

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE  
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESEPARTE IN TERRITORIO ITALIANO – PROGETTO IN VARIANTE  
(OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE N. 235 DELLA DELIBERA CIPE 19/2015)

CUP C11J05000030001 – PROGETTO DEFINITIVO

## GEOLOGIE – GEOLOGIA

## GENERAL – GENERALE

GESTION DES MATERIAUX D'EXCAVATION – GESTIONE DEL MATERIALE DI SCAVO  
DOCUMENT COTE ITALIE – DOCUMENTI LATO ITALIA

## Analyse des matériaux d'excavation et valorisation – Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	30/11/2012	Première diffusion / Prima emissione	D. MURGESE / D. TESTA (SEA)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
A	31/01/2013	Révision suite aux commentaires LTF / Revisione a seguito commenti LTF	D. MURGESE / D. TESTA (SEA)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
B	05/02/2013	Passage status AP/ Passaggio stato AP	D. MURGESE / D. TESTA (SEA)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
C	05/01/2017	Pemière émission phase PRF-PRV / Prima emissione fase PRF-PR	A. RIELLA (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
D	21/03/2017	Reception observations TELT / Recepimento osservazioni TELT	A. RIELLA (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
E	14/04/2017	Reception observations TELT / Recepimento osservazioni TELT	A. RIELLA (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
F	05/05/2017	Reception observations TELT / Recepimento osservazioni TELT	A. RIELLA (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI

CODE DOC	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>V</b>	<b>C</b>	<b>3</b>	<b>B</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>F</b>
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

<b>A</b>	<b>P</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>T</b>
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	<b>C3B</b>	//	//	<b>00</b>	<b>04</b>	<b>03</b>	<b>10</b>	<b>02</b>
------------------------------	------------	----	----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

<b>ECHELLE / SCALA</b>
-



TELT sas – Savoie Technolac - Bâtiment "Homère"  
13 allée du Lac de Constance – 73370 LE BOURGET DU LAC (France)  
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75  
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952  
Propriété TELT Tous droits réservés – Proprietà TELT Tutti i diritti riservati



## SOMMAIRE / INDICE

1. INTRODUZIONE .....	12
1.1 Quadro normativo .....	12
1.1.1 PARTE 1: studio bibliografico delle esperienze pregresse sulle caratteristiche del marino in termini di possibilità di valorizzazione e gestione ambientale .....	13
1.1.2 PARTE 2: risultati della campagna di analisi dei materiali degli ammassi rocciosi per la valorizzazione del marino e per la sua caratterizzazione ambientale .....	13
1.1.3 PARTE 3: calcolo dei volumi di scavo e dei quantitativi attribuibili alle differenti classi di valorizzazione .....	13
1.1.4 PARTE 4: bilancio dei materiali di scavo .....	13
1.1.5 PARTE 5: gestione dei materiali di scavo classificati come rifiuto e dei materiali di scavo in esubero .....	13
2. PARTE 1: ANALISI DELLE ESPERIENZE PREGRESSE DI VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL MARINO IN TERMINI DI POSSIBILITÀ DI VALORIZZAZIONE E GESTIONE AMBIENTALE .....	14
2.1 Progetto Alpransit .....	15
2.1.1 La valorizzazione del marino .....	19
2.2 Progetto NLTL: realizzazione delle discenderie di Modane, La Praz e Saint Martin La Porte .....	23
2.2.1 Valorizzazione del marino .....	24
2.3 Progetto di ammodernamento dell'impianto idroelettrico di Nant de Drance (Svizzera) .....	28
2.4 Scavo del cunicolo pilota Aica (Progetto del Brenner Base Tunnel) .....	32
2.5 Conclusioni .....	34
3. PARTE 2: RISULTATI DELLA CAMPAGNA DI ANALISI DEI MATERIALI DEGLI AMMASSI ROCCIOSI PER LA VALORIZZAZIONE DEL MARINO E PER LA SUA CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE .....	34
3.1 Identificazione delle carote .....	35
3.2 Analisi di laboratorio per la valorizzazione dei materiali di scavo .....	41
3.2.1 Valorizzazione dei materiali di scavo .....	41
3.3 Risultati delle analisi per la valorizzazione dei materiali .....	41
3.3.1 Point load test Is50 .....	42
3.3.2 Resistenza a compressione monoassiale .....	43
3.3.3 Frantumabilità dei campioni .....	43
3.3.4 Prova Los Angeles .....	43
3.3.5 Tenore in solfati, zolfo totale e cloruri .....	43
3.3.6 Assorbimento in acqua .....	43
3.3.7 Esame petrografico .....	44
3.3.8 Componenti mineralogici non idonei .....	44
3.3.9 Reattività degli aggregati in presenza di alcali .....	44
3.4 Definizione delle classi di utilizzo e dei coefficienti di valorizzazione .....	45
4. PARTE 3: CALCOLO DEI VOLUMI DI SCAVO E DEI QUANTITATIVI ATTRIBUIBILI ALLE DIFFERENTI CLASSI DI VALORIZZAZIONE .....	48
4.1 Classi di utilizzo e requisiti progettuali .....	48
4.1.1 Classe C11 .....	49
4.1.2 Classe C12 .....	50
4.1.3 Classe 3 .....	52
4.2 Attribuzione dei coefficienti di valorizzazione .....	54

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

4.2.1	Coefficienti Classe C11 .....	54
4.2.2	Coefficienti Classe C12 .....	54
4.2.3	Coefficienti in Classe C13b .....	54
4.2.4	Prescrizioni per il confezionamento del calcestruzzo in relazione al rischio reazione alcali-alcali-aggregati (RAG) .....	54
4.3	Bilancio dei materiali.....	55
4.3.1	Analisi delle produzioni.....	58
4.4	Analisi dei fabbisogni e bilancio complessivo dei materiali .....	60
4.5	Analisi di produzione nel tempo.....	63
4.6	Gestione dei materiali di scavo classificati come rifiuto e dei materiali di scavo in esubero.....	66
5.	BIBLIOGRAFIA .....	67
6.	ALLEGATO 1: SCHEDE DEGLI INTERVALLI DI CAMPIONAMENTO.....	69
7.	ALLEGATO 2: CERTIFICATI DELLE PROVE DI LABORATORIO PER LA VALORIZZAZIONE DEI MATERIALI.....	70
8.	ALLEGATO 3: RISULTATI DEGLI STUDI PER LA VALORIZZAZIONE DEI CALCESCISTI DELLA ZONA PIEMONTESE, DEI MICASCISTI DI CLAREA E DEGLI GNEISS APLITICI .....	71
9.	ALLEGATO 4: QUANTITÀ E VOLUMI DI MATERIALE DI SCAVO.....	72
10.	ALLEGATO 5: RISULTATI DELLO STUDIO PER LA VALORIZZAZIONE DEL MARINO DELL'APR2006.....	84
11.	ALLEGATO 6: SCHEMA FUNZIONALE DELLA STAZIONE DI TRATTAMENTO E VALORIZZAZIONE DEL MATERIALE DI SCAVO DI MODANE88	
12.	ALLEGATO 7 .....	89

**LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE**

Figura 1	– Schema del sistema di collegamenti ferroviari del progetto AlpTransit. ....	15
Figura 2	– Schema progettuale del tunnel di base d Loetschberg.....	16
Figura 3	– Sezione geologica del Tunnel di base del Loetschberg (da Loew, et al., 2000).....	16
Figura 4	– Profilo geologico schematico del tunnel di base del San Gottardo (Heinz, 2008) ..	17
Figura 5	– Sviluppo lineare del Tunnel del San Gottardo (AlpTransit, Alp Transit Gotthard - Nuove vie di transito attraverso il cuore della Svizzera, 2012) .....	17
Figura 6	– Portali e cunicoli di accesso per lo scavo del tunnel di base del San Gottardo (AlpTransit, Alp Transit Gotthard - Nuove vie di transito attraverso il cuore della Svizzera, 2012).....	18
Figura 7	- Tracciato del Tunnel di base Ceneri (AlpTransit, Alp Transit Gotthard - Nuove vie di transito attraverso il cuore della Svizzera, 2012) .....	18
Figura 8	– Sezione geologica lungo il tunnel di base Ceneri (Stocker, 2007) .....	19
Figura 9	– Parametri e soglie di accettazione del marino per la produzione di aggregati nel progetto Alptransit (Thalmann, Concrete aggregate production with tbm-muck – Experiences gained on the Alptransit tunnel projects, 1999); .....	21
Figura 10	– Bilancio degli inerti per il tunnel di base del San Gottardo (Rupert, 2011). ....	22
Figura 11	– Bilancio degli inerti per il tunnel Ceneri (AlpTransit, Projektkennzahlen Rohbau Ceneri-Basistunnel, 2011).....	23
Figura 12	– Ubicazione delle discenderie rispetto al tracciato del Tunnel di Base sul lato francese (linee blu).....	23

Figura 13 – Sezione geologica della discenderia di Villarodin Bourget/Modane (rif. PD2C3B0030).....	25
Figura 14 – Sezione geologica della discenderia di La Praz (rif. PD2C3B0018).....	25
Figura 15 –Sezione geologica della discenderia di Saint Martin La Porte (rif. PD2C3B0017). .....	26
Figura 16 – Schema funzionale dell'impianto idroelettrico di Nant de Drance.....	28
Figura 17 – Carta geologica dell'area di progetto.....	29
Figura 18 - Schema di funzionamento del sistema di trattamento e valorizzazione del marino adottato per i lavori di ammodernamento dell'impianto idroelettrico di Nant de Drance .....	31
Figura 19 – Schema del tunnel di base del Brennero. In giallo (in basso a sinistra) è presente la traccia del cunicolo esplorativo Aica (Alfreider & Rieder, 2011). .....	32
Figura 20 – Confronto tra la curva granulometrica del marino del tunnel Aica a seguito di frantumazione e la curva teorica di Bolomey per la preparazione di un calcestruzzo con indice di lavorabilità 14 (Pepino, 2009).....	33
Figura 21 – Schema tipologico di impianto di lavorazione suggerito per la produzione di aggregati per calcestruzzo a partire dal marino generato con lo scavo del cunicolo esplorativo Aica (Pepino, 2009).....	33
Figura 22 – Lato Francia: ubicazione planimetrica dei sondaggi F16 e F30bis (punti in verde) rispetto al tracciato del Tunnel di Base (linee blu e viola).....	37
Figura 23 – Lato Italia: ubicazione planimetrica dei sondaggi S4 e S5 (punti in verde) rispetto al tracciato del Tunnel di Base (linee blu e viola). Le linee nere rappresentano rispettivamente il tracciato della galleria di ventilazione di Clarea (sinistra) e del cunicolo esplorativo della Maddalena (destra).....	37
Figura 24 – Lato Italia: ubicazione planimetrica dei sondaggi S8 e S42 (punti in verde) rispetto al tracciato del Tunnel di Base (linee blu e viola).....	38
Figura 25 – Proiezione dei sondaggi considerati per il prelievo dei campioni sul profilo geologico del Tunnel di Base (barre verdi). .....	39
Figura 26 – Stratigrafie dei sondaggi considerati per il prelievo dei campioni. ....	40
Figura 27 – Schema adottato per la gestione del marino in funzione delle possibilità di utilizzo definite sulla base delle indagini condotte. ....	49
Figura 28 – Curve granulometriche teoriche per il marino ottenuto da scavo meccanizzato. .	52
Figura 29 – Curve granulometriche del marino prodotto con scavo meccanizzato .....	52
Figura 30 – Modalità di applicazione dei coefficienti di espansione e di riduzione dei volumi del marino in funzione della fase operativa .....	56
Figura 31 – Evoluzione nel tempo dei materiali prodotti dallo scavo delle opere in sotterraneo (in funzione della classe di valorizzazione) .....	63
Figura 32 – Evoluzione nel tempo della produzione di C11 e dei fabbisogni in calcestruzzo .	64
Figura 33 – Evoluzione nel tempo del materiale C12 prodotto dallo scavo delle opere in sotterraneo .....	64
Figura 34 – Evoluzione nel tempo del materiale C13 prodotto dallo scavo delle opere in sotterraneo .....	65

### LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Analisi delle rocce in fase ante-operam: parametri e valori di riferimento per la verifica dell'idoneità al reimpiego del materiale di scavo alla produzione di aggregati per calcestruzzi.....	20
Tabella 2 – Sintesi dei risultati del processo di valorizzazione del marino presso la STM di Modane.....	27
Tabella 3 – Elenco dei sondaggi considerati per le attività di campionamento e analisi.....	36

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

Tabella 4 – Elenco delle prove per la caratterizzazione dei materiali di scavo ai fini della valorizzazione.....	41
Tabella 5– Limiti di riferimento per i materiali idonei alla produzione di aggregati per calcestruzzi.....	42
Tabella 6 – Sintesi dei risultati delle analisi sui campioni esaminati distinti per unità litologica.....	45
Tabella 7 – Parametri di valutazione del marino per la sua attribuzione alla classe C11. ....	50
Tabella 8 – Coefficienti di valorizzazione utilizzati per la classe C11. ....	54
Tabella 9 – Coefficienti di valorizzazione utilizzati per la classe C12. ....	54
Tabella 10 – Aliquota di marino contenente amianto. ....	54
Tabella 11 – Parametri utilizzati per il calcolo dei volumi di scavo e del bilancio dei materiali .....	55
Tabella 12 – Cantieri e parti d'opera ad essi associati. ....	57
Tabella 13 – Suddivisione in classi delle quantità prodotte con la realizzazione delle opere in progetto.....	59
Tabella 14 – Sintesi delle produzioni previste in corrispondenza del cantiere all'Imbocco Est del Tunnel di Base.....	59
Tabella 15 – Sintesi delle produzioni previste in corrispondenza del cantiere all'Imbocco Ovest del Tunnel di Interconnessione. ....	59
Tabella 16 – Sintesi delle produzioni previste in corrispondenza del cantiere all'Imbocco Ovest del Tunnel di Interconnessione. ....	60
Tabella 17 – Suddivisione in classi delle quantità del settore Maddalena. ....	60
Tabella 18 – Fabbisogni in termini di aggregati per calcestruzzo (C11) distinti per ciascun cantiere. ....	61
Tabella 19 – Ripartizione del materiale di classe C12 utilizzabile per le opere della Piana di Susa e dell'Innesto a Bussoleno. ....	61
Tabella 20 – bilancio complessivo. ....	61
Tabella 21 – produzione di smarino di classe C13b in funzione della litologia e opera.....	62
Tabella 22 – bilancio relativo al cantiere industriale di Salbertrand.....	62

## RESUME / RIASSUNTO

Ce rapport a été rédigé pour illustrer les aspects suivantes :

- 1) examen des résultats des processus de valorisation des matériaux d'excavation pour les projets de grands ouvrages en contexte alpin,
- 2) caractérisation des matériaux excavés en vue d'une possible valorisation et la gestion environnementale,
- 3) les procédures de gestion des matériaux d'excavation

Ce rapport prend en compte aussi les prescriptions de l'arrêté CIPE du CIPE del 20 febbraio 2015 nn. 235. « La variante sicurezza », par rapport au « Progetto Definitivo Approvato », détermine les modifications suivantes dans le projet: le déplacement du site principal de Susa à Maddalena, l'élimination du chantier de Clarea, la réalisation des nouveaux ouvrages souterrains, (tunnel Maddalena 2 et Maddalena 1bis et des galeries de connexion 1 et 2).

L'analyse des processus de valorisation des matériaux d'excavation dans le contexte de projets de grands ouvrages a pris en compte les travaux des tunnels du projet Alptransit (Gotthard, Loetschberg et Ceneri), des descenderies de Villarodin Bourget/Modane, La Praz et Saint-Martin-La-Porte du projet de la Nouvelle Ligne Turin-Lyon (NLTL) et les études expérimentales conduites pendant les travaux de réalisation de la galerie de reconnaissance d'Aica, dans le projet du Tunnel de Base du Brenner.

Sur le thème de la valorisation des matériaux d'excavation pour la production des granulats pour béton, les expériences des travaux de construction des ouvrages souterrains réalisées dans les Alpes depuis 1940 à aujourd'hui ont également été pris en compte.

L'analyse de ces projets a permis de souligner des aspects très importants liés au processus de valorisation des matériaux

Il presente documento viene redatto al fine di illustrare i seguenti aspetti:

- 1) esame dei risultati dei processi di valorizzazione del marino nell'ambito di progetti di grandi opere in ambiente alpino,
- 2) caratterizzazione del marino in termini di possibilità di valorizzazione e gestione ambientale,
- 3) schemi di gestione dei materiali di scavo

Il contenuto del documento recepisce le prescrizioni della delibera CIPE del 20 febbraio 2015 nn. 235. La variante sicurezza, rispetto al Progetto Definitivo Approvato, determina le seguenti modifiche progettuali: lo spostamento del principale cantiere da Susa alla Maddalena, l'eliminazione del Cantiere di Clarea, lo spostamento del sito di Sicurezza di Clarea, la realizzazione di nuove opere in sotterraneo, (galleria della Maddalena 2 e Maddalena 1bis e le gallerie di connessione 1 e 2).

L'esame dei processi di valorizzazione del marino nell'ambito di progetti di grandi opere ha preso in considerazione i lavori di realizzazione dei tunnel del progetto Alptransit (Gottardo, Loetschberg e Ceneri), i lavori di realizzazione delle discenderie di Villarodin Bourget/Modane, La Praz e Saint Martin La Porte del progetto della Nuova Linea Torino-Lione (NLTL) e gli studi sperimentali dei lavori di realizzazione del cunicolo esplorativo Aica, nell'ambito del Progetto del Brenner Base-Tunnel.

Il tema della valorizzazione del marino per la produzione di aggregati per calcestruzzo è inoltre approfondita da un compendio delle esperienze derivate dai progetti di realizzazione di opere in sotterraneo in ambiente alpino che copre un arco di tempo che va dal 1940 ai nostri giorni.

L'esame dei progetti considerati permette di evidenziare alcuni aspetti importanti relativi al processo di valorizzazione del marino derivante dallo scavo di opere in sotterraneo:

d'excavation provenant de la réalisation des ouvrages souterrains :

- 1) les coefficients de valorisation des matériaux d'excavation sont liés en premier lieu aux caractéristiques géomécaniques du massif rocheux excavé. Dans le cas des roches métamorphiques les coefficients de valorisation varient entre 0,4 (formations schisteuses riches en mica ou d'autres minéraux pénalisant) et 0,8 (faciès carbonatiques massifs ou gneissiques) en fonction de la nature de la roche;
- 2) les coefficients de valorisation sont également dépendants du processus de traitement. La configuration des concasseurs et des systèmes de contrôle doivent être articulés de manière à fournir plusieurs étapes de concassage et de criblage, de manière à produire des agrégats de granulométrie répondant aux exigences du projet en termes de classes granulométriques et de quantité. En ce qui concerne le pourcentage de phyllosilicates dans la fraction fine, il faut prévoir la présence de systèmes de réduction de la quantité de ce type de minéral. Compte tenu de la variabilité des typologie de roches traversées pendant l'excavation des ouvrages souterrains d'une longueur significative, les systèmes de traitement et de valorisation doivent être conçus de manière à permettre un haut degré d'adaptabilité des processus (par exemple, systèmes de concassage modulaires qui comprennent un concasseur à percussion vertical, la présence de systèmes de commande automatique du processus de traitement, la présence de laboratoires dans le chantiers afin de tester les propriétés du matériel de façon à définir des procédures de traitement plus adaptées etc.), en fonction du matériau qui est géré, pour assurer le meilleur résultat en termes de qualité et quantité des inerts produits;
- 3) la valorisation a un impact important sur l'état d'avancement des travaux et leur coût. Au moment de l'exécution, il est important de fournir un cadre pour la

- 4) i coefficienti di valorizzazione del materiale di scavo sono legati in primo luogo alle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi scavati. Nel caso di rocce metamorfiche i coefficienti di valorizzazione risultano compresi tra 0,4 (formazioni scistose ricche in mica o altri minerali penalizzanti) e 0,8 (facies carbonatiche massive o gneissiche) in funzione del tipo di roccia;
- 5) il coefficiente di valorizzazione finale è inoltre funzione della modalità di lavorazione del materiale di scavo. La configurazione dei frantoi e dei sistemi di vagliatura deve essere articolata in modo da prevedere più fasi di macinazione e selezione del materiale, così da produrre aggregati nella giusta ripartizione in termini di classi granulometriche e quantità. Relativamente alla percentuale di fillosilicati nella frazione fine, si devono prevedere sistemi di abbattimento del quantitativo di questa tipologia di minerali. Considerata la variabilità delle tipologie di ammassi rocciosi attraversati nel corso dello scavo di opere in sotterraneo di lunghezza considerevole, il sistema di trattamento e valorizzazione deve essere concepito in modo da consentire un elevato grado di adattabilità dei processi (es. sistemi di frantumazione modulari che includano un frantoio ad impatto verticale, presenza di sistemi di controllo automatico dei processi di trattamento, presenza di laboratori in cantiere per testare le proprietà del marino così da definire prontamente le procedure di lavorazione ecc.), in funzione del materiale che viene gestito, per garantire sempre la massima resa in termini di qualità e quantità di inerti prodotti;
- 6) la valorizzazione ha rilevanti ripercussioni sull'avanzamento dei lavori ed il relativo costo. In fase di esecuzione è importante prevedere una struttura della direzione lavori specificamente dedicata al tema della valorizzazione del marino.

Nella presente fase progettuale, rispetto al Progetto Definitivo approvato (PD2), sono

maîtrise d'ouvrage spécifiquement adressé dédié à la question de la valorisation des matériaux d'excavation.

Dans cette phase du projet par rapport au « Progetto Definitivo approvato » (PD2), de nouveaux tests et de nouvelles études sur les matériaux appartenant principalement aux formations CL, AMC et GCC ont été considérées. Ces études, dont l'objectif est de déterminer la capacité d'utilisation des matériaux d'excavation comme agrégat pour le béton, viennent donc compléter la campagne d'analyse du PD2 qui constitue déjà une intégration des études déjà réalisées au cours de l'APR2006.

Sur la base des données des essais en laboratoire, des nouvelles études et des expériences précédentes côté France, ils ont été mise à jour les formations attribuées à la classe C11 et leurs coefficients de valorisation. Ces valeurs sont définies sur la base d'une prévision d'adoption d'un processus de traitement structuré de la façon suivante:

- concassage primaire (ex. concasseur à mâchoires) pour la réduction de la granulométrie du matériel excavé en conventionnel;
- concassage secondaire (ex. concasseur giratoire) pour la réduction du D max du marin pour obtenir un 0/50mm ou 0/60 mm;
- concassage tertiaire (ex. impacteur à axe vertical à vitesse variable) pour améliorer le coefficient de forme et permettre le recyclage des granulats excédentaires;
- lavage des granulats produits avec une installation permettant la séparation et le traitement des matériaux fins (ex. floculation ou pressage des boues)

Les échantillons des formations GCK et AMD ne sont pas adaptés à la production de granulats pour béton à cause de la faible résistance mécanique à la compression et à l'usure. Aucun des échantillons examinés n'est potentiellement alcali-réactif ou ne manifeste la présence de soufre, ou de

state considerate nuove prove di laboratorio e nuovi studi condotti sui materiali appartenenti prevalentemente alle formazioni CL, AMC e GCC. Tali studi, finalizzati alla valutazione dell'idoneità del marino da valorizzare come inerte per calcestruzzo vanno dunque completare la campagna di analisi del PD2 che a sua volta costituiva un'integrazione di quelle già eseguite nel corso dell'APR2006.

Sulla base dei dati delle prove di laboratorio, dei nuovi studi condotti e delle esperienze pregresse sul lato francese, sono state aggiornate le formazioni attribuite alla C11 ed i relativi coefficienti di valorizzazione. Tali valori sono definiti in base ad una previsione di adozione di un processo di valorizzazione che preveda i seguenti elementi:

- frantumazione primaria (es. frantoio a mascelle) per la riduzione della pezzatura del materiale scavato con metodo tradizionale;
- frantumazione secondaria (es. mulino ad attrito o frantoio a cono) per la riduzione del diametro massimo del marino per ottenere frazioni granulometriche 0/50 mm o 0/60 mm;
- frantumazione terziaria (es. frantoio ad urto ad asse verticale a velocità variabile), per migliorare il coefficiente di forma e permettere il riciclaggio degli aggregati in eccesso;
- pulizia degli aggregati prodotti con un sistema di separazione e trattamento dei materiali fini (es. floculazione o filtropressa).

I campioni delle formazioni GCK e AMD non sono ritenuti idonei alla produzione di inerti per calcestruzzo per la ridotta resistenza meccanica alla compressione e all'usura. Nessuno dei campioni esaminati risulta potenzialmente alcali-reattivo o presenta zolfo, cloruri e solfati in percentuali superiori ai limiti previsti dalle norme di riferimento.

Coerentemente con le fasi progettuali

chlorures ou de sulfates en quantités qui dépassent les limites fixées par les normes.

Conformément aux phases précédentes du projet, les formations concernées par les activités d'excavation des ouvrages souterrains ont été divisés en classes de valorisation:

- C11: matériaux appropriés pour la production de granulats pour le béton;
- C12: matériaux appropriés pour la construction de remblais;
- C13a: matériaux à utiliser pour les interventions de réaménagement environnementale, subséquent les étude sur la présence d'amianté vérifié sur l'échantillon tel quel, avant tamisage, comme prévu par la norme UNI10802-pg. 12
  - C13b: C13b: matériaux considérés comme déchets spéciaux dangereux qui doivent être éliminés.

Sur la base des résultats de l'analyse menée au cours des différentes phases du projet et du retour d'expérience acquis après de l'analyse des projets de construction de grands ouvrages souterrains, ont été définis, les coefficients de valorisation suivants:

Formations de la classe C11 de valorisation - Gneiss aplitiques (AMC): 0,55 ; Micaschistes et gneiss fin avec glaucophane ± albitisés (CL): 0,65 ; Quartzites micacés (QSE): 0,5 ; Schiste - carbonatés phylliteux (GCC): 0,60

Formations de la classe C12 de valorisation : Gneiss albitiques (GCK): 0,8, Gneiss albitiques passants à micaschistes quarzeuses (AMD): 0,8; Dépôts quaternaires (Val Cenischia): 0,8; Paragneiss lités avec des intercalations de quartzites (TPG): 0,8-0,95, Calcemicaschistes (TCS): 0,8-0,95.

Dans la classe C13a se trouvent les roches provenant des les zones de faille (dans laquelle on assume la présence abondante d'argile) le cataclasites carbonatées du tunnel de base (BCC) ; les dépôts du quaternaire qui ne sont pas utilisables pour la réalisation des

precedenti, le formazioni interessate dalle attività di scavo delle opere sotterranee sono state suddivise in classi di valorizzazione:

- C11: materiali idonei per la produzione di aggregati per calcestruzzi;
- C12: materiali idonei per la realizzazione di rilevati;
- C13a: materiali da utilizzare per interventi di ripristino ambientale, previa la determinazione certa sulla presenza o l'assenza d'amianto, verificata sul campione tal quale, non setacciato, come previsto dalla norma UNI10802-pg. 12
- C13b: materiali classificati come rifiuto speciale pericoloso da smaltire.

Sulla base dei risultati delle analisi condotte durante le varie fasi progettuali, unitamente al ritorno di esperienza acquisito con l'esame dei progetti di realizzazione di grandi opere in sotterraneo, sono stati definiti i seguenti coefficienti di valorizzazione:

Formazioni ricadenti nella classe C11 di valorizzazione - Gneiss aplitici (AMC): 0,55; Micascisti e gneiss minuti a glaucofane ± albitizzati (CL): 0,65; Quarziti micacee (QSE): 0,5; Scisti carbonatico filladici (GCC): 0,60.

Formazioni ricadenti nella classe C12 di valorizzazione - Gneiss albitici (GCK): 0,8; Gneiss albitici passanti a micascisti quarzosi (AMD): 0,8; Depositi Quaternari (fondovalle Cenischia): 0,8; Paragneiss listati con intercalazioni di quarziti (TPG): 0,8-0,95; Calcemicascisti (TCS): 0,8-0,95.

Nella classe C13a ricadono le rocce provenienti da zone di faglia (dove si assume la possibile presenza di abbondante argilla); le cataclasiti carbonatiche del Tunnel di Base (BCC); i depositi quaternari non valorizzabili per la realizzazione di rilevati (zone di imbocco del Tunnel di Interconnessione); la parte non valorizzabile dei litotipi attribuiti

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

remblais (zone d'accès au Tunnel di Interconnessione) et la partie pas valorisée des classes C11 et C12.

Formations de la classe C13b – fraction des matériaux d'excavation avec un potentiel contenu en amiante (zone à Ecailles et zone Piémontaise du TdB; dépôts alluviaux TdB) pour les formations: BCC, GCC, GCK, la teneur en amiante est estimée à 0,0005 ; pour les formations: TCS et TPG du TdI: 0,0005 ; matériaux d'excavation avec amiante (zone de Mompantero TdB) - Formation OMB: 1, matériaux contenant concentrations d'arsenic dépassant les seuils définis par le D. Lgs. 152/2006 e s.m.i.

En fonction de la classification définie, du modèle géologique de référence et de la géométrie des ouvrages du projet les volumes d'excavation par classes de valorisation ont été calculés. Compte tenu des besoins du chantier en granulats pour béton et en matériaux pour la construction de remblais, a été défini le bilan des matériaux d'excavation:

alle classi C11 e C12.

Formazioni ricadenti nella classe C13b - Aliquota di marino con potenziale contenuto in amianto (zona a scaglie e zona Piemontese TdB; depositi alluvionali TdB) per le formazioni: BCC, GCC, GCK: 0,0005; aliquota di marino con potenziale contenuto in amianto (TdI) per le formazioni: TCS e TPG: 0,0005; Marino con amianto (zona Mompantero TdB) – formazione OMB: 1; materiale contenente arsenico in concentrazioni superiori ai valori soglia definiti dal D. Lgs. 152/2006 e s.m.i.

In funzione della classificazione definita, del modello geologico di riferimento e della geometria delle opere in progetto sono stati calcolati i volumi di scavo ripartiti nelle differenti classi di valorizzazione. Considerando i fabbisogni di cantiere per la produzione di inerti per calcestruzzo e per la costruzione di rilevati è stato definito il bilancio complessivo dei materiali di scavo.

<b>BILANCIO COMPLESSIVO</b>	<b>Materiale di Scavo</b>		Volume totale [Mt]	7.33	
			C11 [Mt]	2.92	
			C12 [Mt]	1.76	
			C13a [Mt]	2.34	
			C13b [Mt]	0.31	
	<b>Fabbisogni</b>		C11 Calcestruzzo (CIs) [Mt aggregati]	2.77	
			C12 Inerte per rilevati [Mt]	2.9	
	<b>Bilancio aggregati</b>		Fabbisogno anticipato [Mt]	0.03	
			Deficit iniziale [Mt]	0.03	
			Disponibilità [Mt]	2.92	
			Fabbisogno [Mt]	2.77	
			Surplus [Mt]	0.15+0.03	
	<b>Rilevati</b>	<b>Bilancio</b>		Aliq. iniziale C12 a deposito [Mt]	0.04
				Fabbisogno C12 [Mt]	2.9
				Disponibilità C12 [Mt]	1.72
				Deficit [Mt]	1.18
		<b>Possibili ottimizzazioni</b>		10% C13a [Mt]	0.23
				Aliquota surplus aggregati [Mt]	0.18
				Deficit rilevati Piana di Susa e Bussoleno [Mt] ottimizzato	0.77
	<b>(C12+C13a) prodotto da evacuare [Mt]</b>			0.04+2.34	
<b>C13b prodotto totale [Mt]</b>			0.31		

En observant le bilan des agrégats, la quantité de produit inerte provenant de la valorisation du matériel excavé (2,92 Mt) est suffisante pour assurer les besoins requis pendant toute la durée du chantier (2,77 Mt), à l'exception d'un débit d'environ 0,03 Mt au

Osservando il bilancio degli aggregati, il quantitativo di inerte prodotto dalla valorizzazione del materiale di scavo (2,92 Mt) è sufficiente a garantire il fabbisogno richiesto durante tutto l'arco delle lavorazioni (2,77 Mt), fatta eccezione per

début du travail, lorsque l'excavation n'a pas encore commencé. Le surplus global des agrégats est donc de 0,18 Mt.

La quantité de C12 apte à être utilisée pour les remblais est d'environ 1,76 Mt face à un besoin d'environ 2,9 Mt; cependant, en raison du phasage des travaux peut être utilisé que 1,72 Mt, par conséquent le déficit global est d'environ 1,18 Mt afin de compléter les remblais présents dans Susa et Bussoleno. Pour réduire ce déficit, pour la construction des remblais, est proposé l'utilisation de l'excédent des agrégats (0,18 Mt) et de la portion des matériaux de classe C13a, après un traitement approprié, que vient de la valorisation de la classe C11 (0,23 Mt). De cette façon, le déficit des matériaux pour remblais serait réduit à 0,77 Mt.

Le matériau total envoyé à dépôt définitif (type C13 et C12, parce que pas tout le C12 est réutilisée pour les remblais) est d'environ 2,38 Mt ; les matériaux devant être traité comme dangereux était d'environ 0,31 Mt.

un'aliquota di circa 0,03Mt ad inizio lavori quando ancora non si è iniziato a scavare. Il surplus totale di aggregati è dunque 0,18 Mt.

Il quantitativo di C12 quello che idoneo ad essere steso in rilevati è di circa 1,76 Mt a fronte di una necessità di circa 2,9 Mt; tuttavia in conseguenza del fasaggio delle lavorazioni potranno essere utilizzate solo 1,72 Mt; è presente pertanto un deficit globale di circa 1,18 Mt per poter completare i rilevati presenti a Susa e Bussoleno. Per ridurre tale deficit, per la costruzione dei rilevati viene proposto l'utilizzo del surplus di aggregati (0,18 Mt) e della quota parte del materiale di classe C13a proveniente dai processi di valorizzazione della classe C11, opportunamente tratta (0,23 Mt). In tal modo il deficit di materiale per rilevati si ridurrebbe a 0,77 Mt.

Il materiale complessivamente inviato a deposito definitivo (tipologia C13a e C12, in quanto non tutto il C12 viene utilizzato per i rilevati) è di circa 2,38 Mt; il materiale da trattare come rifiuto ammonta a circa 0,31 Mt.

## 1. Introduzione

L'attuale fase si inquadra nell'ambito del Progetto di Riferimento in Variante della Nuova Linea Ferroviaria Torino-Lione, finalizzata alla progettazione di un nuovo scenario di costruzione del collegamento ferroviario lato Italia a seguito della prescrizione n. 235 della delibera CIPE 19/2015.

In particolare, la variante sicurezza ha valutato una serie di scenari alternativi rispetto a quelli proposti nel precedente Progetto Definitivo approvato, coinvolgendo nuove aree e determinando la delocalizzazione del punto di attacco dello scavo del lato italiano del Tunnel di Base alla Maddalena di Chiomonte, in precedenza previsto a Susa.

Oltre a comportare lo spostamento del principale cantiere da Susa alla Maddalena, l'eliminazione del Cantiere di Clarea, la variante determina lo spostamento del sito di Sicurezza di Clarea (dal settore di confine alla zona compresa tra le pk 51+759 e 52+364) e la necessità di progettare e realizzare nuove opere in sotterraneo, tra le quali le nuove gallerie della Maddalena 2 e Maddalena 1bis e le gallerie di connessione 1 e 2.

Il presente documento viene redatto, in ottemperanza a tutte quelle prescrizioni strettamente legate alla "Variante Maddalena", al fine di illustrare i seguenti aspetti:

- 1) Esame dei risultati dei processi di valorizzazione del marino nell'ambito di progetti di grandi opere.
- 2) Caratterizzazione del marino in termini di possibilità di valorizzazione e gestione ambientale.

Il bilancio dei materiali di scavo e di costruzione, così come gli schemi di gestione di tali materiali sono oggetto della specifica relazione "PRVC3A\_Bilancio dei materiali di scavo e valorizzazione" e vengo descritti sinteticamente nella presente relazione.

### 1.1 Quadro normativo

Il quadro normativo di riferimento del presente elaborato è il seguente:

- D.P.R. 21 aprile 1996 "Regolamento di attuazione della direttiva 89/106/CEE relativa ai prodotti da costruzione"
- UNI EN 12620 – Norma italiana Aggregati per calcestruzzo
- UNI EN 8520-1 – Norma Italiana Aggregati per calcestruzzo – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 Parte 1: Designazione e criteri di conformità
- UNI EN 8520-1 – Norma Italiana Aggregati per calcestruzzo – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 Parte 2: Requisiti
- UNI 10006 – Costruzione e manutenzione delle strade: Tecniche di reimpiego delle terre
- D. Lgs. 152/2006 e s.m.i;
- DM Ambiente 10 agosto 2012 n. 161 – Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo
- DM del 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le costruzioni"

La gestione dei materiali di scavo generati nel corso della realizzazione delle opere in progetto implica la previsione di processi operativi definiti per le seguenti tipologie di materiali:

- Materiali da gestire come sottoprodotti (art. 184-bis del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i) secondo le modalità specificate dal DM 12/08/2012 n. 161)
- Materiale da gestire come rifiuti (art. 183 del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i.; D. M. Sanità 14 maggio 1996 - Normative e metodologie tecniche per gli interventi di bonifica)

### ***1.1.1 PARTE 1: studio bibliografico delle esperienze pregresse sulle caratteristiche del marino in termini di possibilità di valorizzazione e gestione ambientale***

In questa sezione del documento vengono illustrati i risultati dello studio bibliografico condotto per l'acquisizione di informazioni utili alla classificazione dei materiali di scavo in termini di possibilità di reimpiego, dal punto di vista geotecnico e dal punto di vista ambientale.

### ***1.1.2 PARTE 2: risultati della campagna di analisi dei materiali degli ammassi rocciosi per la valorizzazione del marino e per la sua caratterizzazione ambientale***

In questa sezione del documento vengono illustrati i risultati delle analisi e degli studi eseguiti su campioni prelevati, nel corso delle varie fasi progettuali, in corrispondenza degli ammassi rocciosi interessati dalla realizzazione delle opere in sotterraneo.

### ***1.1.3 PARTE 3: calcolo dei volumi di scavo e dei quantitativi attribuibili alle differenti classi di valorizzazione***

In questa sezione del documento le formazioni interessate dalle operazioni di scavo sono distinte in base alle possibilità di utilizzo in diverse classi. Per ciascuna classe sono indicati i coefficienti di valorizzazione. Sulla base di questa classificazione sono quindi calcolati i volumi di scavo.

### ***1.1.4 PARTE 4: bilancio dei materiali di scavo***

In questa sezione viene presentato il bilancio degli inerti in base ai fabbisogni di cantiere per la realizzazione dei calcestruzzi e la realizzazione di rilevati. Sulla base del bilancio sono inoltre descritte sinteticamente le modalità di gestione dei surplus di materiale e del marino da gestire come rifiuto.

### ***1.1.5 PARTE 5: gestione dei materiali di scavo classificati come rifiuto e dei materiali di scavo in esubero***

In questa sezione vengono illustrate in sintesi le procedure di gestione del marino classificato come rifiuto e sono indicati gli interventi di recupero ambientale per i quali è previsto l'impiego del materiale di risulta in eccesso rispetto ai fabbisogni di cantiere. Per ciascuno dei due temi sono forniti i riferimenti alle rispettive relazioni specialistiche

## **2. Parte 1: analisi delle esperienze pregresse di valutazione delle caratteristiche del marino in termini di possibilità di valorizzazione e gestione ambientale**

Il tema della valorizzazione del marino derivante dagli scavi in sotterraneo è divenuto con il passare del tempo un argomento di estrema rilevanza, in quanto la possibilità di riuso del materiale di scavo all'interno dei bilanci dei fabbisogni di cantiere determina vantaggi in relazione a numerosi aspetti: ambientali ed economici.

Dal punto di vista ambientale, la possibilità di ricorrere al materiale di scavo per la realizzazione di aggregati per calcestruzzo, per la realizzazione di opere in rilevato o per altri usi (es. interventi di riqualificazione ambientale) consente di minimizzare la necessità di approvvigionamento esterno. Ciò si traduce nella possibilità di non dover ricorrere in molti casi all'apertura di nuove cave con conseguente beneficio per l'ambiente. Questo aspetto è direttamente correlato alla gestione dei transiti di mezzi pesanti, in quanto gli impianti di trattamento e produzione possono essere installati in prossimità degli imbocchi, consentendo il trasferimento dei materiali in uscita ed in ingresso dalle gallerie a mezzo di nastri trasportatori, con riduzione degli impatti dovuti al traffico e all'emissione di polveri ed inquinanti.

Dal punto di vista economico, la riduzione della domanda esterna permette un abbattimento dei costi di approvvigionamento, in virtù della valorizzazione del marino.

Nel corso degli ultimi anni l'avvio di importanti progetti di realizzazione di opere in sotterraneo nel campo dei trasporti (tunnel di base connessi alle linee ferroviarie ad alta velocità) e della produzione di energia idroelettrica hanno permesso di maturare una sempre maggiore esperienza in ambito di gestione del marino e delle sue possibilità di valorizzazione. In funzione delle diverse litologie scavate, gli studi e le analisi condotte hanno approfondito temi quali gli effetti indotti sulle caratteristiche mineralogiche e merceologiche del marino in funzione della tecnica di scavo (tradizionale o meccanizzata) e della struttura degli impianti di lavorazione e preparazione degli aggregati per le costruzioni. Queste esperienze si sono tradotte in un incremento del patrimonio conoscitivo nell'ambito delle procedure di previsione dell'idoneità degli ammassi rocciosi al riuso per la realizzazione di aggregati per calcestruzzi e la valutazione quantitativa dei volumi producibili.

Nel presente capitolo sono illustrati in sintesi i principali risultati ottenuti nel corso della realizzazione di grandi opere recentemente realizzate o in fase di realizzazione, in riferimento alla caratterizzazione del marino sulla base delle tecniche di scavo e delle proprietà litologiche e geomeccaniche degli ammassi rocciosi

Lo studio condotto ha preso in considerazione le seguenti opere:

- 1) Progetto Alptransit: realizzazione dei tunnel del Gottardo, del Loetschberg e Ceneri (Svizzera)
- 2) Dati del processo di valorizzazione dei materiali di scavo delle discenderie realizzate nell'ambito del progetto NLTL sul lato francese (Francia)
- 3) Progetto di ammodernamento dell'impianto idroelettrico di Nant de Drance (Svizzera)
- 4) Progetto sperimentale sul marino del cunicolo pilota Aica (Progetto del Brenner Base Tunnel).

Le opere selezionate sono state scelte in quanto realizzate in contesti simili a quelli nel quale sarà realizzata la NLTL. In Allegato 7 è fornito un compendio nel quale sono riportati i risultati relativi alle esperienze maturate nel corso degli ultimi 50 anni.

## 2.1 Progetto Alptransit

Il progetto Alptransit prevede la costruzione di due nuove linee ferroviarie ad alta velocità nel territorio svizzero (Figura 1). La realizzazione delle linee comporta la realizzazione delle seguenti opere in sotterraneo:

- Tunnel di base del Loetschberg, avente una lunghezza di 34,6 km
- Tunnel di base del San Gottardo, avente una lunghezza di 57 km
- Tunnel di base Ceneri, avente una lunghezza di 15,4 km

### *Il tunnel di base del Loetschberg*

Il tunnel del Loetschberg è stato inaugurato nel 2007. Lo scavo del tunnel del San Gottardo è stato completato nel 2010, mentre lo scavo del tunnel di base Ceneri è in stato avanzato di completamento.

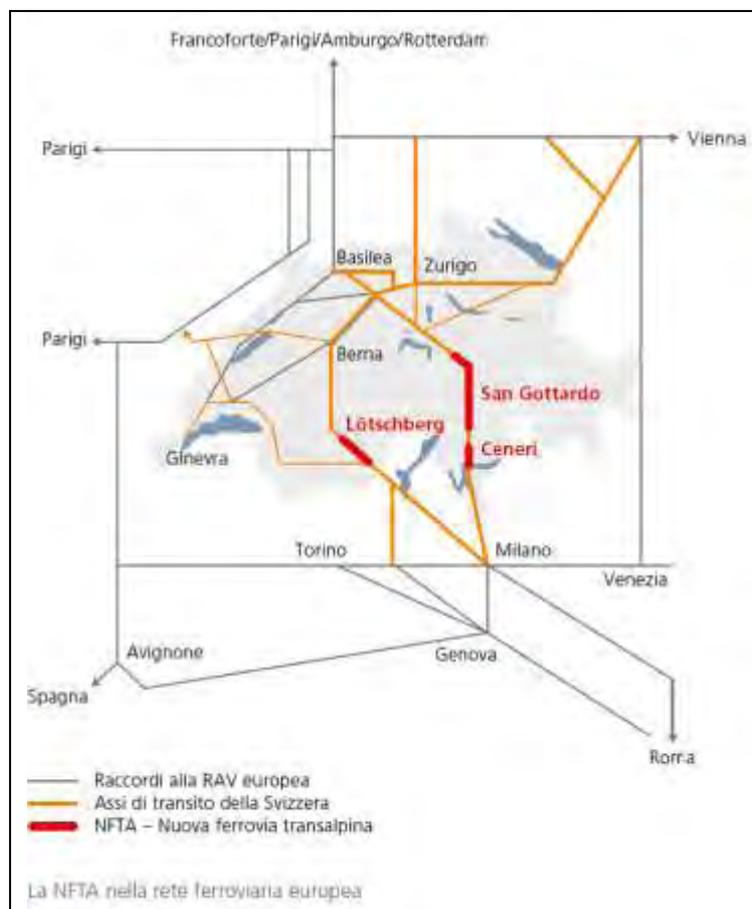


Figura 1 – Schema del sistema di collegamenti ferroviari del progetto AlpTransit.



Figura 2 – Schema progettuale del tunnel di base d Loetschberg

Lo scavo del tunnel di base del Loetschberg è stato realizzato utilizzando sia la tecnica del Drill&Blast, sia mediante l'impiego di TBM (Figura 2). Lo scavo del tunnel è stato condotto a partire da differenti punti di attacco: portale S di Raron, discenderia di Steg, discenderia di Ferden, discenderia di Mitholz. Procedendo da sud a nord lo scavo del tunnel ha interessato le formazioni del Dominio Elevelandico delle unità Wildhorn e Doldenhorn, le formazioni del massiccio dell'Aar e l'unità Gampel-Baltscheider (Thalmann & Burdin, 2005).

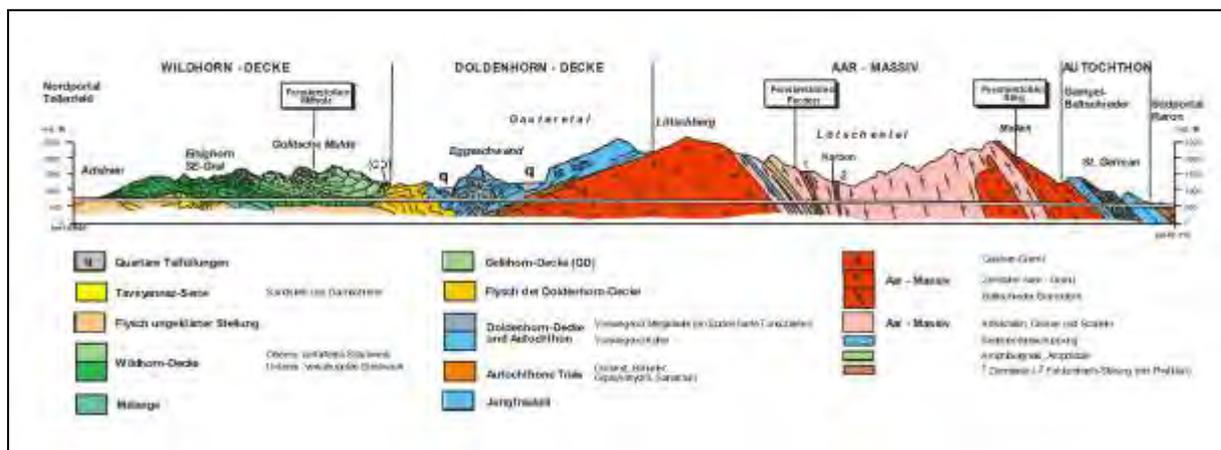


Figura 3 – Sezione geologica del Tunnel di base del Loetschberg (da Loew, et al., 2000)

Il progetto ha determinato lo scavo di circa 16,5 Mt di roccia, che sono stati gestiti nell'ottica di ottimizzare la quantità di materiale destinato alla produzione di aggregati e sabbie per la realizzazione di calcestruzzi e spritz-beton e di materiale per rilevati.

### Il tunnel di base del San Gottardo

Il tunnel di base del San Gottardo si sviluppa tra Bodio (S) e Erstfeld (N) (Figura 5). Procedendo da sud verso nord, lo scavo del tunnel ha comportato l'attraversamento delle formazioni del massiccio dell'Aar (graniti e gneiss), del massiccio del Tavetsch, della zona Urseren-Gravera, del massiccio del San Gottardo (gneiss), della sinclinale di Piora e del Pennidico superiore (gneiss) (Amberg, 2004; Heinz, 2008) (Figura 4).

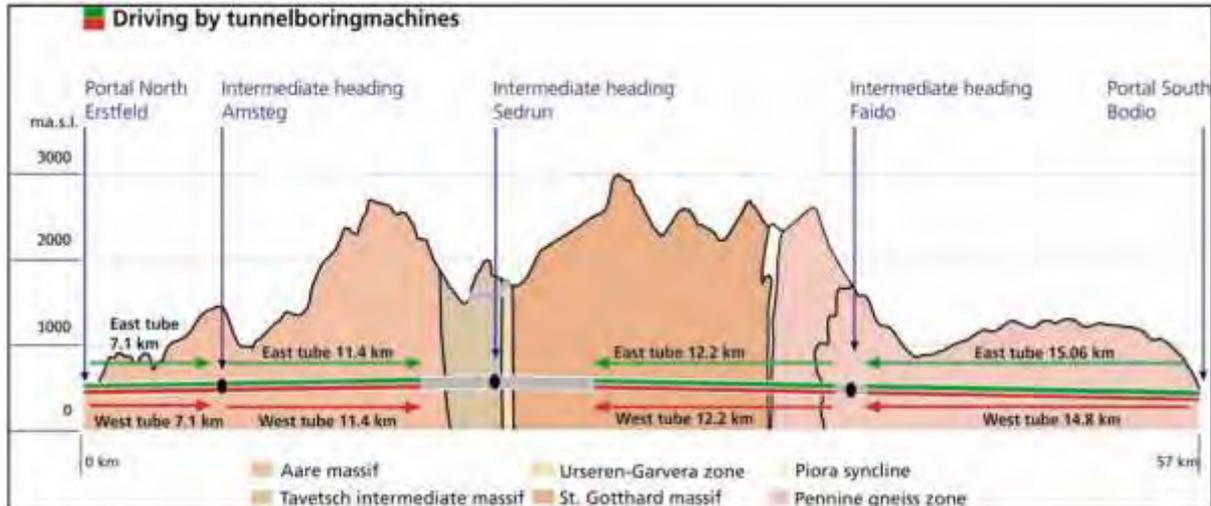


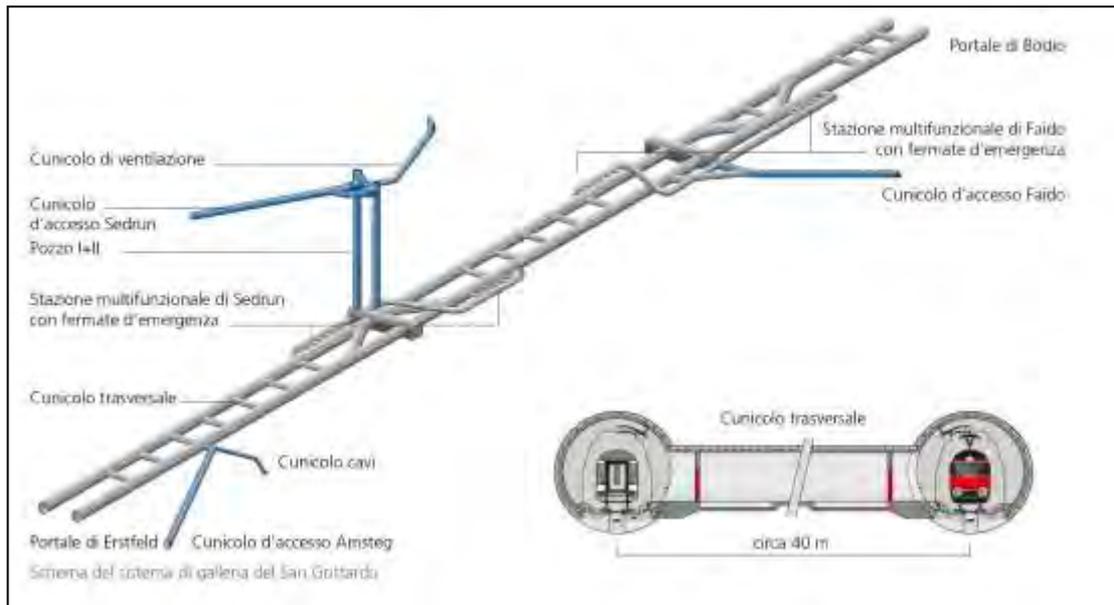
Figura 4 – Profilo geologico schematico del tunnel di base del San Gottardo (Heinz, 2008)

Il progetto ha determinato lo scavo di circa 28 Mt di roccia, che sono stati gestiti nell'ottica di ottimizzare la quantità di materiale destinato alla produzione di aggregati e sabbie per la realizzazione di calcestruzzi e spritz-beton, così come per la produzione di rilevati.



Figura 5 – Sviluppo lineare del Tunnel del San Gottardo (AlpTransit, Alp Transit Gotthard - Nuove vie di transito attraverso il cuore della Svizzera, 2012)

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione



**Figura 6 – Portali e cunicoli di accesso per lo scavo del tunnel di base del San Gottardo (AlpTransit, Alp Transit Gotthard - Nuove vie di transito attraverso il cuore della Svizzera, 2012)**

Il tunnel di base Ceneri

Il tunnel di base Ceneri si sviluppa per 15,4 km tra Vezia e Camorino, nel Canton Ticino in Svizzera, a cui si aggiunge la finestra di accesso di Sirigno (Figura 7).

Il tracciato del tunnel, che intercetta le formazioni del sistema sud-alpino e Pennidico, attraversa unità litologiche ascrivibili a due zone principali (Pini & Rossi, 2009): a Nord, la Zona Ceneri (ZC, 10,4 km); a Sud, La Zona Val Colla (ZVC, 5,0 km). La prima unità è caratterizzata da gneiss ed in misura minore da anfiboliti e serpentiniti. La ZVC è costituita da paragneiss e orto-gneiss con subordinate intercalazioni basiche (Figura 8).



**Figura 7 - Tracciato del Tunnel di base Ceneri (AlpTransit, Alp Transit Gotthard - Nuove vie di transito attraverso il cuore della Svizzera, 2012)**

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

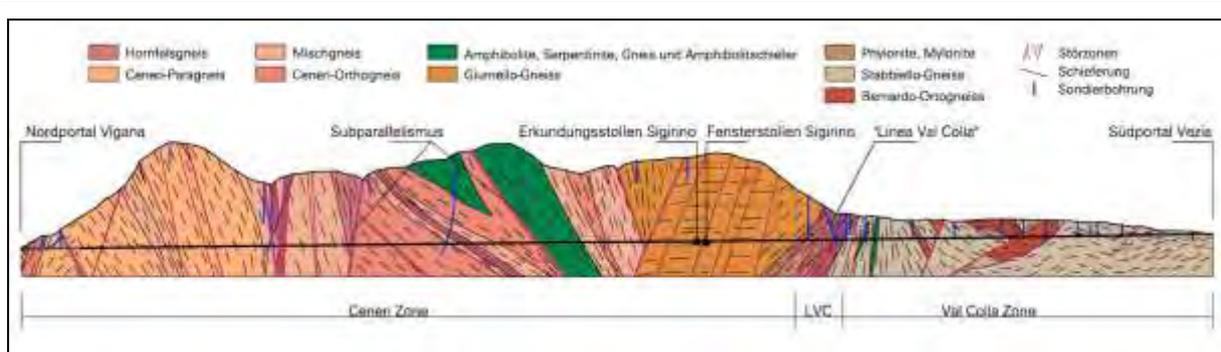


Figura 8 – Sezione geologica lungo il tunnel di base Ceneri (Stocker, 2007)

### 2.1.1 La valorizzazione del marino

Considerati gli ingenti volumi di roccia scavata un elemento qualificante nella realizzazione dell'opere descritte è consistito nella definizione di procedure di gestione e lavorazione del materiale di scavo, finalizzate alla sua valorizzazione come inerte per la realizzazione di aggregati per calcestruzzo e per la realizzazione di rilevati.

A tal proposito sono state identificate tre principali classi di valorizzazione (Thalmann & Burdin, Gestion et valorisation des Matériaux d'Excavation de Tunnels. Analyse comparative de 3 grand projets, 2005):

- Classe 1: rocce di buona qualità le cui caratteristiche geotecniche e mineralogiche permettono l'impiego per la realizzazione di aggregati per calcestruzzo.
- Classe 2: rocce che per le caratteristiche possono portare alla produzione di materiali idonei alla realizzazione di rilevati.
- Classe 3: rocce che per le caratteristiche geotecniche, mineralogiche sono da destinare a definite zone di deposito. Queste ultime, se le caratteristiche geochemiche e mineralogiche dei materiali lo consentono, possono coincidere con interventi di recupero ambientale.

L'attribuzione dei materiali di scavo alle classi identificate è definita in funzione di due fasi di analisi (Thalmann, Concrete aggregate production with tbm-muck – Experiences gained on the Alptransit tunnel projects, 1999):

- a. studio ante-operam per la valutazione degli ammassi rocciosi interessati dallo scavo;
- b. analisi in corso d'opera finalizzate alla verifica dei requisiti dei materiali.

Un aspetto rilevante nella produzione di aggregati è rappresentato dalla struttura del processo di produzione degli aggregati da costruzione, che deve essere progettato in modo tale da garantire il rispetto dei requisiti per l'accettazione del marino agli usi previsti (Thalmann, Schndler, & Kruse, Aggregates for high quality concrete and shotcrete made out of excavated materiale - Experiences gained on the Apltransit Tunnel Projects, 2011).

E' importante sottolineare come il grado di affidabilità delle previsioni proposte nelle differenti fasi operative tenda ovviamente ad aumentare, vista la natura e lo stato dei materiali analizzati (Thalmann, Concrete aggregate production with tbm-muck – Experiences gained on the Alptransit tunnel projects, 1999).

L'esperienza maturata nel corso dei progetti Alptransit (in particolare per la realizzazione dei tunnel di base del Loetschberg e del San Gottardo) ha permesso la definizione di un set di parametri da analizzare e valutare sui materiali oggetto di scavo nelle fasi della progettazione.

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

Nella tabella seguente sono illustrati i parametri, i metodi di analisi e i valori di riferimento considerati (Thalmann & Petitat, À l'adresse de l'équipe d'ingénieurs chargée de la gestion du lot C3 de la liaison ferroviaire Lyon-Turin-Ferroviae (LTF), 2012).

Parametro	Norma	Valore di riferimento
<i>Durezza della rocca</i>	SN 670 353a	> 75 [N/mm <sup>2</sup> ] (per le rocce anisotrope la prova deve essere condotta parallelamente alla scistosità)
<i>Indice di resistenza al punzamento</i>	ISRM, 1985	I <sub>S50</sub> parallela alla scistosità: ≥ 2.5 [N/mm <sup>2</sup> ] I <sub>S50</sub> perpendicolare alla scistosità o per rocce isotrope: ≥ 3 [N/mm <sup>2</sup> ]
<i>Componenti non adeguati dal punto di vista petrografico (analisi sul campione a mano)</i>	(Thalmann, Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen, 1996)	≤ 10 [%]
<i>Componenti non adeguati dal punto di vista petrografico (analisi in sezione sottile)</i>	Conformément à SN 670 115	≤ 5 [Vol-%]
<i>Proporzione di fillosilicati nella formazione (analisi in sezione sottile)</i>	(Thalmann, Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen, 1996)	≤ 20 [Vol-%]

**Tabella 1 – Analisi delle rocce in fase ante-operam: parametri e valori di riferimento per la verifica dell'idoneità al reimpiego del materiale di scavo alla produzione di aggregati per calcestruzzi**

Sulla base della caratterizzazione preliminare degli ammassi rocciosi è quindi possibile un bilancio degli inerti in fase di progettazione, così da produrre una stima affidabile dei fabbisogni di cantiere che possono essere soddisfatti in fase di avanzamento dei lavori a partire dal marino prodotto. Per garantire una valorizzazione economicamente sostenibile del marino è necessario verificare che lungo il tracciato in progetto, le porzioni di una data formazione risultati non idonei a processi di valorizzazione, non superino il 10% della lunghezza totale dello scavo previsto nella formazione stessa.

In fase di corso d'opera, nell'ambito del progetto Alptransit è stato definito il set di analisi e metodi da seguire per la valutazione dell'idoneità del marino alla realizzazione di aggregati per calcestruzzo (Thalmann & Burdin, Gestion et valorisation des Matériaux d'Excavation de Tunnels. Analyse comparative de 3 grand projets, 2005; Thalmann, Concrete aggregate production with tbm-muck – Experiences gained on the Alptransit tunnel projects, 1999). Un aspetto importante del progetto AlpTransit è la previsione di un soggetto della Direzione Lavori con incarico specifico della gestione dei materiali di scavo.

Al fine di permettere l'esecuzione delle analisi in tempi compatibili con la necessità di garantire i tassi di produzione richiesti dalla realizzazione delle opere in progetto, è stato previsto l'allestimento nei cantieri di laboratori specificamente equipaggiati per la realizzazione delle prove richieste. Di seguito viene fornito l'elenco delle prove eseguite con i relativi valori di riferimento e le frequenze di esecuzione.

Rock hardness requirement			
Test method:	Standard	Minimum value	Frequency of the tests
Breakability Index	AFNOR P 18-579 procedure modified for TBM muck	≤ 70 [-]	15 TM; tunnelling meter
Point Load Index I <sub>550</sub>	ISRM 1985 procedure modified for TBM muck	I <sub>550</sub> parallel: ≥2.5 [N/mm <sup>2</sup> ] I <sub>550</sub> isotropic: ≥3.5 [N/mm <sup>2</sup> ]	75 TM
Petrographic requirement			
Test method:	Standard	Minimum value	Frequency of the tests
Macroscopic petrographic analysis		Mica content: ≤ ca. 20 particle-%	± daily (during geological mapping)
Microscopic petrographic analysis		Mineral description; weathering: AAR- reactivity	150 TM
Unfavourable components in the fractions 1/4,4/22,22/128mm (without free mica *)	Definition AlpTransit and Swiss concrete standard SIA 162 / 1	≤ 10 [weight-%]	150 TM
Free mica* in the raw sand (0.25-0.50mm)	Definition AlpTransit	≤ 35 [particle-%]	150 TM
Alkali-Reaktivität AAR	AFNOR P18-588 AFNOR P18-589	Expansion ≤ 0.10 [%] Non reactive	1'000 TM

**Figura 9 – Parametri e soglie di accettazione del marino per la produzione di aggregati nel progetto Alptransit (Thalmann, Concrete aggregate production with tbm-muck – Experiences gained on the Alptransit tunnel projects, 1999);**

\* free mica: grani di mica libera nella frazione 0,25-0,5 mm.

Un fattore da considerare nell'utilizzo del marino è la tecnica di scavo, in quanto essa determina la curva granulometrica e la forma dei ciottoli. Lo scavo meccanizzato comporta la produzione di una maggiore quantità di materiale fine, spesso impastato con i ciottoli più grossi. Questo elemento richiede un processo di pulizia del marino con impiego di acqua e produzione di significativi quantitativi di fanghi, che possono raggiungere il 12% del totale del materiale scavato (Pepino, 2009).

In relazione al processo di produzione degli aggregati per calcestruzzi un elemento rilevante è costituito dal sistema di frantumazione, lavaggio e selezione delle differenti classi granulometriche.

Il materiale scavato è soggetto a tre passaggi di frantumazione (Thalmann & Petitat, À l'adresse de l'équipe d'ingénieurs chargée de la gestion du lot C3 de la liaison ferroviaire Lyon-Turin-Ferroviae (LTF), 2012; Thalmann, Aggregates for high quality concrete and shotcrete made out of excavated rock material - experiences gained on the Alptransit tunnel projects, 2003):

- frantumazione primaria per la riduzione della pezzatura del materiale scavato con metodo tradizionale all'esterno o in sotterraneo per consentirne il trasporto tramite nastro trasportatore;

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

- frantumazione secondaria per la riduzione del diametro massimo del marino a 63 mm;
- frantumazione terziaria, per la riduzione della granulometria dei materiali e la produzione delle frazioni desiderate;
- pulizia degli aggregati prodotti con un sistema di separazione intermedio per produrre una sabbia di buona granulometria e eliminare i materiali fini (es. flocculazione o filtropressa)

Il ciclo di lavorazione dei materiali di scavo è accompagnato da un sistema di raccolta delle acque di lavorazione che vengono quindi inviate ad apposite filtropresse che permettono la separazione dell'acqua dal fango. Quest'ultimo deve essere quindi opportunamente gestito.

In aggiunta a questo aspetto, in presenza di elevati valori di fillosilicati nella frazione 0/1 mm (fino al 35%) nel cantiere di Serdun è stato adottato un sistema di flocculazione che permette di ridurre del 50% la percentuale di fillosilicati liberi. Questo sistema consente di ottimizzare la quantità di materiale recuperabile, senza perdere quantitativi eccessivi tra le porzioni a granulometria più ridotta (Thalmann & Burdin, Gestion et valorisation des Matériaux d'Excavation de Tunnels. Analyse comparative de 3 grand projets, 2005).

Infine, in relazione al tema della reazione alcali-aggregati, particolari accorgimenti sono stati presi in fase di definizione del mix-design, prevedendo l'aggiunta di agenti inibitori quali ceneri volanti (20-30% del legante), fumo di silice (7% del legante), loppa di altoforno (50% del legante).

I tassi di produzione ottenuti dal sistema descritto sono sintetizzati nella seguente figura.

I bilanci dei materiali per i tunnel del San Gottardo e Ceneri sono riportati nella figure seguenti. Per il tunnel del Loetschberg la percentuale di utilizzo per la produzioni di aggregati è stata del 23% circa.

Spoil production	Spoil classification	Spoil utilisation	Percent (%)
GBT total 28.2 million tonnes (100%)	Suitable as aggregate for concrete production (A) material: 9.4 million tonnes	Aggregate for concrete production	> 23,0%
		Sales to third parties	> 3,2%
		Processing losses	> 2,8%
		Slurry	> 4,3%
	Unsuitable as aggregate for concrete production: 18.6 million tonnes	ATG use for embankments	> 16,0%
		Landfill and renaturing	> 44,3%
		Ballast to third parties	> 5,7%
Slurry from the drives: 0.2 million tonnes	Reactor landfill	> 0,7%	

Figura 10 – Bilancio degli inerti per il tunnel di base del San Gottardo (Rupert, 2011).

Gestione materiale	
Quantità complessiva di materiale scavato	7,9 milioni di tonnellate (100%)
Qualità del materiale A => adatto per aggregati per la produzione di calcestruzzo	1 milione di tonnellate (13.3%)
Qualità del materiale B => per riempimenti, depositi e ricoltivazioni	6,8 milioni di tonnellate (86%)
Fanghi prodotti dai lavori di avanzamento => scarica a reattore	0,1 milioni di tonnellate (0,7%)

Figura 11 – Bilancio degli inerti per il tunnel Ceneri (AlpTransit, Projektkennzahlen Rohbau Ceneri-Basistunnel, 2011)

## 2.2 Progetto NLTL: realizzazione delle discenderie di Modane, La Praz e Saint Martin La Porte

Il progetto della Nuova Linea Torino-Lione prevede la realizzazione di un tunnel di base tra Saint Jean de Maurienne (Francia) e Susa (Italia) avente una lunghezza di circa 57,5 km. Il progetto include tre discenderie sul lato francese: Villarodin Bourget/Modane, La Praz e Saint Martin La Porte (Figura 12). Le tre opere sono state realizzate mediante scavo con tecnica tradizionale.

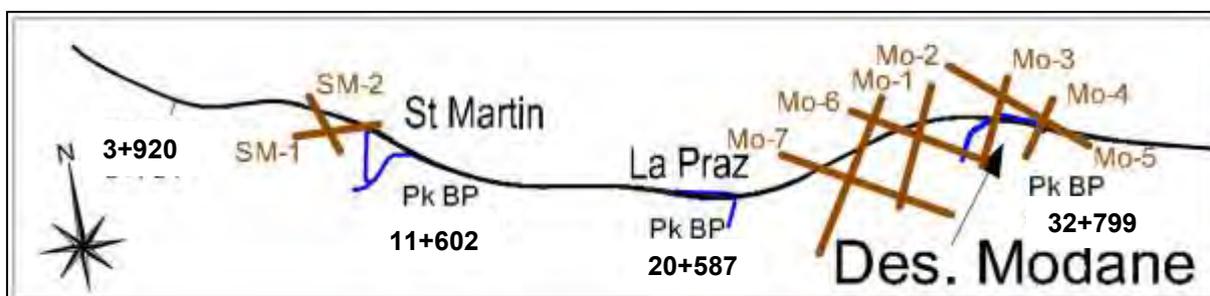


Figura 12 – Ubicazione delle discenderie rispetto al tracciato del Tunnel di Base sul lato francese (linee blu)

La discenderia di Villarodin Bourget/Modane, lunga 4,1 km c.a., è realizzata scavando le rocce delle formazioni della Zona Brianzonese: formazioni della copertura (quarziti tQ, quarziti micacee e scisti “Verrucano” r-t e conglomerati quarziticci r-tCG) e del basamento (micascisti dell’Arpont SV) (Figura 13).

La discenderia di La Praz, lunga 2,5 km c.a., è realizzata scavando le rocce delle formazioni dell’Houlliere (scisti e arenarie hF, arenarie e conglomerati hLP) (Figura 14).

La discenderia di Saint Martin la Porte, lunga 2,3 km c.a., comporta lo scavo di un primo tratto in rocce prevalentemente costituite da formazioni della Zona Sub-Brianzonese: calcari (jmC), calcari marnosi (jmCM) e calcari listati (11-4). A queste segue un livello di anidriti (tGsb). Per

una lunghezza di circa di 1,6 km si incontrano le formazioni dell'Houillere: scisti (hE), arenarie e microconglomerati (hBO) (Figura 15).

### **2.2.1 Valorizzazione del marino**

Al fine di definire le possibilità di valorizzazione del marino è stata realizzata, nell'area di cantiere della discenderia di Villarodin Bourget/Modane, una stazione di trattamento dei materiali di scavo (rif. EXE4072GRADQTMDOG9020 – Allegato 6). La scelta dell'area di Modane è legata al fatto che la discenderia omonima è la più lunga tra le tre e presenta aree di cantiere che semplificano molti aspetti logistici. Inoltre lo scavo della discenderia interessava rocce con composizione mineralogica critica (tenori in solfati elevati).

La stazione di trattamento è stata progettata con i seguenti obiettivi:

- 1) trattamento di materiali duri (es. quarziti) e materiali meno duri (es. micascisti) senza che in quest'ultimo caso le lavorazioni determinino eccessive produzioni di materiale fine;
- 2) possibilità di modificare “online” i parametri di produzione dell'impianto in funzione delle istruzioni della Direzione Lavori e delle necessità di granulati;
- 3) presenza di un frantumatore terziario di tipo VSI (Vertical Shaft Impactor, frantumatore ad asse verticale e rotore aperto) che può essere alimentato da materiale con granulometria variabile tra 4 e 60 mm, per la produzione di materiali della frazione 0/22 mm, con una frazione di sabbie 0/4 mm avente una buona percentuale di frazione 0/1 mm (quest'ultima difficilmente ottenibile con sistemi di frantumazione tradizionali, è però rilevante per la produzione di calcestruzzi di buona qualità);
- 4) presenza di un sistema di trattamento idraulico delle sabbie per consentire: a) la separazione della frazione <2mm così da ridurre il modulo di finezza (rilevante per la durabilità e la lavorabilità del calcestruzzo); b) permettere l'eliminazione della frazione fine <63 µm; c) permettere la separazione della frazione <63 µm o <500 µm, così da consentire, per esempio, l'eliminazione di eccessi di mica nella frazione fine. Queste funzioni sono garantite da sistemi di vagliatura meccanica ed idraulica (idrocycloni). Il sistema è accoppiato ad un sistema di trattamento acque che consente il recupero fino all'80% delle acque di lavorazione.

Lo schema funzionale dell'impianto è riportato in allegato 6. Il sistema di trattamento è preceduto da una fase di pulizia del marino nella quale sono rimossi tutti gli elementi non lapidei accidentalmente mischiati con il materiale di scavo (fili, frammenti metallici, detonatori, elementi in plastica). Questi infatti devono essere eliminati in quanto potrebbero danneggiare l'impianto.

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

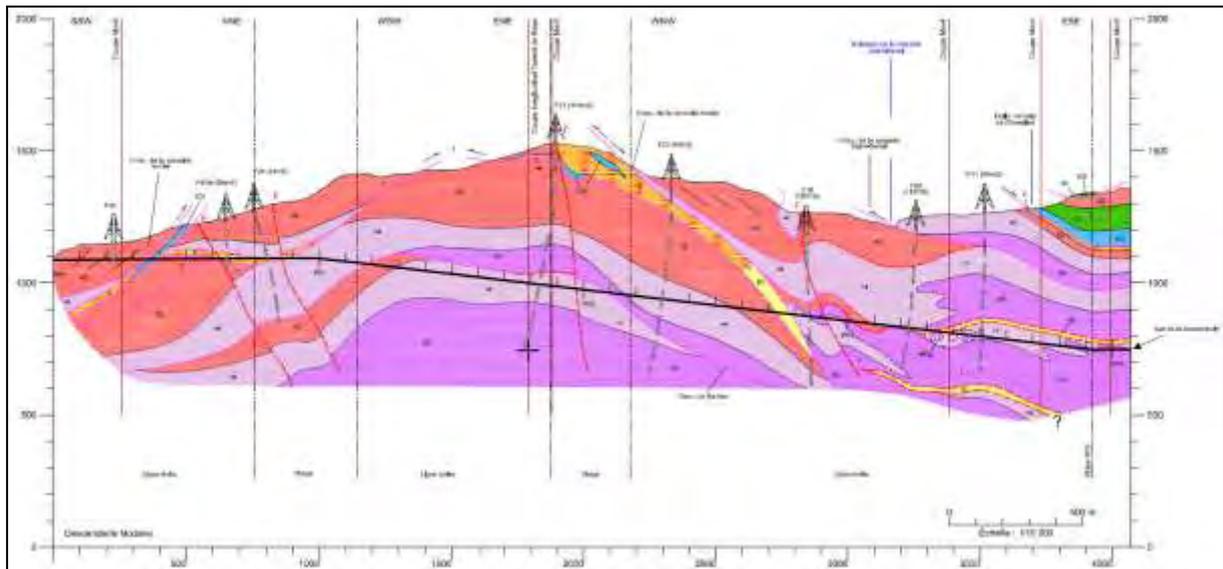


Figura 13 – Sezione geologica della discenderia di Villarodin Bourget/Modane (rif. PD2C3B0030).

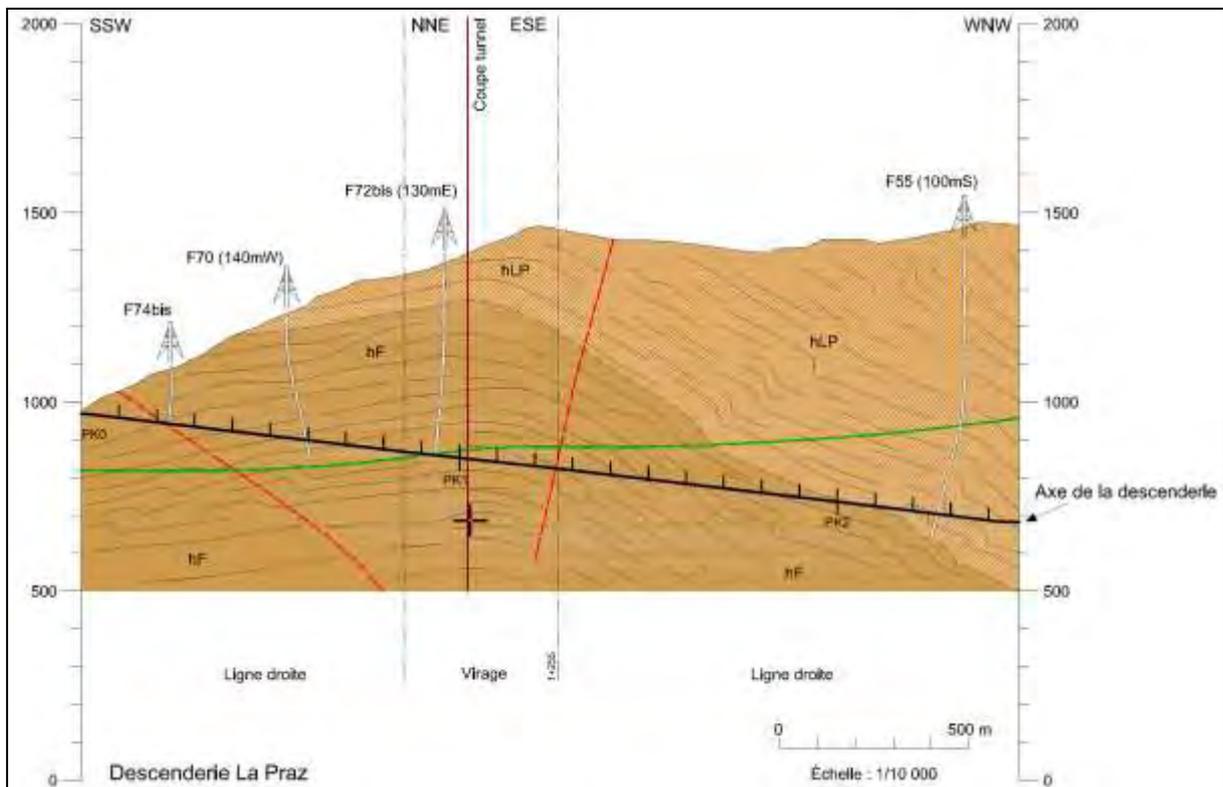


Figura 14 – Sezione geologica della discenderia di La Praz (rif. PD2C3B0018).

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

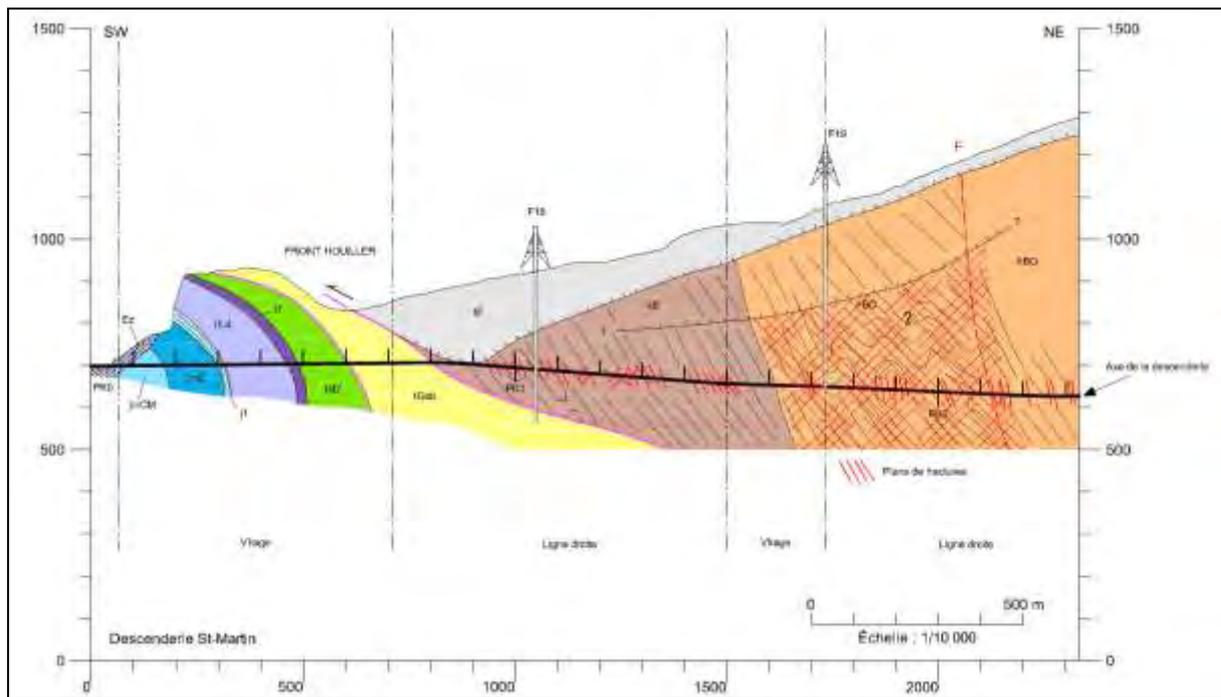


Figura 15 –Sezione geologica della discenderia di Saint Martin La Porte (rif. PD2C3B0017).

Le attività di preparazione dei granulati per calcestruzzo si sono articolate in 5 differenti campagne su altrettante tipologie litologiche:

- campagna 1 – valorizzazione delle quarziti provenienti dallo scavo della discenderia di Villarodin Bourget/Modane;
- campagna 2 – valorizzazione dei calcari provenienti dallo scavo della discenderia di Saint Martin La Porte;
- campagna 3 – valorizzazione delle arenarie provenienti dallo scavo della discenderia di La Praz;
- campagna 4 – valorizzazione delle quarziti a clorite della discenderia di Villarodin Bourget/Modane;
- campagna 5 – valorizzazione dei micascisti dell'Arpont della discenderia di Villarodin Bourget/Modane.

Ai fini della presente ricerca bibliografica è importante notare come la produzione di aggregati a partire dal marino della discenderia di Villarodin Bourget/Modane sia stata inferiore alle previsioni a causa della presenza, non prevista, di riempimenti di gesso o anidrite delle discontinuità della roccia. Questo fenomeno ha determinato un incremento del tenore in solfati del materiale scavato ( $SO_3$  solubile  $> 0,8\%$ ), che lo ha reso inidoneo al confezionamento di calcestruzzo.

Di seguito sono riportati i risultati di sintesi della valorizzazione dei materiali esaminati.

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

n°	Famille géologique	Provenance	Annexe n°	Abréssivité gr / t	Los Angeles	PLT Franklin Mpa	Coefficient Aplatis.	Absorption Eau %	Alcali-réaction RA0	Micas %	SO <sub>2</sub> %	Mod. Finesse M F Sable
1	Quartzite IQ	MOD	10.1	1755	18	8,1	6 - 9,4	0,3 - 0,8	PR	0	0	2,86
2	Calcaire jmC	SMP	10.2	181	22	7,1	9,5 - 14	0,2 - 0,5	NR	0	0	3,12
3	Grès hLP	PRA	10.3	875	25	5,2	11,5 - 16	0,42 - 0,9	PR	10	0	
4	Quartzite chloriteuse IQ / r-t	MOD	10.4		14				PR	20 - 30	0,5 - 4	2,88
5	Micaschistes Ms / IQ / r-t	MOD	10.6	542	35	1,2			PR	22 - 30	1,1 - 1,5	2,98

n°	Famille géologique	Provenance	Annexe n°	Marin brut Traité t	Production de granulats				Coefficient Valorisation	Débit production t/h			Durée de vie Ejecteurs h	
					0 - 4 mm	4 - 8 mm	8 - 16 mm	16 - 22 mm		Totale	0 - 22 mm	0 - 16 mm		0 - 8 mm
1	Quartzite IQ	MOD	10.1	96000	35600 43%	29900 36%	12400 15%	4800 8%	82700	0,86	164 137	135 126	120 102	7,2
2	Calcaire jmC	SMP	10.2	23000	8400 47%	5850 33%	1700 15%	1850 10%	17800	0,77	139 117		88 45	87
3	Grès hLP	PRA	10.3	8000	2600 58%	1400 31%	450 10%	50 1%	4500	0,56	128 95	108 80	91 65	65
4	Quartzite chloriteuse IQ / r-t	MOD	10.4	7900	2670 54%	1340 27%	490 18%	0%	4900	0,62		155 135		12
5	Micaschistes Ms / IQ / r-t	MOD	10.6	7950	1880 58%	970 29%	500 15%	0%	3350	0,38		117 80		15

Tabella 2 – Sintesi dei risultati del processo di valorizzazione del marino presso la STM di Modane.

L'esame della Tabella 2 conferma la possibilità di raggiungere elevate percentuali di valorizzazione nel caso di scavo in litologie con buone caratteristiche geotecniche (quartziti e calcari). All'aumentare del grado di anisotropia (quartziti cloritiche e micascisti) e del contenuto in mica, diminuisce la percentuale di trattamento.

Relativamente alla produzione di aggregati, lo studio condotto a Modane permette di evidenziare i seguenti aspetti:

- l'ottimizzazione della valorizzazione del marino di galleria è strettamente connessa al sistema di lavorazione ed alla possibilità di modificare la parametrizzazione (talora la struttura) dello stesso in funzione delle litologie incontrate;
- la vagliatura del materiale può talora essere resa difficoltosa dalla presenza di rocce più tenere che producono più materiale fine, il quale a sua volta intasa i vagli dei setacci;
- in presenza di rocce micacee la percentuale di fango raccolto con la filtropressa può raggiungere una percentuale pari al 12% del materiale prodotto;
- la lavorazione di materiali molto abrasivi si traduce in una maggiore usura dei frantumatori con conseguente riduzione della durata delle componenti;
- la produzione dei granulati è stata calibrata in funzione di un  $D_{max}$  pari a 16 mm, che permette di riciclare le classi di diametro superiore e anche di ottimizzare al massimo il funzionamento dell'impianto con la richiesta di aggregati;
- le campagne 4 e 5 hanno permesso di evidenziare come sia possibile la valorizzazione come aggregato per calcestruzzi del marino relativo a rocce tenere, caratterizzato da valori del Point Load Test pari 2 MPa c.a. e con valori della prova Los Angeles pari a 35. E' stata rilevata una buona correlazione tra i dati del Point Load Test e la prova Los Angeles: il Point Load test condotto tempestivamente sul materiale scavato permetterebbe una caratterizzazione affidabile della resistenza meccanica;
- il sistema ha permesso la produzione di sabbia 0/4 mm con buoni valori del modulo di finezza (compreso tra 2,86 e 3,12);
- il coefficiente di forma dei granulati è stato molto buono ed è risultato rispondente ai requisiti normativi;

- la presenza di rocce solfatiche (gessi e anidriti) in zone tettonicamente complesse può determinare la presenza di solfati in percentuali superiori ai limiti normativi anche in formazioni che presentano una composizione mineralogica nella quale i solfati non sono previsti.

Per la produzione dei calcestruzzi, lo studio riporta come tutte le litologie utilizzate per la produzione di aggregati hanno permesso di ottenere prodotti conformi ai requisiti di progetto. Inoltre per il calcestruzzo per i rivestimenti della galleria (C25/30) è stato possibile ridurre i quantitativi di legante fino a 335 kg/m<sup>3</sup>. Lo studio indica che per il tunnel di base il dosaggio dovrà probabilmente passare a 380-400 kg/m<sup>3</sup> per garantire una buona lavorabilità del calcestruzzo fresco, buone caratteristiche del calcestruzzo indurito e l'avanzamento corretto di un anello al giorno con calcestruzzo costituito da aggregati 0/16 mm. Infine, il rapporto acqua/legante si è mantenuto pari a 0,50.

Il tema dell'alcali-reattività degli aggregati ha interessato il marino risultante dallo scavo delle formazioni tQ e hLP: in questi casi (per tenori in alcali equivalenti inferiore a 2 kg/m<sup>3</sup>) la produzione di calcestruzzo è stata possibile mediante l'aggiunta di additivi Tipo II, fumi di silice (7,5% del legante) e ceneri volanti (25% del legante).

### 2.3 Progetto di ammodernamento dell'impianto idroelettrico di Nant de Drance (Svizzera)

Il progetto di ammodernamento dell'impianto idroelettrico di Nant de Drance in Svizzera prevede la realizzazione di una centrale idroelettrica in caverna tra i bacini di Emosson e Vieux Emosson. Le condotte forzate (due tubi di 10 m di diametro realizzati con tecnica tradizionale) convogliano le acque del lago Vieux Emosson verso la centrale e da questa saranno dirette verso il lago di Emosson. L'accesso alla caverna entro cui sarà realizzata la centrale sarà possibile attraverso un tunnel di accesso, di lunghezza pari a 5,6 km, realizzato mediante scavo meccanizzato, a partire dalla località di Chatelard.

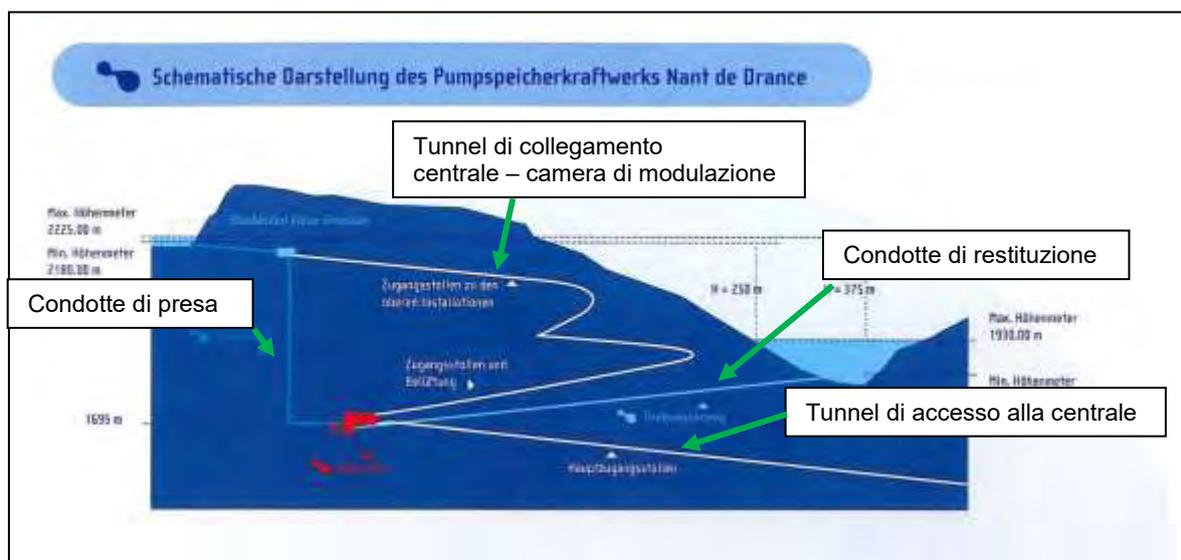


Figura 16 – Schema funzionale dell'impianto idroelettrico di Nant de Drance

La realizzazione delle opere in sotterraneo prevede lo scavo di rocce costituenti il massiccio esterno dell'Aguilles Rouges: copertura permo-carbonifera, micascisti di Emosson, granito di Vallorcine (gneiss), granodioriti del Lusin (orto-gneiss e granodioriti). Le rocce interessate dagli scavi sono oggetto di monitoraggio radiometrico in quanto in prossimità delle aree di cantiere sono presenti giacimenti non sfruttati di uranio.

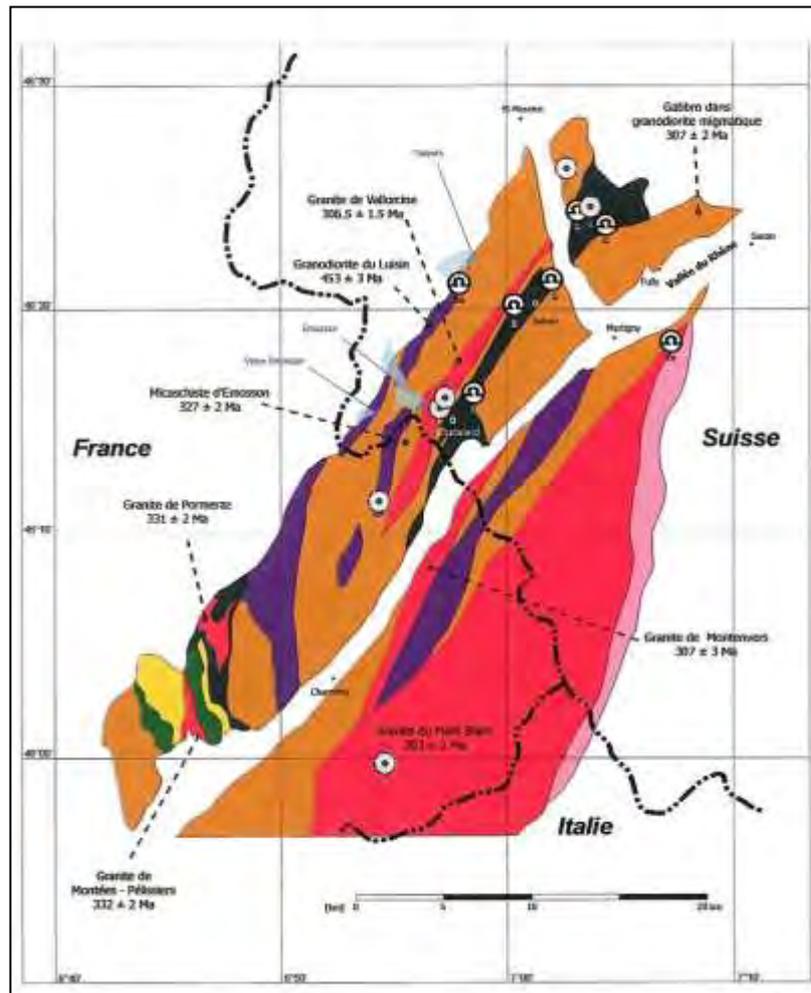


Figura 17 – Carta geologica dell'area di progetto

Il processo di gestione e valorizzazione del marino avviene nell'impianto di trattamento sito a circa 3,5 km dalla zona di imbocco del tunnel di accesso, lungo la strada che collega Le Chatelard con Martigny. L'impianto è suddiviso in tre settori principali: area di deposito del marino, fabbricato per la produzione degli aggregati, silos di stoccaggio dei materiali processati. L'impianto è dotato di un laboratorio analisi per la verifica dei requisiti meccanici e mineralogici del materiale di scavo.

Il processo di produzione degli aggregati prevede un primo frantoio a mascelle che è stato utilizzato per il materiale prodotto con lo scavo tradizionale (inizialmente a lato della stazione di trattamento ed in seguito in sotterraneo), un secondo frantoio a cono che permette di ottenere una granulometria 0/63 mm. Infine un terzo frantoio a impatto ad asse verticale permette di produrre tutte le classi granulometriche volute. Un secondo frantoio ad asse verticale è stato aggiunto in seguito per trattare le sabbie declassate e per ridurre le perdite di materiale.

La separazione tra il materiale fine ( $<63 \mu\text{m}$ ) e la sabbia avviene per mezzo di un apparecchio separatore densimetrico. I granulati sono in seguito inviati ad un secondo edificio per mezzo di nastro trasportatore dove vengono stoccati in silos. Infine i granulati sono trasportati su camion direttamente al cantiere di Le Chatelard. La separazione del fine dall'acqua avviene

per mezzo cicloni e poi per mezzo di filtro-presse. Le acque sono quindi trattate per permetterne il riutilizzo nei cicli di lavorazione.

Tutto il sistema è automatizzato, così da permettere la regolazione dei processi di produzione delle differenti classi granulometriche in funzione della domanda e delle caratteristiche del materiale in ingresso.

Il sistema di trattamento del marino così strutturato ha permesso di raggiungere un tasso di valorizzazione per le facies più ricche in fillosilicati (micascisti ed ortogneiss) fino all'75% (rif PD2GVMJBD0001-Allegato 7).

Visto il contenuto in arsenico del marino, i fanghi prodotti come scarto di lavorazione non sono stoccati in sito ma sono gestiti come rifiuto pericoloso ed inviati a discarica autorizzata.

Lo schema funzionale del sistema di trattamento e valorizzazione del marino è riportato nella figura seguente.

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

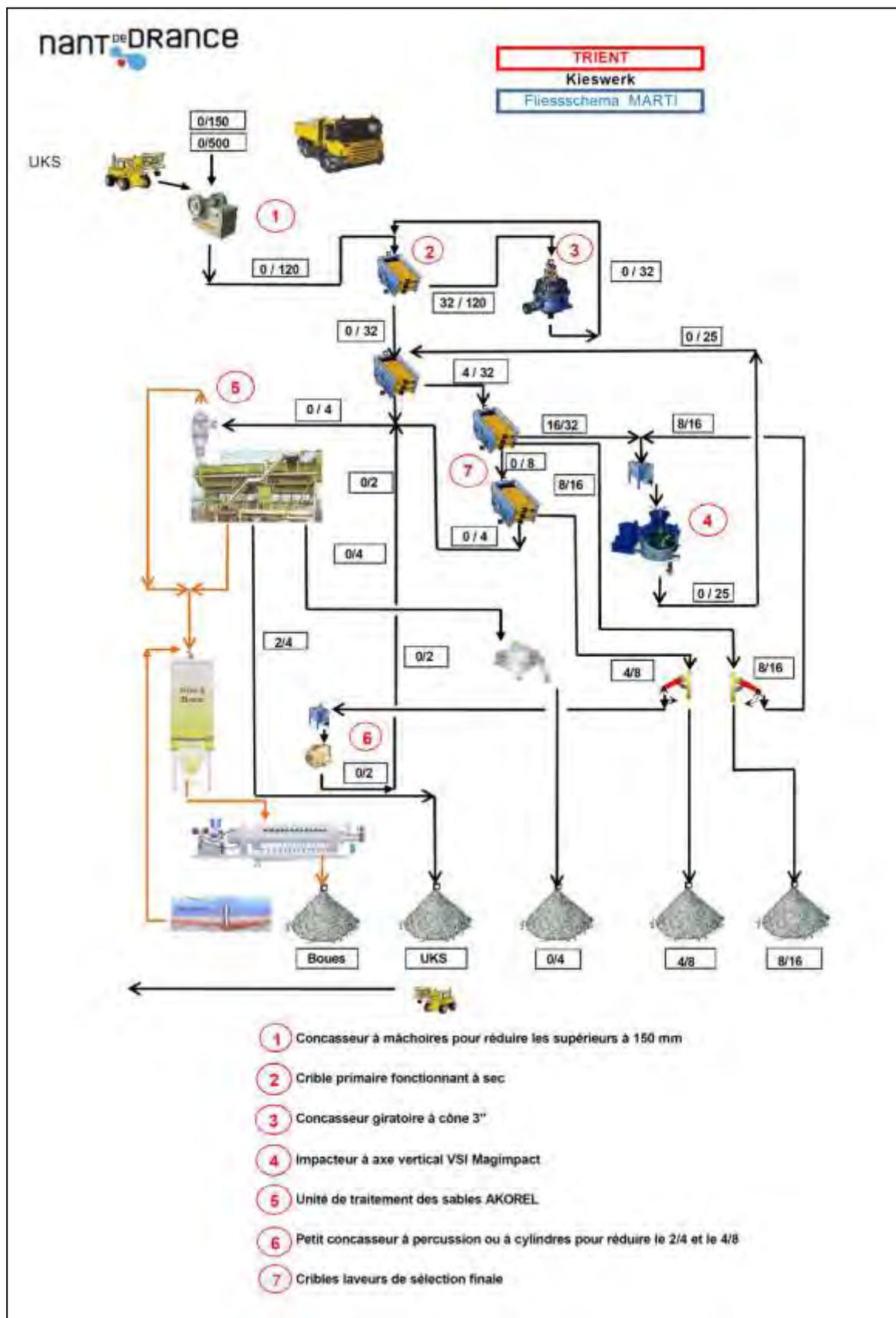


Figura 18 - Schema di funzionamento del sistema di trattamento e valorizzazione del marino adottato per i lavori di ammodernamento dell'impianto idroelettrico di Nant de Drance

## 2.4 Scavo del cunicolo pilota Aica (Progetto del Brenner Base Tunnel)

Il cunicolo esplorativo di Aica si inserisce nel quadro più ampio del progetto di realizzazione del tunnel di base del Brennero, che si sviluppa tra Innsbruck e Fortezza per una lunghezza di 55 km.

Il cunicolo inizia in corrispondenza di Aica e prosegue verso nord per una lunghezza di 10 km c.a. sino all'incontro con la galleria di Mules. Il diametro di scavo minimo è di 6 m ed il cunicolo è stato realizzato per un tratto iniziale con tecnica tradizionale, quindi mediante l'impiego di TBM.

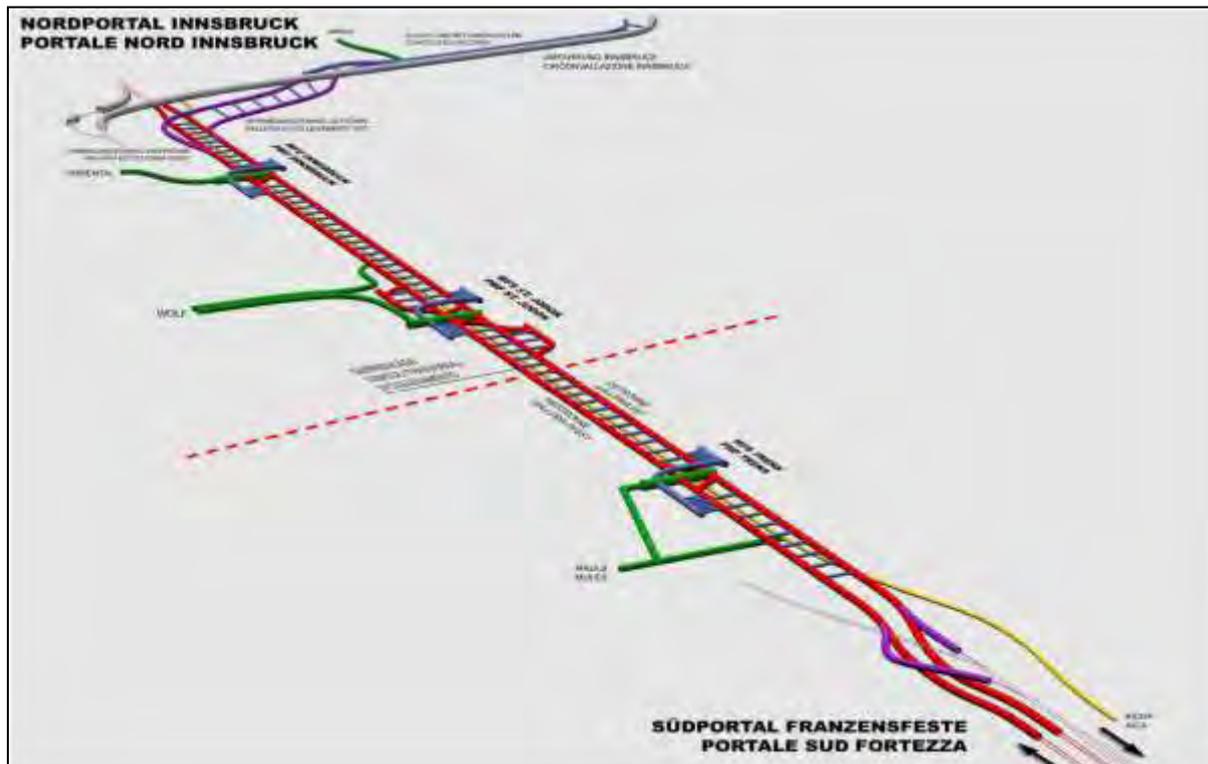


Figura 19 – Schema del tunnel di base del Brennero. In giallo (in basso a sinistra) è presente la traccia del cunicolo esplorativo Aica (Alfreider & Rieder, 2011).

Il cunicolo è scavato nelle rocce appartenenti al dominio delle Alpi Meridionali rappresentate in questo settore dal substrato filladico di Bressanone e dal complesso intrusivo del Granito di Bressanone (graniti a biotite e granodioriti) (Pepino, 2009).

Uno studio sperimentale su campioni frantumati per la valutazione della possibilità di valorizzazione del marino indicano la presenza di una percentuale di frazioni grossolane superiori alla curva teorica di Bolomey, calcolata per il confezionamento di calcestruzzo con indice di lavorabilità pari a 14 (Pepino, 2009) (Figura 20). In questo lo studio suggerisce un processo di lavorazione del marino che premetta un aumento dei quantitativi delle frazioni più fini 0/4 mm, 4/8 mm e 8/16 mm attraverso l'impiego di un frantoio a impatto ad asse verticale (Figura 21).

E' importante sottolineare come per il caso in esame, la valorizzazione del marino è stata valutata solo a livello sperimentale e i processi di valorizzazione testati non sono mai stati applicati per soddisfare i fabbisogni di cantiere per i lavori di realizzazione del cunicolo esplorativo.

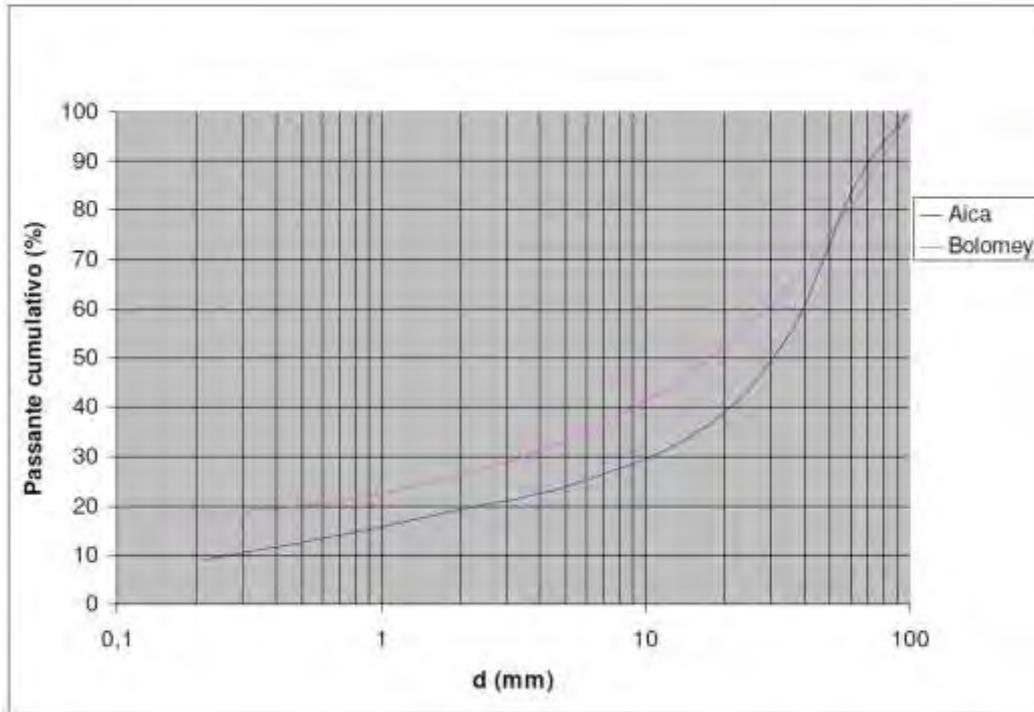


Figura 20 – Confronto tra la curva granulometrica del marino del tunnel Aica a seguito di frantumazione e la curva teorica di Bolomey per la preparazione di un calcestruzzo con indice di lavorabilità 14 (Pepino, 2009).

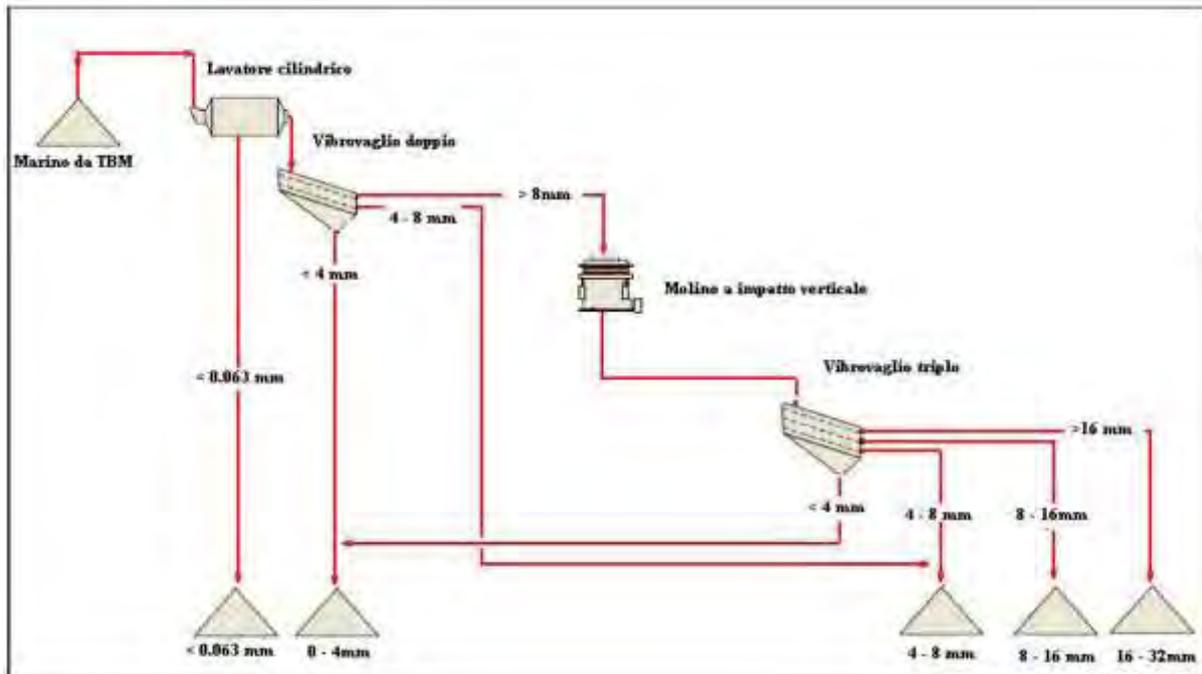


Figura 21 – Schema tipologico di impianto di lavorazione suggerito per la produzione di aggregati per calcestruzzo a partire dal marino generato con lo scavo del cunicolo esplorativo Aica (Pepino, 2009). Tale installazione non ha però consentito di produrre una sabbia di qualità conforme alle specifiche richieste.

## 2.5 Conclusioni

L'esame dei progetti considerati permette di evidenziare alcuni aspetti importanti relativi al processo di valorizzazione del marino derivante dallo scavo di opere in sotterraneo:

- 1) la valorizzazione del marino costituisce una componente di ottimizzazione sul cantiere, legata all'installazione ed al funzionamento della stazione di valorizzazione; tale aspetto fa sì che rispetto al tradizionale approccio basato sull'approvvigionamento di aggregati da fornitori esterni, i processi di valorizzazione risultano economicamente vantaggiosi quando i volumi da trattare superano una certa soglia (es. 1.350.000 t) (Thalmann & Burdin, Gestion et valorisation des Matériaux d'Excavation de Tunnels. Analyse comparative de 3 grand projets, 2005);
- 2) la possibilità di raggiungere percentuali di utilizzo del materiale di scavo economicamente vantaggiosi è legata alle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi scavati. Nel caso di rocce metamorfiche i coefficienti di valorizzazione risultano compresi tra 0,40 (formazioni scistose ricche in mica o altri minerali penalizzanti) e 0,75 (facies carbonatiche massive o gneissiche) in funzione del tipo di roccia;
- 3) il coefficiente di valorizzazione finale è inoltre funzione della modalità di lavorazione del materiale di scavo. La configurazione dei frantoi e dei sistemi di vagliatura deve essere articolata in modo da prevedere più fasi di macinazione e selezione del materiale, così da produrre aggregati nella giusta ripartizione in termini di classi granulometriche e quantità. Relativamente alla percentuale di fillosilicati nella frazione fine, si devono prevedere, se necessari, dei sistemi che permettano di ridurre la percentuale di questa tipologia di minerali. Considerata la variabilità delle tipologie di ammassi rocciosi attraversati nel corso dello scavo di opere in sotterraneo di lunghezza considerevole, il sistema di trattamento e valorizzazione deve essere concepito in modo da consentire un elevato grado di adattabilità dei processi (es. sistemi di frantumazione modulari che includano un molino ad impatto verticale, presenza di sistemi di controllo automatico dei processi di trattamento, presenza di laboratori in cantiere per testare le proprietà del marino così da definire prontamente le procedure di lavorazione ecc.), in funzione del materiale che viene gestito, così da garantire sempre la massima resa in termini di qualità e quantità di aggregati prodotti;
- 4) il tema della valorizzazione può avere rilevanti ripercussioni sull'avanzamento dei lavori ed il relativo costo. In fase di esecuzione è importante prevedere una struttura della direzione lavori specificamente dedicata al tema della valorizzazione del marino.

## 3. Parte 2: risultati della campagna di analisi dei materiali degli ammassi rocciosi per la valorizzazione del marino e per la sua caratterizzazione ambientale

La possibilità di gestire i materiali di scavo ai sensi del D. Lgs. 152/2006 e smi e del DM 12/08/2012 n. 161 è concepibile qualora per il materiale di scavo siano verificati i requisiti tecnici e ambientali che definiscono l'idoneità del marino ai reimpieghi previsti.

Al fine di verificare l'idoneità tecnica al reimpiego del marino per la produzione di aggregati per calcestruzzo, nel corso delle varie fasi progettuali sono stati analizzati numerosi campioni riferibili alle diverse litologie interessate dallo scavo delle gallerie.

I campioni sono stati prelevati carote di sondaggi eseguiti da Telt nelle precedenti fasi di studio e la maggior parte dei risultati di tali analisi sono già stati considerati in fase di

Progetto Definitivo approvato (PD2). I dettagli del programma di campionamento sono descritti nel paragrafo successivo.

Nella presente fase progettuale è stato possibile verificare, ed in taluni casi ottimizzare, i coefficienti di valorizzazione definiti nelle fasi precedenti grazie a nuovi dati d'ingresso costituiti essenzialmente da:

- ritorno di esperienza dello scavo del cunicolo della Maddalena (prove geomeccaniche, geochimiche e test petrografici su campioni di roccia e sui cumuli di smarino)
- studio sui *Materiali di scavo settore Susa - calcescisti (GCC) PM 57300 a 60300 - Prove di qualità per aggregati per calcestruzzo - Rapporto Finale (Ref. PRFGCCJBD0001A)*"; Burdin&Thalmann (Allegato 3)
- Materiali di scavo provenienti dalla galleria della Maddalena – Micascisti di Clarea e Gneiss Aplitici - *Prove di qualità per aggregati per calcestruzzo - Rapporto Finale (Ref. PRFCLRJBD00010)*"; Burdin. (Allegato 3)

I nuovi dati disponibili, rispetto al PD2, riguardano le seguenti Formazioni geologiche:

- Gneiss Aplitici (AMC)
- Gneiss Albitici (AMD)
- Micascisti di Clarea (CL)
- Calcescisti (GCC)

In questa sezione sono presentati e discussi i risultati delle analisi condotte al fine di verificare la possibilità di utilizzo dei materiali di scavo come aggregati per il confezionamento di calcestruzzo. I risultati della caratterizzazione ambientale e della caratterizzazione radiometrica sono esposti e discussi rispettivamente nei seguenti elaborati:

- PRVC3BTS30084 "Piano di utilizzo dei materiali di scavo"
- PRVC3BTS30083 "Analisi dei rischi litologici"

### 3.1 Identificazione delle carote

Il programma di campionamento e analisi eseguito si articola nelle seguenti fasi:

- 1) Identificazione delle carote e degli intervalli di campionamento
- 2) Prelievo dei campioni
- 3) Invio ai laboratori e analisi dei campioni
- 4) Acquisizione dei risultati e interpretazione

Le carote sono state identificate considerando i sondaggi già realizzati nel corso delle campagne indagini condotte da LTF per le precedenti fasi progettuali della NLT. Gli intervalli individuati per i differenti sondaggi sono stati definiti in base alla consultazione delle relative stratigrafie originali fornite da LTF (sondaggi F16, F30bis, S4, S5, S8, S42).

I criteri considerati sono i seguenti:

- presenza di litologie valorizzabili come aggregati da calcestruzzo attraversate dal tracciato della NLT nella versione della revisione del progetto preliminare. In questo senso sono state considerate le carote realizzate nelle formazioni dell'Unità del Complesso di Clarea, dell'Unità di Ambin e della Zona Piemontese. Quest'ultima unità viene presa in considerazione al fine di valutare l'effettiva possibilità di valorizzazione dei calcescisti come previsto dall'APR2006 (rif. APRB2TS20065);

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

- dati bibliografici relativi all'eventuale presenza di mineralizzazioni radioattive negli ammassi rocciosi interessati dalle attività di scavo.

In base ai criteri illustrati, le carote esaminate sono le seguenti:

Sigla	Ubicazione	Caroteca	Unità strutturale	Litologia	Intervallo di interesse (da m - a m)	Analisi valorizzazione	Analisi ambientali	Analisi radiometriche
F30bis	Vallon d'Etache	Modane	Complesso di Ambin	Gneiss d'Ambin	310-1220	X	X	X
			Complesso di Clarea	Micascisti di Clarea	1220-1450			
F16	Val d'Ambin	Modane	Complesso di Clarea	Micascisti di Clarea	40-1500	X	X	X
S4	Loc. C.na Porchera – Comune di Giaglione	Susa	Complesso di Clarea	Micascisti di Clarea	103-750	X	X	X
S5	Loc. Pra Piano – Comune di Giaglione	Susa	Complesso di Ambin	Gneiss d'Ambin	315-915	X	X	X
S42	Loc. Marzano – Comune di Mompantero	Susa	Zona Piemontese	Calcescisti, marmi, quarziti micacee, gneiss	60-452	X	X	X
S8	P.te Muet – Comune di Mompantero	Susa	Zona Piemontese	Calcescisti, marmi, quarziti micacee, gneiss	125-520	X	X	X

**Tabella 3 – Elenco dei sondaggi considerati per le attività di campionamento e analisi**

Gli intervalli di campionamento sono stati definiti sulla base dell'esame visivo dei tratti di carota indicati nella tabella Tabella 3. Da questi intervalli sono stati prelevati i campioni da inviare ai laboratori di analisi. Le schede degli intervalli identificati per le attività di campionamento sono riportate nell'allegato 1.

L'ubicazione planimetrica dei sondaggi considerati è riportato nelle Figura 22, Figura 23 e Figura 24. In Figura 25 sono riportati i sondaggi sul profilo geologico del Tunnel di Base, mentre la stratigrafia è riportata in Figura 26.

Il sondaggio F30bis è rappresentato per i primi 45m circa da depositi quaternari, a cui seguono le formazioni del Complesso di Ambin rappresentate da quarziti conglomeratiche e conglomerati quarzatici (AMD) (da 45 m a 310 m c.a. di profondità) e micascisti quarzosi ± conglomeratici (da 310 m a 1275 m c.a. di profondità). La porzione rimanente del sondaggio è costituita da micascisti e gneiss minuti (Micascisti di Clarea - CL).

Il sondaggio S4 è rappresentato per i primi 100 m c.a. da depositi quaternari a cui seguono i micascisti e gneiss minuti (Micascisti di Clarea) del Complesso di Clarea (da 35 m a 750 m).

Il sondaggio S5, a partire da 310 m c.a. di profondità (inizio tratto a carotaggio continuo), presenta gli gneiss leucocrati (gneiss aplitici) (AMC) del Complesso di Ambin.

Il sondaggio S8, è rappresentato per i primi 10 m c.a. da depositi quaternari, a cui segue un'alternanza di scisti carbonatici filadici (GCC) (da 5 a 15 m c.a. e da 220 m a 400 m c.a., da 470 m c.a. fino a fine sondaggio), gneiss albitici (GCK) (da 120 m a 140 m c.a., da 220 m c.a., da 400 ma 470 m c.a.) e metabasiti (OMB) (da 15 m a 120 m c.a.).

Il sondaggio S42, è anch'esso rappresentato per i primi 10 m c.a. da depositi quaternari, a cui segue un'alternanza di scisti carbonatici filadici (GCC) (da 5 a 15 m c.a., da 120 m a 140 m c.a., da 210 m c.a a 375 m c.a e da 415 m c.a. a fine sondaggio), gneiss albitici (GCK) (da 15 m a 55 m c.a., da 65 m a 120 m c.a., da 140 m a 210 m c.a. e da 375 m a 415 m c.a.) e metabasiti (OMB) (da 55 m a 65 m c.a.).



Figura 22 – Lato Francia: ubicazione planimetrica dei sondaggi F16 e F30bis (punti in verde) rispetto al tracciato del Tunnel di Base (linee blu e viola).



Figura 23 – Lato Italia: ubicazione planimetrica dei sondaggi S4 e S5 (punti in verde) rispetto al tracciato del Tunnel di Base (linee blu e viola). Le linee nere rappresentano rispettivamente il tracciato della galleria di ventilazione di Clarea (sinistra) e del cunicolo esplorativo della Maddalena (destra).

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

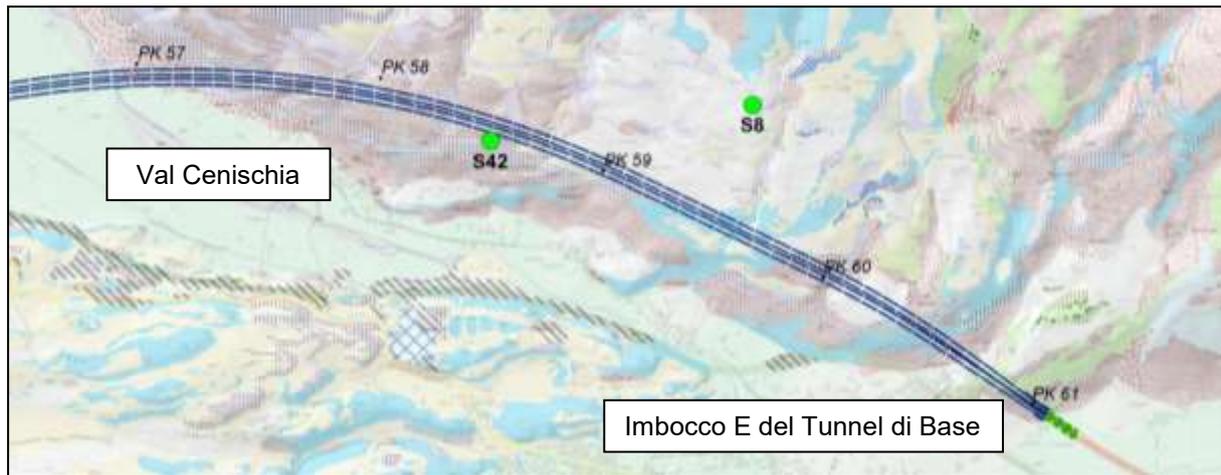


Figura 24 – Lato Italia: ubicazione planimetrica dei sondaggi S8 e S42 (punti in verde) rispetto al tracciato del Tunnel di Base (linee blu e viola).

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

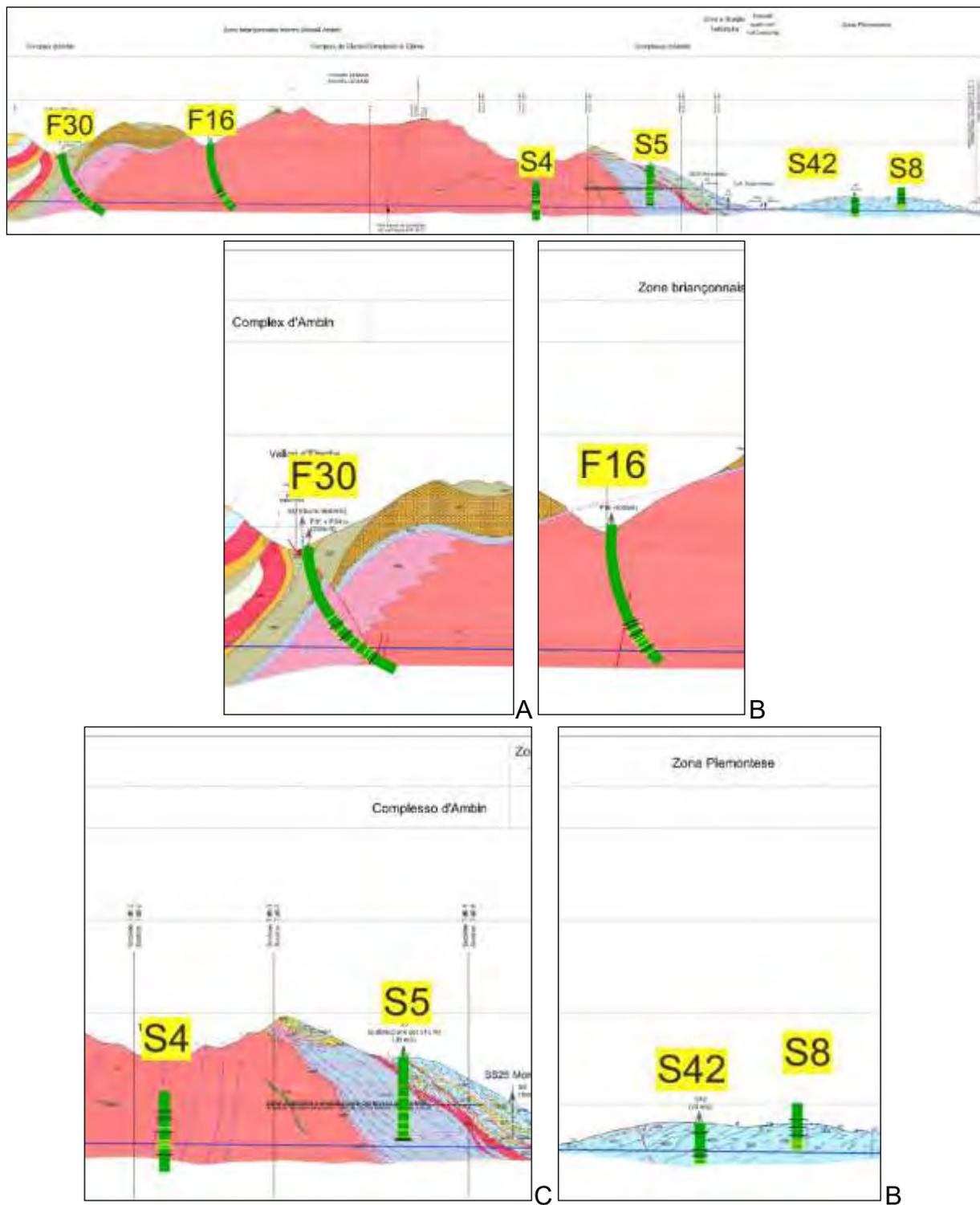


Figura 25 – Proiezione dei sondaggi considerati per il prelievo dei campioni sul profilo geologico del Tunnel di Base (barre verdi).

(A) Dettaglio relativo al sondaggio F30bis; (B) dettaglio relativo al sondaggio F16; (C) dettaglio relativo ai sondaggi S4 e S5; (D) dettaglio relativo ai sondaggi S42 e S8. I tratti orizzontali lungo i sondaggi indicano gli intervalli di campionamento: i tratti in giallo corrispondono agli intervalli per i quali sono stati rilevati campioni con concentrazioni dei metalli rispetto alle CSC (rif. PD2TS3C3B\_Piano di utilizzo dei materiali di scavo).

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

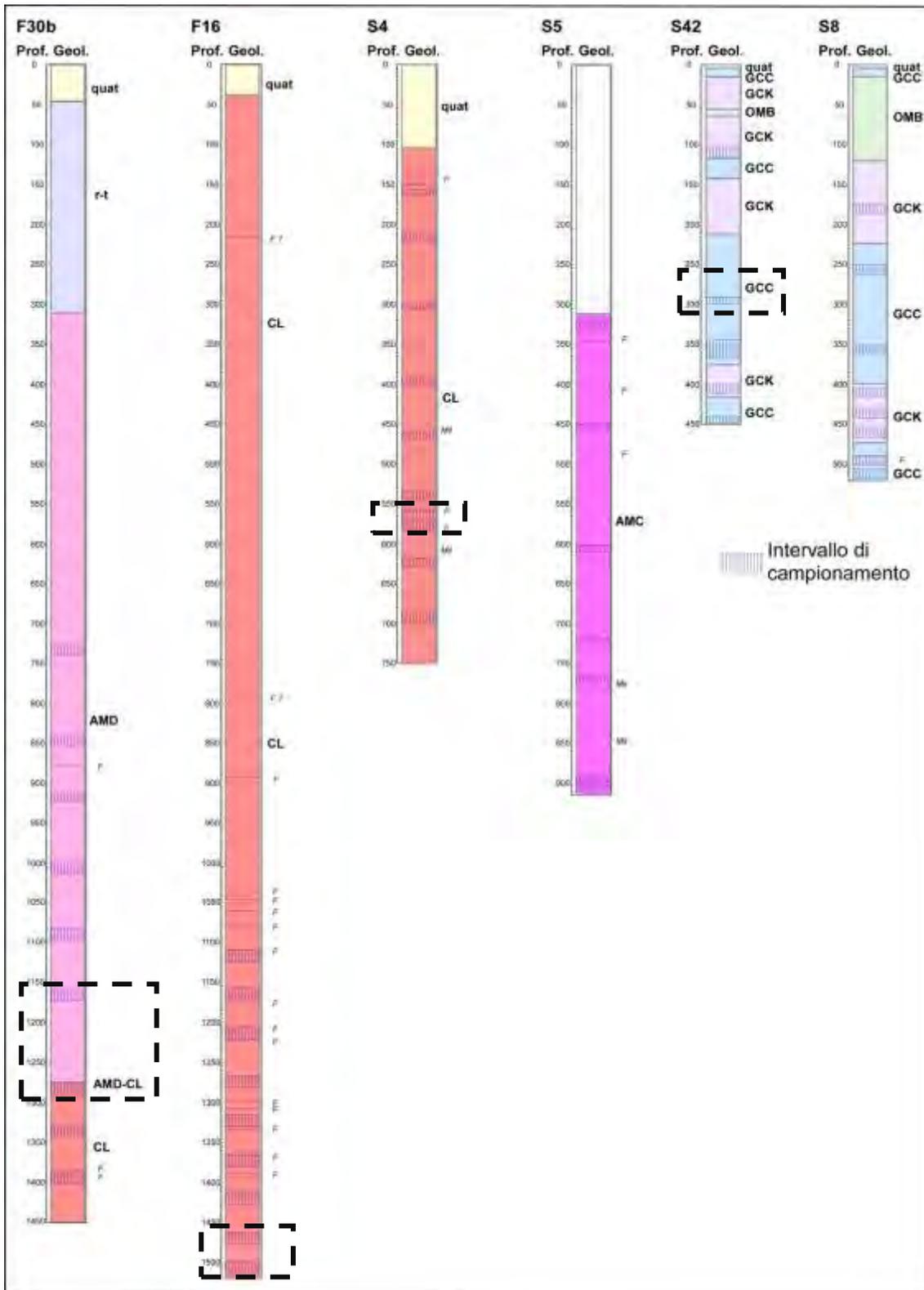


Figura 26 – Stratigrafie dei sondaggi considerati per il prelievo dei campioni.

Quat: depositi quaternari; COMPLESSO DI AMBIN – r-t: quarziti micacee e conglomerati quarzitici; AMC: gneiss leucocratici; AMD: micascisti quarzosi ± conglomeratici; COMPLESSO DI CLAREA – CL: micascisti e gneiss minuti a glaucofane ± albitizzati con locali lenti di metabasiti anfibolitiche; ZONA PIEMONTESE – GCC: scisti filladici carboniosi; GCK: gneiss albitici (Gneiss di Charbonnel aut.); OMB: prasiniti, metabasiti. Il rettangolo tratteggiato nero lungo i sondaggi indica il settore entro quale ricade la proiezione della quota di scavo del Tunnel di Base.

### 3.2 Analisi di laboratorio per la valorizzazione dei materiali di scavo

Nel presente paragrafo sono indicate le analisi di laboratorio eseguite in riferimento alla possibilità di valorizzazione dei materiali di scavo.

#### 3.2.1 Valorizzazione dei materiali di scavo

Per la valorizzazione dei materiali di scavo le prove di laboratorio sono state definite in modo da garantire la comparazione dei risultati di caratterizzazione con effettuati nelle fasi precedenti.

In aggiunta alle prove indicate in APR2006 è stata prevista la valutazione dei requisiti chimici di cui ai punti 6.2 e 6.3 della norma UNI EN 12620 (contenuto in cloruri, solfati e zolfo). Di seguito sono indicate le prove di laboratorio.

Prova	Standard
Resistenza alla compressione monoassiale	(UNI EN 1926)
Abrasività	(AFNOR NF P18-579)
Frantumabilità	(AFNOR NF P18-579)
Prova di frammentazione dinamica (Los Angeles)	(UNI EN 1097-2)
Point load test Is50 (parallelo e perpendicolare alla scistosità per materiali anisotropi)	(ISRM 1985)
Composizione petrografica per le frazioni 0,25/0,5 e 1/4	(UNI EN 932-3)
Componenti non idonee nella sabbia per le frazioni 0,25/0,5 e 1/4	(SN 670 115)
Analisi microscopica in sezione sottile	(UNI EN 12407)
Reattività alcali-silice	(UNI 8520-22)
Coefficiente di assorbimento in acqua per le frazioni <4mm e >4mm	(UNI EN 1097-6)
Contenuto in cloruri	(UNI EN 1744-1)
Contenuto in solfati	(UNI EN 1744-1)
Contenuto in zolfo totale	(UNI EN 1744-1)

**Tabella 4 – Elenco delle prove per la caratterizzazione dei materiali di scavo ai fini della valorizzazione**

### 3.3 Risultati delle analisi per la valorizzazione dei materiali

La valutazione dell'idoneità delle diverse formazioni considerate nella campagna di indagini per la produzione di aggregati per calcestruzzi è stata condotta sulla base dei valori soglia definiti nell'APR2006, dei valori di riferimento considerati per gli altri progetti illustrati al capitolo 2 e dai valori soglia previsti dallo standard UNI EN 8520.

La definizione dei parametri e delle relative soglie è basata sulla necessità di individuare formazioni rocciose che rispondano a precisi requisiti in relazione ai seguenti aspetti:

- resistenza meccanica tale da prospettare la produzione di aggregati idonei al confezionamento di calcestruzzo per gli usi previsti nella realizzazione delle opere in progetto (rivestimento dei tunnel, opere all'aperto ecc.) (Thalmann & Burdin, Gestion et valorisation des Matériaux d'Excavation de Tunnels. Analyse comparative de 3 grand projets, 2005);
- composizione petrografica adeguata, quindi caratterizzata da un basso o nullo contenuto in componenti non idonee per la produzione di aggregati per calcestruzzo. Relativamente a questo aspetto un elemento di rilievo è il tenore in fillosilicati, in particolare nelle frazioni più fini, in quanto una elevata percentuale di mica, data l'elevata superficie caratteristica, determina un consumo maggiore di acqua a parità di grado di lavorabilità richiesta. Inoltre la presenza di mica, anche sulla superficie dei grani dell'aggregato può determinare una riduzione dell'aderenza all'interfaccia grano-aggregato (Toffano, 2009; Thalmann & Burdin, Gestion et valorisation des Matériaux d'Excavation de Tunnels. Analyse comparative de 3 grand projets, 2005) ed essere soggetta a lenta decomposizione in ambienti umidi (Pepino, 2009).

- assenza di minerali alcali-reattivi. Un potenziale comportamento alcali-reattivo dell'aggregato, sebbene gestibile entro certi limiti con additivi inibitori, si traduce se non nell'impossibilità di impiego del marino, almeno in un costo aggiuntivo per la definizione del mix-design del calcestruzzo (Collepari, Coppola, & Pauri, 1991).

Prova	Standard
Resistenza alla compressione monoassiale	>75 N/mm <sup>2</sup>
Frantumabilità	<70
Prova di frammentazione dinamica (Los Angeles)	<40%
Point load test Is50 (parallelo e perpendicolare alla scistosità per materiali anisotropi)	I <sub>S50</sub> parallelo alla scistosità: ≥ 2,5 [N/mm <sup>2</sup> ] I <sub>S50</sub> perpendicolare alla scistosità e per rocce isotrope: ≥ 3 [N/mm <sup>2</sup> ]
Componenti non idonee nella sabbia per le frazioni 0,25/0,5 e 1/4	≤5%
Percentuale di fillosilicati (analisi microscopica in sezione sottile)	≤20%
Reattività alcali-silice	<0,1% (14 gg) oppure <0,05% (3 mesi)
Coefficiente di assorbimento in acqua per le frazioni <4mm e >4mm*	<1%
Contenuto in cloruri	<0,03%
Contenuto in solfati	<0,2%
Contenuto in zolfo totale	<1

**Tabella 5– Limiti di riferimento per i materiali idonei alla produzione di aggregati per calcestruzzi.**

\* In base alla norma UNI 8520-2 il limite relativo al coefficiente di assorbimento in acqua è riferito al caso di valutazione all'esposizione del calcestruzzo a cicli di gelo/disgelo. Nel caso in esame il limite è considerato per confronto con le analisi condotte per l'APR2006 (rif. APRB2TS20065), ma va precisato che i calcestruzzi prodotti saranno utilizzati per il rivestimento delle opere in sotterraneo e non saranno esposti a questo tipo di sollecitazione.

I risultati dell'analisi dei campioni inviati per la determinazione dei parametri geotecnici, geochimici e petrografici sono illustrati nella tabella riassuntiva riportata in allegato 2, assieme ai certificati delle prove di laboratorio.

Sulla base dei valori soglia definiti in precedenza nella Tabella 5 sono indicati i risultati delle prove che non rispettano i limiti definiti. In Tabella 6 sono riportati i dati di sintesi per ciascuna delle litologie considerate.

L'esame delle due tabelle permette di identificare gruppi omogenei di campioni in funzione delle caratteristiche fisiche, petrografiche e chimiche.

### 3.3.1 Point load test Is50

I risultati del Point Load Test indicano che più del 90% dei campioni della formazione CL e della formazione AMC presentano valori superiori alle soglie di riferimento. Considerando i valori medi dei risultati delle prove eseguite parallelamente e perpendicolarmente alla scistosità emerge un basso grado di anisotropia nel comportamento meccanico (CL=1,3; AMC=1,0).

Per i campioni della formazione AMD, i risultati della prova condotta parallelamente alla scistosità indicano che solo il 33% dei campioni presenta valori superiori alle soglie di riferimento. Relativamente alla prova condotta perpendicolarmente alla scistosità la percentuale sale al 67%. Il grado di anisotropia rilevato è pari a 1,4. Tale livello di anisotropia è in termini assoluti uguale a quello rilevato per la formazione CL, ma se si prendono i dati di resistenza misurati, risulta che la formazione CL fornisce valori medi mediamente doppi

rispetto a quelli dei campioni della formazione AMD ( $Is(50) \perp \rightarrow CL=6,7$  MPa e  $AMD=3,5$  MPa;  $Is(50) // \rightarrow CL=5.1$  MPa e  $AMD=2,5$  MPa).

Per i campioni della formazione GCC, i risultati della prova condotta parallelamente alla scistosità indicano che il 22% dei campioni presenta valori superiori alle soglie di riferimento. Relativamente alla prova condotta perpendicolarmente alla scistosità la percentuale sale all'83%. Il grado di anisotropia rilevato è pari a 2,5

Per i campioni della formazione GCK, i risultati della prova condotta parallelamente alla scistosità indicano che solo il 14% dei campioni presenta valori superiori alle soglie di riferimento. Relativamente alla prova condotta perpendicolarmente alla scistosità la percentuale sale al 100%. Il grado di anisotropia rilevato è pari a 2,1.

### **3.3.2 Resistenza a compressione monoassiale**

I risultati della prova a resistenza monoassiale indicano che il 74% dei campioni della formazione CL e il 97% dei campioni della formazione AMC presentano valori superiori alle soglie di riferimento.

Per i campioni della formazione AMD, i risultati della prova indicano che solo il 67% dei campioni presenta valori superiori alle soglie di riferimento.

Per i campioni della formazione GCC, i risultati della prova indicano che solo il 17% dei campioni presenta valori superiori alle soglie di riferimento.

Per i campioni della formazione GCK, i risultati della prova indicano che solo il 43% dei campioni presenta valori superiori alle soglie di riferimento.

### **3.3.3 Frantumabilità dei campioni**

I risultati della prova di valutazione del grado di frantumabilità dei campioni indicano che tutti i campioni considerati risultano caratterizzati da un risultato inferiore al limite di riferimento indicato in Tabella 5.

### **3.3.4 Prova Los Angeles**

I risultati della prova indicano che tutti i campioni considerati risultano caratterizzati da un risultato inferiore al limite di riferimento indicato in Tabella 5.

### **3.3.5 Tenore in solfati, zolfo totale e cloruri**

I risultati della prova indicano che tutti i campioni considerati risultano caratterizzati da un risultato inferiore al limite di riferimento indicato in Tabella 5.

### **3.3.6 Assorbimento in acqua**

I risultati della prova indicano per la frazione 4-31,5mm che il 91% dei campioni della formazione CL risulta idoneo. Per la frazione 0,063-4mm la percentuale sale al 96%.

Relativamente ai campioni della formazione AMC, per la frazione 4-31,5mm, l'82% risulta idoneo. Per la frazione 0,063-4mm la percentuale scende al 70%.

Relativamente ai campioni della formazione AMD, per la frazione 4-31,5mm, l'83% risulta idoneo. Per la frazione 0,063-4mm la percentuale sale al 100%.

Relativamente ai campioni della formazione GCC, per la frazione 4-31,5mm, l'83% risulta idoneo. Per la frazione 0,063-4mm la percentuale scende al 67%.

Relativamente ai campioni della formazione GCK, per la frazione 4-31,5mm, il 100% risulta idoneo. Per la frazione 0,063-4mm la percentuale scende all'86%.

Come indicato in Tabella 5, In base alla norma UNI 8520-2 il limite relativo al coefficiente di assorbimento in acqua è riferito al caso di valutazione all'esposizione del calcestruzzo a cicli di gelo/disgelo. Nel caso in esame il limite è considerato per confronto con le analisi condotte per l'APR2006 (rif. APRB2TS20065), ma va precisato che i calcestruzzi prodotti saranno utilizzati in larga parte per il rivestimento delle opere in sotterraneo dove non saranno esposti a questo tipo di sollecitazione.

### **3.3.7 Esame petrografico**

L'esame petrografico è considerato per la valutazione del contenuto in % in fillosilicati (mica + clorite).

Sulla base dei risultati ottenuti, solo il 3% dei campioni della formazione CL presenta un tenore inferiore alla soglia definita in Tabella 5 (pari al 20%). Per i campioni delle formazioni AMC la percentuale passa al 77%, per la formazione AMD la percentuale è del 13%, per la formazione GCC la percentuale rilevata è pari a 50% e per i campioni della formazione GCK la percentuale è pari a 29%. Ad eccezione dei campioni della formazione AMC, il cui tenore medio in fillosilicati è pari al 13% (composizione modale), i campioni delle altre formazioni presentano tenori medi compresi tra 22% (GCC) e 36% (AMD).

### **3.3.8 Componenti mineralogici non idonei**

L'esame ha permesso una valutazione della percentuale di fillosilicati liberi nelle frazioni granulometriche 1-4mm e 0,25-0,5mm.

Nella frazione granulometrica 1-4mm, la % di frammenti di roccia costituiti tenore di mica superiore al 50%, risulta superiore all'80% dei grani contanti per la maggioranza dei campioni.

Quando si esaminano i risultati dell'analisi per la frazione 0,25-0,5mm il contenuto in fillosilicati liberi è sempre superiore al limite indicato in Tabella 5.

Le percentuali medie di fillosilicati liberi risultano pari al 13,4% (CL), 13,3% (AMC), 19,3% (AMD), 8,3%(GCC) e 16% (GCK).

### **3.3.9 Reattività degli aggregati in presenza di alcali**

I risultati della prova (durata 3 mesi) indicano che tutti i campioni considerati risultano caratterizzati da un risultato inferiore al limite di riferimento indicato in Tabella 5.

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

	Point load test	I <sub>s(50)</sub> [MPa]		Resistenza a compressione monoassiale	Abrasività e frantumabilità		Prova Los Angeles	ANALISI CHIMICHE			Assorbimento in acqua		Esame petrografico	Componenti mineralogici non idonei	RAG				
		(//)	(\)		ABR	BR		LA[%]	SOLFATI	ZOLFO TOT	CLORURI	WA <sub>24</sub> [%]				WA <sub>4</sub> [%]	Fillosilicati liberi (%)	Sabbia [%] (0.25-0.5 mm)	Espansione media (%)
CL	Campioni idonei	<b>96%</b>	<b>92%</b>	<b>74%</b>		<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>91%</b>	<b>96%</b>	<b>3%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>				
	Media	5,1	6,7	113,2	526,6	42,7	24,0	0,1	0,0	0,0	0,8	1,1	35,0	13,4	0,020				
	Dev. St.	1,3	2,5	38,7	340,9	3,0	2,3	0,0	0,0	0,0	1,1	1,8	9,4	4,7	0,001				
	Max	7,7	15,6	167,9	880,0	50,1	29,3	0,2	0,1	0,0	5,6	9,2	55,0	24,0	0,022				
	Min	2,5	1,5	41,2	36,5	38,7	19,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	19,0	7,0	0,019				
AMC	Campioni idonei	<b>100%</b>	<b>94%</b>	<b>97%</b>		<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>82%</b>	<b>70%</b>	<b>77%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>				
	Media	5,9	6,1	179,5	701,2	50,3	29,3	0,1	0,1	0,0	1,7	1,9	16,7	13,3	0,016				
	Dev. St.	2,3	2,9	55,2	372,5	2,1	4,0	0,1	0,0	0,0	2,4	3,2	14,4	4,8	0,001				
	Max	11,3	11,0	313,8	1260,0	53,1	39,2	0,2	0,1	0,0	7,2	11,0	65,0	20,0	0,019				
	Min	2,7	1,3	37,7	32,3	46,7	25,4	0,0	0,0	0,0	0,5	0,7	6,0	7,0	0,015				
AMD	Campioni idonei	<b>33%</b>	<b>67%</b>	<b>67%</b>		<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>83%</b>	<b>100%</b>	<b>13%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>				
	Media	2,5	3,5	84,6	826,7	49,1	28,4	0,1	0,0	0,0	0,9	0,8	36,0	19,3	0,021				
	Dev. St.	1,0	0,8	22,0	99,3	2,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	14,7	8,6	0,001				
	Max	3,8	4,4	110,2	940,0	53,9	29,8	0,1	0,1	0,0	1,1	1,0	54,0	33,0	0,023				
	Min	0,9	2,4	49,9	660,0	47,2	26,5	0,1	0,0	0,0	0,7	0,2	10,0	8,0	0,019				
GCC	Campioni idonei	<b>22%</b>	<b>88%</b>	<b>17%</b>		<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>83%</b>	<b>67%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>				
	Media	1,9	4,7	58,8	388,2	50,9	33,4	0,1	0,1	0,0	0,6	0,8	29,7	8,3	0,022				
	Dev. St.	0,9	1,4	22,7	110,9	8,7	0,8	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	26,1	7,3	0,001				
	Max	3,8	7,7	85,2	556,0	60,3	34,3	0,2	0,1	0,0	1,0	1,1	82,0	23,0	0,024				
	Min	0,9	0,9	20,9	122,0	29,2	32,5	0,1	0,0	0,0	0,3	0,5	14,0	1,0	0,021				
GCK	Campioni idonei	<b>14%</b>	<b>100%</b>	<b>43%</b>		<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>86%</b>	<b>29%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>					
	Media	2,0	4,2	82,1	574,3	52,6	30,1	0,1	0,1	0,0	0,7	0,8	22,0	16,0	0,018				
	Dev. St.	0,9	0,9	26,3	173,9	6,1	3,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	3,9	8,0	0,003				
	Max	3,1	5,4	133,1	820,0	59,2	34,7	0,2	0,1	0,0	1,0	1,0	26,0	27,0	0,023				
	Min	0,6	3,2	60,3	380,0	41,8	25,1	0,1	0,0	0,0	0,5	0,3	15,0	5,0	0,015				

**Tabella 6 – Sintesi dei risultati delle analisi sui campioni esaminati distinti per unità litologica. In grassetto è indicata la percentuale di campioni che rispetta i criteri di idoneità alla produzione di aggregati definiti per ciascuna prova.**

### 3.4 Definizione delle classi di utilizzo e dei coefficienti di valorizzazione

Sulla base dei criteri seguiti nel corso di redazione dell'APR2006 e ripresi nella fase di Progetto Definitivo Approvato, sono definite le seguenti classi di valorizzazione:

- C11: materiali idonei per la produzione di aggregati per calcestruzzi;
- C12: materiali idonei per la realizzazione di rilevati;
- C13a: materiali da utilizzare per interventi di ripristino ambientale, previa la determinazione certa sulla presenza o l'assenza d'amianto e del relativo IR, verificata sul campione tal quale, non setacciato, come previsto dalla norma UNI10802-pg. 12 e dal DM del 14/5/1996;
- C13b: materiali che presentano un carattere evolutivo o che contengono minerali di amianto o altri elementi contaminanti superiori alle soglie di contaminazione definita dal D. Lgs. 152/2006 e s.m.i.

In questo paragrafo sono discussi i risultati ottenuti con le prove di laboratorio eseguite per perfezionare la definizione dei coefficienti di valorizzazione dei materiali esaminati, da applicare quindi per il calcolo dei bilanci degli inerti relativi ai lavori di realizzazione delle opere in progetto.

L'approccio seguito è il seguente:

- 1) identificazione dei campioni che sulla base dell'esame complessivo dei criteri della Tabella 5 possono essere presi in considerazione per l'attribuzione alla classe C11 ed attribuzione dei rimanenti campioni alle altre classi di valorizzazione;
- 2) esame di dettaglio dei risultati delle analisi per la definizione dei coefficienti di valorizzazione da attribuire alle formazioni risultate idonee alla produzione di aggregati per calcestruzzo.

I risultati illustrati nel paragrafo precedente indicano come dal punto di vista chimico nessuno dei campioni esaminati presenta fattori limitanti in termini di contenuto in solfati, zolfo totale, cloruri. Inoltre, nessun campione è potenzialmente alcali-reattivo.

I fattori limitanti emersi dalle analisi condotte sono invece i seguenti:

- resistenza meccanica
- composizione petrografica
  - contenuto in fillosilicati della composizione modale
  - contenuto dei componenti inidonei nelle frazioni 1-4mm e 0,25-0,5mm

Considerata la necessità di garantire prestazioni meccaniche degli aggregati tali da poter permettere la produzione di calcestruzzi per i rivestimenti dei tunnel (es. C45/55), l'aspetto legato alla resistenza meccanica dei materiali è quello più rilevante.

In questo senso, nella fase di PD2 i materiali che sono stati presi in considerazione nella fase per l'attribuzione alla classe C11 sono quelli rappresentati dai campioni prelevati nelle formazioni CL (micascisti di Clarea) e AMC (Gneiss leucocratici).

Per poter far fronte a un deficit di materiali pari a 700.000 tonnellate emerso sul lato italiano in seguito al bilancio materiali condotto in fase di PD2, è stata eseguita una campagna di indagini al fine di valutare il possibile utilizzo dei Calcescisti della Zona Piemontese (GCC) per la produzione di aggregati.

Lo studio sui *Materiali di scavo settore Susa - calcescisti (GCC) PM 57300 a 60300 - Prove di qualità per aggregati per calcestruzzo - Rapporto Finale (Ref. PRFGCCJBD0001A)* di Burdin&Thalmann, condotto tramite specifiche prove di laboratorio e usando diverse tipologie di legante, ha portato alle seguenti conclusioni:

- I calcescisti GCC possono essere utilizzati per produrre granulati per calcestruzzi
- Il coefficiente di utilizzo dei GCC in granulati potrà essere compreso tra 0,60 e 0,65
- L'utilizzo di leganti (tipo CEM I 42,5) e di ceneri conferisce i migliori risultati dal punto di vista tecnico

Sempre nell'ottica di migliorare/verificare la percentuale di riutilizzo dei materiali un ulteriore studio sui materiali di smarino del Cunicolo della Maddalena, specificatamente sui materiali appartenenti alle formazioni CL e AMC.

Lo studio sui *Materiali di scavo provenienti dalla galleria della Maddalena – Micascisti di Clarea e Gneiss Aplitici - Prove di qualità per aggregati per calcestruzzo - Rapporto Finale (Ref. PRFCLRJBD00010)*; Burdin ha portato alle seguenti conclusioni:

- I micascisti CL hanno caratteristiche conformi per essere utilizzati come granulati per calcestruzzi

- Gli gneiss (AMC) presentano alcuni valori al limite dell'accettabilità (prove Los Angeles) ma possono essere trasformati in granulati per i calcestruzzi tipo C 30/37 (rivestimento galleria/spritz-beton)
- Per ottimizzare i coefficienti di valorizzazione e ridurre la produzione di fini è opportuno ottimizzare la configurazione della TBM (diametro dischi e loro spaziatura)
- Vengono proposti coefficienti di riutilizzo compresi tra 0,55-0,60 per gli gneiss AMC e tra 0,65-0,70 per i micascisti CL.

I materiali della formazione GCK e AMD, in coerenza con la fase progettuale precedente sono invece attribuiti alla classe C12.

Riferendosi alla composizione petrografica, in quelli della formazione CL il tenore medio quasi sempre superiore al limite di riferimento. I materiali appartenenti alle formazioni AMC e GCC hanno un tenore in fillosilicati più basso in quanto il 77% dei campioni di AMC ed il 50% di campioni di GCC presentano valori inferiori al limite di riferimento. Per Per i campioni di tutte e due le formazioni la presenza di fillosilicati liberi nella frazione 0,25-0,5mm è rilevante (Thalmann & Petitat, À l'adresse de l'équipe d'ingénieurs chargée de la gestion du lot C3 de la liaison ferroviaire Lyon-Turin-Ferroviae (LTF), 2012).

Questo aspetto deve però essere contestualizzato alla luce della fase realizzativa ed ai controlli di idoneità dei materiali inerti nella produzione dei calcestruzzi. In particolare per la realizzazione del tunnel di base del Loetschberg, nelle sabbie fini (frazione 0-1mm rappresentata dalla frazione 0,25-0,5mm) il limite di fillosilicati liberi era stato posto pari a 35%, in quanto oltre questa percentuale la qualità della sabbia peggiora notevolmente (Thalmann & Petitat, À l'adresse de l'équipe d'ingénieurs chargée de la gestion du lot C3 de la liaison ferroviaire Lyon-Turin-Ferroviae (LTF), 2012; Thalmann & Burdin, Gestion et valorisation des Matériaux d'Excavation de Tunnels. Analyse comparative de 3 grand projets, 2005).

Quando si fa riferimento al contenuto in fillosilicati nella roccia, il 97% dei campioni rappresentativi della formazione CL presenta tenori superiori al 20%. Per i campioni relativi alla formazione AMC la percentuale si abbassa all'23%. Se si procede al confronto tra i tenori in mica delle due formazioni con quelli rilevati per i micascisti dell'Arpont (30-40%), nel corso dello scavo della discenderia di Modane, è possibile definire per questo aspetto un'analogia tra i litotipi del basamento Brianzonese e la formazione CL. D'altro canto il ritorno di esperienza maturato per i cantieri di Nant de Drance e del Gottardo indica che per litologie simili a quelle della formazione CL è stata possibile una valorizzazione del 55-85% (rif PD2GVMJBD0001). Il raggiungimento di questi valori è associato all'adozione di sistemi di riduzione della percentuale di fillosilicati liberi nella frazione fine, come quelli installati nel cantiere di Serdun (§2.1.1).

Sulla base dei dati delle prove di laboratorio, delle esperienze pregresse sul lato francese e degli ultimi studi condotti, i coefficienti di valorizzazione proposti per i materiali delle formazioni attribuite alla classe C11 sono i seguenti:

- CL = 0,65
- AMC = 0,55
- GCC = 0,60

Tali valori sono definiti in base ad una previsione di adozione di un processo di valorizzazione che preveda pertanto i seguenti elementi:

- frantumazione primaria (es. frantoio a mascelle) per la riduzione della pezzatura del materiale scavato con metodo tradizionale;
- frantumazione secondaria (es. mulino ad attrito o frantoio a cono) per la riduzione del diametro massimo del marino per ottenere frazioni granulometriche 0/50 mm o 0/60 mm;
- frantumazione terziaria (es. frantoio ad urto ad asse verticale a velocità variabile), per migliorare il coefficiente di forma e permettere il riciclaggio degli aggregati in eccesso;
- pulizia degli aggregati prodotti con un sistema di separazione trattare i materiali fini (es. flocculazione o filtropressa).

#### 4. Parte 3: calcolo dei volumi di scavo e dei quantitativi attribuibili alle differenti classi di valorizzazione

Per precauzione contro il rischio sanitario per la popolazione legato alla volatilizzazione di fibre d'amianto respirabili (ai sensi del D.Lgs. 81/08 art. 253 "*Controllo dell'esposizione*") a partire dai cantieri e dai siti di riambientalizzazione, sarà necessario programmare le azioni definite nel "*Piano di sicurezza e coordinamento – parte generale*" PRV\_CSP\_SIG\_0012, per definire i valori di fondo naturale caratteristici nei siti di cantiere e di deposito, e il relativo livello di rischio. In particolare, sarà necessaria l'ispezione da parte di un geologo al fronte di scavo per la valutazione della tipologia di litotipi scavati, oltre all'ispezione e al campionamento del materiale scavato come descritto nel documento "Analisi dei rischi litologici" PRVC3BTS30083. Le analisi in laboratorio dovranno essere eseguite sui campioni tal quali, opportunamente trattati per la successiva determinazione analitica (cf. norma UNI10802-pg. 12 e dal DM del 14/5/1996).

##### 4.1 Classi di utilizzo e requisiti progettuali

Le classi di utilizzo dei materiali di scavo prodotti con la realizzazione delle opere in sotterraneo della NLTL, come indicato nel capitolo precedente, sono le seguenti:

- C11: materiali idonei per la produzione di aggregati per calcestruzzi;
- C12: materiali idonei per la realizzazione di rilevati;
- C13a: materiali da utilizzare per interventi di ripristino ambientale, previa la determinazione certa sulla presenza o l'assenza d'amianto (Indice di Rilascio) IR, verificata sul campione tal quale, non setacciato, come previsto dalla norma UNI10802-pg. 12 e dal DM del 14/5/1996;
- C13b: materiali che presentano un carattere evolutivo o che contengono minerali di amianto o altri elementi contaminanti superiori alle soglie di contaminazione definita dal D. Lgs. 152/2006 e s.m.i.

Al fine di calcolare i volumi di marino attribuibili alle differenti classi di valorizzazione è stato seguito il modello concettuale illustrato nella figura seguente.



Figura 27 – Schema adottato per la gestione del marino in funzione delle possibilità di utilizzo definite sulla base delle indagini condotte.

A partire dal materiale scavato nel corso della realizzazione delle opere in sotterraneo, sono definite le quantità di marino valorizzate per i differenti tipi di utilizzo in funzione dei coefficienti di valorizzazione definiti nel presente capitolo.

#### 4.1.1 Classe C11

L'attribuzione del marino alla classe C11 è condotta considerando solo quel materiale che lavorato permette la produzione di aggregati idonei alla produzione di calcestruzzi con le caratteristiche richieste per la realizzazione dei rivestimenti delle opere in sotterraneo. In questo senso sono prese come riferimento la norma UNI EN 12620 e la norma UNI EN 8520.

Le formazioni considerate capaci di generare un materiale di scavo attribuibile alla classe C11 sono già state definite in fase di Progetto Definitivo Approvato, sulla base degli studi eseguiti nelle fasi progettuali precedenti (Progetto Preliminare in variante della NLTL e APR2006).

Nel corso dell'attuale fase progettuale, in base agli ultimi studi condotti e come descritto nel paragrafo 3.4, è stato possibile ottimizzare i coefficienti di valorizzazione per alcune formazioni geologiche.

In fase di scavo, il marino potrà essere attribuito alla classe C11 se saranno soddisfatti i requisiti di cui alla tabella seguente.

Parametro	Norma	Limite di riferimento
Frantumabilità	AFNOR P 18-579	$\leq 75$ [-]
Point Load Test IS <sub>50</sub>	ISRM, 1985	IS <sub>50</sub> parallelo: $\geq 2$ [N/mm <sup>2</sup> ]* IS <sub>50</sub> perpendicolare/isotropo: $\geq 2,5$ [N/mm <sup>2</sup> ]*
Composizione mineralogica sul campione a mano	Analisi sul campione a mano (rif. SN 670 115)	$\leq 10\%$ della superficie visibile
Proporzione di fillosilicati in un frammento di roccia	(Thalmann, Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen	$\leq 20\%$

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

Parametro	Norma	Limite di riferimento
	Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen, 1996)	
Componenti inidonei sul piano petrografica per le frazione 1/4, 4/22, 22/128mm (escluso i fillosilicati liberi)	SN 670115 e SIA 162/1	≤ 10%
Fillosilicati liberi nella sabbia grezza (0,25 – 0,50mm)	SN 670115	≤ 35%
Alcali-reattività potenziale (RAG)	UNI EN 8520-22	espansione < 0,1 [%] dopo 14 gg.

**Tabella 7 – Parametri di valutazione del marino per la sua attribuzione alla classe C11.**  
 \* soglie di riferimento definite nell'APR2006.

Nella **classe C11** sono state inserite le seguenti formazioni:

- i micascisti e gli gneiss minuti a glaucofane ± albitizzati (C1)
- gli gneiss aplitici (AMC)
- le quarziti micacee (QSE)
- Scisti carbonatico filladici (GCC)

Sulla base dei processi di valorizzazione e dei relativi prodotti di lavorazione, il materiale che costituisce il residuo dopo valorizzazione della classe C11, non idoneo a essere riutilizzato come aggregati per cls, è stato computato in classe C13a.

L'inerte prodotto dovrà presentare le seguenti caratteristiche fisiche:

- Classi granulometriche
  - 0/4mm 55%
  - 4/8mm 5%
  - 8-16mm 20%
  - 16-22 mm 20%
- Indice di forma per pietrisco e ghiaia: 30
- Modulo di finezza per le sabbie: 3
- Los Angeles: 40%

#### **4.1.2 Classe C12**

Per l'attribuzione del marino alla classe C12 viene fatto riferimento alla norma CNR UNI 10006:1963 e al Capitolato costruzione opere civili Sezione V "Movimenti Terra" di RFI.

Al fine di poter valutare l'idoneità all'impiego del marino come materiale per rilevato è stato scelto un approccio teorico basato sulla curva granulometrica prevista per il marino da scavo meccanizzato, valutando quindi la percentuale di materiale non rispondente alle specifiche

considerate (materiali appartenenti alle classi A1, A2, A3 della classificazione C.N.R. -U.N.I. 10006:1963), per determinare l'aliquota idonea, discriminandola dalla percentuale di materiale troppo fine e quindi non idoneo.

Le curve sono costruite sulla base dell'equazione di Rosin-Rammler, modificata per la determinazione della curva granulometrica del marino da TBM (Pepino, 2009; Oreste & Castellano, 2012).

L'equazione è la seguente:

$$R_u = e^{-\left(\frac{u}{1-u}\right)^n} c \quad \text{eq (1);}$$

dove  $u$  è dato dal rapporto della dimensione massima del materiale in esame  $x_m$  (nel caso di TBM pari alla spaziatura degli utensili) e l'apertura delle maglie del setaccio  $x$ ,  $n$  è l'indice di regolarità che fornisce una indicazione della ristrettezza della classe granulometrica considerata e  $c$  è una costante di tipo sperimentale.  $R_u$  è il trattenuto al setaccio con maglia  $x$ .

I valori dei coefficienti  $n$  e  $c$  sono stati scelti in base ai dati ottenuti per le valutazioni circa la curva teorica ipotizzata per il marino derivante dallo scavo con TBM del progetto del cunicolo esplorativo di Venaus (Pepino, 2009), per cui  $n = 0,44$  e  $c = 1,61$ .

In Figura 28 sono riportate le curve calcolate considerando le seguenti dimensioni massime del materiale di scavo: 150 mm, 100 mm e 77 mm.

Le curve ottenute sono in accordo con il fuso granulometrico determinato dall'involuppo di curve granulometriche sperimentali dei materiali di scavo ottenuti mediante l'impiego di TBM per differenti progetti (Figura 29).

La percentuale di passante al setaccio 0,063 mm risulta compresa tra il 5% e il 7%. Sulla base di questa considerazione è possibile ipotizzare che durante lo scavo delle formazioni attribuite alla classe C12, il 95% circa del materiale possa essere utilizzato per la costruzione di rilevati, mentre un'aliquota del 5-7% sarà costituita da materiale fine attribuibile alla classe C13a. In considerazione dell'eventualità di un processo di riduzione della pezzatura del marino, ad esempio in caso di scavo tradizionale, è da tenere conto la generazione di un'ulteriore aliquota di materiale fine a seguito dei processi di frantumazione, stimabile in una percentuale del 10%. Sulla base di queste considerazioni si assume un coefficiente di valorizzazione dei materiali appartenenti alla classe C12 compreso tra 0,95 e 0,8.

La percentuale di materiale fine attesa risulta comunque inferiore al limite di riferimento previsto dalla classificazione AASHTO delle terre, che definisce le terre ghiaio-sabbiose (gruppi A1-A2-A3), i materiali con un passante allo staccio 0,075 UNI 2332 non maggiore del 35%.

Nella **classe C12** sono state inserite le seguenti formazioni:

- gli gneiss albitici (Tunnel di Base) (GCK);
- gli gneiss albitici passanti a micascisti quarzosi (Tunnel di Base) (AMD);
- i calcemicascisti (Tunnel di Interconnessione) (TCS);
- i paragneiss listati con intercalazioni di quarziti (TPG);
- depositi alluvionali del fondovalle Cenischia (af);
- depositi di conoide alluvionale (ac).

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

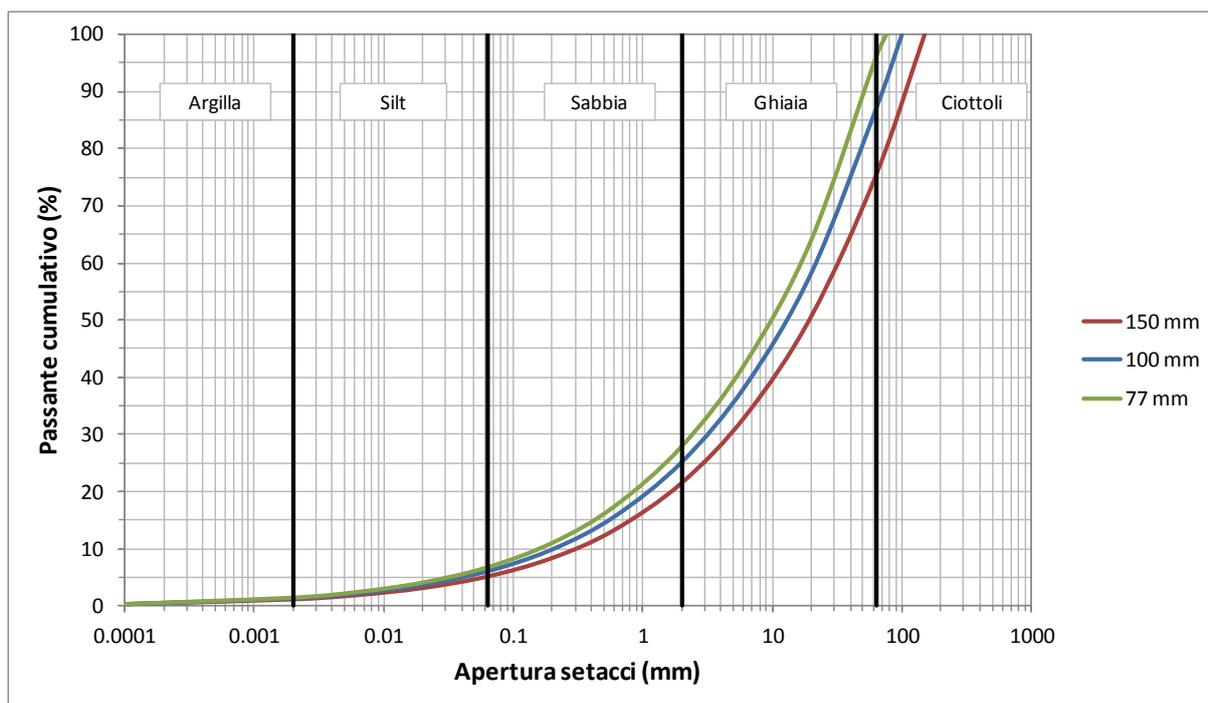


Figura 28 – Curve granulometriche teoriche per il marino ottenuto da scavo meccanizzato. Le curve sono riferite alla granulometria massima del marino: 150 mm; 100 mm; 77 mm.

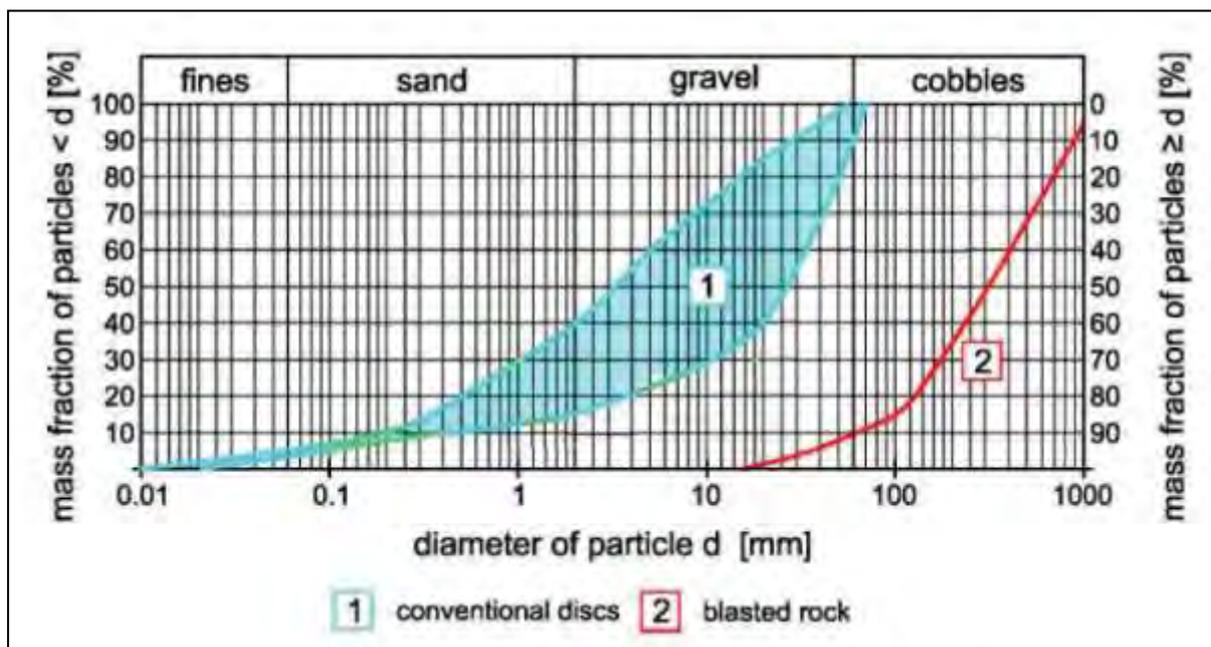


Figura 29 – Curve granulometriche del marino prodotto con scavo meccanizzato (azzurro) scavo tradizionale (rosso) (Girmscheid, 2008).

#### 4.1.3 Classe 3

Alla **classe CI3** sono destinate tutte le rocce che non sono valorizzabili per nessun impiego atto a soddisfare i fabbisogni di cantiere. All'interno di questa classe sono distinte le seguenti categorie:

- **Classe 3a** – in questa sottoclasse sono inseriti materiali che previa la determinazione certa sulla presenza o l'assenza d'amianto e del relativo IR, verificata sul campione tal

quale, non setacciato, come previsto dalla norma UNI10802-pg.12 e dal DM del 14/5/1996, presentano caratteristiche ambientali tali da poterne prevedere il reimpiego per interventi di recupero ambientale ai sensi del DM Ambiente del 10 agosto 2012, n. 161 “Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo”. Queste includono:

- le rocce provenienti da zone di faglia (dove si assume la possibile presenza di abbondante argilla);
  - le cataclasi carbonatiche del Tunnel di Base (BCC);
  - i depositi quaternari non valorizzabili per la realizzazione di rilevati (zone di imbocco del Tunnel di Interconnessione);
  - la parte non valorizzabile dei litotipi attribuiti alle classi C11 e C12.
- **Classe 3b** – in questa sottoclasse sono inseriti materiali che potenzialmente possono essere caratterizzate da presenza di amianto. La determinazione analitica della concentrazione in amianto totale e del relativo IR, per ragioni di rappresentatività del campione stesso, dovrà essere eseguita sul campione tal quale, non setacciato, come previsto dalla norma UNI10802-pg. 12 e dal DM del 14/5/1996. In questo senso sono inserite nella sottoclasse C13b le rocce ofiolitiche (OMB) ed una aliquota delle rocce delle formazioni nelle quali è valutata una possibilità di incontrare rocce ofiolitiche nel corso dello scavo. Con riferimento a quest'ultimo aspetto l'aliquota da destinare alla classe C13b è valutata cautelativamente pari allo 0,05% del quantitativo di roccia scavata. Tale aliquota è stata calcolata per le seguenti formazioni:
    - le rocce provenienti da zone di faglia (dove le condizioni tettoniche possono portare alla formazione di mineralizzazioni amiantifere) (Perello & Venturini, 2006);
    - gli scisti carbonatici filladici (Tunnel di Base) (GCC)<sup>1</sup>;
    - le cataclasi carbonatiche del Tunnel di Base (BCC);
    - depositi alluvionali e depositi di conoide alluvionale del fondovalle Cenischia (af e ac);
    - i micascisti e gli gneiss minuti a glaucofane ± albitizzati (Tunnel di Base) (CL);
    - i calcemicascisti (TCS) e i paragneiss listati (TPG) (Tunnel di Interconnessione) (TCS).

Va tuttavia sottolineato che all'interno del Massiccio di Ambin lo scavo del Cunicolo esplorativo della Maddalena, lungo il suo tracciato, non ha mai intercettato rocce con presenza di minerali amiantiferi.

Per la formazione OMB, considerata la presenza ubiquitaria di settori con mineralizzazioni asbestiformi, è stato ritenuto di attribuire tutto il marino alla classe C13b.

Alla classe 3b sono stati attribuiti anche i volumi rocciosi con concentrazioni di arsenico superiori alla soglia di contaminazione definita dal D. Lgs. 152/2006 e s.m.i. Tali materiali sono stati intercettati durante lo scavo del Cunicolo della Maddalena e si distribuiscono

<sup>1</sup> le analisi di laboratorio condotte su campioni di scisti carbonatici-filladici (GCC) prelevati condotte dal Politecnico di Torino (Patrucco, et al., 2005) non hanno rilevato la presenza di amianto. Considerata la possibilità di rinvenimento di intercalazioni costituite da lenti di metabasiti, anche per la formazione GCC è prevista un'aliquota dello 0,05% di roccia contenente amianto.

all'interno degli gneiss aplitici (AMC) del Complesso di Ambin, nella fascia di contatto con le coperture sovrastanti.

## 4.2 Attribuzione dei coefficienti di valorizzazione

### 4.2.1 Coefficienti Classe C11

Come precedentemente accennato i coefficienti di valorizzazione sono stati applicati uniformemente per tutte le litologie classificate in C11.

Coefficienti Medi di valorizzazione C11	
Tunnel di Base	
Gneiss aplitici (AMC)	0,55
Micascisti e gneiss minuti a glaucofane ± albitizzati (CL)	0,65
Quarziti micacee (QSE)	0,50
Scisti carbonatico filladici (GCC)	0,60

Tabella 8 – Coefficienti di valorizzazione utilizzati per la classe C11.

### 4.2.2 Coefficienti Classe C12

Coefficienti Medi di valorizzazione C12	
Tunnel di Base	
Gneiss albitici (GCK)	0,80
Gneiss albitici passanti a micascisti quarzosi (AMD)	0,80
Depositi Quaternari (fondovalle Cenischia)	0,80
Tunnel di Interconnessione	
Paragneiss listati con intercalazioni di quarziti (TPG)	0,80-0,95
Calcemicascisti (TCS)	0,80-0,95

Tabella 9 – Coefficienti di valorizzazione utilizzati per la classe C12.

### 4.2.3 Coefficienti in Classe C13b

Parametri mineralogici	
Aliquota di marino con potenziale contenuto in amianto (zona a scaglie TdB; depositi alluvionali TdB) per le formazioni: BCC, GCC, GCK; micascisti e gli gneiss minuti a glaucofane ± albitizzati (TdB) (CL)	0,0005
Aliquota di marino con potenziale contenuto in amianto (Tdl) per le formazioni: TCS e TPG	0,0005
Marino con amianto (zona Mompantero TdB) – formazione: OMB	1

Tabella 10 – Aliquota di marino contenente amianto.

### 4.2.4 Prescrizioni per il confezionamento del calcestruzzo in relazione al rischio reazione alcali-alcali-aggregati (RAG)

Le analisi condotte sui campioni rappresentativi delle formazioni considerate idonee per la produzione di aggregati per calcestruzzo non hanno evidenziato situazioni di potenziale reattività agli alcali. Sono tuttavia fornite le seguenti prescrizioni per il confezionamento del calcestruzzo, atte a prevenire fenomeni di alcali-reazione:

- 1) in presenza di un bilancio degli alcali nel calcestruzzo  $<3,0 \text{ kg/m}^3$  (espresso come  $\text{Na}_2\text{O}$  equivalente) utilizzare cementi con tenori  $<0,8\%$  di  $\text{Na}_2\text{O}$ ;
- 2) utilizzo sistematico di addizione pozzolanica per consumare la calce liberata dal cemento e per ridurre l'esotermia del legante, riducendo il rischio di fessurazione. In alternativa utilizzare cemento speciale additivato con loppa di altoforno;
- 3) finalizzare il processo di produzione all'ottenimento di un calcestruzzo a ridotta permeabilità (25 mm secondo la prova DIN 1145 misurata su calcestruzzo in sito).

#### 4.3 Bilancio dei materiali

Lo studio è stato impostato in modo da permettere la combinazione delle informazioni relative a tre aspetti principali:

- Caratterizzazione geologica del tracciato
- Caratteristiche geometriche delle sezioni di scavo
- Tecnica di scavo e velocità di avanzamento

Al fine di avere una forchetta di valori rappresentativa del modello utilizzato per il calcolo, le quantità totali degli scavi e dei fabbisogni riportate a titolo riassuntivo in questa relazione e nel Piano di Utilizzo (PRVC3BTS30084) sono espresse in milioni di tonnellate e con valori minimo, medio e massimo (Tabella 13).

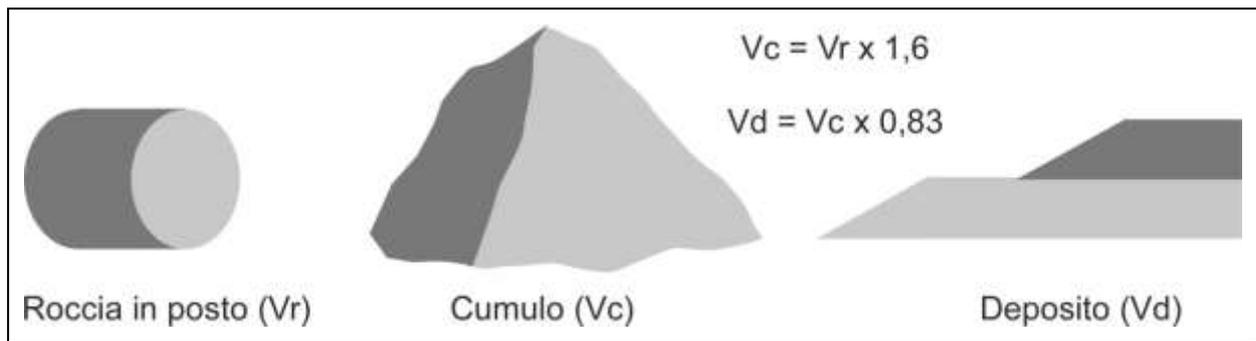
In virtù della natura dei dati di input, legata specialmente al grado di affidabilità del modello geologico di riferimento, e della loro combinazione nel modello utilizzato per il calcolo delle quantità prodotte dallo scavo, si stima una possibile variazione del 5% sui valori totali risultanti, che dà origine ad una forchetta di valori descritti mediante un minimo, medio ed un massimo.

Al fine di evitare possibili errori in fase di conversione tra volume e peso delle porzioni di ammasso scavato, le valutazioni sono state effettuate tutte in tonnellate equivalenti in banco (ovvero della roccia in posto prima dello scavo), che corrispondono alle tonnellate trattate e/o utilizzate, assumendo un valore medio di densità ( $\gamma$ ) della roccia scavata, a sua volta differenziato tra rocce cristalline ( $2,65 \text{ t/m}^3$ ) e depositi quaternari ( $2,20 \text{ t/m}^3$ ).

Allo stesso tempo, al fine di calcolare i volumi necessari allo stoccaggio o realizzazione di interventi di recupero ambientale sulla base dei volumi scavati, a questi ultimi è stato applicato un fattore moltiplicativo pari a 1,6 (Thalmann & Petitat, À l'adresse de l'équipe d'ingénieurs chargée de la gestion du lot C3 de la liaison ferroviaire Lyon-Turin-Ferrovie (LTF), 2012) per tenere conto dell'aumento di volume del materiale una volta in cumulo; a questo è stato successivamente applicato un fattore di compattazione pari a 0,83 per tenere conto del volume finale del cumulo delle aree di deposito (Tabella 11 e Figura 30).

Proprietà fisiche dei materiali scavati		
tipo	U.M	valore
Peso specifico del volume roccia intatta	$\text{t/m}^3$	2,65
Peso specifico del volume depositi sciolti	$\text{t/m}^3$	2,2
Coefficiente di aumento del volume in banco	adimensionale	1,6
Coefficiente di compattazione a deposito	adimensionale	0,83

**Tabella 11 – Parametri utilizzati per il calcolo dei volumi di scavo e del bilancio dei materiali**



**Figura 30 – Modalità di applicazione dei coefficienti di espansione e di riduzione dei volumi del marino in funzione della fase operativa**

I calcoli dei volumi è stato condotto in funzione delle diverse opere in progetto:

1. per ciascuna opera, sulla base del profilo geomeccanico è stata eseguita una suddivisione in tratte litologicamente omogenee, calcolando per ciascuna le diverse lunghezze lineari;
2. successivamente, dal valore di sezione del tunnel (variabile in funzione della tipologia di scavo prevista) sono ricavati i diversi volumi di roccia intatta e le tonnellate corrispondenti;
3. sulla base dei coefficienti di valorizzazione definiti per ciascuna formazione sono stati quindi calcolati i quantitativi di marino in funzione della classe di valorizzazione di appartenenza.

I dettagli dei risultati sono illustrati nella relazione specifica “PRVC3A6042\_Bilancio dei materiali di scavo e da costruzione” e riportati nelle tabelle di sintesi in allegato 4

L’analisi delle quantità di materiale di scavo prodotto è riferita ai diversi siti di produzione:

- Tunnel di Base tratta Area di sicurezza Clarea- inizio tratta con TBM;
- Tunnel di Base;
- Settore della Maddalena (Galleria Maddalena 1bis, Galleria Maddalena 2, Galleria di connessione Maddalena 1, Galleria di connessione Maddalena 2);
- Tunnel di Interconnessione.

Dal punto di vista della cantierizzazione sono previsti i seguenti siti:

- Cantiere “Imbocco Est Tunnel di Base”, funzionale alla realizzazione del portale d’imbocco.
- Cantiere “Imbocco Ovest Tunnel di Interconnessione”: funzionale alla realizzazione del Tunnel di Interconnessione, del relativo imbocco, dei rami di collegamento, della camera di smontaggio delle TBM per il futuro tunnel dell’Orsiera e delle opere a cielo aperto della piana di Susa.
- Cantiere “Imbocco Est Tunnel di Interconnessione” e cantiere “Innesto Bussoleno”: funzionale alla realizzazione delle opere all’imbocco Est, delle opere a cielo aperto lungo il tracciato e dell’innesto in direzione Bussoleno.
- Cantiere “Maddalena”: funzionale alla realizzazione degli scavi dei tunnel inclusi nei settori di produzione della Maddalena e del Tunnel di Base e delle opere di imbocco alla Maddalena.

- Cantiere industriale “Salbertrand” presso la quale si localizza la stazione di trattamento e valorizzazione del materiale di scavo

I quattro cantieri di produzione individuati e le relative opere associate sono riportati nella tabella seguente:

Cantiere	Parte d'opera
C. “Imbocco Est Tunnel di Base”	- Tunnel di Base – Opere di imbocco
C. “Imbocco Ovest Tunnel di Interconnessione”	- Tunnel di Int. – Binario Dispari – Opere in sezione corrente - Tunnel di Int. – Binario Pari – Opere in sezione corrente - Tunnel di Int. – Rami di collegamento - Tunnel di Int. – Opere all’imbocco Ovest - Tunnel Orsiera – Cameroni di smontaggio delle TBM - Opere a cielo aperto – Piana di Susa (supportato dall’area di lavoro di Susa)
C. “Imbocco Est Tunnel di Interconnessione” +”Innesto Bussoleno”	- Tunnel di Int. – Opere all’imbocco Est - Opere a cielo aperto – Innesto Bussoleno
C. “Maddalena”	- Galleria Maddalena 2 – Opere in sezione corrente - Galleria connessione Maddalena 1 – Opere in sezione corrente - Galleria connessione Maddalena 2 – Opere in sezione corrente - Galleria connessione Maddalena 1 bis – Opere in sezione corrente - Area di sicurezza in sotterraneo di Clarea - Tunnel di Base – Binario Dispari – Opere in sezione corrente - Tunnel di Base – Binario Pari – Opere in sezione corrente - Tunnel di Base – Rami di collegamento - Galleria Maddalena – Opere di imbocco

**Tabella 12 – Cantieri e parti d’opera ad essi associati.**

I materiali prodotti sono gestiti secondo uno schema che prevede la seguente organizzazione logistica:

- Tutto il materiale proveniente dagli scavi (ad eccezione del CI2 scavato nel Tunnel di Interconnessione) verrà trasportato dai luoghi di produzione all’area industriale di “Salbertrand” nella quale, in funzione classe di utilizzo attribuitagli, verrà inviato al processo di valorizzazione o a deposito definitivo.
- Il materiale scavato dal Tunnel di Interconnessione con caratteristiche adeguate ad essere steso in rilevato a seguito di un’opportuna preparazione, non verrà trasportato a Salbertrand ma sarà preparato direttamente sul cantiere presente all’imbocco del Tunnel di Interconnessione lato Susa. Verrà successivamente utilizzato in rilevati a Susa e Bussoleno.
- Il materiale scavato nelle rocce potenzialmente amiantifere in corrispondenza del tratto terminale del tunnel di base (lato Susa) non verrà portato a cielo aperto e pertanto non rientrerà nel bilancio finale di materiale da prevedere a deposito o come aggregato per il suo utilizzo.
- Il materiale contenete arsenico in concentrazioni superiori alla soglia di contaminazione definita dal D. Lgs. 152/2006 e s.m.i. verrà inviato a discarica.

L’area industriale “Salbertrand” è il cantiere presso il quale si svolgeranno i processi di valorizzazione dei materiali provenienti dagli scavi degli altri cantieri, e dal quale i materiali non idonei ad un successivo utilizzo saranno avviati, via treno, ai siti di riambientalizzazione.

Gli scavi lato Italia dei binari principali del tunnel di base saranno condotti direttamente dall'area di cantiere di Maddalena (ampliata ed adeguata rispetto alla sua attuale configurazione). Dall'imbocco lato Susa del Tunnel di base sarà realizzato unicamente l'imbocco artificiale.

La gestione dello smarino, la sua valorizzazione, la prefabbricazione conci ed il caricamento su treno per il trasporto ai siti di riambientalizzazione definitivi avverrà presso l'area industriale di Salbertrand.

Arriveranno all'area industriale tutti i materiali di scavo in uscita dal portale di Maddalena, il materiale di scavo dell'imbocco Est del tunnel di Base e lo smarino, destinato a deposito definitivo, proveniente dall'imbocco Ovest dell'Interconnessione.

Dall'installazione del cantiere, saranno approvvigionati in aggregati i seguenti cantieri:

- Cantiere “Imbocco Ovest Tunnel di Interconnessione”;
- Cantiere “Imbocco Est Tunnel di Base”;
- Cantiere “Maddalena”.

Dall'area di Salbertrand verranno altresì prodotti i conci necessari per l'approvvigionamento in sotterraneo delle frese in avanzamento con cantiere di riferimento Maddalena.

I dati di input utilizzati per il calcolo dei quantitativi di materiale di scavo e dei fabbisogni sono i seguenti:

- planning di costruzione;
- classi di valorizzazione dei materiali;
- tratte di applicazione delle sezioni tipo;
- caratteristiche geometriche delle singole sezioni tipo (volume di scavo, volumi di calcestruzzo per rivestimenti/finiture, percentuale di aggregati per unità di volume di calcestruzzo ecc.);

I quantitativi di aggregati, di calcestruzzo e di materiale per rilevati sono stati determinati sulla base dei seguenti valori:

- tonnellate di aggregati per  $m^3$  di calcestruzzo pari a  $1,9 t/m^3$ ;
- tonnellate di aggregati per  $m^3$  di boiaccia di intasamento a tergo dei conci pari a  $1,1 t/m^3$ ;
- tonnellate di materiale per  $m^3$  di rilevato pari a  $2,0 t/m^3$

#### **4.3.1 Analisi delle produzioni**

##### **4.3.1.1 Produzione complessiva**

La produzione complessiva dei materiali di scavo ripartiti nelle differenti classi di valorizzazione è indicato nella tabella seguente.

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

Produzioni materiale scavato			
Classe	Tipologia di utilizzo	Produzione (Mt)	
Cl1	Aggregati per calcestruzzo	min	2,78
		med	2,92
		max	3,07
Cl2	Materiali per rilevati	min	1,67
		med	1,76
		max	1,85
Cl3a	Interventi di recupero ambientale	min	2,23
		med	2,34
		max	2,46
Cl3b	Rifiuti speciali pericolosi	min	0,29
		med	0,31
		max	0,32

Tabella 13 – Suddivisione in classi delle quantità prodotte con la realizzazione delle opere in progetto.

In generale la realizzazione delle opere in sotterraneo determina la produzione di una quantità totale di marino pari a 7,33 Mt , di cui 7,02 Mt sono costituiti da terre e rocce da scavo, mentre 0,31 Mt sono rappresentati da roccia potenzialmente contenente amianto o arsenico e dunque classificata come rifiuto speciale pericoloso (Cl3b).

Nelle tabelle successive sono riportate le quantità di materiale suddivise per classi di utilizzo calcolate rispetto singoli cantieri di produzione di marino.

Imbocco Est Tunnel di Base		
Classe	Tipologia di utilizzo	Produzione (Mt)
Cl1	Aggregati per calcestruzzo	-
Cl2	Materiali per rilevati	-
Cl3a	Interventi di recupero ambientale	0,06
Cl3b	Rifiuti speciali pericolosi	-

Tabella 14 – Sintesi delle produzioni previste in corrispondenza del cantiere all'Imbocco Est del Tunnel di Base.

Imbocco Est Tunnel di Interconnessione		
Classe	Tipologia di utilizzo	Produzione (Mt)
Cl1	Aggregati per calcestruzzo	-
Cl2	Materiali per rilevati	0,10
Cl3a	Interventi di recupero ambientale	0,04
Cl3b	Rifiuti speciali pericolosi	-

Tabella 15 – Sintesi delle produzioni previste in corrispondenza del cantiere all'Imbocco Ovest del Tunnel di Interconnessione.

Imbocco Ovest Tunnel di Interconnessione		
Classe	Tipologia di utilizzo	Produzione (Mt)
Cl1	Aggregati per calcestruzzo	-
Cl2	Materiali per rilevati	1,13
Cl3a	Interventi di recupero ambientale	0,10
Cl3b	Rifiuti speciali pericolosi	0,0005

Tabella 16 – Sintesi delle produzioni previste in corrispondenza del cantiere all'Imbocco Ovest del Tunnel di Interconnessione.

Cantiere della Maddalena		
Classe	Tipologia di utilizzo	Produzione (Mt)
Cl1	Aggregati per calcestruzzo	2,92
Cl2	Materiali per rilevati	0,52
Cl3a	Interventi di recupero ambientale	2,14
Cl3b	Rifiuti speciali pericolosi	0,30

Tabella 17 – Suddivisione in classi delle quantità del settore Maddalena.

#### 4.4 Analisi dei fabbisogni e bilancio complessivo dei materiali

I fabbisogni di materiale per costruzione sono suddivisi secondo le categorie di seguito elencate.

- Aggregati per calcestruzzo (classe Cl1):
  - calcestruzzo per le opere a cielo aperto;
  - calcestruzzo per l'armamento ferroviario;
  - calcestruzzo per le opere in sotterraneo
    - calcestruzzo per spritz – esecuzione dei opere/sostegni provvisori;
    - calcestruzzo rivestimenti – calcestruzzi strutturali per le opere in sotterraneo; in tale categoria sono compresi i calcestruzzi per i rivestimenti definitivi delle gallerie (sia gettati in opera sia costituiti da conci prefabbricati) e gli aggregati necessari per la produzione delle malte di intasamento a tergo dei conci;
    - calcestruzzo per le finiture – calcestruzzi non strutturali per le opere in sotterraneo; in tale categoria sono compresi i calcestruzzi per i riempimenti.
- Materiali per i rilevati da realizzarsi nella piana di Susa e nella piana di Bussoleno (classe Cl2).

I fabbisogni di aggregati per calcestruzzo, distinti per ciascun cantiere sono riportati nella Tabella 18.

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

Cantiere	C11 (Mt) (aggregati per calcestruzzo)
Cantiere Imbocco Est Tunnel di Base	0,05
Cantiere Imbocco Ovest Tunnel di Interconnessione	0,39
Cantiere Imbocco Est Tunnel di Interconnessione	0,02
Cantiere della Maddalena	1,67
Piana di Susa	0,53
Piana di Bussoleno	0,05
Armamento ferroviario	0,06
<b>Totale</b>	<b>2,77</b>

Tabella 18 – Fabbisogni in termini di aggregati per calcestruzzo (C11) distinti per ciascun cantiere.

Il fabbisogno complessivo di materiale di classe C12 per la costruzione dei rilevati nella piana di Susa ed in quella di Bussoleno ammonta a circa 2,9 Mt; a seguito del processo di valorizzazione e di preparazione del materiale proveniente dagli scavi si otterranno circa 1,75 Mt di materiale di classe C12. Il materiale di classe C12 che potrà effettivamente essere smistato nei due siti di destinazione come indicato nella Tabella 19.

Cantiere	C12 (Mt) (materiale idoneo per rilevati)
Piana di Susa	1,68
Piana di Bussoleno	0,03
<b>Totale</b>	<b>1,71</b>

Tabella 19 – Ripartizione del materiale di classe C12 utilizzabile per le opere della Piana di Susa e dell'Innesto a Bussoleno.

Il bilancio complessivo delle produzioni e dei fabbisogni nell'ambito delle opere in progetto è dunque riassunto nella Tabella 20.

<b>BILANCIO COMPLESSIVO</b>	Scavo/depositi esistenti	Volume totale [Mt]	7.33	
		C11 [Mt]	2.92	
		C12 [Mt]	1.76	
		C13a [Mt]	2.34	
		C13b [Mt]	0.31	
	Fabbisogni	C11 - Complessivi [Mt aggregati]	2.77	
		Inerte per rilevati [Mt]	2.9	
	Bilancio aggregati	Fabbisogno anticipato [Mt]	0.03	
		Deficit iniziale [Mt]	0.03	
		Disponibilità [Mt]	2.92	
		Fabbisogno [Mt]	2.77	
		Surplus [Mt]	0.15+0.03	
	Rilevati	Bilancio	Aliq. iniziale C12 a deposito [Mt]	0.05
			Fabbisogno C12 [Mt]	2.9
			Disponibilità C12 [Mt]	1.73
Deficit [Mt]			1.18	
Possibili ottimizzazioni		10% C13a [Mt]	0.23	
		Aliquota surplus aggregati [Mt]	0.18	
Deficit rilevati Piana di Susa e Bussoleno [Mt]		0.77		
(C12+C13a) prodotto da evacuare [Mt]		2.39		
C13b prodotto totale [Mt]		0.31		

Tabella 20 – bilancio complessivo.

La quantità totale di materiale di classe 3b è ripartito, in funzione delle litologie e delle tratte di scavo, come schematizzato nella tabella seguente.

Ripartizione dello smarino di classe C13B (Mt)		TOTALE (Mt)
Scavo in OMB – Tunnel di Base – rocce amiantifere	0,21	0,31
Scavo in AMC– Tunnel di Base – rocce potenzialmente contenenti Arsenico	0,09	
Aliquota di scavo di rocce potenzialmente amiantifere (0,005%) nella formazione CI del Tunnel di base	0,006	
Aliquota di scavo di rocce potenzialmente amiantifere (0,005%) nelle formazioni TPG e TCS del Tunnel di interconnessione	0,0005	

Tabella 21 – produzione di smarino di classe C13b in funzione della litologia e opera.

Il materiale scavato dal Tunnel di Interconnessione e che presenta caratteristiche adeguate ad essere steso in rilevato, non verrà trasportato a Salbertrand ma verrà preparato direttamente sul cantiere presente all'imbocco del Tunnel di Interconnessione lato Susa. Verrà successivamente riutilizzato in rilevati a Susa e Bussoleno.

Inoltre, se si escludono l'aliquota di scavo d'Imbocco Est del Tunnel di Base e i volumi di rocce verdi (OMB), per i quali si prevede lo stoccaggio in sotterraneo nella galleria Maddalena 1bis (Rif. PRV\_C3A\_TS3\_7610: Gestione delle rocce verdi) si ottiene il bilancio complessivo all'area industriale di "Salbertrand", considerata come il centro di gestione dei materiali (Tabella 22).

SALBERTRAND sotterraneo + cielo aperto	Scavo+depositi esistenti	Volume totale[t]	5,88	
		C11 [t]	2,92	
		C12 [t]	0,52	
		C13a [t]	2,34	
		C13b [t]	0,09	
	Fabbisogni	Cls	Cls - Complessivi [t aggregati]	2,77
			Cls - Spritz [t aggregati]	0,25
			Cls - Rivestimento [t aggregati]	1,48
			Cls - Finiture [t aggregati]	0,41
			Cls - Cielo aperto [t aggregati]	0,57
			Cls - Armamento [t aggregati]	0,07
		Bilancio aggregati	Defecit aggregati [t]	0,03
			Sur plus aggregati [t]	0,18
		Rilevati	Rilevati [t] (disponibilità)	1,72
			C12 a deposito definitivo [t]	0,04
(C12+C13a) prodotto da evacuare [t]		2,39		
(C13b) prodotto da evacuare [t]		0,09		

Tabella 22 – bilancio relativo al cantiere industriale di Salbertrand

Dalle tabelle soprariportate emerge quanto segue:

- Il quantitativo di inerte prodotto dalla valorizzazione del materiale di scavo è sufficiente a garantire il fabbisogno di aggregati per calcestruzzo, richiesto durante

tutto l'arco delle lavorazioni, fatta eccezione per un'aliquota di circa 0,03 Mt ad inizio lavori quando ancora non si è iniziato a scavare i tunnel. Il surplus di 0,18 Mt sarà utilizzato per colmare parzialmente il deficit di C12.

- Il quantitativo di C12 idoneo ad essere steso in rilevati è di circa 1,72 Mt a fronte di una necessità di circa 2,9 Mt, è presente pertanto un deficit significativo per poter completare i rilevati presenti a Susa e Bussoleno.
- Il materiale complessivamente inviato a deposito definitivo (tipologia C13a, in quanto non tutto il C12 viene riutilizzato per i rilevati) è di circa 2,39 Mt.

#### 4.5 Analisi di produzione nel tempo

Le produzioni delle diverse classi di materiale sono state inoltre analizzate in funzione dei tempi di avanzamento degli scavi. Si riportano qui di seguito i diagrammi relativi ai materiali prodotti dagli scavi delle opere in sotterraneo, suddivisi in funzione delle classi di valorizzazione.

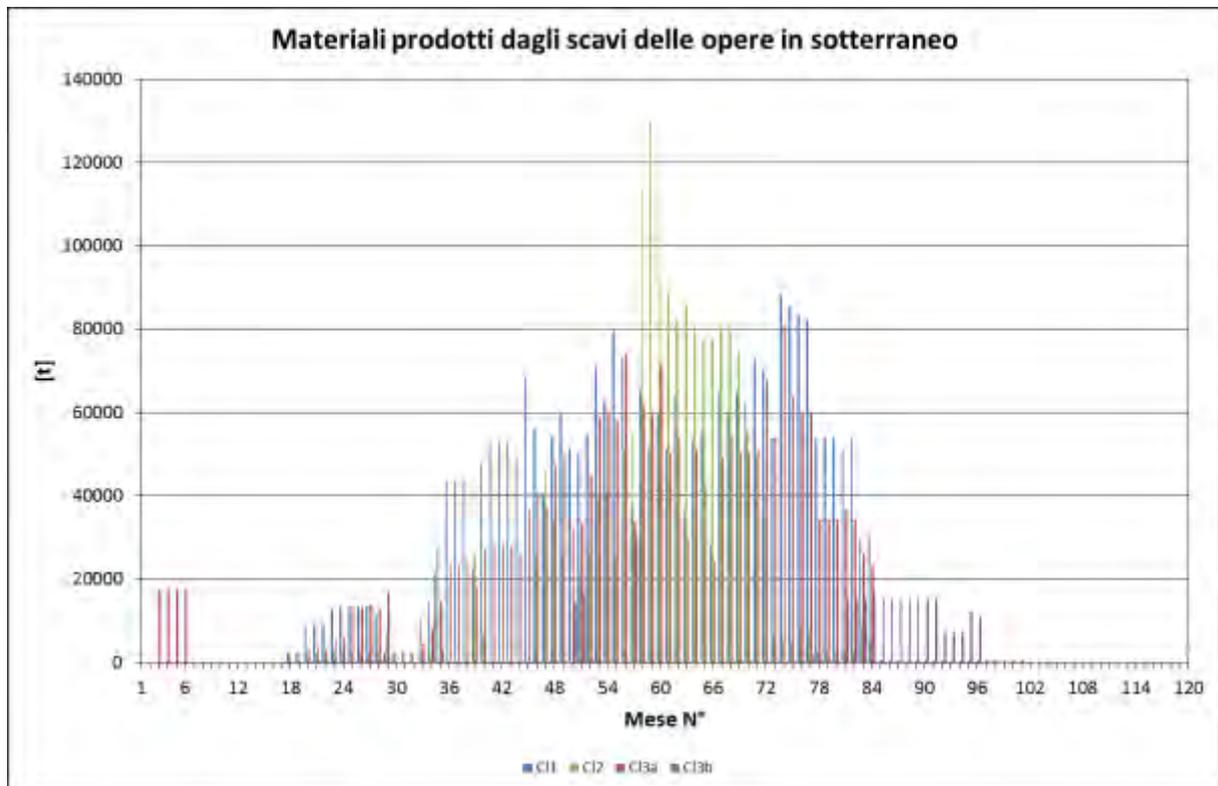


Figura 31 – Evoluzione nel tempo dei materiali prodotti dallo scavo delle opere in sotterraneo (in funzione della classe di valorizzazione)

Analyse des matériaux d'excavation et valorisation / Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione

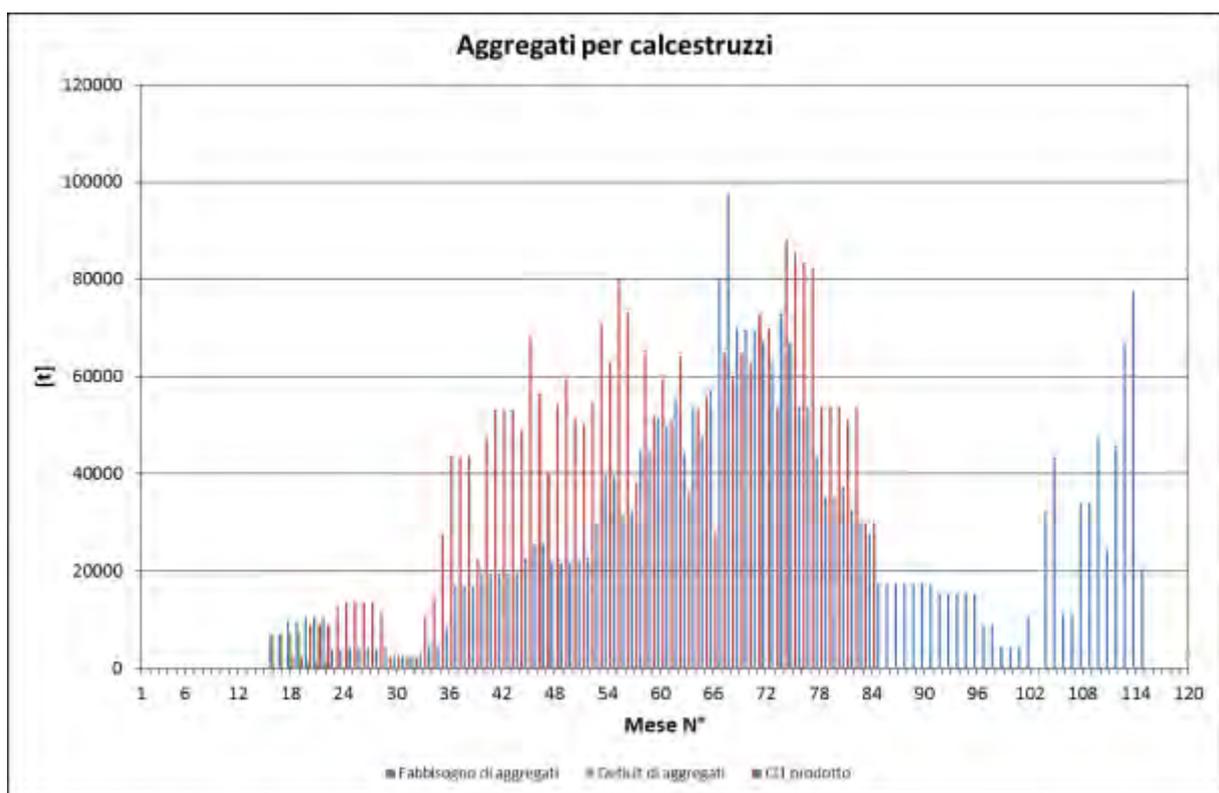


Figura 32 – Evoluzione nel tempo della produzione di C11 e dei fabbisogni in calcestruzzo

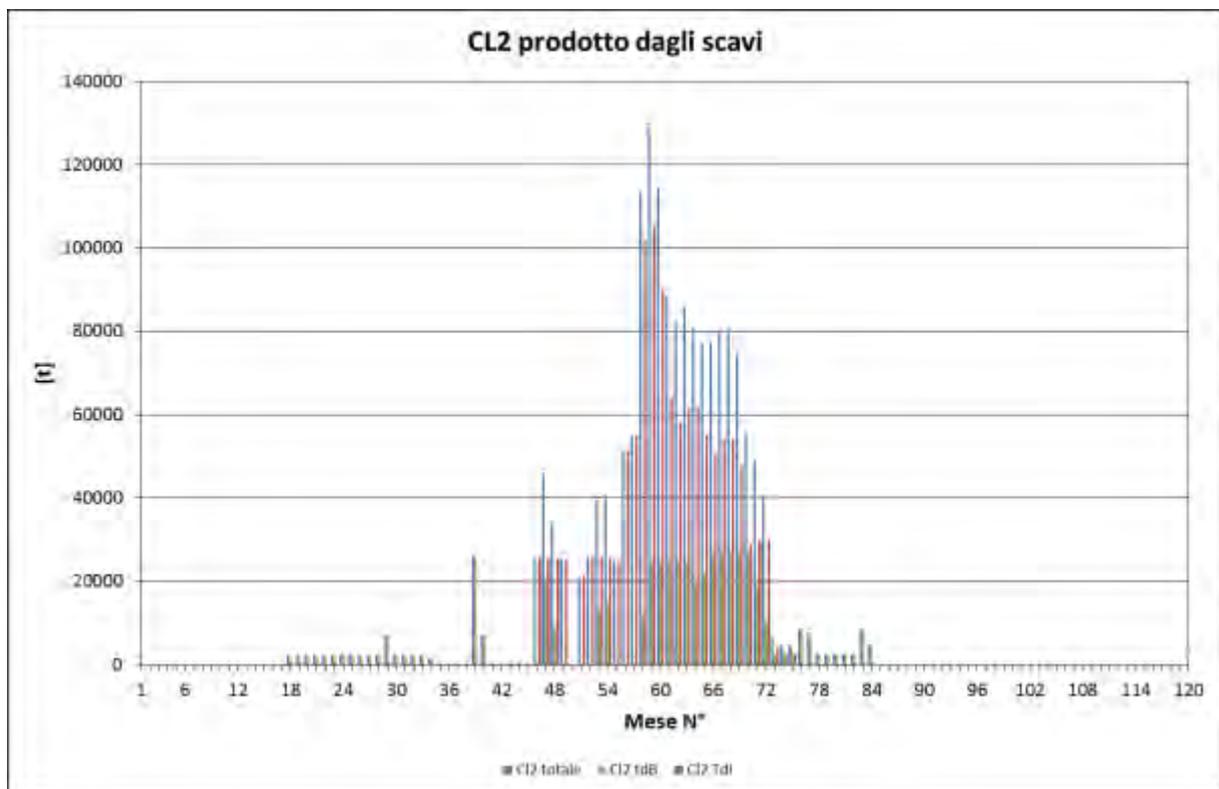


Figura 33 – Evoluzione nel tempo del materiale C12 prodotto dallo scavo delle opere in sotterraneo

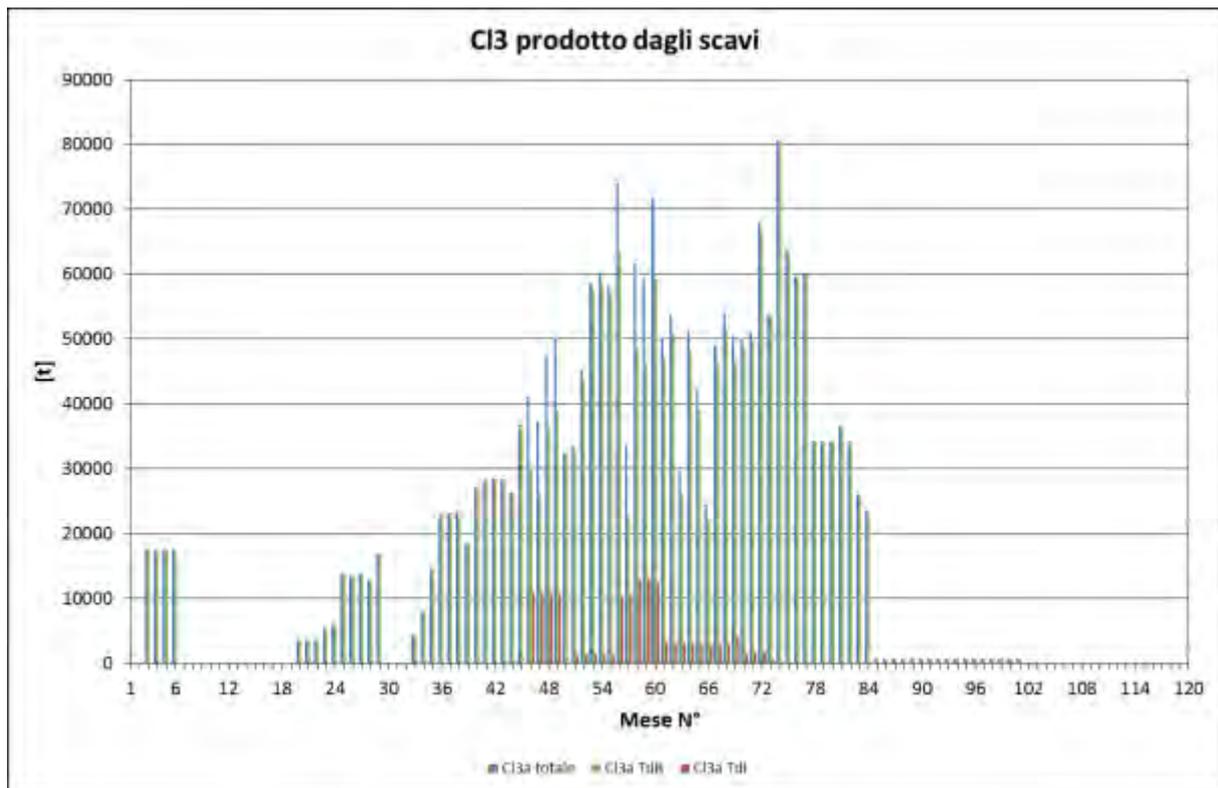


Figura 34 – Evoluzione nel tempo del materiale C13 prodotto dallo scavo delle opere in sotterraneo

Analizzando i grafici precedenti si evidenzia come la produzione di CL1, valorizzato per il successivo utilizzo come inerte nei calcestruzzi, provenga dallo scavo del Tunnel di Base: la produzione di aggregato, funzione dei fronti di avanzamento in sotterraneo e delle litologie attraversate risulta anticipata rispetto al fabbisogno per l'utilizzo nei calcestruzzi. Tale fenomeno è amplificato nel periodo di attività contemporanea delle due frese.

È necessario prevedere, durante gli anni di attività dei cantieri, degli stoccaggi temporanei considerevoli per gli aggregati. Tale surplus verrà infatti consumato gradualmente durante gli ultimi anni del cantiere per la realizzazione delle opere a cielo aperto, finiture e marciapiedi della linea.

L'ottimizzazione dei coefficienti di valorizzazione dei materiali scavati, a seguito degli studi condotti e del ritorno di esperienza di Maddalena, garantisce ora il fabbisogno di inerte previsto. Come indicato nei paragrafi precedenti rimane tuttavia presente il deficit di C12 per la realizzazione dei rilevati.

Sarà dunque necessario ricercare delle piste di ottimizzazione per far fronte al deficit di materiale necessario per la costruzione dei rilevati. Le principali opzioni percorribili proposte sono di seguito elencate:

- utilizzo dell'aliquota di aggregato prodotto da valorizzazione in surplus rispetto al fabbisogno complessivo dell'opera. (stimato in circa 0,18 Mt).
- utilizzo di un'aliquota del materiale di classe C13a risultante dal processo di valorizzazione del materiale di classe C11 per la produzione di aggregati. Previa verifica tramite un opportuno campo prove da eseguirsi in fase di cantierizzazione, si ritiene plausibile che un'aliquota pari a circa il 10% del C13a possa essere riutilizzata per la realizzazione di rilevati. In relazione a quanto riportato in Tabella 22, a tale aliquota potrebbero corrispondere circa 0,235 Mt.

Ricapitolando quanto sopra, l'effettivo deficit da colmare si riduce a circa 0,78 Mt.

#### **4.6 Gestione dei materiali di scavo classificati come rifiuto e dei materiali di scavo in esubero**

I materiali di scavo in esubero rientrano nelle seguenti categorie:

- 1) materiali contenenti amianto (classe C13b) da gestire come rifiuto speciale pericoloso: per questi materiali è prevista la gestione in sotterraneo e la messa a deposito definitiva all'interno dei cunicoli della Maddalena, per un totale di circa 0,22 Mt. Per maggiori dettagli sulle modalità di gestione e messa a deposito si rimanda alla relazione specifica PRVC3BTS30086.
- 2) Materiali contenenti arsenico in concentrazioni superiori ai valori soglia definiti dal D. Lgs. 152/2006 e s.m.i., da gestire come rifiuto speciale pericoloso, verrà inviato a discarica, per un totale di circa 0,09 Mt.
- 3) materiali gestiti ai sensi del DM 161 del 3 agosto 2012, gestiti come sottoprodotto (classe C13a più parte di C12 prodotta a inizio lavori) saranno inviati via treno ai siti di destinazione di Caprie e Torrazza Piemonte, per un totale di circa 2,39 Mt, per il recupero ambientale dei seguenti siti di cava:
  - a. Comune di Caprie – Cava Truc le Mura della Società Ing. Vito Rotunno srl. Il recupero ambientale del sito prevede la creazione di un cumulo a ricoprimento degli attuali gradoni di cava (per maggiori dettagli si rimanda alla relazione specifica PD2C3BTS30045).
  - b. Comune di Torrazza Piemonte – Cava della COGEFA spa. Il recupero ambientale del sito prevede la creazione di un cumulo per il colma mento di un settore della cava (per maggiori dettagli si rimanda alla relazione specifica PD2C3BTS30046).

## 5. Bibliografia

- Alfreider, D. & Rieder, A., 2011. Lo sviluppo delle tecnologie per il riciclo del marino delle gallerie - La galleria di base del Brennero. Torino, BBT.
- AlpTransit, 2011. *Projektkennzahlen Rohbau Ceneri-Basistunnel*, s.l.: AlpTransit San Gottardo.
- AlpTransit, 2012. Alp Transit Gotthard - Nuove vie di transito attraverso il cuore della Svizzera, Lucerna: Alp Transit San Gottardo SA.
- Amberg, F., 2004. Tunnelling in high overburden with reference to deep tunnels in Switzerland. Singapore, ITA-AITES, pp. A04 1-14.
- Burdin, J., 2012. Micascisti di Clarea - Analisi del coefficiente di valorizzazione, Torino: LTF.
- Colleparidi, M., Coppola, G. & Pauri, M., 1991. Diagnosi della reazione alcali-aggregato in calcestruzzi degradati. *L'industria italiana del cemento*, Volume 10, pp. 646-650.
- Girmscheid, G., 2008. *Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau*. Berlino: Verlag Ernst and Sohn.
- Heinz, E., 2008. *Gotthard Base Tunnel. Experiences with different tunnelling methods*. 2° Congresso Brasileiro de Túneis e Estruturas Subterrâneas Seminário Internacional "South American Tunnelling", ACQUA CONSULTORIA.
- Loew, S., Ziegler, H. & Keller, F., 2000. *Alptransit: engineering geology of the world's longest tunnel system*. Lancaster-basel, Technomic Publishing co.
- Oreste, P. & Castellano, M., 2012. An Applied Study on the Debris Recycling in Tunnelling. *American Journal of Environmental Sciences*, 8(2), pp. 179-184.
- Patrucco, M., De Salve, M. & Gozzelino, P., 2005. Approfondimento sulla presenza di amianto, minerali radioattivi e radon nei luoghi interessati dalle opere per il collegamento ferroviario Torino-Lione, tratta comune St. Jean de Maurienne-Bussoleno, Torino: Politecnico di Torino - DITAG.
- Pepino, M., 2009. Scavo meccanizzato di gallerie: previsione della qualità del marino nell'ottica del suo riutilizzo, Torino: Tesi di dottorato - Politecnico di Torino.
- Perello, P. & Venturini, G., 2006. Scavo di gallerie in ammassi rocciosi contenenti minerali asbestiformi.. *Gallerie a grandi opere sotterranee*, Volume 78, pp. 58-62.
- Pini, O. & Rossi, D., 2009. The Ceneri railway base tunnel (15,4 km) in the southern Swiss Alps (Gotthard Alptransit). Budapest, ITA-AITES.
- RFI, Rev. C. *Capitolato costruzione opere civili - Sezione V "Movimenti di Terra"*. [Online] Available at: [http://www.gare.rfi.it/cms-file/allegati/gare-rfi/sez\\_V\\_Movimenti\\_terra.pdf](http://www.gare.rfi.it/cms-file/allegati/gare-rfi/sez_V_Movimenti_terra.pdf)
- Rupert, H., 2011. Experience in spoil management on conclusion of the excavations for the Gotthard base tunnel. VeronaFiere, SIG – Società Italiana Gallerie.
- Stocker, D., 2007. *Galleria di base del Ceneri*. Colonia, Stuva.
- Thalmann, C., 1996. Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen, s.l.: Beiträge zur Geologie der Schweiz. Schweizerische Geotechnische Kommission. Lieferung 91.
- Thalmann, C., 1999. Concrete aggregate production with tbm-muck – Experiences gained on the Alptransit tunnel projects. Dundee, Thomas Telford Publishing.
- Thalmann, C., 2003. Aggregates for high quality concrete and shotcrete made out of excavated rock material - experiences gained on the Alptransit tunnel projects. Istanbul, IAEG.
- Thalmann, C., 2004. Exigences s'appliquant aux granulats à béton. *Traces*, Issue 6, pp. 20-23.
- Thalmann, C. & Burdin, J., 2005. Gestion et valorisation des Matériaux d'Excavation de Tunnels. Analyse comparative de 3 grand projets, s.l.: Communication Chambéry.

Thalmann, C. & Petitat, M., 2012. À l'adresse de l'équipe d'ingénieurs chargée de la gestion du lot C3 de la liaison ferroviaire Lyon-Turin-Ferroviae (LTF), s.l.: B+G AG, Rapport n. 12.028-1.

Thalmann, C., Schndler, C. & Kruse, M., 2011. Aggregates for high quality concrete and shotcrete made out of excavated materiale - Expreiences gained on the Apltransit Tunnel Projects, s.l.: Buro fur Ingenieurgeologie AG.

Toffano, A., 2009. Caratterizzazione petrochimica e petrofisica di materiali inerti secondari da costruzione e demolizione, per la realizzazione di impasti ceramici ordinari e calcestruzzi, Ferrara: Tesi di Dottorato - Univeristà degli Studi di Ferrara.

## **6. Allegato 1: schede degli intervalli di campionamento**

Documento allegato alla presente relazione: rif. PRVC3BTS30085\_Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione\_C-Allegato 1

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE  
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESEPARTE IN TERRITORIO ITALIANO – PROGETTO IN VARIANTE  
(OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE N. 235 DELLA DELIBERA CIPE 19/2015)

CUP C11J05000030001 – PROGETTO DEFINITIVO

## GEOLOGIE – GEOLOGIA

## GENERAL – GENERALE

GESTION DES MATERIAUX D'EXCAVATION – GESTIONE DEL MATERIALE DI SCAVO  
DOCUMENT COTE ITALIE – DOCUMENTI LATO ITALIA

## Analyse des matériaux d'excavation et valorisation (Annexe 1) – Analisi dei materiali di scavo e valorizzazione (Allegato 1)

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	30/11/2012	Première diffusion / Prima emissione	D. MURGESE / D. TESTA (SEA)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
A	31/01/2013	Révision suite aux commentaires LTF / Revisione a seguito commenti LTF	D. MURGESE / D. TESTA (SEA)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
B	05/02/2013	Passage status AP/ Passaggio stato AP	D. MURGESE / D. TESTA (SEA)	R. TORRI C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
C	05/01/2017	Pemière émission phase PRF-PRV / Prima emissione fase PRF-PR	A. RIELLA (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
D	21/03/2017	Reception observations TELT / Recepimento osservazioni TELT	A. RIELLA (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
E	14/04/2017	Reception observations TELT / Recepimento osservazioni TELT	A. RIELLA (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
F	05/05/2017	Reception observations TELT / Recepimento osservazioni TELT	A. RIELLA (GEODATA)	A. EUSEBIO C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI

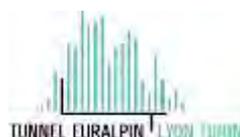
CODE DOC	P	R	V	C	3	B	T	S	3	0	0	8	5	F
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero				Indice

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C3B	//	//	00	04	03	10	02

ECHELLE / SCALA

-



TELT sas – Savoie Technolac - Bâtiment "Homère"  
13 allée du Lac de Constance – 73370 LE BOURGET DU LAC (France)  
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75  
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952  
Propriété TELT Tous droits réservés – Proprietà TELT Tutti i diritti riservati



## Schede degli intervalli di campionamento

Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	34	155.8	158.7	8.5	x	x	x	Micascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	35	158.7	161.2	8.5	x	x	x	Miscascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	36	161.2	164.15	8.5	x	x	x	Miscascisti (pieghe da aperte a leggermente chiuse)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
2	55	213.4	216.1	8.5	x	x	x	Micascisti (marcata fratturazione)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
2	56	216.1	218.8	8.5	x	x	x	Micascisti (marcata fratturazione)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
2	57	218.8	221.2	8.5	x	x	x	Micascisti (marcata fratturazione)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	86	297.8	300.5	8.5	x	x	x	Miscascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	87	300.5	303.35	8.5	x	x	x	Miscascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	88	303.35	306.4	8.5	x	x	x	Miscisti (fratture riempite da vene di calcite tardiva)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
4	120	392.15	394.95	8.5	x	x	x	Miscisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
4	121	394.95	397.85	8.5	x	x	x	Miscascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
4	122	397.85	400.6	8.5	x	x	x	Micascisti (fratture riempite da vene di calcite tardiva)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
5	144	459.95	462.75	8.5	x	x	x	Miscisti (2 tronconi)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
5	145	462.75	465.7	8.5	x	x	x	Miscisti (2 tronconi)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
5	146	465.7	468.5	8.5	x	x	x	Miscisti (2 tronconi)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
6	164	533.4	537.2	6.35	x	x	x	Miscascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
6	165	537.2	540.9	6.35	x	x	x	Micascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
6	166	540.9	544.9	6.35	x	x	x	Micascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
7	170	556.55	560.6	6.35	x	x	x	Micascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
7	171	560.6	564.6	6.35	x	x	x	Micascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
7	172	564.6	568.6	6.35	x	x	x	Miscisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
8	174	572.35	575.8	6.35	x	x	x	Micascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
8	175	575.8	579.8	6.35	x	x	x	Micascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
8	176	579.8	583.8	6.35	x	x	x	Micascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
9	186	617.8	621.6	6.35	x	x	x	Miscisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
9	187	621.6	625.6	6.35	x	x	x	Miscascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
9	188	625.6	629.4	6.35	x	x	x	Miscascisti



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
10	204	686.85	691.6	6.35	x	x	x	Micascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
10	205	691.6	695.4	6.35	x	x	x	Micascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
10	206	695.4	699.4	6.35	x	x	x	Miscascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	2	320.4	323.4	8.5	x	x	x	Gneiss aplitici (abbondante qz e flds, con rari livelli di opachi a segnare la scistosità)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	3	323.4	326.4	8.5	x	x	x	Gneiss aplitici (abbondante qz e flds, con rari livelli di opachi a segnare la scistosità)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	4	326.4	328.2	8.5	x	x	x	Gneiss aplitici (abbondante qz e flds, con rari livelli di opachi a segnare la scistosità)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	5	328.2	331.75	8.5	x	x	x	Gneiss aplitici (abbondante qz e flds, con rari livelli di opachi a segnare la scistosità)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
2	49	450.25	453.05	8.5	x	x	x	Facies intermedia tra Gneiss aplitici e gneiss s.s.

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
2	50	453.05	456	8.5	x	x	x	Facies intermedia tra Gneiss aplitici e gneiss s.s.



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	93	602.8	606.65	6.35	x	x	x	Gneiss aplitici (abbondante qz e flds, con rari livelli di opachi a segnare la scistosità)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	94	606.65	610.55	6.35	x	x	x	Gneiss aplitici (abbondante qz e flds, con rari livelli di opachi a segnare la scistosità)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
4	123	719.2	723.2	6.35	x	x	x	Facies gneissica

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
5	135	766.05	769.95	6.35	x	x	x	Facies intermedia tra Gneiss aplitici e gneiss s.s. con livelli milonitici



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
5	136	769.95	773.85	6.35	x	x	x	Facies intermedia tra Gneiss aplitici e gneiss s.s. con livelli milonitici

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
6	146	809.95	814.9	4.76	x	x	x	Gneiss aplitici più ricchi in mica

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
7	156	858.35	863.35	4.76	x	x	x	Micascisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
8	163	892.9	897.95	4.76	x	x	x	Facies intermedia tra Gneiss aplitici e gneiss s.s.

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
9	165	902.8	907.75	4.76	x	x	x	Facies intermedia tra Gneiss aplitici e gneiss s.s.

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
9	166	907.75	912.75	4.76	x	x	x	Facies intermedia tra Gneiss aplitici e gneiss s.s.

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	36	174.7	180	6.35	x	x	x	Micascisti/gneiss albitici (tessitura gneissica talora marcatamente micacea)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	37	180	185.4	6.35	x	x	x	Miscisti/gneiss albitici (tessitura gneissica talora marcatamente micacea)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
2	50	250.3	256	6.35	x	x	x	Calcescisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
2	51	256	261.4	6.35	x	x	x	Calcescisti (log sondaggio -> picco gamma ray a 256 m ca)



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	68	350.1	355.4	6.35	x	x	x	Calcescisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	69	355.4	360.9	6.35	x	x	x	Calcescisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
4	78	404.9	410.5	6.35	x	x	x	Micascisti/Qz. Micacee (404.9-409 micascisti; 409-410.5 quarziti)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
4	79	410.5	415.6	6.35	x	x	x	Micascisti/Qz. Micacee (410.5-412 quarziti; 412-415 micascisti)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
5	83	432.3	437.9	6.35	x	x	x	Miscisti / gneiss albitici

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
5	84	437.9	443.6	6.35	x	x	x	Calcescisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
6	87	454.8	460.6	6.35	x	x	x	Miscisti cloritici

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
6	88	460.6	466.3	6.35	x	x	x	Miscisti cloritici

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
7	93	489	494.7	6.35	x	x	x	Calcescisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
7	94	494.7	500.3	6.35	x	x	x	Calcescisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
8	96	506	511.8	6.35	x	x	x	Calcescisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
8	97	511.8	517.3	6.35	x	x	x	Calcescisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	19	96	102	6.35	x	x	x	Gneiss quarzitici di colore grigio-verde

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	20	102	108	6.35	x	x	x	Gneiss quarzitici di colore grigio-verde

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
2	46	288	296	4.76	x	x	x	Calcescisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	53	344	352	4.76	x	x	x	Calcescisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	54	352	360	4.76	x	x	x	Calcescisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	55	360	368	4.76	x	x	x	Calcescisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
4	60	400	408	4.76	x	x	x	Miscisti

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
5	64	432	440	4.76	x	x	x	Calcescisti di colore grigio verde

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
5	65	440	448	4.76	x	x	x	Calcescisti di colore grigio verde

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	149	727.9	731.9	6.35	x	x	x	Miscisti quarzosi ricchi in talco e clorite

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	150	731.9	735.8	6.35	x	x	x	Micascisti quarzosi ricchi in talco e clorite

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	151	735.8	739.6	6.35	x	x	x	Micascisti quarzosi ricchi in talco e clorite

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
2	179	843.3	846.9	6.35	x	x	x	Micascisti quarzosi ricchi in talco e clorite (facies più scistosa del campione 1)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
2	180	846.9	850.55	6.35	x	x	x	Micascisti quarzosi ricchi in talco e clorite (facies più scistosa del campione 1)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
2	181	850.55	854.4	6.35	x	x	x	Micascisti quarzosi ricchi in talco e clorite (facies più scistosa del campione 1)

Foto



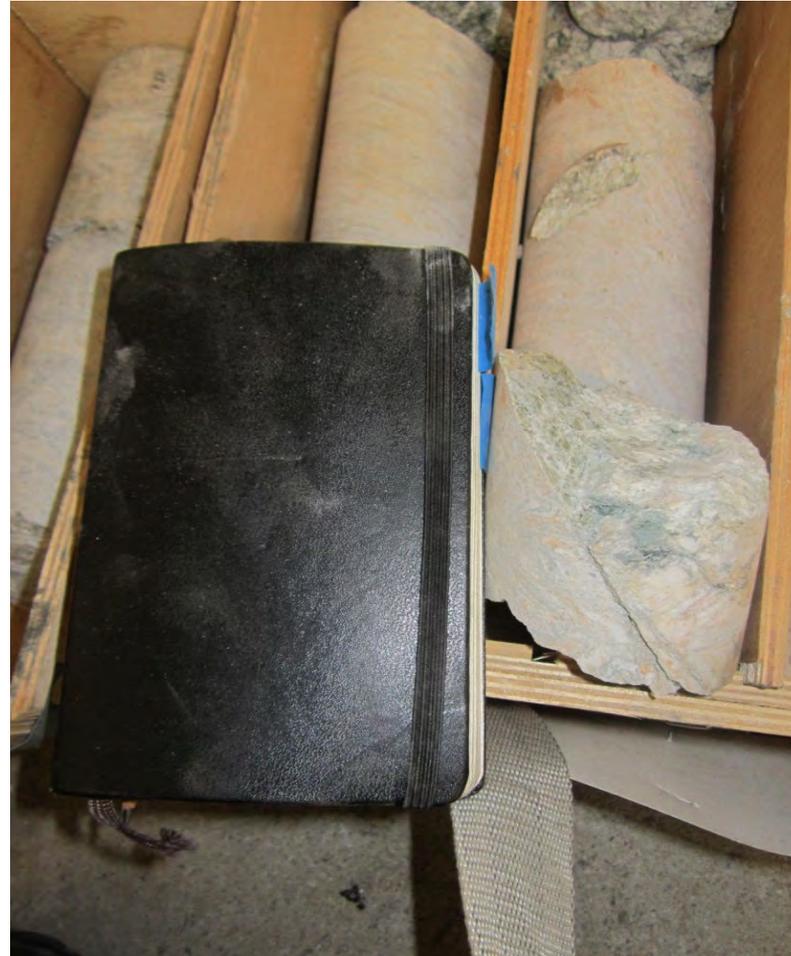
Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	197	912.6	916.35	6.35	x	x	x	Miscisti quarzosi ricchi in talco e clorite con passate più quarzose

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	198	916.35	920.1	6.35	x	x	x	Micascisti quarzosi ricchi in talco e clorite con passate più quarzose

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	199	920.1	924	6.35	x	x	x	Miscisti quarzosi ricchi in talco e clorite con passate più quarzose

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
4	219	999.9	1004.9	4.76	x	x	x	Micascisti quarzosi a clorite con scistosità meno pervasiva (qz.mcs)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
4	220	1004.9	1009.5	4.76	x	x	x	Micascisti quarzosi a clorite con scistosità meno pervasiva (qz.mcs)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
4	221	1009.5	1014.4	4.76	x	x	x	Micascisti quarzosi a clorite con scistosità meno pervasiva (qz.mcs)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
5	236	1082.6	1087.5	4.76	x	x	x	Micascisti quarzosi a clorite con scistosità meno pervasiva (qz.mcs)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
5	237	1087.5	1092.35	4.76	x	x	x	Micascisti quarzosi a clorite con scistosità meno pervasiva (qz.mcs)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
5	238	1092.35	1097.35	4.76	x	x	x	Micascisti quarzosi a clorite con scistosità meno pervasiva (qz.mcs)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
6	252	1159.4	1164.05	4.76	x	x	x	Miscisti a quarzo e clorite con livelli quasi solo quarzosi

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
6	253	1164.05	1168.95	4.76	x	x	x	Micascisti a quarzo e clorite con livelli quasi solo quarzosi

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
6	254	1168.95	1173.45	4.76	x	x	x	Micascisti a quarzo e clorite con livelli quasi solo quarzosi

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
7	275	1269.75	1274.6	4.76	x	x	x	Miscisti a quarzo e clorite con talco (AMD)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
7	276	1274.6	1279.6	4.76	x	x	x	Miascisti a quarzo e clorite con talco (AMD)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
7	277	1279.6	1284.5	4.76	x	x	x	Quarzomicascisti (CLR)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
8	287	1328.2	1333.15	4.76	x	x	x	Micascisti a quaezo e clorite con livelli quasi solo quarzosi

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
8	288	1333.15	1338	4.76	x	x	x	Quarzomicascisti (CLR)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
8	289	1338	1342.45	4.76	x	x	x	Quarzomicascisti (CLR)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
9	299	1386.45	1391.3	4.76	x	x	x	Quarzomicascisti (CLR)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
9	300	1391.3	1396.15	4.76	x	x	x	Quarzomicascisti (CLR)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
9	301	1396.15	1400.8	4.76	x	x	x	Quarzomicascisti (CLR)

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	18	1108.1	1113.25	4.76	x	x	x	Miscisti listati con pieghe

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	19	1113.25	1118.95	4.76	x	x	x	Miscisti listati con pieghe

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
1	20	1118.95	1123.25	4.76	x	x	x	Miscisti listati con pieghe

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
2	28	1157.75	1162.75	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



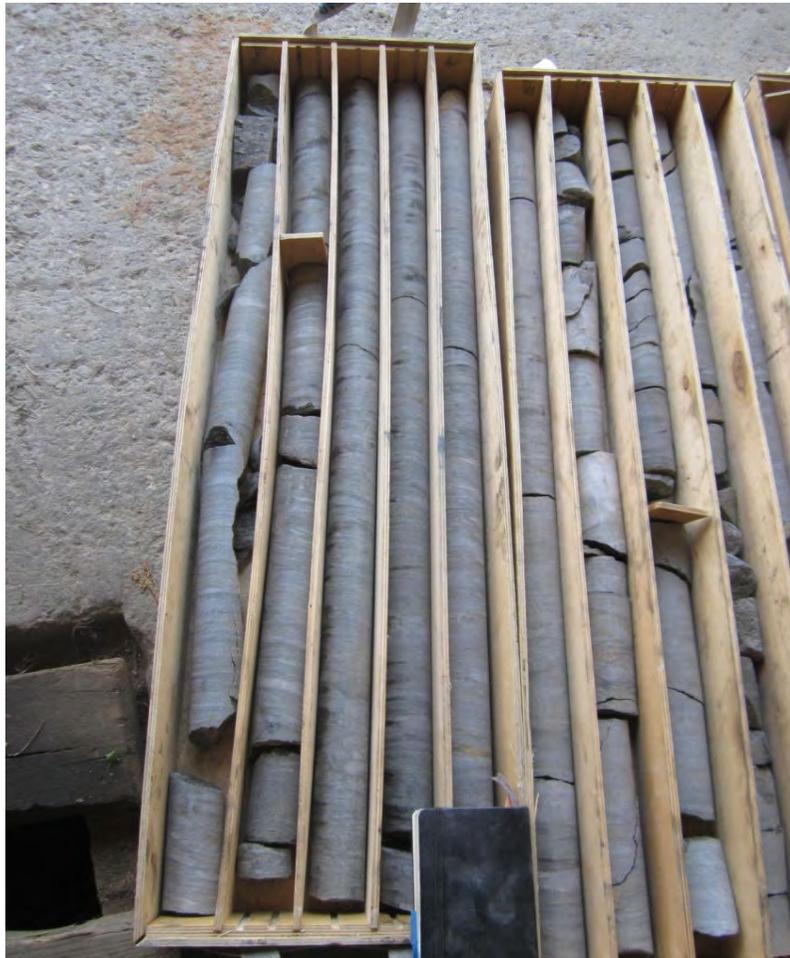
Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
2	29	1162.75	1167.75	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
2	30	1167.75	1172.7	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	38	1207.3	1212.3	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	39	1212.3	1217.25	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
3	40	1217.25	1221.85	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
4	50	1265.5	1270.5	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
4	51	1270.5	1275.5	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



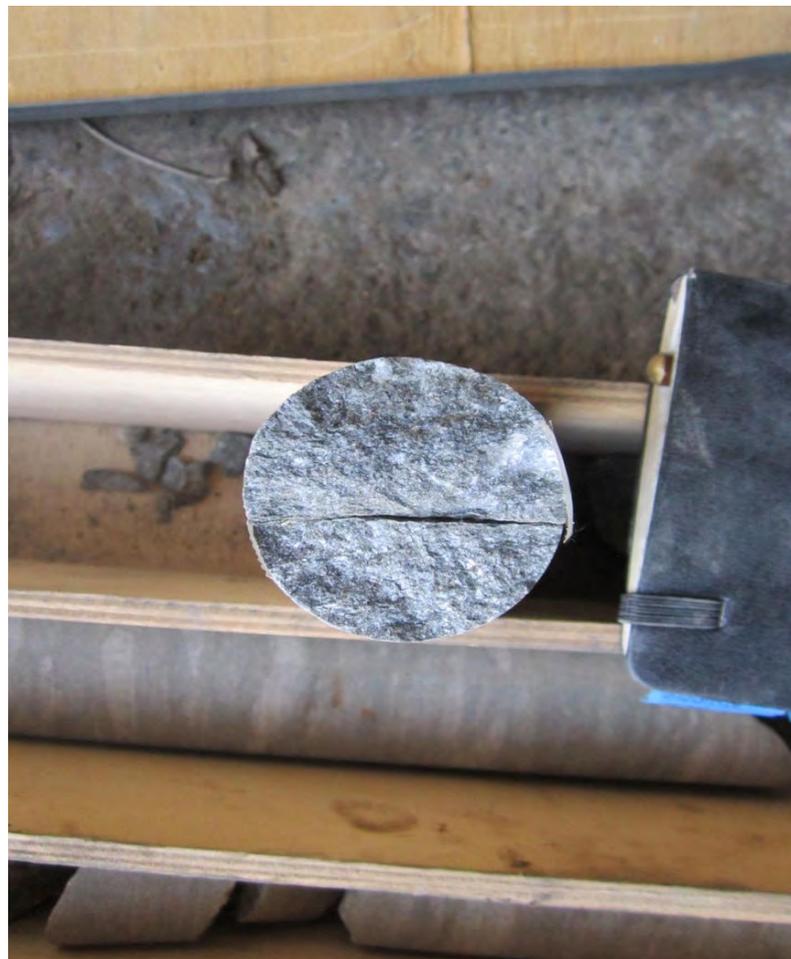
Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
4	52	1275.5	1280.55	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
5	60	1315.15	1320.15	4.76	x	x	x	Miscisti listati con pieghe

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
5	61	1320.15	1325.15	4.76	x	x	x	Miscisti listati con pieghe

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
5	62	1325.15	1330.15	4.76	x	x	x	Miscisti listati con pieghe

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
6	70	1364.2	1369.25	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
6	71	1369.25	1375.2	4.76	x	x	x	Micascisti a quaezo e clorite con livelli quasi solo quarzosi

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
6	72	1375.2	1380.15	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
7	80	1413.5	1418.4	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
7	81	1418.4	1423.5	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
7	83	1428.4	1433.3	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
8	90	1462.85	1467.8	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
8	91	1467.8	1472.75	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
8	92	1472.75	1477.5	4.76	x	x	x	Micascisti listati

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
9	97	1497.15	1502.05	4.76	x	x	x	Micascisti listati leggermente grafitici

Foto



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
9	98	1502.05	1506.9	4.76	x	x	x	Miscascisti listati leggermente grafitici



Campione	Cassetta	Intervallo		Diametro carota (cm)	Analisi da eseguire			Note
		da (m)	a (m)		Val.	Amb.	Radiom.	
9	99	1506.9	1511.9	4.76	x	x	x	Micascisti listati leggermente grafitici

Foto

