

INDICE

1. Premesse	2
2. Geomorfologia	4
2.1 Dissesti franosi	6
3. Geologia	9
3.1 Successione stratigrafica e caratteri delle unità geologiche	10
3.2 Assetto tettonico e geostrutturale	17
4. Idrogeologia	19
5. Indagini geognostiche	23
6. Sismicità	25
7. Compatibilità geomorfologica delle diverse ipotesi di tracciato.	36
7.1 Tracciato di monte (magenta)	37
7.2 Tracciato intermedio (blu)	38
8. Modello geologico del tracciato prescelto	40

1. Premesse

La presente relazione geologica fa parte della documentazione allegata alla "Progettazione preliminare ed analisi economica del tratto terminale del collegamento del Porto di Civitavecchia con il Nodo Intermodale di Orte per il completamento dell'asse viario Est-Ovest (Civitavecchia – Ancona), tra il km 21+500 della SS 1bis e il km 86+000 della SS1 "Aurelia" (Tratta Monte Romano est - Civitavecchia)". La relazione definisce i lineamenti geologici, geomorfologici ed idrogeologici dell'area ed evidenzia, in via preliminare in relazione al livello progettuale raggiunto, le interferenze delle diverse ipotesi progettuali studiate con le aree a più alta criticità geologica e geomorfologica.

Nella presente nota vengono inizialmente descritti i contesti geomorfologico, stratigrafico ed idrogeologico di riferimento; successivamente viene analizzato il tracciato in progetto, per tratti omogenei, con riferimento alle interrelazioni prevedibili fra l'assetto del sottosuolo ed il suo comportamento conseguente alla costruzione delle principali opere previste.

Gli elementi necessari per la redazione di tale elaborato sono stati ottenuti a seguito dell'esame della documentazione bibliografica disponibile per l'area in oggetto, dell'analisi diretta delle condizioni geologiche e geomorfologiche delle aree all'interno delle quali ricade l'intervento in progetto, dell'esecuzione di un rilevamento geologico-tecnico originale dell'area in scala 1:5.000, dell'interpretazione di dati geognostici preesistenti, dall'analisi della documentazione sulle indagini geognostiche appositamente programmate ed effettuate nel corso di questa fase progettuale.

Lo studio analizza le interazioni geologiche e geomorfologiche con tre diverse ipotesi progettuali (Fig. 1.1):

- 1) Tracciato di monte (magenta) – alternativa 1;

- 2) Tracciato intermedio (in blu) – alternativa 2;
- 3) Tracciato di valle (verde) – tracciato prescelto.

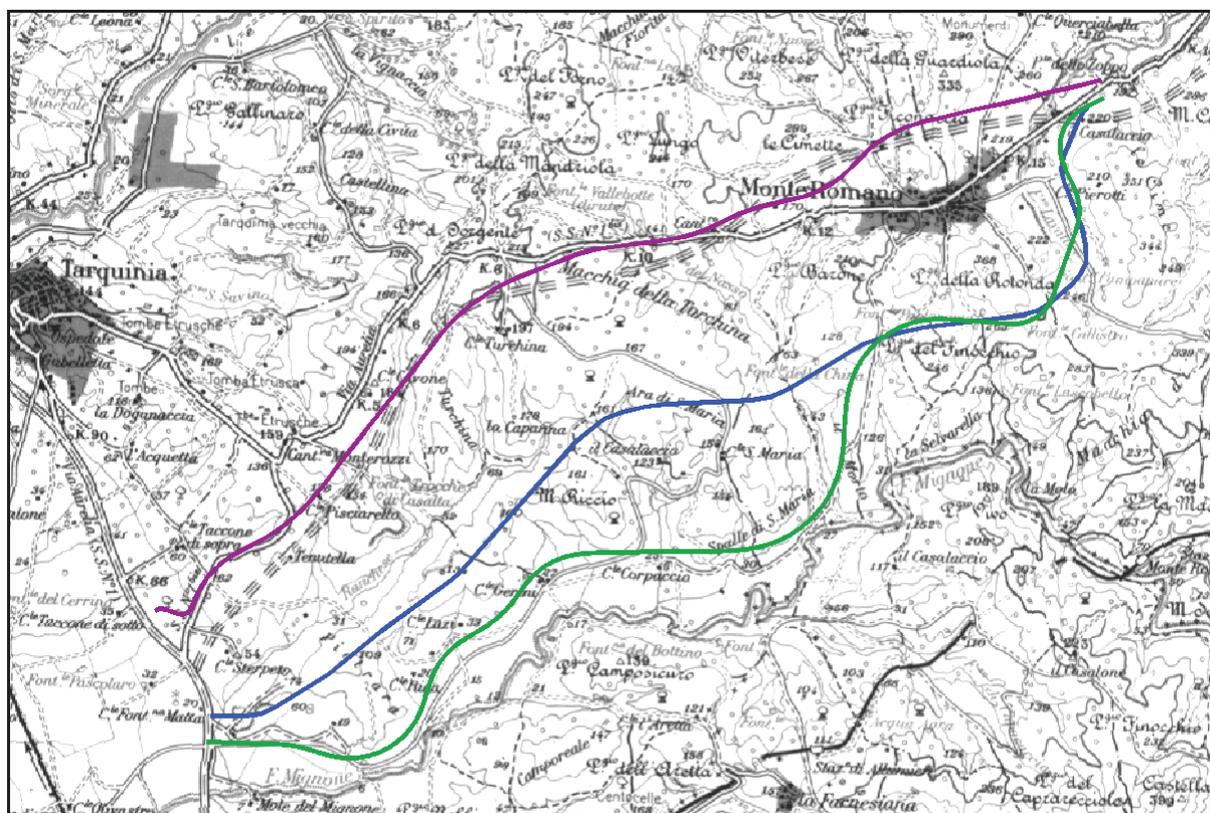


Fig. 1.1 - Inquadramento cartografico delle diverse ipotesi di tracciato studiato.

2. Geomorfologia

Le caratteristiche geomorfologiche dell'area interessata dal progetto riflettono, come avviene di norma, il suo assetto geostrutturale e le fasi evolutive che hanno presieduto alla sua definizione.

La fascia più esterna del territorio interessato, peritirrenica, allungata parallelamente alla linea di costa, esercita la funzione di raccordo morfologico tra quest'ultima ed i rilievi collinari più interni; su di essa insiste il tratto più occidentale dell'intervento, in corrispondenza del collegamento con la S.S. 1 Aurelia. La sua origine deriva dalla successione di cicli marini trasgressivi, succedutisi durante il Pliocene Superiore ed il Pleistocene, e dalla conseguente formazione di terrazzi marini. Nell'area, questi ultimi s'individuano come superfici pianeggianti, a debole inclinazione verso mare; saltuariamente si osservano gradini morfologici aventi direzione subparallela alla linea di costa. La successiva azione erosiva lineare dei corsi d'acqua, unita localmente a processi di evoluzione dei versanti, esercitata prevalentemente a spese delle formazioni pelitiche, ha successivamente intaccato tali superfici, delimitandone forme pianeggianti residue, bordate da piccole scarpate, dove prevalgono terreni calcarei concrezionari, litoidi, o da rotture di pendio. Ne consegue la presenza di rilievi a sommità tabulare (tipo *mesas*), collegati ai sottostanti versanti, i quali sono interessati prevalentemente da forme di erosione da ruscellamento, concentrato e/o diffuso, di erosione accelerata (calanchi, aree denudate ed incise) e da alcuni dissesti, prevalentemente di carattere superficiale.

Nell'attraversamento della struttura di Tarquinia, topograficamente e strutturalmente rilevata (quote anche superiori ai 160 m s.l.m.), in corrispondenza della quale affiorano terreni più competenti, di costituzione calcarenitica, prevalgono le forme tipiche delle emergenze dei terreni litoidi. In questa zona le buone caratteristiche litotecniche del

materiale, che ne hanno facilitato l'impiego nelle costruzioni, e la sua relativamente agevole escavabilità, hanno favorito negli scorsi decenni lo sviluppo dell'attività estrattiva, sviluppatasi in più siti ed in parte tuttora in corso. Quest'area ne risulta, pertanto, fortemente caratterizzata, presentando un forte sviluppo di forme di carattere antropico (fronti di scavo subverticali, piazzali di cava, ecc.).

Avvicinandosi all'area di Monte Romano si passa ai caratteri geomorfologici tipici del sistema collinare dei *flysch* tolfetani, caratterizzato da rilievi poco pronunciati. I tipi litologici presenti, prevalentemente di natura argillosa, alternati a strati litoidi, fratturati, favoriscono l'evoluzione di rilievi di forma irregolare, con versanti arrotondati e poco acclivi, modellati da corsi d'acqua a carattere torrentizio.

La morfologia di alcuni rilievi ed il *pattern* del reticolo idrografico evidenzia con chiarezza l'azione di controllo esercitata su di essi dalla tettonica.

Il tratto a nord-est, dell'itinerario, corrisponde all'areale di affioramento del *plateaux* ignimbrítico vicano, corrispondente ad una vasta distesa subpianeggiante, modellata da un reticolo idrografico di tipo dendritico che, in alcuni casi, determina la presenza di incisioni marcate, con valli dotate di pareti abbastanza ripide; esse presentano sezioni a V laddove prevale tuttora la fase erosiva lineare, e a fondo piatto, invece, dove alla fase erosiva ha fatto seguito un successivo alluvionamento. In tale ambito, peraltro, l'erosione agisce in modo differenziato nel passaggio dai litotipi cementati, quali i tufi compatti, a quelli più sciolti.

2.1 Dissesti franosi

L'area interessata dal progetto mostra, nell'insieme, una propensione al dissesto non trascurabile, in ragione della natura litologica delle unità affioranti, dello stato evolutivo del reticolo idrografico, delle condizioni microclimatiche e di quelle geostrutturali, nonché dello spessore della coltre di alterazione delle formazioni affioranti. In tal senso, si osserva una densità di dissesti relativamente contenuta per i termini litologici *flyscioidi*, se rapportata alla loro struttura complessa, mentre si registra una maggior densità di processi di versante in corrispondenza delle aree di affioramento delle formazioni pelitiche plioceniche.

Le principali forme osservate, di seguito descritte, sono riconducibili, da un lato, a processi prevalentemente di carattere erosivo, dall'altro a processi d'instabilità legati alla gravità.

➤ *Forme e processi di erosione accelerata*

Aree di denudazione: si tratta di porzioni di versante nelle quali l'azione erosiva ha asportato la copertura superficiale, portando a giorno il substrato, che viene progressivamente intaccato. Forme di questo tipo si determinano di frequente a spese della coltre di alterazione delle formazioni argillose plioceniche.

➤ *Forme e processi dovuti alla gravità*

Tali manifestazioni vengono distinte in:

Frane attive, se prodotte da processi in atto all'epoca del rilevamento o delle indagini o ricorrenti a ciclo breve;

Frane quiescenti, per le quali esistono evidenze geomorfologiche o testimonianze di funzionamento nell'attuale sistema morfodinamico e che, non avendo esaurito la loro evoluzione, possono riattivarsi.

Frane inattive, intese come manifestazioni riferibili a condizioni morfoclimatiche diverse dalle attuali oppure come processi che, pur essendosi prodotti nell'attuale sistema morfoclimatico, hanno portato a termine la loro evoluzione o non possono più riattivarsi, anche in caso di eventi pluviometrici di particolare intensità.

Le tipologie di frane presenti sono riconducibili alle seguenti due categorie (*rif. Cruden & Varnes, 1996*):

- Colamenti di terra (*earth flows*): colate di terra ad evoluzione prevalentemente lenta e velocità variabile da un punto all'altro della massa instabile. Si manifestano nell'area con alcuni caratteri tipici, quali: l'esistenza di limiti sfumati fra il corpo di frana ed il substrato adiacente; la forma in pianta a clessidra; l'assenza di vere e proprie superfici di scorrimento ben individuabili; la collocazione in versanti con ondulazioni, rigonfiamenti, depressioni a conca e piccole scarpate; zone di distacco di forma polilobata; la definizione del movimento che avviene lungo diverse e discontinue superfici di rottura, senza una separazione netta fra la massa instabile e quella in posto; l'esistenza di zone di accumulo più rilevate rispetto al pendio adiacente, con rigonfiamenti trasversali; zone di piede di forma lobata, con fessure radiali; la presenza di venute d'acqua dall'unghia di frana. Nell'insieme, esse rappresentano masse ad elevata viscosità, dove la velocità del movimento è funzione della pendenza del versante e del contenuto d'acqua della massa instabile, interessate da deformazioni plastiche, che coinvolgono uno spessore, generalmente non eccessivo, di terreno in movimento non su una superficie ben definita, quanto piuttosto su una fascia di scorrimento.
- Scorrimenti traslazionali di terra: sono generalmente rappresentati da processi nei quali prevale, appunto, la componente traslativa e che possono essere favoriti da condizioni giaciture, stratigrafiche e strutturali. Fra tali fattori una disposizione a franapoggio delle

giaciture può rappresentare un fattore predisponente; l'aumento del tenore in acqua, accompagnato dall'azione di scalzamento al piede, possono agire da cause determinanti. Le manifestazioni individuate e caratterizzate nell'area mostrano alcuni fra gli aspetti tipici del fenomeno: coronamento ben evidente; corpi di frana generalmente frammentati; frequenza di fessure trasversali.

- Crolli: si verificano nelle formazioni a comportamento litoide, favoriti da particolari condizioni giaciture, geomeccanico-geostrutturali e litologiche dell'ammasso. Essi comprendono il distacco ed il rotolamento di elementi rocciosi, ed hanno generalmente evoluzione rapida. Danno origine, al piede del versante che li alimenta, a forme di accumulo di materiale detritico. Nell'area in esame essi sono circoscritti ad alcune manifestazioni, apparentemente quiescenti, presenti lungo la valle del T. Cavone.

3. Geologia

L'evoluzione geodinamica dell'area è stata controllata dalla presenza di alcune unità paleogeografico-strutturali sviluppatesi su di un segmento crostale continentale, disarticolato in blocchi, sul quale si sono disposte alcune unità fondamentali, dalla cui interazione è derivato l'assetto di questo settore della catena appenninica. L'evoluzione tettonica ha visto sovrapporsi, alle fasi compressive oligocenico-aquitaniene, durante le quali si sono messe in posto, in questo settore, le unità fondamentali della catena, rappresentate dai *flysch* alloctoni tolfetani (successione di sedimenti torbidity, calcareo-marnosi, arenacei e argilloscisti), una tettonica miocenica a carattere distensivo, con la disarticolazione del substrato, connessa alle fasi di apertura del Tirreno, e la conseguente ingressione marina, segnata dalla deposizione di formazioni argillose e sabbioso-conglomeratiche.

I terreni *flyscioidi*, in questa zona raggruppati in più unità tettoniche, costituiscono l'ossatura centrale del territorio esaminato, affiorando estesamente a partire all'incirca dal km 11 dell'attuale S.S. 1 bis fino alla valle del Torrente Biedano e nei settori posti a sud dell'abitato di Monte Romano, fino alla valle del Fiume Mignone.

Alle unità sinorogeniche di catena si è succeduta, quindi, la deposizione di formazioni postorogene, sedimentate all'interno di un bacino plio-pleistocenico subsidente, all'interno del quale la differenziazione batimetrica operata dalla tettonica, unitamente alle oscillazioni del livello del mare, hanno portato alla differenziazione in unità riferibili ad ambienti deposizionali differenziati, da bacinali a litorali: nel Pliocene inferiore prevalgono sedimenti argillosi di mare aperto, mentre tra il Pliocene medio e superiore prevale la differenziazione di formazioni di ambiente litorale (sabbie con intercalazioni calcarenitiche in facies di "panchina" e calcareniti vere e proprie nelle zone di bassofondo, "Macco" Auct.).

I terreni postorogeni, di età compresa fra il Pliocene inferiore ed il Tirreniano, costituiscono la struttura affiorante in tutta la porzione occidentale del territorio interessato dal presente studio, dall'Aurelia fin quasi all'altezza di Monte Romano e lungo il versante orografico destro della depressione valliva del Fiume Mignone.

L'evoluzione geodinamica dell'area si chiude con la messa in posto delle unità piroclastiche ed ignimbriche, collegate all'attività del distretto vulcanico Vicano (stratovulcano ad edificio centrale e chimismo alcalino-potassico) la cui attività, essenzialmente esplosiva, ha coperto l'intervallo 800.000 ÷ 90.000 anni fa. La messa in posto delle principali coltri ignimbriche, prodotte da eventi di tipo pliniano, è avvenuta fra 200.000 e 150.000 anni fa. Terreni riferibili a tale contesto costituiscono il plateau ignimbrico che affiora estesamente nel settore nordorientale dell'area studiata, ad est della valle del Biedano.

L'evoluzione recente, comune a tutto il margine tirrenico, è caratterizzata da sollevamenti della fascia costiera, testimoniati dalla presenza di terrazzi marini posti in posizione elevata. L'assetto risultante può definirsi come una serie di dorsali parallele alla costa, orientate da NW a SE.

3.1 Successione stratigrafica e caratteri delle unità geologiche

Serie dei Flysch della Tolfa

Compongono tale gruppo formazioni a carattere *flyscioide*, sovrapposte tettonicamente al complesso basale in *facies* toscana; esse costituiscono, perciò, la copertura alloctona della regione, rappresentando gli affioramenti più meridionali delle Unità Liguridi in senso lato. Questo complesso viene suddiviso in più unità tettoniche composte da formazioni

in parte coeve: i terreni presenti nell'area in studio appartengono all'unità esterna, corrispondente alla serie cretacico-oligocenica.

Nell'ambito del presente lavoro, indipendentemente da distinzioni di carattere formazionale, ma adottando esclusivamente un criterio litostratigrafico, sono state distinte le unità di seguito descritte.

Flysch argilloso-scaglioso (fas). Comprende la successione di argille scagliettate grigio-piombo, marnose, a tratti attraversate da vene calcitiche, subordinate argille scagliose rosso-rossa e verdastre, calcari marnosi e silicei litoidi, in strati anche di notevole spessore. L'ammasso è attraversato da frequenti discontinuità per taglio, effetto delle sollecitazioni geodinamiche subite; l'assetto è di tipo caotico. Il rapporto fra la parte pelitica e quella calcareo-marnosa è stato stimato nell'ordine del 70-80%. Non sono presenti buone esposizioni in affioramento della formazione: le principali osservazioni derivano, pertanto, dai dati di sondaggio. La formazione è cronologicamente riferibile al Cretacico ed è quasi costantemente coperta da una coltre eluviale composta da blocchi planari, o a forma di incudine, di calcari marnosi grigi compatti, immersi in suolo limo-argilloso. All'interno di questa formazione si è riscontrata la presenza, evidenziata soprattutto dai dati di sondaggio, di strati litoidi, di spessore generalmente compreso tra 50 e 200 cm, costituiti da calcari grigi, a frattura concoide o aciculare (***fas-a***).

Flysch argillo-marnoso (fas-b). Si tratta di un membro della serie del Flysch della Tolfa caratterizzato da argille limoso-sabbiose, marnose, molto dure con, intercalati, livelli marnoso-arenacei teneri, da semi-litoidi a litoidi, dello spessore di circa 10-20 cm. Queste argille presentano un colore grigio, con locali sfumature rosate, in corrispondenza dei livelli maggiormente marnosi e/o arenacei.

Flysch calcareo (Fc). Si presenta come un'alternanza di strati calcarenitici, calcilutitici e marnoso-calcarei, da beige a biancastri, fratturati, con interstrati da limoso-argillosi ad argilloso-marnosi. A tratti le porzioni argilloso-marnose si presentano scagliettate. Si è valutato un rapporto in parti uguali fra gli strati litoidi calcarei e gli interstrati terrosi, pelitici. La mancanza di affioramenti non consente di determinare la giacitura prevalente della formazione e, conseguentemente, i rapporti con l'unità argilloso-scagliosa alla quale, nell'area di Monte Romano, risulta costantemente sovrapposta. L'età è riferita al Cretacico superiore-Paleocene.

Per la classificazione geomeccanica degli ammassi flyscioidi si è utilizzato l'approccio proposto da *Marinos & Hoek* (2000) basato sull'indice GSI (*Geological Strength Index*), appositamente previsto per ammassi eterogenei di carattere *flyscioide*, con alternanza di litotipi a diversa rigidità e che hanno subito processi di tettonizzazione intensa, utilizzando l'abaco proposto dagli autori (Fig. 3.1). La scelta del valore dell'Indice GSI è stata basata su elementi geologici di carattere litologico e geostrutturale ricavati, in mancanza di buone esposizioni in affioramento, dall'esame visivo degli ammassi rocciosi, effettuato nelle cassette di sondaggio.

Si riporta di seguito la valutazione dell'indice GSI effettuata per i due termini *flyscioidi* individuati:

- Flysch argilloso-scaglioso (fas) e argillo-marnoso (fas-b) GSI = 10÷20;
- Flysch calcareo (Fc) GSI = 20÷25.

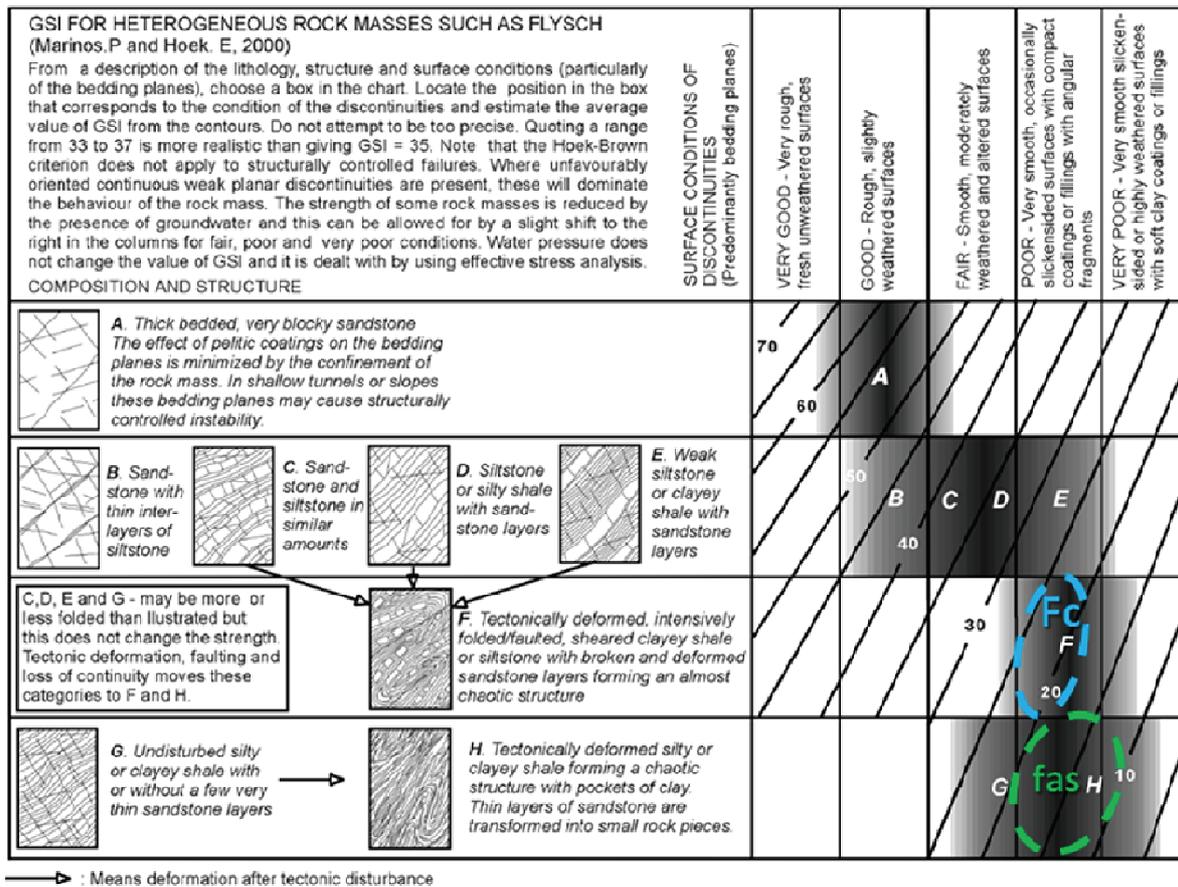


Fig. 3.1 - Stima dei valori di GSI (*Geological Strength Index*) per gli ammassi rocciosi eterogenei, quali i complessi *flyschoidi* (da Marinos & Hoek, 2000). L'area in verde indica il campo di esistenza degli ammassi flyschoidi riferibili alla formazione argilloso-scagliosa, mentre l'area in blu identifica il campo degli ammassi del *flysch* calcareo.

Unità postorogene

Rappresentano i terreni di colmamento del bacino neogenico del Fiora, comprendente serie marine trasgressive sul substrato flyscioido. Nell'area vengono distinte, con riferimento al ciclo pliocenico, una serie "parzialmente compressiva", includente le formazioni Pa1, Ps1, ed una serie pliocenica "differenziata", in questa zona in rapporto di sovrapposizione trasgressiva sulla precedente. Fra le varie formazioni, in ragione dell'evoluzione tettonica e della differenziazione batimetrica del bacino, i rapporti sono frequentemente di tipo eteropico, il che ostacola la ricostruzione dei relativi rapporti geometrici.

Argille grigio-azzurre (Pa1). Argille limose o con limo, grigio-azzurre, a luoghi debolmente marnose, compatte, da molto consistenti a dure, in facies piacentiana. La composizione granulometrica appare omogenea, priva di intercalazioni di termini differenziati. La loro facies è francamente marina, con abbondante microfauna a foraminiferi planctonici. La formazione di base è costantemente ricoperta, in affioramento, da una coltre eluviale, ossidata ed alterata, localmente interessata da fenomeni di dissesto.

Età: Pliocene inferiore.

Calcarea di Tarquinia (cT). formazione nota come "Macco" Aucct.. Si tratta di una biocalcarenite litoide, in facies da tenera (a luoghi escavabile) a più francamente litoide, giallina-biancastra, a struttura nodulare. Stratificata in strati di spessore variabile e banchi (50-300 cm). A luoghi di aspetto detritico. A tratti si mostra più tenera, con aspetto farinoso. Depositata in continuità di sedimentazione sulle argille Pa1, essa si mostra, a luoghi, eteropica con Ps1. L'assetto è suborizzontale, con lievi basculamenti.

L'età di riferimento è il Pliocene inferiore-medio.

Sabbie inferiori (Ps1). L'unità comprende sabbie giallo-ocracee, di diversa granulometria, calcaree, a tratti cementate o intercalate a crostoni calcarei concrezionari, a luoghi affioranti, ricche in macrofossili. Depositi in facies astiana. Localmente eteropiche con l'unità cT.

Età: Pliocene inferiore-medio.

Argille a coralli (Pa2). La formazione, insieme alle argille grigio-azzurre bassoplioceniche, rappresenta l'unità più diffusa in affioramento nel settore, e comprende termini che vanno dai limi con argilla alle argille limose, a luoghi sabbiose. Di colore grigio scuro, contengono un'abbondante fauna a coralli (*Cladocora coespitosa*), ed accumuli di frammenti di gusci di lamellibranchi. A tratti contengono livelli nerastri organici. Plastiche, di consistenza da media a medio-bassa, si distinguono agevolmente da quelle inferiori per il ricco contenuto fossilifero

e per i diversi caratteri di consistenza. In alcuni settori le condizioni rilevate portano ad ipotizzare un passaggio diretto, trasgressivo, tra queste e l'unità Pa1. Cronologicamente sono riferibili al Pliocene medio-superiore.

Sabbie superiori (Ps2). La formazione rappresenta il termine di chiusura del ciclo marino pliocenico. Essa comprende un'alternanza di sabbie, da medio-fini a grossolane, variamente addensate o cementate, di ambiente costiero, con livelli limo-sabbiosi con abbondanti macrofossili (ostreidi, lamellibranchi), frequentemente osservabili in affioramento. Di frequente si intercalano strati di calcari organogeni avana (tipo "Macco") ad *anfistegine*, o calcareniti biancastre. Le modalità del passaggio stratigrafico tra l'unità Pa1 e l'unità Ps2, ad essa sovrastante, sono gradualità e segnate da alternanze ritmiche, testimonianza di pulsazioni batimetriche che hanno determinato successive variazioni dell'ambiente deposizionale.

Età: Pliocene superiore.

Unità piroclastiche

Ignimbrite III Vicana (θ). La formazione corrisponde al "Tufo rosso a scorie nere" *Auctt.* ed è rappresentata da piroclastiti prevalentemente cementate, in facies di colata ignimbratica. Di struttura pomiceo-cineritiche, omogenee, compatte, si mostrano in assetto massivo, di colore per lo più giallastro-rossiccio o decisamente rosso, talvolta grigio scuro. Frequente il rinvenimento di grosse pomice nere. Lo stato di fratturazione è quasi assente. Oltre alla facies principale, litoide, si rinviene anche in facies pozzolanica, grigio – nerastra, o agglomeratica. L'età di messa in posto della colata ignimbratica è valutata (De Rita) tra 200.000 e 150.000 anni fa (Pleistocene medio).

Unità recenti e coperture

Coltre eluvio-colluviale (e-c). Coperture eluvio-colluviali, prevalentemente a granulometria limo-sabbiosa, localmente più argillosa, con rari elementi litoidi non elaborati di natura arenacea, alimentate in gran parte dalle unità plioceniche.

Alluvioni (a). Coperture alluvionali dei principali corsi d'acqua, prevalentemente a grana fine (limo-argillosa), con rare intercalazioni sabbiose. In altri casi, a granulometria variabile da limo-argillosa a sabbioso-limoso. Sono comprese, oltre a quelle dei corsi d'acqua minori, le alluvioni del Fiume Mignone, disposte su più ordini di terrazzi, e dotate di maggior estensione e spessore.

Terreni di riporto (R). Terreni di riporto, riempimenti artificiali, rilevati stradali.

Con riferimento alla codifica adottata per le diverse unità formazionali si propone (Tab. 3.1) una correlazione tra la codifica utilizzata negli elaborati del presente studio e quella individuata dal Progetto CARG, Foglio 354 "Tarquinia".

CODIFICA DI PROGETTO	CODIFICA CARG
θ: Ignimbrite III Vicana	WIC: Tufo rosso a scorie nere vicano
ps2: Sabbie superiori	CPS: Unità di Poggio della Sorgente
pa2: Argille a coralli	TNA: Unità di Macchia della Turchina
cT: Calcere di Tarquinia	MCC: Macco
ps1: Sabbie inferiori	RGG: Unità di Pian della Regina
pa1: Argille grigio-azzurre	SBM: Unità del Fosso di San Savino
fas: Flysch argillo-scaglioso	FYT _{2a} : Flysch della Tolfa - Litofacies delle argilliti del Mignone
fc: Flysch calcareo	FYT ₁ : Flysch della Tolfa – Membro di Poggio Vivo

Tab. 3.1 – Tabella di correlazione tra la codifica utilizzata nel presente lavoro e quella individuata nella cartografia ufficiale del Progetto CARG, per le formazioni geologiche individuate nell'area di studio.

3.2 *Assetto tettonico e geostrutturale*

Le unità flyscioidi, avendo subito, in ragione della loro età ed evoluzione geodinamica, le sollecitazioni relative alle fasi compressive dell'orogenesi (fase oligocenico-aquitaniense), sono quelle che presentano le maggiori deformazioni di carattere tettonico; queste ultime sono prevalentemente riconducibili ad uno stato di minuta caoticizzazione dell'ammasso, al livello di microstrutture, rappresentata dalla scagliettatura dei termini pelitici (argille scagliose s.l.) determinata dalla generazione di superfici di taglio. Al livello delle mesostrutture si osservano giaciture indicanti uno stato di elevata deformazione (strati rovesciati/contorti, giaciture rapidamente e drasticamente variabili). Si osservano, dall'interpretazione aerofotogeologica, strutture a grande scala (lineamenti) non sempre osservabili sul terreno, verosimilmente interpretabili come deformazioni fragili ad alto angolo legate all'attività di una successiva fase distensiva. La carenza di buoni affioramenti non consente di ricostruire con facilità, alla scala operativa adottata, i rapporti geometrici esistenti fra i diversi termini del complesso *flyscioide*: in letteratura viene comunque descritta la presenza di una grande struttura sinclinalica, pressoché simmetrica, nell'area di Monte Romano, ad asse NNW-SSE, con nucleo collocato nella zona circostante il cimitero.

I terreni del complesso postorogeno presentano, evidentemente, uno stato deformativo molto limitato, corrispondente a leggeri basculamenti delle formazioni, che arrivano, al massimo, a definire monoclinali a basso angolo d'immersione. Più intenso risulta lo stato disgiuntivo, legato all'attività neotettonica, rappresentato da faglie prevalentemente dirette, ad alto angolo. La struttura di Tarquinia-Pisciarello, in particolare, rappresenta un *horst*, delimitato da faglie orientate prevalentemente NW-SE, probabile riattivazione di un paleoalto attivo già durante il Pleistocene medio, avendo controllato la sedimentazione dell'area. Esso è stato, quindi, sbloccato da discontinuità trasversali alle prime, a direzione

NNE-SSW, definendo una struttura a blocchi, isolati strutturalmente l'uno dall'altro, come sembrerebbe confermato anche dalle indicazioni idrogeologiche, quali le variazioni locali del gradiente piezometrico e le parziali inversioni della direzione di deflusso riscontrate, che sembrano suggerire la mancanza di una reale continuità idraulica tra strutture contigue. L'ipotesi sulla presenza di alcune discontinuità tettoniche si rende necessaria per giustificare le caratteristiche del passaggio laterale fra unità postorogene (Ps^2) e substrato flyscioide.

Alcune faglie, evidentemente di età recente, vengono individuate sia all'interno delle coltri ignimbriche che al contatto fra queste ed i *flysch*; di esse si hanno sia evidenze di carattere morfologico che stratigrafico.

Con riferimento alle conseguenze di carattere geomeccanico che tali elementi tettonici determinano nei riguardi degli ammassi si osserva che le faglie all'interno delle calcareniti (cT) sono le sole ad indurre uno stato di reale cataclaszizzazione dell'ammasso con sviluppo di brecce di frizione e più ridotte fasce milonitiche. Quelle presenti all'interno delle formazioni argillose plioceniche, interessando depositi a comportamento plastico, si limitano ad indurre uno stato di detensionamento dell'ammasso, che comunque assorbe progressivamente la deformazione.

Nelle argille scagliose, invece, esse tendono ad amplificare lo stato di minuta suddivisione dell'ammasso per processi di taglio, creando fasce di maggior debolezza.

4. Idrogeologia

Il regime pluviometrico complessivo della regione tolfetana può essere considerato di tipo da sublitoraneo appenninico a marittimo: l'area è, infatti, caratterizzata da precipitazioni abbondanti, contraddistinte da numerosi giorni piovosi, in autunno ed inverno, con massimo in novembre, e da una piovosità modesta in primavera e bassissima in estate, con minimo in luglio-agosto. Analisi pluviometriche condotte sul periodo di osservazione 1921-1965 (Ventriglia) per la Stazione Pluviometrica di Monte Romano (q. 230 m s.l.m.) indicano, per la Precipitazione mensile media, un massimo assoluto in novembre (121 mm) ed un massimo relativo in febbraio (87 mm), con un minimo assoluto in luglio (18 mm). Per la medesima stazione il valore della Precipitazione media annua, determinato su un periodo di osservazione di 45 anni, è di 838,0 mm; il valore della piovosità massima è di 1161 mm, mentre quello della piovosità minima in un anno è di 453 mm. L'andamento delle isoiete segue quello dell'altimetria, aumentando verso l'interno, mentre i valori minimi si registrano nella piana costiera.

Le temperature medie presentano valori massimi in luglio-agosto e minimi in gennaio-febbraio.

Le stime, effettuate con il metodo di *Thornthwaite*, dell'evapotraspirazione potenziale (EP) e dell'evapotraspirazione effettiva (EE) indicano, per quest'ultima, valori corrispondenti al 68% di EP e, conseguentemente, al 58% circa della precipitazione media annua.

Per la regione tolfetana nel suo insieme, e per le singole stazioni esaminate, sono inoltre disponibili le stime dell'indice di aridità, calcolato con la formula di *De Martonne*:

$$I_a = \frac{12 \cdot P_m}{10 + T_m}$$

dove Pm e Tm indicano, rispettivamente, la precipitazione media (in mm) e la temperatura media (in °C) del mese considerato. Da tale elaborazione risultano aridi ($I_a < 10$, con possibilità di compromissione di colture agrarie) i mesi di luglio e agosto, mentre risulta sub-arido ($I_a < 20$, con possibile compromissione solo di alcune colture agrarie) il mese di giugno; l'ampiezza del periodo arido, corrispondente, nei diagrammi ombrotermici, al superamento delle curve pluviometriche da parte di quelle termometriche aumenta, evidentemente, per le stazioni più vicine alla costa, per le quali si avverte maggiormente l'effetto di riscaldamento presente nei mesi estivi.

Per la definizione degli aspetti che riguardano la circolazione idrica sotterranea le diverse unità litostratigrafiche presenti nell'area possono essere accorpate, come di seguito viene descritto, a definire complessi idrogeologici a comportamento omogeneo, dotati di caratteristiche di permeabilità relativa ben distinte.

Complesso idrogeologico delle unità sabbiose plio-pleistoceniche:

A questo complesso idrogeologico vengono attribuite, per una sostanziale analogia litologica e, di conseguenza, di permeabilità, i termini delle unità sabbiose con intercalati livelli concrezionari (Ps2). Si tratta di litotipi dotati di un'apprezzabile permeabilità primaria, stimata da media ad alta in funzione della maggiore o minore incidenza della frazione granulometrica più fine, e di una trasmissività generalmente contenuta, per il ridotto spessore del volume saturo. Il valore del coefficiente di permeabilità è considerato compreso fra $1 \cdot 10^{-4}$ e $1 \cdot 10^{-5}$ m/sec. Questa formazione può ospitare modesti acquiferi, sostenuti dalle sottostanti unità argillose.

Complesso delle unità piroclastiche:

Comprende le unità ignimbriche, dotate di un grado di permeabilità medio, variabile in funzione dello stato di cementazione e della fessurazione dell'ammasso. Il coefficiente di

permeabilità è stimato compreso tra $1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-7}$ m/sec. L'unità in questione, sia in termini assoluti che in riferimento alle interazioni con il progetto, è da considerarsi di scarso interesse ai fini idrogeologici.

Complesso delle unità argillose plioceniche:

E' costituito dalle unità, a prevalente composizione pelitica, subordinatamente limosa (in parte localmente sabbiosa, limitatamente alla formazione Pa2) a permeabilità da bassa a bassissima. Tale complesso, pertanto, tende a condizionare lo schema della circolazione idrica sotterranea dell'area, di cui costituisce il substrato impermeabile. Questa unità svolge pertanto una funzione di acquiclude (o di acquitardo), isolando idraulicamente gli adiacenti complessi a maggior permeabilità relativa ed impedendone gli scambi reciproci.

Il valore del coefficiente di permeabilità è valutato superiore a $1 \cdot 10^{-9}$ m/sec, con possibili locali variazioni, in aumento, per l'unità Pa2.

Unità delle alluvioni:

Costituita da termini litologici prevalentemente a grana fine, da limo argillosa a debolmente sabbiosa, prevalentemente originatesi a spese dei materiali a composizione pelitica o piroclastica, è dotata mediamente di un grado di permeabilità basso ($k = 1 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-9}$ m/sec) che solo localmente, in presenza di una maggiore frazione limosa o sabbiosa fine, acquisisce valori maggiori. Ad eccezione dei corsi d'acqua principali non si evidenziano falde subalvee di particolare rilevanza.

Complesso idrogeologico dei flysch tolfetani:

Tale complesso presenta locali distinzioni in relazione alla maggiore o minore incidenza della componente calcareo-calcilutitica, che può determinare limitate modifiche al comportamento idrogeologico d'insieme. Per tale motivo è stato deciso di suddividere l'intero complesso in due distinte unità idrogeologiche, congruentemente con le caratteristiche

litologiche già descritte nei precedenti paragrafi. Il *flysch* calcareo, infatti, mostra un grado di permeabilità variabile da medio a basso, correlato alla fessurazione della componente litoide. In tale unità sono segnalate emergenze e piccole sorgenti alimentate da acquiferi di bassa produttività. La permeabilità, di tipo secondario, può essere stimata compresa fra $1 \cdot 10^{-5}$ e $1 \cdot 10^{-8}$ m/sec.

L'unità del *flysch* argillo-scaglioso, in virtù della prevalente componente pelitica scagliettata, è dotata di una permeabilità bassissima, come risulta dalle prove di laboratorio effettuate in questa sede ($k < 1 \cdot 10^{-9}$ m/sec). Risulta evidente come l'elevata variabilità dei livelli costituenti questo complesso *flyscioide* comporti unaltrettanto marcata differenziazione da un punto di vista idrogeologico e di circolazione idrica sotterranea, anche alla piccola e media scala, per la presenza di livelli più sabbiosi e/o parzialmente litoidi, specie se interessati da forte destrutturazione geomeccanica per effetto di disturbi tettonici. L'incremento locale del coefficiente di permeabilità, testimoniato dalle prove in sito di tipo *Lefranc*, caratterizza infatti questi livelli, nei quali è possibile che si instaurino falde locali, la cui presenza è suggerita dai dati delle letture piezometriche.

5. Indagini geognostiche

Indagini pregresse

Per quanto riguarda i dati di campagna pregressi, sia diretti che indiretti, si è fatto riferimento a quelli provenienti dalle campagne di indagini eseguite dal Compartimento di Roma negli anni 1994, 2001 e 2006, nell'ambito delle attività propedeutiche alla progettazione, rispettivamente, dell'adeguamento del tratto Monte Romano – Cinelli della SS 1 bis, dell'adeguamento della SS 1 Aurelia nel tratto Civitavecchia – Tarquinia e del Progetto Definitivo Istruttorio del collegamento SS 1 - Cinelli.

Nei paragrafi seguenti verranno riassunte sinteticamente le indagini più prossime al tracciato, che sono state utilizzate nella definizione del Modello Geologico di Riferimento nell'ambito del presente studio.

Campagna 1994

Le indagini di tale campagna utili alla progettazione in oggetto sono costituite da 14 sondaggi a carotaggio continuo. Esse sono ubicate nella zona di innesto fra il tracciato in progetto e la SS 1 bis, a nord-est dell'abitato di Monte Romano.

Campagna 2001

Le indagini di tale campagna utili alla progettazione in oggetto sono costituite da 7 sondaggi a carotaggio continuo, 7 pozzetti esplorativi e 6 CPT, poste in corrispondenza dell'allaccio con la SS 1 Aurelia, alla terminazione sudoccidentale del tracciato.

Campagna 2006

Le indagini di tale campagna utili alla progettazione in oggetto sono costituite da 2 sondaggi a carotaggio continuo, 2 pozzetti esplorativi e 1 base sismica a rifrazione, nei dintorni di Monte Romano.

La documentazione completa delle indagini pregresse è contenuta nell'elaborato T00GE00GEORE01A.

Indagini del Progetto Preliminare

Nonostante la documentazione pregressa abbia fornito una buona base per uno studio geologico d'inquadramento, nell'ambito della presente fase progettuale l'area interessata dai tracciati posti a confronto è stata oggetto di una campagna di indagini geognostiche, sia dirette che indirette, appositamente programmata, con un grado di approfondimento maggiore per il tracciato prescelto.

Tale campagna ha consentito di definire, con sufficiente grado di affidabilità, un modello geologico adeguato al livello progettuale, che costituirà la base concettuale per le successive fasi di approfondimento, specificatamente orientate ai fini del corretto dimensionamento degli interventi progettuali.

La campagna, svoltasi nei mesi di Novembre-Dicembre 2013, ha previsto:

- 16 sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni, su cui sono state condotte prove di laboratorio, e prove in foro;
- 7 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono;
- 5 pozzetti esplorativi con relative prove di carico su piastra;
- 5 basi di sismica a rifrazione con elaborazione tomografica;

La documentazione completa delle indagini è contenuta negli elaborati T00GE00GEORE02A e T00GE00GEORE03A e T00GE00GEORE04A.

6. Sismicità

L'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n ° 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", rappresenta una prima risposta alla necessità di aggiornare gli strumenti normativi per la riduzione del rischio sismico. Con tale ordinanza si stabiliscono i criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la nuova classificazione sismica dei comuni italiani, successivamente integrati e aggiornati dall'OPCM 3519/06. L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco a_g su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall'INGV-DPC. Gli intervalli di accelerazione (a_g) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni sono stati rapportati alle 4 zone sismiche indicate dall'OPCM 3519/06 (Tab. 6.1).

ZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (a_g)
1	$a_g > 0.25$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$
4	$a_g \leq 0.05$

Tab. 6.1 - Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido.

Tale classificazione è basata su un'approssimazione dei valori e della distribuzione del parametro a_g secondo i limiti amministrativi (criterio "zona dipendente").

La rappresentazione di sintesi delle caratteristiche sismologiche e sismogenetiche del territorio è contenuta nella "Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale" dell'Italia, elaborata secondo l'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006, n. 3519.

Sulla base di tale ordinanza i comuni di Tarquinia, Monte Romano e Vetralla furono classificati tutti in zona sismica 3.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto (accelerazione del moto del suolo, intensità al sito, spettro di sito) viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 dell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

L'approccio "sito dipendente" della nuova normativa permette di riferirsi, per ogni costruzione, ad un'accelerazione di riferimento propria, in relazione sia alle coordinate geografiche dell'area di progetto, sia alla vita nominale dell'opera stessa. In questa ottica, la classificazione sismica del territorio rimane utile, dal punto amministrativo, per la gestione pianificativa e di controllo dello stesso.

In virtù dell'evoluzione del quadro normativo la Regione Lazio, tramite l'Area di Difesa del Suolo, ha avviato nel 2007 una convenzione con l'ENEA per l'elaborazione della Pericolosità Sismica regionale di base al fine di aggiornare la classificazione sismica del territorio alla luce di quanto predisposto dall'OPMC 3519/06.

La combinazione ponderata tra l'elaborato INGV-OPMC 3519/06 e la Convenzione ENEA ha portato ad una nuova riclassificazione del territorio laziale (Delibera n. 387 della Giunta Regionale del Lazio del 22 maggio 2009), che ha recepito anche quanto stabilito dal D.M. 14 gennaio 2008 (Figg. 6.1 e 6.2).

La nuova riclassificazione del territorio laziale si basa soltanto su 3 Zone Sismiche, a

differenza delle quattro della precedente classificazione del 2003, con la scomparsa della zona sismica 4 (Tab. 6.2).

ZONA SISMICA	SOTTOZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (a_g)
1		$0.25 \leq a_g < 0,278g$ (val. Max per il Lazio)
2	A	$0.20 \leq a_g < 0.25$
	B	$0.15 \leq a_g < 0.20$
3	A	$0.10 \leq a_g < 0.15$
	B	(val. min.) $0.062 \leq a_g < 0.10$

Tab. 6.2 - Suddivisione delle sottozone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido utilizzate per lo scenario di riclassificazione sismica della Regione Lazio.

Gran parte dei Comuni del Lazio presentano valori a_g che ricadono interamente in una determinata zona o sottozona sismica, per cui ad essi è stato assegnato direttamente il valore della zona/sottozona corrispondente (Comune a zona fissa). Il problema si è posto per quei Comuni i cui valori di accelerazione di picco variavano fra due zone o sottozone diverse. Per cercare di risolvere questo aspetto si è operato in prima istanza con il metodo della superficie impegnata, assegnando al Comune il valore della zona/sottozona sismica che incidesse sul proprio territorio con una estensione maggiore dell'80%, sempre che in quest'area fossero i centri abitati maggiori.

Qualora fosse rimasta ancora insoluta l'assegnazione di quei Comuni interessati da zone/sottozone che non superavano la percentuale dell'80% (per esempio sottozona 2B al 60% e sottozona 3A al 40%) si è tenuto conto del dato ottenuto dall'ENEA, assegnando, di conseguenza, la zona individuata sulla base dei dati sismologici.

In questa situazione ricade il comune di Monte Romano, mentre per i comuni di Tarquinia e di Vetralla è stato possibile assegnare direttamente il valore della sottozona corrispondente (Tab. 6.3).

CODICE ISTAT	COMUNE	Nuova Zona sismica	Sottozona sismica	Zona sismica ai sensi della precedente DGR 766/03	Variazione di zona sismica
12056037	Monte Romano	2	B	3	+1
12056050	Tarquinia	3	B	3	0
12056057	Vetralla	2	B	3	+1

Tab. 6.3 - Suddivisione delle zone sismiche dei comuni interessati dal presente studio, ai sensi della Delibera n. 387 della Giunta Regionale del Lazio del 22 maggio 2009.

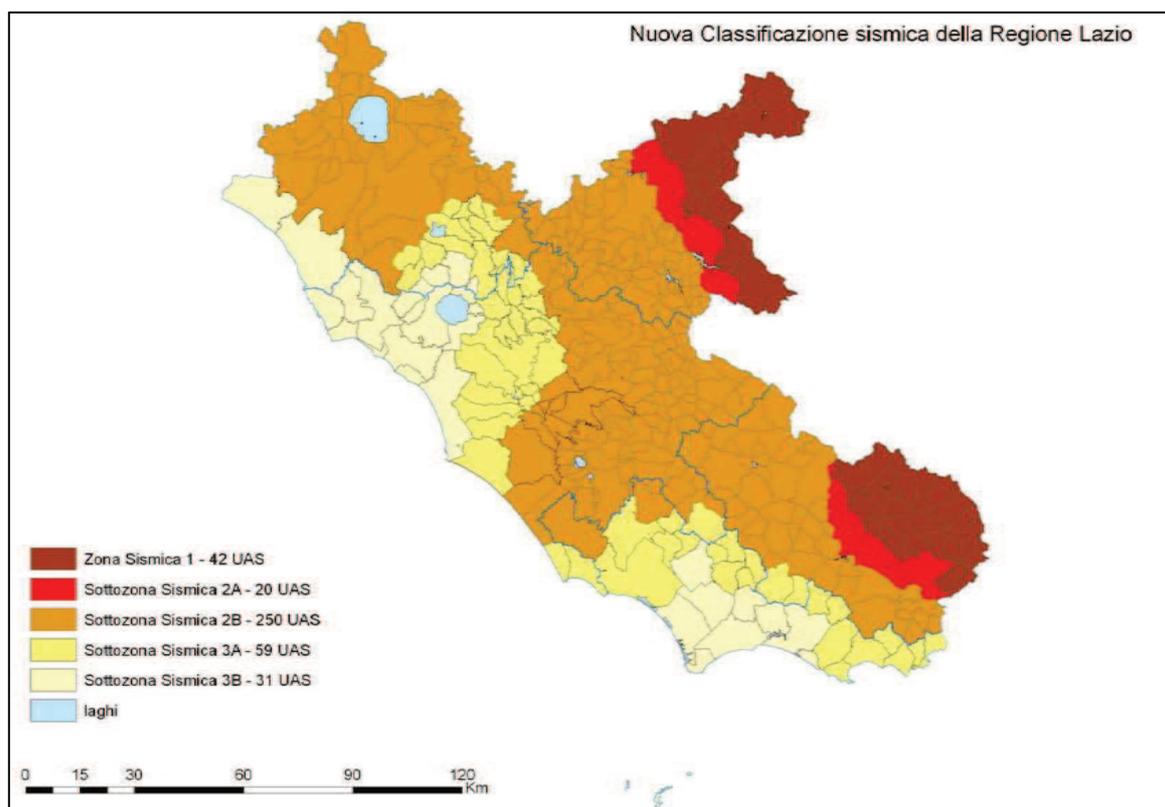


Fig. 6.1 – Carta della Nuova Classificazione Sismica della Regione Lazio, ai sensi della Delibera n. 387 della Giunta Regionale del Lazio del 22 maggio 2009.

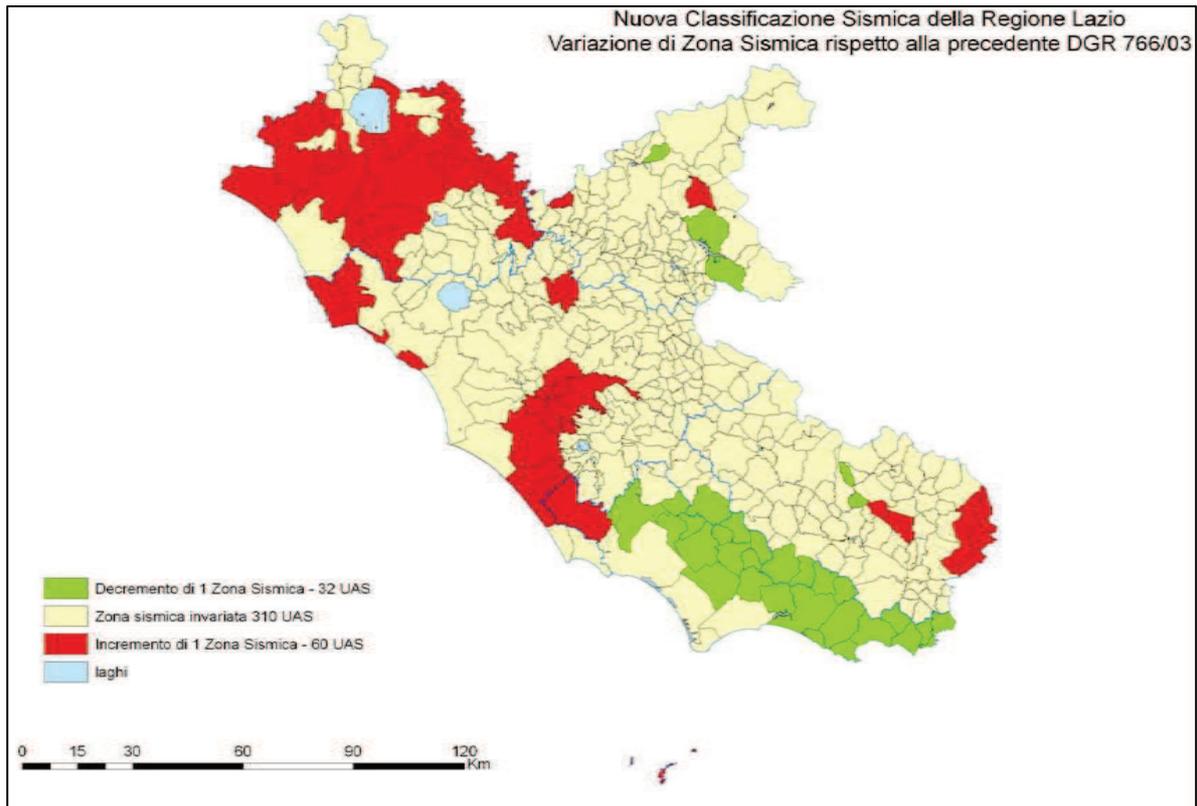


Fig. 6.2 – Variazione di Zona Sismica tra la precedente DGR 766/03 e la Nuova classificazione sismica della Regione Lazio (Delibera n. 387 della Giunta Regionale del Lazio del 22 maggio 2009).

Per quanto concerne i valori di pericolosità sismica del territorio si riporta, infine, uno stralcio (Fig. 6.3) della cartografia prodotta dal Gruppo di Lavoro MPS (2004), che riporta la PGA (*peak ground acceleration*, componente orizzontale) espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s): "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004".

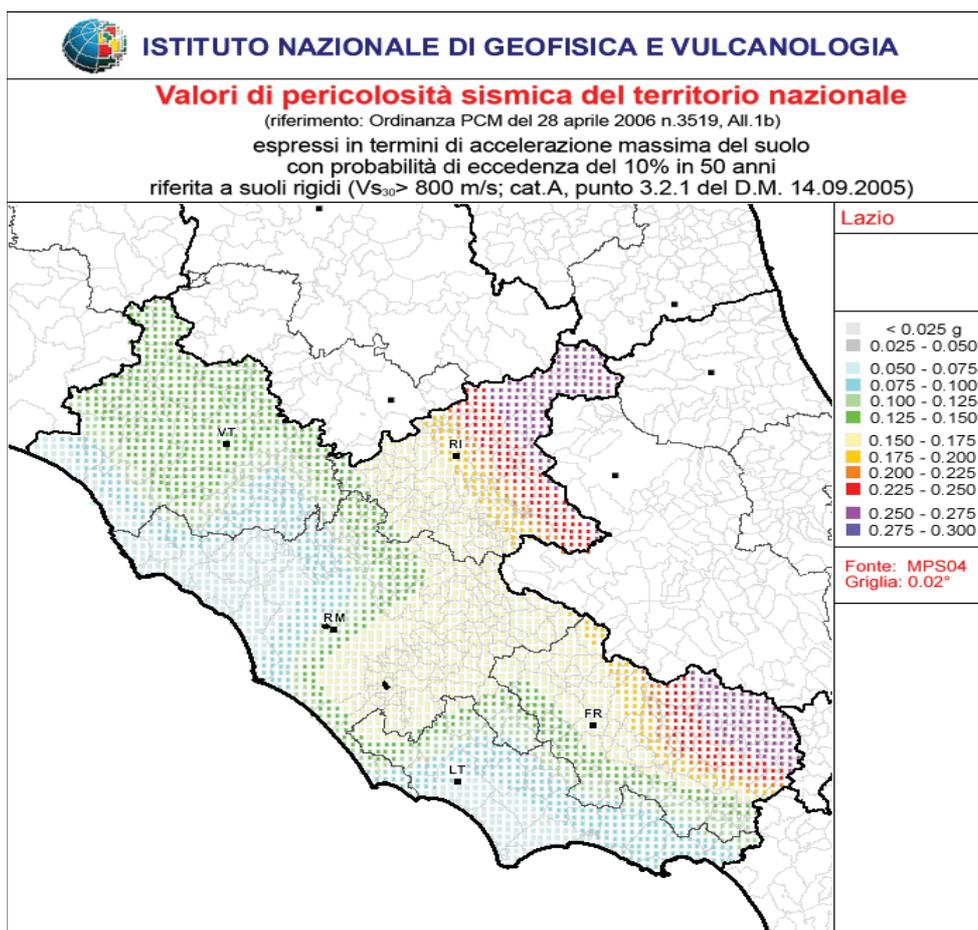


Fig. 6.3 - Stralcio riferito al territorio regionale (dal sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) della Mappa di pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale (prevista dall'Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b), espressa in termini di accelerazione massima (ag) del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800 \text{ m/s}$; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

L'area in studio è stata oggetto, in tempi storici, di pochi sismi, di intensità generalmente modesta. Fra gli eventi storici di maggior intensità vengono annoverati quello di Tarquinia del 1819, dei Monti della Tolfa del 1969 e quello di Toscana del 1971.

Il primo di tali eventi (26.05.1819) ebbe intensità VII° MS, profondità ipocentrale compresa fra 5 e 15 km e Magnitudo stimata di 4.3, e si colloca nella fossa plio-pleistocenica di Tarquinia. Informazioni più precise sulla posizione dell'epicentro ne indicano la collocazione in corrispondenza del bordo sudorientale dell'alto strutturale di Tarquinia, in prossimità del limite tettonico fra i terreni pliocenici e quelli flyscioidi.

Il terremoto dei Monti della Tolfa del 02.07.1969 ebbe intensità VII° MS, profondità ipocentrale 8 km e magnitudo 4.3; l'epicentro risultava ubicato al bordo settentrionale dell'alto strutturale di Civitavecchia. Gli effetti macrosismici risultarono estremamente localizzati.

Il sisma di Tuscania del 06.02.1971, di maggior intensità, fu caratterizzato da una scossa principale e da repliche protrattesi per 9 giorni. L'intensità fu valutata del VIII° MS, la profondità ipocentrale di 4 km, la magnitudo di 4.5. Le caratteristiche dell'evento furono: piccola profondità ipocentrale, andamento corocentrico delle isosiste, rilascio prevalente dell'energia con la scossa principale, mentre le repliche risultarono più leggere ed il periodo sismico ridotto. L'origine del sisma può essere ricercata nella residua attività post-vulcanica dell'area, pur non escludendosi possibili relazioni con elementi di tipo tettonico.

Con riferimento a possibili interpretazioni sismogenetiche dei dati spaziali di sismica storica si è osservata (Ventriglia) una correlazione fra la distribuzione spaziale degli epicentri e la posizione degli alti strutturali, individuati sia sulla base delle evidenze geologico-strutturali di superficie che dei dati gravimetrici (anomalie positive di gravità individuate nella Carta delle isoanomalie di Bouguer). Fra queste strutture vengono annoverati l'alto di Civitavecchia, quello di Monte Romano e quello posto a nordovest di Tarquinia, e si nota che gli epicentri degli eventi sismici registrati in epoca storica si localizzano, di preferenza, ai margini di queste strutture tettoniche.

Dall'analisi dei dati di sismica storica deriva, pertanto, che la massima magnitudo registrata per eventi con epicentro prossimo all'area è di 5.0 (intensità epicentrale VII MCS); il valore relativamente elevato del rapporto intensità/magnitudo è spiegabile con la bassa profondità ipocentrale, che determina la limitata estensione dell'area interessata dagli effetti macrosismici.

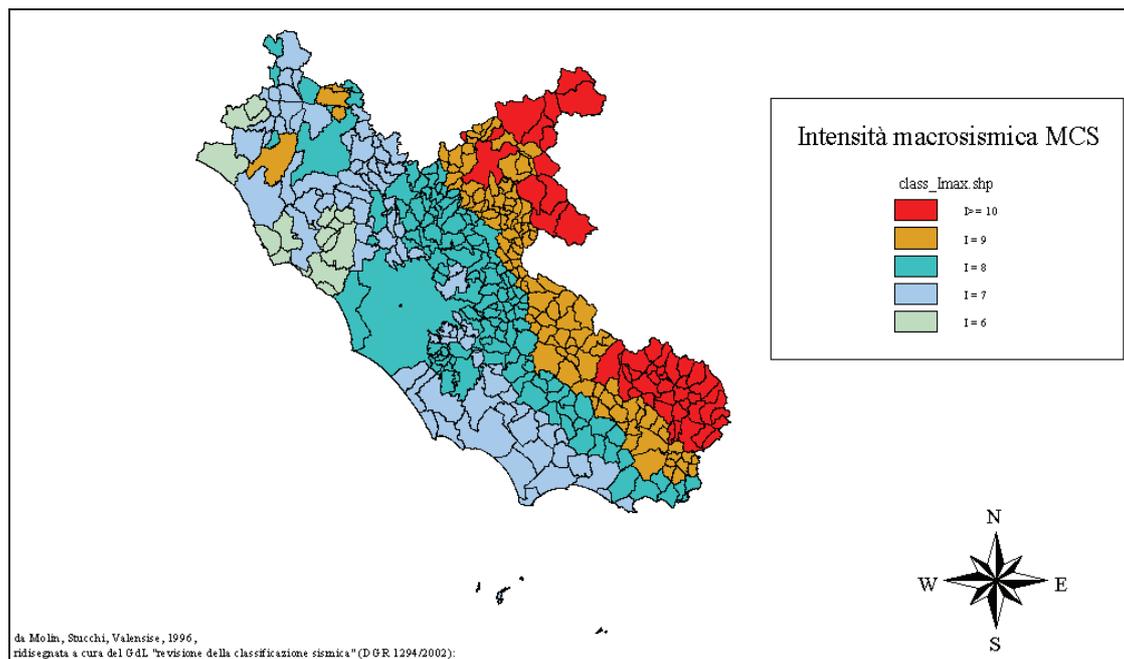


Fig. 6.4 – Carta delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni del Lazio negli ultimi 1000 anni (da Molin, Stucchi, Valensise, 1996; ridisegnata a cura del GdL "revisione della classificazione sismica" - DGR 1294/2002).

La storia sismica dei Comuni di Monte Romano, Tarquinia e Vetralla è stata ricavata dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (versione CPTI11) (disponibile sul sito dell'INGV all'indirizzo: <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>), che rappresenta il più completo e aggiornato database dei parametri macrosismici e strumentali dell'intero territorio nazionale.

Nelle Tab. 6.4, 6.5 e 6.6 vengono riportate i dati dei diversi terremoti che hanno interessato i tre comuni nel corso della loro storia, mentre le Figg. 6.5, 6.6 e 6.7 mostrano i relativi grafici intensità macrosismica/tempo.

Storia sismica di Monte Romano (VT)					
[42.267, 11.899]					
Numero totale di eventi sismici: 5				Fonte: INGV - DBMI11	
Is	Data e ora dell'evento	Ax	Np	Io	Mw
5	1969 07 02 07:55:47	TOLFA	72	7	4.84 ± 0.20
5-6	1971 02 06 18:09:08	TUSCANIA	89		4.80 ± 0.14
3	1979 09 19 21:35:37	Valnerina	694	8-9	5.86 ± 0.09
NF	1997 09 26 00:33:13	Appennino umbro-marchigiano	760		5.70 ± 0.09
NF	1997 10 14 15:23:11	Appennino umbro-marchigiano	786	7-8	5.65 ± 0.09
Is = intensità al sito di interesse (Monte Romano, VT)					
Np = numero di punti					
Io = intensità epicentrale nella scala MCS					
Mw = magnitudo momento					

Tab. 6.4 - Storia sismica del Comune di Monte Romano (VT), fonte DBMI11 (INGV).

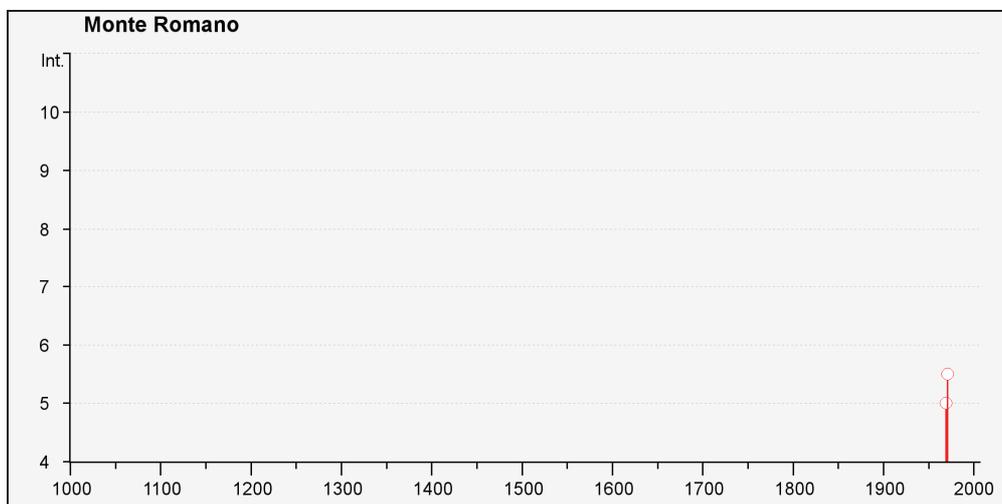


Fig. 6.5 – Grafico intensità macrosismica/tempo per il Comune di Monte Romano (VT), fonte DBMI11 (INGV).

Storia sismica di Vetralla (VT)					
[42.320, 12.055]					
Numero totale di eventi sismici: 20			Fonte: INGV - DBMI11		
Is	Data e ora dell'evento	Ax	Np	Io	Mw
4-5	1873 03 12 20:04	Marche meridionali	196	8	5.95 ±0.10
5	1877 12 23 05:03	CAPRANICA	19	6	4.51 ±0.36
F	1879 02 23 18:30	Valnerina	15	8	5.57 ±0.37
2-3	1895 11 01	CASTELPORZIANO	98	6	4.85 ±0.14
4	1898 06 27 23:38	RIETI	186	8	5.49 ±0.12
4	1899 07 19 13:18:54	Colli Albani	123	7	5.13 ±0.17
3	1909 08 25 00:22	MURLO	283	7-8	5.37 ±0.10
5-6	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11	7.00 ±0.09
2	1917 04 26 09:35:59	Valtiberina	134	9-10	5.89 ±0.11
NF	1919 06 29 15:06:12	Mugello	566	10	6.29 ±0.09
3	1951 09 01 06:56:04	SARNANO	81	7	5.34 ±0.20
4	1957 12 06 04:54	CASTEL GIORGIO	63	7	4.93 ±0.21
5	1969 07 02 07:55:47	TOLFA	72	7	4.84 ±0.20
5-6	1971 02 06 18:09:08	TUSCANIA	89		4.80 ±0.14
4	1979 09 19 21:35:37	Valnerina	694	8-9	5.86 ±0.09
3	1984 04 29 05:02:60	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.65 ±0.09
4-5	1997 09 26 00:33:13	Appennino umbro-marchigiano	760		5.70 ±0.09
3-4	1997 09 26 09:40:27	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	6.01 ±0.09
3	1997 10 14 15:23:11	Appennino umbro-marchigiano	786	7-8	5.65 ±0.09
NF	2005 12 15 13:28:39	Valle del Topino	361	5-6	4.66 ±0.09

Is = intensità al sito di interesse (Vetralla, VT)
 Np = numero di punti
 Io = intensità epicentrale nella scala MCS
 Mw = magnitudo momento

Tab. 6.5 - Storia sismica del Comune di Vetralla (VT), fonte DBMI11 (INGV).

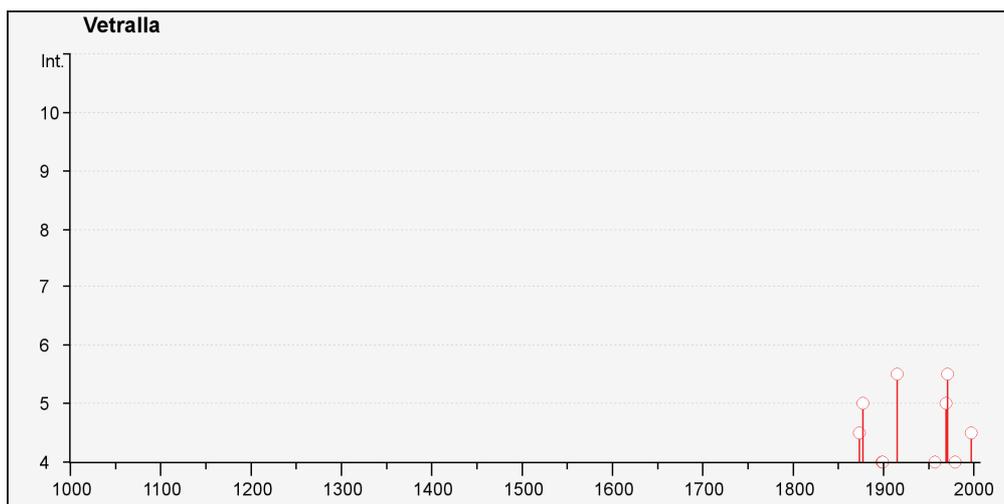


Fig. 6.6 – Grafico intensità macrosismica/tempo per il Comune di Vetralla (VT), fonte DBMI11 (INGV).

Storia sismica di Tarquinia (VT)					
[42.252, 11.757]					
Numero totale di eventi sismici: 14			Fonte: INGV - DBMI11		
Is	Data e ora dell'evento	Ax	Np	Io	Mw
7	1819 05 26 16:30	TARQUINIA	1	7	5.14 ±0.34
2	1895 11 01	CASTELPORZIANO	98	6	4.85 ±0.14
NF	1899 07 19 13:18:54	Colli Albani	123	7	5.13 ±0.17
NF	1909 08 25 00:22	MURLO	283	7-8	5.37 ±0.10
4	1919 10 22 06:05:54	Anzio	142		5.48 ±0.15
4	1940 10 16 13:17:35	RADICOFANI	106	7-8	5.26 ±0.14
3	1969 07 02 07:55:47	TOLFA	72	7	4.84 ±0.20
5	1971 02 06 18:09:08	TUSCANIA	89		4.80 ±0.14
3	1979 09 19 21:35:37	Valnerina	694	8-9	5.86 ±0.09
4	1980 11 23 18:34:52	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.89 ±0.09
NF	1984 05 07 17:49:43	Appennino abruzzese	912	8	5.89 ±0.09
NF	1984 05 11 10:41:50	Appennino abruzzese	342		5.50 ±0.09
NF	1997 09 26 00:33:13	Appennino umbro-marchigiano	760		5.70 ±0.09
NF	1997 10 14 15:23:11	Appennino umbro-marchigiano	786	7-8	5.65 ±0.09
Is = intensità al sito di interesse (Tarquinia, VT)					
Np = numero di punti					
Io = intensità epicentrale nella scala MCS					
Mw = magnitudo momento					

Tab. 6.6 - Storia sismica del Comune di Tarquinia (VT), fonte DBMI11 (INGV).

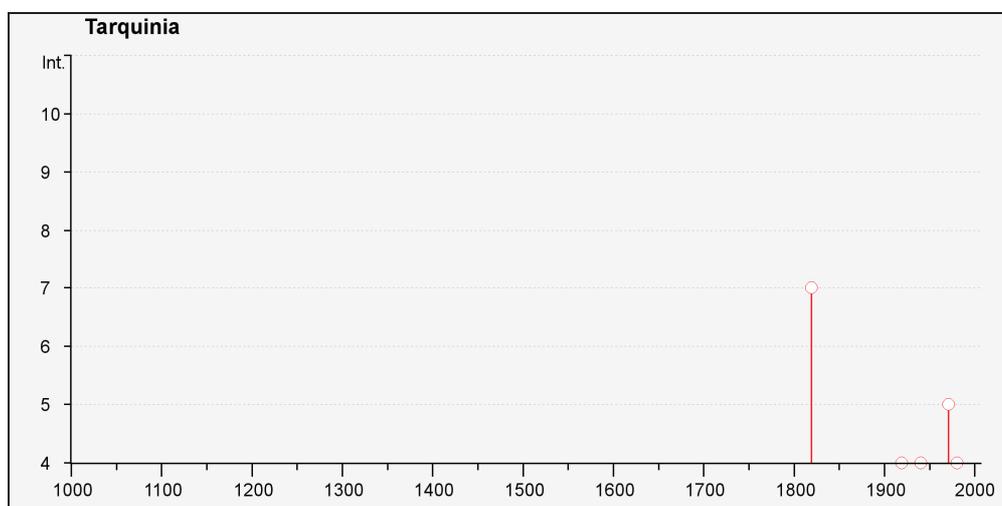


Fig. 6.7 – Grafico intensità macrosismica/tempo per il Comune di Tarquinia (VT), fonte DBMI11 (INGV).

7. Compatibilità geomorfologica delle diverse ipotesi di tracciato.

Relativamente alle diverse ipotesi di tracciato menzionate in premessa, sono state studiate le interferenze con le diverse aree a più alta criticità geomorfologica.

Tali aree sono state determinate sulla base di diversi canali informativi relativi all'individuazione ed al censimento dei fenomeni franosi:

- 1) Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) adottato dal Comitato Istituzionale della Regione Lazio con Deliberazione n° 5 del 13/12/2005, in ottemperanza a quanto previsto dall'art.17 comma 6-ter della L.183/89 e della Legge 365/2000. Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico ha valore di piano territoriale di settore e rappresenta lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale l'ABR del Lazio, nell'ambito del territorio di propria competenza, pianifica e programma le azioni e le norme d'uso finalizzate alla tutela e alla difesa delle popolazioni, degli insediamenti, delle infrastrutture, del suolo e del sottosuolo; con esso viene pertanto svolta, ai sensi della L.183/89 e della L.R. 53/98, attività di pianificazione, programmazione e coordinamento degli interventi attinenti la difesa del suolo.
- 2) Inventario dei fenomeni franosi in Italia (IFFI), realizzato dal Dipartimento Difesa del Suolo/Servizio Geologico d'Italia dell'ISPRA (ex APAT) e dalle Regioni e Province Autonome, con lo scopo di fornire un quadro sulla distribuzione dei fenomeni franosi sull'intero territorio nazionale e di offrire uno strumento conoscitivo di base per la valutazione della pericolosità da frana, per la

programmazione degli interventi di difesa del suolo e per la pianificazione territoriale.

- 3) Carta Inventario delle Frane nel territorio della regione Lazio e delle aree a rischio "elevato" e "molto elevato", redatta dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma 'La Sapienza', con lo scopo di individuare e perimetrare le aree in frana sul territorio della Regione Lazio e di definire i settori connessi a condizioni di rischio, con particolare riferimento a possibili problemi di incolumità delle persone, di danni agli edifici e/o infrastrutture di rilevante importanza.
- 4) Carta geomorfologica, precedentemente redatta a corredo del Progetto Definitivo della S.S. 675 "Umbro - Laziale" (ex Raccordo Civitavecchia - Orte) tra il km 86+000 della SS1 "Aurelia" ed il km 21+500 della SS 1bis (Tronco 2 Lotto 2 - Tronco 3 Lotto 1 stralcio B) tra Monte Romano e loc. Cinelli.

Di seguito si riportano, per le due ipotesi di tracciato alternative, i tratti di interferenza con le diverse aree in frana, mentre per il tracciato prescelto verranno esaminati per singola tratta gli aspetti sia geologici che geomorfologici nel successivo paragrafo.

7.1 Tracciato di monte (magenta)

- Tratto pk. 3+400÷3+700: viene parzialmente interferita un'area a pericolo lieve – Fascia C, di cui all'art. 18 delle Norme del PAI. Anche la Carta Inventario redatta dall'Università "La Sapienza" di Roma evidenzia un'area attiva interessata da deformazioni superficiali lente e/o soliflusso. Si rileva la presenza di interventi di regolarizzazione di tipo antropico che possono aver obliterato precedenti forme.
- Tratto pk. 6+200÷6+450: In corrispondenza del Fosso del Nasso, viene attraversata marginalmente un'area di attenzione geomorfologica per il pericolo di frana, di cui all'art. 19 delle Norme del PAI. Tratto pk. 8+450÷9+900: il

tracciato attraversa, in galleria, aree di attenzione geomorfologica e aree a rischio elevato – Fascia A di cui, rispettivamente, agli artt.16 e 19 delle Norme del PAI, senza determinare, pertanto, alcun tipo di interferenza.

- Tratto pk. 9+950÷11+400: il tratto di attraversamento all'aperto della valle del torrente Cavone, in trincea e rilevato, interferisce con aree di attenzione ed aree a rischio elevato – Fascia A del PAI. Lo studio di dettaglio condotto, basato, oltre che sul rilevamento geomorfologico, sull'interpretazione aerofotogeologica, ed integrato con l'esecuzione di specifiche indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche, ha portato ad una dettagliata definizione dei processi, individuando più corpi di frana a diverso grado di attività collocati in corrispondenza dei versanti del Fosso Cavone.
- Tratto pk. 13+100÷13+550: il tracciato attraversa a mezzacosta, in maniera marginale, un'area di attenzione geomorfologica per il pericolo di frana, di cui all'art. 19 delle Norme del PAI.

7.2 Tracciato intermedio (blu)

- Tratto pk. 2+800÷3+200: il tracciato attraversa in rilevato una depressione valliva classificata come area di attenzione geomorfologica per il pericolo di frana, di cui all'art. 19 delle Norme del PAI.
- Tratto pk. 3+850÷4+350: il tracciato attraversa, dapprima in galleria artificiale e successivamente in trincea, un area di attenzione geomorfologica segnalata dal PAI (loc. Fontanile Paoloforma).
- Tratto pk. 6+200÷7+200: il tracciato attraversa, in viadotto, l'incisione valliva scavata dal Fosso del Nasso. Entrambi i versanti sono cartografati come aree di attenzione geomorfologica per il pericolo di frana, di cui all'art. 19 delle Norme

del PAI, che interferiscono con il tracciato oggetto di studio. Lungo il versante occidentale, all'interno della vasta area di attenzione geomorfologica suddetta, la cartografia del PAI riporta una modesta zona franosa a pericolosità bassa – Fascia C, di cui all'art. 18 delle Norme del PAI.

- Tratto pk. 9+800÷15+400: in quest'ultima parte del tracciato, estesa per quasi 6 km, da località "M. Riccio" fino all'innesto con la S.S.1 "Aurelia", il tracciato in progetto attraversa un'ampia zona dove le cartografie di censimento dei fenomeni franosi esaminate riportano molteplici aree in frana, di diversa entità. Il tracciato attraversa la sella di una dorsale collinare allungata in direzione NE-SW, caratterizzata da entrambi i versanti in frana. In dettaglio, il versante che degrada a NW verso il Fosso Ronchese è cartografato come area di attenzione geomorfologica, di cui all'art. 19 delle Norme del PAI. All'interno di esso sono delimitate, sia dalla stessa cartografia del PAI che dalla cartografia inventario dell'Università "La Sapienza" di Roma, molteplici aree interessate da deformazioni superficiali lente e/o soliflusso, a carattere attivo (aree a pericolosità sia elevata che lieve – fasce A e C), che però non interferiscono direttamente con il tracciato in progetto. Lungo il versante SE che degrada verso il Fiume Mignone, invece, si colloca una fascia, di forma irregolare, cartografata dal PAI come area di attenzione geomorfologica, di cui all'art. 19 delle relative Norme. In particolare, lungo il tratto in oggetto, il tracciato interferisce esclusivamente, in maniera marginale, con aree di attenzione geomorfologica.

8. Modello geologico del tracciato prescelto

In questo paragrafo viene descritto il modello geologico del tracciato selezionato, riportato su tutti gli elaborati cartografici allegati al presente progetto, e in asse al quale è stato sviluppato il profilo geologico.

- Tratto pk. 0+000÷5+600: il tracciato si sviluppa all'interno dei rilievi costituiti dalla serie *flyscioide* della Tolfa, in questo settore rappresentata, in particolar modo, dal Flysch argilloso-scaglioso (fas), dal Flysch argillo-marnoso (fas-b) e dal Flysch calcareo (Fc). Questi diversi termini presentano, per loro natura, un'elevata eterogeneità al loro interno, come descritto nei paragrafi precedenti. È importante sottolineare che, soprattutto nella parte iniziale del tracciato, fino alla pk 2+550, il substrato *flyscioide* è ricoperto da uno strato di coltre eluvio-colluviale, prevalentemente a granulometria limo-sabbiosa, con rari elementi litoidi, non elaborati, di natura arenacea. Questa coltre presenta spessori generalmente di circa 2 m, come evidenziato dalle indagini geognostiche condotte. L'opera d'arte che maggiormente caratterizza questo tratto è la galleria naturale Calistro, che si sviluppa dalla pk 2+650 alla pk 4+720, per complessivi 2.070 m di lunghezza. Secondo il modello geologico proposto i terreni attraversati si riferiscono alla formazione del Flysch argillo-scaglioso (fas), come meglio evidenziato nella tabella seguente che sintetizza le informazioni di carattere geologico disponibili per la Galleria Calistro. Solo in limitati settori, come intorno alla pk 2+500, i termini afferenti al complesso del Flysch calcareo (Fc) sono stati intercettati a profondità limitate o direttamente al di sotto dei depositi di copertura. Questo complesso, costituito da un'alternanza, in proporzioni pressoché equivalenti, di strati calcarenitici e marnoso-calcarei, si caratterizza per

valori di RQD elevati, spesso superiori all'80%, come riportato nelle stratigrafie dei sondaggi che hanno intercettato questa formazione. Questo primo settore di tracciato non presenta particolari evidenze di fenomeni gravitativi, ad eccezione di due frane per scorrimento a prevalente componente traslativa che sono state individuate nel corso dei rilevamenti effettuati in sito, e che interessano, entrambe, il complesso flyschoidale. In particolare, il dissesto individuato alla pk 3+600, investigato con il sondaggio S2_DH e con le prospezioni sismiche a rifrazione LS1 ed LS2, presenta un'estensione piuttosto elevata, e proprio il riconoscimento di questo elemento gravitativo ha rappresentato il principale elemento che ha portato allo spostamento dell'area di imbocco della Galleria Calistro, dal lato Monte Romano. Ciò ha contribuito ad eliminare il rischio da frana in questo specifico settore, in quanto il tracciato prescelto si sviluppa in galleria. Il secondo dissesto individuato dal rilevamento geomorfologico effettuato è stato identificato nell'intorno della pk 5+000, ed è stato anch'esso classificato come uno scorrimento a prevalente componente traslazionale, anche se di dimensioni ed estensione più limitata rispetto a quello precedentemente descritto.

Galleria CALISTRO - L = 2.650.00 m

	Tratto	
Indagini di riferimento:		Sondaggi geognostici: S1pz; S2DH; S3pz; S4; S5DH; Prospezioni sismiche a rifrazione: LS1; LS2
Previsione litologica:	pk 2+650 ÷ 4+720	Formazione del Flysch argillo-scaglioso (fas) appartenente alla serie cetacico-oligocenica del Flysch della Tolfa. Si tratta di argille scagliettate, di colore grigio piombo, a luoghi marnose, con, intercalati, strati litoidi di spessore compreso tra 50 e 200 cm, rappresentati da calcari grigi. Questa formazione presenta valori di RQD relativamente bassi, quasi mai superiori al 50%, e spesso pari a zero in corrispondenza dei livelli più fini. Pur non essendo disponibili dati diretti, date le caratteristiche di messa in posto e la l'evoluzione tettonica (fragile e duttile) dal complesso <i>flyscioide</i> , è presumibile che la giacitura presenti continue variazioni lungo il tracciato, con uno sviluppo piuttosto complesso.
Faglie ed altri elementi tettonici	pk 2+650 ÷ 4+720	La galleria non intercetta direttamente alcun elemento tettonico. Tuttavia non si può escludere che elementi tettonici, pur di non primaria importanza, intercettino, in alcuni punti, il tracciato della galleria. Infatti, elementi strutturali sono stati evidenziati dalla fotointerpretazione, come riportato nella carta e nel profilo geologico, nella fascia più a NE, sempre all'interno della serie
Problematiche relative agli afflussi idrici	pk 2+650 ÷ 4+720	L'unità del flysch argillo-scaglioso, in virtù della prevalente componente pelitica scagliettata, è dotata di una permeabilità bassissima, come risulta dalle prove di laboratorio effettuate in questa sede ($k < 1 \cdot 10^{-9}$ m/sec). Risulta evidente come l'elevata variabilità dei livelli costituenti il complesso <i>flyscioide</i> comporti un'altrettanto marcata differenziazione da un punto di vista idrogeologico e di circolazione idrica sotterranea, per la presenza di livelli più sabbiosi e/o parzialmente litoidi, se interessati da destrutturazione geomeccanica per effetto di disturbi tettonici. L'incremento del coefficiente di permeabilità, riscontrato dalle prove in sito di tipo Lefranc, caratterizza infatti questi livelli, nei quali è possibile che si instaurino falde locali, la cui presenza è suggerita dai dati delle letture dei piezometri installati.
Condizioni degli imbocchi	Lato Monte Romano	L'imbocco intercetta, al di sotto della copertura pedogenica, di modesto spessore, direttamente i depositi <i>flyscioidi</i> del membro argillo-scaglioso (fas).
	Lato Civitavecchia	L'imbocco intercetta, al di sotto della copertura spessore eluvio-colluviale, direttamente i depositi <i>flyscioidi</i> del membro argillo-scaglioso (fas).
Caratteristiche del materiale di smarino:		Il materiale di composizione pelitica, previa selezione e stabilizzazione con leganti, viene ritenuto parzialmente idoneo al riutilizzo nella formazione dei rilevati stradali.

- Tratto pk. 5+600÷7+600: in questo settore si riscontra la presenza dei depositi delle unità post-orogene, trasgressive sul complesso flyschoidale della Tolfa, seppur con spessori spesso limitati e mai superiori ai 30 m. In particolare, in questo settore affiorano i termini pliocenici, costituiti sia dalla formazione delle Sabbie superiori (Ps2), sia dalle sottostanti Argille a coralli (Pa2). Le prime sono costituite da un'alternanza di sabbie variamente addensate o cementate, di ambiente costiero, con abbondanti macrofossili, e presenza di strati di calcari organogeni e calcareniti biancastre. Le Argille a coralli sono plastiche e di consistenza da media a medio-bassa. Dalla pk 7+200 alla pk 7+600, in corrispondenza del versante in sinistra idrografica del Fosso del Nasso, e delle prime pile dell'omonimo viadotto, riaffiorano, a p.c., i termini del Flysch argillo-scaglioso. In questo tratto il tracciato intercetta un'area evidenziata come di attenzione geomorfologica dal PAI dell'Autorità dei Bacini Regionali del Lazio (art. 9 e art. 19), corrispondente, in pratica, al versante in sinistra idrografica del Fosso del Nasso.
- Tratto pk. 7+600÷11+900: in corrispondenza del Fosso del Nasso si ha il passaggio al dominio delle unità postorogene, che ricoprono i depositi *flyschoidi* più antichi. Da un punto di vista morfologico il tracciato entra, definitivamente, nella valle alluvionale del Fiume Mignone. Congruentemente, il modello geologico, derivante sia dalle osservazioni di sito che dalle indagini condotte, riporta la presenza dei depositi alluvionali costituiti, prevalentemente, da materiali a grana fine (limo-argillosa), con rare intercalazioni sabbiose. A questi depositi si alternano, nei tratti più rilevati, i termini pliocenici afferenti alla formazione della Argille grigio-azzurre (Pa1), plastiche, da molto consistenti a dure, la cui presenza è continua al di sotto delle alluvioni. Lungo i versanti a nord del tracciato stradale, dopo che esso ha superato

l'attraversamento del Fosso di Nasso, immettendosi nella valle alluvionale del Fiume Mignone, si evidenzia la presenza di numerose aree segnalate a diverso grado di pericolosità geomorfologica dal PAI e con franosità diffusa evidenziata dal rilevamento geomorfologico condotto. Lo spostamento dell'asse del tracciato in direzione del Fosso Mignone ha consentito di ridurre drasticamente i settori in cui lo stesso intercetta le aree di frana, portando ad un notevole decremento della pericolosità e del rischio geomorfologico. Infatti, il tracciato prescelto intercetta i corpi di frana per limitati settori e nelle zone più distali degli stessi, come evidenziato nella cartografia geomorfologica. Questa situazione si protrae fino a circa la pk 13+300.

- Tratto pk. 11+900÷14+750: in questo tratto, al di sotto dei depositi alluvionali, il cui spessore supera anche i 30 m, come evidenziato dalle indagini geognostiche condotte, per effetto di una risalita del substrato, si ha la presenza della serie del flysch della Tolfa, sia con i termini argillo-scagliosi, sia con i termini calcarei. Proprio questi ultimi affiorano dalla pk 14+450 alla pk 14+750, in corrispondenza di alcune pile del viadotto Nefrara 1.
- Tratto pk.14+750÷15+600: in questo tratto affiorano direttamente le argille grigio-azzurre, anche se spesso ricoperte dai depositi eluvio-colluviali recenti, con spessori comunque modesti.
- Tratto pk.15+600÷17+595: nel tratto terminale del tracciato si ha la presenza dei depositi alluvionali del Fiume Mignone, che raggiungono spessori anche piuttosto elevati, superiori ai 40 m. Nel tratto terminale del viadotto Piana del Mignone, nei pressi dello svincolo Aurelia, si ha una risalita del substrato postorogeno, costituito dalle argille grigio-azzurre.