 Enimed	Data Febbraio 2024	Doc. N° 000505_DV_EX_TCN_ENI_ENT_0089	Pagina 1 di 23
---	--------------------------	--	-------------------



Eni SpA

enimed



000505\_DV\_EX\_TCN\_ENI\_ENT\_0089


**CONCESSIONE DI COLTIVAZIONE IDROCARBURI G.C1.AG  
INTERVENTI DI OTTIMIZZAZIONE DEL PROGETTO OFFSHORE  
IBLEO – CAMPI GAS ARGO E CASSIOPEA**

**NOTA TECNICA A SUPPORTO DELLA RICHIESTA DI CUI ALLA  
CONDIZIONE AMBIENTALE N.1 - PUNTO C)**

**PARERE TECNICO INTEGRATIVO N. 731 ALLA PROROGA VIA DEC. 237/2023**

LOCALITÀ GELA (CL)

**Febbraio 2024**

 <b>Enimed</b>	Data Febbraio 2024	Doc. N° 000505_DV_EX_TCN_ENI_ENT_0089	Pagina 1 di 23
--	--------------------------	--	-------------------

# ITALY



## Cassiopea


### Development Project

#### INTERVENTI DI OTTIMIZZAZIONE DEL PROGETTO OFFSHORE IBLEO CAMPI GAS ARGO E CASSIOPEA

#### NOTA TECNICA A SUPPORTO DELLA RICHIESTA DI CUI ALLA CONDIZIONE AMBIENTALE N.1 - PUNTO C)


#### PARERE TECNICO INTEGRATIVO N. 731 ALLA PROROGA VIA DEC. 237/2023

00	EX		GEOM	GEOM	Enimed	Febbraio 2024
<b>REV</b>	<b>OPD PHASE</b>	<b>REASON FOR ISSUE</b>	<b>PREPARED</b>	<b>VERIFIED</b>	<b>APPROVED</b>	<b>DATE</b>
Contractor logo and business name		<b>ENIMED -GEOM</b>	<b>GEOM GEB A</b>	<b>ENIMED</b>	 <b>EniMed S.p.A.</b> Progetto Cassiopea Il Responsabile Elisa Valgimigli	

 <b>Enimed</b>	Data Febbraio 2024	Doc. N° 000505_DV_EX_TCN_ENI_ENT_0089	Pagina 2 di 23
--	--------------------------	--	-------------------

**CHANGE TRACKING/REVISION RECORD**

Rev.	Date	Description of Revision
00	Febbraio 2024	Prima emissione

 <b>Enimed</b>	Data Febbraio 2024	Doc. N°  000505_DV_EX_TCN_ENI_ENT_0089	Pagina  3 di 23
---	--------------------------	--	-----------------------

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>5</b>
1.1	STRUTTURA DEL DOCUMENTO .....	5
<b>2</b>	<b>SINTESI DEL PROGETTO “OFFSHORE IBLEO – CAMPI GAS ARGO E CASSIOPEA” .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>AGGIORNAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE DELL’AREA DI PROGETTO .....</b>	<b>9</b>
3.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	9
3.2	ASSETTO STRUTTURALE - SISMOGENETICO .....	10
3.3	ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO E STRUTTURALE – SISMOGENETICO A SCALA DI PROGETTO .....	17
<b>4</b>	<b>ANALISI DI STABILITA’ DI FAGLIA .....</b>	<b>19</b>
4.1	VALUTAZIONI CONCLUSIVE .....	22

### Elenco delle Figure

Figura 2-1:	Planimetria del sistema di condotta rigida (in nero), ombelicali e flexible flowlines (in rosso) ...	6
Figura 2-2:	Progetto Offshore Ibleo - configurazione connessione mare-terra .....	8
Figura 2-3:	Progetto Offshore Ibleo - ubicazione geografica a terra dell’Area di Progetto .....	8
Figura 3-1:	Inquadramento stratigrafico e minerario della zona di progetto (la stratigrafia è stata desunta dal Pozzo Argo 2) .....	9
Figura 3-2:	Modello strutturale regionale del canale di Sicilia con ubicazione dell’area interessata dal progetto .....	12
Figura 3-3:	Zonazione sismogenetica ZS9 (Fonte: Regione Sicilia, Sistema Informativo Territoriale SIT, Dipartimento della Protezione Civile Servizio Regionale di Protezione Civile per la Provincia di Catania, 2004) .....	13
Figura 3-4:	Carta della fagliazione (Fonte: “Probabilistic Seismic Hazard Assessment – PSHA and Site Response Analysis – SRA”, doc ref.00081900BGRV80530) .....	14
Figura 3-5:	Sismicità strumentale (cerchi) e storica (quadrati) del Canale di Sicilia settentrionale degli intervalli temporali 1996-2018 e 1578–1965 .....	15
Figura 3-6:	Velocità GPS stimate, incertezze associate (al livello di confidenza del 95%) e campo geodetico di velocità di deformazione orizzontale stimato per l’area di studio .....	16
Figura 3-7:	Distribuzione spaziale delle misurazioni del flusso di calore superficiale, subaeree ed edifici vulcanici sommersi e spessore della crosta (km) .....	17
Figura 4-1:	Slip Tendency alle condizioni iniziali (vista dall’alto) .....	20
Figura 4-2:	Slip Tendency a 5 anni dall’inizio della produzione (vista dall’alto) .....	20
Figura 4-3:	Slip Tendency a fine produzione (vista dall’alto) .....	21



 <b>Enimed</b>	Data Febbraio 2024	Doc. N° 000505_DV_EX_TCN_ENI_ENT_0089	Pagina 4 di 23
---	--------------------------	--	-------------------

Figura 4-4: Andamento della Slip Tendency per ogni elemento di una faglia di esempio: la ST ha una tendenza a diminuire ..... 21

Figura 4-5: Andamento della Slip Tendency: alcune faglie non sono interessate dalla variazione di stato tensionale dovuta alla produzione ..... 22

 <b>Enimed</b>	Data Febbraio 2024	Doc. N°  000505_DV_EX_TCN_ENI_ENT_0089	Pagina  5 di 23
---	--------------------------	--	-----------------------

## 1 PREMESSA

Il presente studio è stato redatto con lo scopo di ottemperare alle disposizioni di cui alla prescrizione “Condizione ambientale n.1” riportata nel Parere n.731 del 21 aprile 2023 parte integrare del Decreto di Proroga VIA n.237 rilasciato dal Ministero della Transizione Ecologica e dal Ministero della Cultura il 12/05/2023, per il Progetto “Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea” (di seguito Progetto), ubicato nel Canale di Sicilia – Zona G.

Prescrizione n.1 di seguito riportata:

- a) *Presentazione del quadro epidemiologico aggiornato ed esaustivo dell’areale interessato come richiesto dalla normativa vigente in materia secondo le disposizioni di cui al Titolo III della parte seconda del D.lgs. 152/2006 con dettaglio degli effetti del progetto sulla salute pubblica.*
- b) *Tale quadro dovrà servire anche come base di partenza conoscitiva della salute per le popolazioni dei luoghi interessate dal progetto e per il Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA) con attività sia ante operam, in corso d’opera e sia post operam.*
- c) *Fornire un inquadramento del progetto di estrazione e la relativa subsidenza prevista nell’ambito dell’assetto sismogenetico dell’area del progetto alla luce delle più recenti ricerche scientifiche e sul rischio correlato di incidenti.*

Nello specifico il presente documento costituisce quindi l’aggiornamento richiesto relativamente al punto c), in risposta alla prescrizione n.1, sulla base di quanto già valutato e riportato:


- nell’Allegato 3 “Relazione tecnica a supporto della richiesta di Proroga VIA” (ottenuta con Decreto n.237 del 12/05/2023);
- nello “Studio Preliminare Ambientale – Interventi di ottimizzazione al Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea” (approvato con Dec. di Esclusione dalla VIA n. 55/18);
- nello “Studio di Impatto Ambientale Progetto “Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea” (approvato con Dec. VIA/AIA 149/14);
- nel documento “Appendice 12 - Piano di monitoraggio dei fenomeni geodinamici” predisposto ad Integrazione dello Studio di Impatto Ambientale (approvato con Dec. VIA/AIA 149/14);
- nello “Studio di Impatto Ambientale Progetto “Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea” (approvato con Dec. VIA/AIA 149/14);

Per quanto riguarda i punti a) e b) li stessi sono stati discussi all’interno del documento “Nota tecnica a supporto della richiesta di cui alla condizione ambientale n.1 – Salute Umana (Parere tecnico integrativo n. 731 alla Proroga VIA Dec. 237/2023), presentato con istanza il 11/12/2023 e ad oggi in fase di verifica.

### 1.1 STRUTTURA DEL DOCUMENTO

Il presente documento è articolato secondo i seguenti capitoli:

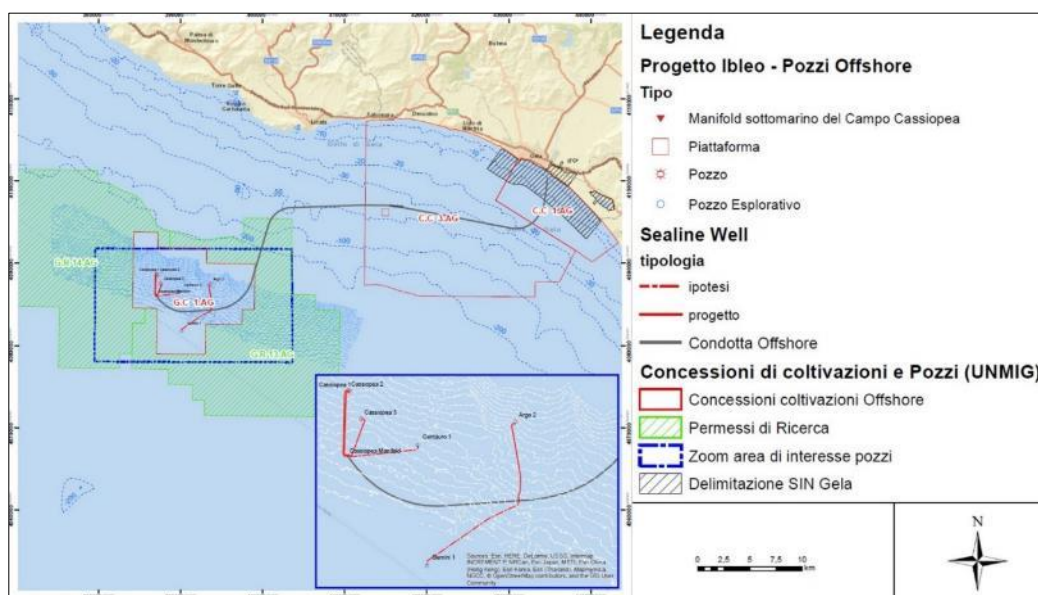
- *Premessa (Capitolo 1): in cui si definisce lo scopo e la struttura del documento;*
- *Sintesi del Progetto (Capitolo 2): in cui si riporta una sintesi del progetto Offshore Ibleo-Campi Gas Argo Cassiopea;*
- *Aggiornamento geologico strutturale dell’Area di Progetto (Capitolo 3): in cui è presentato un quadro geologico aggiornato con particolare attenzione all’assetto strutturale e sismogenetico dell’area di interesse;*
- *Analisi di stabilità di Faglia (Capitolo 4): in cui è presentato una sintesi dei risultati dell’analisi di stabilità di faglia condotta ai campi di Argo e Cassiopea mediante studio geomeccanico.*

 <b>Enimed</b>	Data Febbraio 2024	Doc. N°  000505_DV_EX_TCN_ENI_ENT_0089	Pagina  6 di 23
---	--------------------------	--	-----------------------

## 2 SINTESI DEL PROGETTO “OFFSHORE IBLEO – CAMPI GAS ARGO E CASSIOPEA”

Il progetto prevede lo sviluppo integrato dei Campi Gas Argo e Cassiopea (**Figura 2-1**); gestiti dalla Joint Venture tra Eni S.p.A. (Operatore - quota del 60%) ed Energean Italy S.p.A. (quota del 40%).


Obiettivo principale del progetto “*Offshore Ibleo*” è lo sfruttamento ed estrazione di Gas naturale in modo efficiente e con limitati impatti sull’ambiente, per un periodo indicativo di 20 anni; giacimenti di gas offshore che si trovano all’interno della Concessione di Coltivazione denominata “G.C1.AG”, a circa 30 km dalla costa della Sicilia a profondità comprese tra 550 m e 620 m.



**Figura 2-1: Planimetria del sistema di condotta rigida (in nero), ombelicali e flexible flowlines (in rosso)**

Di seguito vengono sintetizzati i principali interventi, previsti in ambito offshore e onshore, integrati e modificati dalle ottimizzazioni progettuali intercorse; per la localizzazione degli interventi si rimanda alla **Figura 2-2** e **Figura 2-3**:

- Realizzazione di quattro pozzi sottomarini produttori, di cui uno per il giacimento "Argo" (pozzo "Argo 2") e n.3 pozzi per il giacimento "Cassiopea" (pozzi "Cassiopea 1Dir", "Cassiopea 2Dir" e "Cassiopea 3Dir"): tali interventi sono stati autorizzati con **DM°149/2014**;
- Perforazione di n.2 pozzi esplorativi (aventi per obiettivo livelli sabbiosi mineralizzati a gas) sui prospetti denominati "Centaurio 1" e "Gemini 1": tali interventi sono stati autorizzati con **DM°149/2014**;
- Installazione di un manifold sottomarino di raccolta della produzione del Campo Cassiopea: tale intervento è stato autorizzato con **DM°149/2014**;
- Posa di un ombelicale di controllo dal manifold del campo Cassiopea alle 4 teste pozzo all’esistente piattaforma Prezioso: intervento autorizzato con **DM°149/2014** e modifica autorizzata con **DG°55/2018**;

 <b>Enimed</b>	Data Febbraio 2024	Doc. N°  000505_DV_EX_TCN_ENI_ENT_0089	Pagina  7 di 23
---	--------------------------	--	-----------------------

- Posa di una pipeline da 14" dal manifold "Cassiopea" al nuovo approdo inclusa installazione di un sistema di sezionamento di sicurezza sottomarino: intervento autorizzato con **DM 149/2014** e modifica autorizzata con **DG°55/2018**;
- Installazione di opera lineare per il posizionamento di una trappola temporanea di lancio e ricezione pig: intervento autorizzato con **DG°55/2018**;
- Utilizzo dei tracciati esistenti delle tubazioni della Raffineria per il transito della pipeline da 14" dalla radice della ex condotta in cemento armato sino all'area del nuovo impianto: intervento autorizzato con **DG°55/2018**.
- Posa in opera di un impianto di trattamento e compressione del gas a terra ubicato all'interno della Raffineria di Gela: intervento autorizzato con **DG°55/2018**;
- Realizzazione di un punto di misura fiscale a terra all'interno dell'area del nuovo impianto ed opere lineari di collegamento alla rete nazionale: intervento autorizzato con **DG°55/2018**;
- Installazione, presso la piattaforma esistente "Prezioso" che ricade nella concessione "C.C3.AG", delle unità relative all'iniezione del glicol-etilenico nel flusso gassoso estratto dai pozzi del giacimento Argo - Cassiopea per la prevenzione della formazione degli idrati e delle unità necessarie al controllo dei pozzi sottomarini. Inoltre, verrà predisposto il collegamento al collettore di blow down di piattaforma per eventuale depressurizzazione manuale della linea di trasporto gas: intervento autorizzato con **DG°55/2018**.
- Gestione acque meteoriche: le acque meteoriche sono identificabili come bianche (prima e seconda pioggia) o semioleose a seconda dell'area in cui insistono. Queste acque verranno allocate in dedicati sistemi di stoccaggio (uno per le acque semioleose / di prima pioggia e uno per le acque di seconda pioggia) che ne consentono un'analisi preliminare e solo successivamente destinate o all'impianto di trattamento TAS di Raffineria di Gela, o se conformi ai limiti di concentrazioni imposti agli scarichi direttamente nella fogna bianca di Raffineria. Intervento autorizzato con **DG°55/2018**.

In ambito offshore, dunque, le principali ottimizzazioni di progetto rispetto a quanto autorizzato con **DM°149/2014** hanno sostanzialmente riguardato l'eliminazione della nuova piattaforma Prezioso K dal concetto di sviluppo, oltre che la variazione del tracciato previsto della sealine di trasporto del gas a terra e piccoli interventi sulla Piattaforma esistente Prezioso funzionali allo sviluppo dei campi gas Argo e Cassiopea.



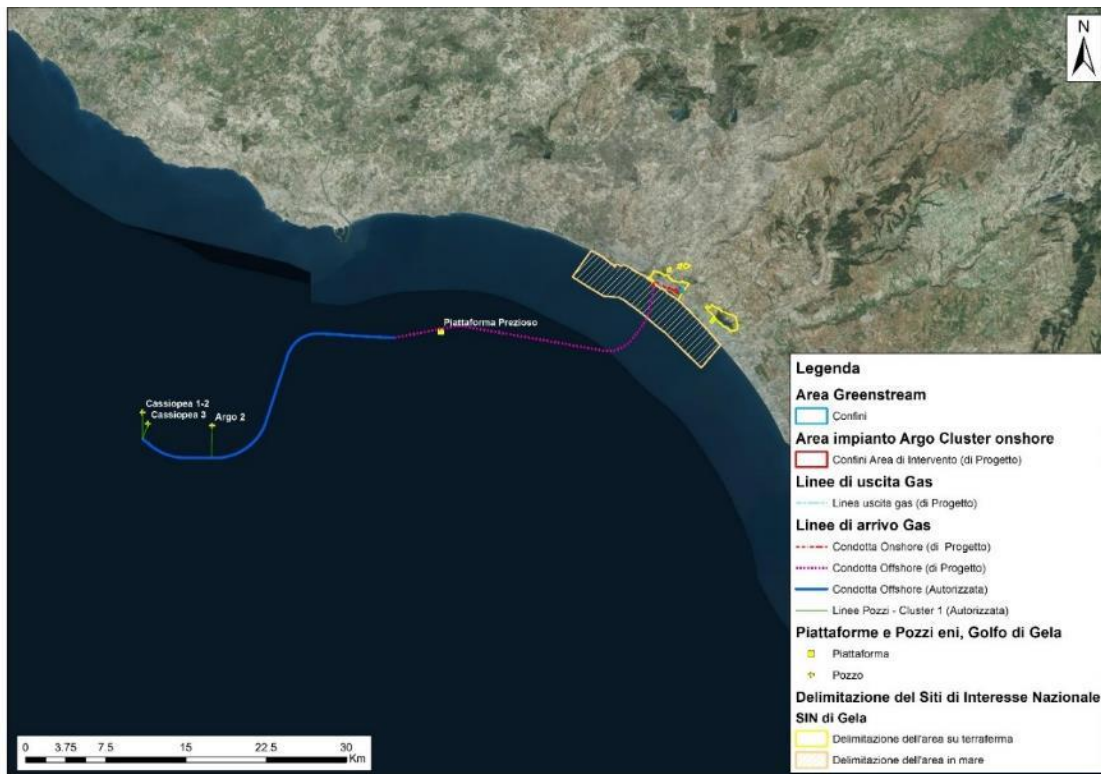


Figura 2-2: Progetto Offshore Ibleo - configurazione connessione mare-terra



Figura 2-3: Progetto Offshore Ibleo - ubicazione geografica a terra dell'Area di Progetto

### 3 AGGIORNAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE DELL'AREA DI PROGETTO

#### 3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico, così come descritto nel Capitolo 4.3 del documento “*Studio di Impatto Ambientale OFFSHORE IBLEO Campi Gas ARGO e CASSIOPEA*” (approvato con Dec. VIA/AIA 149/14), e successivamente riportato nel Capitolo 4.3 del documento “*Integrazioni allo Studio di Impatto Ambientale OFFSHORE IBLEO Pozzi esplorativi CENTAURO 1 e GEMINI 1*” (approvato con Dec. di Esclusione dalla VIA n. 55/18); l'area di progetto ricade nel settore centro orientale del Bacino di Avanfossa plio-pleistocenico, che si estende sia nell'offshore del Canale di Sicilia che nell'onshore da Gela fino a Catania.

Il substrato del Bacino di Avanfossa plio-pleistocenico è costituito dalle serie stratigrafiche messiniane e pre-messiniane appartenenti alle Formazioni Gessoso Solifera e Tellaro. Tale settore è stato interessato da una marcata subsidenza di età Plio-Quaternaria (*Ambrosetti et al., 1985*) che ha consentito il riempimento dell'avanfossa con alcune migliaia di metri di sedimenti clastici plio-quadernari deformati.

La successione stratigrafica del bacino è data da una serie di sequenze stratigrafiche i cui limiti sono definiti da discontinuità regionali tarate alla sismica ed ai pozzi.

La stratigrafia dei pozzi offshore previsti da progetto è stata dedotta dall'analisi dei dati pregressi disponibili, in particolare dalle informazioni relative al Pozzo Argo 2 (**Figura 2-2**). La sequenza litostratigrafica è rappresentata in **Figura 3-1** e descritta di seguito.

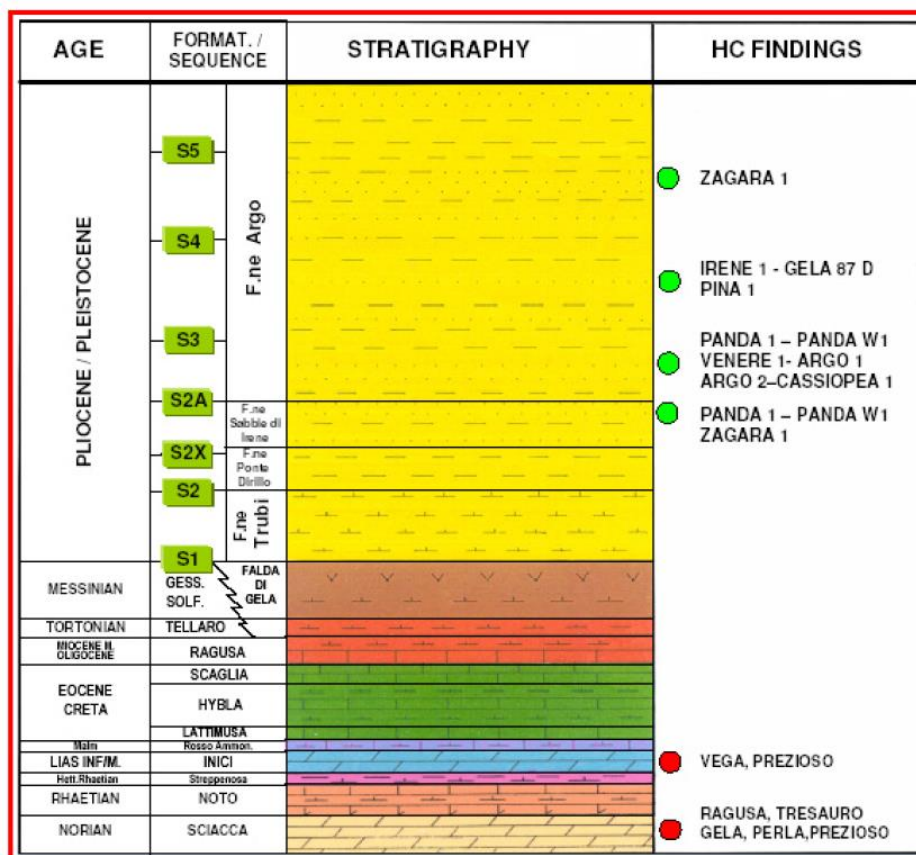



Figura 3-1: Inquadramento stratigrafico e minerario della zona di progetto (la stratigrafia è stata desunta dal Pozzo Argo 2)

 <b>Enimed</b>	Data Febbraio 2024	Doc. N°  000505_DV_EX_TCN_ENI_ENT_0089	Pagina  10 di 23
---	--------------------------	--	------------------------

Dal Triassico superiore fino al Retico p.p. (Pro Parte) avviene la deposizione, in ambiente da subtidale a sopratidale, delle dolomie della F.ne (Formazione) Sciacca, passanti a calcari ed argille della F.ne Noto. Durante il Retico p.p. - Hettangiano il rifting, legato all'apertura della Tetide, ha prodotto uno smembramento della piattaforma norica testimoniato dalla formazione di un bacino euxinico rapidamente subsidente, in cui si depositano potenti coltri di argille nere e calcari con livelli basaltici della F.ne Streppenosa.

La deposizione di questa formazione si arresta alla fine dell'Hettangiano, quando una brusca regressione provoca il prograding della piattaforma della F.ne Inici sulle zone meno profonde del bacino.

Nel Lias – Dogger la piattaforma liassica subisce un generale smembramento con successivo annegamento a causa di una intensa fase tettonica distensiva in direzione Nord Ovest – Sud Est e Nord Est – Sud Ovest. Nella zona si instaurano condizioni di mare profondo con la deposizione di calcari e marne appartenenti alla F.ne Rosso Ammonitico.

La batimetria si uniforma durante il Malm ed il Cretaceo inf. con la deposizione di sedimenti carbonatici di ambiente marino profondo appartenenti alle F.ni Lattimusa ed Hybla. Gli elementi paleogeografici creatisi durante il Cretaceo inferiore persistono anche nel Cretaceo superiore – Eocene, con la sedimentazione dei calcari con selce della F.ne Scaglia.

La serie oligo-miocenica, che inizia con la deposizione della F.ne Ragusa, poggia in discordanza sulla serie carbonatica sottostante; l'ambiente di deposizione è meno profondo di quello della Scaglia. Durante il Tortoniano avviene la deposizione della F.ne Tellaro.

Nel Messiniano l'area subisce una profonda variazione paleogeografia, con la deposizione delle evaporiti della F.ne Gessoso Solfifera mentre, durante il Pliocene inferiore-medio, si verifica una ingressione marina che porta alla deposizione di sedimenti marnosi, argillosi della F.ne Ribera M.bro Trubi. Successivamente, in seguito all'avanzamento verso Sud della Falda neogenica, al passaggio Plio-Pleistocene si instaura un ambiente torbiditico formato dalle argille e dalle sabbie del M.bro Narbone.

In particolare, l'area di progetto è caratterizzata, dal punto di vista geologico, dalla presenza delle seguenti formazioni, dalla più antica alla più recente:


- Pleistocene – Argille marnose e siltose pleistoceniche marine, di colore grigio – azzurro, che costituiscono il substrato delle formazioni presenti. Sabbie pleistoceniche marine di colore giallo ocra, addensate, a granulometria medio – fine, con rari livelli ghiaioso – conglomeratici. Tali formazioni costituiscono i rilievi terrazzati di Gela e della porzione orientale dell'area di studio.
- Olocene – Depositi di dune, mobili e fossili, costituiti da sabbie con rari livelli ciottolosi, originatisi dalla disgregazione delle sabbie pleistoceniche e dal successivo accumulo eolico; sono presenti con continuità dalla foce del torrente Gela lungo la fascia costiera suborientale. Alluvioni fluviali terrazzate, recenti ed attuali, costituite da depositi sabbiosi conglomeratici. Depositi di stagni costieri e palustri, costituiti da sabbie limose e limi argillosi con rari ciottoli. Sabbie di spiaggia, distribuite con continuità lungo tutta la linea costiera.

### 3.2 ASSETTO STRUTTURALE - SISMOGENETICO

Da un punto di vista prettamente strutturale e sismogenetico, come descritto nel documento “*Interventi di ottimizzazione del Progetto Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea - Studio preliminare ambientale*”, gli elementi strutturali che interessano l'area di progetto e più in generale la Sicilia sono il prodotto di fasi tettoniche successive che hanno contribuito alla sua evoluzione geodinamica. Tali elementi strutturali possono essere così suddivisi e descritti:

- “*Catena Appenninico-Maghrebide*”: si presenta nella Sicilia Orientale dai Monti Peloritani (costituiti da rocce metamorfiche) all'estremità orientale, ai Nebrodi (caratterizzati da terreni flyschoidi



 <b>Enimed</b>	Data Febbraio 2024	Doc. N°  000505_DV_EX_TCN_ENI_ENT_0089	Pagina  11 di 23
---	--------------------------	--	------------------------

pelitico-arenacei) verso Occidente, ai Monti Erei, prevalentemente costituiti da rocce di natura arenacea e calcarenitico-sabbiosa a Est e gessoso-solfifera ad Ovest.

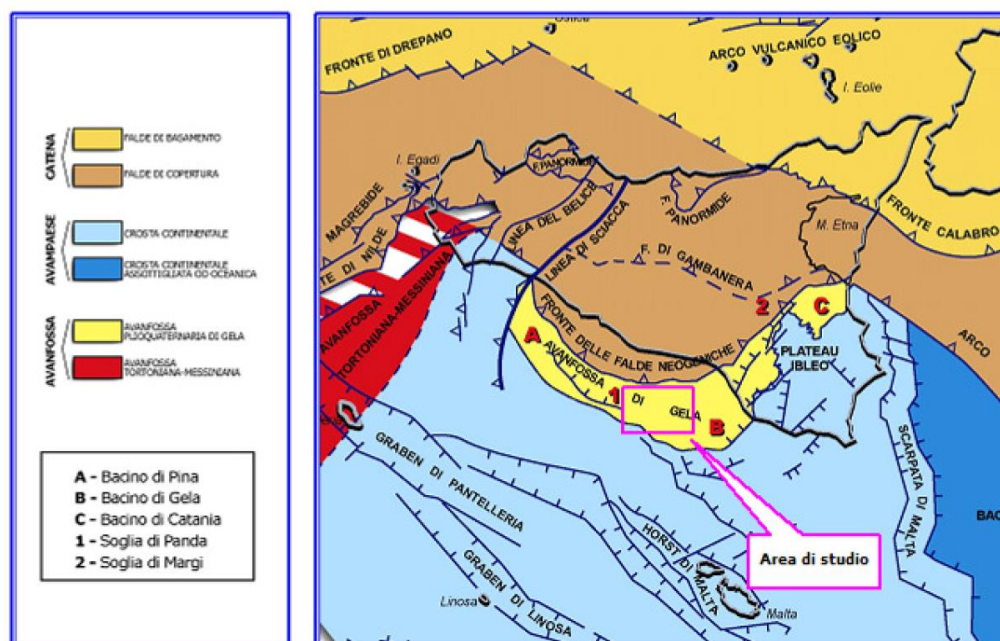
- “*Avampaese Africano*”: rappresentato dal Plateau Ibleo, che affiora estesamente nella parte sudorientale della Sicilia, costituisce il margine indeformato del continente africano. Nel Miocene Superiore si assiste all'emersione parziale del Plateau Ibleo che costituisce così un Horst calcareo che, verso Nord, si ribassa fino a sprofondare sotto il peso delle unità della catena.
- “*Avanfossa*”: il collasso del margine settentrionale dell'Avampaese fin sotto la coltre di sedimenti della catena ha dato luogo a questo ulteriore elemento strutturale. L'avanfossa risulta costituita da una Zona di Transizione o Avanfossa Esterna e dall'Avanfossa Interna, che diventa sede di deposizione dei detriti provenienti dalle unità dei sedimenti deformati durante le fasi orogenetiche, dando così origine al Bacino di Caltanissetta.

Il Bacino del Mediterraneo è stato infatti interessato da più fasi tettoniche e, verso la fine del Miocene Superiore (circa 9-6 milioni di anni fa), gli effetti dello scontro tra i continenti europeo ed africano hanno interessato anche il “Plateau Ibleo” che iniziava ad emergere.

Alla fine del Pliocene Inferiore (5-4 milioni di anni fa), tutto il sistema (Bacino del Mediterraneo), è stato oggetto di un'ulteriore fase tettonica di compressione tale da piegare i terreni depositatisi fino a quel momento. Durante questa fase, i sedimenti del Bacino di Caltanissetta si sono piegati fino a produrre un sovrascorrimento, che ha determinato il sollevamento dei sedimenti stessi sino alla completa emersione. Tutto ciò ha dato luogo ad un imponente slittamento di materiali verso Sud – Sud Est, che hanno colmato la fossa marina situata lungo la congiungente Gela - Catania, allineata Sud Ovest – Nord Est.

Queste deformazioni hanno coinvolto e spostato dalla loro posizione geografica sedimenti posti originariamente nel bacino di mare prossimo all'Avampaese Africano; nel loro complesso tali sedimenti sono noti in geologia come Falda di Gela, ossia l'elemento più esterno della Catena Appenninico-Maghrebide (*F. Lentini, M. Grasso e S. Carbone*). Nello schema strutturale regionale riportato in **Figura 3-2** sono visibili i principali bacini pleistocenici di avanfossa ed i loro rapporti con le aree di catena.

La Falda di Gela è presente nella Concessione di Coltivazione denominata “G.C1.AG”, essa è rappresentata da una successione di sedimenti prevalentemente mio-pliocenici, coinvolti nello sviluppo di un cuneo di accrezione almeno fino al Pleistocene inferiore (*Argnani, 1987*). Il fronte della falda è di età compresa tra il Pliocene ed il Pleistocene inferiore e presenta un andamento arcuato che segna il passaggio tra avampaese e avanfossa (*Argnani, 1987*). La falda di Gela è ricoperta, nell'area di studio, da oltre 200 m di successioni sedimentarie plio-pleistoceniche relativamente indisturbate, come riportato nel precedente Paragrafo.




**Figura 3-2: Modello strutturale regionale del canale di Sicilia con ubicazione dell'area interessata dal progetto**

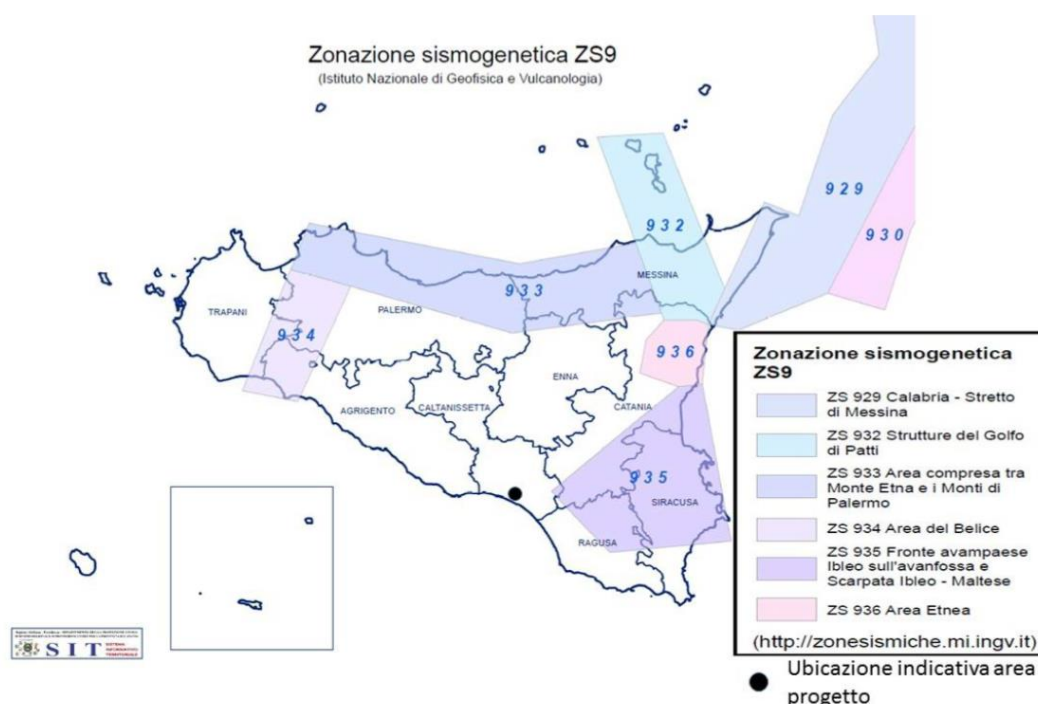
Basandosi su quanto riportato nei precedenti studi, relativamente alle aree o porzioni della crosta o del mantello terrestre da cui possono originarsi i terremoti, la zonazione sismogenetica ZS9 realizzata da *Meletti e Valensise* per conto dell'INGV (2004)<sup>1</sup>, identifica in Sicilia n. 6 zone sismogenetiche (**Figura 3-3**):

- ZS 929 Calabria – Stretto di Messina.
- ZS 932 Strutture del Golfo di Patti.
- ZS 933 Area compresa tra Monte Etna e i Monti di Palermo.
- ZS 934 Area del Belice.
- ZS 935 Fronte avampaese Ibleo sull'avanfossa e Scarpata Ibleo – Maltese.
- ZS 936 Area Etna.

L'area di progetto di estrazione gas non ricade all'interno di nessuna zona sismogenetica, la più prossima è la ZS935 Fronte avampaese Ibleo sull'avanfossa e Scarpata Ibleo – Maltese.

<sup>1</sup> Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo. A cura di C. Meletti e G. Valensise (marzo 2004 con contributi di R. Azzaro, S. Barba, R. Basili, F. Galadini, P. Gasperini, M. Stucchi e G. Vannucci).

 <b>Enimed</b>	Data Febbraio 2024	Doc. N° 000505_DV_EX_TCN_ENI_ENT_0089	Pagina 13 di 23
---	--------------------------	--	--------------------




**Figura 3-3: Zonazione sismogenetica ZS9 (Fonte: Regione Sicilia, Sistema Informativo Territoriale SIT, Dipartimento della Protezione Civile Servizio Regionale di Protezione Civile per la Provincia di Catania, 2004)**

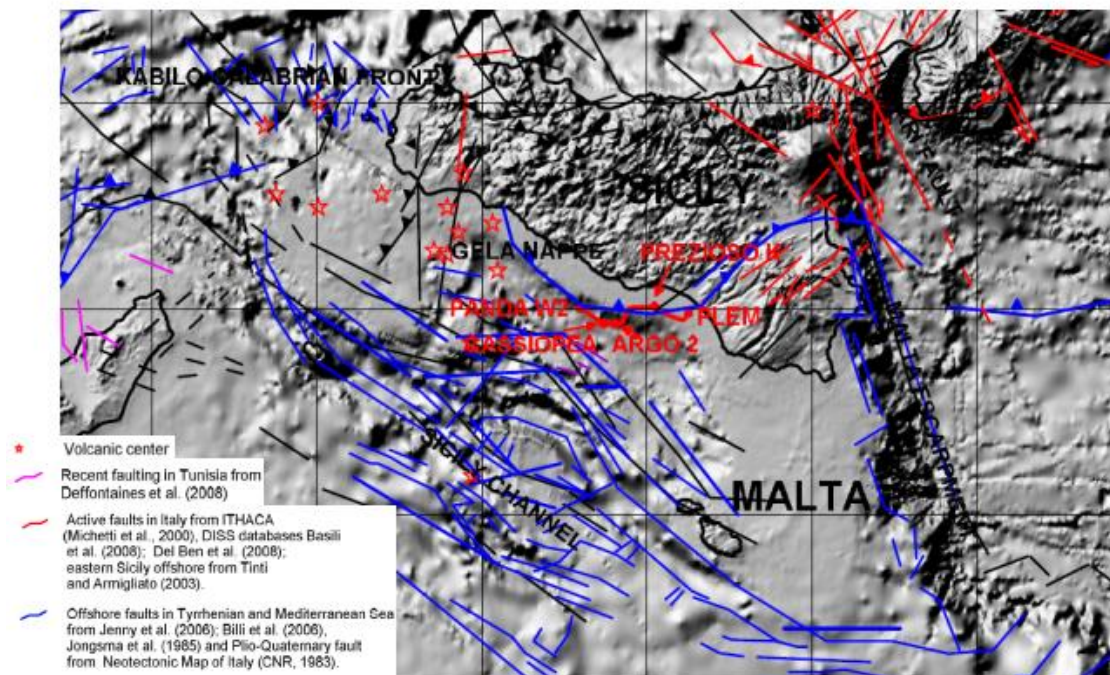
Rispetto alla zonazione sismogenetica sopra descritta, recenti ricerche scientifiche condotte da *Palano et al.* e pubblicate su *Nature nel 2020*<sup>2</sup> hanno confermato come l'area del Canale di Sicilia sia caratterizzata da rilevante attività tettonica e sismica, nonché da una complessa deformazione crostale.

Le numerose faglie presenti nel canale di Sicilia sono rappresentate nella carta della fagliazione (**Figura 3-4**) e riportano le faglie attive individuate in pregressi studi condotti sul territorio della Sicilia orientale (in rosso), nei territori del Mar Tirreno e Mediterraneo (in blu), e in quelli della Tunisia (in viola).

Combinando dati sismologici, geodetici, profili sismici e mappe di gravità, le analisi condotte in merito alla ricerca di Palano et al. hanno permesso la valutazione di nuovi scenari per la caratterizzazione del rischio sismico dell'area.

<sup>2</sup> <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78063-1>

 <p>Enimed</p>	<p>Data Febbraio 2024</p>	<p>Doc. N° 000505_DV_EX_TCN_ENI_ENT_0089</p>	<p>Pagina 14 di 23</p>
---	-----------------------------------	--	----------------------------



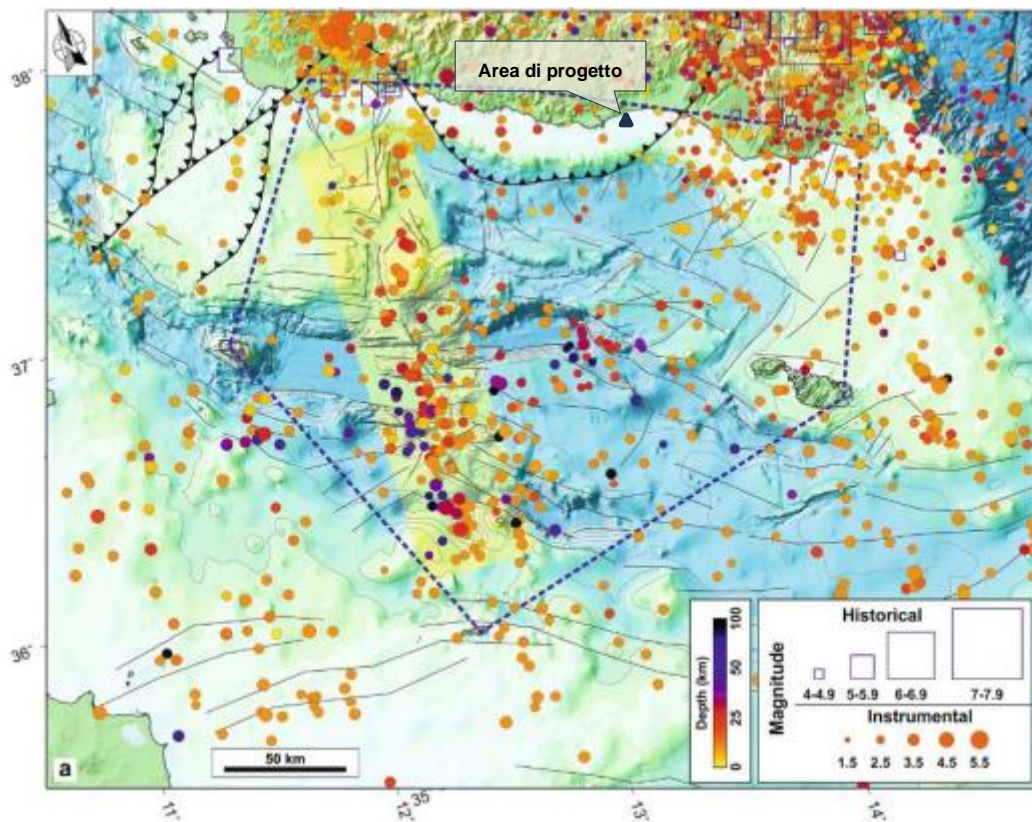
**Figura 3-4: Carta della fagliazione (Fonte: “Probabilistic Seismic Hazard Assessment – PSHA and Site Response Analysis – SRA”, doc ref.00081900BGRV80530)**

Lo studio, in particolare propone il confronto tra i tassi di deformazione sismologici e geodetici con lo scopo di identificare le regioni in cui la deformazione è interamente rilasciata dalla sismicità crostale. Questo approccio è stato tentato nello specifico nel Canale di Sicilia nel Mediterraneo centrale, dove la convergenza Nubia - Eurasia è accompagnata da confini geometricamente complessi caratterizzati da tettonica multifase e tempi relativamente lenti.

In **Figura 3-5** è rappresentata la sismicità strumentale e storica facenti riferimento agli intervalli temporali, rispettivamente, 1996-2018 e 1578–1965. Il poligono blu rappresenta l'area di studio del documento di *Palano et al.* mentre l'area evidenziata in giallo rappresenta la cintura tettonica Nord - Sud.

I dati provenienti dai cataloghi di sismicità strumentale evidenziano le principali caratteristiche sismiche nella regione del Canale di Sicilia, che, nonostante la presenza di faglie attive e la sua deformazione geodetica composita, è caratterizzata da un'attività sismica da bassa a moderata in confronto con quello osservato su regioni vicine come la Sicilia e il Nord Africa, situate lungo il confine della placca convergente Nubia-Eurasia. Nel dettaglio, nel Canale di Sicilia, la sismicità strumentale è scarsa e prevalentemente concentrata lungo la suddetta fascia orientata Nord - Sud. Al contrario, nella Sicilia meridionale, la sismicità è concentrata principalmente nell'altopiano Ibleo e nella zona del Belice, e segna la presenza di strutture tettoniche attive che sono state sede di terremoti storici.



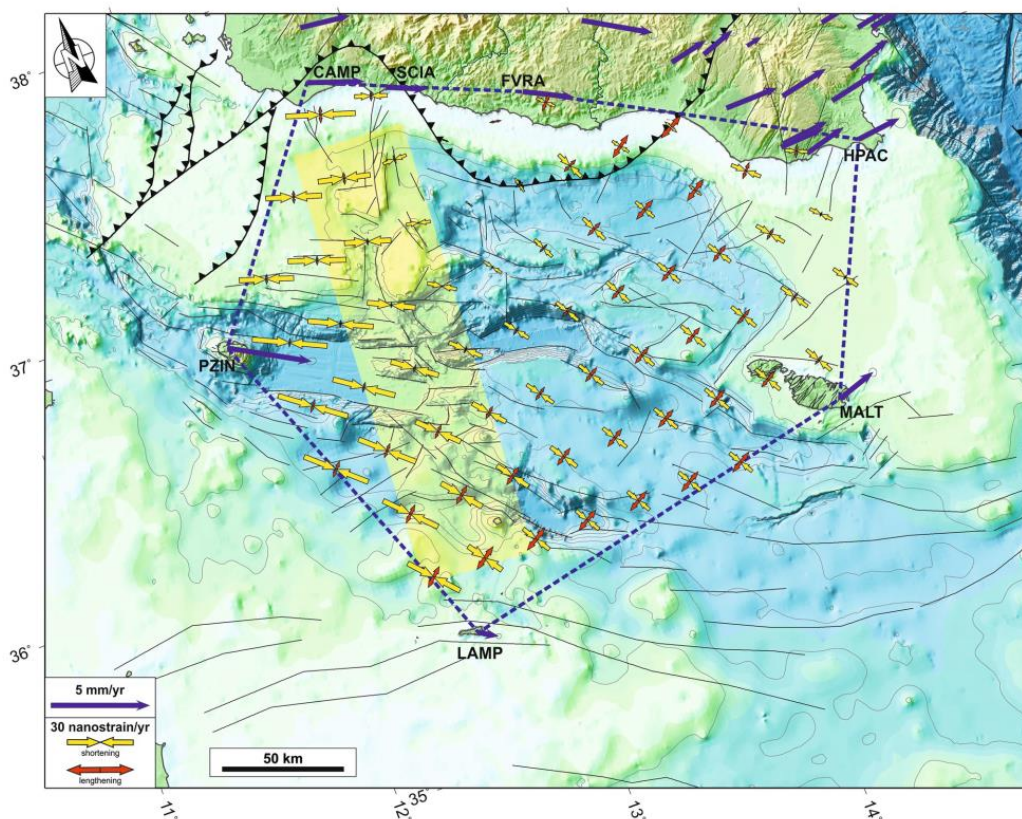


**Figura 3-5: Sismicità strumentale (cerchi) e storica (quadrati) del Canale di Sicilia settentrionale degli intervalli temporali 1996-2018 e 1578-1965**

In **Figura 3-6** sono invece rappresentate (frecche blu) le velocità GPS stimate a partire da osservazioni GPS acquisite nell'intervallo di tempo 2001-2018 attorno al Canale di Sicilia e alla Sicilia meridionale, e le incertezze associate (al livello di confidenza del 95%), dove le velocità si riferiscono a un sistema di riferimento fisso nubiano. È inoltre riportato il campo geodetico di velocità di deformazione orizzontale stimato per l'area di studio (le frecche rosse e gialle indicano rispettivamente le velocità di deformazione estensionale e contrattile maggiori).

Il campo di velocità di deformazione suggerisce che il settore occidentale dell'area interessata dallo studio di Palano sia dominato da un campo prevalente di contrazione, con assi minimi aventi orientamento Ovest Nord Ovest – Est Sud Est tra Pantelleria e la Sicilia Sudoccidentale, e atteggiamento Nord Ovest – Sud Est tra Pantelleria e Lampedusa. Al contrario, il settore orientale è caratterizzato da un campo di deformazione trascorrente, con gli assi massimo e minimo allineati rispettivamente in direzione Nord Est - Sud Ovest e in direzione Nord Ovest – Sud Est.



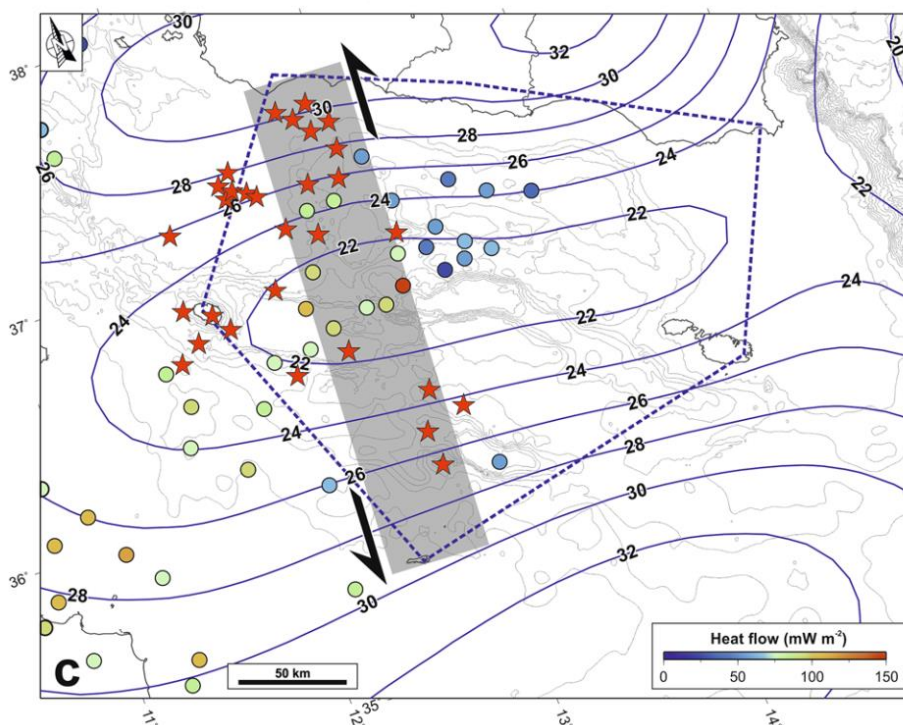


**Figura 3-6: Velocità GPS stimate, incertezze associate (al livello di confidenza del 95%) e campo geodetico di velocità di deformazione orizzontale stimato per l'area di studio**

Lo studio di Palano, combinando le osservazioni GPS e i cataloghi dei terremoti, ha permesso una valutazione statistica del budget del tasso di deformazione per l'area del Canale di Sicilia.

Tutti i dati analizzati, integrati da ricostruzioni e osservazioni provenienti dalla letteratura, indicano la presenza di un lineamento tettonico Nord – Sud lungo circa 220 km, nominato Lampedusa — Sciacca shear zone (LSSZ), che rappresenta il dominio tettonico più attivo nell'area di studio. Esso rappresenta solo circa lo 0,9% della deformazione crostale e ciò implica un deficit di momento sismico eventualmente coperto da una porzione di deformazione sismica (scarico in corso per creep e altri processi plastici) o da deformazioni in corso non ancora rilasciate dalla sismicità (immagazzinamento elastico). Lo scenario sostenuto dalla ricerca, indica una reologia relativamente duttile della crosta, suggerendo un ripristino antisismico di questo deficit.

Questa ipotesi è supportata da alcune osservazioni, come la distribuzione anomala della temperatura, la presenza di attività magmatica e il basso spessore della crosta. In **Figura 3-7** è rappresentata la distribuzione spaziale delle misurazioni del flusso di calore superficiale (cerchi colorati), le subaeree e gli edifici vulcanici sommersi (stelle rosse). È inoltre riportato lo spessore della crosta (in km) come linee continue blu continue e la LSSZ rappresentata con una striscia grigia.



**Figura 3-7: Distribuzione spaziale delle misurazioni del flusso di calore superficiale, subaeree ed edifici vulcanici sommersi e spessore della crosta (km)**

### 3.3 ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO E STRUTTURALE – SISMOGENETICO A SCALA DI PROGETTO


L'assetto strutturale e sismogenetico sopra descritto è stato comunque oggetto di studio durante le fasi esplorative del giacimento gas nei Campi Gas "Panda, Argo e Cassiopea". Nello specifico le analisi sono state svolte sulla base di indagini sismiche. Le interpretazioni sismiche sui Campi Gas e sui pozzi esplorativi sono state eseguite su un volume sismico 3D acquisito tra il 2003 e il 2004, con un'estensione di circa 800 km<sup>2</sup>, ubicato a circa 20 km dalla costa, nell'offshore di Licata. Tali indagini hanno permesso di valutare in dettaglio l'assetto strutturale e deposizionale sito specifico, di seguito si riporta un sunto di quanto descritto nello "Studio di Impatto Ambientale Progetto "Offshore Ibleo – Campi Gas Argo e Cassiopea" (approvato con Dec. VIA/AIA 149/14), a cui si rimanda per maggiori dettagli.

La **sequenza S1 (Figura 3-1)**, che comprende il M.bro Trubi della F.ne Ribera, è costituita da marne e marne argillose, che rappresentano una serie trasgressiva condensata. I Trubi si trovano localmente in discordanza anche sopra la Falda di Gela, indicando che questa era già formata ed attiva a partire dal Messiniano post-evaporitico. Questa sequenza è divisa in due parti:

- la parte inferiore corrisponde ad una fase d'emersione dell'avampaese e si prolunga dal Messiniano post evaporitico fino alla parte bassa del Pliocene inferiore;
- la parte più recente (Pliocene medio) corrisponde ad una fase di sedimentazione generalizzata di argille e marne marine in un bacino poco profondo.

La **sequenza S2 (Figura 3-1)** comprende le argille condensate di avampaese e il limite basale è legato probabilmente ad una fase tettonica di sovrascorrimento della falda.

La **sequenza S2X (Figura 3-1)** corrisponde alla fase deformativa di maggior entità, del Plio-Pleistocene, che porta all'individuazione del bacino di avanfossa ibleo. L'evento deformativo è concomitante ad una

 <b>Enimed</b>	Data Febbraio 2024	Doc. N° 000505_DV_EX_TCN_ENI_ENT_0089	Pagina 18 di 23
--	--------------------------	--	--------------------

importante fase di traslazione della falda alloctona verso l'avampaese. La successione è estesamente interessata da un'intensa attività tettonica sindeposizionale. L'attività deformativa compressiva e transpressiva è testimoniata dalla presenza di diverse discordanze angolari e da fault-bend fold e faglie transtensive ad alto angolo.

Le geometrie deposizionali sono quelle tipiche dei cunei torbiditici di avanfossa con geometrie di progressivo riempimento per aggradazione con orizzonti sismici piano paralleli.

Al margine interno dell'avanfossa gli orizzonti s'interrompono prevalentemente contro la base della falda, mentre al margine esterno l'interruzione è per onlap contro la rampa d'avampaese. La parte inferiore della sequenza è prevalentemente argillosa, l'avampaese e la rampa sono interessati da una fase di non deposizione che si prolunga dal Pliocene medio fino a buona parte del Pliocene superiore. La sedimentazione riprende alla fine del Pliocene superiore con la deposizione di una successione condensata a cui segue un'importante fase di sedimentazione torbiditica sabbiosa corrispondente all'unità Sabbie di Irene, ultima fase di deposizione della sequenza S2X.

Il limite della **sequenza S2A (Figura 3-1)** corrisponde ad una fase di intensa deformazione compressiva che interessa la successione torbiditica delle Sabbie di Irene (Sequenza S2X) con importanti implicazioni di tipo minerario in tutta l'area di studio.


Nell'area di studio è riconoscibile anche una deformazione probabilmente di tipo transtensivo legata alla riattivazione di faglie ad alto angolo dei sottostanti carbonati. Il trend ha direzione Nord Ovest – Sud Est.

La deposizione della successione di avanfossa è seguita dalla migrazione, progressiva, della falda neogenica e da una successiva strutturazione della successione di avanfossa stessa. La subsidenza tettonica crea un nuovo depocentro del bacino di avanfossa in posizione più esterna. Le mappe isopache prodotte per le sequenze bacinali confermano il progressivo spostamento dei depocentri verso Sud Est.

La **sequenza S3 (Figura 3-1)** comprende il primo cuneo sedimentario in on-lap sulla falda che chiude l'ultima significativa fase deformativa. Questa sequenza presenta intervalli tabulari a strati sottili sviluppati nelle aree distali-depocentrali ed intervalli prevalentemente argillosi e caotici posti in prossimità della falda.

La **sequenza S4 (Figura 3-1)** si sviluppa nella parte finale del Pleistocene. Le facies sono prevalentemente rappresentate da sedimenti argilloso-siltosi spesso caoticizzati. I livelli caotici sono molto frequenti in tutta l'area. Si tratta di depositi della sequenza S4 e della precedente sequenza S3 depositati sul fronte della falda e nelle adiacenti aree bacinali che sono stati interessati in ambiente sottomarino da imponenti fenomeni di scivolamento gravitativo verso le aree bacinali.

La **sequenza S5 (Figura 3-1)** registra l'ultimo evento deposizionale della successione, costituito dalla progressiva progradazione dei sistemi marginali interni.

 <b>Enimed</b>	Data Febbraio 2024	Doc. N° 000505_DV_EX_TCN_ENI_ENT_0089	Pagina 19 di 23
--	--------------------------	--	--------------------

## 4 ANALISI DI STABILITA' DI FAGLIA

Un'analisi di stabilità di faglia è stata condotta mediante studio geomeccanico dei campi di Argo e Cassiopea, situati nell'offshore siciliano, approssimativamente 18 km a Sud della costa meridionale dell'isola. Il modello geomeccanico utilizzato è 3D agli elementi finiti e, per descrivere il comportamento del materiale, si è adottata una legge costitutiva elasto-plastica<sup>3</sup>.

Lo studio si è concentrato sull'analisi della stabilità per 80 faglie distribuite nell'area di interesse sulla base dell'interpretazione sismica, anche sulla base delle nuove ricerche scientifiche condotte. Per la valutazione della stabilità si è utilizzato il criterio di rottura di Mohr Coulomb, secondo cui lo scivolamento avviene quando lo stress tangenziale (o shear stress)  $\tau$  agente sulla superficie di faglia supera la forza di attrito  $f$ , che è direttamente proporzionale allo stress efficace normale  $\sigma_n'$  attraverso il coefficiente di attrito  $\mu$ . La stabilità è garantita, perciò, quando lo shear stress che agisce sulla faglia risulta inferiore alla forza di attrito:

$$\tau < f = \mu \cdot \sigma_n'$$

L'approccio adottato prevede che le faglie vengano trattate in modo implicito, vale a dire che le superfici di faglia non sono fisicamente presenti nel modello. Per capire se una faglia è stabile o meno, è utilizzata una fase di post processing, in cui lo stato tensionale viene proiettato sulla superficie di faglia, conoscendone la geometria e la posizione nello spazio. Successivamente, la tendenza allo scivolamento ("Slip Tendency" ST) viene calcolata per ogni elemento secondo la relazione:

$$ST = \tau / \sigma_n'$$

Quando ST è inferiore al coefficiente di attrito  $\mu$ , la faglia risulta stabile.

I risultati ottenuti per i campi di Argo-Cassiopea hanno evidenziato che i valori di ST sono inferiori a 0.4 durante tutta la simulazione (da inizio a fine produzione, vale a dire dal 2024 al 2036) per tutte le superfici di faglia, indicando che, con le condizioni imposte, le faglie sono stabili per un coefficiente di attrito superiore o uguale a 0.4 (**Figura 4-1, Figura 4-2, Figura 4-3**).

Considerando la litologia dell'underburden (carbonati ed evaporiti), dove sono collocate la maggior parte delle faglie, si può affermare che l'attrito sia superiore a tale valore, come evidenziato in letteratura<sup>4</sup>. Per quanto riguarda l'area in reservoir, test di laboratorio effettuati sulle carote prelevate dai pozzi Argo-2<sup>5</sup> e Cassiopea-1<sup>6</sup>, suggeriscono un valore di 0.47 come limite inferiore per il coefficiente di attrito a garanzia, quindi, della stabilità delle faglie durante tutta la vita produttiva dei giacimenti in esame.

<sup>3</sup> Analisi di Stabilità di Faglia – Campi di Argo e Cassiopea (Ibleo). Febbraio 2024.

<sup>4</sup> Byerlee, J. (1978). Friction of rocks. Rock friction and earthquake prediction, 615-626.

<sup>5</sup> Pozzo Argo-2 – Studio integrato su campioni di roccia prelevati dalla carota n. 1 (1408 – 1416.5 m). 10/2009. Aprile 2009.

<sup>6</sup> Pozzo Cassiopea 1 DIR – Studio integrato su campioni di roccia prelevati dalla carota n. 1 (1644 – 1652 m). 12/2009. Aprile 2009.



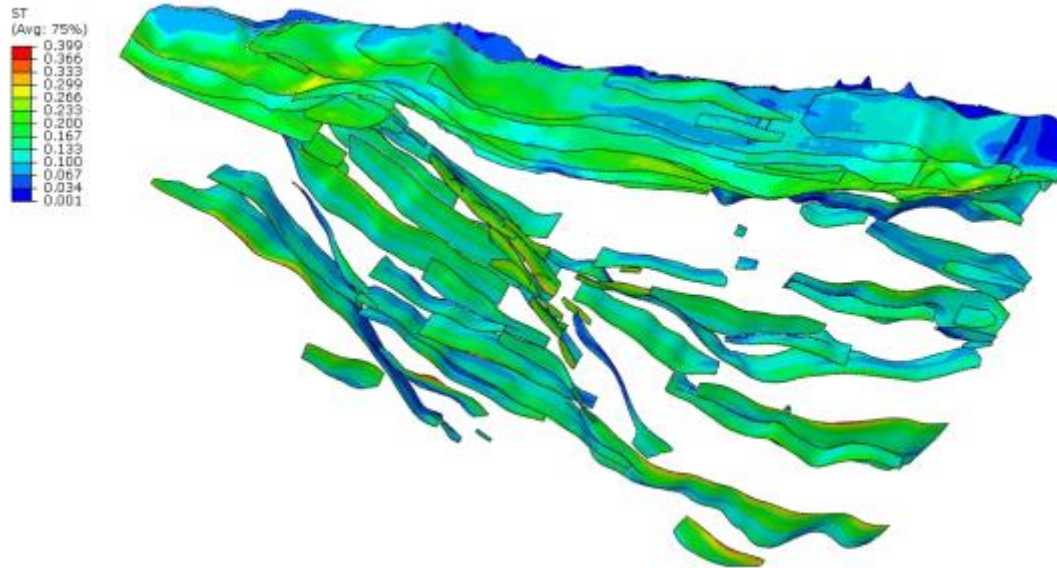


Figura 4-1: Slip Tendency alle condizioni iniziali (vista dall'alto)

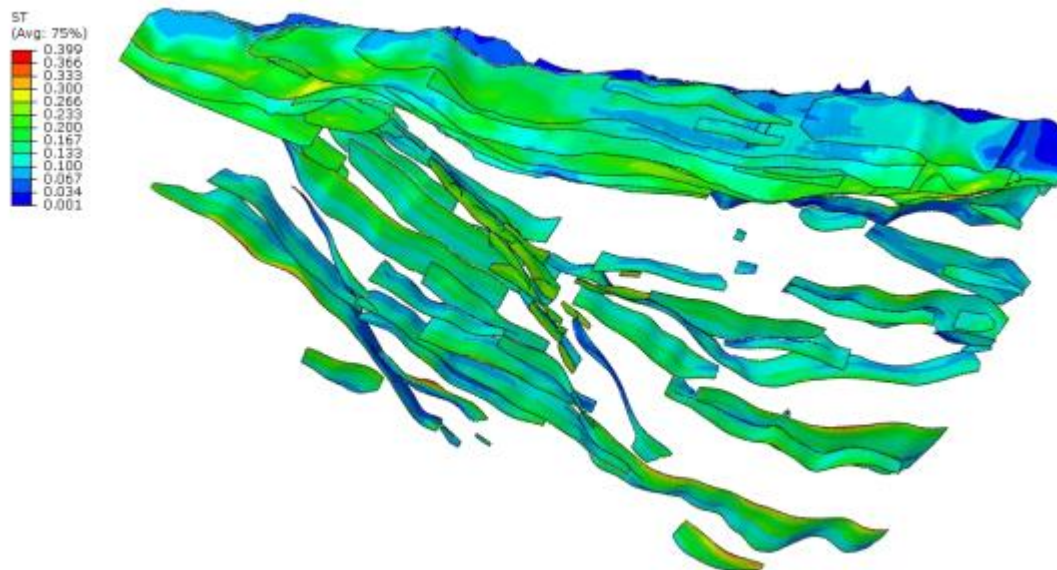


Figura 4-2: Slip Tendency a 5 anni dall'inizio della produzione (vista dall'alto)

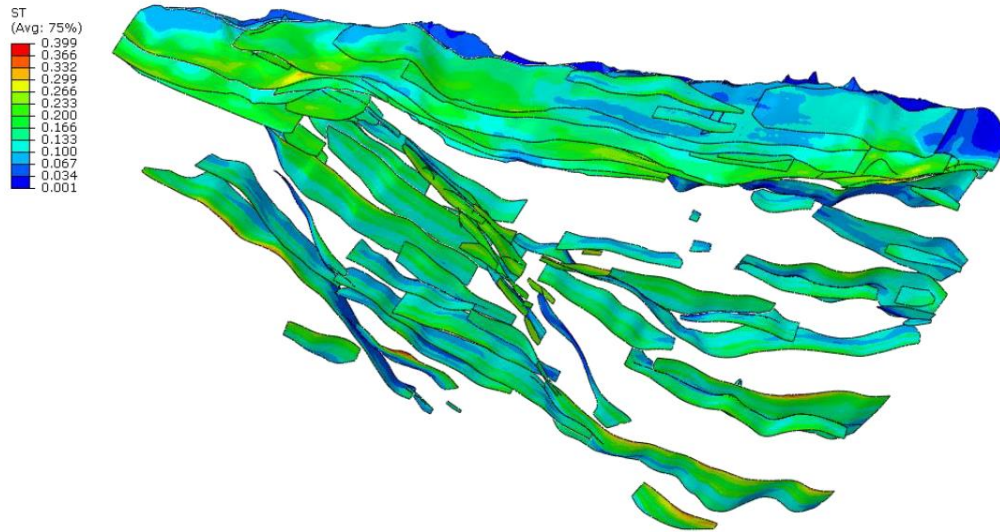


Figura 4-3: Slip Tendency a fine produzione (vista dall'alto)

Per capire con maggiore dettaglio come si comportano le faglie in fase produttiva, è stato analizzato l'andamento della ST per ciascun elemento di faglia considerando i tre time step di riferimento (inizio della produzione, dopo 5 anni di produzione e fine della produzione). Si riportano i risultati per una faglia di esempio, dove questa variazione è più marcata (**Figura 4-4**), per mostrare che, globalmente, la ST diminuisce con la produzione, con un effetto che, quindi, porta verso la stabilizzazione di tali faglie. Dove non si verificano variazioni di ST, le faglie non sono influenzate dalla produzione (**Figura 4-5**). Questi comportamenti (i.e. riduzione o stazionarietà della slip tendency durante la produzione) sono comuni a tutte le 80 faglie presenti nell'area.

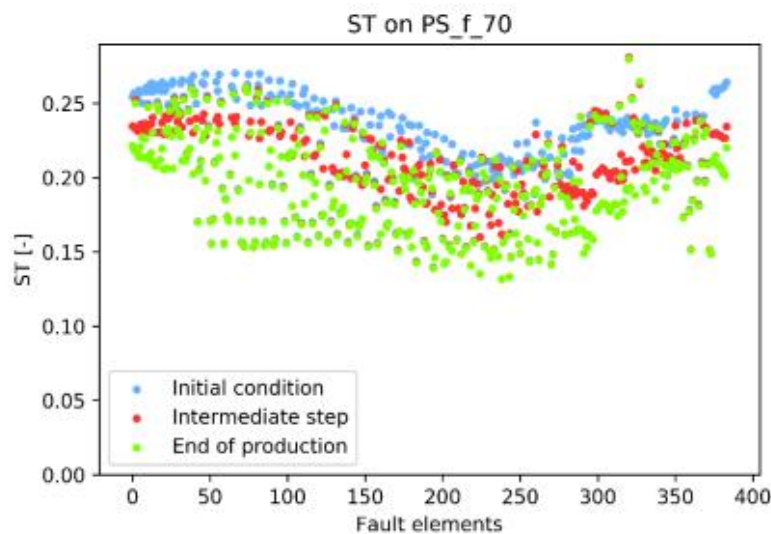

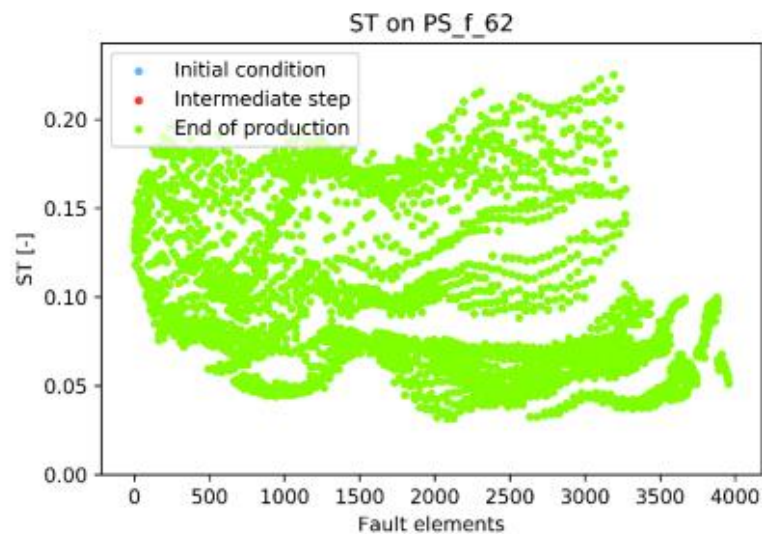


Figura 4-4: Andamento della Slip Tendency per ogni elemento di una faglia di esempio: la ST ha una tendenza a diminuire

 <b>Enimed</b>	Data Febbraio 2024	Doc. N°  000505_DV_EX_TCN_ENI_ENT_0089	Pagina  22 di 23
---	--------------------------	--	------------------------



**Figura 4-5: Andamento della Slip Tendency: alcune faglie non sono interessate dalla variazione di stato tensionale dovuta alla produzione**

#### 4.1 VALUTAZIONI CONCLUSIVE

Lo scopo del presente documento, così come richiesto nel Parere n.731 del 21 aprile 2023 parte integrare del Decreto di Proroga VIA n.237 rilasciato dal Ministero della Transizione Ecologica e dal Ministero della Cultura il 12/05/2023, è quello di *fornire un inquadramento del progetto di estrazione e la relativa subsidenza prevista nell'ambito dell'assetto sismogenetico dell'area del progetto alla luce delle più recenti ricerche scientifiche e sul rischio correlato di incidenti.*

L'assetto geologico e sismogenetico descritto nel 2010 in sede di presentazione del progetto di coltivazione di gas metano "Offshore Ibleo - Campi gas Argo e Cassiopea" e approvato con Dec. VIA/AIA 149/14, alla luce dei recenti studi, è stato maggiormente approfondito risultando ad ogni modo in linea con quanto studiato nella letteratura pregressa.

In ragione di ciò e del fatto che il progetto non ha subito modifiche relativamente alla fase di estrazione e ricerca mineraria rispetto a quanto presentato nel 2010, non si ravvede l'insorgenza di nuove criticità rispetto a quanto già presentato ed approvato.