aree più pendenti del cono vulcanico del Roccamonfina e in corrispondenza dei valloni che solcano il territorio con andamento radiale a partire dal cono vulcanico; diffuse aree con rischio elevato e molto elevato sono presenti anche in vicinanza del corso del fiume Garigliano.

Il rischio idraulico è quasi esclusivamente presente in corrispondenza del corso del Garigliano con estese aree a rischio R1 e R2, e aree più ridotte con rischio R3 ed R4.

Il rischio potenziale di liquefazione è stato individuato per aree prospicienti la linea di costa e al corso del Garigliano cioè lì dove le condizioni granulometriche e di profondità della falda concorrono maggiormente alla definizione delle condizioni di rischio.

Dal punto di vista sismico sono state individuate 7 microzone stabili ma suscettibili di amplificazioni locali ed una zona stabile rappresentata dal massiccio del monte Massico.

Il contesto generale del territorio di Sessa Aurunca, molto complesso e articolato dal punto di vista litologico richiede una grande attenzione sia per la pianificazione urbanistica che per la realizzazione di qualsiasi opera di urbanizzazione e residenziale. Si precisa che tutte le interpretazioni derivanti dalle indagini, sia geognostiche che geofisiche eseguite ai fini di questo studio hanno una finalità specificatamente pianificatoria e pertanto non sono utilizzabili per fini edificatori per i quali si rendono necessarie specifiche analisi ed interpretazioni.

Con questo si considera concluso il mandato ricevuto.

Salerno, maggio 2023