



Mitigazione dei Rischi Naturali per la Sicurezza
e la Mobilità nelle Aree Montane del Mezzogiorno

PNR 2015-2020

Area di Specializzazione *Smart, Secure and Inclusive Communities*



Obiettivo Realizzativo 7
Soluzioni innovative di mobilità

ALTERNATIVE PER UN TRACCIATO STRADALE TRA CASTELMEZZANO E PIETRAPERTOSA (PZ)

S.I. ¹: D. Ciampa, M. Diomedì, S. Olita, P. Vuono

DICEA ²: M. De Falco, L. Massaro, A. Santo

¹ Scuola di Ingegneria - Università della Basilicata,

² Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Università di Napoli
Federico II

Aprile 2023



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Estratto della Raccolta dei Rapporti Tecnici di Disseminazione del Progetto MITIGO – Volume 2

© 2022 Università degli Studi della Basilicata

Editrice Universosud – Potenza

ISBN 9788899432935



Questa pubblicazione è stata realizzata con il cofinanziamento dell'Unione Europea – FESR, PON Ricerca e Innovazione 2014-2020.

www.ponricerca.gov.it



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo



Ministero dell'Istruzione,
dell'Università e della Ricerca



PON
RICERCA
E INNOVAZIONE
2014 - 2020

Progetto MITIGO
Mitigazione dei Rischi Naturali per la Sicurezza
e la Mobilità nelle Aree Montane del Mezzogiorno



INDICE

Sommario	2
1. Introduzione	2
2. Caratteristiche dell’infrastruttura stradale	5
3. Alternative di collegamento viario Castelmezzano – Pietrapertosa	7
3.1 Tracciato 1	8
3.2 Tracciato 2	8
3.3 Tracciato 3	9
3.4 Tracciato 4	10
4. Analisi geomorfologica per la valutazione delle condizioni di stabilità dei versanti ...	11
5. Valutazione economica	17
6. Considerazioni tecnico-economiche sulle alternative proposte	18
Conclusioni	19
Bibliografia	19



ALTERNATIVE PER UN TRACCIATO STRADALE TRA CASTELMEZZANO E PIETRAPERTOSA (PZ)

D. Ciampa, M. Diomedì, S. Olita, P. Vuono

S.I. Università della Basilicata

M. De Falco, L. Massaro, A. Santo

DICEA Università di Napoli Federico II

SOMMARIO

Il presente studio è incentrato sull'individuazione di un asse viario di collegamento diretto (attualmente mancante) tra i comuni di Pietrapertosa e Castelmezzano. Lo studio rientra nell'ambito del progetto MITIGO (Mitigazione dei rischi naturali per la sicurezza e la mobilità nelle aree montane del Mezzogiorno) cofinanziato dall'Unione Europea – “FESR, PON Ricerca e Innovazione 2014-2020”, relativamente all'Obiettivo Realizzativo 7 (Soluzioni innovative di Mobilità), ed ha come finalità quella di esplorare nuove soluzioni di collegamento stradale in grado di migliorare complessivamente la mobilità diretta tra i due centri abitati. Sono state individuate quattro alternative stradali, definite in termini di compatibilità plano-altimetrica, che interessano l'ambito territoriale del versante occidentale delle dolomiti lucane. Per ogni alternativa si è prodotta una stima sommaria a costi standard utile ai fini della definizione della proposta di collegamento viario ottimale. Un dettagliato studio geomorfologico permette di tener conto, per la scelta delle soluzioni migliori, anche della franosità dell'area.

1. Introduzione

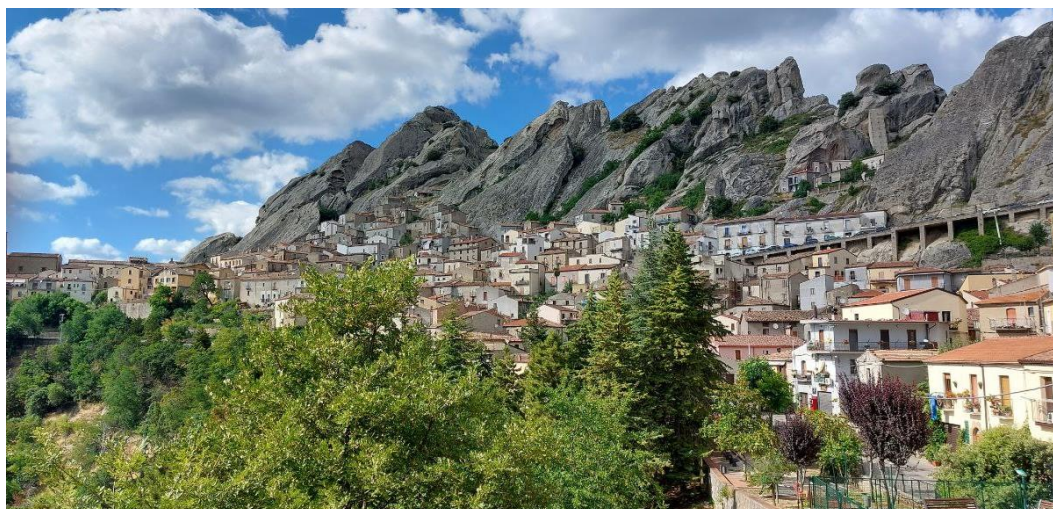
Il livello e la quantità di infrastrutture viarie presenti in un paese, ne condiziona fortemente lo sviluppo economico, industriale e sociale in termini di reddito, produttività ed occupazione. È noto come la Regione Basilicata abbia da sempre sofferto di una certa carenza infrastrutturale, con un conseguente ritardo nello sviluppo e un notevole decremento della residenzialità. Il contesto regionale evidenzia, oggi, un sostanziale gap infrastrutturale e di servizi alle diverse scale, e quindi di accessibilità [1]. Nella fattispecie, una delle cause a cui imputare tale condizione è rappresentata dalla particolare configurazione orografica, che si caratterizza per il 46.8% con un territorio a carattere montuoso, per il 45.2% collinare e solo per l'8% con una morfologia a carattere pianeggiante [2]. Ciò ha favorito la costruzione di strade a scorrimento veloce lungo il fondovalle dei fiumi, che ha richiesto la realizzazione di interconnessioni di viabilità secondaria, al fine di collegare tutti i centri urbani ubicati nelle zone più interne della regione.

È proprio questo il caso dei comuni di Pietrapertosa (Figura 1.a) e Castelmezzano (Figure 1.b, 1.c), che si configurano come aree montane interne rispetto alla viabilità principale di fondovalle costituita dalla S.S. 407-Basentana.

Tali aree, collocate all'interno del territorio dell'Alto Basento a circa a 26 km dal capoluogo di regione, si caratterizzano per una notevole rilevanza dal punto di vista paesaggistico, ambientale, storico e turistico.

Il comune di Pietrapertosa, è ubicato ad una quota di 1088 m s.l.m., e rappresenta il comune più alto dell'intera regione, mentre Castelmezzano è situato ad una quota di 750 m s.l.m. I due comuni, rientrano in

una delle zone più affascinanti e suggestive della Basilicata, ossia nel comprensorio del “Parco Gallipoli Cognato Piccole Dolomiti Lucane” [3, 4].



a)



b)



c)

Figura 1: a) Pietrapertosa; b) Castelmezzano; c) Vista della S.P. 13 da Castelmezzano.

I due centri abitati, pur essendo distanti solo 1780m, in linea d'aria, presentano un forte dislivello, che li rende difficilmente collegabili tra di loro con una infrastruttura viaria adeguata. Le attuali soluzioni viarie disponibili, si sono rivelate inadeguate, con tempi di percorrenza lunghi e scarse condizioni di fruibilità. Attualmente, detta interconnessione può avvenire solo attraverso un itinerario che da Castelmezzano segue inizialmente la strada S. Croce Camastra fino ad immettersi sulla S.P. 32BIS direzione S.S. 407 e poi segue la S.S. 407-Basentana, in direzione Metaponto, per un tratto pari a circa 7 km (Figura 2).

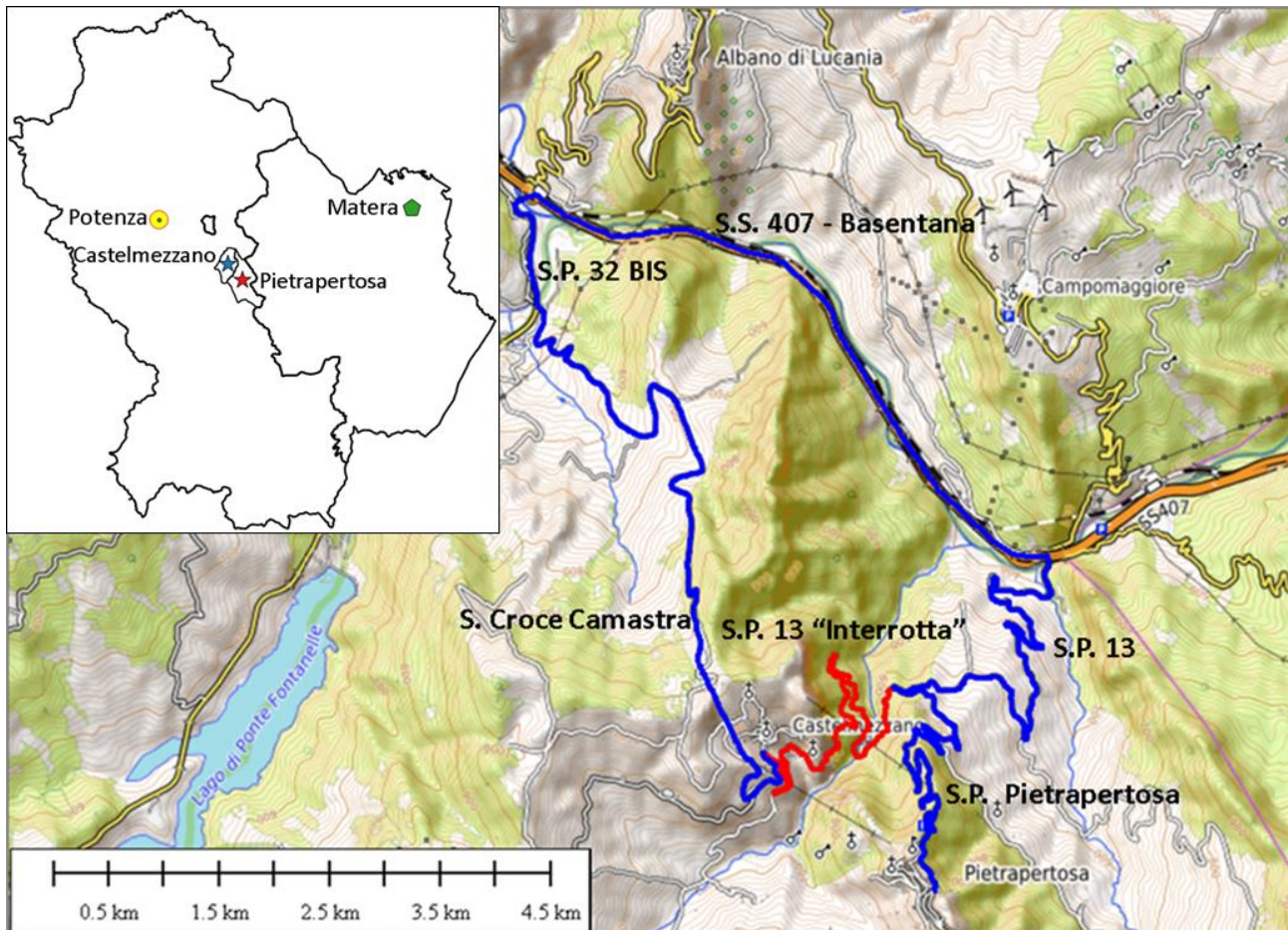


Figura 2: Area di studio e viabilità esistente

L'itinerario prevede l'uscita allo svincolo di Campomaggiore e imbocca la S.P. 13, per poi percorrerla fino al bivio con la S.P. Pietrapertosa, da cui si raggiunge il comune di Pietrapertosa. La lunghezza complessiva del percorso è di circa 28 km e, considerando una velocità media di percorrenza pari a 50 km/h, il tempo medio del collegamento, risulta pari a circa 35 minuti. Una seconda, improbabile alternativa, è costituita da una serie di strade secondarie locali, che partendo sempre da Castelmezzano, consentono di immettersi sulla strada comunale Pietrapertosa - Corleto Perticara, con cui si raggiungere Pietrapertosa con un tracciato di lunghezza superiore ai 16 km. Questa combinazione di strade locali, per lo più a limitato traffico veicolare, risulta interessata da forti dissesti e da una configurazione plano-altimetrica non adeguata, e pertanto, scarsamente sicura e confortevole. Considerando, in questo secondo caso, una velocità media di circa 25 km/h, si avrebbe un tempo medio di percorrenza di circa 38 minuti. È opportuno sottolineare che fino a qualche anno fa (2017) era transitabile il tronco di S.P. 13 (Figura 1.c) che, dal bivio con la S.P. Pietrapertosa raggiungeva direttamente Castelmezzano (Figura 2 - tratto evidenziato in rosso). Tale arteria, oggi chiusa al

traffico a causa di diversi crolli di roccia (Figure 3a, 3b), consentiva il collegamento diretto dei due comuni con un tracciato di lunghezza complessiva pari a circa 11 km.



a)



b) fonte [5]

Figura 3. Crolli di roccia lungo la S.P. 13 nel tratto interrotto.

Pertanto, allo stato attuale, tra i comuni di Castelmezzano e Pietrapertosa non è presente un collegamento stradale, idoneo a garantire il deflusso veicolare, in condizioni di sicurezza e in tempi ragionevolmente brevi. È dunque necessario individuare una nuova soluzione stradale efficiente, sicura e sostenibile, che sia in grado di ridurre i tempi di percorrenza, limitare, per quanto possibile, l'interferenza con aree soggette a rischio idrogeologico e conseguentemente migliorare l'inclusione sociale dei residenti nell'area.

2. Caratteristiche dell'infrastruttura stradale

Le strade che attraversano territori orograficamente accidentati sono generalmente utilizzate per collegare la viabilità di fondovalle con i centri abitati, ubicati sui pendii e vengono definite "strade di montagna" [6, 7, 8]. Gli elementi planimetrici che le caratterizzano sono le "curve di risvolto", comunemente denominate "tornanti stradali". I tornanti stradali offrono diversi vantaggi, come ad esempio il superamento di notevoli dislivelli all'interno di una fascia di territorio relativamente limitata, il contenimento delle pendenze longitudinali delle livellette di progetto e la ridotta necessità di manufatti di contenimento, come muri di sostegno e paratie. A tal fine, occorre dimensionare i tornanti in modo che la distanza planimetrica tra i bordi interni del ramo in entrata e quello in uscita sia sufficientemente ridotta, da cui nasce la necessità di utilizzare raggi di curvatura molto piccoli, il che limita fortemente la velocità di percorrenza.

La norma nazionale di riferimento per la progettazione delle strade è costituita dal D.M. n.6792 del 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade". Nonostante l'ampia diffusione di territori montani e collinari, tale norma non affronta in modo diretto la progettazione delle strade di montagna, così come citato nel suo capitolo introduttivo, che recita: "... le Norme di questo testo si riferiscono alla costruzione di tutti i tipi di strade previste dal Codice, con esclusione di quelle di montagna collocate su terreni morfologicamente difficili, per le quali non è generalmente possibile il rispetto dei criteri di progettazione di seguito previsti". Inoltre al paragrafo 5.2.4, dello stesso decreto, è riportato: "... le norme contenute in questo paragrafo, non si applicano alla progettazione dei tornanti delle strade di montagna, dove il raggio risulterà normalmente inferiore al valore minimo ricavato con il criterio precedentemente

indicato" [9]. Attesa la non applicabilità del D.M. n.6792 alla definizione del collegamento viario montano oggetto del presente studio si sono comunque seguite, per quanto possibile, le indicazioni della vigente norma di progettazione stradale. In particolare si è impiegata la piattaforma di categoria F locale di tipo F2 - "Extra - Urbano" (Figura 4), avente una larghezza complessiva pari a 8.50 m, costituita da una unica carreggiata con due corsie, una per ogni senso di marcia e intervallo delle velocità di progetto pari a $40 \leq V_p \leq 100$ km/h.

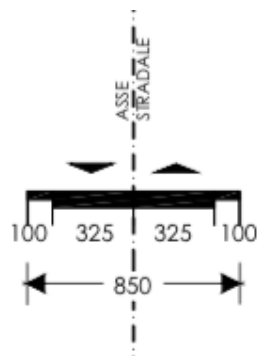


Figura 4. Piattaforma stradale F locale di tipo F2 - extraurbano.

Tale tipologia si caratterizza per una pendenza longitudinale massima delle livellette di progetto pari al 10%. Considerata l'assenza di una norma nazionale per la progettazione delle strade di montagna, che come già evidenziato, spesso richiedono nella composizione geometrica del tracciato l'inserimento delle curve di risvolto, si è fatto riferimento ai principi della Norma Svizzera "SNV 640198a" [10] secondo una originale rielaborazione valida per il contesto italiano [6], sviluppata ad hoc dal Gruppo Strade nell'ambito del progetto MITIGO. Tale rielaborazione ha definito tre geometrie di base (Figura 5), caratterizzate analiticamente in ogni dettaglio e immediatamente impiegabili nella composizione geometrica dell'asse stradale.

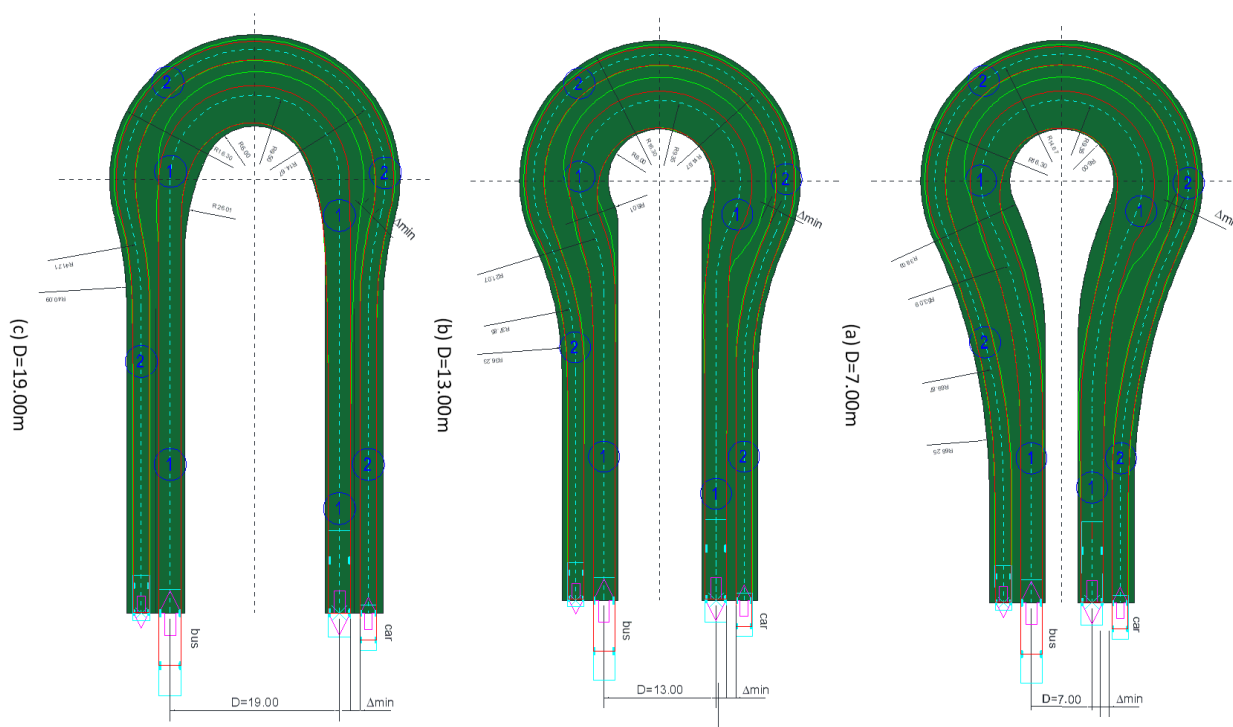


Figura 5. Geometrie di base per la progettazione dei tornanti.

Si evidenzia che in una strada di montagna lo strumento progettuale, noto come diagramma delle velocità, non assume particolare importanza, in quanto le velocità di percorrenza sono fortemente contenute. Su strade come quelle in oggetto, si registrano velocità pari mediamente a 35-40 km/h in conseguenza della particolare conformazione morfologica del territorio. Inoltre, sulle strade di montagna, la presenza di tornanti limita ulteriormente le velocità fino a valori di 20 km/h, per cui le problematiche di stabilità del veicolo in curva, legato all'effetto della forza centrifuga e del contraccolpo, risultano del tutto trascurabili. Dunque, dal punto di vista planimetrico, gli elementi geometrici dei tornanti si possono limitare ad archi di cerchio, con eventuali brevi tratti di rettilineo interposti, escludendo le curve di transizione a raggio variabile, perché nel campo delle suddette velocità la loro utilità risulta alquanto limitata [6].

3. Alternative di collegamento viario Castelmezzano – Pietrapertosa

Il presente studio è stato finalizzato all'individuazione di alternative di collegamento diretto tra i due comuni, compatibili sia dal punto di vista plano-altimetrico che della stabilità idrogeologica dei territori interessati, garantendo in ogni caso, la sicurezza e il comfort di marcia.

La verifica di compatibilità idrogeologica è stata condotta preliminarmente con riferimento al catalogo "IFFI" 2018 dell'ISPRA [11] e, successivamente, individuate le alternative progettuali, con una analisi di dettaglio implementata dai ricercatori del Gruppo Geologia dell'Università Federico II di Napoli coinvolti nel progetto MITIGO (Paragrafo 4).

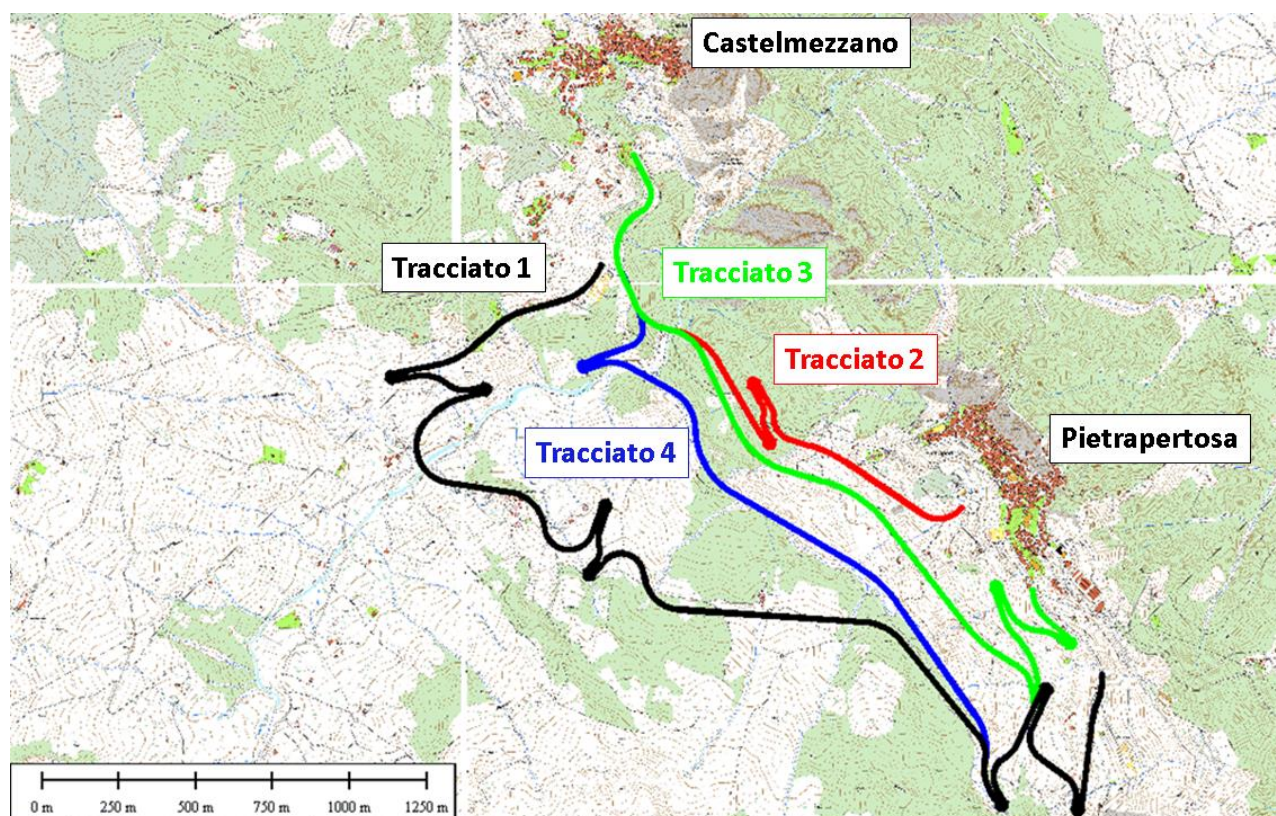


Figura 6. Alternative di tracciato stradali.

Dal punto di vista della composizione planimetrica gli assi viari sono definiti da una successione di elementi geometrici, curve circolari e rettili, collegati tra loro da elementi a curvatura variabile (clotoidi).

I raggi delle curve circolari risultano sempre superiori al valore minimo di 45 m, previsto dalla tipologia di strada adottata. I profili altimetrici risultano definiti da una successione di livellette di pendenza sempre inferiore al limite di normativa e solo per brevi tratti assumono il valore massimo del 10%. Le livellette sono state raccordate con archi di parabola quadratica ad asse verticale, definite geometricamente mediante i raggi dei cerchi osculatori con valori, che rispettano anch'essi i limiti imposti. Inoltre, al fine di garantire una corretta percezione del tracciato stradale, è stato garantito un adeguato coordinamento plano-altimetrico. Con riferimento alle curve di risvolto, lo studio ha previsto l'impiego esclusivo della configurazione geometrica caratterizzata da un distanziamento tra i rami di ingresso/uscita pari a 19 m, raggio interno della corona circolare pari a 6.00 m e raggio esterno pari a 16.30 m (Figura 5) [6] e ha condotto alla definizione di quattro alternative di tracciati stradali, rappresentati in Figura 6. In Tabella 1 sono sintetizzate le caratteristiche salienti di ognuna delle quattro alternative di tracciato analizzate.

Alternativa di Tracciato	1	2	3	4
Lunghezza tracciato (m)	5925	2353	3512	4502
Lunghezza in trincea/rilevato (m)	5926	1093	2857	3449
Lunghezza in viadotto (m)	-	1260	655	1053
Tornanti	7	2	3	4
Tempo di percorrenza @40km/h (min)	≈ 10	≈ 6	≈ 8	≈ 8

Tabella 1: Caratteristiche principali delle alternative progettuali.

Per lo studio delle alternative si è impiegato un modello di elevazione del suolo (DTM - *Digital Terrain Model*), sviluppato ad hoc nell'ambito del progetto MITIGO e caratterizzato da una elevata risoluzione spaziale pari a 1x1m (Figura 7).

3.1 Tracciato 1

L'alternativa 1 (Figure 6, 7a, 8) è caratterizzata da una lunghezza complessiva pari a 5.925 km e costituisce la soluzione di maggiore estensione tra tutte quelle studiate. Il percorso parte dalla S.P. 13, nel tratto di ingresso all'abitato di Castelmezzano, in prossimità del cimitero, e termina sulla via S. Angelo, nei pressi dell'abitato di Pietrapertosa. Esso si sviluppa in un'area relativamente poco accidentata, rispetto alle altre alternative con notevoli vantaggi in termini altimetrici e dunque di ricorso a opere di contenimento e/o scavalco. Il tracciato stradale risulta abbastanza regolare (Figura 8a) nel suo sviluppo, consente di raggiungere la destinazione finale con delle pendenze longitudinali sufficientemente cautelative (Figura 8d), con raggi di curvatura adeguati alla fluidità del traffico (Figure 8b, 8c). Infatti, la pendenza di livelletta media risulta pari a 5.92% e solo per un breve tratto attinge al limite massimo del 10% (Figura 8d). Il tracciato è caratterizzato dalla presenza del maggior numero di tornanti (pari a 7) e presenta numerose interferenze a raso con strade secondarie destinate, per lo più, a fornire accesso alle abitazioni private sparse sul territorio.

3.2 Tracciato 2

Il percorso più breve è offerto dall'alternativa 2 (Figure 6, 7b, 9), che nello specifico sviluppa una lunghezza di 2.353 km. Anche il tracciato 2 ha inizio dal tratto di ingresso in Castelmezzano della S.P. 13 (Figura 9a) e termina nei pressi del centro della Protezione Civile del comune di Pietrapertosa (Figure 9a, 9d), quindi consente di raggiungere più rapidamente il centro cittadino.

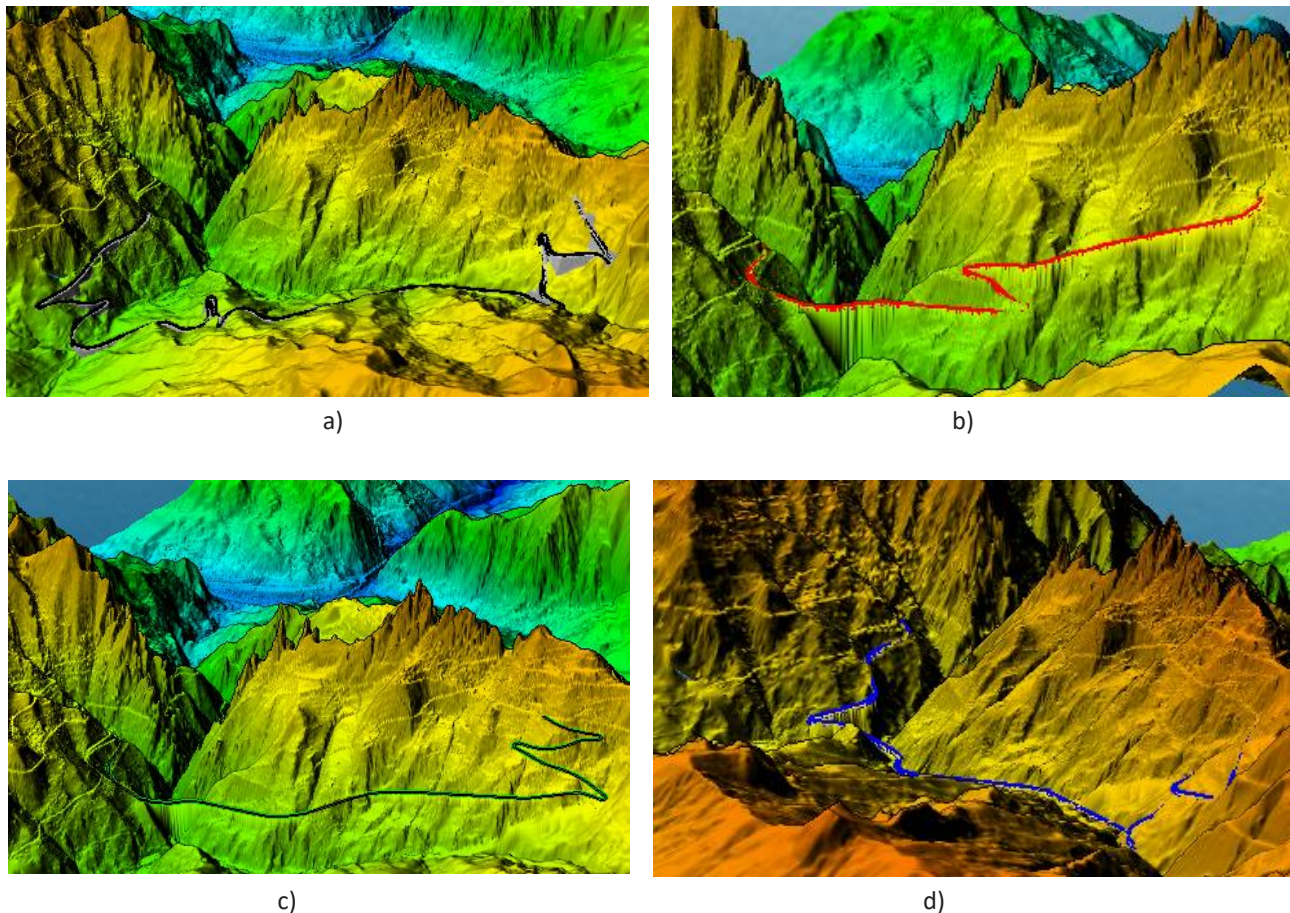


Figura 7. Vedute e skyline da modello DTM: a) Tracciato 1; b) Tracciato 2; c) Tracciato 3; d) Tracciato 4.

Il percorso sconta la maggiore rapidità di collegamento e di fluidità planimetrica (solo 2 tornanti – Figura 9c) con un importante ricorso ad opere di scavalco (Figura 9b) e quindi con un maggiore impatto economico/ambientale, considerato che più della metà del tracciato si sviluppa in viadotto. Risultano difatti necessarie tre opere di scavalco, la cui lunghezza complessiva è di 1.259 km e il viadotto più importante si caratterizza per una altezza massima prossima agli 85 m. Anche dal punto di vista altimetrico il tracciato si connota per una estesa presenza di livellette (circa il 50%), che raggiungono il limite massimo del 10% di pendenza longitudinale e che, a loro volta, si sviluppano prevalentemente su viadotto. Complessivamente la pendenza media di livelletta risulta pari a 6.50%.

3.3 Tracciato 3

Il percorso 3 (Figure 6, 7c, 10), così come il 2 ed il 4, si origina dal tratto di accesso della S.P. 13 all'abitato di Castelmezzano, il che, come già evidenziato, agevola particolarmente la connessione tra i due comuni. Il tracciato presenta una lunghezza complessiva di 3.512 km e necessita di due viadotti, in prossimità del vallone, in cui scorre il torrente Caperrino, con una estensione complessiva pari a circa 655 m (Figure 10c, 10d). L'opera di scavalco più impegnativa si distingue per una altezza massima pari a circa 70 m. Planimetricamente il tracciato non evidenzia particolari criticità geometrico/funzionali e necessita di soli 3 tornanti nel ramo finale, di risalita verso Pietrapertosa (Figura 10b).

La pendenza di livelletta media risulta pari a 7.03% e solo per un breve tratto raggiunge l'8.63% in corrispondenza del viadotto 2 (Figura 10c).

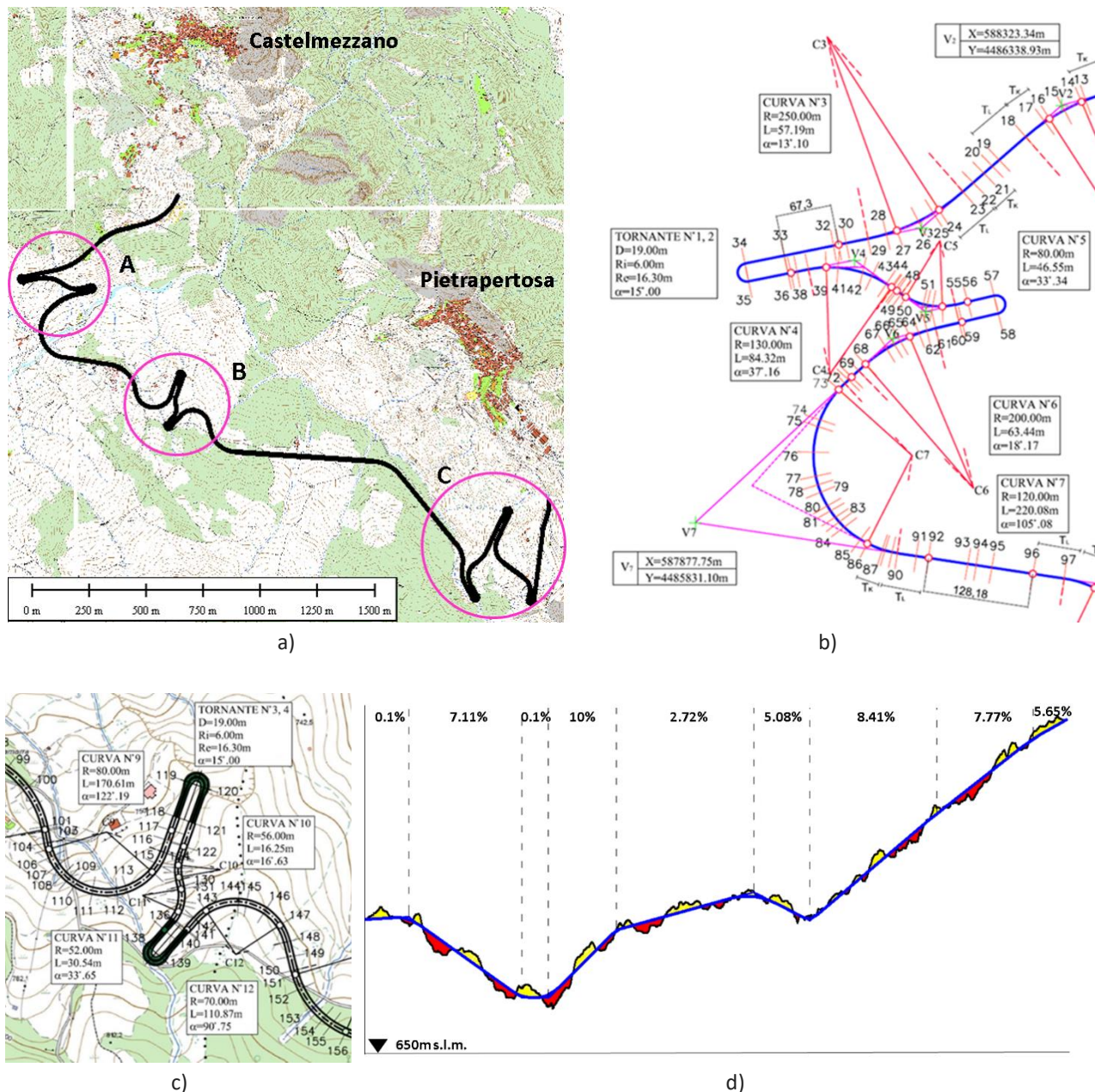


Figura 8. Percorso 1: a) Inquadramento generale; b) Particolare A; c) Particolare B; d) Profilo longitudinale.

3.4 Tracciato 4

L'alternativa 4 (Figure 6, 7d, 11), che segue il fondovalle del Torrente Caperrino, si sviluppa per una lunghezza complessiva pari a 4.502 km. Il tracciato massimizza i vantaggi offerti dal percorso 2 (riduzione dell'estensione planimetrica e dei tempi di percorrenza) e i vantaggi offerti dal percorso 1, nella parte finale (limitazione delle pendenze longitudinali nella risalita verso Pietrapertosa – Figure 8a, 11d). Questa soluzione prevede il ricorso a due viadotti, il primo caratterizzato da una lunghezza complessiva di 645 m (altezza massima di circa 35 m) e da una pendenza del 7.9% e il secondo caratterizzato da una lunghezza pari a 407 m e da una pendenza di livelletta pari all'8.3% (Figura 11c). La composizione dell'asse ha richiesto l'inserimento di 4 tornanti stradali, di cui il primo ricade proprio in prossimità del primo viadotto (Figure 11b, 11d). La pendenza di livelletta media risulta pari a 7.65% con un valore massimo dell'8.3% in corrispondenza del viadotto 2 (Figura 11c).

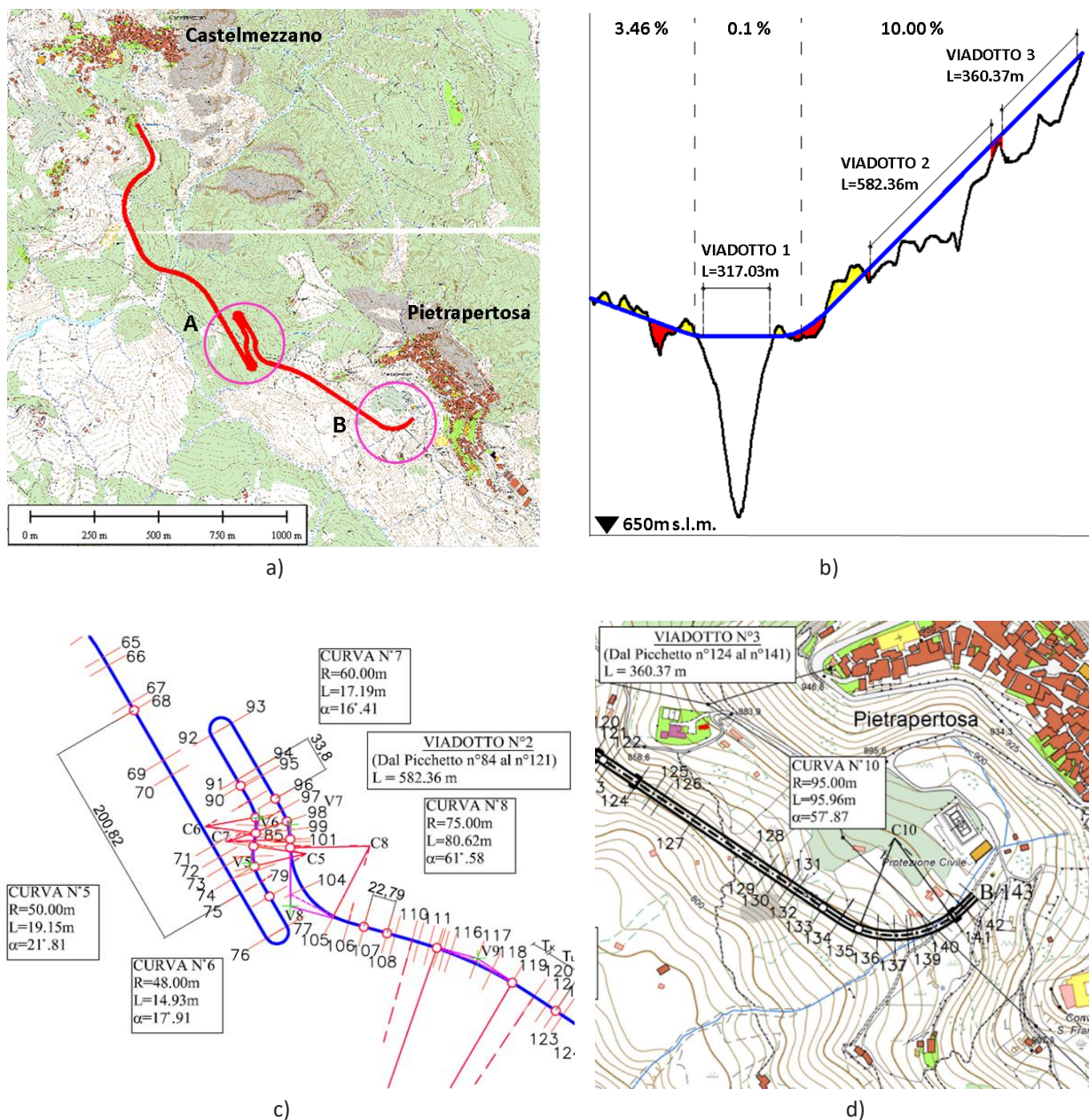


Figura 9. Percorso 2: a) Inquadramento generale; b) Profilo longitudinale; c) Particolare A; d) Particolare B.

Si ribadisce che i tracciati 1 e 4 si sovrappongono nella parte finale (tratto di risalita verso Pietrapertosa), che si riconnette alla via Sant'Angelo di Pietrapertosa. Si evidenzia altresì che, i percorsi 2, 3 e 4 si sovrappongono tra loro nella parte iniziale, al fine di garantire un accesso diretto al centro cittadino di Castelmezzano attraverso il tratto della S.P. 13 di ingresso al paese.

4. Analisi geomorfologica per la valutazione delle condizioni di stabilità dei versanti

Come già evidenziato, ai fini della valutazione delle condizioni di stabilità dei versanti interessati dalle quattro alternative di tracciato, è stato condotto uno studio geomorfologico, mediante utilizzo di cartografie di dettaglio (lidar con risoluzione 1x1 m) ed ortofoto storiche relative agli anni 1989, 1997, 2000, 2006, 2012 e 2013 [12].

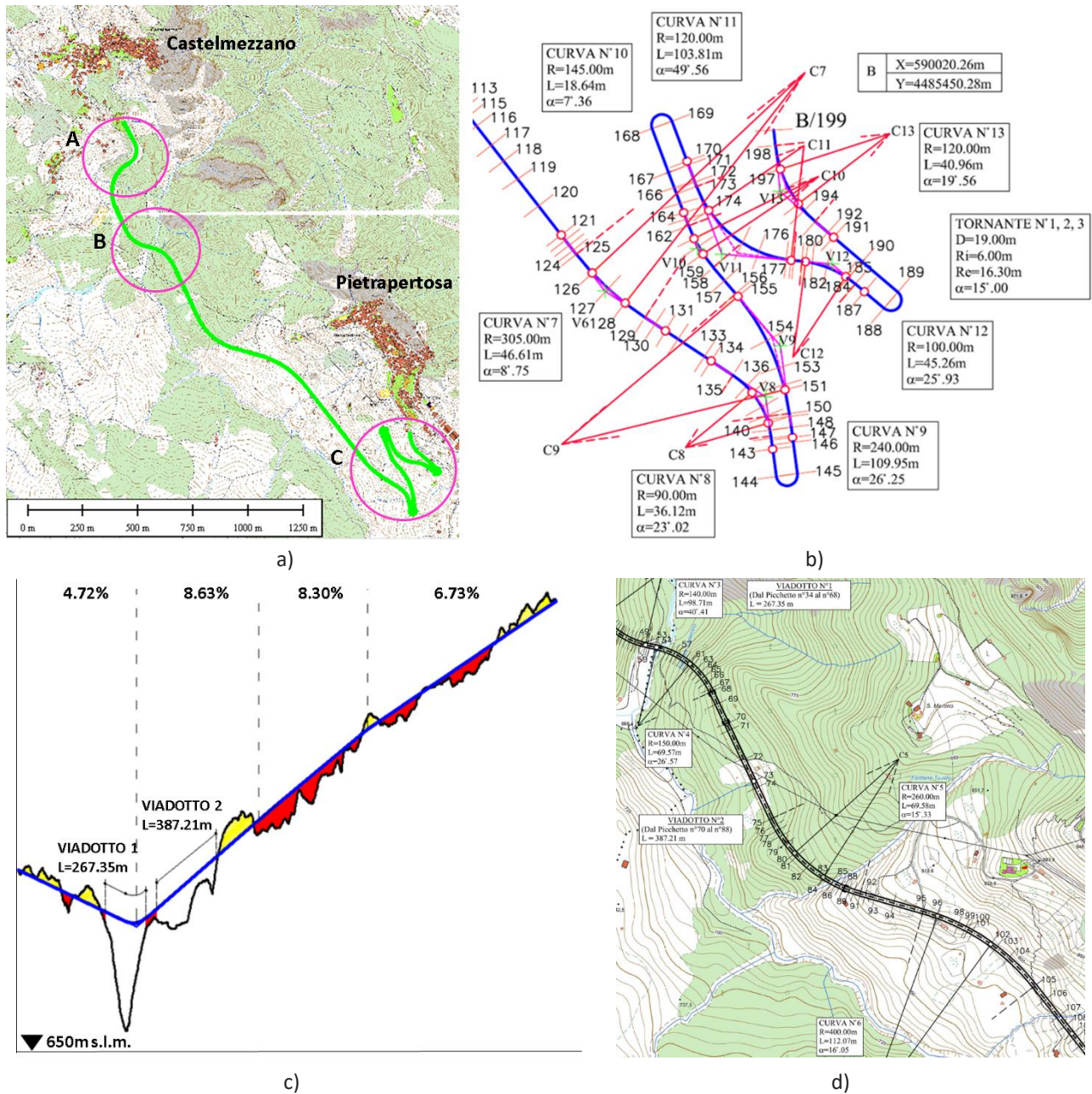


Figura 10. Percorso 3: a) Inquadramento generale; b) Particolare C; c) Profilo longitudinale; d) Particolare B.

Inoltre, le frane censite sono state confrontate con le carte ufficiali del PAI (Piano di Assetto Idrogeologico) e dell'IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) e con i dati interferometrici satellitari (D-InSAR) analizzati e resi disponibili dal Progetto MITIGO.

Il DTM con relative curve di livello, utilizzato per visualizzare a scala di dettaglio le concavo/convessità tipiche dei colamenti, è stato ottenuto mediante elaborazione di dati lidar, forniti dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare" (MATTM). Le ortofoto storiche, invece, sono state visualizzate mediante servizio di consultazione WMS (Web Map Service) disponibile dal sito del Geoportale Nazionale (Figura 12) [13]. Da un punto di vista geologico, i quattro tracciati si impostano sul fronte occidentale di una grande piega anticlinale con strati immergenti verso sud ovest, in cui si osserva il passaggio tra successioni

prevalentemente arenaceo-conglomeratiche e depositi terrigeni a maggiore componente argillosa. Questi ultimi fanno riferimento a due unità differenti, che rappresentano la frazione più pelitica del Flysch Miocenico del Gorgogione, su cui poggiano tettonicamente le argille Varicolori oligoceniche (Figure 13, 14) [14].

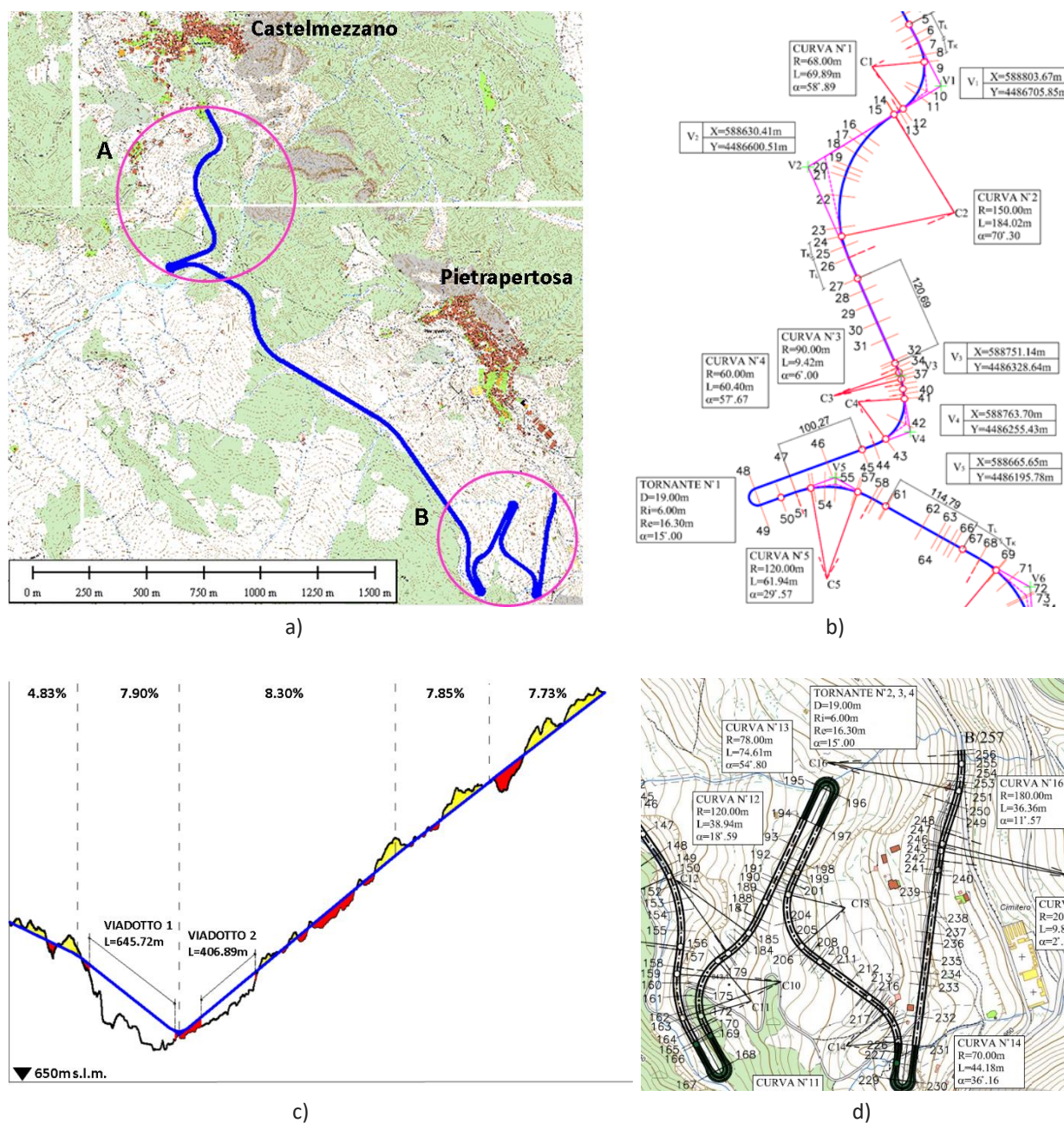


Figura 11. Percorso 4: a) Inquadramento generale; b) Particolare A; c) Profilo longitudinale; d) Particolare B.

L'individuazione delle frane ha permesso di valutare l'interazione delle stesse con i singoli tracciati. In generale è possibile notare che, nell'area esaminata, sono evidenti numerosi colamenti in argilla soprattutto nel settore sud-occidentale dove affiora la porzione più pelitica in facies di flysch.

Il settore nord orientale, invece, si presenta relativamente più stabile, in quanto caratterizzato dall'affioramento di litotipi più lapidei (arenarie) [15]. Il confronto della distribuzione delle frane rilevate con quelle riportate nel PAI e nell'IFFI mostra chiaramente una maggiore presenza di dissesti nei data base

ufficiali. La differenza è molto più marcata, soprattutto lungo i settori di versanti con affioramento di litotipi arenacei, dove anche estesi settori sono ritenuti instabili pur in assenza di evidenze di fenomeni in atto (Figura 15).

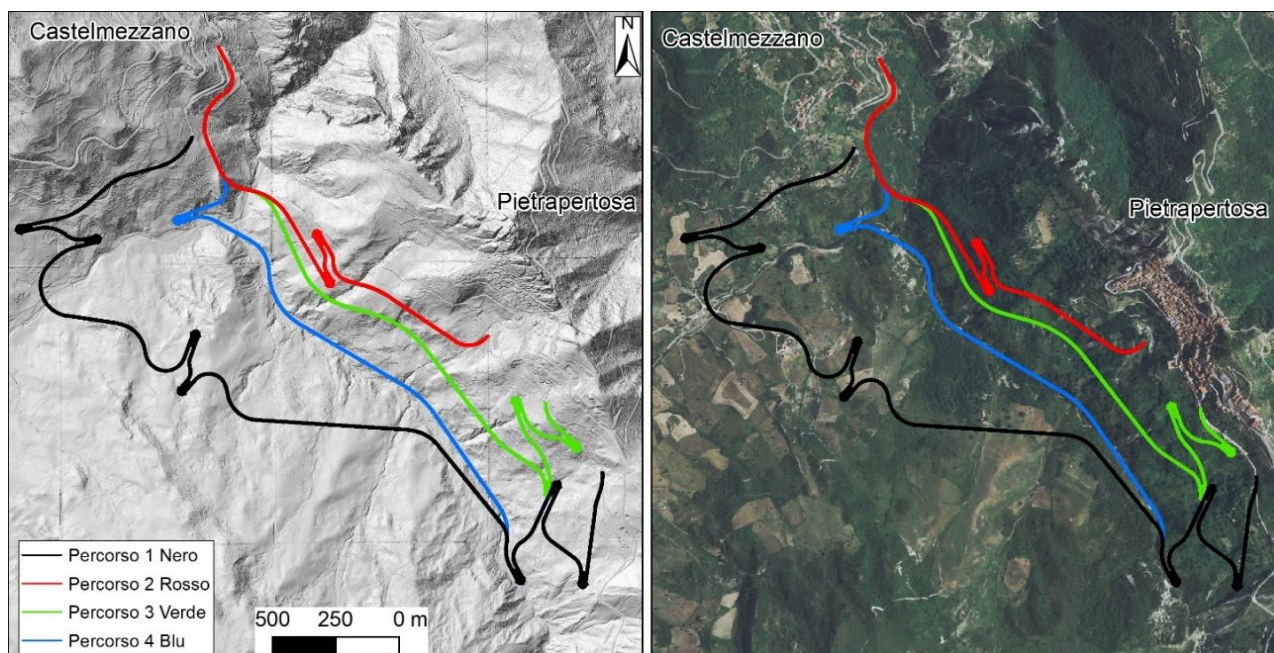


Figura 12. DTM prodotto da Cartografia Lidar e Ortofotografia del 2006 su cui sono ubicati i quattro percorsi alternativi.

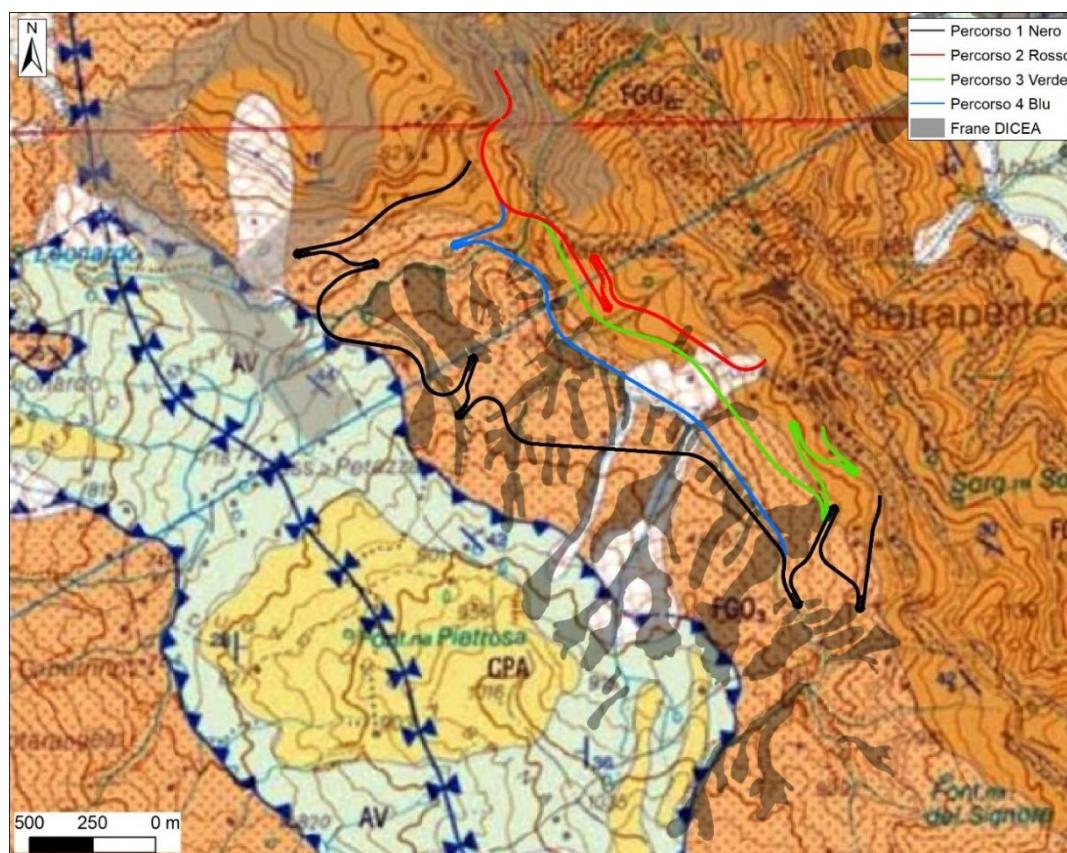


Figura 13. Carta geologica in scala 1:50000 del CARG – Foglio 490. In legenda: FGO2c indica il membro arenaceo conglomeratico del FLYSCH di GORGOGNONE; FGO3 la sequenza prevalentemente pelitica; AV le Argille Varicolori.

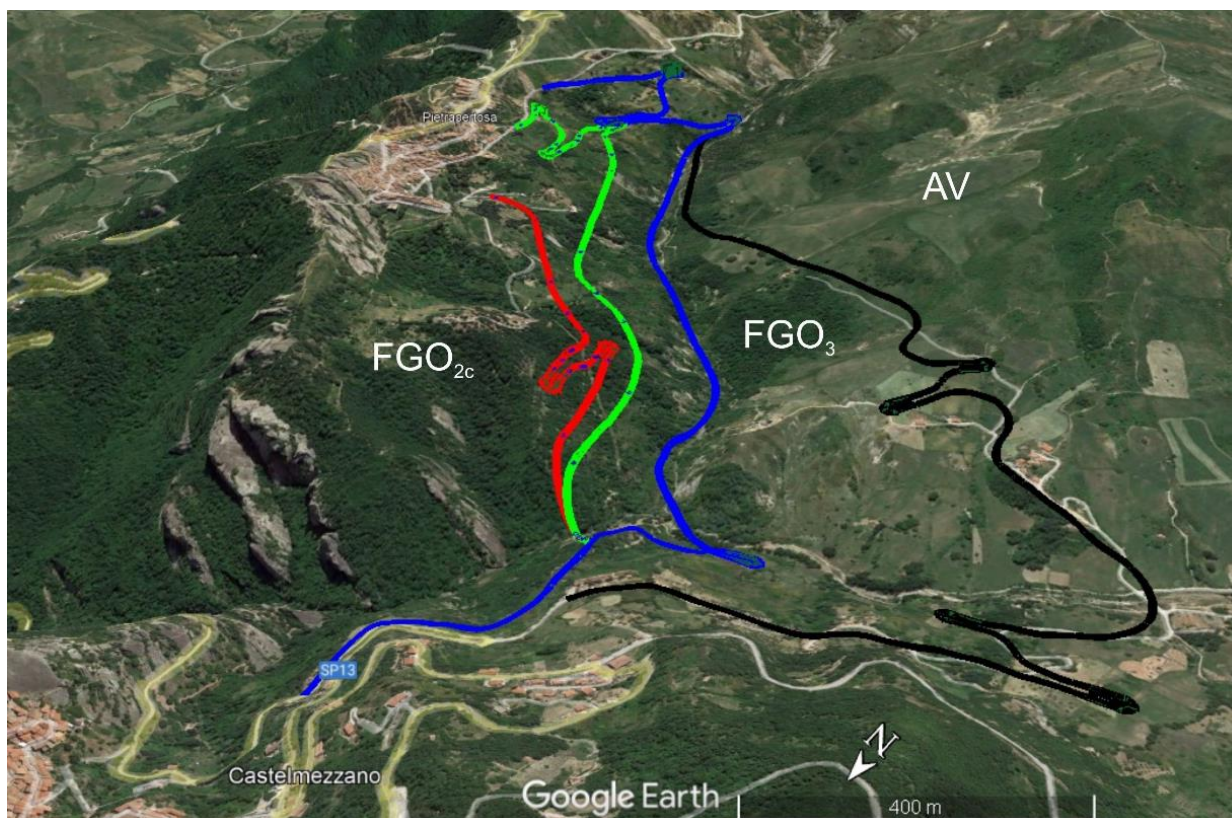


Figura 14. La piega anticlinale ben evidente tra Pietrapertosa e Castelmezzano. Da Carg: FGO_{2c} indica il membro arenaceo conglomeratico del Flysch di Gorgoglione; FGO₃ la sequenza prevalentemente pelitica; AV le Argille Varicolori

Una ulteriore verifica sui fenomeni di instabilità in atto è stata condotta considerando anche la distribuzione dei dati D-InSAR (Differential Interferometry SAR) che mostrano la velocità media annua degli spostamenti rilevata lungo la linea di vista (LOS) durante il periodo di osservazione compreso tra gli anni 2010-2022.

Bisogna ricordare che i Permanent Scatterer rilevati dai sensori radar corrispondono solitamente a manufatti, parti di edifici, elementi metallici, linee ferroviarie, tralicci, ma anche rocce affioranti o altri elementi naturali già presenti al suolo, le cui caratteristiche elettromagnetiche non variano sensibilmente al variare della geometria di acquisizione e delle condizioni climatiche e atmosferiche.

Per tale motivo, spesso le aree vegetate, come quelle presenti nel settore sud occidentale dell'area in esame, non sono ben rappresentate e, per questo non permettono delle adeguate valutazioni. In ogni caso, in linea generale, l'analisi interferometrica mostra qualche spostamento significativo (tra 3 e 5 mm/anno) solo nella porzione sud orientale dell'area in esame ove è presente l'ultimo tratto del percorso 1 (Figura 16).

Altre osservazioni sono state condotte, utilizzando Google Street View[®]. In molti casi le evidenti deformazioni riscontrate sulle strade hanno permesso di accertare la presenza di frane attive come riportato nella Figura 17. L'analisi geomorfologica preliminare per il censimento delle frane attive, condotta nei settori di versante a sud-ovest dell'abitato di Pietrapertosa, ove sono stati definiti i quattro tracciati stradali alternativi per il collegamento tra i comuni di Castelmezzano e Pietrapertosa ha permesso di stabilire che:

- i tracciati 1 e 4 interessano porzioni di territorio caratterizzato da numerosi dissesti in atto (frane da colamento), che si sviluppano su litotipi prevalentemente argillosi;
- i tracciati 2 e 3, possono essere considerati, dal punto di vista geomorfologico, quelli più idonei in quanto si impostano sulla superficie di strato di banchi lapidei arenacei certamente più stabili.

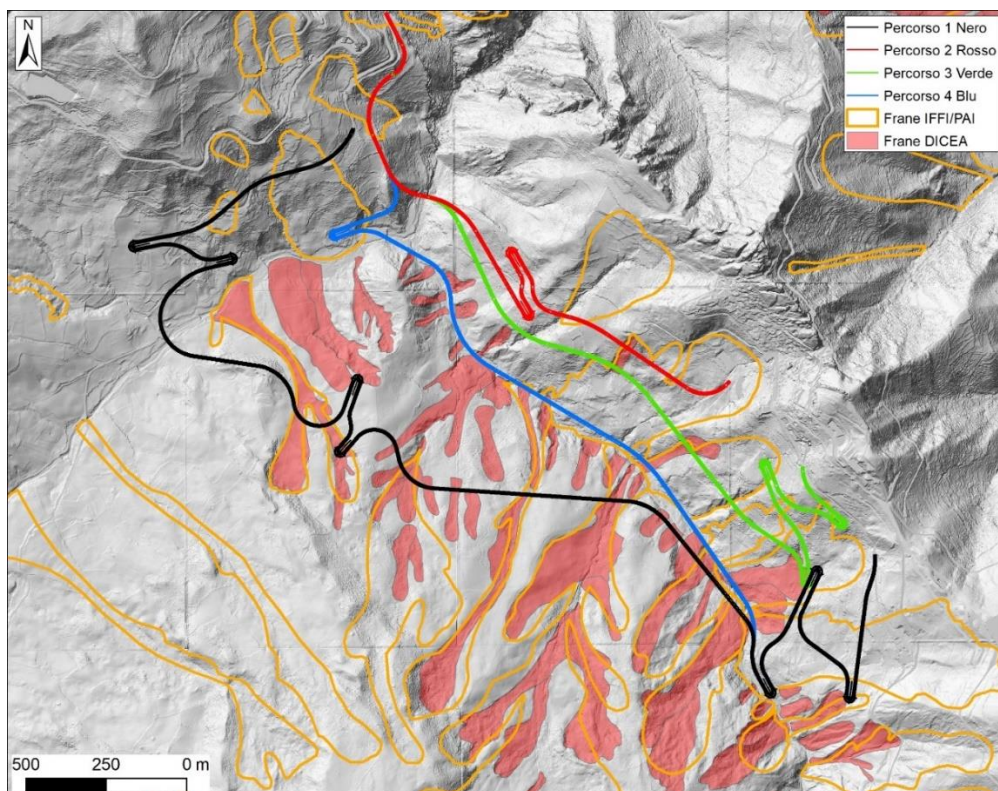


Figura 15. Confronto delle frane censite con quelle del PAI/IFFI.

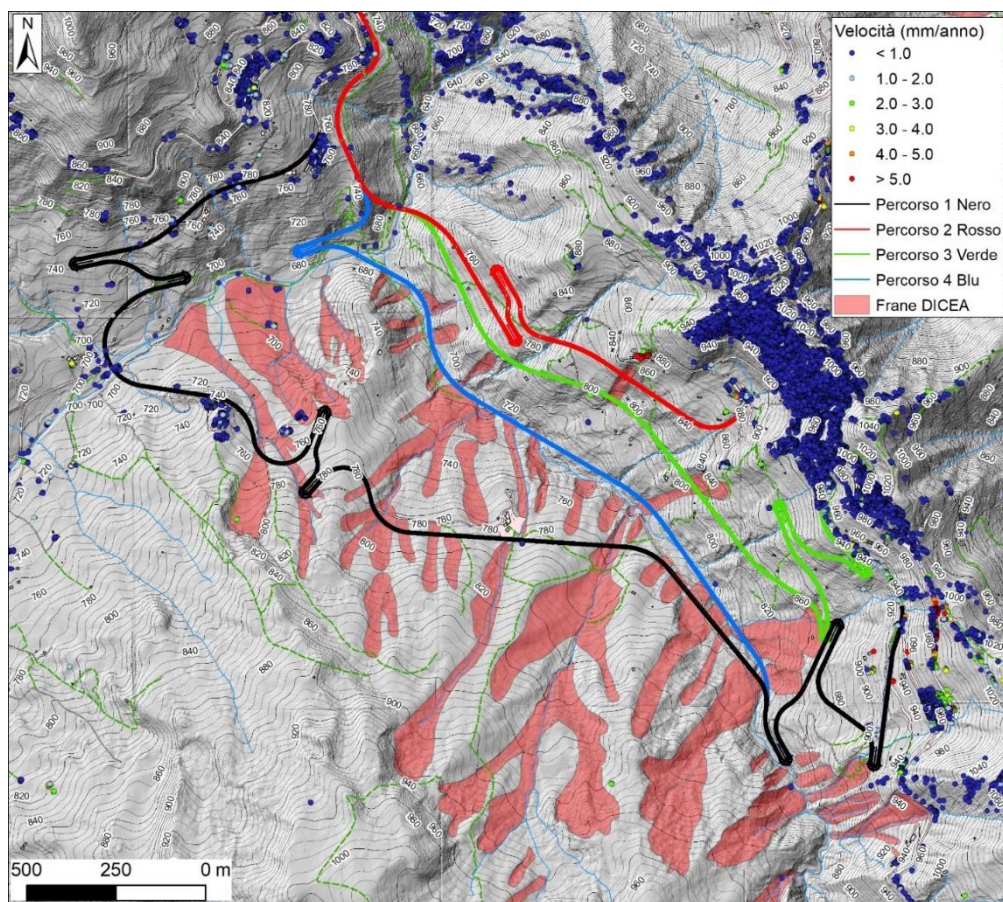


Figura 16. Distribuzione dei dati satellitari interferometrici (D-InSAR).



Figura 17. Chiare evidenze di deformazioni al suolo per presenza di frane attive.

In Tabella 2 sono riportate, in termini esclusivamente quantitativi, le incidenze percentuali della lunghezza di tracciato ricadente nelle aree soggette a frana per ogni alternativa di percorso.

Alternativa di Tracciato		1	2	3	4
Estensione di tracciato ricadente in area soggetta a frana	(%)	14.2	1.5	6.5	11.6
	(m)	843	36	228	524

Tabella 2. Percentuale e lunghezza di tracciato ricadente in area soggetta rischio frana.

5. Valutazione economica

Nel presente paragrafo è riportata un'analisi dei costi capace di fornire una stima preventiva del solo costo di costruzione (lavori), per ognuna delle alternative stradali individuate, finalizzata al confronto dell'impegno economico necessario alla implementazione delle diverse soluzioni alternative.

L'analisi, condotta utilizzando i dati forniti dall'ex Autorità per la Vigilanza sui Lavori Pubblici (Osservatorio dei Lavori Pubblici), si basa su costi standard validi per opere di ingegneria stradale. Il costo standardizzato di un'opera pubblica può essere definito come il costo che si realizza in condizioni di ordinarietà in determinate situazioni di tempo, di luogo, di caratteristiche e circostanze, per dare una risposta uniforme su tutto il territorio nazionale. In tal senso, può essere assunto come costo di riferimento, in rapporto ai servizi che l'opera o l'intervento è chiamato a rendere in un determinato contesto, a monte di una valutazione economica di dettaglio. Per la definizione di tale costo, è stato necessario definire gli "Ambiti Funzionali Omogenei" (AFO) della strada, ovvero i sottoinsiemi dell'opera omogenei per funzioni rese e che caratterizzano il modo con cui l'opera risponde ai bisogni della collettività [16].

In particolare, per questo studio sono stati individuati i seguenti AFO:

- AFO 1 – trincea/rilevato;
- AFO 2 - galleria;
- AFO 3 - viadotto.

Operativamente, per ogni alternativa progettuale è stato necessario valutare la lunghezza dei tratti in trincea/rilevato e la lunghezza dei tronchi in viadotto (non sono presenti gallerie). Si precisa che i costi standard per metro quadrato di carreggiata dei diversi AFO, relativi alla categoria di strada F2 extraurbana,

sono stati desunti a partire dai costi delle strade secondarie extraurbane ordinarie, considerando una rivalutazione monetaria al gennaio del 2022. Per l'AFO trincea/rilevato si è tenuto conto dei maggiori costi dovuti alla importante presenza di opere di contenimento, valutando un incremento medio specifico pari al 20%.

Nell'analisi non si è tenuto conto del costo relativo agli interventi sull'area esterna al solido stradale, dove sono ubicate le opere di mitigazione ambientale e di stabilizzazione dei terreni. Sulla base di quanto esposto è stato possibile stimare, complessivamente, il costo di costruzione per ognuno dei quattro percorsi, così come sintetizzato nella Tabella 3.

Alternativa di Tracciato	1	2	3	4
Lunghezza percorso (m)	5925	2353	3512	4502
AFO 1 - Lunghezza (m)	5925	1093	2857	3449
AFO 1 - Costo specifico (€/m)	1'946	1'946	1'946	1'946
AFO 1 - Totale (€)	11'527'088	2'126'432	5'558'294	6'710'030
AFO 3 - Lunghezza (m)	-	1260	655	1053
AFO 3 - Costo specifico (€/m)	-	10'496	10'496	10'496
AFO 3 - Totale (€)	-	13'222'718	6'870'406	11'048'426
Costo di Costruzione (€)	11'527'088	15'349'150	12'428'699	17'758'456
Costo specifico (€/km)	1'945'500	6'523'226	3'538'923	3'944'570

Tabella 3. Valutazione economica comparativa.

6. Considerazioni tecnico-economiche sulle alternative proposte

Dall'analisi dei risultati, emerge come l'alternativa 1 (Figure 6, 8) costituisca il percorso più lungo, ma nonostante ciò non rappresenta la soluzione più svantaggiosa dal punto di vista economico, anzi è la più economica, in quanto non richiede particolari opere d'arte. Di contro, costituisce il percorso più insidioso dal punto di vista idrogeologico, in quanto attraversa per circa il 14% del suo sviluppo aree instabili (Tabella 2). Pertanto, i costi di costruzione potrebbero incrementarsi per effetto degli interventi di mitigazione del rischio e di stabilizzazione dei versanti.

Il percorso più breve è offerto dall'alternativa 2 (Figure 6, 9), che, come già evidenziato, insiste per circa la metà dell'estensione su viadotto e pertanto costituisce la soluzione più impattante dal punto di vista ambientale. Questo tracciato non è il più costoso in assoluto, ma presenta il costo specifico più elevato. Il vantaggio più importante dell'alternativa 2, consiste nell'interferire con la percentuale più bassa rispetto ad ogni altra alternativa (inferiore al 2%) con le aree a rischio idrogeologico.

Il percorso 3 (Figure 6, 10) non presenta particolari criticità dal punto di vista idrogeologico, in quanto interferisce con aree instabili solo per circa il 6.5% del suo sviluppo. In particolare, dalle indagini geologiche è stato possibile osservare che tale percorso, così come il percorso 2, si sviluppa su uno strato di banchi lapidei arenacei abbastanza stabile. Pertanto dal punto di vista del rischio idrogeologico entrambi possono essere considerati come soluzioni maggiormente idonee rispetto ai percorsi 1 e 4. Anche per quanto attiene l'aspetto economico, tale soluzione prevede il costo più competitivo rispetto alle alternative 2 e 4 e risulta anche meno impattante dal punto di vista ambientale, considerata la minore estensione dei tratti in viadotto. L'alternativa 4 (Figure 6, 11) rappresenta la soluzione più costosa considerato che l'importo del costo di costruzione è prossimo ai 18 milioni di euro ed inoltre, registra una elevata interferenza con aree a rischio

frana. Infatti tale percorso, così come l'alternativa 1, si sviluppa in porzioni di territorio caratterizzato da numerosi dissesti in atto (frane da colamento) su litotipi prevalentemente argillosi e quindi certamente meno idoneo a garantire la stabilità dell'infrastruttura stradale.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro è stato sviluppato nell'ambito del progetto MITIGO che ha come obiettivo quello di individuare soluzioni per la mitigazione del rischio idrogeologico e sismico per i collegamenti viari e per le strutture strategiche delle aree urbane montane, interessate da frane, terremoti e fenomeni di spopolamento.

Lo studio è stato finalizzato all'individuazione di un collegamento stradale diretto tra i centri abitati di Castelmezzano e Pietrapertosa ed è stato condotto dall'Area Strade dell'Università della Basilicata, operante all'interno dell'OR7 (Soluzioni innovative di Mobilità). Ha contribuito allo studio, per la caratterizzazione geomorfologica dei siti, il Gruppo Geologia del DICEA dell'Università di Napoli Federico II.

Il lavoro ha consentito di individuare quattro alternative di collegamento stradale, in grado di migliorare significativamente l'accessibilità diretta tra i due centri lucani. Alcune delle soluzioni risultano compatibili con la presenza di vaste aree potenzialmente soggette a fenomeni di dissesto idrogeologico. La realizzazione di tale collegamento consentirà, rispetto alla condizione attuale, una notevole riduzione dei tempi di percorrenza con un notevole incremento del livello di servizio.

Bibliografia

- [1] Regione Basilicata, Dipartimento Ambiente e Territorio, Infrastrutture, OO.PP. e Trasporti, "Piano Regionale dei Trasporti, Linee Strategiche e Programmatiche", Potenza, aprile 2015. https://www.regione.basilicata.it/giunta/files/docs/DOCUMENT_FILE_2996251.pdf.
- [2] Regione Basilicata - Dipartimento Ambiente e Territorio. <https://www.regione.basilicata.it/giunta/site/giunta/department.jsp?dep=100050&area=110069&level=0#:~:text=La%20Basilicata%20si%20presenta%20come,rappresentato%20da%20una%20morfologia%20pianeggiante>.
- [3] Parco Gallipoli Cognato Piccole Dolomiti Lucane. <http://www.parcogallipolicognato.it/index.php/it/>.
- [4] Basilicatanet.com-Il Portale Turistico della Basilicata. Le Dolomiti Lucane. <http://www.basilicatanet.com/ita/web/item.asp?nav=dolomitilucane>.
- [5] Il Quotidiano del Sud – Basilicata. <https://www.quotidianodelsud.it/basilicata/potenza/cronache/cronaca/2017/04/15/castelmezzano-la-frana-rovina-la-pasqua-strada-chiusa-e-niente-acqua>.
- [6] D. Ciampa, S. Olita, "Mountain Roads' Geometric Design: Methodological Proposal for Hairpin Bend Design/Retrofitting," *Infrastructures* 2022, 7, 112. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7090112>.
- [7] M. Agostinacchio, D. Ciampa, S. Olita, "La progettazione dei tornanti stradali per la viabilità minore (Prima Parte)," *Strade&Autostrade*, vol. 111, EDI-CEM srl, pp. 16–20, ISSN: 1723-2155, maggio-giugno 2015.
- [8] M. Agostinacchio, D. Ciampa, S. Olita, "La progettazione dei tornanti stradali per la viabilità minore (Seconda Parte)," *Strade&Autostrade*, vol. 112, EDI-CEM srl, pp. 24–29, ISSN: 1723-2155, luglio-agosto

2015.

[9] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, “Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade” D.M. n.6792, G.U. n. 3 del 04/01/2002, Roma, 5 novembre 2001.
<http://www.casaportale.com/public/uploads/4860-pdf20.pdf>.

[10] Union Suisse des Professionnels de la Route (VSS), “SN 640198a-Courbes, Lacets”.
<https://www.vss.ch/de/>.

[11] Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), “Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI)”, 2018.

[12] CARG – Foglio 490 (Stigliano). NOTE ILLUSTRATIVE della CARTA GEOLOGICA D’ITALIA alla scala 1:50000. Servizio Geologico d’Italia, ISPRA.

[13] Geoportale Nazionale - Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM).
<http://www.pcn.minambiente.it/mattm>.

[14] Critelli S. & Loiacono, F., “Provenienza e dispersione dei sedimenti nel flysch di Gorgoglione (Langhiano–Tortoniano, Appennino Lucano): implicazioni sull’evoluzione delle mode detritiche arenacee nell’orogene sudappenninico,” 1988, Mem. Soc. Geol. Ital., 41, 809–826.

[15] Pescatore T. (1980). Caratteri mineralogici e geochimici dei sedimenti pelitici del flysch di Gorgoglione (Lucania, Appennino meridionale).

[16] P.L. Maffei, R. Boccaccini, “La determinazione dei Costi Standardizzati per la categoria di opere strade e autostrade. Metodo, strumenti e sperimentazione su casi di studio,” Autorità per la vigilanza sui lavori pubblici – Osservatorio lavori pubblici.





www.mitigoinbasilicata.it

Obiettivo Realizzativo n. 7 Soluzioni innovative di mobilità

Questa pubblicazione è stata realizzata con il cofinanziamento dell'Unione Europea - FESR, PON Ricerca e Innovazione 2014-2020.

www.ponricerca.gov.it

Responsabile della pubblicazione:
Università degli Studi della Basilicata
Scuola di Ingegneria
Via dell'Ateneo Lucano 10
85100 Potenza



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Mitigazione dei Rischi Naturali
per la Sicurezza e la Mobilità nelle
Aree Montane del Mezzogiorno

