

S.S. 106 "JONICA"

Lavori di realizzazione dell'asta di collegamento
in dx idraulica del Torrente Gerace
tra la SS 106 VAR/B (Svincolo Gerace) e la SS 106 al km 97+050

PROGETTO DEFINITIVO

COD. CZ311

IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
Ing. Francesco M. LA CAMERA

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

S.T.E. s.r.l.

Structure and Transport Engineering

Direttore Tecnico
Ing. E. Moroni
Ordine Ing. Roma
N. 10020

IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE
Ing. Francesco M. LA CAMERA

ROCKSOIL S.p.A.

Direttore Tecnico
Ing. G. Cassani
Ordine Ing. Milano
N. 20997

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Fiorenza PENNINO Ordine Geol. Lombardia N. 1575

E.D.IN. s.r.l.
Società di Ingegneria

Direttore Tecnico
Ing. G. Grimaldi
Ordine Ing. Roma
N. 17703

L'ARCHEOLOGA: Dott.ssa Grazia SAVINO

Elenco MIBACT n. 3856 – archeologa di 1° fascia ai sensi del D.M. 244/2019

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Antonella PIRROTTA

Prof. Arch. F. KARRER

Ordine Arch. Roma
N. 2097

GEOTECNICA

Monitoraggio Geotecnico

Relazione di monitoraggio geotecnico e geomorfologico

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	T00_GE11_GET_RE01_C			
DPCZ0311	D 20	CODICE ELAB.	T00GE11GETRE01	C	-
C	EMISSIONE PER PROCEDURA VASSVIA	Ottobre 2022	ROCKSOIL	CASSANI	LA CAMERA
B	EMISSIONE A SEGUITO RIESAME INTERMEDIO	Luglio 2022	ROCKSOIL	CASSANI	LA CAMERA
A	PRIMA EMISSIONE	Marzo 2022	ROCKSOIL	CASSANI	LA CAMERA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE	2
2	RIFERIMENTI: NORMATIVE, DOCUMENTI E BIBLIOGRAFIA	3
2.1	DOCUMENTI	3
3	INQUADRAMENTO GENERALE	4
3.1	INQUADRAMENTO DELL'OPERA	4
3.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	5
3.3	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	6
4	SINTESI DELLE CRITICITÀ GEOTECNICHE/GEOMECCANICHE LUNGO IL TRACCIATO	8
4.1	PARAMETRI GEOTECNICI	8
4.2	VARIAZIONI STAGIONALI DELLA FALDA	9
4.3	CRITICITÀ GEOMORFOLOGICHE	9
4.4	CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE	10
4.5	INTERFERENZE CON OPERE NUOVE ED ESISTENTI	10
5	PIANO DI MONITORAGGIO GEOTECNICO E GEOMORFOLOGICO	11
5.1	SCOPO DEL PIANO DI MONITORAGGIO IN CORSO D'OPERA	11
5.2	SINTESI DEGLI INTERVENTI	13
5.2.1	<i>Controllo parametri meteorici</i>	14
5.2.2	<i>Controllo dei movimenti superficiali</i>	14
5.2.3	<i>Controllo dei movimenti profondi e dei livelli di falda</i>	15
5.2.4	<i>Monitoraggio degli edifici</i>	16
5.3	FREQUENZA DI LETTURA	17
5.4	DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI ATTENZIONE E DI ALLARME	17
5.4.1	<i>Monitoraggio delle aree instabili</i>	18
5.4.2	<i>Monitoraggio edifici</i>	18
5.5	INDAGINI INTEGRATIVE	19

1 INTRODUZIONE

La presente relazione illustra il sistema di monitoraggio geotecnico e geomorfologico relativo al Progetto Definitivo della S.S. 106 Variante Svincolo Gerace, ovvero del collegamento tra la S.S. 106 VAR/B (svincolo Gerace) e la SS 106 al km 97+050.

L'intervento consiste nella realizzazione di una variante di svincolo e prevede la costruzione di un viadotto (VI01), di una paratia (OS01), muri di sottoscarpa (OS02, OS3 e OS4), un sottovia (ST01) ed un muro a U (OS05), oltre a rilevati di altezza anche superiore a 8m.

In particolare, in corrispondenza delle rampe C e B, si evidenzia la presenza di un meccanismo di scivolamento rotazionale\traslativo, classificato dal PAI della Regione Calabria come attivo; lo spessore del corpo di frana è indicativamente compreso tra i 3 e gli 8 m (Doc. Rif. [6]).

La relazione si articola come segue:

- il capitolo 2 elenca i documenti di riferimento;
- il capitolo 3 propone un inquadramento generale dell'opera e l'inquadramento geologico e geotecnico di sintesi;
- il capitolo 4 riepiloga le principali criticità geotecniche e geomorfologiche presenti sul tracciato;
- Il capitolo 5 descrive il piano di monitoraggio geotecnico, le finalità e le strumentazioni adottate, riepilogando le indagini integrative che potranno servire a limitare le criticità suddette.

2 RIFERIMENTI: NORMATIVE, DOCUMENTI E BIBLIOGRAFIA

2.1 Documenti

- [1] Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica generale - 000_T00_GE00_GEO_RE01
- [2] Relazione sismica- 000_T00_GE12_GET_RE01
- [3] Relazione geotecnica generale - 000_T00_GE10_GET_RE01_A
- [4] Documentazioni indagini geognostiche pregresse - 000_T00_GE01_GEO_RE02-04
- [5] Documentazioni indagini geognostiche integrative - 000_T00_GE02_GEO_RE02-04
- [6] Carta geologica di dettaglio - 000_T00_GE03_GEO_CG01-02
- [7] Carta geomorfologica di dettaglio - 000_T00_GE03_GEO_CG11-12
- [8] Profilo geotecnico - 000_T00_GE10_GET_FG01-02
- [9] Sezioni geotecniche trasversali - 000_T00_GE10_GET_SG01_A
- [10] Planimetria di monitoraggio geotecnico - 000_T00_GE11_GET_PL01_A
- [11] Carta degli scenari di rischio PAI - 000_T00_GE03_GEO_CG03_A

3 INQUADRAMENTO GENERALE

3.1 Inquadramento dell'opera

L'opera in oggetto prevede la realizzazione del nuovo collegamento tra la S.S. 106 VAR/B (svincolo Gerace) e la SS 106 al km 97+050. Si colloca lungo la sponda destra del torrente Gerace, con andamento circa NE-SW nella parte iniziale e NW-SE nella parte finale, a ridosso della costa ionica calabrese.

Nell'ambito del progetto si prevede la costruzione delle seguenti opere d'arte:

- Nuovo viadotto Gerace VI01, carreggiata sud;
- Paratia di pali OS01, rampa B;
- Tombino circolare TO16 Φ 1500, 220 rampa C;
- Tombino circolare TO20 Φ 2000, rotatoria A
- Tombino scatolare TO35 2.00x2.00m, rotatoria A collegamento Sud;
- Tombino scatolare TO30 3.00x2.00m, asse principale, tra rotatorie A e B;
- Muri di sottoscarpa OS02 e OS03, asse principale, tra rotatorie A e B;
- Sottovia scatolare 12.00x6.50m ST01, asse principale, tra rotatorie A e B;
- Tombini circolari TO40 e TO45 Φ 2000, asse principale, tra rotatorie A e B;
- Tombino scatolare TO50 4.00x3.00m, rotatoria C;
- Tombino circolare TO20 Φ 1500, rotatoria C collegamento est;
- Tombino scatolare TO58, 4.00x3.00m, fuori asse;
- Tombino scatolare 3.00x3.00m, nelle vicinanze della rotatoria D
- Tombini circolari TO70 e TO85 Φ 1500, rotatoria D collegamenti est e ovest;
- Rilevati stradali.

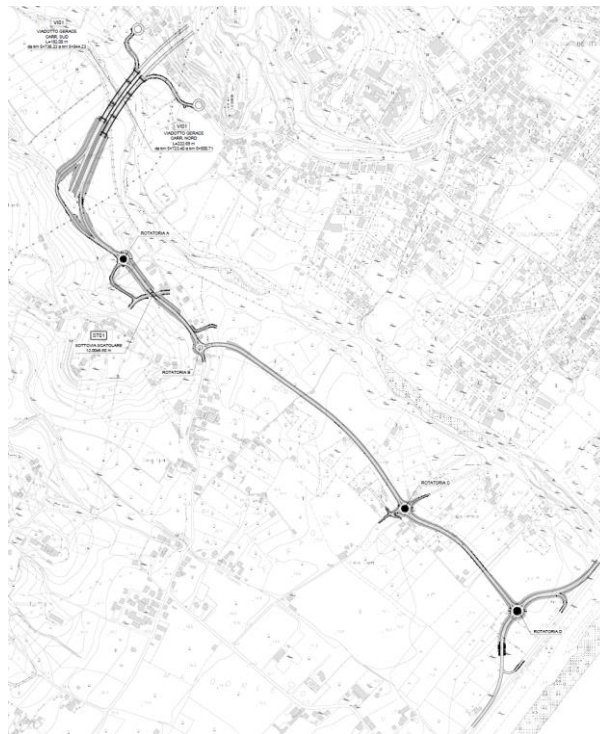


Figura 1. Planimetria di progetto

3.2 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico

Dal punto di vista geologico, l'area è caratterizzata dalla diffusa presenza di depositi di fiumara, alluvionali e continentali terrazzati e, nella tratta a monte della rotatoria A, da coltre detritica-colluviale e depositi gravitativi di versante. Le formazioni di maggiore interesse lungo il tracciato sono: coltre detritico-colluviale, depositi gravitativi di versante, depositi di fiumara e depositi alluvionali dei rii minori, depositi continentali terrazzati e formazione dei Trubi. Per ognuna di esse, si riassumono di seguito le caratteristiche principali.

Coltre detritico-colluviale attuale

In generale si tratta di depositi limoso-argillosi e limoso-sabbiosi con ciottoli generalmente sub-arrotondati e poligenici. Questi depositi hanno spessori massimi al piede delle scarpate, dove possono raggiungere potenze fino a 3 m, e si assottigliano sulle superfici terrazzate e sui versanti, dove presentano potenze medie pari a 0.5-1 m.

Depositi gravitativi di versante, depositi collegati a fenomeni superficiali

Colamenti, soliflussi o scivolamenti superficiali tipo *soil slip*, coinvolgenti la coltre detritica e la porzione superficiale del substrato. Terreni eterogenei a struttura caotica con granulometria limoso-argillosa-sabbiosa, localmente con elementi ghiaiosi.

Depositi alluvionali e torrentizi dei rii minori (attuali)

Costituiti da ciottoli sub-arrotondati, poligenici ed eterometrici (da centimetrici a decimetrici) in matrice sabbioso-limosa;

Depositi di fiumara (attuale)

La deposizione di questi sedimenti è strettamente collegata all'azione stagionale delle fiumare (Condoiani, Portigliola, Gerace, Novito e Torbido); le dimensioni dei blocchi presenti e la presenza di opere antropiche divelte (argini e briglie di contenimento) sono indice di una alta energia di trasporto.

Depositi continentali terrazzati (olocenici)

Essi poggiano, con un contatto erosivo, sulle formazioni sottostanti; affiorano generalmente sulle superfici terrazzate ed hanno spessori piuttosto variabili (da pochi metri fino a una decina di metri). Questi sedimenti sono parzialmente pedogenizzati, hanno una colorazione rossastra e sono costituiti principalmente da ghiaie grossolane con ciottoli poligenici arrotondati, di dimensioni variabili da centimetriche a decimetriche, in matrice sabbioso-limosa e limoso-argillosa. Localmente si rinvencono grossi blocchi di dimensioni fino a metri.

Formazione dei Trubi (pliocene inferiore)

Costituisce il substrato presente lungo tutto il tracciato oggetto di studio ed è rappresentata come segue: un membro inferiore prevalentemente argilloso-limoso, uno intermedio prevalentemente sabbioso-limoso, in eteropia con potenti livelli limoso-argillosi. Questi membri sono caratterizzati da continue eteropie laterali e verticali che interessano sia i vari membri che i diversi termini di ogni singolo membro.

Tra gli elementi morfologici riscontrati lungo il tracciato della nuova S.S. 106 Jonica, sono da notare le zone di frana nella porzione più occidentale del tracciato. Queste vengono identificate dal catalogo IFFI di ISPRA come scivolamenti rotazionali/traslazionali e sono caratterizzate, probabilmente, da litologie argillose, sabbioso-limose.

L'area di studio è caratterizzata da differenze nelle caratteristiche sedimentologiche e strutturali delle formazioni analizzate, in particolare nella granulometria, nel grado di cementazione e nello stato di fatturazione, permettendo di distinguere i due principali domini idrogeologici descritti di seguito.

Dominio superiore

Da mediamente a molto permeabile, costituito dalle sabbie pleistoceniche (Formazione del Monte Narbone) e da depositi sabbioso-conglomeratici quaternari, detritici ed alluvionali. Questo complesso superiore è sede di una falda freatica, alimentata direttamente dalle acque superficiali di natura meteorica, sostenuta dalle argille plioceniche sottostanti. La direzione di deflusso delle acque sotterranee è condizionata dall'andamento del contatto tra i due complessi, immergente verso ES E, e dal drenaggio provocato dai versanti e dalle incisioni laterali.

Dominio inferiore

Generalmente da poco a molto poco permeabile, costituito dalle argille plioceniche della Formazione dei Trubi. All'interno delle argille sono presenti livelli da decimetrici a pluri-decimetrici di termini limoso-sabbiosi o sabbioso-limosi più permeabili. In condizioni indisturbate le pressioni d'acqua nei livelli sabbiosi della formazione argillosa obbediscono ad una condizione idrostatica controllata dai livelli della falda libera contenuta nelle sabbie e ghiaie sovrastanti.

Per quanto riguarda il flusso idrico sotterraneo, si è osservato che sia nel dominio prevalentemente sabbioso-ghiaioso, sia in quello prevalentemente argilloso i livelli piezometrici registrati tendono sempre a raccordarsi con le incisioni vallive principali, a testimonianza di una generale connettività idraulica tra i due domini.

Le informazioni idrogeologiche disponibili per la regione Calabria risultano carenti, di conseguenza si è scelto di non indicare l'andamento delle isofreatiche nell'elaborato idrogeologico corrispondente, ma viene riportato il livello di falda misurato nei due sondaggi attrezzati con piezometro (SI 2 PZ e SI 4 PZ).

Per maggiori le informazioni di carattere geologico, geomorfologico e idrogeologico si rimanda agli specifici elaborati di progetto (Doc. rif. [1], [2] e [11]).

3.3 Inquadramento geotecnico

Le principali unità geotecniche individuate sulla base dell'esito delle indagini e delle informazioni geologiche di progetto (Doc. rif. [1], [9] e [10]) sono elencate di seguito – si faccia riferimento alla Relazione Geotecnica (Doc. rif. [3]) per maggiori informazioni:

- SG sabbia con ghiaia e ciottoli di natura metamorfica, granitica o calcarenitica e ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa;
- SL sabbia limosa debolmente argillosa con locali inclusi calcarenitici o cristalli quarzosi e micacei di dimensioni millimetriche;
- CON formazione conglomeratica costituita da sabbie in debole matrice limosa a granulometria medio-grossolana con ghiaia e ciottoli decimetrici di natura metamorfica e granitica;
- AL argilla limosa marnosa, limo argilloso o limo sabbioso;
- LNC limo argilloso o argilla sabbiosa.

Inoltre, nella seconda metà del tracciato si riscontra la presenza di uno strato di terreno vegetale e materiale di colmata, costituito da sabbia limosa ghiaiosa da sciolta a poco addensata ed avente uno spessore compreso tra 0.40m e 0.60m. Tale strato si assume presente anche nella prima parte del tracciato, su tutte le aree agricole.

Il Profilo Geotecnico (Doc. rif. [8]) fornisce un inquadramento circa l'assetto stratigrafico lungo il tracciato. Si individuano tre zone principali.

Nel tratto iniziale che include il viadotto, il profilo è descritto dalla presenza di uno spesso strato superficiale di depositi incoerenti a grana grossa (SG) dello spessore di 8-10m, sotto al quale si rinvergono limi argillosi sabbiosi e argille sabbiose di modesta consistenza (LNC), sabbie limose poco addensate (SL) o conglomerati (CON) nell'area interessata dal corso d'acqua. Questi ultimi sono inoltre presenti diffusamente a profondità maggiori di 30 m pc, talvolta sormontati da uno strato di argille sovraconsolidate (AL) dello spessore di circa 7m. I risultati della tomografia sismica (v. BSR1a e BSR1b, Doc. rif. [5]), eseguita nella zona del viadotto, rendono evidente che il passaggio di una categoria all'altra avvenga nelle vicinanze della fiumara, con terreni di classe C nella porzione a NE della stessa. Tale evidenza risulta essere confermata dal Profilo Geotecnico, laddove la stessa area è caratterizzata da una diffusa presenza di materiali depositi normalconsolidati o debolmente sovraconsolidati e da una maggiore profondità delle unità conglomeratiche.

Proseguendo nella zona centrale, si osserva la presenza di uno strato di terreno vegetale giacente al di sopra di uno strato di argille sovraconsolidate (AL) molto spesso, all'interno del quale si individuano lenti di materiale sabbioso caratterizzato da uno stato di addensamento variabile (SL)

Avvicinandosi alla costa il profilo è interamente descritto da depositi incoerenti a grana grossa (SG) giacente al di sotto del terreno vegetale superficiale.

Non si riscontrano criticità relative al verificarsi di fenomeni di liquefazione a seguito di eventi sismici (Doc. rif. [9]).

4 SINTESI DELLE CRITICITÀ GEOTECNICHE/GEOMECCANICHE LUNGO IL TRACCIATO

Il progetto stradale risulta composto da un viadotto e da una serie di opere d'arte minori (v. capitolo 3.1).

Le principali criticità geotecniche possono riassumersi nei seguenti punti:

- a. criticità relative al modello geotecnico e all'interazione con le opere previste;
- b. forti variazioni di falda;
- c. criticità relativa alle aree in frana;
- d. criticità attribuibili alle condizioni idrogeologiche del sito.

Con riferimento agli ultimi due punti, la figura che segue illustra le aree maggiormente interessate da fenomeni franosi o alluvioni.

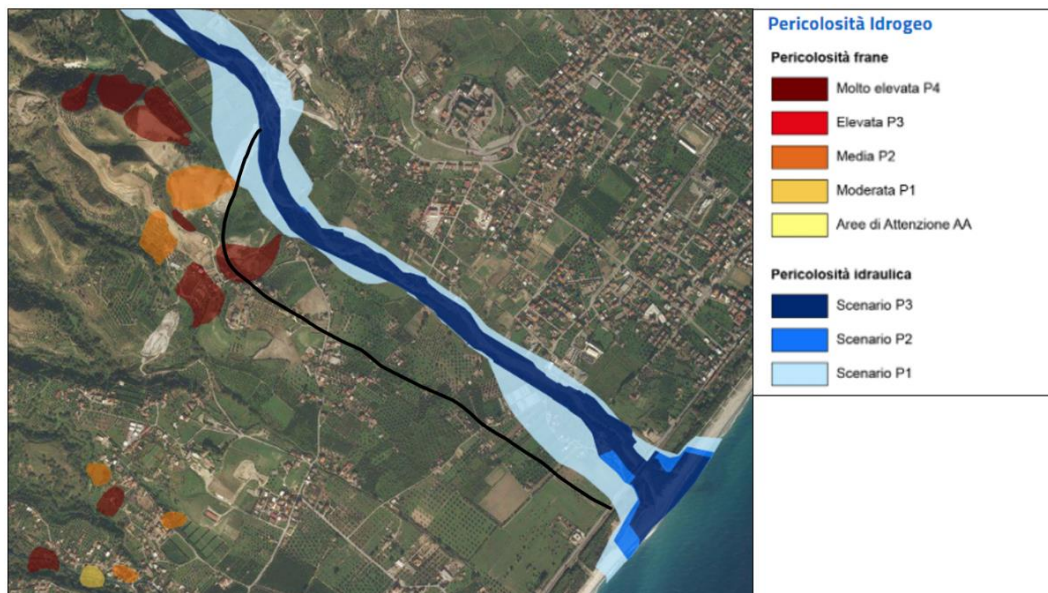


Figura 2. Carta delle pericolosità idrogeologiche (Portale IFFI)

4.1 Parametri geotecnici

I materiali limoso-argillosi presenti lungo il tracciato e, in particolar modo nella prima metà dello stesso, sono caratterizzati da parametri meccanici fortemente dipendenti dalla storia tensionale cui i depositi sono stati sottoposti. Di particolare interesse è la presenza di limi argillosi di consistenza plastica e debolmente sovraconsolidati o normalconsolidati nei primi 15m di profondità dal piano campagna. Tali depositi assumono un ruolo fondamentale nella verifica dei rilevati, delle opere di sostegno e delle fondazioni del viadotto.

Altro aspetto di primaria importanza è la definizione delle resistenze caratteristiche dei depositi interessati dai meccanismi franosi. I dati geognostici a disposizione non forniscono informazioni relativamente ai meccanismi potenzialmente in atto nella zona delle rampe B e C, in corrispondenza delle quali si riscontra la presenza di terreni di mediamente consistenti o addensati.

Nell'ambito del Progetto Esecutivo, i dati geognostici raccolti per mezzo di indagini integrative ed ulteriori misure degli inclinometri installati consentiranno di confermare l'esito della parametrizzazione e delle analisi di stabilità globale eseguite.

4.2 Variazioni stagionali della falda

Le misure freatiche eseguite nel corso della recente campagna di indagini forniscono alcune indicazioni circa la soggiacenza della falda che, come accennato nei capitoli precedenti, nella prima metà del tracciato è fortemente influenzata dal regime idraulico della fiumara. La continua misura del livello piezometrico negli strumenti installati consentirà di stabilire le oscillazioni stagionali e verificare le assunzioni fatte relativamente al livello di progetto delle singole opere d'arte.

4.3 Criticità geomorfologiche

Le principali criticità geomorfologiche descritte nella Relazione Geologica (Doc. rif. [1]) possono avere un impatto non trascurabile nell'ambito della progettazione di alcune opere d'arte.

L'analisi degli elaborati geologici e geomorfologici ha rilevato una elevata criticità morfologica nella zona più occidentale del tracciato. Trattasi di un'area interessata da movimenti franosi censiti dal PAI e che si estendono fino alle rampe B e C, nelle vicinanze di opere d'arte quali paratie di sostegno, rilevati e viadotto VI01.

Secondo il catalogo IFFI di ISPRA e come illustrato in Figura 3, le zone in frana sono caratterizzate da scivolamenti rotazionali/traslazionali e da litologie argillose e sabbioso-limose. Per maggiori dettagli relativamente ai fenomeni franosi evidenziati, si rimanda alla Carta geomorfologica di dettaglio (Doc. rif. [7]), alla Carta degli scenari di rischio PAI (Doc. rif. [11]) e alla Relazione geologica (Doc. rif. [1]).

Le misure inclinometriche disponibili alla data odierna in corrispondenza del sondaggio SI 3 INCL, indicano range di movimento tra i 2 mm e i 3 mm.

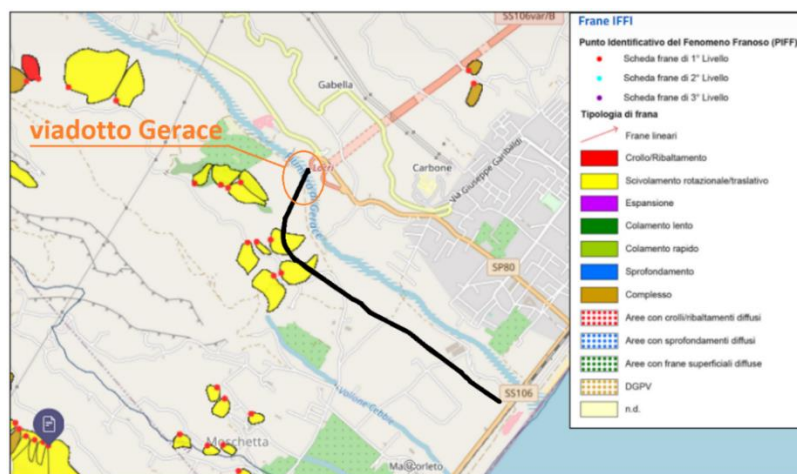


Figura 3. Carta dei fenomeni franosi riportati sul portale IFFI, il tracciato è rappresentato dalla linea nera

4.4 Criticità idrogeologiche

Per quel che riguarda le zone a rischio alluvione, secondo il PGRA 2021 (GeoPortale Nazionale) tutta l'area nelle vicinanze del fiume Gerace è caratterizzata da un rischio moderato. In particolare, le zone attenzionate sono circoscritte all'ampio letto della fiumara e, nella parte terminale del tracciato, possono interessare alcuni caseggiati e campi agricoli, oltre al collegamento est tra la rotonda D e la S.S. 106.

All'interno di tale regione, è pertanto da considerare il verificarsi di fenomeni di esondazione, erosione ed eventuale scalzamento di manufatti.

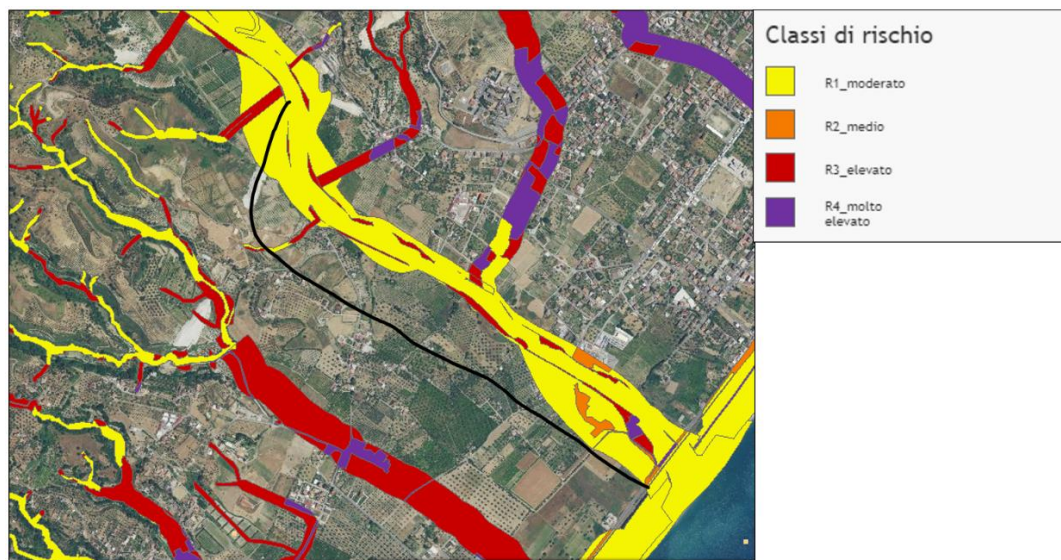


Figura 4. Carta inventario del rischio alluvione dal PGRA 2021 (GeoPortale Nazionale)

4.5 Interferenze con opere nuove ed esistenti

Ogni interferenza con le opere andrà opportunamente tenuta in conto nella progettazione delle opere e nei relativi calcoli, ed andrà previsto, ove necessario, un piano di monitoraggio adeguato.

Si fa menzione di questo tipo di monitoraggio in questa relazione in quanto è possibile, viste le opere in progetto, che ci siano fenomeni di tipo geotecnico che provochino interferenza tra opera e strutture (stabilità scavi provvisori o definitivi, subsidenze dovute alla realizzazione di opere di sostegno, cedimenti provocati dai carichi delle nuove opere e fenomeni ad essi correlati ed interessanti le fondazioni indirette).

Lungo il tracciato, tra le rotonde A e D, si evidenzia la presenza di edifici esistenti nelle vicinanze di opere in terra e di sostegno. Nel corso delle attività di costruzione e nei mesi successivi si provvederà a misurare gli eventuali movimenti delle strutture, secondo quanto indicato nei capitoli che seguono.

5 PIANO DI MONITORAGGIO GEOTECNICO E GEOMORFOLOGICO

Il Piano di Monitoraggio è stato finalizzato allo studio dei fenomeni franosi presenti nell'area di progetto ed al controllo dei requisiti prestazionali delle nuove opere e degli eventuali effetti subiti dalle strutture esistenti a seguito della costruzione dei nuovi manufatti.

Nel seguito verranno quindi illustrati i criteri generali adottati per la progettazione di tale sistema, la relativa strumentazione e le procedure previste per assicurare il corretto svolgimento delle operazioni di monitoraggio per la verifica ed il controllo del territorio a contorno dell'opera.

Negli elaborati grafici sono riportati indicativamente l'ubicazione planimetrica e le caratteristiche geometriche della strumentazione prevista. Tali indicazioni andranno verificate ed adattate alle situazioni effettivamente riscontrate sul posto (accessibilità dell'aree, ecc.).

Le caratteristiche tecnologiche della strumentazione e le modalità di installazione indicate nei successivi capitoli, possono essere migliorate in funzione di quanto disponibile commercialmente e di eventuali accorgimenti operativi. In tutti i casi, le variazioni dovranno comunque garantire la funzionalità e l'efficacia di quanto installato e la significatività delle misure acquisite, nei riguardi dei criteri e delle necessità progettuali.

In particolare, relativamente alla strumentazione per il controllo delle opere esistenti vengono fornite indicazioni generali, valide per tutte le tipologie. Tale strumentazione potrà essere integrata opportunamente sulla base della documentazione relativa alla singola struttura e dei primi risultati ottenuti dal monitoraggio, modulando i controlli alle reali necessità riscontrate in sito.

5.1 Scopo del piano di monitoraggio in corso d'opera

Il sistema di monitoraggio è pensato per fornire gli elementi necessari ad una corretta valutazione della situazione in corso d'opera, al fine di poter intervenire con eventuali azioni correttive da adottare qualora ci si discosti dalle previsioni progettuali, in termini di effetti sulle interferenze con le preesistenze (movimenti franosi, infrastrutture, fabbricati, ecc.) e del comportamento delle nuove strutture in corso di realizzazione.

Indicativamente tali azioni correttive potranno consistere in:

- integrazioni del monitoraggio previsto (come quantità e tipologia della strumentazione e come frequenza di lettura della stessa);
- integrazioni degli interventi di consolidamento e/o contenimento;
- variazioni delle modalità di risposta alle ipotesi di progetto.

L'insieme dei dati raccolti relativi agli effetti indotti sui terreni di fondazione e sui vari manufatti ubicati in prossimità dell'area, potrà essere confrontato con quanto previsto in progetto, al fine di verificare la validità delle ipotesi assunte e dei modelli utilizzati.

Il piano di monitoraggio ha quindi come obiettivo generale quello di garantire condizioni di sicurezza non solo durante la realizzazione dell'opera, ma anche durante l'esercizio.

Deve essere quindi previsto, oltre al controllo diretto delle opere d'arte maggiori e minori, il controllo delle infrastrutture interferenti con la nuova opera prima, durante e dopo le lavorazioni.

Si prevede l'utilizzo di un sito web a cui sarà collegata una piattaforma informatica che gestirà i dati provenienti dalle registrazioni strumentali di tutti i dati di monitoraggio. Alla piattaforma potranno pervenire anche dati provenienti da sistemi d'acquisizione automatica.

Al sito saranno abilitati diversi utenti (Impresa, Progettista delle opere, D.L., Committente, ecc.), mediante una chiave di accesso dedicata. Inoltre, nessun dato sensibile sarà fornito all'esterno o al pubblico, restando la gestione del monitoraggio ad esclusivo utilizzo dei vari utenti che partecipano alla realizzazione dell'Opera.

Nel sito web, sarà possibile visualizzare le letture dell'intera rete strumentale e sarà consentita la gestione degli eventuali allarmi determinati da malfunzionamenti o da misure eccedenti i limiti di soglia impostati. Il sistema, in caso di superamento delle soglie, sarà concepito per inviare in tempo reale SMS, e-mail o altre comunicazioni in modo da attivare direttamente la procedura per l'unità di crisi (Responsabile scientifico, impresa, progettista delle opere, DL). Nello specifico, all'interno dei vari elaborati di progetto sono definiti i vari sistemi di controllo distinti per tipo di opera, struttura e problematiche geomorfologiche.

Occorre sottolineare che nel presente documento è definito solamente il piano di monitoraggio geotecnico/geomorfologico generale, riportato nello specifico elaborato (Doc. rif. [10]), mentre per quanto riguarda le informazioni (localizzazione, strumentazione, frequenze di lettura, soglie di allarme) sul monitoraggio delle singole opere e delle loro dirette interferenze si rimanda alle relazioni dedicate. Il piano di monitoraggio presentato in questo documento non fa parte del monitoraggio di progetto delle opere.

Per il dettaglio degli strumenti, ove non contenuti nel presente documento, si rimanda alla relazione generale di monitoraggio strutturale.

5.2 Sintesi degli interventi

Il monitoraggio di fenomeni franosi rappresenta la base per la realizzazione di piani e programmi che hanno come obiettivo la prevenzione dei rischi connessi all'instabilità dei versanti e al dissesto idrogeologico. Un piano di emergenza nel caso di rischio frana deve disporre di sistemi di controllo (reti di monitoraggio) che consentano di individuare con sufficiente precisione la possibile evoluzione del fenomeno temuto in modo da rendere possibile l'attivazione dell'emergenza.

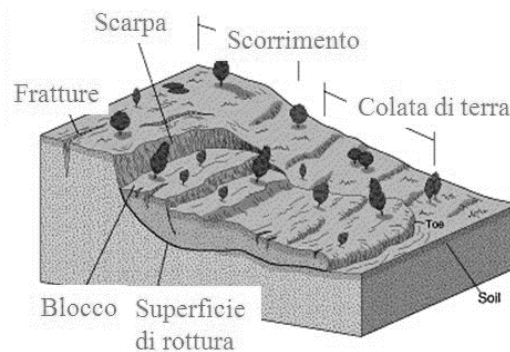


Figura 5. Schema frana complessa

Generalmente il controllo può essere suddiviso in:

1. Controllo dei parametri meteorici
2. Controllo dei movimenti superficiali
3. Controllo dei movimenti profondi e dei livelli di falda

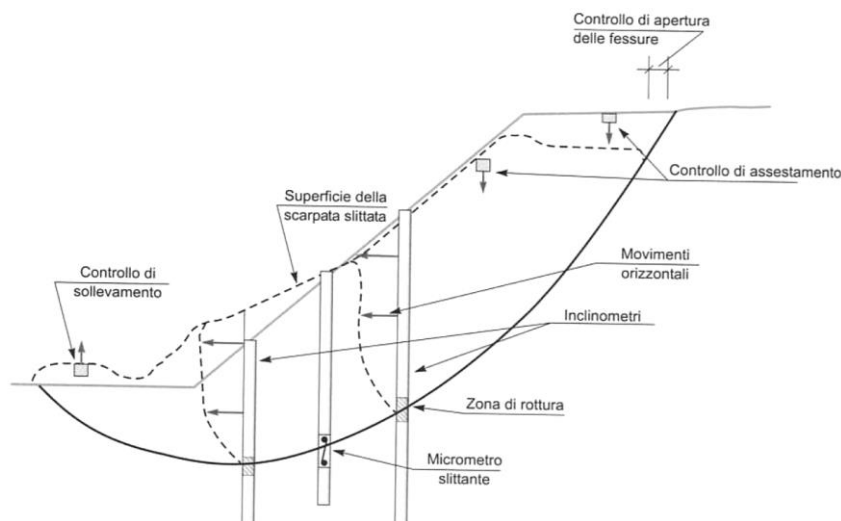


Figura 6. Schema monitoraggio frana

5.2.1 Controllo parametri meteorici

È prevista l'installazione di stazioni termo pluviometriche, la cui ubicazione è riportata nelle tavole relative (Doc. rif. [10]).

5.2.2 Controllo dei movimenti superficiali

I principali scopi del controllo dei movimenti superficiali possono essere riassunti nei seguenti punti:

- definizione della forma e dell'estensione dell'area in frana;
- definizione del cinematisimo del dissesto;
- controllo dell'evoluzione dei movimenti nel tempo;
- correlazione dei movimenti con le possibili cause.

Il piano di monitoraggio prevede l'installazione diffusa di mire topografiche o miniprismi, che potranno essere combinate con i dati dell'interferometria satellitare.

La scelta di utilizzare l'interferometria satellitare permetterà, in fase operativa, di avere un monitoraggio diffuso nell'area; inizialmente si può prevedere una frequenza di aggiornamento semestrale, ma tale valore potrà essere integrato alla luce delle risultanze.

In particolare, sarà necessario avere come risultato dal monitoraggio dei punti a terra lo spostamento tridimensionale, pertanto nel monitoraggio delle aree di frana dovrà essere presa in considerazione l'installazione di target topografici riflettenti o miniprismi ottici, in funzione della frequenza e della modalità di lettura richiesta (manuale o automatica). La società incaricata del monitoraggio potrà prevedere stazioni di misura fissa automatizzata nel caso venga ritenuto opportuno. Per la disposizione planimetrica si rimanda alla tavola relativa (Doc. rif. [10]). In generale nelle aree di frana che possono o potrebbero interessare direttamente l'opera sono previste frequenze di lettura maggiori e l'utilizzo di miniprismi o prismi ottici (in funzione della distanza della sorgente di lettura) compatibili anche con l'utilizzo di stazioni totali. Viceversa, per il monitoraggio di elementi "secondari" si ritiene possibile l'utilizzo di mirette ottiche associate ad una lettura "manuale".

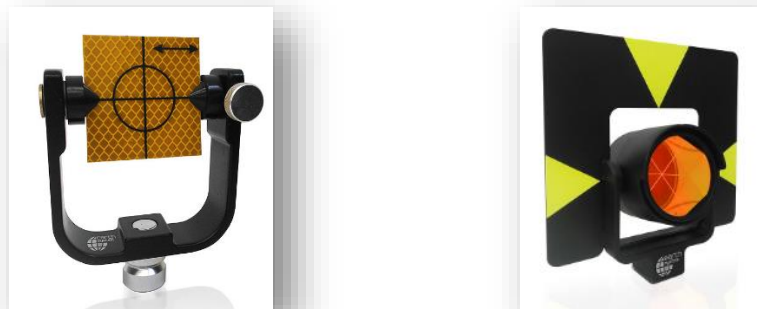


Figura 7. Strumenti di monitoraggio topografico

5.2.3 Controllo dei movimenti profondi e dei livelli di falda

Il piano di monitoraggio prevede l'adozione d'inclinometri e piezometri, ubicati nelle zone di interesse. In particolare, sono stati disposti in allineamenti a controllo delle frane, in sezioni a controllo degli effetti dell'opera su edifici o nelle aree edificate.

I piezometri saranno di tipo Casagrande. Si propone l'utilizzo di catene inclinometriche automatiche (sistema inclinometrico digitale MEMS – Micro Electro Mechanical Systems o equivalente) con i seguenti vantaggi:

- aumento delle frequenze di lettura;
- soluzione della problematica di accessibilità e di ripetibilità dell'accesso per le misure;
- capacità di mantenere letture attendibili anche al raggiungimento di grandi deformazioni.



Figura 8. Strumenti di monitoraggio inclinometrico - MEMS

L'infrastruttura per il monitoraggio in esterno dovrà essere costituita da sensori collegati direttamente alla rete internet tramite modem 3G/4G in gradi di comunicare in tempo reale i dati e renderli consultabili attraverso la piattaforma di gestione dati dedicata.

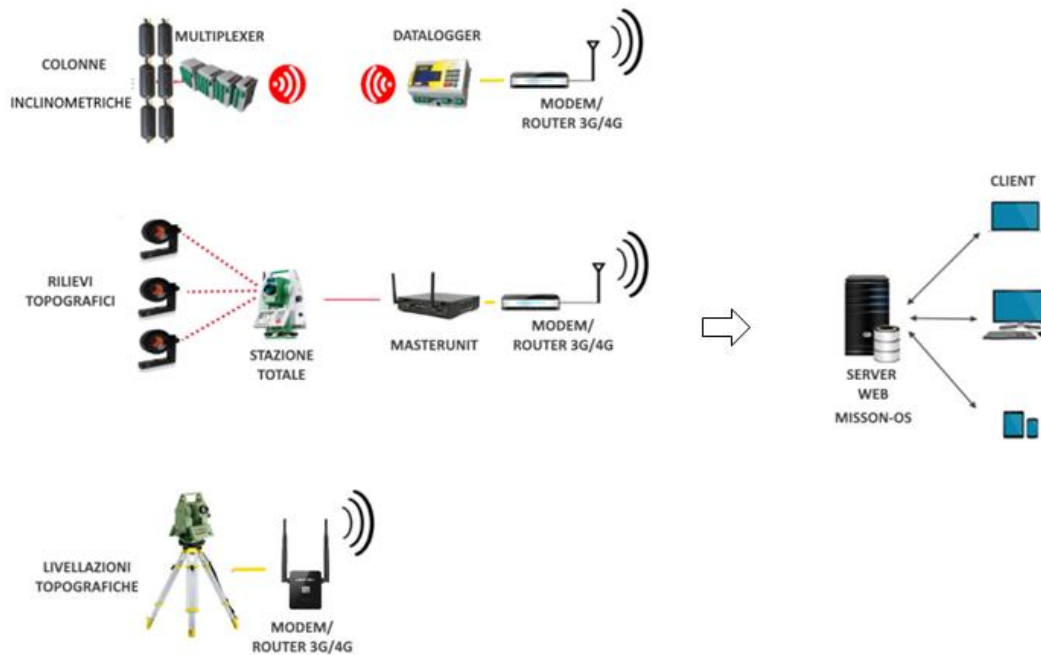


Figura 9: Schema dell'impianto di monitoraggio in superficie

5.2.4 Monitoraggio degli edifici

Al fine di raccogliere informazioni su eventuali deformazioni o assestamenti di edifici ubicati nella zona di interferenza definita dal progettista si monitoreranno:

- lo spostamento di punti solidali agli edifici, sia di tipo "verticale" (in questo caso appare particolarmente significativo il cedimento differenziale tra punti dello stesso edificio), che "rotazionale" dovute ad eventuali inclinazioni delle facciate degli edifici a seguito di un cedimento fondazionale;
- l'evoluzione di lesioni preesistenti ai lavori di scavo o di eventuali nuove lesioni, soprattutto in termini di ampiezza di lesione;
- lo stato generale di consistenza e di degrado correlabile alle lavorazioni delle opere in costruzione.

Il piano di monitoraggio pertanto prevede un reticolo di mire ottiche poste sugli edifici, che misurino sia lo spostamento globale dell'opera sia gli spostamenti differenziali di interpiano nel caso di edifici a più piani, e catene livellometriche ubicate sulle facciate degli edifici più critici.

Il piano di monitoraggio previsto è stato preparato in assenza di schede censimento degli edifici interferenti, pertanto, è solamente indicativo e potrà variare nel numero degli strumenti in funzione di:

- a. numero di piani;
- b. tipologia costruttiva;
- c. stato di consistenza dell'edificio.

Inoltre, potranno essere integrati gli strumenti in funzione dell'evoluzione deformativa in atto, adottando fessurimetri e/o clinometri da parete.

Si rimanda agli elaborati progettuali delle planimetrie di interferenze per l'ubicazione degli edifici da monitorare. In generale per gli edifici è buona norma eseguire le letture, con la frequenza indicata nel Paragrafo successivo, sulla strumentazione più significativa e dotata di maggior grado di automazione (ad esempio mire ottiche "spia"). Solo nel caso si evidenziassero interferenze con l'opera e/o movimenti si passerà alla lettura di dettaglio di tutta la strumentazione installata.

5.3 Frequenza di lettura

Il programma di acquisizione dati del monitoraggio è riportato indicativamente in Tabella 1. Le frequenze dovranno essere adeguate alle risultanze in corso d'opera e alle tempistiche di esecuzione, inoltre sono valutate considerando una realizzazione delle opere senza interruzioni dei lavori.

Nella colonna "corso d'opera" sono indicate le frequenze relative al periodo in cui l'opera effettivamente interferisce con lo strumento.

Una volta raggiunta la stabilizzazione delle misure, le eventuali ulteriori letture di controllo proseguiranno con frequenze da definire in corso d'opera. Pertanto, in funzione dei risultati e dell'andamento, le frequenze esposte potranno essere ridefinite in accordo con il Progettista e la D.L.

I periodi relativi all'*ante operam* e al *post operam* sono rispettivamente pari a 6mesi dall'inizio dei lavori e 12 mesi dopo la fine dei lavori.

Monitoraggio	Strumentazione	nr	ante operam	corso d'opera	post operam
Aree in frana	Stazione pluviometrica	*	2/settimana	1/giorno	1/2mesi
	Inclinometri automatici	*	1/giorno	3/giorno	1/settimana
	Piezometri	*	1/mese	1/15gg	1/2mesi
	prismi/miniprismi	*	2/settimana	2/giorno	2/mese
	target topografici	*	1/settimana	1/giorno	2/mese
Interferenze	Mire ottiche*	*	2/settimana	1/giorno	2/settimana
	Staffe livellometriche	*	2/settimana	1/giorno	2/settimana

Note *il numero delle mire ottiche sugli edifici andrà definito in base alle schede di censimento delle abitazioni

Tabella 1. Strumentazione monitoraggio geomorfologico e frequenze di lettura

5.4 Definizione delle soglie di attenzione e di allarme

Il controllo mediante monitoraggio si basa principalmente sulla definizione di soglie aventi lo scopo di segnalare l'instaurarsi di una situazione deformativa e/o tensionale particolare. Sulla base dei valori raggiunti dai parametri di controllo in funzione dei valori di soglia definiti, vengono attuate eventuali azioni e contromisure. I valori fissati per tali soglie sono funzione dei risultati previsti dai calcoli di progetto relativamente ai parametri salienti quali spostamenti, deformazioni, tensioni, ecc.; questi limiti sono definiti come:

- *Soglia di attenzione*: è definito come una quota parte delle risultanze delle sollecitazioni (o delle deformazioni) di progetto; il superamento di questo limite implica l'incremento della frequenza delle misure,

allo scopo di stabilire e monitorare la velocità con la quale il fenomeno si evolve, in modo da valutare il potenziale instaurarsi di eventi e rapida evoluzione che potrebbero risultare incontrollabili.

- *Soglia di allarme*: definita in funzione del livello deformativo-tensionale più gravoso per una determinata situazione. Il suo superamento implica il coinvolgimento della Direzione Lavori per la valutazione di opportune contromisure.

Le contromisure da adottare in caso di superamento dei limiti di allarme hanno lo scopo di riportare la situazione reale entro i limiti previsti in progetto.

5.4.1 Monitoraggio delle aree instabili

Per quanto riguarda il monitoraggio delle aree in frana, in aggiunta alle preesistenti installazioni (inclinometri e piezometri)¹, il monitoraggio *ante operam* avrà lo scopo di integrare la definizione delle aree di dissesto, definendo, in assenza di lavori, l'entità degli spostamenti assoluti e relativi attesi e la velocità con cui tali spostamenti avvengono, e possibili modifiche alle dimensioni intercorse nel tempo al dissesto al momento definibile dai dati di progetto.

Il monitoraggio *in operam* andrà invece a controllare gli incrementi di movimenti e correlare tali valori con le risultanze del monitoraggio pluviometrico e piezometrico. La soglia di attenzione si raggiungerà con movimenti significativi o con l'attivazione di movimenti in zone precedentemente quiescenti, mentre le soglie di allarme saranno definite sulla base del trend deformativo in atto.

Nel *post-operam* il monitoraggio dovrà dare risultati di attenuazione del movimento rispetto al corso d'opera, assestandosi nuovamente intorno ai valori misurati in *ante operam*. Anche in questa fase, se per soglia di attenzione si intende un significativo movimento, anche se in linea con il trend in corso d'opera o leggermente minore, un incremento del trend deformativo potrà già essere considerato come una soglia di allarme.

In funzione del trend deformativo, le frequenze di lettura potranno essere riviste.

5.4.2 Monitoraggio edifici

Per gli edifici le soglie di attenzione e di allarme sono definite in funzione delle classi di danno ammissibili dalle opere interferenti. Ogni classe ha valori limite definiti e detto ξ il valore da controllare (cedimento assoluto, distorsione, deformazione limite di trazione) in funzione della classe di danno ammissibile valutata per ogni edificio, si adottano le seguenti soglie:

- Soglia di Attenzione: 0.7ξ
- Soglia di Allarme: 0.9ξ

La categoria di danno ammissibile per un fabbricato dipende dalle caratteristiche dell'edificio stesso, ovvero dalla metodologia costruttiva (strutture in c.a./acciaio o muratura), dallo stato di conservazione (stato buono o precario) e dalla destinazione d'uso. Non essendo disponibili le schede edificio e ritenendo ragionevole l'ipotesi che si tratti di edifici residenziali in muratura e in buono stato, vengono ritenute ammissibili le classi di danno inferiori alla 3 – tale assunzione dovrà essere verificata nell'ambito del Progetto Esecutivo.

Saranno pertanto accettabili i valori riportati in tabella.

¹ La lettura di questi strumenti dovrà necessariamente continuare fino all'inizio del monitoraggio ante operam con una frequenza almeno mensile; durante i periodi meno piovosi, maggio-agosto, si può ritenere di diminuire la frequenza ad una misura ogni due mesi. Con l'inizio della fase di monitoraggio ante operam le frequenze di lettura seguiranno quelle del monitoraggio definito dal piano.

Classe ammissibile	Apertura fessure (mm)	Rotazione β	ϵ_{lim} (%)	Cedimento assoluto (cm)
2	3	1/500-1/200	0.075-0.15	1-5

Tabella 2. Valori ritenuti ammissibili per gli edifici interferenti (in assenza di schede censimento)

I valori di soglia dovranno essere tarati sia con valori assoluti, come il cedimento assoluto, o l'apertura delle fessure (nel caso si scelga di adottare anche tale strumentazione a seguito del censimento dell'opera), sia con parametri relativi che scaturiscono dall'analisi delle rotazioni e delle distorsioni.

In funzione della tendenza deformativa, le frequenze di lettura potranno essere riviste.

5.5 Indagini integrative

Come definito nel capitolo 4, indagini integrative potranno essere predisposte per le seguenti criticità:

- affinamento dei parametri meccanici definiti nell'ambito della caratterizzazione geotecnica;
- maggior ridondanza delle letture freaticometriche per la definizione del livello piezometrico di progetto;
- monitoraggio dei movimenti franosi.