

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**U.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA  
TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

**GEOLOGIA**

Report di validazione scientifica

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I V 0 I 0 0 D 6 9 R H G E 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L. Crispin M. Maino	Nov. 2021	E. Poggi	Nov. 2021	G. Fadda	Nov. 2021	M. Comedini Nov. 2021



File: IV0100D69RHGE0001001A.doc

n. Elab.:



UNIVERSITÀ DI PAVIA  
Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente



Università  
di Genova

DISTAV DIPARTIMENTO  
DI SCIENZE DELLA TERRA,  
DELL'AMBIENTE E DELLA VITA

*Supporto e supervisione scientifica relativi agli studi  
geologici per la Progettazione Definitiva  
dell'adeguamento della tratta ferroviaria Andora –  
Finale Ligure (SV)*

---

## **RELAZIONE FINALE**

Responsabili scientifici:

Prof. Laura Crispini (UNIGE)

Dott. Matteo Maino (UNIPV)

16 dicembre 2021



## PREMESSA

*La società di ingegneria ENSER s.r.l. (di seguito ENSER) è stata incaricata da ITALFERR S.p.A. di realizzare lo studio geologico ed idrogeologico per il supporto e la supervisione scientifica relativi agli studi geologici per la Progettazione Definitiva dell'adeguamento della tratta ferroviaria Andora – Finale Ligure (SV)".*

Il presente documento, che segue la realizzazione del suddetto studio geologico, ha lo scopo di valutare in modo critico ed oggettivo il modello geologico, la cartografia e le sezioni geologiche allegate alla "Relazione Geologica e Geomorfologica", al fine di validarne sia la metodologia utilizzata che i risultati ottenuti.

## **Descrizione dell'opera**

Dal punto di vista geologico lo scavo dei tunnel di linea coinvolgerà diversi litotipi appartenenti alle successioni stratigrafiche riferibili alle unità tettoniche alpine e ai sovrastanti depositi post-collisionali della "Pietra di Finale" (Oligo-Miocene) e quelli plio-quadernari. Di seguito sono brevemente descritte le principali caratteristiche stratigrafico-strutturali dell'area che sarà interessata dallo scavo.

## GEOLOGIA

La cartografia geologica, prodotta alla scala 1:5.000 e supportata da numerosi stop geologici e stazioni geo-strutturali, è stata eseguita in maniera rigorosa grazie al continuo coinvolgimento dei responsabili scientifici che hanno potuto effettuare alcuni sopralluoghi e verificare in itinere la realizzazione degli elaborati intermedi e definitivi. Per tale ragione i pareri di seguito espressi relativamente alla relazione geologica e agli elaborati finali, sono volti essenzialmente a migliorarne la comprensione, consolidarne la correttezza scientifica ed a sottolineare possibili criticità in fase di esecuzione. Di seguito si richiamano le informazioni sostanziali relative alla geologia della tratta in oggetto e si suggeriscono le possibili criticità che si potrebbero incontrare in fase d'opera al fine di migliorare ulteriori indagini future.



### ***Cartografia geologica***

Le carte geologiche prodotte non mancano di caratteri di innovatività sebbene mantengano una coerenza con quanto presente nella bibliografia pregressa. Le maggiori innovazioni derivano dall'integrazione dei rilievi di terreno eseguiti dal personale Enser con i recenti dati inediti prodotti dagli estensori di queste note (Laura Crispini e Matteo Maino) durante la contemporanea campagna di rilevamento all'interno della realizzazione in corso del foglio Carg "245 Albenga". In particolare, la zona compresa tra Finale Ligure e Loano ha visto le maggiori modifiche rispetto alla cartografia di dominio pubblico. L'insieme dei nuovi rilievi geologici ha permesso di chiarire le relazioni tettonico-stratigrafiche nonché le caratteristiche sedimentologiche dei litotipi attribuiti alle diverse unità tettoniche, a loro volta raggruppate in tre domini paleogeografici principali: Brianzonese, Prepiemontese e Piemontese-Ligure (Flysch a Elmintoidi). La corretta attribuzione delle sequenze stratigrafiche ha permesso di ricostruire con maggior grado di affidabilità le strutture deformative che coinvolgono l'insieme dei litotipi. Il dato di terreno è stato proficuamente integrato e confrontato con le informazioni derivate dalle indagini geognostiche (carotaggi e geofisica). I sondaggi disponibili hanno fornito un supporto fondamentale per l'interpretazione di spezzoni continui di successioni stratigrafiche evidenziando possibili transizioni eteropiche (i.e. tra quarziti e dolomie-calcarei triassici) oppure gap stratigrafici (i.e. tra quarziti triassici e calcari giurassici). Lo studio delle relazioni stratigrafiche nelle carote ha permesso di ricostruire le relative posizioni all'interno delle grandi strutture plicative coricate. Infine, l'integrazione tra dato di superficie e le informazioni del sottosuolo ha permesso di definire la traccia di alcune significative strutture fragili che intersecano il percorso dell'opera.

Non meno importante è stato il contributo del rilevamento e i sopralluoghi congiunti, per definire la corretta disposizione dei limiti dei terreni post-collisionali, in particolare quelli delle formazioni attribuite ai terreni oligo-miocenici della "Pietra di Finale" e dei depositi plio-quadernari.

Si segnala, tuttavia, che la esigua disponibilità di affioramenti rocciosi in larga parte del tracciato, influisce sensibilmente la precisione nella definizione cartografica dei limiti geologici, diminuendone il grado di attendibilità anche nell'interpretazione delle loro



prosecuzioni nel sottosuolo.

### ***Deformazione duttile***

L'analisi strutturale delle deformazioni duttile delle unità tettoniche Brianzoni, Piemontesi e Piemontesi-Liguri ha messo in rilievo la presenza di tre fasi tettono-metamorfiche (D1-3) in accordo con quanto riscontrato in letteratura (e.g. Vanossi et al., 1984; Maino et al., 2012). Le prime due fasi deformative D1 e D2 si sono sviluppate in condizioni di facies metamorfica retrogressive da scisti blu a scisti verdi. Mentre la prima fase è ubiquitaria e definisce la foliazione dominante dell'area, la seconda fase duttile produce ripiegamenti coassiali con vergenza opposta. La terza fase invece è molto raramente associata a un clivaggio penetrativo nelle rocce e si desume perlopiù dal ripiegamento di strutture preesistenti alla scala cartografica. Si consideri che la prima fase deformativa duttile (D1) è responsabile della scistosità principale che traspone le superfici sedimentarie e si configura come una foliazione di piano assiale associata a pieghe sud e sud-ovest vergenti. La seconda fase deformativa (D2) si rileva come un clivaggio di crenulazione particolarmente visibile nei litotipi più foliati (calcescisti cretaci, scisti permiani) ed accompagna pieghe minori vergenti tettonicamente verso nord, nord-est. Siccome la scistosità D1 è largamente dominante e sottende le grandi strutture plicative che conformano l'area di studio, risulta appropriata la scelta di rappresentare in carta principalmente questa poiché evita di introdurre complessità irrilevanti ai fini progettuali. Le deformazioni D1 sono associate a pieghe con assi a direzione principale NW-SE e foliazioni prevalentemente immergenti verso nord, nord-est. La deformazione D2 si contraddistingue per foliazioni prevalentemente immergenti verso sud e ad assi di piega a direzione N-E e NW-SE.

Alcune grandi pieghe (scala ettometrica), associabili alla prima fase deformativa, sono state rilevate lungo tutto il tratto percorso dalle gallerie. In particolare, il promontorio di Caprazoppa è contraddistinto da una grande piega coricata con al nucleo sinclinalico i calcari marmorei del giurassico superiore e sporadiche lenti di calcescisti del cretaco superiore. Tale piega ha asse a direzione circa E-W e vergenza verso sud, sud-est, caratteristiche che si discostano di qualche decina di gradi (in senso antiorario) rispetto alle vergenze più frequenti descritte in letteratura per le pieghe D1. Tale incongruenza geometrica può essere interpretata e attribuita alla tettonica più recente e la rotazione collegata ai movimenti dei



blocchi relativi alle faglie che segmentano le grandi pieghe rilevate. Pieghe con geometria simile si ritrovano anche presso il Monte Grosso e nell'entroterra di Pietra Ligure. Muovendosi invece verso ovest, ed entrando nel dominio occupato dalle successioni sedimentarie torbiditiche del piemontese-ligure (Flysch ad Elmintoidi), aumenta la frequenza delle pieghe associate alla fase D1, probabilmente a causa della maggior duttilità di questi litotipi che sono caratterizzati da ripetizioni ritmiche di peliti e arenarie-conglomerati. Tali pieghe sono spesso accompagnate da faglie inverse o sovrascorrimenti che si erano presumibilmente originati contemporaneamente al piegamento stesso. Le pieghe minori di seconda fase (D2) si distinguono bene in queste successioni stratigrafiche (formando figure di interferenza), meno sviluppate invece nella sequenza brianzonese caratterizzata da una generale maggiore "rigidità" data dalle dolomie e quarziti.

### ***Deformazione fragile***

Il quadro strutturale del settore di interesse è suddiviso in due contesti distinti:

- *la tratta orientale del tracciato (a est di Loano, dominio Brianzonese) dominata da faglie subverticali e ad alto angolo di inclinazione da attribuire a una evoluzione polifasica che va dalle fasi estensionali-trastensionali trado Varisiche e poi Mesozoiche alla loro riattivazione in compressione durante le fasi Alpine e, infine, una ultima riattivazione, di nuovo distensiva associabile alle fasi post-Oligoceniche. Le orientazioni di queste faglie sono variabili ma identificabili perlopiù in due grandi famiglie orientate a N-S e E-W. Non si notano criteri che permettano una definizione univoca della cronologia tra questi due sistemi, ed è probabile che si siano sviluppati e riattivati ripetutamente nel corso della storia geologica dell'area. Si nota tuttavia che i lineamenti E-W separano domini brianzonesi caratterizzati da diverse sequenze stratigrafiche. In particolare, la faglia E-W rilevata tra gli abitati di Pietra Ligure e Loano separa un dominio stratigrafico Brianzonese interno a sud della faglia (caratterizzato da un ampio gap stratigrafico compreso tra il Trias inferiore al giurassico superiore) da una ad affinità Brianzonese intermedio-esterno a nord della faglia (gap ridotto al periodo compreso tra il Trias superiore e il Giurassico superiore).*



- *La tratta occidentale del tracciato (a ovest di Loano; dominio pre-piemontese e piemontese-ligure) interessata da sovrascorrimenti sud-ovest vergenti di età alpina, spesso impostatisi contemporaneamente alla formazione delle grandi strutture plicative coinvolgenti le torbiditi dei Flysch ad Elmintoidi.*

Tale differenza di quadro strutturale tra i due settori è strettamente correlata alla reologia dei corpi rocciosi affioranti; infatti, l'orientazione delle fasce cataclastiche e della foliazione regionale S1 è in accordo con l'assetto geometrico di tali litotipi. Le rocce di faglia comprendono cataclasiti, ultraclatasiti, gouge foliati e brecce di faglia incoerenti. Nel caso delle faglie di maggiore estensione, quali in particolare la faglia alle spalle di Pietra Ligure e Loano, lo spessore delle zone di danno possono raggiungere e talora superare i 30-50 metri. Tali faglie potrebbe costituire criticità nelle successive fasi di progettazione e costruzione dell'opera.

### **Sezioni geologiche**

La geologia interpretata nelle sezioni geologiche longitudinali della tratta investigata è ben vincolata alla cartografia geologica ed ai risultati dei sondaggi e delle indagini geofisiche. Tali sezioni costituiscono la base del modello geologico di riferimento esposto nella relazione geologica. Le faglie e le loro relative zone di danno sono state correttamente rappresentate con specifica stima degli spessori e delle incertezze di ubicazione a quota galleria tenendo conto dell'estensione degli affioramenti, dei vincoli derivati dai sondaggi e dell'entità della copertura topografica.

### **CONCLUSIONI**

Nell'ambito dello studio geologico propedeutico al Progetto Esecutivo della tratta ferroviaria Andora – Finale Ligure (SV), ENSER ha elaborato un modello geologico di riferimento sulla base dei dati disponibili. Al fine di migliorare le conoscenze geologiche e geologico-tecniche del sito e pervenire alla stesura del suddetto modello, nei mesi scorsi sono stati eseguiti rilievi e misure di campo che sono state di volta in volta discusse e condivise. In particolare, gli approfondimenti conoscitivi sono stati diretti laddove si fossero individuate eventuali criticità. Pertanto, la modellazione e la ricostruzione fornite da ENSER appaiono solide e non sono da



UNIVERSITÀ DI PAVIA  
Dipartimento di  
Scienze della Terra  
e dell'Ambiente



Università  
di Genova

DISTAV DIPARTIMENTO  
DI SCIENZE DELLA TERRA,  
DELL'AMBIENTE E DELLA VITA

evidenziare differenze interpretative, oltre che azioni correttive. Il quadro geologico dell'area è quindi condiviso e il modello geologico si configura come affidabile e rigoroso alla luce dei dati disponibili. Il modello geologico potrà essere ulteriormente affinato nella fase di progettazione esecutiva con l'ausilio di nuovi rilievi e indagini geognostiche, oltre che confermato dai dati di monitoraggio.

Genova-Pavia, 16 dicembre 2021

Prof. Laura Crispini

Dott. Matteo Maino