



# SITAF S.p.a.

SITAF SpA  
per la redazione  
Il Direttore Tecnico  
(Dott. Ing. Massimo BERTI)

SITAF SpA  
per l'approvazione  
Il Direttore Generale  
(Dott. Ing. Bernardo MACRÌ)

## DEPOSITO DI ROCCE DI SCAVO PROVENIENTI DAL TUNNEL DI SICUREZZA DEL TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS IN LOCALITA' "SAGNE EX CANTIERE ASFALTI SINTEX" IN COMUNE DI SALBERTRAND - PROGETTO DEFINITIVO -

ELABORATO

**B**

RELAZIONE GEOLOGICA

CONSORZIO FORESTALE ALTA VALLE SUSÀ

Via Pellousiere n°6 OULX (TO) C.A.P. 10056

Tel 0122 - 831079 Fax 0122 - 831282 E.MAIL cf.avs@tin.it

E.MAIL POSTA CERTIFICATA cfavs@postecer.it

P.Iva 03070280015 - C.F. 86501390016

- AREA BACINI MONTANI -



CODICE DOCUMENTO

area	anno incarico	n.commissa	revisione	n. elaborato	n. archivio
03	2012	030	00	0B	1236

Motivo revisione :

NOV.12

Dott. Geol. Zeno Vangelista

DATA

REDATTO DA:

NOV.12

Dott. For. Alberto DOTTA

Dott. For. Alberto DOTTA

DATA

PROGETTISTA e R.D.D.

RESPONSABILE DI COMMESSA

COMMITTENTE



Società Italiana  
Traforo Autostradale  
del Frejus

Uffici Amministrativi:  
Fraz. San Giuliano, 2 C.P. 59c  
10059 Susa (TO)

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

## 1. PREMESSA

La Società SITAF, concessionaria dall'Autostrada A32 e del Traforo del Frejus, ha incaricato il Consorzio Forestale della progettazione di una deponia di materiali di scavo da ubicarsi nel territorio del Comune di Salbertrand. La deponia dovrà accogliere parte dello smarino proveniente da Bardonecchia e derivante dalla realizzazione della seconda canna autostradale del Traforo del Frejus.

In osservanza a quanto disposto dalla normativa vigente è stata verificata la compatibilità delle opere previste in progetto con l'assetto geologico, geomorfologico e geotecnico del sito.

Documentazione consultata:

ARPA – Banca dati SIFRAP-RERCOMF

PAI – Autorità di Bacino del Fiume Po - Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico

Comune di Salbertrand – Piano Regolatore Generale, Variante n. 3 al PRGC vigente di adeguamento al PAI: TAV: 3 Carta di Sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica. Luglio 2008

Carta Geologica d'Italia – scala 1 : 50.000 Foglio 153 Bardonecchia

Comune di Salbertrand – Volo aereofotogrammetrico ALIFOTO 23 .12.2011 - fondovalle

### Normativa nazionale di riferimento

D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni

OPCM 3274 del 20.03.2003 Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"

D. LGS 152 del 3.04.2006 Norme in materia ambientale. Allegati parte V

DD.LL.PP 11.03.1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"

R.D.L. n. 3267 / 1923

Autorità di Bacino del Fiume Po – Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – 7. Norme di attuazione

### Normativa regionale di riferimento

Regione Piemonte Nota Tecnica Esplicativa alla Circ. PGR n. 7/LAP dell'8.05.1996

Circolare P.G.R. 8.05.1996 n. 7/LAP "L.R. 5.12.1977 n. 56 e successive modifiche e integrazioni – Specifiche tecniche per l'elaborazione degli studi geologici a supporto degli strumenti urbanistici"

L.R. 9.08.1989 n. 45 "Nuove norme per gli interventi da eseguire in aree sottoposte a vincolo per scopi idrogeologici"

Ferretti V. (2011) – Multicriterial\_spatial Decision Support Systems e land suitability analysis: una proposta metodologica per la localizzazione di una discarica di rifiuti nella Provincia di Torino. Geologia Ambientale e Mineraria Anno XLVIII n. 3

## 2. LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA

Il sito in esame è situato nel territorio del Comune di Salbertrand, nel fondovalle della Dora Riparia, a quota m 996 s.l.m., compreso a Sud fra la massicciata della ferrovia Torino-Modane, a Ovest dal rilevato dell'Autostrada A32 del Frejus e a Nord dal versante meridionale della Cima del Vallonetto.



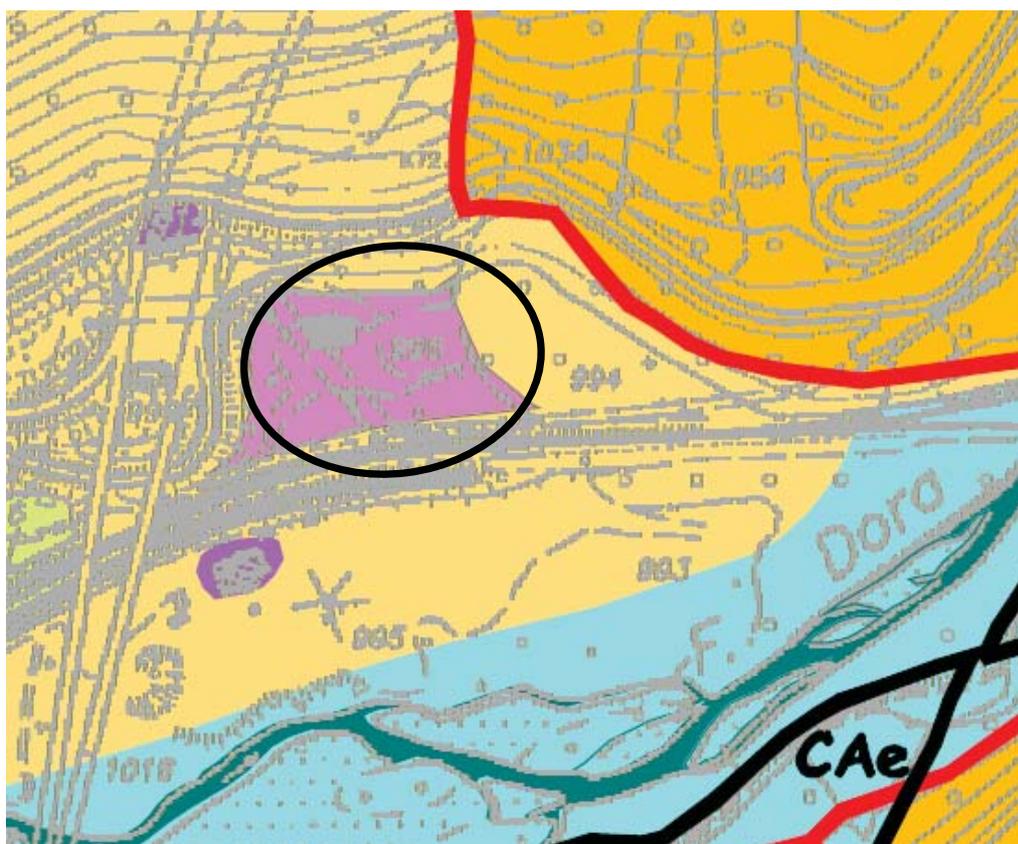
Fig. 1 - Corografia siti (CTR 153110)

Il sito si presenta per lo più denudato dalla vegetazione (cfr Tav. 1 Panoramiche e Tav. 7 – Carta dell'Uso del Suolo) poiché è un'area già utilizzata per deponie temporanee. L'intera zona di fondovalle è caratterizzata dalla presenza di depositi temporanei di materiali ghiaiosi e sabbiosi appartenenti alle numerose imprese di escavazioni presenti a Salbertrand (cfr Tav. 2 – Volo ALIFOTO 23 dicembre 2011).

### 3. VINCOLI

Nella Variante n. 3 al PRGC vigente di adeguamento al PAI: TAV. 3 **Carta di Sintesi** della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica. Luglio 2008 (Tav. 5) il fondovalle posto in sinistra idrografica della Dora Riparia, compreso tra il piede del versante e il corso d'acqua principale, è classificato in parte in Classe IIIa3 e Classe IIIb2 di pericolosità geomorfologica e di idoneità all'utilizzazione urbanistica, come si desume dallo stralcio cartografico di seguito riportato. L'area di intervento è compresa nella

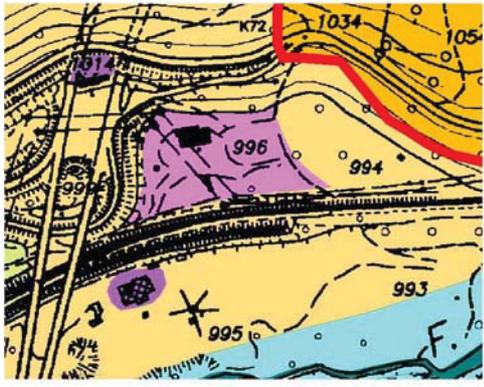
*Classe IIIb2 Porzioni di territorio edificate nelle quali gli elementi di pericolosità geologica e di rischio sono tali da imporre in ogni caso interventi di riassetto territoriale di carattere pubblico a tutela del patrimonio urbanistico esistente (...) A seguito della realizzazione delle opere saranno possibili nuove edificazioni, ampliamenti o completamenti (IIIb s.s.): Settori di conoide protetti nei quali l'esondazione è possibile nel caso di eventi ultracentennali dovuti a grave ostruzione dell'apice del conoide e/o nel caso di una marcata riduzione d'efficacia dell'opera di protezione esistente. Nuove edificazioni sono ammesse previa verifica della manutenzione ordinaria o straordinaria dell'opera di protezione già eseguita e in ogni caso a condizione che venga posto in opera un monitoraggio periodico e la manutenzione ordinaria e straordinaria dell'alveo dei Torrenti.*



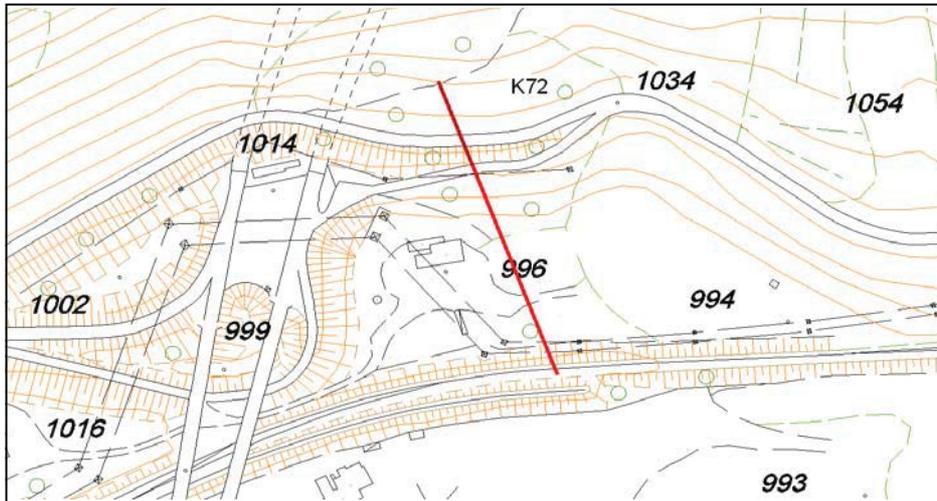
La scheda n. 1 pag. 18 dell'elaborato **Cronoprogramma** degli interventi di riassetto territoriale della Variante n. 3 al PRGC vigente di adeguamento al PAI (luglio 2008), di seguito allegata, recita:

“per l’area compresa tra ferrovia e l’imbocco delle gallerie dovrà essere verificata la stabilità del versante soprastante e l’interferenza con la fascia C”,  
 poiché il fondovalle posto in sinistra idrografica della Dora Riparia, compreso tra il piede del versante e il corso d’acqua principale, è classificata in parte in Classe IIIa3 e Classe IIIb2 di pericolosità geomorfologica e di idoneità all’utilizzazione urbanistica, come si desume dallo stralcio cartografico di seguito riportato. L’area di intervento è compresa nella Classe IIIb2 Porzioni di territorio edificate nelle quali gli elementi di pericolosità geologica e di rischio sono tali da imporre in ogni caso interventi di riassetto territoriale di carattere pubblico a tutela del patrimonio urbanistico esistente (...)

### Schede del cronoprogramma

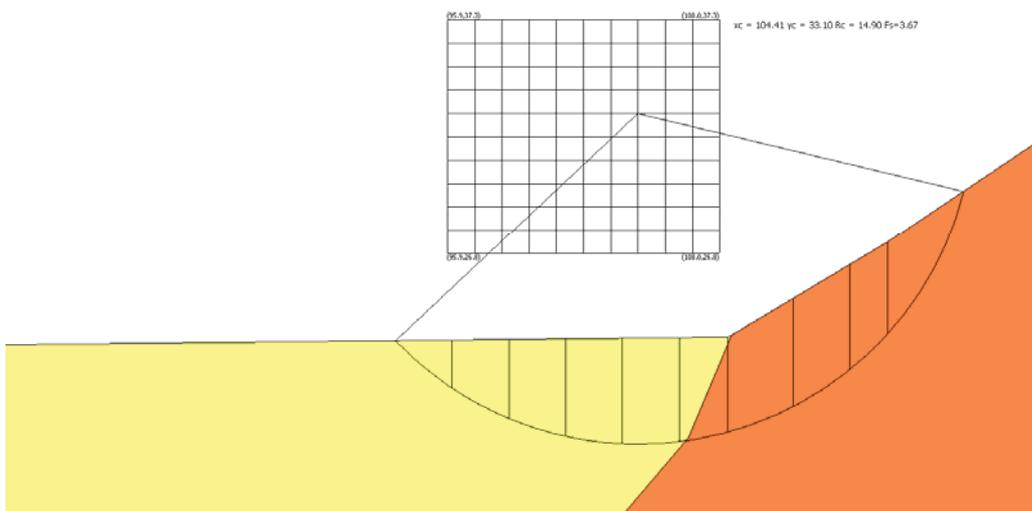
CRONOPROGRAMMA DEGLI INTERVENTI DI RIASETTO TERRITORIALE IN CORSO O ANCORA DA REALIZZARE. UNA VOLTA CONCLUSI CONSENTIRANNO L'EDIFICAZIONE NELLE AREE CLASSIFICATE IN IIIb2 E MODESTI INCREMENTI DEL CARICO ANTROPICO NELLE AREE CLASSIFICATE IN IIIb3.	
Scheda n. 1	
	<p><b>Tipologia interventi</b></p> <p>Per l'uso di tali aree sarà necessario effettuare uno studio specialistico finalizzato ad individuare gli interventi di riassetto.</p> <p>In particolare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• per l'area compresa tra ferrovia e l'imbocco delle gallerie dovrà essere verificata la stabilità del versante soprastante e l'interferenza con la fascia C;</li> <li>• per l'area a valle della ferrovia dovrà essere verificata l'interferenza con la fascia B;</li> <li>• per l'area in prossimità dell'imbocco delle gallerie dovrà essere verificata l'interferenza con la frana quiescente FQ8.</li> </ul>
<b>Ambito comunale</b>	Porzione di territorio esterna all'abitato ampiamente interessata da infrastrutture di primaria importanza (autostrada, strada statale e ferrovia).
<b>Corso d'acqua</b>	Fiume Dora Riparia.
<b>Stato di fatto</b>	Nessuno studio effettuato. Nessuna opera strutturale in progetto.
<b>Stato di vincolo</b>	Le aree non sono attualmente edificabili (IIIb2) o modificabili da un punto di vista edilizio (IIIb3) in quanto sono vincolate alle norme urbanistiche restrittive previste dagli indirizzi normativi allegati alla presente Variante. Solo a seguito di studi, realizzazione e collaudo di interventi di riassetto sarà possibile utilizzare le aree.

In ottemperanza a quanto indicato dalla Scheda n 1 è stata eseguita la verifica di stabilità dell'insieme opere / versante lungo la Sezione n. 2 di progetto n. 2 (cfr TAV. 3 – Elaborati grafici progettuali).



Le verifiche sono state eseguite utilizzando il codice di calcolo Slope ([www.geostru.com](http://www.geostru.com)), imponendo superfici di scorrimento a geometria spirale logaritmica interne ad un versante caratterizzato dai parametri geotecnica riportati nella Relazione di calcolo allegata , in condizioni sismiche.

Le verifiche hanno fornito valori del coefficiente di sicurezza  $F_s = 3.66$ . Il versante è stabile e viene ulteriormente stabilizzato dalla presenza dei materiali di deponia, che consolidano il piede della pendice.



#### 4. INTERFERENZA CON LA FRANA QUIESCENTE FO8

L'opera proposta è esterna al piede della frana FO8

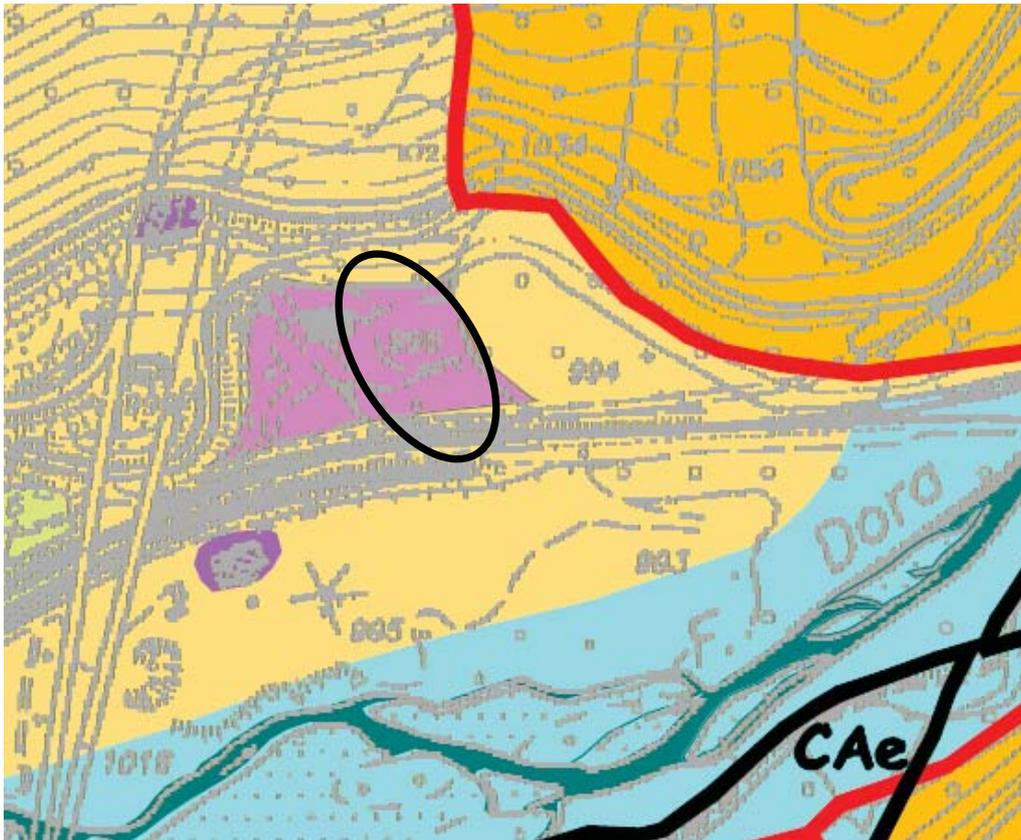


Fig. 2 - PRGC – Carta di Sintesi Variante n. 3 adeguamento PRGC al PAI

## 5. INTERFERENZA CON LA FASCIA C

L'area in esame è parzialmente compresa in Fascia C, delimitata dalla Deliberazione della Giunta Regionale 23 aprile 2007, n. 40-5775 "progetto di variante al Piano stralcio per l'Assetto idrogeologico (PAI) – Variante delle fasce fluviali del fiume Dora Riparia. Controdeduzioni alle osservazioni e proposta di parere regionale.

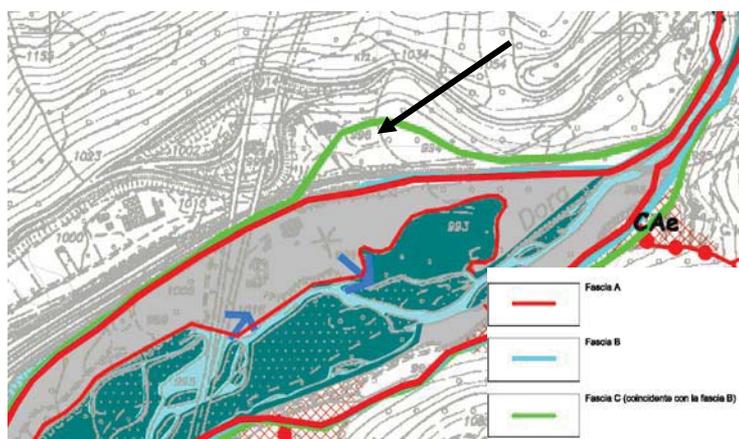


Fig. 3 - Fasce Fluviali

L'area è tuttavia protetta da eventi di esondazione dalla Dora Riparia dalla massicciata ferroviaria, alta m 10 (cfr la sezione nella tavola TAV. 3 – Elaborati grafici progettuali).

L'area è esterna ai confini del Parco Naturale del Gran Bosco di Salbertrand che si sviluppa sul versante opposto, e dei SIC presenti nell'alta Valle di Susa.

#### 4. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

##### 1.1. Inquadramento geologico

Il versante sinistro della valle di Susa, in corrispondenza di Salbertrand, è formato dai litotipi del Massiccio d'Ambin, ascritto al sistema medio pennidico della Falda del Gran San Bernardo, costituito da due elementi premesozoici, l'Unità di Clarea, con polimetamorfismo prealpino, e l'Unità dell'Ambin monometamorfica. Il Complesso di Clarea affiora nel settore inferiore del massiccio ed è costituito essenzialmente da micascisti filladici e gneiss minuti albitizzati e rappresenta l'elemento geometricamente inferiore del Massiccio, ed ha uno spessore massimo di circa 800 metri. E' caratterizzata da un evento metamorfico prealpino e da un successivo evento metamorfico polifasico alpino. I micascisti contengono corpi metabasitici (prasiniti listate, anfiboliti). La copertura mesozoica, depositatasi da Permiano al Giurassico, è formata da marmi, dolomie, breccie, calcescisti; è stata successivamente coinvolta dal sovrascorrimento della Falda dei Calcescisti, testimoniato da un livello di "carniole" s.l.m. e da una serie di scaglie tettoniche imbricate. Affiora in corrispondenza della Cima del Vallonetto, dei Quattro Denti e lungo i versanti della Val Cenischia. Il fondovalle è formato da depositi alluvionali e torrentizi attuali costituiti da ghiaie sabbiose.



Fig. 1 - Carta Geologica d'Italia scala 1 : 50.000 – F° 153

Il territorio della Val di Susa è stato modellato originariamente dal glacialismo pleistocenico che ha improntato con la tipica forma a U le valli principali, con valli sospese ad alta quota, retaggio di ghiacciai tributari secondari, e la caratteristica conca di Oulx-Salbertrand, zona di sedimentazione del corso d'acqua principale e di quelli secondari, che costruiscono importanti apparati laterali di conoide. Il paesaggio è stato successivamente modellato da fenomeni gravitativi che hanno interessato il substrato roccioso, determinati dalla presenza di numerosi ed importanti sistemi di frattura legati a deformazioni fragili a scala regionale (sistema Cenischia-Nizza), a contatti fra unità tettoniche diverse (Falda dei Calcescisti / Unità dell'Ambin) o a rocce facilmente solubili all'interno dei versanti, (come carniole e gessi), talvolta innescati dallo scioglimento delle grandi masse glaciali, che hanno causato un generale rilascio di tensioni all'interno dei versanti. A tali fenomeni sono probabilmente legati gli estesi fenomeni di Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (DGPV) di Sarre La Voute e del Cassas nel territorio di Salbertrand. L'area in oggetto è situata nel fondovalle alluvionale della Dora Riparia, esterna al piede della frana di Serre-la-Voute e protetta verso l'alveo della Dora dalla massicciata ferroviaria.

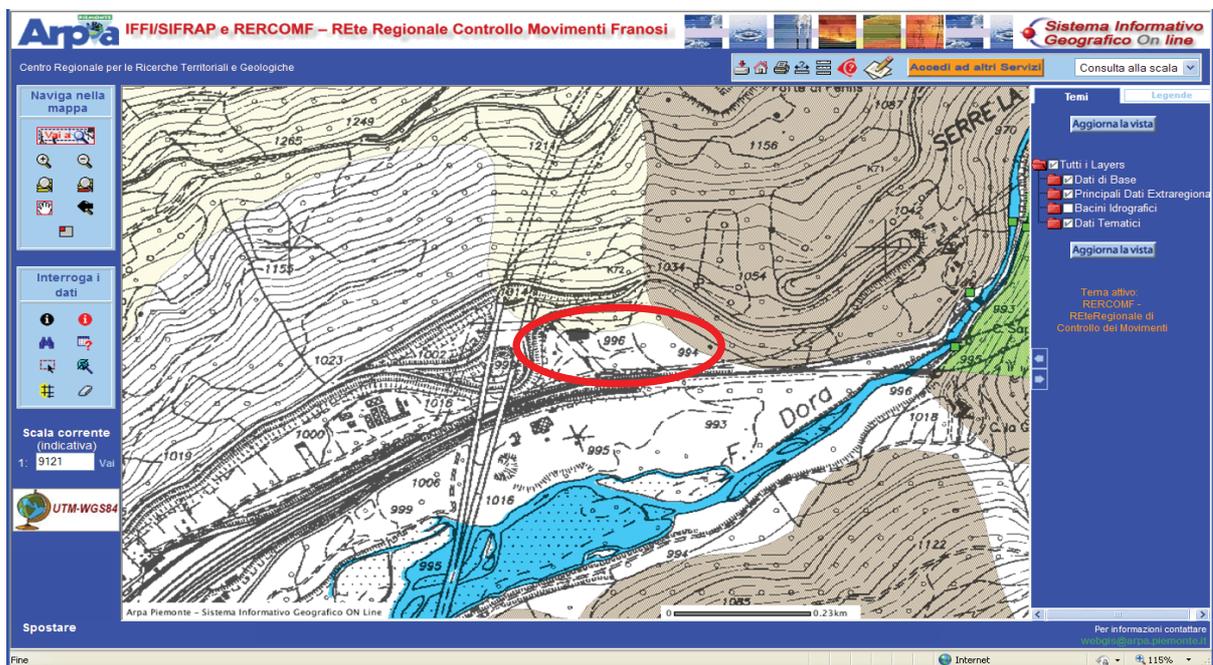


Fig. 2 - IFFI / SIFRAP

Processi lacustri - (da Z. Vangelista, 2012 – Comune di Oulx. Variante di revisione generale del PRGC al PAI. Elaborato R1 relazione Geologica).

La forra di Serre la Voute è situata nel tratto vallivo della Dora Riparia impostato lungo la discontinuità tettonica fra il Massiccio d'Ambin a nord e la Falda Piemontese dei Calcescisti e delle Pietre Verdi a sud. La zona di contatto è profondamente alterata da deformazioni di carattere fragile e caratterizzata dalla presenza di lembi di carnirole l.s., prodotte dalla deformazione tettonica di livelli calcareo-dolomitici. Le geomasse adiacenti alla linea di frattura sono a loro volta deformate dai movimenti di sovrascorrimento dei Calcescisti sull'Ambin. La presenza di una cospicua fascia di rocce tettonizzate è stato ed è tuttora un importante fattore predisponente all'insorgere di frane di dimensioni notevoli. All'interno della zona di frizione vi è una circolazione di acque sotterranee che contribuiscono a lubrificare le superfici di scivolamento e ad alterare e solubilizzare le rocce carbonatiche. Tali fattori hanno causato, nella zona immediatamente a valle di Salbertrand, due importanti fenomeni: la frana di Sarre la Voute (negli gneiss del Massiccio dell'Ambin) in sinistra orografica e la frana di Testa di Mottas in destra (nei calcescisti della Falda Piemontese) [MOZZETTI A., 1992]. La frana bloccò il fondovalle e la Dora, creando a monte un lago che si estendeva nella piana di Salbertrand.

Il geografo Felice Capello prima della 2° Guerra Mondiale, in occasione di importanti tagli per lavori stradali riconosce e descrive, a monte di Serre-la-Voute, un orizzonte lacustre; altre considerazioni, basate sulla morfologia dei luoghi, fornirono la prova di un antico lago che doveva raggiungere 4500 m di lunghezza massima, 650 m di larghezza massima e 1050 m di quota media, profondo 15-20 metri [CAPELLO C.F., 1941].

Dagli anni '90 del secolo scorso ad oggi sono state eseguite nella piana di Oulx numerose trivellazioni e indagini geofisiche nell'ambito di ricerche idriche per il potenziamento degli acquedotti di Oulx e Sauze d'Oulx, per la progettazione dell'Autostrada A32, per la progettazione dell'impianto idroelettrico di Pont Ventoux-Venaus e per numerosi altri progetti minori, che hanno permesso di accertare la profondità del bedrock a profondità superiori a m 60. Nei log stratigrafici si osserva la presenza di alternanze di ghiaie e argille grigio-bluastre e limi torbosi; in particolare è presente un livello potente circa dieci metri a 14 m di profondità dal piano campagna. Nella piana di Beaulard un'altra trivellazione ha incontrato il substrato a 56 m di profondità. In base a tali considerazioni appare estremamente probabile che il bacino di sedimentazione lacustre indotto dalla presenza di grandi corpi di accumulo avesse dimensioni ancora maggiori di quanto ipotizzato da Capello e si spingesse sino a comprendere l'intera piana tra Oulx e Salbertrand con una lunghezza complessiva superiore a 12 km [TROPEANO D., OLIVE P., 1993].

E' possibile ipotizzare una data per lo sbarramento di Sarre-la-Voute: in un sondaggio sulla frana, tra le progressive 83.50 e 84.50, fu rinvenuto e datato da Tropeano un campione di legno subfossile, la cui età <sup>14</sup>C risulta pari a 9.525±85 anni BP.

Una possibile conferma delle ingenti dimensioni del lago di Sarre-La-Voute può essere fornita dalla presenza in destra idrografica (alla base del versante di Sauze d'Oulx fra Gad e Oulx) e in sinistra a

Signols, intersecati dal Rio della Comba, di una sequenza di terrazzi alluvionali antichi, sospesi sul fondovalle di circa 30 metri ed al terrazzo presente alla stessa quota in sinistra a Serre-la-Voute.

Il fenomeno si ripeté il 20 maggio 1728, quando una riattivazione della frana causò lo sbarramento della Dora [SIBILLE R., 2006].

La potenza dei depositi fluvioglaciali e lacustri presenti nel fondovalle della Dora Riparia è di almeno m 100.

### 3.2 Caratterizzazione idrogeologica

Gli acquiferi a conducibilità idraulica primaria o per porosità sono costituiti da depositi quaternari sciolti (ghiaie, sabbie, limi), poggianti su un acquiclude impermeabile generalmente rappresentato da substrato roccioso. Tali depositi sono di origine glaciale, alluvionale, depositi detritici di falda, depositi gravitazionali, aventi permeabilità anisotropa in ragione del fuso granulometrico.

Il fondovalle della Dora rappresenta di gran lunga il "serbatoio idrico" più importante di questo settore della valle; ha larghezza variabile fra circa 200 metri (Beaulard) e circa 1000 metri (in corrispondenza della confluenza della Dora Riparia con la Dora di Bardonecchia). per poi restringersi a pochi metri in corrispondenza di Sarre la Voute. Esso forma un acquifero che ospita un sistema multifalde, di cui la prima con superficie libera, in equilibrio con il corso d'acqua vallivo, e le successive in pressione. La separazione dei vari sistemi di falde non è uniforme a motivo della limitata estensione areale e verticale di setti impermeabili rappresentati da depositi limoso-argillosi. Spessore superiore a 60 metri Il pozzo Pellousiere è caratterizzato da un certo artesianesimo con acque che risalgono il piano campagna, con mineralizzazione solfato-bicarbonatica. Dovuta molto probabilmente alla presenza nel sottosuolo di livelli gessosi sepolti, in collegamento spaziale con quelle affioranti in sinistra, facenti parte della copertura parautoctona dell'Ambin [LEPORATI P., 1995].

Per quanto riguarda i depositi alluvionali di fondovalle alcuni sondaggi geognostici spinti a profondità comprese tra 20 e 69 metri hanno evidenziato, in particolare nella zona in destra del fondovalle della Dora, la presenza di un sistema multifalde in pressione, originato da alternanze di livelli ghiaioso-sabbiosi e livelli limosi. Il dato è stato confermato dai sondaggi geognostici eseguiti nel 2008 per il progetto del palaghiaccio in zona Pralong-Ortigara, nei quali è stata individuata una falda freatica confinata e discontinua a circa - m 1.50 e due falde in pressione alle profondità rispettivamente di m 16 e 24 (abitato di Oulx) e a m 25 in corrispondenza della deponia in progetto (cfr Relazione Geotecnica).

Le acque contenute negli acquiferi confinati più profondi sono inutilizzabili a causa del chimismo bicarbonato.calcico e solfato-calcico.

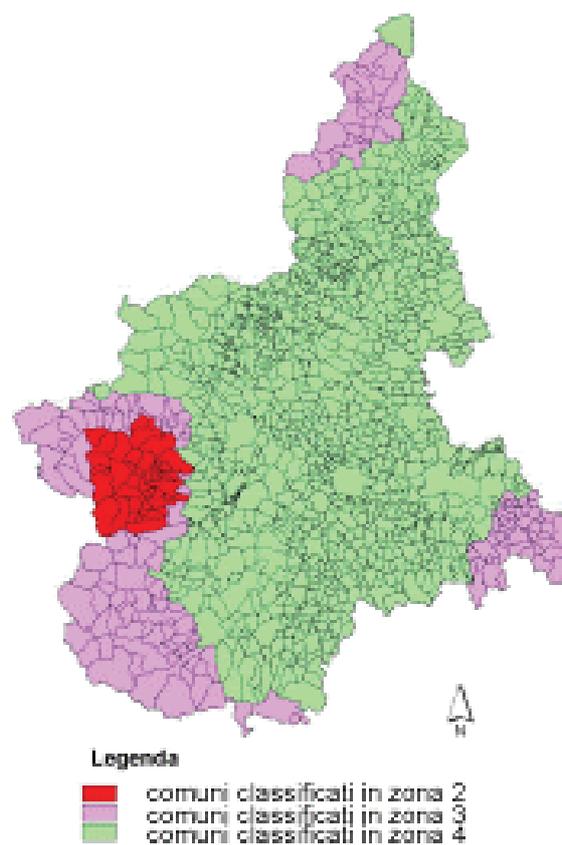
Il sondaggio S1 eseguito da Pangea nell'area del cantiere ha posto in evidenza una stratigrafia caratterizzata da ghiaie poligeniche con livelli limosi. In particolare un livello



## 5. AZIONE SISMICA

(ARPA Piemonte) - Il territorio regionale piemontese è circondato a N, ad W e a S dal sistema alpino occidentale, catena collisionale originatasi a partire dal Cretaceo per lo scontro fra le placca Europea ed Adriatica; il contesto tettonico ed i regimi geodinamici tutt'ora attivi portano la regione ad essere interessata da una sensibile attività sismica, generalmente modesta come intensità, ma notevole come frequenza. 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.

Il territorio del Comune di Salbertrand è inserito in Zona Sismica 3



## 6. INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

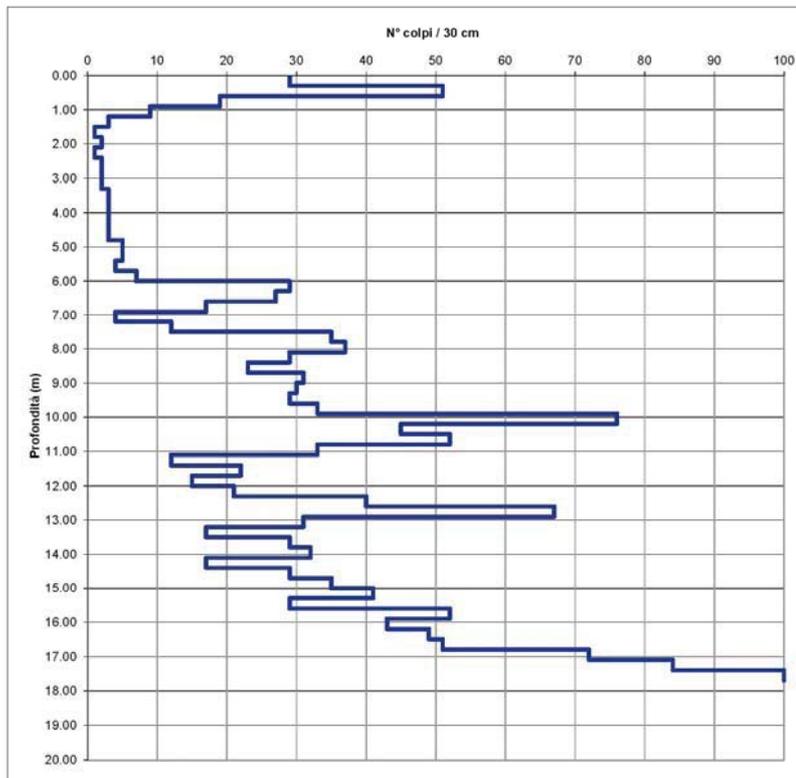
Cfr la Relazione Geotecnica a corredo del Progetto Definitivo, a firma dell'Ing. Geol. Marco Casale.

Durante le fasi di progettazione è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche, condotta da PANGEA s.r.l., che ha comportato l'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo S1 della profondità di m 27.40, n. 4 prove penetrometriche dinamiche SPT, una indagine sismica e una indagine geoelettrica, a cui si rimanda per maggiore dettaglio.

Le SPT, di cui si riporta a titolo d'esempio la prova DPSH1, allegata alla Relazione Geotecnica, denota la presenza a profondità compresa tra m 1,5 e m 5 di uno strato a bassa resistenza, di cui deve essere valutata la deformabilità in rapporto al carico trasmesso dalla discarica in progetto.

RAPPORTO DI INDAGINI, PRELIEVO E/O PROVE IN SITO N° 12/23		DATA EMISS. RAPPORTO DI PROVA: 28/09/2012
		COMMESSA: 10/12
 <b>PANGEA</b> S.p.A. INDAGINI GEONOSTICHE E GEOFISICHE, MONITORAGGI, MISURE E TIRANTI Via Largo Bendini 47 10128 BIANCAZZO (TO)	<b>S.G.S.</b> tel. 011-9178225 fax 011-9137226	PROVA PENETROMETRICA DINAMICA D.P.S.H.
		DENOMINAZIONE PROVA: DPSH1
		COMMITTENTE:
		Musinet Engineering S.p.A.

GRAFICO DELLA PROVA



## **7. NOTE DI SINTESI E CONCLUSIONI**

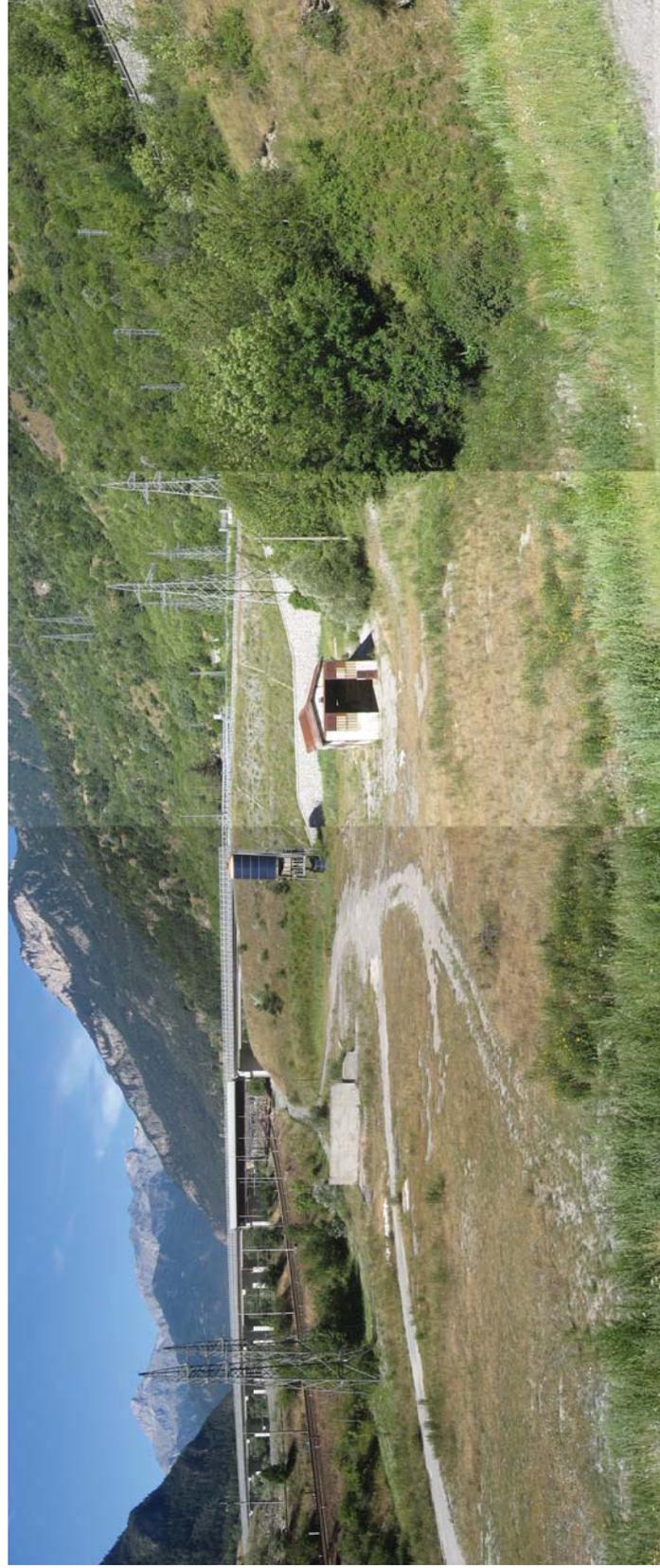
La Società SITAF, concessionaria dall'Autostrada A32 e del Traforo del Frejus, ha incaricato il Consorzio Forestale Alta Valle Susa della progettazione di una deponia di materiali di scavo da ubicarsi nel territorio del Comune di Salbertrand. La deponia dovrà accogliere parte dello smarino proveniente da Bardonecchia e derivante dalla realizzazione della seconda canna autostradale del Traforo del Frejus, in un'area già utilizzata per deponie temporanee: l'intera zona di fondovalle è caratterizzata dalla presenza di depositi temporanei di materiali ghiaiosi e sabbiosi appartenenti alle numerose imprese di escavazioni presenti a Salbertrand.

Il sito è esterno alla frana FQ8 (Deformazione Gravitativa Profonda di Versante – quiescente) segnalata dalla cartografia geologica della redigenda Variante del PRGC al PAI, ed è parzialmente compresa all'interno della Fascia C delle Fasce Fluviali dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.

Il sottosuolo è caratterizzato da ghiaie sabbiose con livelli limosi che determinano la presenza di una falda in pressione alla profondità di m 25 circa. L'influenza dell'opera in progetto sul sottosuolo, in relazione alle caratteristiche geotecniche e sismiche desunte dalla campagna geognostica eseguita è trattata nella Relazione Geotecnica a firma del Dott. Geol. M. Casale.

Sotto il profilo geologico e geomorfologico l'opera è compatibile con le caratteristiche del sito.

Tav. 1 – Panoramiche



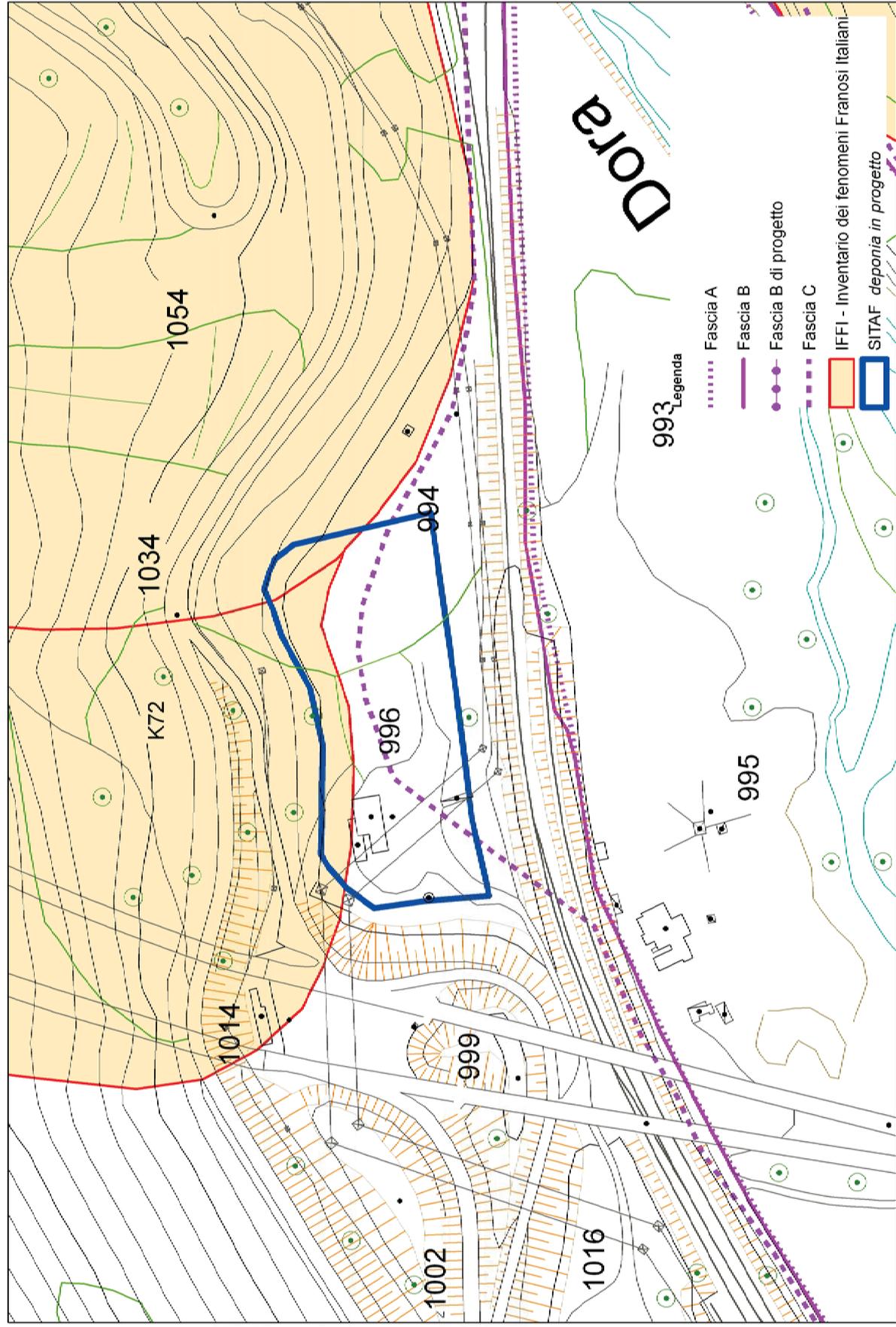
Tav. 2 – Volo Alfoto 23 dicembre 2011





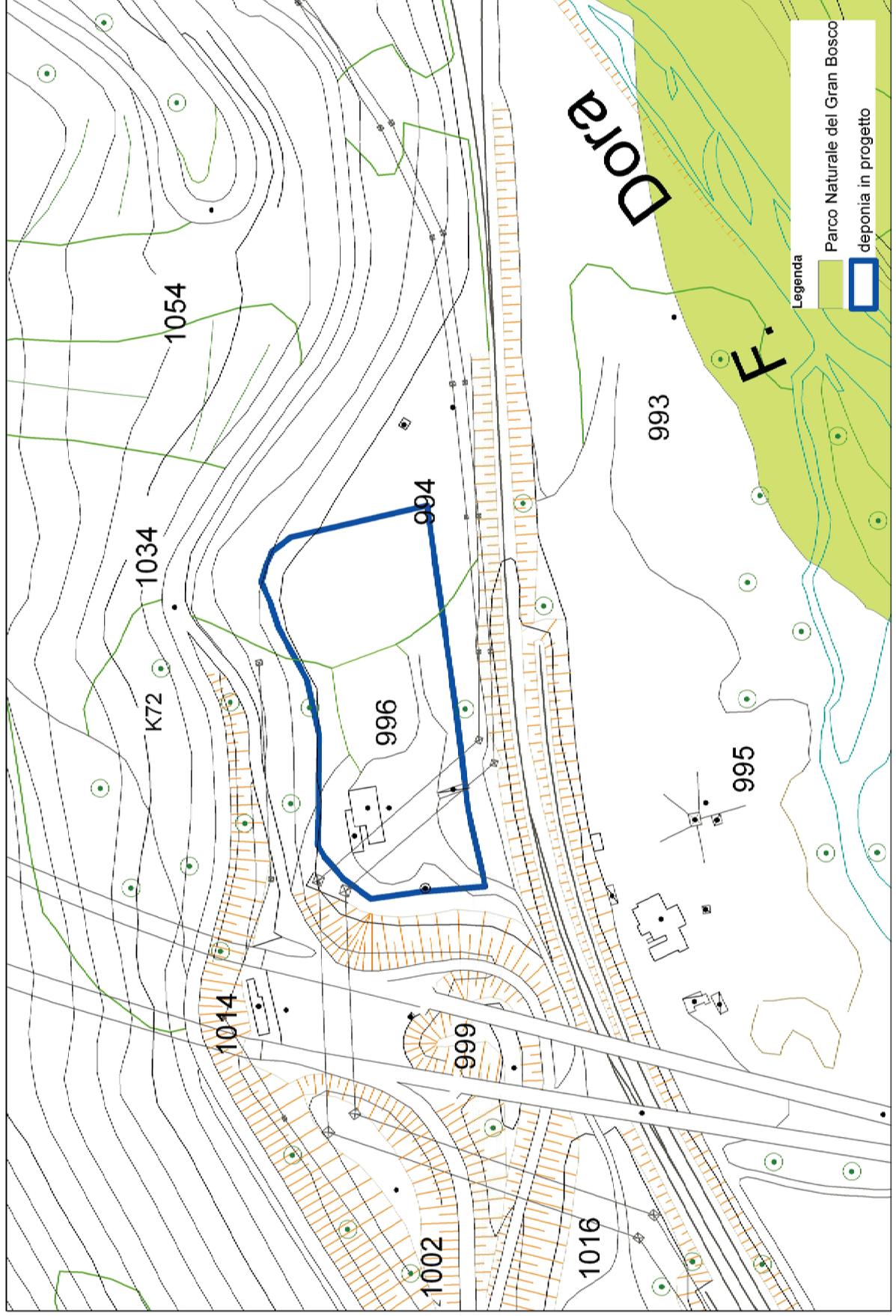
Tav. 4 – **Fasce Fluviali** – Deliberazione della Giunta Regionale 23 aprile 2007, n. 40-5775 “progetto di variante al Piano stralcio per l’Assetto idrogeologico (PAI) – Variante delle fasce fluviali del fiume Dora Riparia. Controdeduzioni alle osservazioni e proposta di parere regionale.

IFFI – Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani

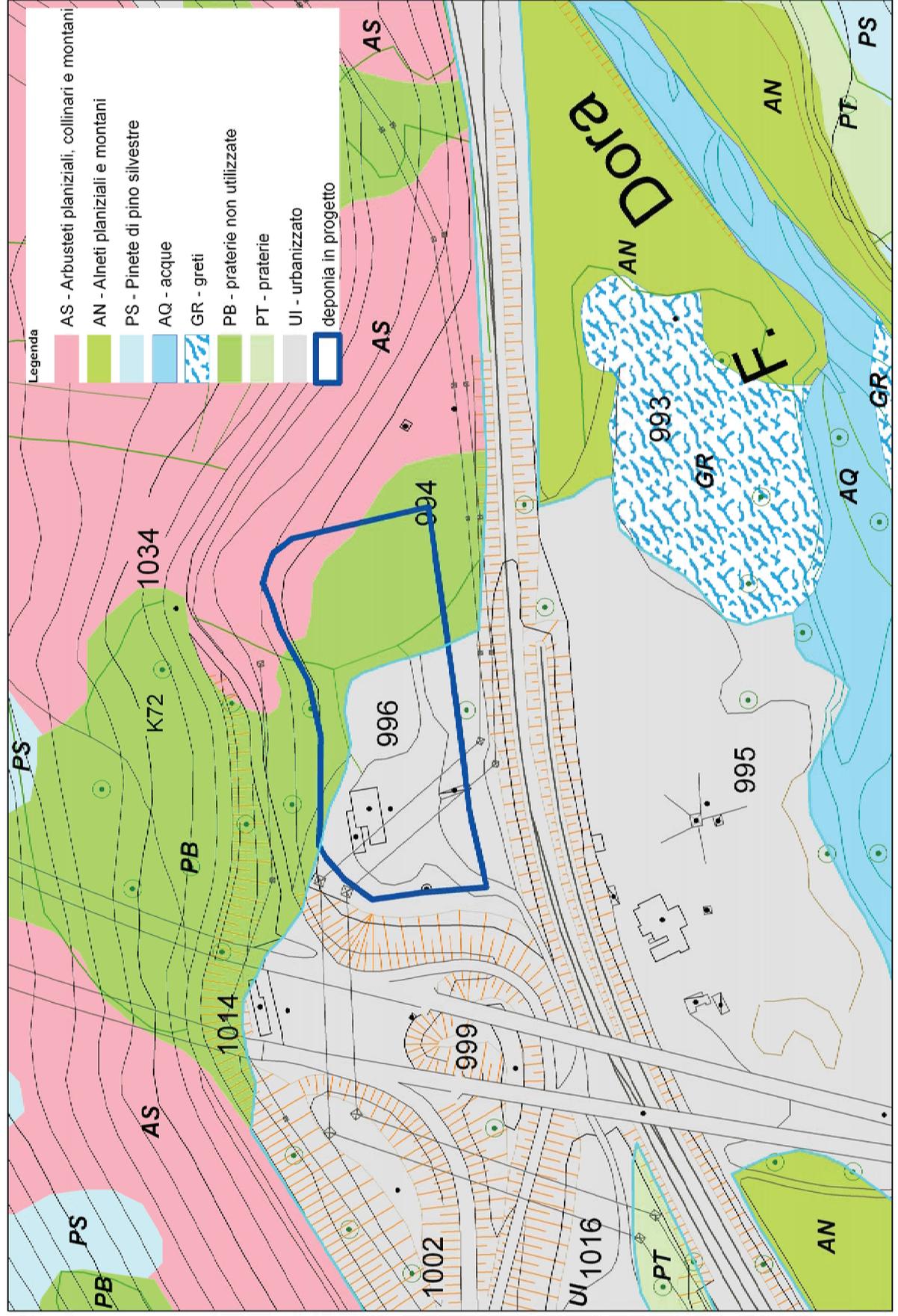




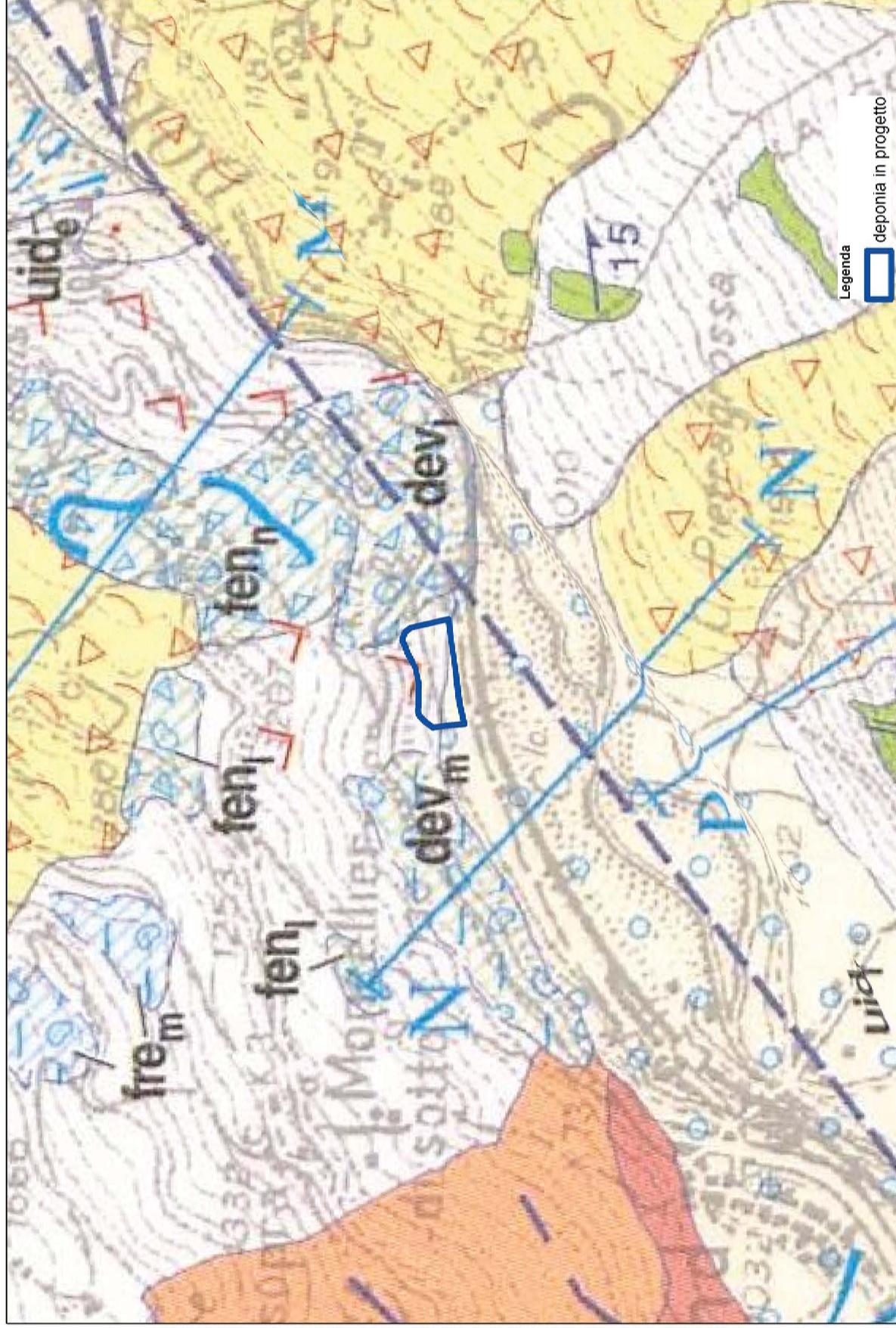
Tav. 6 – Confine del Parco Naturale del Gran Bosco



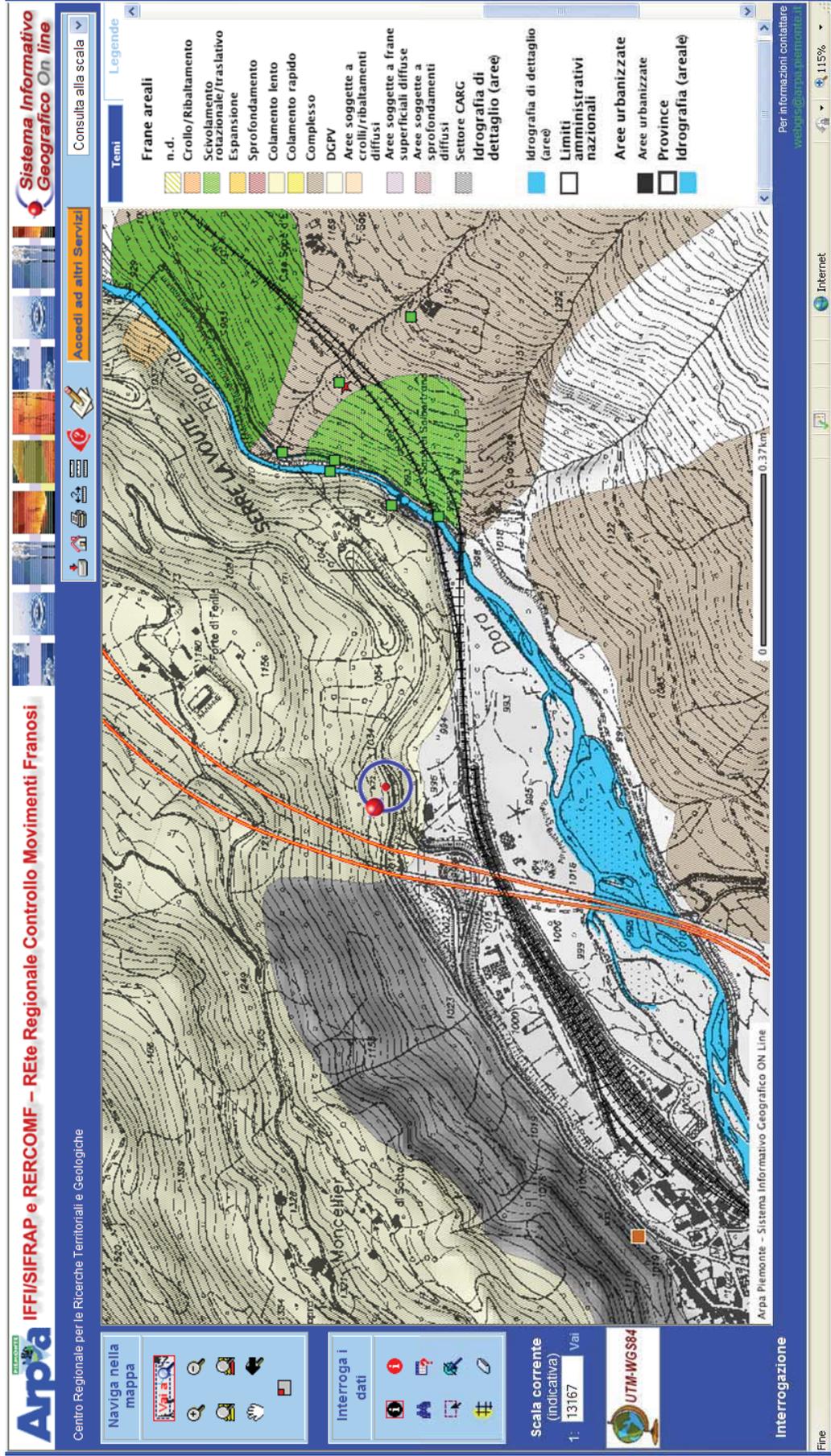
Tav. 7 – Carta dell'uso del suolo



Tav. 8 – Carta geologica d'Italia scala 1 : 50.000, Foglio 153 "Bardonecchia"



Tav. 9 – ARPA - RerComF



## RELAZIONE DI CALCOLO

### Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

### Introduzione all'analisi di stabilità

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

- Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
- In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

### Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza  $F = \tau_f / \tau$ .

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius, Bishop, Janbu ecc.*).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

### Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

- $n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;
- $n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$
- $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;
- $(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .

### Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$ .

mentre le equazioni a disposizione sono:

- Equazioni di equilibrio dei momenti  $n$
- Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$
- Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$
- Equazioni relative al criterio di rottura  $n$
- Totale numero di equazioni  $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2) - (4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quando si fa l'assunzione che

$N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le (n-2) indeterminazioni.

**Metodo di BISHOP (1955)**

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\Sigma F_v = 0, \Sigma M_0 = 0$ , Criterio di rottura.

$$F = \frac{\Sigma \{ c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di  $F$  e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

**VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA**

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_v = K_v \cdot W$$

Essendo:

$F_H$  e  $F_v$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

$K_o$ : Coefficiente sismico orizzontale

$K_v$ : Coefficiente sismico verticale.

**Calcolo coefficienti sismici**

Le NTC 2008 calcolano i coefficienti  $K_o$  e  $K_v$  in dipendenza di vari fattori:

$$K_o = \beta_s \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_o$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S S_T a_g$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica):  $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ; è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

$S_T$  (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di  $S_T$  varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1(S_T = 1.0) \quad T2(S_T = 1.20) \quad T3(S_T = 1.20) \quad T4(S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e  $PVR$  probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminare un numero elevato di potenziali superfici. Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da  $m$  righe e  $n$  colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

### Analisi di stabilità dei pendii con BISHOP

Zona	Salbertrand
Lat./Long.	45.0702182825452/6.87835157837925
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

### Coefficienti sismici [N.T.C.]

#### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

#### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.36	2.44	0.2
S.L.D.	50.0	0.47	2.44	0.22
S.L.V.	475.0	1.2	2.48	0.27
S.L.C.	975.0	1.52	2.5	0.28

### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.54	0.2	0.011	0.0055
S.L.D.	0.705	0.2	0.0144	0.0072

S.L.V.	1.8	0.24	0.0441	0.022
S.L.C.	2.2306	0.24	0.0546	0.0273

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.011  
 Coefficiente azione sismica verticale 0.0055

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

### Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0		36.00	1800.00	2100.00	0.00	smarino
2	0		34	1800	2100	0.00	depositi di versante

G0: Modulo di taglio dinamico a basse deformazioni; G: Modulo di taglio dinamico; Dr: Densità relativa; OCR: Grado di sovraconsolidazione; IP: Indice di plasticità

Strato	G0 (KPa)	G (KPa)	Dr (%)	OCR	IP (%)
1	0	0	0	1	0
2					

### Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

### Analisi dei concii. Superficie...xc = 104.408 yc = 33.103 Rc = 14.903 Fs=3.6666

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	2.53	-40.1	3.31	5464.11	60.11	30.05	0.0	36.0	0.0	8428.4	1518.3
2	2.53	-28.2	2.87	13343.58	146.78	73.39	0.0	36.0	0.0	16768.4	3020.6
3	2.53	-17.6	2.65	18307.56	201.38	100.69	0.0	36.0	0.0	20371.1	3669.6
4	2.53	-7.6	2.55	20988.73	230.88	115.44	0.0	36.0	0.0	21694.1	3908.0
5	2.53	2.2	2.53	21646.68	238.11	119.06	0.0	36.0	0.0	21513.7	3875.5
6	2.16	11.3	2.2	17475.91	192.24	96.12	0.0	34.0	0.0	17245.2	2884.0
7	2.9	21.5	3.12	24290.22	267.19	133.6	0.0	34.0	0.0	24497.6	4096.9
8	2.53	33.4	3.03	22274.1	245.02	122.51	0.0	34.0	0.0	24028.9	4018.5
9	1.67	43.7	2.31	13516.81	148.68	74.34	0.0	34.0	0.0	16113.0	2694.7
10	3.39	62.2	7.28	18294.18	201.24	100.62	0.0	34.0	0.0	29806.9	4984.9