

Committente:

COMUNE DI STREVI

PROVINCIA DI ALESSANDRIA



Oggetto:

SISTEMAZIONE IDRAULICA TRATTO TERMINALE RIO CROSIO

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

SCALA:

Identificazione elaborato	Ambito		Tipologia		Commessa	n° elaborato	
E2PE43615A02	E	2	P	E	436/15	A	02

Dati Progettisti / Consulenti

Ing. Geol. Luigi MARENCO

Iscritto all'Ordine degli Ingegneri della
Provincia di Alessandria n° 1242
Ordine Geologi del Piemonte n° 435

Ing. Giorgia Andrea TOFFOLI

Iscritta all'Ordine degli Ingegneri della
Provincia di Torino n° 12246F

Rev.	Redatto	Verificato	Validato	Data	Timbri e Firme
1	geol. T. Barbero	geol. E. Rabajoli	ing. L. Marengo	06/17	

Il Responsabile del procedimento:

FIRMA

File: E2PE43615A02.pdf

GEO sintesi

Associazione tra Professionisti

geol. Edoardo RABAJOLI
ing. Massimo TUBERGA
ing. Luigi MARENCO
geol. Nicola QUARANTA
geol. Teresio BARBERO

C.so Unione Sovietica, 560 - 10135 Torino
Tel. 011 3913194 - Fax. 011 3470903
email : info@geoengineering.torino.it

0	PREMESSA.....	1
1	INQUADRAMENTO DELL'AREA	2
1.1	Inquadramento territoriale	2
1.2	Inquadramento geologico e litologico.....	4
1.3	Inquadramento idrogeologico.....	7
2	QUADRO DEL DISSESTO.....	9
3	ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE	12
4	INQUADRAMENTO SISMICO	13
4.1	Aspetti normativi.....	13
4.2	Inquadramento sismico e magnitudo attese	14
4.3	Azioni sismiche di progetto.....	19
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI MATERIALI	22
5.1	Unità litologica I - Terreni sabbiosi e sabbioso-limosi	22
5.2	Unità litologica II - Depositi ghiaioso sabbiosi limosi.....	25
5.3	Unità litologica III - Substrato marnoso arenaceo	26
6	PROBLEMATICHE GEOLOGICHE E GEOTECNICHE CONNESSE ALL'INTERVENTO IN PROGETTO	30

0 PREMESSA

La presente relazione a carattere geologico, geotecnico e sismico è parte integrante del Progetto Definitivo-Esecutivo di “Sistemazione idraulica tratto terminale Rio Crosio” in comune di Strevi (AL).

Nel seguito, dopo un inquadramento di tipo territoriale e l’analisi delle situazioni di dissesto interessate dagli interventi in progetto, si riportano i risultati litostratigrafici disponibili per tale settore e si individuano le problematiche geologiche e geotecniche connesse all’intervento.

Per la redazione del presente elaborato sono stati effettuati sopralluoghi ed è stata presa visione di un’ampia base-dati documentale, di carattere territoriale a scala vasta, per consolidare un soddisfacente livello di inquadramento delle problematiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, geotecniche, necessario per supportare la progettazione geotecnica e strutturale delle opere.

E indispensabile che, con l’accesso diretto al cantiere, siano verificate le ipotesi stratigrafiche ricavate dalle osservazioni durante i sopralluoghi eseguiti, rivalutando eventualmente le opere previste.

1 INQUADRAMENTO DELL'AREA

1.1 Inquadramento territoriale

Dal punto di vista amministrativo ci si colloca nel comune di Strevi (AL) sul settore di Rio Crosio, avente sviluppo pari a circa 2,00 km, che scorre ad ovest dell'abitato ed attraverso esso fino alla confluenza nel fiume Bormida.

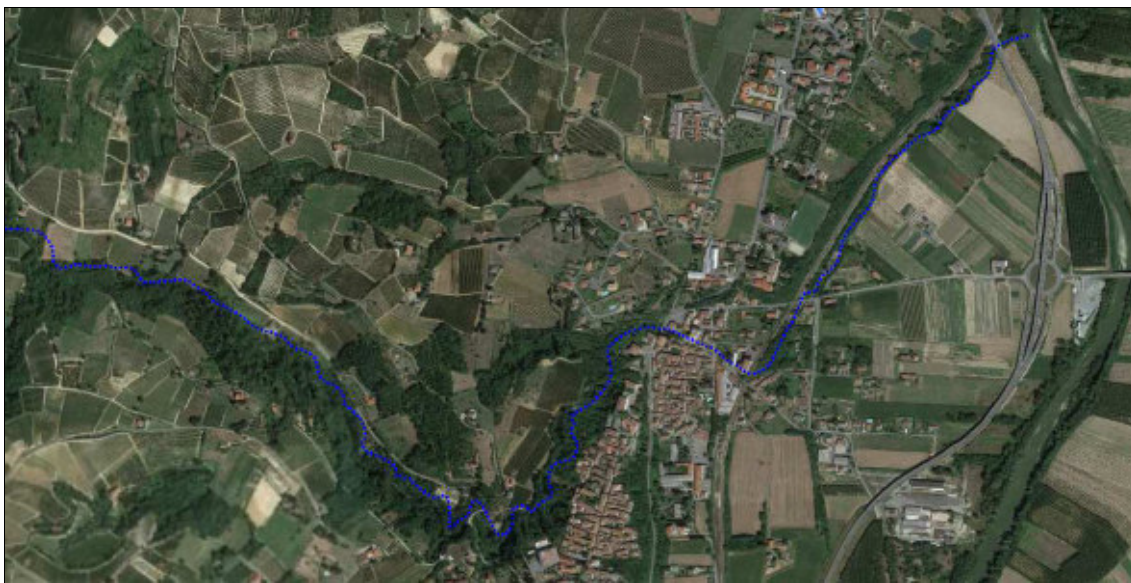


Figura 1: Sovrapposizione foto aerea della zona e tracciato del Rio Crosio (fonte: Google Maps)

L'alveo del Rio Crosio ha un andamento unicursale sinuoso parallelo alla direzione NO-SE dalla sorgente fino alle porte dell'abitato di Strevi, in corrispondenza del quale compie una deviazione verso sinistra continuando il suo percorso con direzione SO-NE incidendo il rilievo sul quale sorge il vecchio borgo della cittadina. Il corso d'acqua attraversa l'abitato a partire dal ponte della Via Alessandria, deviando di 90° il suo tracciato (direzione NO-SE) fino ad un secondo attraversamento dell'abitato posto a valle del passaggio a livello della linea ferroviaria Alessandria-San Giuseppe di Cairo, alla quale il rio si pone parallelo e con direzione SE-NO e andamento unicursale rettilineo, sviluppando il suo percorso sino alla confluenza con il fiume Bormida. In quest'ultimo tratto il Rio Crosio scorre a confine con il comune di Rivalta Bormida, mentre la testata del bacino dello stesso è delimitata dalla dorsale confinante con il comune di Ricaldone.

Il Rio Crosio a monte di Regione Valle Rizza riceve il contributo di un affluente in destra, mentre lungo il tratto in cui scorre parallelo alla linea ferroviaria riceve un affluente in sinistra.

Nel tratto immediatamente a valle dell'attraversamento lungo la SP 195, il tracciato del Rio Crosio è caratterizzato dalla presenza di un ramo chiuso in destra idrografica avente uno sviluppo di circa 350 m; tale ramo, di cui si riporta un'immagine nel seguito, è il vecchio canale dismesso catastalmente censito come Bedale del Molino.

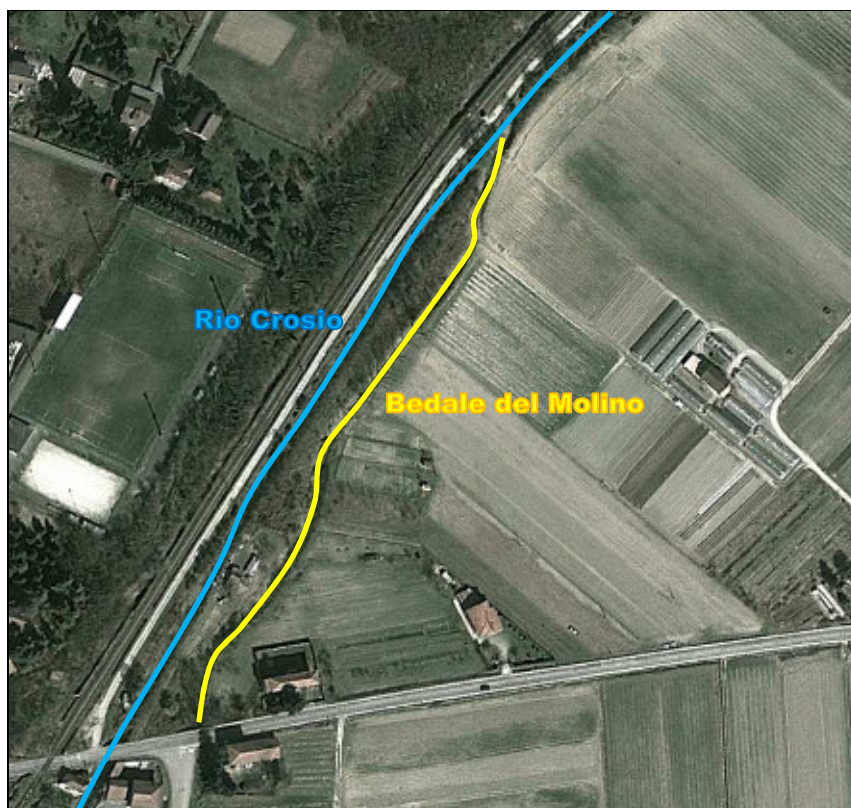


Figura 2: Il settore di valle con sviluppo del tracciato del Rio Crosio (azzurro) parallelo alla ferrovia ed il vecchio canale del Molino in destra (giallo) (fonte Google Earth - anno 2011)

costituite da arenarie da medie a molto grossolane in strati spessi per lo più amalgamati o alternati a livelli pelitici, ascrivibili alla Formazione di Cassinasco. Relativamente all'intervento di trattenuta relativo alla porzione terminale del settore B, è prevista l'imposta sui materiali ascrivibili a tale formazione; tali depositi marnoso arenacei garantiscono una adeguata tenuta nei confronti di eventuali fenomeni di filtrazione trattandosi di termini aventi una permeabilità ridotta.

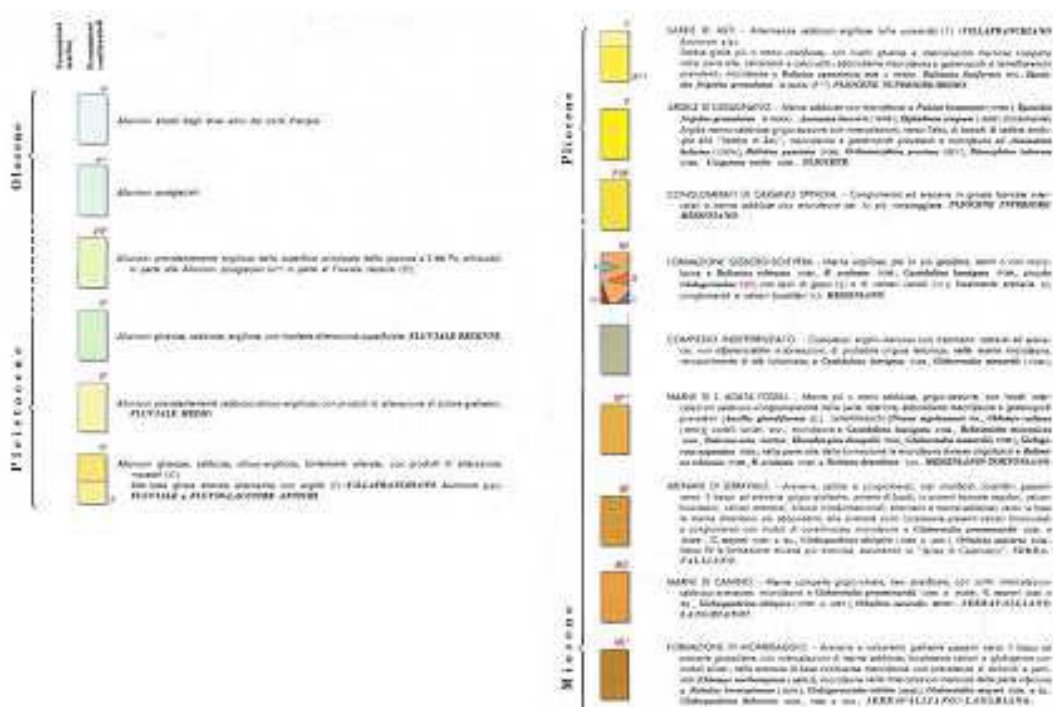
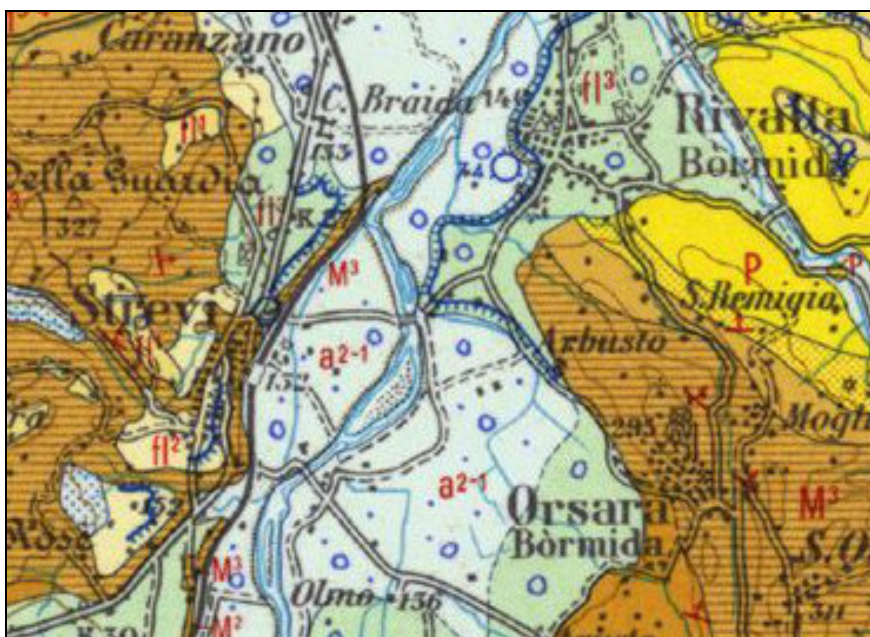


Figura 4: Stralcio del Foglio n. 70 "Alessandria" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. (fuori scala)

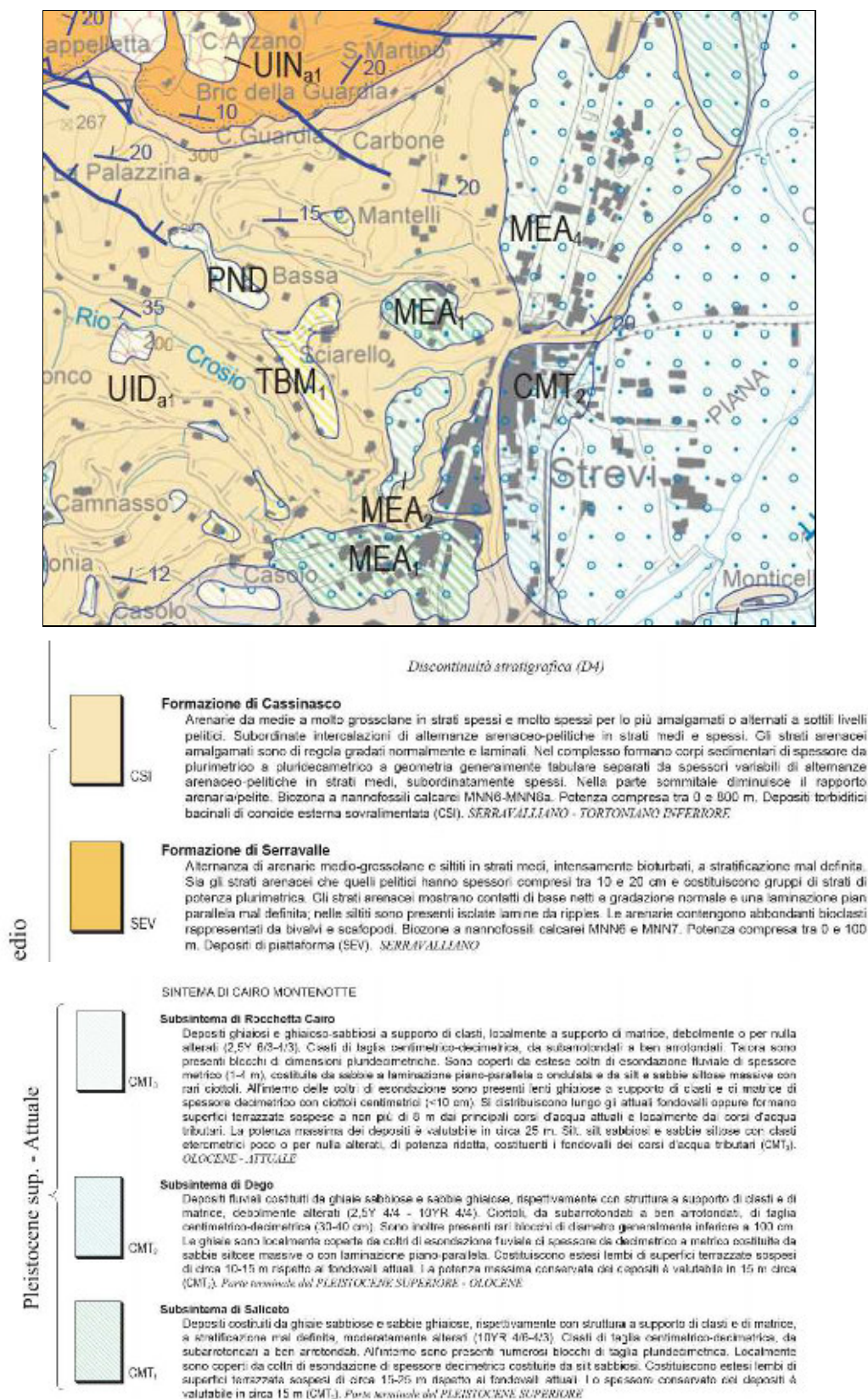


Figura 5: Stralcio del Foglio n. 194 "Acqui Terme" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 del progetto CARG. (fuori scala)

Relativamente ai settori A e B i depositi di copertura sono ascrivibili al Fluviale Medio, che affiora estesamente in sponda orografica sinistra del rio Crosio ed in corrispondenza del crinale della dorsale morfologica ove si colloca il centro storico di Strevi. Litologicamente sono prevalentemente costituiti da depositi alluvionali costituiti da argille, limi e loro termini intermedi, con lenti ed intercalazioni di sabbie fini, che sormontano termini fortemente eterometrici rappresentati da ghiaie sabbioso-limose, intercalate a ghiaietti e sabbie grossolane, con locale presenza di ciottoli e blocchi pluridecimetrici.

Entro il settore in esame i termini più fini sono abbondantemente presenti in copertura mentre i termini a componente più grossolana si rilevano in corrispondenza del contatto con il substrato.

La medesima cartografia evidenzia, limitatamente al settore terminale del Rio Crosio denominato settore C, la locale presenza di depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi ascrivibili al subsistema di Rocchetta Cairo (Sintema di Cairo Montenotte, *Olocene – Attuale*). Trattasi di depositi grossolani a supporto di clasti, localmente a supporto di matrice, coperti da estese coltri di esondazione fluviale di spessore metrico (1 - 4 m) costituite da sabbie e sabbie siltose massive con rari ciottoli.

La granulometria e le caratteristiche dei depositi sono comunque fortemente influenzati dalla dinamica del corso d'acqua e dalla sua erosione spondale.

1.3 Inquadramento idrogeologico

Nel presente paragrafo si forniranno indicazioni generali sull'assetto geoidrologico locale del settore in esame. La variabilità litologica espressa sia in senso verticale che orizzontale determina una variazione nel grado di permeabilità, che assume valori progressivamente minori con il diminuire della granulometria del sedimento, e si annulla sostanzialmente in corrispondenza del substrato marnoso integro.

Valori caratteristici della conducibilità idraulica (K) sono variabili tra 10^{-2} cms^{-1} nell'ambito dei litotipi a prevalenza ghiaioso-sabbiosa, sino a $10^{-3} - 10^{-4} \text{ cms}^{-1}$ in corrispondenza dei livelli limoso-argillosi-sabbiosi; il substrato si presenta sostanzialmente impermeabile, con permeabilità inferiore a $10^{-5} - 10^{-6} \text{ cms}^{-1}$.

Il settore è caratterizzato da una falda confinata entro il livello ghiaioso sabbioso posto in corrispondenza del contatto con il substrato litoide, caratterizzata da un medio livello di pressione; possono essere peraltro presenti punti di naturale risalita, verosimilmente connessi alla granulometria locale, che localmente comportano un livello di soggiacenza prossimo al piano di campagna e locali risorgive. L'assetto dell'acquifero

è inoltre fortemente condizionato dalle ondulazioni del substrato litoide, che tendono arealmente a concentrare il deflusso della falda medesima.

2 QUADRO DEL DISSESTO

La consultazione delle “*Schede sugli effetti e sui danni indotti da fenomeni di instabilità naturale*” relative al territorio comunale (Arpa Piemonte, 2006) e delle cartografie tematiche contenute nel GeoPortale dell’Arpa Piemonte, ha evidenziato, limitatamente al settore terminale del Rio Crosio (settore C), l’interessamento dell’area di indagine dall’evento alluvionale del Novembre 1994; in tale occasione il medesimo settore è stato localmente inondato per apporto del Fiume Bormida.

È stata inoltre consultata la cartografia del Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico e quella relativa alla Direttiva Alluvioni, entrambe emanate dall’Autorità di bacino del Fiume Po.

Tali cartografie, e quelle contenute nel GeoPortale dell’Arpa Piemonte, pur evidenziando l’elevata pericolosità per esondazione, non riportano dissesti attuali o pregressi direttamente a carico dei settori oggetto di intervento,.

La cartografia del SIFRAP individua due settori in sinistra del Rio Crosio soggetti a frane superficiali, di cui uno a monte della ex S.S. n. 30 in corrispondenza dell’attraversamento del medesimo rio, ed un altro a monte della Strada Comunale della Valle.

I tematismi consultati riportano inoltre memoria di numerosi eventi di allagamento in corrispondenza al settore più depresso dell’abitato, sia a causa del Rio Crosio (1670, 1847, 1949, 1966) che del Bormida (1935, 1937, 1953, 1977, 1994).

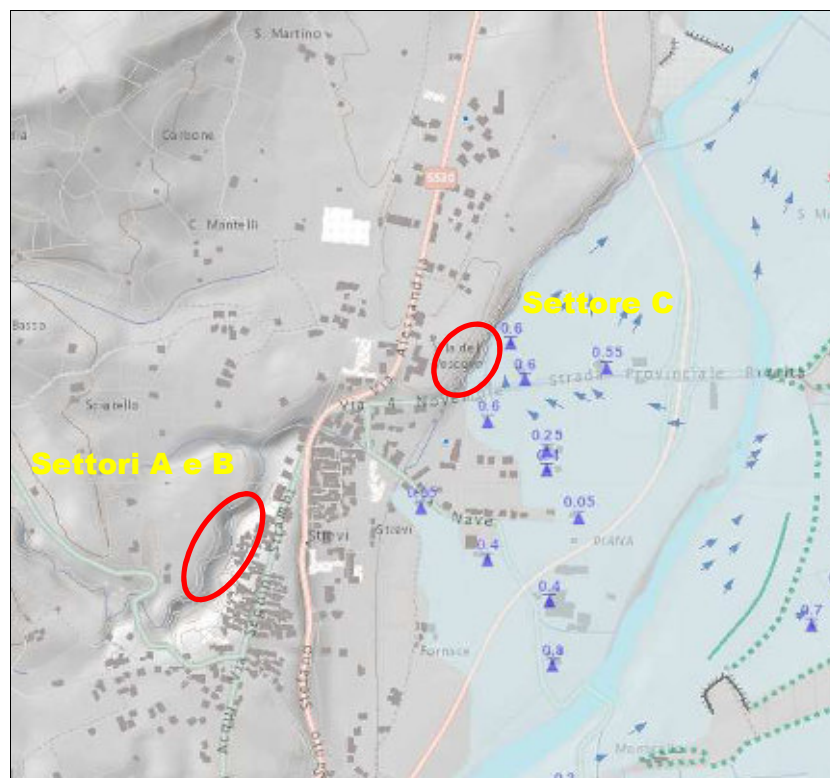


Figura 6: Campo di inondazione dell'evento alluvionale del Novembre 1994, tratto dal Geoportale dell'Arpa Piemonte.

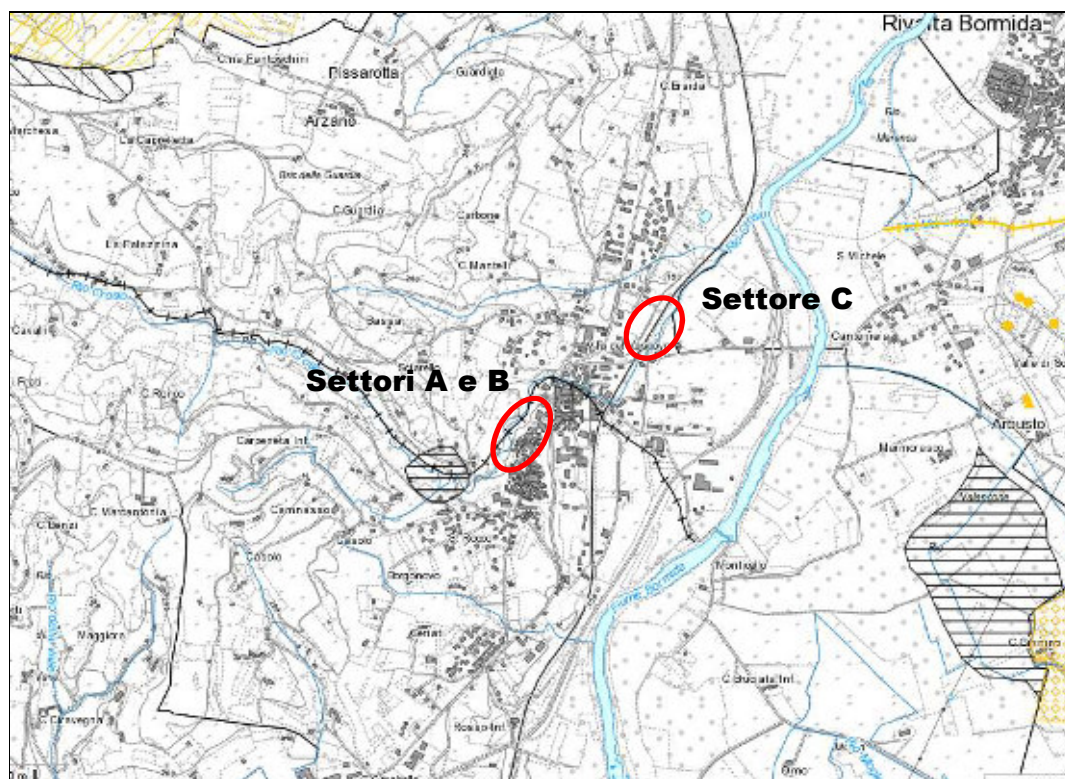


Figura 7: Cartografia del PAI tratta dal servizio informativo del Settore Difesa del Suolo della Regione Piemonte

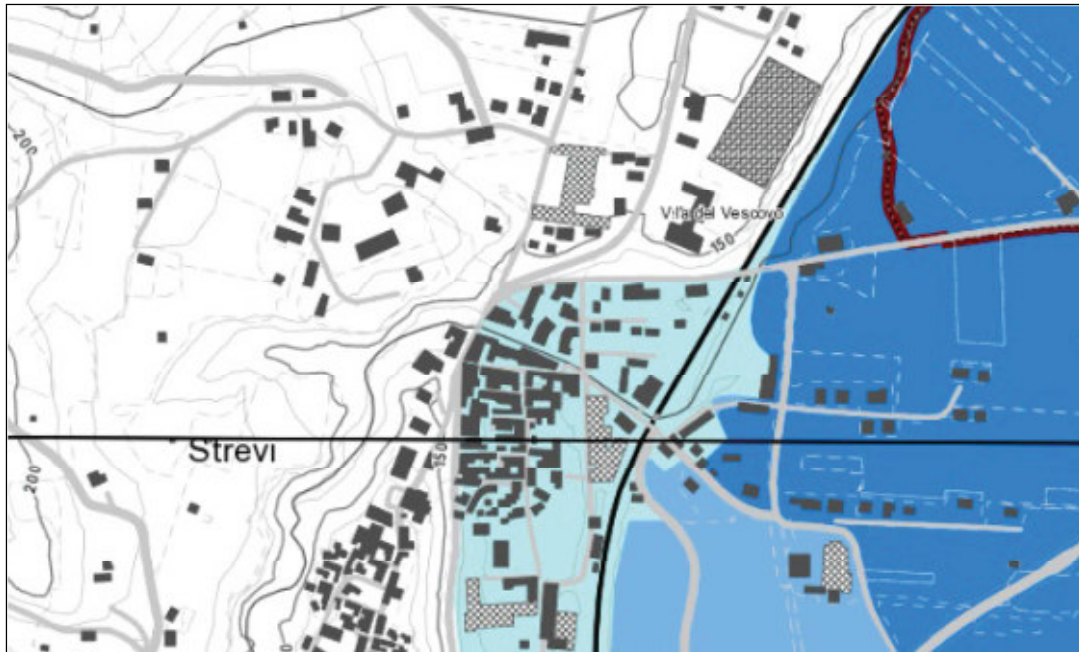


Figura 8: Cartografia della Direttiva Alluvioni dell'Autorità di Bacino del Fiume Po



Figura 9: Cartografia del SIFRAP, tratta dal Geoportale dell'Arpa Piemonte

3 ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE

L'analisi delle scarpate di erosione manifestatesi, associate alle informazioni desunte dagli affioramenti individuati in corrispondenza della zona di indagine, alle osservazioni visive delle scarpate di scavo ed alla geologia del sito, hanno permesso di definire in modo sufficientemente preciso, con riferimento ai diversi settori di intervento individuati, l'assetto litostratigrafico locale.

Per i settori denominati A e B, il Rio Crosio risulta scorrere in prossimità del substrato litoide affiorante o sub-affiorante; localmente il medesimo è celato da materiali incoerenti eterogenei, prevalentemente a granulometria medio fine, sino grossolana in prossimità del contatto, riferibili all'alterazione del medesimo ad opera dell'alveo; tali materiali costituiscono un deposito sostanzialmente omogeneo lungo il fondovalle.

Procedendo verso valle, in corrispondenza del settore denominato "settore C", l'alveo scorre principalmente all'interno dei depositi di copertura costituiti principalmente da materiali incoerenti sabbiosi medio-fini.

Con riferimento ai litotipi interessati dagli interventi in progetto, al di sotto della copertura di terreno vegetale, vengono individuate tre unità litologiche principali:

- I. nella prima unità litologica si possono raggruppare i depositi sabbiosi e sabbiosi limosi presenti, principalmente, nel settore terminale del Rio Crosio (settore C) prima della sua confluenza nel Fiume Bormida di Spigno.
- II. la seconda unità litologica comprende i depositi sabbiosi ghiaiosi che compongono la coltre superficiale della zona in esame, presente principalmente lungo la sponda idrografica destra in corrispondenza dei settori A e B; si tratta di materiali con pezzatura eterogenea, per lo più grossolana, caratterizzati da elevata variabilità areale. La variabilità areale è sostanzialmente connessa alla natura deposizionale dei terreni in esame legata alle divagazioni dell'alveo.
- III. il substrato litoide è costituito da marne argillose alternate ad arenarie e sabbie presenti in strati sottili, (Unità litologica III).

Nel seguito si procederà alla caratterizzazione delle unità litologiche individuate.

Le classificazioni geotecniche successive, essendo in presenza di termini a preponderante componente ghiaioso sabbioso limoso, e successivamente sabbioso limoso e/o limoso sabbioso, saranno condotte in termini di tensioni efficaci (condizioni drenate).

4 INQUADRAMENTO SISMICO

4.1 Aspetti normativi

Con l'individuazione delle zone sismiche di cui all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/3/2003, così come modificata e integrata dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28/4/2006, veniva confermato il livello di sismicità molto bassa del Comune di Strevi che era pertanto ascrivito alla zona 4. Con l'entrata in vigore della Deliberazione della Giunta Regionale 19 gennaio 2010, n. 11-13058 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)" il Comune di Strevi risulta classificato in zona 3.

Comune	Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g]	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g]
Strevi	3	0.05 – 0.15 g	0.15 g

Tabella 1: Valori di accelerazione orizzontale per la Zona 3

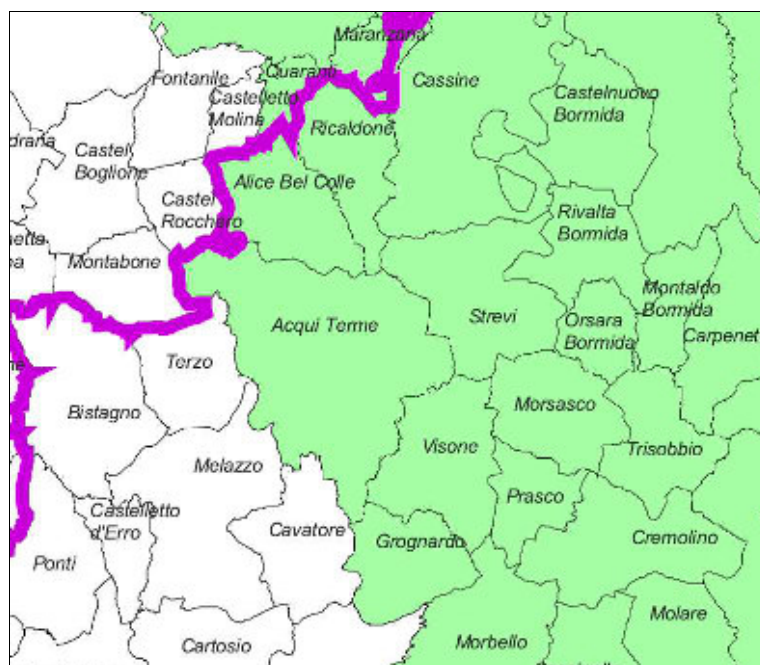


Figura 10: Classificazione sismica dei comuni Piemontesi D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010. Regione Piemonte. In bianco i Comuni classificati in Zona 4, in verde i Comuni classificati in Zona 3.

4.2 Inquadramento sismico e magnitudo attese

I terremoti si manifestano principalmente lungo due direttrici che riflettono chiaramente l'assetto tettonico regionale essendo quasi coincidenti, entro un ragionevole margine di distribuzione, l'uno con il fronte Pennidico e l'altro con il limite fra le unità pennidiche e la pianura padana. Osservando infatti la localizzazione degli epicentri dei terremoti registrati dalla rete sismica si nota chiaramente una distribuzione dispersa lungo due direttrici principali:

- una segue la direzione dell'Arco Alpino occidentale nella sua parte interna in corrispondenza del massimo gradiente orizzontale della gravità (zona sismogenetica 908);
- l'altra (zona sismogenetica 909) più dispersa segue l'allineamento dei massicci cristallini esterni in corrispondenza del minimo gravimetrico delle Alpi Occidentali francesi.

Le due direttrici convergono nella zona del Cuneese, per riaprirsi a ventaglio verso la costa, interessando il Nizzardo e l'Imperiese (fonte: ARPA Piemonte). Una terza direttrice (zona sismogenetica 911), infine, interessa il fronte occidentale dell'Appennino sepolto ed il suo prolungamento nel Monferrato. L'area in oggetto si colloca in prossimità di quest'ultima che comprende il cosiddetto "arco di Pavia" e le strutture ad esso collegate (Meletti & Valensise, 2004).

La definizione della pericolosità sismica di base del territorio nazionale trae le sue origini dalla Carta delle Zone Sismogenetiche ZS9, elaborata dal Gruppo di Lavoro 2004, nella quale sono individuate le zone caratterizzate da diversi valori della Magnitudo momento massima M_{wmax} .

Per la zona sismogenetica 911 tale valore è pari a 6,14.

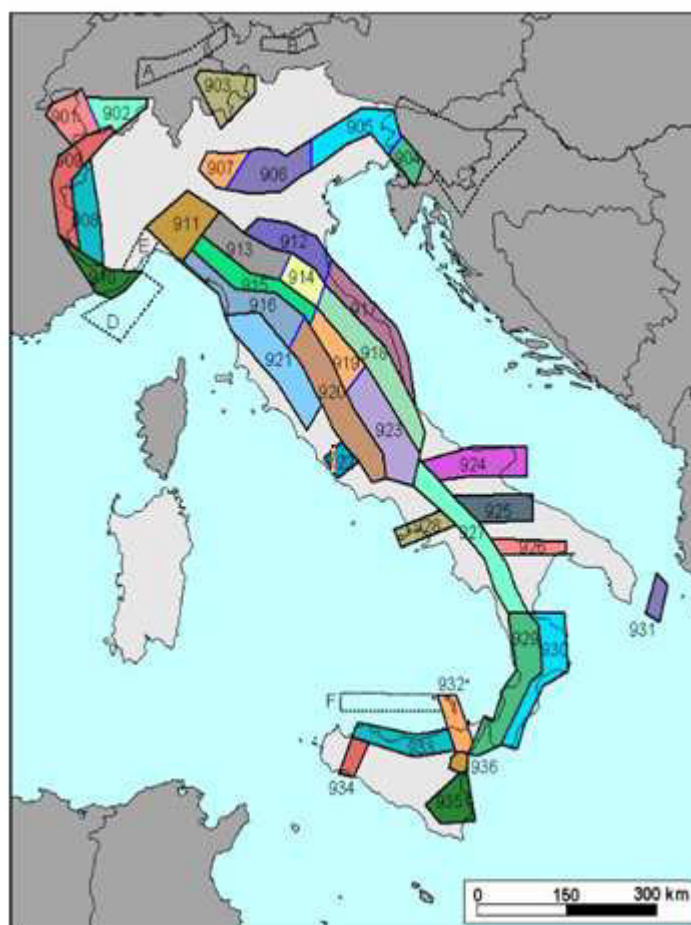


Figura 11: Zone sismogenetiche, figure tratte da Meletti & Valensise (2004)

Nome ZS	Numero ZS	M _{max}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	923	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza-Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.63
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Figura 12: Magnitudo momento massima Mwmax delle varie zone sismo genetiche (Gruppo di Lavoro 2004, in Commissione Interregionale Ordine dei Geologi (2011).

Sulla base di tale modello è stata elaborata la Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale approvata dalla Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, recepita dalla O.P.C.M. n° 3519 del 28

Aprile 2006 e divenuta infine la Mappa di riferimento prevista dal D.M. 14 Gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni.

È possibile stimare la magnitudo M , relativa agli eventi sismici attesi per il sito in oggetto, con il processo di disaggregazione desunto dal sito internet dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2007), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.



Figura 13: Mapa interattiva di pericolosità sismica, tratta dal sito dell'INGV.

*“Il sistema consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05° . Le mappe riportano due parametri dello scuotimento: **a(g)** (accelerazione orizzontale massima del suolo, come definita dall'OPCM 3519/2006, corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA) e **Se(T)** (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T , in accelerazione); l'unità di misura è **g**. Le mappe in **a(g)** sono state calcolate per differenti probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%). Per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime. Le mappe in **Se(T)** sono state pure calcolate per le stesse probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%) e per differenti periodi (in totale 10, da 0.1 a 2 secondi). Anche in questo caso per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del*

16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità delle stime. L'analisi della disaggregazione dei valori di $a(g)$ riporta, per ogni nodo della griglia di calcolo, la valutazione del contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo e distanza; questa informazione è riportata sia in forma grafica sia in forma tabellare. Per ogni nodo della griglia sono anche riportati, dopo la tabella, i valori medi di $M-D-\epsilon$. Questo tipo di analisi è utile nell'individuazione della sorgente sismogenetica che contribuisce maggiormente a produrre il valore di scuotimento stimato in termini probabilistici ed è utile in analisi di micro zonazione" (INGV, 2007).

Nel caso in esame la magnitudo, risulta pari a 4,96, significativamente inferiore rispetto a quello alla più vicina zona sismogenetica (911), pari a 6,14.

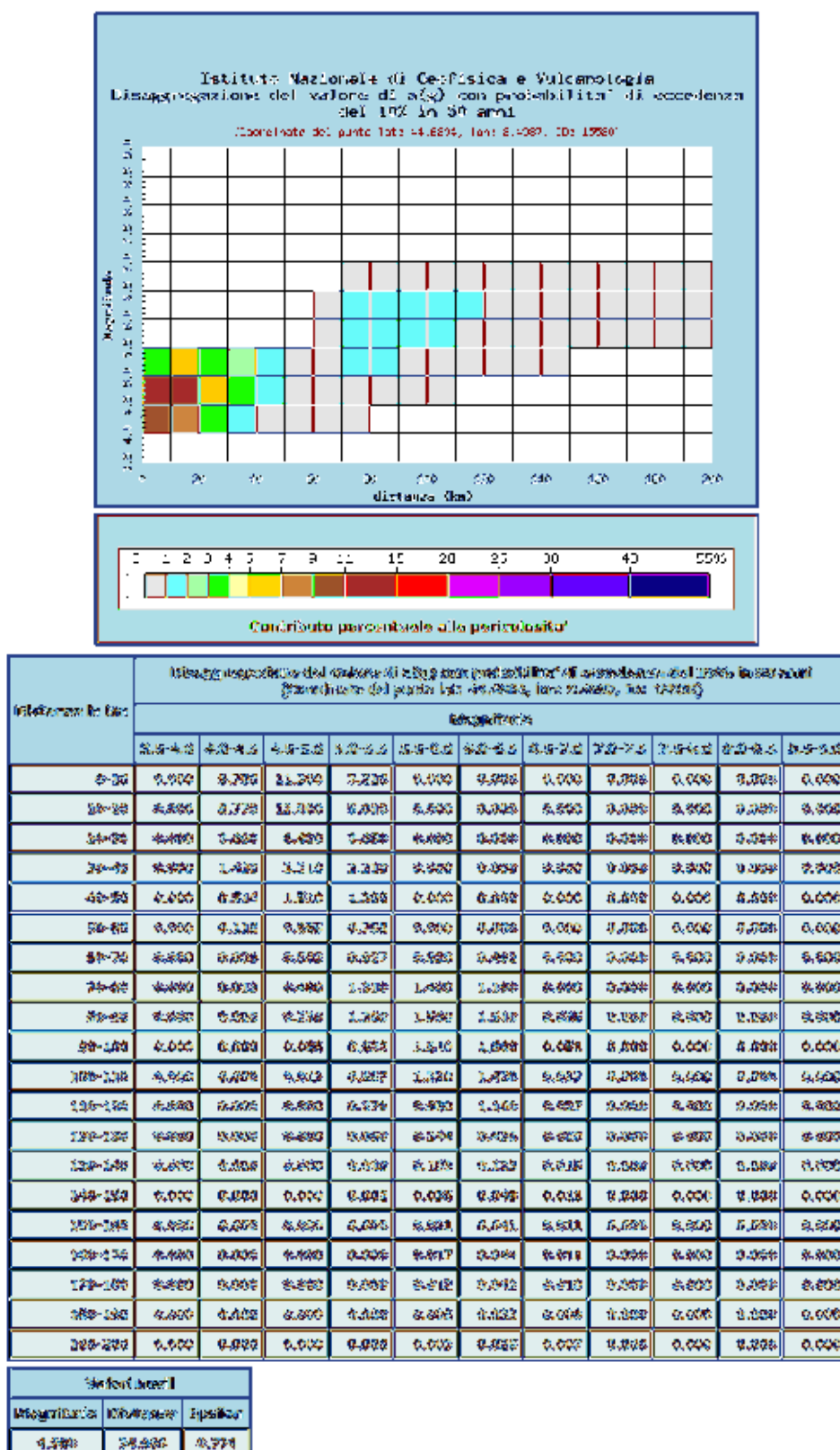


Figura 14: Elaborazioni della Mappa interattiva di pericolosità sismica, tratta dal sito dell'INGV.

4.3 Azioni sismiche di progetto

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, sono stabilite a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione: questa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria di sottosuolo A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $Sc(T)$, con riferimento a prefissate possibilità di eccedenza PV_r (vedi tabella seguente) nel periodo di riferimento VR (“Vita di riferimento”).

Stati limite		PV_r: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 2: Stati limite e PV_r

dove:

- SLO: Stato limite di operatività
- SLD: Stato limite di danno
- SLV: Stato limite di salvaguardia della vita
- SLC: Stato limite ultimo di prevenzione del collasso

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Tabella 3: Tipi di costruzione e relativa vita nominale

In riferimento ai tipi di costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 si constata che gli interventi in progetto ricadono nel tipo 2 e nella classe II.

Classe I:	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II:	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III:	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV:	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tabella 4: Classi d'uso delle costruzioni

Il periodo o vita di riferimento VR è dato dal prodotto della vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU:

$$VR = VN * CU$$

dove:

VR = Vita di riferimento,

VN = Vita Nominale

CU = Coefficiente d'uso

Il coefficiente d'uso, per la classe II è pari a 1 e pertanto:

$$VR = 50 * 1 = 50$$

Di seguito si riportano, per il territorio comunale di Strevi e per il settore in esame, i parametri sismici di interesse ovvero i valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per il periodo di ritorno TR associato ad ogni Stato Limite, ipotizzando una vita di riferimento dell'opera di 50 anni.

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,019	2,564	0,160
SLD	50	0,025	2,549	0,194
SLV	475	0,062	2,532	0,280
SLC	975	0,082	2,512	0,286

Tabella 5: Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno S_L , relativi al sito di interesse in Comune di Strevi (AL) per V_R di 50 anni. Longitudine: 8,52069; latitudine: 44,69626 (WGS84).

In riferimento alla tipologia delle opere in progetto e stante gli spessori e lo stato di addensamento dei terreni di copertura, nonché la presenza di un bedrock rappresentato dal substrato marnoso si può ipotizzare una categoria di sottosuolo **A - E**.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).
Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 6: Categorie di sottosuolo

Le caratteristiche della superficie topografica sono riconducibili alla categoria **T1** [Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$].

Tabella 7.10 - Categorie topografiche	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii isolati e rilievi con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Rilievi con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con inclinazione media $i > 15^\circ$ e con presenza di strati di alterazione o di terreni a grana fina di bassa consistenza
T4	Rilievi con inclinazione media $i > 15^\circ$ e con presenza di strati di alterazione o di terreni a grana fina di bassa consistenza

Tabella 7: Categorie topografiche

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI MATERIALI

5.1 Unità litologica I - Terreni sabbiosi e sabbioso-limosi

Tralasciando il terreno vegetale, non classificabile in modo univoco per l'eterogeneità granulometrica e spaziale e per l'elevata compressibilità, è invece possibile definire geotecnicamente in modo sufficientemente preciso, pur nella sua variabilità areale, la coltre superficiale sabbioso-limosa costituente l'unità litologica I. Per il terreno vegetale si potrà far riferimento, a favore di sicurezza, ai valori residui ottenuti per tali strati in condizioni drenate.

Secondo la classificazione del sistema unificato statunitense, i materiali costituenti l'unità I possono essere classificati con la sigla SM (subordinatamente SP, SC), mentre secondo la classificazione CNR-UNI 10006 tali materiali si collocano nell'ambito dei gruppi A_2 . Dal punto di vista granulometrico si tratta sostanzialmente di sabbie e sabbie debolmente limose; localmente possono essere presenti livelli a prevalenza ghiaiosa.

In ragione della variabilità spaziale delle caratteristiche geotecniche è possibile per tale unità giungere solo ad una classificazione generale, effettuata sulla scorta dei dati proposti in bibliografia, opportunamente tarati sull'esperienza maturata in casi simili.

Data la natura dei materiali, in accordo con le indicazioni proposte da Terzaghi, si ipotizza una densità relativa DR rappresentativa del deposito mediamente compresa tra il 40 ed il 60% corrispondente ad uno stato mediamente addensato.

Sulla base della classificazione granulometrica e del valore di DR stimato in precedenza è possibile, attraverso le correlazioni proposte dal NAVFAC (1971), stimare per tale unità un peso di volume saturo pari a $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

Secondo le correlazioni di Schmertmann, per le litologie presenti e sulla base della densità relativa ipotizzata, può stimarsi come caratteristico del deposito un valore dell'angolo di resistenza al taglio di picco compreso fra $34^\circ - 36^\circ$.

Relativamente ai parametri di resistenza residui, il valore dell'angolo di attrito residuo è stimabile attraverso il diagramma proposto da Bolton (1986), che prevede la differenza fra ϕ_p e ϕ_{cv} in funzione della densità relativa; in particolare si individuano i seguenti valori:

$$\phi' - \phi_{cv} = 4^\circ - 6^\circ \quad \text{da cui } \phi_{cv} = 28^\circ - 30^\circ$$

In sintesi, con riferimento alla variabilità granulometrica e delle condizioni di addensamento della formazione, si assumerà tale intervallo di valori dell'angolo di resistenza al taglio a volume costante $\phi_{cv} = 26^\circ - 30^\circ$.

Per quanto riguarda la coesione drenata occorre osservare che in termini come quelli in esame è possibile lo svilupparsi di fenomeni di adesione temporanea tra le particelle (pseudocoesione), dovute a molteplici fenomeni sia fisici che chimici. Tali fenomeni tendono a decadere nel tempo, per cui in condizioni drenate (a lungo termine) essi possono essere considerati solo parzialmente o non presi in considerazione; il valore della coesione è quindi da assumersi prossimo a 0.

La definizione dei parametri di deformazione è possibile sulla base del diagramma proposto da Janbu (1967) e riportato nella figura allegata, assumendo come rappresentativa del deposito una DR media pari al 50%.

Il coefficiente di Poisson può essere assunto pari a $\nu = 0,30$.

In definitiva per l'unità litologica I si potrà far riferimento ai seguenti parametri geotecnici fondamentali:

Unità litologica I

– peso di volume	γ	= 18,0 kN/m ³
– coesione drenata	c'	= 0,0 - 10kPa
– angolo di resistenza al taglio in condizioni drenate	ϕ'	= 34 - 36°
– angolo di resistenza al taglio a volume costante	ϕ_{cv}	= 26 - 30°
– modulo di deformazione a 100 kPa	E'	= 30 MPa
– coefficiente di Poisson	ν	= 0,30

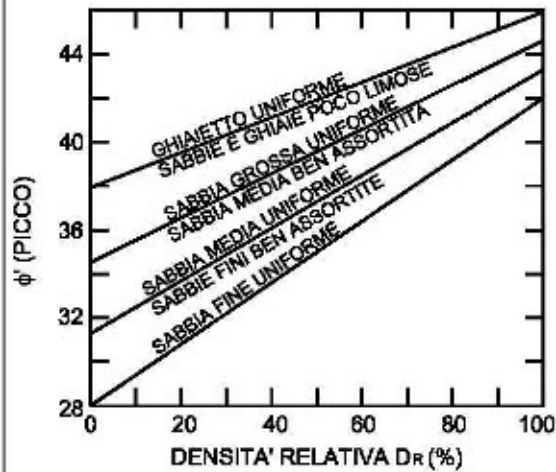


Figura 2
Correlazione $Dr - \phi'$
(Schmertmann, 1978)

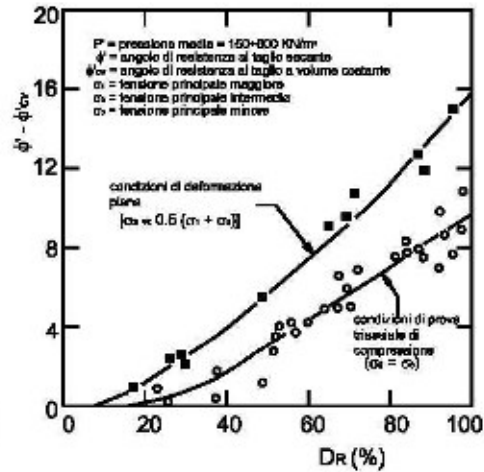


Figura 3
Correlazione tra $(\phi' - \phi'_{cv})$ e la
densità relativa (Dr) (Bolton, 1986)

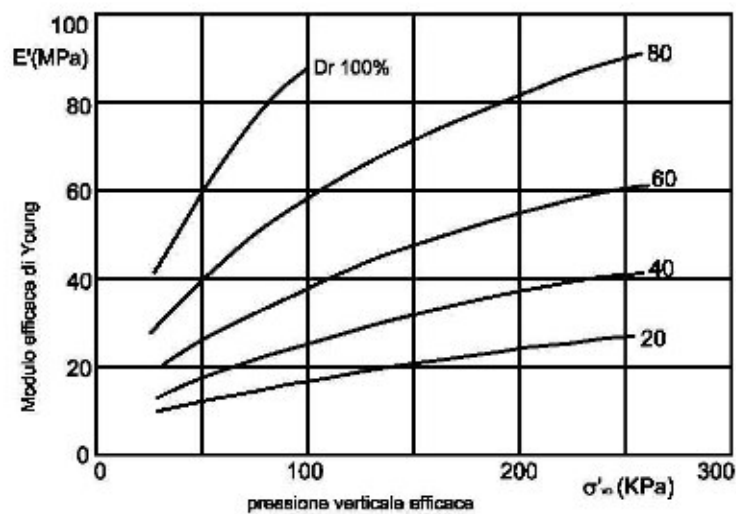


Figura 4
Correlazione tra $E' - Dr - \sigma'_v$
(Janbu, 1967)

5.2 Unità litologica II - Depositi ghiaioso sabbiosi limosi

Sulla base delle indagini condotte e sui risultati di indagini geognostiche e di prove di laboratorio disponibili per settori limitrofi e dell'esame visivo dei materiali è possibile classificare gli stessi secondo la classificazione statunitense già citata. In particolare ci si colloca nella classe definita con la sigla GM ed SM, rispettivamente per i termini a contatto con il substrato e quelli a contatto con l'unità I; si tratta cioè in prevalenza di ghiaie malgradate sabbioso limose e sabbie limose.

Secondo la classificazione CNR-UNI questi materiali si collocano rispettivamente nel gruppo A₂.

La loro caratterizzazione geotecnica può effettuarsi sulla scorta dei dati proposti in letteratura, opportunamente tarati sull'esperienza maturata in casi simili.

Entro tale unità le risultanze di prove penetrometriche condotte in settori limitrofi indicano valori mediamente variabili tra $N_{SPT} = 15-30$, con valori maggiori riferibili ai termini a maggiore componente ghiaiosa.

Locali intercalazioni limose entro tale complesso, ben spiegabili dalla natura deposizionale dell'ammasso, risultano generalmente non plastiche per il basso contenuto in argilla e quindi verranno trattate come materiali incoerenti, in accordo con le evidenze sperimentali pubblicate da Penman (1953) e Leonards (1962).

Data la natura dei materiali si ipotizza una densità relativa DR rappresentativa del deposito mediamente compresa tra il 50 ed il 60% corrispondente ad uno stato da medio a denso.

Sulla base della classificazione granulometrica e del valore di DR stimato in precedenza è possibile, attraverso le correlazioni proposte dal NAVFAC (1971), stimare per tale unità un peso di volume saturo pari a $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$.

Secondo le correlazioni di Schmertmann per le litologie presenti e la densità relativa suddetta può stimarsi come caratteristico del deposito un valore dell'angolo di resistenza al taglio di picco compreso fra 40° e 42°. Leonards (1962) propone, per terreni con percentuale di ghiaia fino al 65% e densità relativa media, dei valori compresi fra 37° e 41°; mentre Lambe e Whitman (1969), per sabbia e ghiaie con densità media, propongono un campo di valori compresi fra 36° e 42°.

Il valore ricavato rappresenta, come detto, l'angolo di resistenza al taglio di picco da utilizzare in problematiche geotecniche che implicino un basso livello deformativo (spinte contro opere di sostegno etc.).

Analogamente è possibile definire il valore dell'angolo di resistenza al taglio a volume costante ϕ_{cv} ; Lambe e Whitman propongono, per tale parametro, dei valori compresi fra 32° e 36° .

In particolare una stima di tale parametro è possibile dall'esame del diagramma proposto da Bolton (1986) che per una densità relativa del 50-60% prevede una differenza fra ϕ e ϕ_{cv} compresa tra 6 e 8° . In definitiva come valore dell'angolo di resistenza al taglio a volume costante si assume il valore $32^\circ - 34^\circ$.

Viste le caratteristiche granulometriche dei terreni incontrati, si assume un valore prossimo a 0 o nullo della coesione, per la presenza di legami di pseudocoazione di cui al punto precedente.

La definizione dei parametri di deformazione è possibile sulla base del diagramma proposto da Janbu (1967) e riportato nella figura allegata, assumendo come rappresentativa del deposito una DR media compresa tra il 50% e il 60%.

Il coefficiente di Poisson può essere assunto pari a $\nu = 0,30$.

Riassumendo per i terreni costituenti l'unità litostratigrafica II, si ritiene corretto assumere i seguenti parametri geotecnici, riferendosi ai valori minori per i termini a prevalente componente sabbiosa:

– peso di volume	γ	= 19 kN/mc
– coesione drenata	c'	= 0 – 10 kPa
– angolo di resistenza al taglio di picco	ϕ'_p	= $34^\circ - 42^\circ$
– angolo di resistenza al taglio a volume costante	ϕ'_{cv}	= $32^\circ - 34^\circ$
– modulo di deformazione a 100 kPa	E'	= 30 MPa
– coefficiente di Poisson	ν	= 0,30

5.3 Unità litologica III - Substrato marnoso arenaceo

Il substrato litoide risulta caratterizzato, per tale settore, da marne argillose alternate ad arenarie e sabbie presenti in strati sottili. Nelle marne il contenuto di argilla risulta generalmente inferiore al 30 %, il contenuto di sabbia è mediamente pari allo 0 - 5% mentre i limiti di stato sono tipici di materiali di media bassa plasticità ($IP < 10-15$ %). Le arenarie presentano mediamente un contenuto in sabbia superiore al 50 %.

La caratterizzazione geotecnica, in termini di resistenza al taglio dell'ammasso ed a favore di sicurezza, sarà riferita alla ipotesi di grado di fratturazione elevato, che si manifesta in alcune situazioni; in tali condizioni risulta particolarmente difficile la determinazione dei parametri in quanto, a causa della presenza di discontinuità

strutturali, della stratificazione e di alternanze di materiale a diverso grado di cementazione, esso può essere raffigurato come un insieme di blocchi di varia pezzatura di dimensioni e geometria variabili, mutuamente incastrati fra loro.

Il materiale intatto compreso tra le discontinuità strutturali risulta di consistenza quasi lapidea.

Il comportamento a rottura dei materiali intatti, registrato in laboratorio in prove di taglio diretto e disponibile in letteratura, risulta caratterizzato da valori di resistenza di picco discreta e da una successiva rapida, sensibile caduta di resistenza fino al raggiungimento dei valori residui.

In accordo ai più recenti orientamenti presenti nella letteratura tecnica, la caduta di resistenza al taglio che si manifesta lungo le superfici di rottura è imputabile a:

- perdita dei legami di cementazione presenti tra le particelle, sviluppatasi nel tempo per processi diagenetici;
- fenomeni di dilatanza che portano il materiale maggiormente sollecitato (a cavallo delle superfici di rottura) dalle condizioni di sovraconsolidazione presenti in sito a quelle "fully softened" o di stato critico (Schofield & Wroth 1968, Atkinson & Bransby 1978, Skempton 1985);
- orientamento delle particelle di argilla lungo i piani di rottura.

I fenomeni di cui ai primi due punti fanno sì che il contributo di resistenza alla coesione reale (cementazione) e a quella apparente (sovraconsolidazione meccanica) svanisca con il procedere delle deformazioni indotte.

Il fenomeno di cui al terzo punto fa sì che gli angoli di attrito del materiale passino da quelli caratteristici delle condizioni di stato critico (deformazioni a volume costante) a quelli residui. L'entità della riduzione degli angoli di attrito è funzione essenzialmente del contenuto di argilla presente nel materiale e delle caratteristiche di plasticità (Skempton 1964, Lupini 1981).

Nei materiali a struttura complessa, quali quelli caratterizzati dalla notevole presenza di fratture/giunti/fessure, può essere ricercata una notevole affinità comportamentale tra discontinuità strutturali e superfici di rottura; tali materiali sono pertanto caratterizzabili da resistenze che vanno da quelle di picco (condizioni locali di incipiente rottura lungo superfici che attraversano il materiale intatto) a quelle residue (condizioni locali di rottura lungo le superfici di discontinuità esistenti).

Il valore medio di resistenza disponibile nell'ammasso, cui fare riferimento nelle analisi ingegneristiche, viene principalmente a dipendere dai fattori di seguito esposti.

- Dal rapporto tra la geometria e dimensioni dell'opera da realizzare e la geometria e spaziatura dei piani di discontinuità. Nel caso di interventi di rilevante estensione, quali quelli rappresentati da fronti di scavo o scarpate, è presumibile che la resistenza disponibile lungo i piani di discontinuità giochi un ruolo più rilevante rispetto a quello che compete alla resistenza del materiale intatto.

Il rapporto suddetto gioca anche un ruolo determinante sul cinematiso di rottura. Con riferimento alle situazioni per le quali le formazioni si presentino fittamente stratificate e fratturate e siano in gioco notevoli volumi di ammasso coinvolti, risulta più plausibile considerare che la presenza delle discontinuità strutturali contribuisca in grande scala ad un generale indebolimento delle caratteristiche meccaniche piuttosto che causare meccanismi di rottura controllati dall'intersezione di piani di frattura molto distanti tra loro (rottura a cuneo).

Sotto tali presupposti si ritiene che per le situazioni particolarmente fratturate i cinematismi della rottura non differiscono da quelli tipici dei terreni (Skempton & La Rochelle 1965, Koo 1982, Hoek & Bray 1981, Hencher 1989).

- Dall'entità delle pressioni efficaci agenti in corrispondenza delle zone maggiormente sollecitate. Facendo riferimento ad esempio a Marsland 1971 e a Thomson & Kjartson 1985 le superfici di rottura tenderebbero infatti a passare:
 - prevalentemente tra le superfici di discontinuità, lasciando pressoché intatto il materiale compreso tra di esse, se le pressioni efficaci agenti risultano piccole;
 - anche attraverso il materiale intatto se le pressioni efficaci medie agenti risultano elevate.

Alcuni criteri di rottura sviluppati appositamente per tali tipi di materiale tengono implicitamente conto di tale aspetto. Nel primo caso i parametri di resistenza convenzionali (angolo di resistenza al taglio e coesione) vengono ad essere quelli tipici di materiali incoerenti molto addensati. Nel secondo caso i parametri di resistenza al taglio convenzionali sono tipici di materiali coesivi; i valori dell'angolo di resistenza al taglio risultano pertanto più bassi ed i valori di coesione (reale + apparente) più elevati.

- Dall'entità e distribuzione delle deformazioni indotte nell'ammasso (fenomeni di rottura progressiva). Non essendo possibile ricorrere ad una modellazione accurata che tenga conto di tutti gli aspetti sopra indicati (si pensi ad esempio alle difficoltà sperimentali insite nella determinazione della effettiva disposizione geometrica delle discontinuità all'interno dell'ammasso e/o alla realizzazione di prove in laboratorio su campioni di dimensioni significative per riprodurre la macrostruttura presente in sito),

necessariamente nelle analisi ingegneristiche si deve ricorrere a grossolane semplificazioni.

Il criterio più appropriato per la scelta dei valori di tali caratteristiche di resistenza è quello di ricorrere alle indicazioni di letteratura tarate su "back analyses" di rotture di versanti in formazioni complesse (vedi ad esempio Skempton 1977 e Tavenas & Leroueil 1981). Le back analyses" di rotture in sito sono infatti a tutti gli effetti un esercizio di interpretazione di prove di taglio diretto in grande scala, i cui risultati tengono implicitamente conto di tutti gli aspetti di difficile modellazione precedentemente descritti.

In accordo alle indicazioni di letteratura, in condizioni di rottura incipiente la stabilità lungo superfici di scivolamento che non siano mai state mobilitate da eventi franosi è governata da parametri geotecnici "softened" prossimi a quelli caratteristici delle condizioni di stato critico, quando le deformazioni di taglio avvengono a volume costante; tali parametri sono rappresentati dall'angolo di resistenza al taglio caratteristico di materiali normalmente consolidati e/o sciolti e da una debole intercetta di coesione, variabile tra 30 e 80 kPa.

In sintesi, in funzione di quanto esposto sopra e sulla base dei dati di classificazione disponibili i parametri applicabili ai litotipi in esame risultano i seguenti:

Unità litologica III

- Parametri "softened"

Marne:	angolo di resistenza al taglio	$\phi' > 30^\circ$
	coesione drenata	$c' = 30-50 \text{ kPa}$
Arenarie:	angolo di resistenza al taglio	$\phi' = 35^\circ$
	coesione drenata	$c' = 40-80 \text{ kPa}$

- Parametri residui

Marne:	angolo di resistenza al taglio	$\phi' = 28-30^\circ$
	coesione drenata	$c' = 0 \text{ kPa}$
Arenarie:	angolo di resistenza al taglio	$\phi' = 35^\circ$
	coesione drenata	$c' = 0 \text{ kPa}$

Relativamente ai parametri di deformabilità, con riferimento a dati disponibili in letteratura, si potrà assumere un valore di $E_m > 40 \text{ MPa}$, valido per il comportamento d'ammasso della formazione.

6 PROBLEMATICHE GEOLOGICHE E GEOTECNICHE CONNESSE ALL'INTERVENTO IN PROGETTO

L'intervento in progetto prevede l'inserimento di difese antierosiva in massi di pietra naturale. Le problematiche di stabilità geotecnica connesse a tale intervento sono riconducibili:

- alla verifica della stabilità locale delle opere a gravità nei confronti della spinta delle terre
- alla verifica della stabilità generale delle opera in caso di saturazione del terreno
- alla verifica della stabilità al trascinamento dei massi del paramento dovuta alla velocità della corrente di piena.

Nell'attuale fase, sulla base dei dati stratigrafici disponibili, non si evidenziano incompatibilità tra l'opera e gli aspetti suddetti.

Preventivamente alla realizzazione degli interventi sarà necessario rivalutare le assunzioni stratigrafiche adottate, con particolare riferimento al piano di imposta delle difese antierosive ed all'opera di trattenimento, avendo cure di verificare l'imposta delle opere sul substrato costituente l'unità litologica III.