

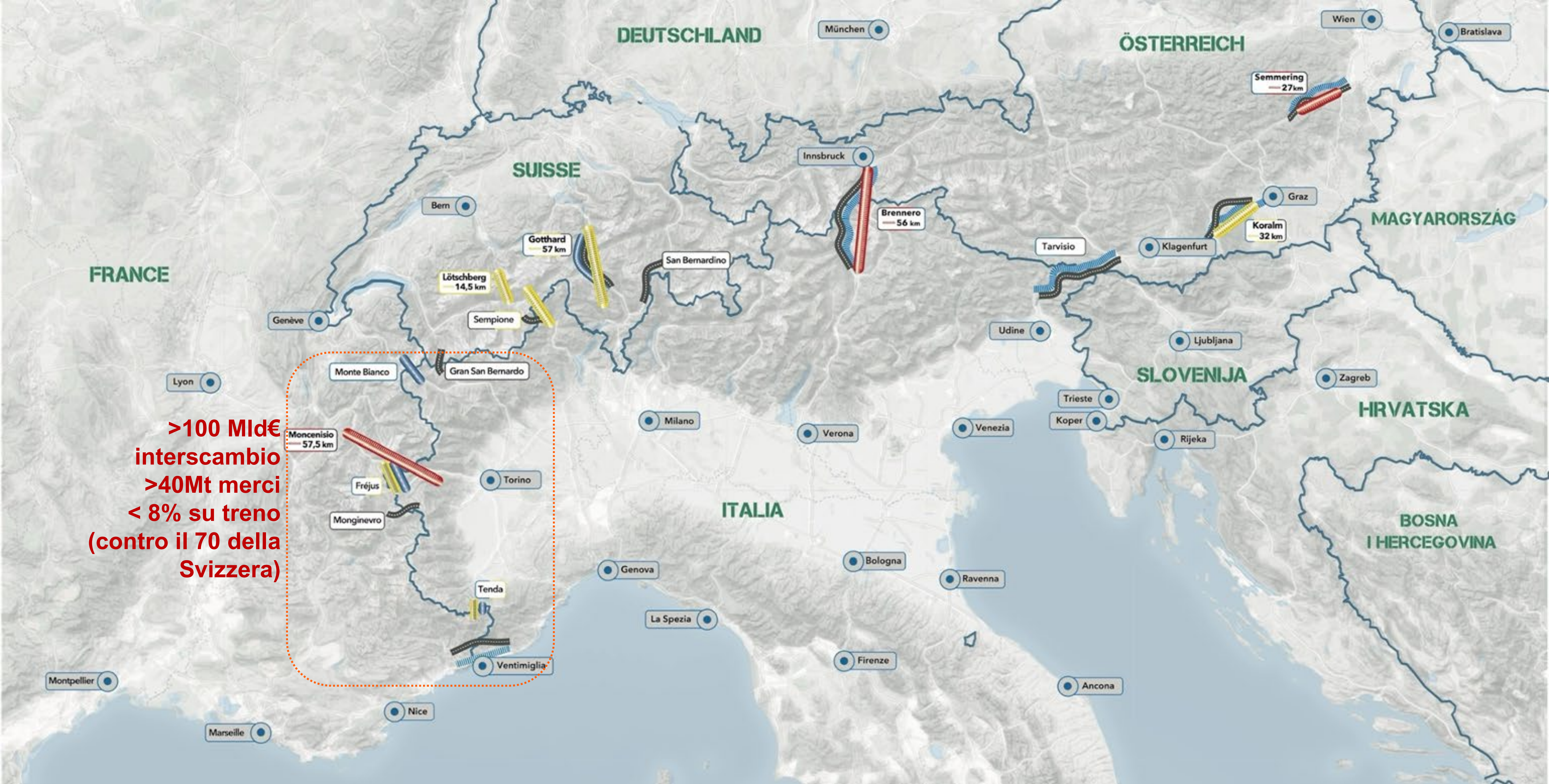
L'economia circolare nell'ingegneria civile

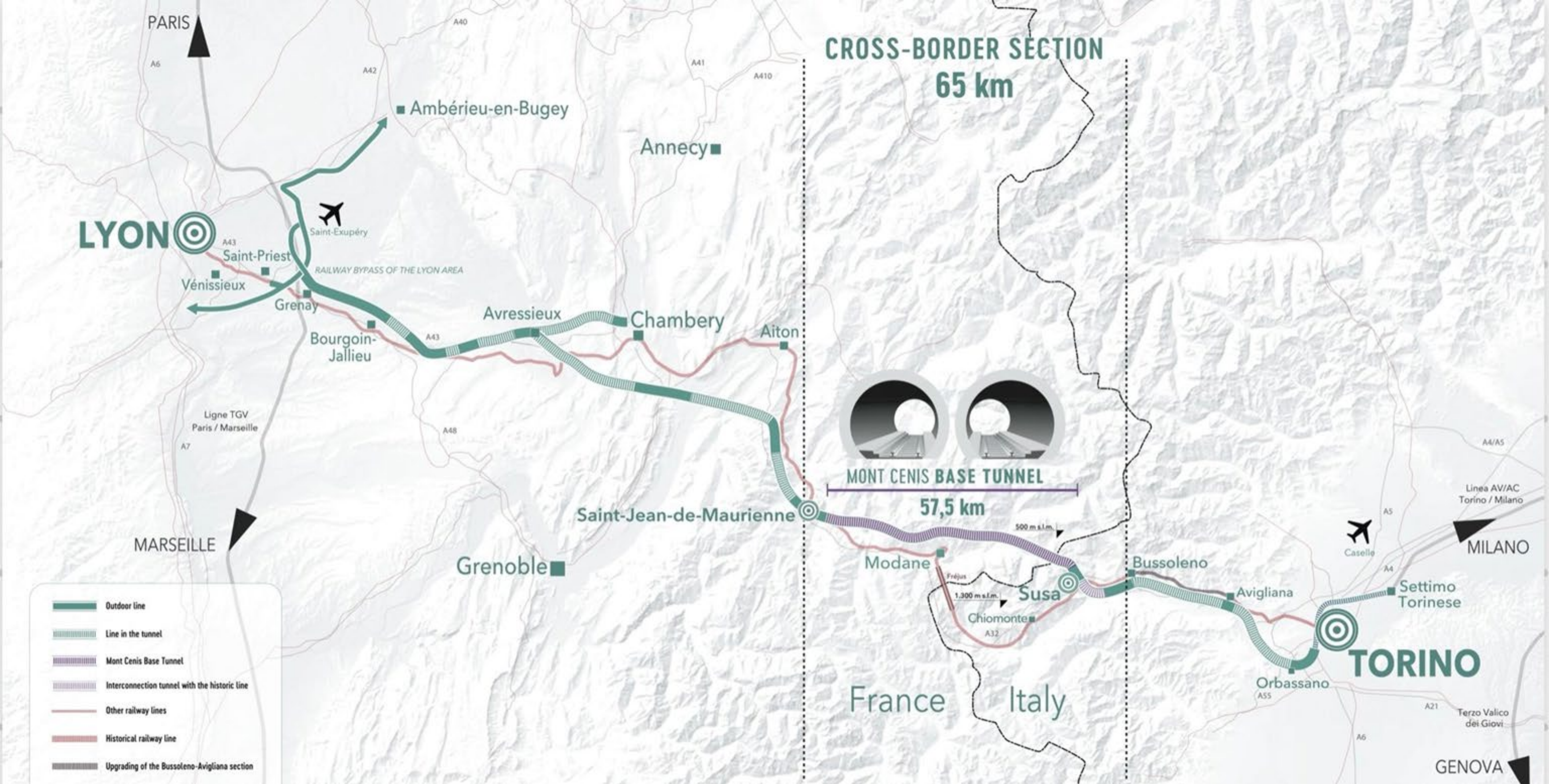
Contributo di TELT alla sessione: IL RICICLO DEI MATERIALI

La Sapienza Università di Roma

MANUELA ROCCA

Direttore Generale Aggiunto di TELT





13,7km

TUNNEL STORICO TUNNEL HISTORIQUE

Liena storica
profilo di montagna
pendenza massima: 33‰

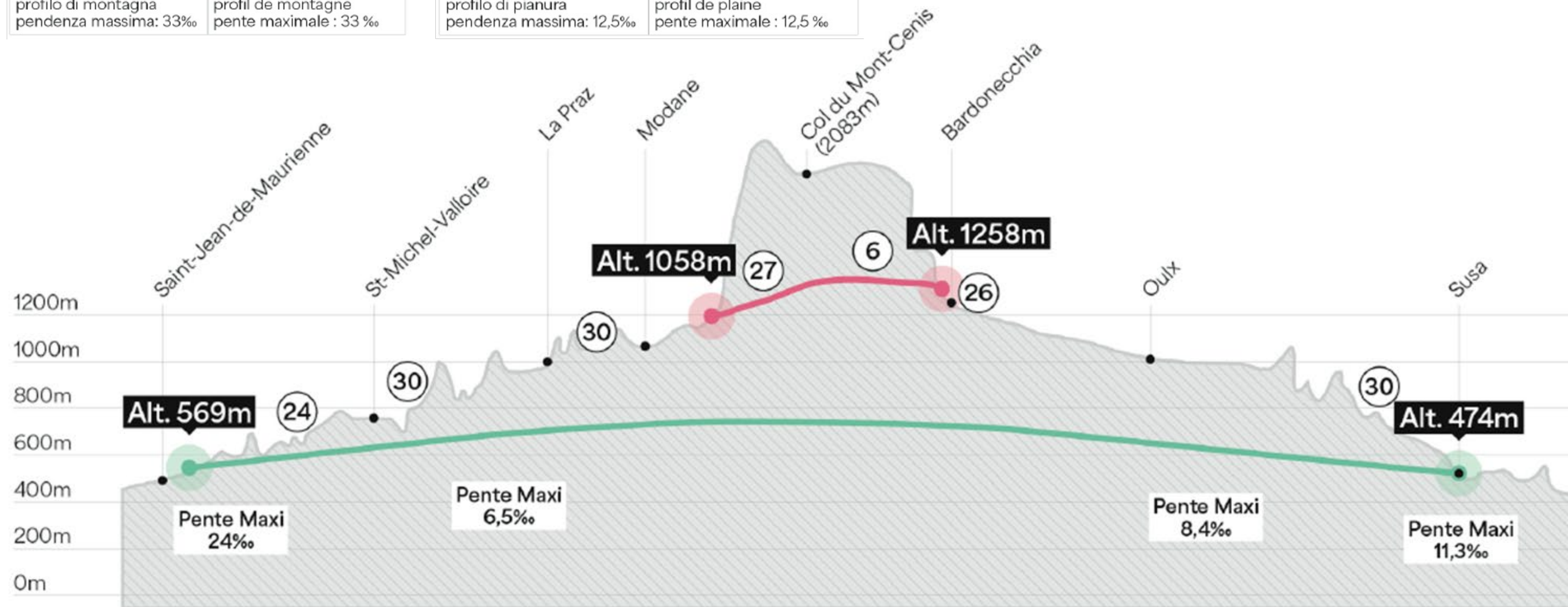
Ligne historique
profil de montagne
pente maximale : 33 ‰

57,5km

TUNNEL DI BASE TUNNEL DE BASE

Nuova linea
profilo di pianura
pendenza massima: 12,5‰

Ligne nouvelle
profil de plaine
pente maximale : 12,5 ‰

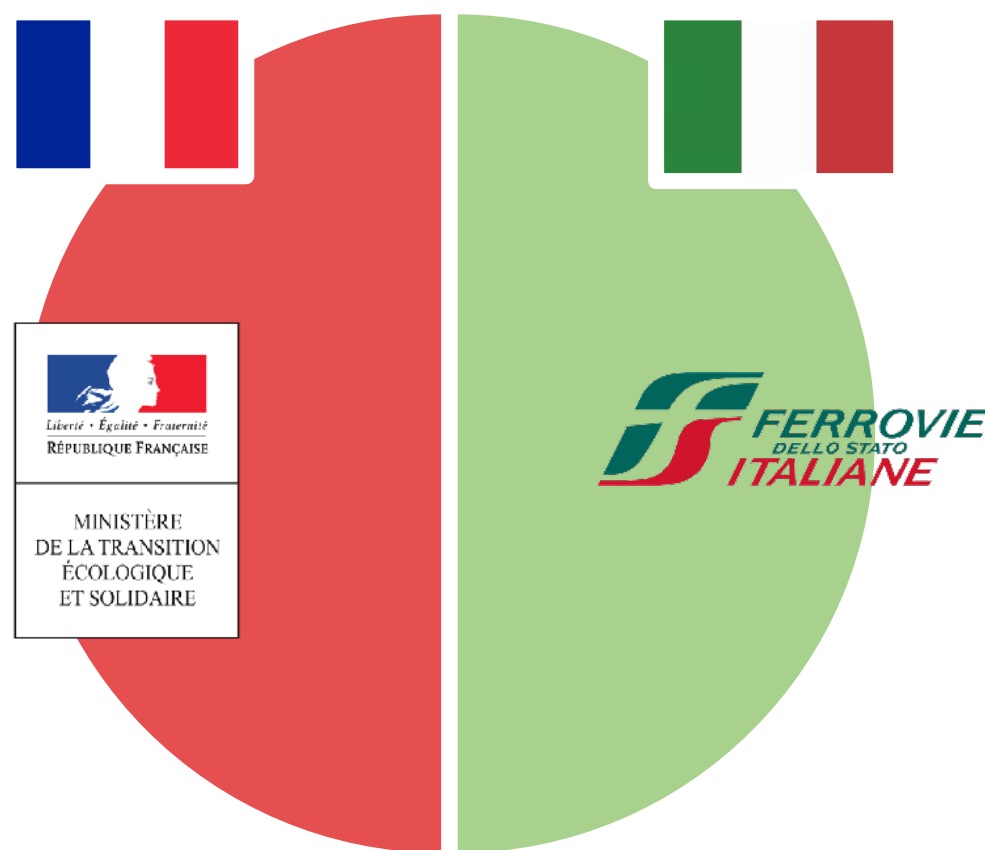


Colle stradale del Moncenisio (2083m) chiuso per diversi mesi in inverno

Col routier du Mont-Cenis (2083m) fermé plusieurs mois l'hiver

TELT è il Promotore Pubblico responsabile della realizzazione e della gestione della sezione transfrontaliera della futura linea, merci e passeggeri, Torino-Lione

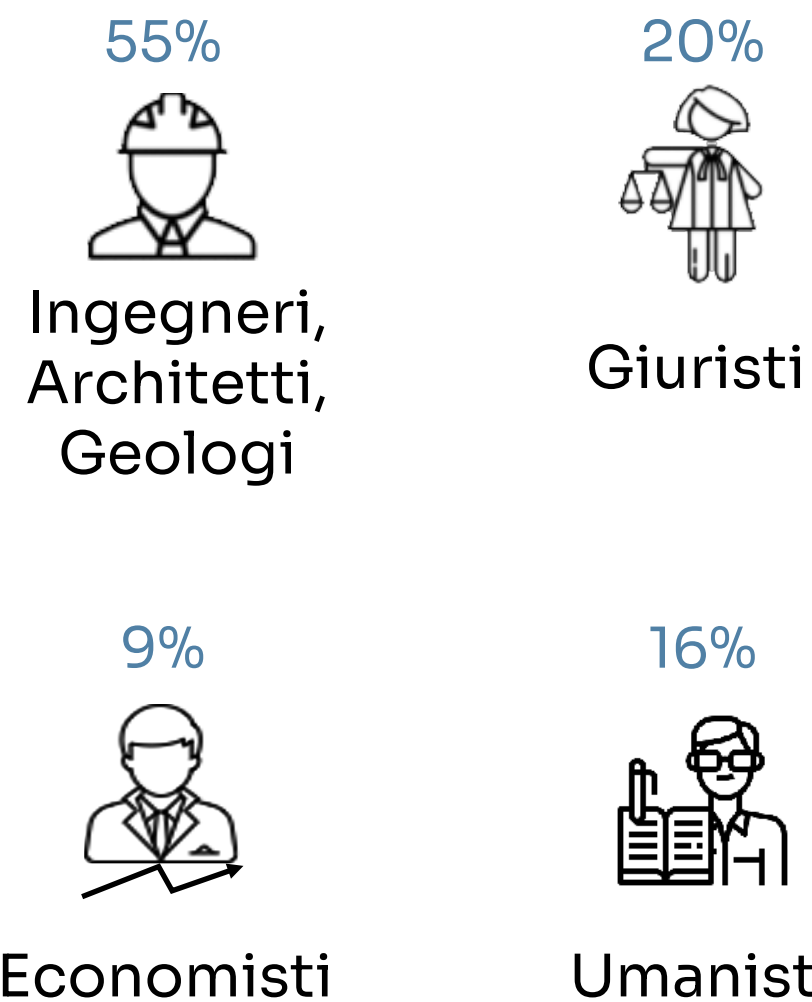
COMPAGINE SOCIETARIA



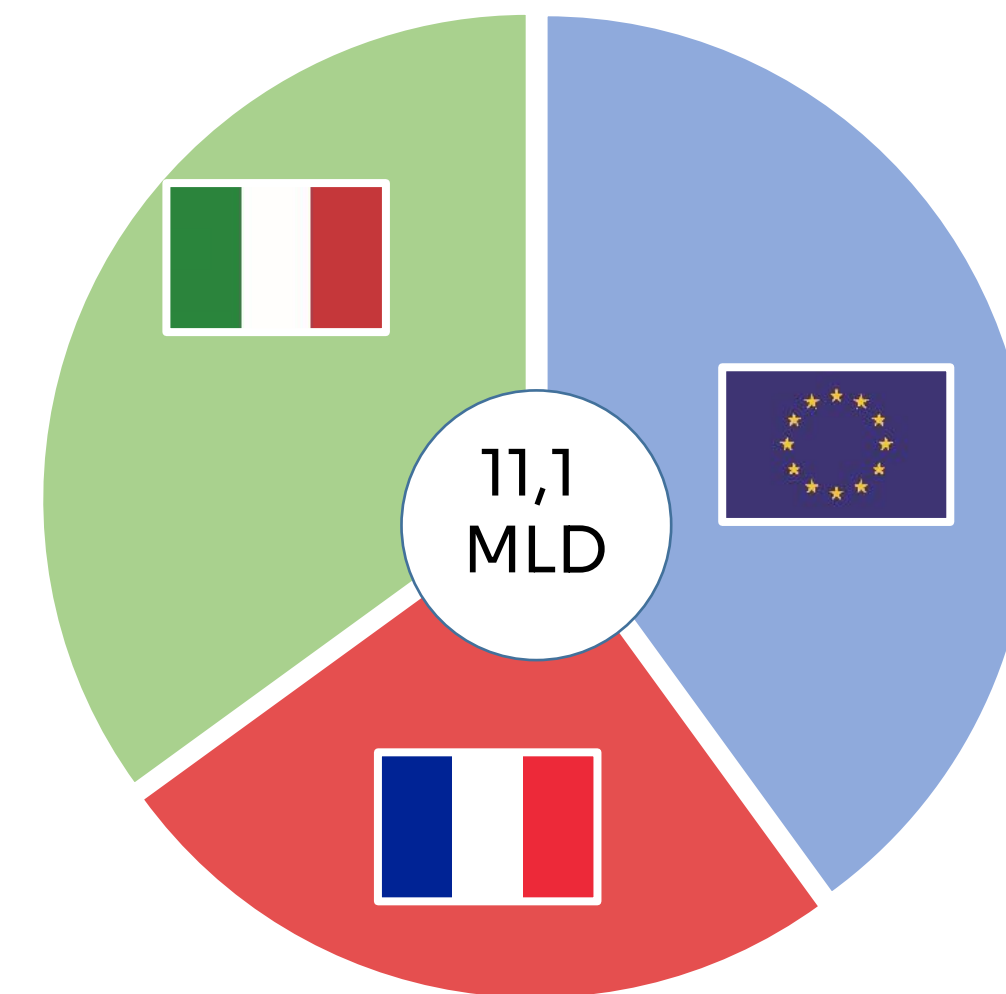
Costituito a Parigi il 23 febbraio 2015, l'assetto societario si configura paritario tra gli Stati. TELT succede a LTF - Lyon Turin Ferroviaire, che da ottobre 2001 a febbraio 2015 ha curato gli studi e i lavori preliminari.

L'EQUIPE

240 DIPENDENTI



IL BUDGET



Il costo della sezione transfrontaliera, è pari a 11,1 miliardi di euro (euro 2012). Attualmente, i lavori sono cofinanziati dall'UE al 50%, mentre la ripartizione della quota restante tra i due Paesi è del 57,9% a carico dell'Italia e del 42,1% a carico della Francia.

La sostenibilità come raison d'être dell'opera

TELT è stata ammessa al Global Compact delle Nazioni Unite del 2015. il progetto ha raccolto, tuttavia, fin dall'inizio la sfida della sostenibilità. E ciò anche per la fase cantiere.



Sezione transfrontaliera: a che punto siamo

Lavori

47,6 km di gallerie scavate di cui 20,5 km di tunnel di base, 11,1 Mld € (2012)

Appalti

100% dei lavori civili del tunnel attribuiti; in corso: CO12 e stazione di Saint-Jean-de-Maurienne

Persone

+3300 persone al lavoro nei due Paesi, sui cantieri, la progettazione e i servizi

Imprese

Imprese iscritte alla Whitelist binazionale di TELT 2.129 (12/2025)

Tecnologie

6 TBM collaudate, 1 operativa; 1 rover e 1 *robot beton* progettati ad hoc; BIM esteso a tutte le opere

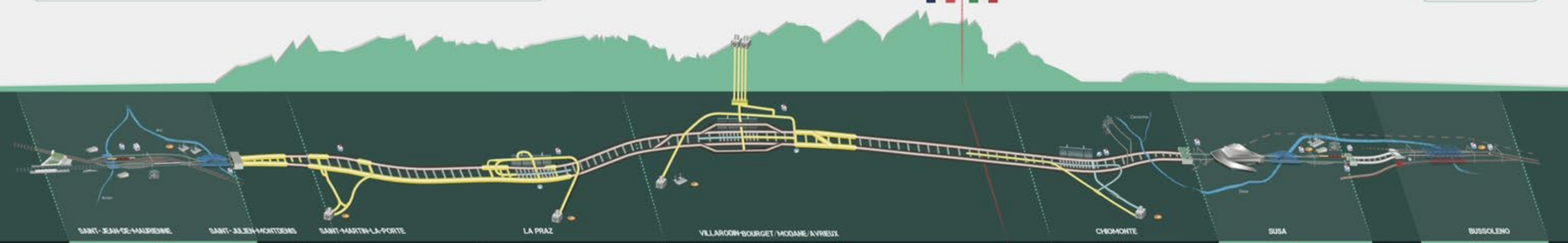
L'economia circolare dei materiali di scavo della Torino-Lione

TRAVAUX À L'AIR LIBRE

Pôle multimodal et gare ferroviaire de Saint-Jean-de-Maurienne
Gare internationale de Suse
Interconnexion ferroviaire avec les lignes existantes
Ponts et ouvrages annexes

TRAVAUX SOUTERRAINS

164 km de galeries et tunnels comprenant :
2 tubes parallèles de 57,5 km chacun
4 descenderies
204 rameaux de communication



C09

- Pôle multimodal et gare ferroviaire
- Site technique
- Interconnexion avec la ligne historique
- Ponts sur l'Arvan et l'Arc

C08

- Tête du tunnel de base en France
- Tunnel de base (3 km)
- Tranchée couverte

C06/7

- Descenderie Saint-Martin-La-Porte
- Tunnel de base (23 km)
- Descenderie Saint-André (La Praz)
- Site de sécurité Saint-André (La Praz)

C05

- Descenderie Villardoin-Bourget/Modane
- Tunnel de base (22 km)
- Site de sécurité Modane
- Puits de ventilation d'Avrieux

C03/4

- Maddalena 1 et 2
- Tunnel de base (12,5 km)
- Niches de retournement
- Tête du tunnel de base en Italie
- Tranchée couverte
- Site de sécurité Clarea
- Échangeur A32

C02

- Gare internationale
- Pont sur la Dora
- Site technique
- Échangeur A32

C01

- Tunnel d'interconnexion
- Ponts parallèles sur la Dora
- Interconnexion avec la ligne historique

C011

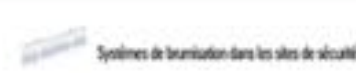
Gestion et emploi des matériaux excavés côté français du tunnel de base

C010

Gestion et emploi des matériaux excavés côté italien du tunnel de base

C012

Équipement ferroviaire et technologique du tunnel de base et des parties à l'air libre



ECONOMIA CIRCOLARE DEI MATERIALI DI SCAVO

NEL CANTIERE UNICO DELLA TORINO-LIONE

Trasformiamo la roccia estratta dalla montagna
in una risorsa preziosa per l'opera



I NUMERI CHIAVE



37 MILIONI
DI TONNELLATE
di materiali di scavo



30 MILIONI t
lato Francia



7 MILIONI t
lato Italia



>50%
RIUTILIZZATO
nel progetto



OBIETTIVO:
fino al **60%**
di riutilizzo

Il volume complessivo stimato di rocce da
scavare è di circa 37 milioni di tonnellate.

IL CICLO CIRCOLARE DEI MATERIALI



SOLO LA QUOTA NON VALORIZZABILE VIENE CONFERITA A DEPOSITO,
PER RIMODELLARE AREE GIÀ COMPROMESSE (es. ex cave)

PRINCIPI CHIAVE



MASSIMIZZARE IL RIUSO

La roccia è una risorsa preziosa.



RIDURRE L'IMPATTO AMBIENTALE

Meno estrazione di materie prime naturali.



OTTIMIZZARE COSTI E LOGISTICA

Minori trasporti, maggiore efficienza.



APPROCCIO CIRCOLARE INTEGRATO

Ogni fase è pensata per valorizzare il materiale.

INNOVAZIONE: IL "CANTIERE UNICO" ITALIA-FRANCIA



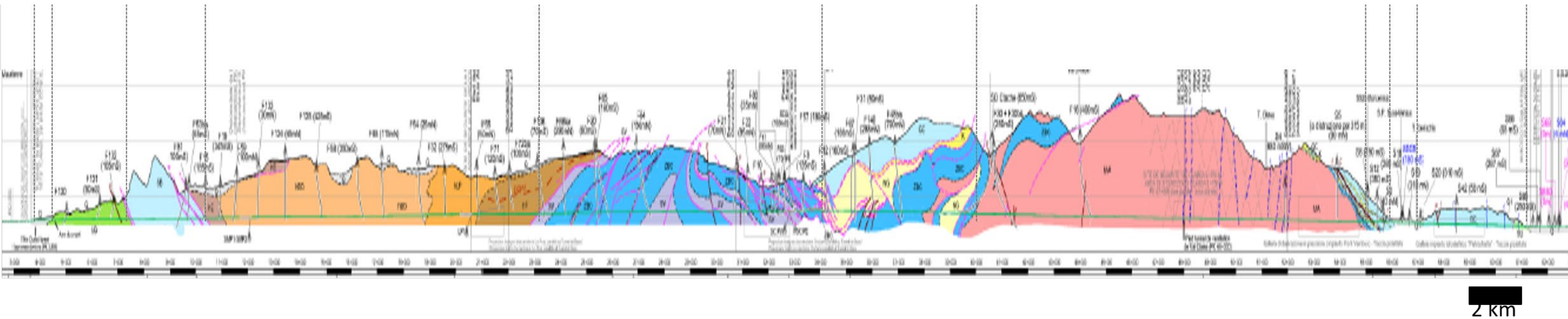
Accordo approvato dalla
Commissione intergovernativa
(giugno 2022)

PER LA PRIMA VOLTA IN EUROPA

- ✓ Superamento delle differenze normative ambientali
- ✓ Riutilizzo transfrontaliero dei materiali di scavo
- ✓ Il materiale può essere utilizzato dove serve, indipendentemente dal Paese di estrazione

GESTIONE CONDIVISA TRA ITALIA E FRANCIA:
COSÌ PRENDE FORMA IL CANTIERE UNICO.

Una geologia complessa



Legenda geologica

LEGENDA LEGENDE	
Copertura quaternaria <i>Dépôts quaternaires</i> Coltre detritico-colluviale (cd) <i>Couche détritico-colluviale (cd)</i> Depositi alluvionali di fondovalle, recenti e antichi (af) <i>Dépôts alluviaux de fond de vallée, anciens et récents (af)</i> Depositi di conoide alluvionale/misto (ac) <i>Dépôts de cônes alluviaux et cônes mixtes alluvions-débris (ac)</i> Detrito di falda a grossi blocchi (db) <i>Eboulis à gros blocs (db)</i> Coni detritici (dc) <i>Cônes détritiques (dc)</i> Detrito di falda (df) <i>Eboulis (df)</i> Depositi glaciali di fondo (fg) <i>Dépôts glaciaires de fond (fg)</i> Depositi glaciali indifferenziati (gi) <i>Dépôts glaciaires indifférenciés (gi)</i> Depositi antropici (ant) <i>Dépôts anthropiques (ant)</i> Depositi torrentizi (at) <i>Dépôts actuels des torrents (at)</i> Zona Subbrianzonese <i>Zone Subbriançonnaise</i> Anidriti e gessi (Trias superiore) (tGsb) <i>Anhydrites et gypses (Trias supérieur) (tGsb)</i> Zona Brianzonese interna <i>Zone Briançonnaise interne</i> Copertura meso-cenozoica <i>Couverture méso-cénozoïque</i> Copertura carbonatica brianzonese indifferenziata (Cb) <i>Couverture carbonatée briançonnaise indifférenciée (Cb)</i> Gessi e anidriti con livelli di scisti (Carnico) (tG) <i>Gypses et anhydrites à niveaux de schistes (Carnien) (tG)</i> "Strati post-ladinici": argilliti nere o varicolori (dolomitiche), breccie dolomitiche, calcari, dolomie gialle (t5S) <i>"Couches post-ladiniennes": argillites noires oucolorées souvent dolomitiques, brèches dolomitiques, calcaires, dolomies) (t5S)</i> Dolomie bianche e grigie (Ladinico Superiore) (tDB) <i>Dolomies blanches et grises (Ladinien Supérieur) (tDB)</i> Calcarì, dolomie con locali orizzonti di scisti: "Calcarì vermicolari" e "Calcarì listati" indifferenziati (Anisico-Ladinico Inf.) (tCd) <i>Calcaires, dolomies avec localement des horizons schisteux: "Calcaires vermiculaires" et "Calcaires rubanés" non différenciés (Anisien-Ladinien Inf.) (tCd)</i> Alternanze di calcarì e dolomie: "calcaires rubanés" (Anisico da medio a sup. - Ladinico inf.) (tC) <i>Alternance de calcaires et de dolomies: "calcaires rubanés" (Anisien moyen à sup. - Ladinien inf.) (tC)</i> Quarziti (Trias Inferiore) (tQ-QSE) <i>Quartzites (Trias inférieur) (tQ-QSE)</i> Quarziti +/- micacee, conglomerati quarzitici con quarzo rosa e scisti "Verrucano", "Groupe d'Etache" (Permo-Trias) (r-t) <i>Quartzites phylliteux, congrlomérats quartzeux à quartz roses et schistes, "Verrucano, Groupe d'Etache" (Permo-Trias) (r-t)</i> Conglomerati quarzitici +/- scistosi, "Conglomerati di Loutraz" (Permo-Trias) (r-ICG) <i>Conglomérats quartzitiques +/- schisteux, "Conglomérats de Loutraz" (Permo-Trias) (r-ICG)</i> Basamento Pretriassico <i>Socle Pre-Triasique</i> Micascisti dell'Arpont (Proterozoico a Ordoviciano) (SV) <i>Micaschistes de l'Arpont (Protérozoïque à Ordovicien) (SV)</i> Complesso d'Ambin (Pre-Triassico) <i>Complexe d'Ambin (Pré-Triasique)</i> Micascisti conglomeratici a clasti di quarzo (AMA) <i>Micaschistes congrlomératiques à éléments de quartz (AMA)</i> Gneiss aplitici (AMC) <i>Gneiss aplitiques (AMC)</i> Micascisti quarzitici (Permiano o Permo-Trias?) (AMF) <i>Micaschistes quartzitiques (Permien ou Permo-Trias?) (AMF)</i> Gneiss albitici passanti a micascisti quarzosi (AMD) <i>Gneiss albitiques passants à des micaschistes quartzitiques (AMD)</i> Complesso di Clarea (Proterozoico a Cambriano?) <i>Complexe de Clarea (Protérozoïque à Cambrien?)</i> Micascisti e gneiss minuti a glaucofane ± albitizzati con locali lenti di metabasiti anfibolitiche (CL) <i>Micaschistes et gneiss micro-oeillés à glaucophane ± albitiques avec des lentilles sporadiques de metabasites amphibolitiques (CL)</i> ove distinti ou localisée Metabasiti anfibolitiche (CL-b)* <i>Métabasites amphibolitiques (CL-b)*</i> Orizzonti di scollamento <i>Niveaux de décollement</i> Carniole, cataclasiti carbonatiche (BCC/Ksb/K/Kng) <i>Cargneules, cataclasites carbonatées (BCC/Ksb/K/Kng)</i> Falda dei gessi <i>Nappe des gypses</i> Alternanze (dm) di gessi e dolomie (GDng) <i>Alternance (dm) de gypses et de dolomies (GDng)</i> Scisti verdi talvolta alternati ad arenarie grossolane (SGng) <i>Schistes verts alternant parfois avec des grès grossiers (SGng)</i> Alternanza (dm) di dolomie e calcarì (CDng) <i>Alternance (dm) de dolomies et de calcaires (CDng)</i> Bancata di dolomie generalmente chiare (Norien?), talora scure (Dng) <i>Barre de dolomies généralement claire (Norien?) ou parfois sombres (Dng)</i> Barra di calcarì fini e grigi, talvolta calcescisti (Cng) <i>Barre de calcaires fins et gris, parfois calcschisteux (Cng)</i> Unità indifferenziata di gessi ed anidriti (Carnico probabile) (tng) <i>Unité des gypses et anhydrites (Carnien probable) indifférenciée (tng)</i> Gessi e anidriti con intercalazioni sedimentarie di scisti e dolomie (Carnico probabile) (tGng) <i>Gypses et anhydrites (Carnien probable) à éléments de schistes et dolomies (tGng)</i> Unità dei Lozes <i>Unité des Lozes</i> Marmi a clorite e "calcschistes planctoniques" (Cretaceo sup.-Paleocene) (cs-eB) <i>Marbres chloriteux et calcschistes planctoniques (Crétacé sup.-Paléocène) (cs-eB)</i> Bande tabulari di calcarì scuri con livelli brecciati (dolomie + calcarì scuri), passanti a calcarì scuri massicci (Jm) <i>Calcaires sombres en plaquettes à niveaux bréchiques (dolomies+calcaires sombres) passant à des calcaires sombres massifs (Jm)</i> Unità dei Lozes e della "Grande Motte" <i>Unité des Lozes et de la Grande Motte</i> Dolomie chiare, stratificate, talvolta brecciate con livelli di scisti argillosi varicolori, "Dolomia principale" (Norico p.p.) (t6) <i>Dolomies claires, litées, parfois bréchiques à lits d'argillites colorées, "Dolomia principale" (Norien p.p.) (t6)</i> Zona Piemontese <i>Zone Piémontaise</i> Unità di margine continentale <i>Unités de marge continentale</i> Unità tettonometamorfica del Gad <i>Unité tectonométamorphique du Gad</i> Marmi dolomitici (DGA) <i>Marbres dolomitiques (DGA)</i> Unità di fossa <i>Unités de fosse</i> Unità tettonometamorfica di Puys-Venaus (PV) <i>Unité tectonométamorphique de Puys-Venaus (PV)</i> Scisti carbonatici filladici (GCC) <i>Schistes carbonatés phyllitiques (GCC)</i> Gneiss albitici (Gneiss di Charbonnel auct.) (GCK)* <i>Gneiss albitiques (Gneiss de Charbonnel auct.) (GCK)*</i> Unità oceaniche <i>Unités océaniques</i> Unità tettonometamorfica Bassa Val di Susa - Valli di Lanzo - Monte Orsiera (SU) <i>Unité tectonométamorphique Basse Vallée de Susa - Vallée de Lanzo - Monte Orsiera (SU)</i> Prasiniti e scisti prasinitici (OMB) <i>Prasinites et schistes prasinitiques (OMB)</i> Unità tettonostratigrafica del Dora Maira (DM) <i>Unité tectonostratigraphique du Dora Maira (DM)</i> Copertura Mesozoica <i>Couverture Mésozoïque</i> Complesso di Meana - M. Muretto <i>Complexe de Meana - M. Muretto</i> Calcemicascisti (TCS) <i>Calc-micaschistes (TCS)</i> Calcemicascisti con intercalazioni di micascisti a cloritoide-granato (TCSm)* <i>Calc-micaschistes avec niveaux de micaschistes à chloritoïde et grenat (TCSm)*</i> Paragneiss listati con intercalazioni di quarziti (TPG) <i>Paragneiss lités avec niveaux de quartzites (TPG)</i>	

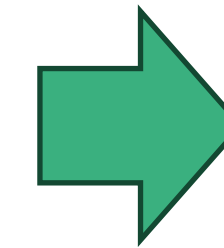


Dal progetto alla strategia matex

Il **modello geologico** si basa su:

- Rilevamenti sul campo (268 sondaggi dalla superficie = 66 km)
- Lo scavo delle diverse discenderie (9 km di galleria di accesso in Francia e 7 km in Italia)
- Lo scavo delle gallerie di ricognizione, in particolare il tratto di tubo sud tra Saint-Martin-la-Porte e La Praz (cantiere SMP4 – 9 km)

Su queste basi TELT ha elaborato il modello GEME: in base alle litologie, **classificando i materiali in C11/C12/C13 secondo i criteri GT35 / AFTES**



Le alee presenti in fase realizzativa sono quantificate nel quadro economico del progetto e possono riguardare:

- La posizione delle zone di contatto tra le diverse litologie
- L'estensione di alcune litologie
- Le caratteristiche fisico-chimiche e mineralogiche di alcune litologie (ad es. tenori di SO_3)
- La complessità legata al numero di fronti di scavo

C11: materiali utilizzati per la produzione di inerti per calcestruzzo

C12: materiali utilizzabili come materiale di riempimento

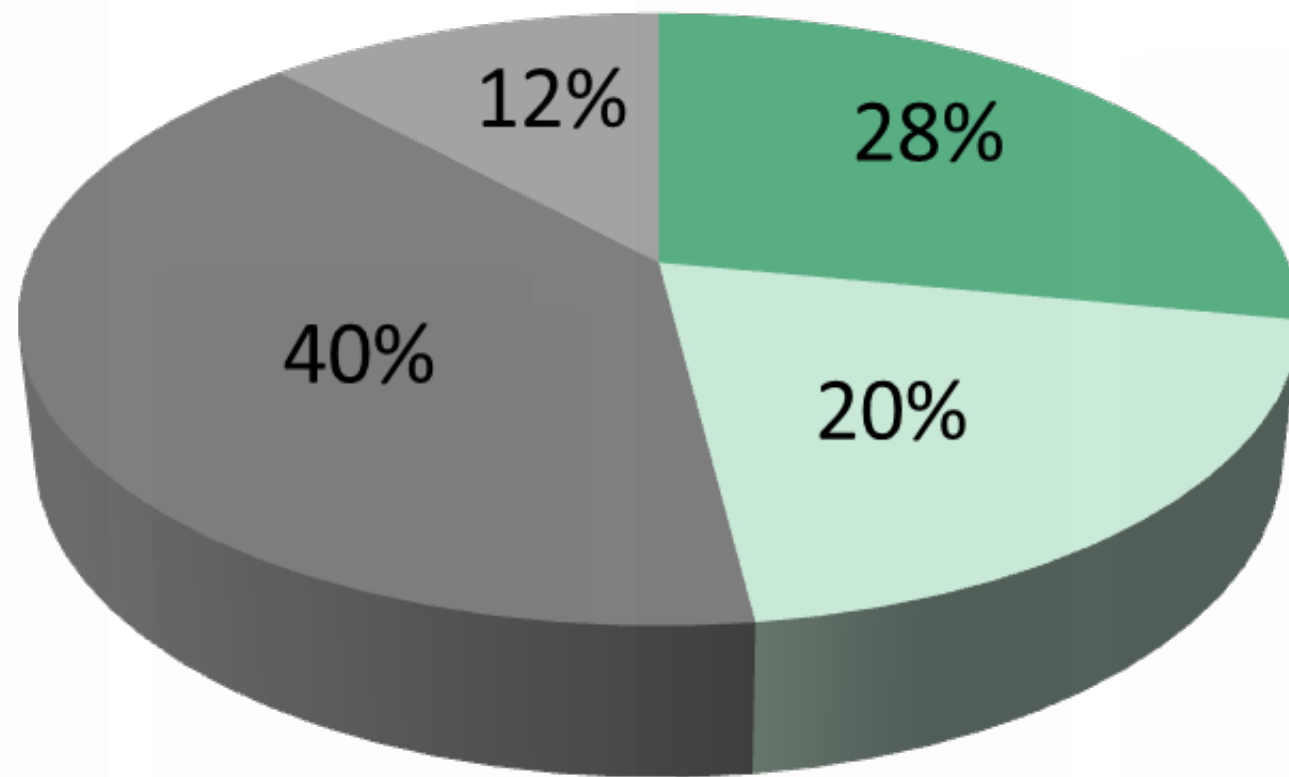
C13: materiali utilizzabili previa lavorazione o destinati a discarica definitiva

-> **C13a:** materiali utilizzabili come materiale di riempimento previa lavorazione e materiali residui della trasformazione del C11 in aggregati che possono essere parzialmente utilizzati

-> **C13b:** materiali solfatati che presentano un carattere evolutivo da destinare a discarica speciale

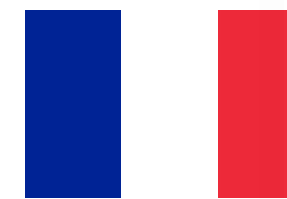
Schema di valorizzazione

- CI1 - granulati
- CI2 - rilevati
- CI3a - Valorizzazione esterna o deposito
- CI3b - Deposito con trattamento speciale (es. materiali solfatati)

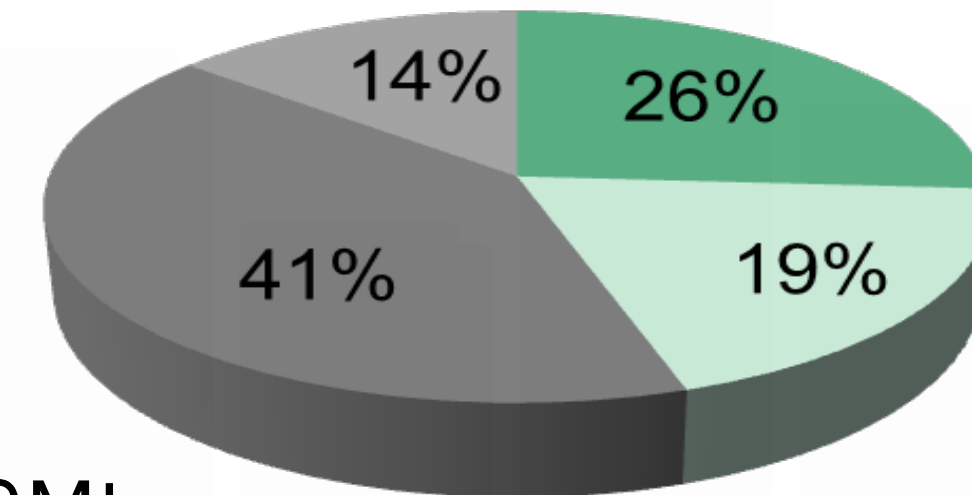


France/Italie:
37,2Mt

45km



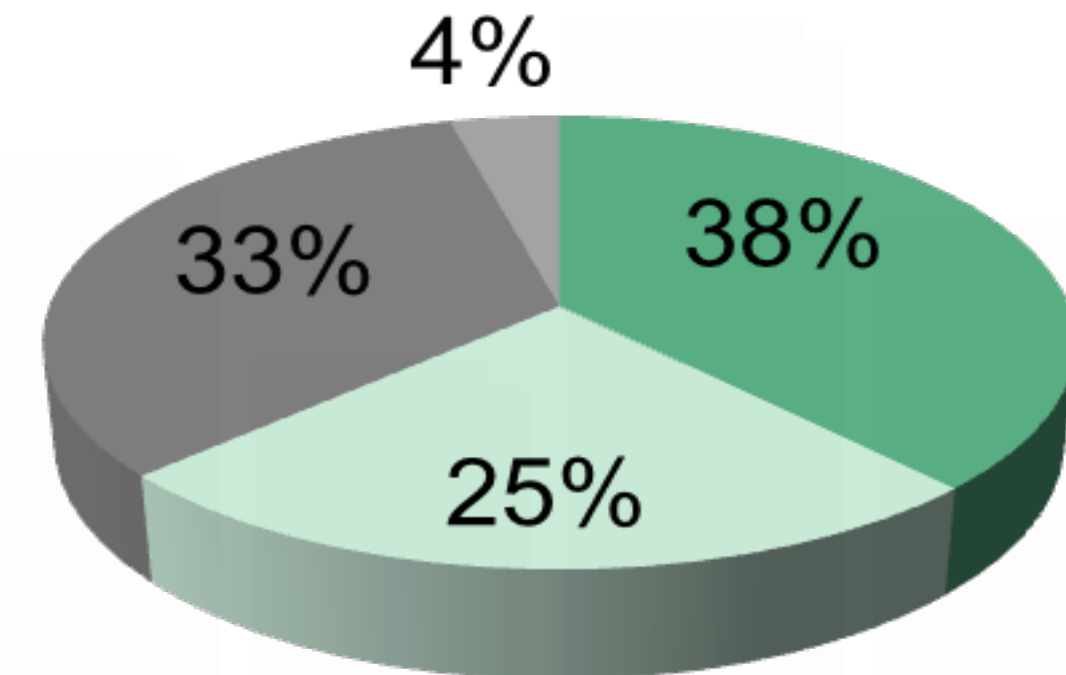
Francia: 29,9Mt
(80%)



12,5km



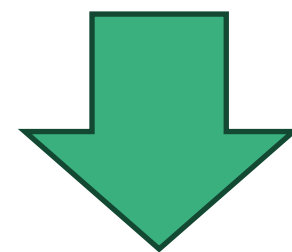
Italia: 7,3Mt
(20%)



Dal progetto alla strategia matex

OBIETTIVI

- Garantire il rispetto della normativa
- Valorizzazione dei materiali attraverso l'ottimizzazione dell'impiego dei materiali di scavo, in via prioritaria nell'ambito del progetto;
- Limitare l'ingombro necessario per il deposito definitivo dei materiali di scavo in un contesto ristretto come le Valli Alpine;
- Minimizzare gli impatti sul territorio e sull'ambiente



Due cantieri operativi dedicati, in Francia e in Italia,
con l'onere di interfacciarsi con tutti i siti produttivi, gestire e valorizzare

Declinazione operativa: l'esempio del CO11 (Francia)

Le attività, e le relative responsabilità sono ben definite:

- Pre-classificazione dei materiali: rilevamento del fronte di scavo + interpretazione dei sondaggi in base all'avanzamento dei lavori a cura dei Lotti di produzione (lavori civili)
- Classificazione definitiva a cura dell'impresa del CO11

Il CO11 fornisce tutti i materiali per i cantieri di GC del Tunnel di Base ed è responsabile della tracciabilità e del deposito esterno

Per garantire la continuità di approvvigionamento è possibile integrare puntualmente con approvvigionamenti esterni (per i periodi di carenza)

Sfide:

- Buona gestione delle produzioni e l'anticipazione dei fabbisogni
- Importanza della gestione delle interfacce tra i lotti

Declinazione operativa: l'esempio del CO11 (Francia)

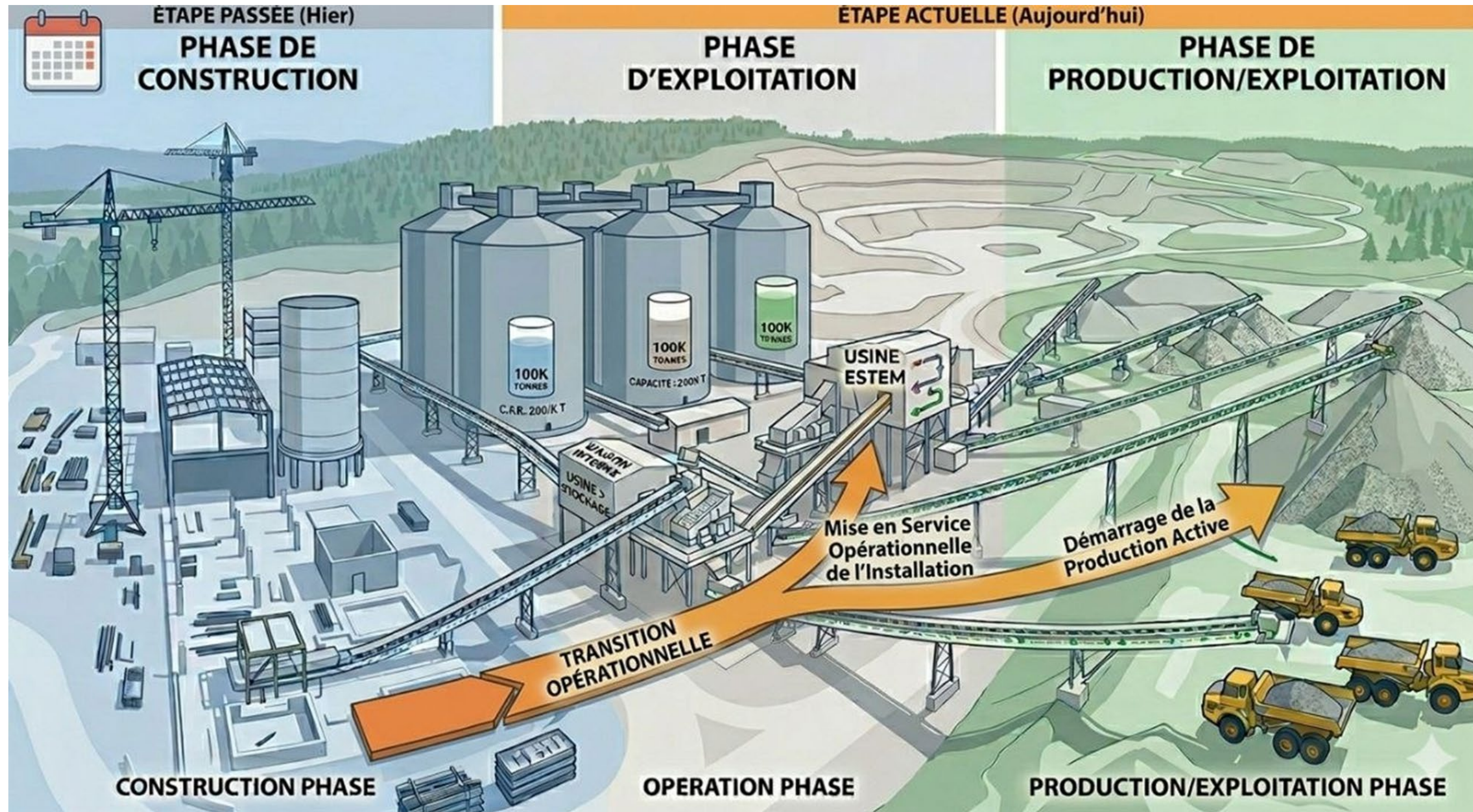


Principali attività / strutture del CO11

- 2 impianti di trattamento dei materiali a VBM + Illaz
- 3 siti stoccaggio
- 7 siti depositi temporanei
- 5,4 km di nastri trasportatori inter-siti
- 1 raccordo ferroviario
- Gestione del trasporto su strada e ferroviario



Declinazione operativa: l'esempio del CO11 (Francia)



Da gennaio 2024

- **3 milioni di tonnellate** di MATEX sono state prese in carico
- **2 milioni di tonnellate** sono state riutilizzate per i rilevati nel cantiere di Saint-Jean-de-Maurienne.
- Ogni settimana sono prese in carico **tra 8.000 e 20.000 tonnellate** per tutti i cantieri di scavo.

Il ruolo fondamentale della ricerca

 Dal 1997, prima ALPETUNNEL, poi LTF, hanno condotto una serie di studi sulla caratterizzazione e l'uso dei materiali scavati.

Poiché le piattaforme di costruzione sono geograficamente limitate, si prevede l'utilizzo di metodi innovativi per ridurre la pressione sul territorio:

- **Frantumazione in linea:** in base alle loro caratteristiche fisico-chimiche, determinare l'uso e la destinazione dei materiali il prima possibile e quindi ottimizzarne la gestione (stoccaggio, trasporto, ecc.)
- **Trattamento di materiali** con un contenuto di solfato più elevato (ipotesi francese): programma di ricerca e sviluppo
- **Ricerca siti esterni** per scopi di sviluppo, in particolare nel contesto della riqualificazione delle cave

Programma di ricerca per il riutilizzo dei materiali contenenti solfati



Avviato nel 2009 con i partner IFSTTAR, HOLCIM, VICAT, LERM

Fase n. 1: Tesi di dottorato - «Studio sul riutilizzo dei materiali di scavo dei cantieri di gallerie ricchi di solfati come inerti per il calcestruzzo» – Università di Parigi Est – 04/12/2012

Linee di ricerca:

- Definire il comportamento dei solfati contenuti nei MATEX;
- Definire un cemento adatto all'utilizzo di aggregati solfatati.

2 obiettivi principali:

- Ottenere calcestruzzi resistenti alla RSI (Reazione Solfatica Interna) e al rischio TSA (Thaumasite Sulphate Attack) utilizzando aggregati contenenti fino al 4% di SO_3 ;
- Definire procedure di trattamento dei MATEX atte a ridurre la percentuale di solfati negli aggregati.

Programma di ricerca per il riutilizzo dei materiali contenenti solfati

Fase n. 2: Le prove e i programmi industriali

2 obiettivi principali:

- verificare la fattibilità su scala industriale dell'impiego di tali calcestruzzi (lavorabilità del calcestruzzo per la posa, resistenze meccaniche in fase iniziale, ecc.);
- identificare i meccanismi responsabili del buon comportamento dei cementi CSS e «ULTIMAT» e comprendere gli effetti dell'utilizzo di una sabbia correttiva;
- comprendere l'evoluzione a lungo termine dei solfati in eccesso contenuti nel calcestruzzo;
- convalidare la durabilità dei calcestruzzi.



Programma di ricerca per il riutilizzo dei materiali contenenti solfati

Annexe NA.E

(normative)

Dispositions complémentaires liées à la maîtrise de l'effet des sulfates pour le cas particulier des granulats issus de matériaux d'excavation obtenus par creusement dans le cadre d'un projet d'infrastructures de génie civil

I risultati delle prove di laboratorio e in situ hanno confermato le tendenze osservate durante la prima fase.

Le prove sono proseguite fino al raggiungimento dei 900 giorni previsti. I risultati ottenuti hanno permesso di valutare l'adeguatezza delle soluzioni proposte.

Nel 2017 TELT ha presentato richiesta all'AFNOR (commissione P18B) -> **parere favorevole dell'AFNOR**

Nel 2018 è stato istituito il gruppo di esperti che ha studiato il processo fino al 2022

Conclusione: Convalida del lavoro svolto da parte dell'AFNOR

=> Pubblicazione del corpus normativo necessario all'utilizzo di inerti solfati per la produzione di calcestruzzo con leganti «specifici»

Il progetto ADVANTEX

In Italia, è stato avviato un progetto in collaborazione con il Politecnico di Torino per ricercare le metodologie più innovative e affidabili volte a promuovere il riutilizzo delle attrezzature di scavo per le seguenti applicazioni:

Ricercare nuove tecnologie e processi per la caratterizzazione precoce delle attrezzature scavate, al fine di definirne la destinazione;

Ricerca e progettazione di calcestruzzi «verdi» definizione della loro sostenibilità e caratteristiche meccaniche per l'uso strutturale

Tecnologie ottimali per il controllo automatico dei processi e la tracciabilità



Politecnico
di Torino



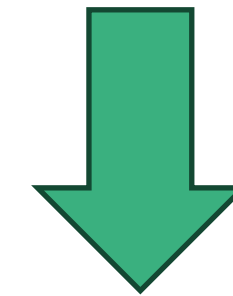
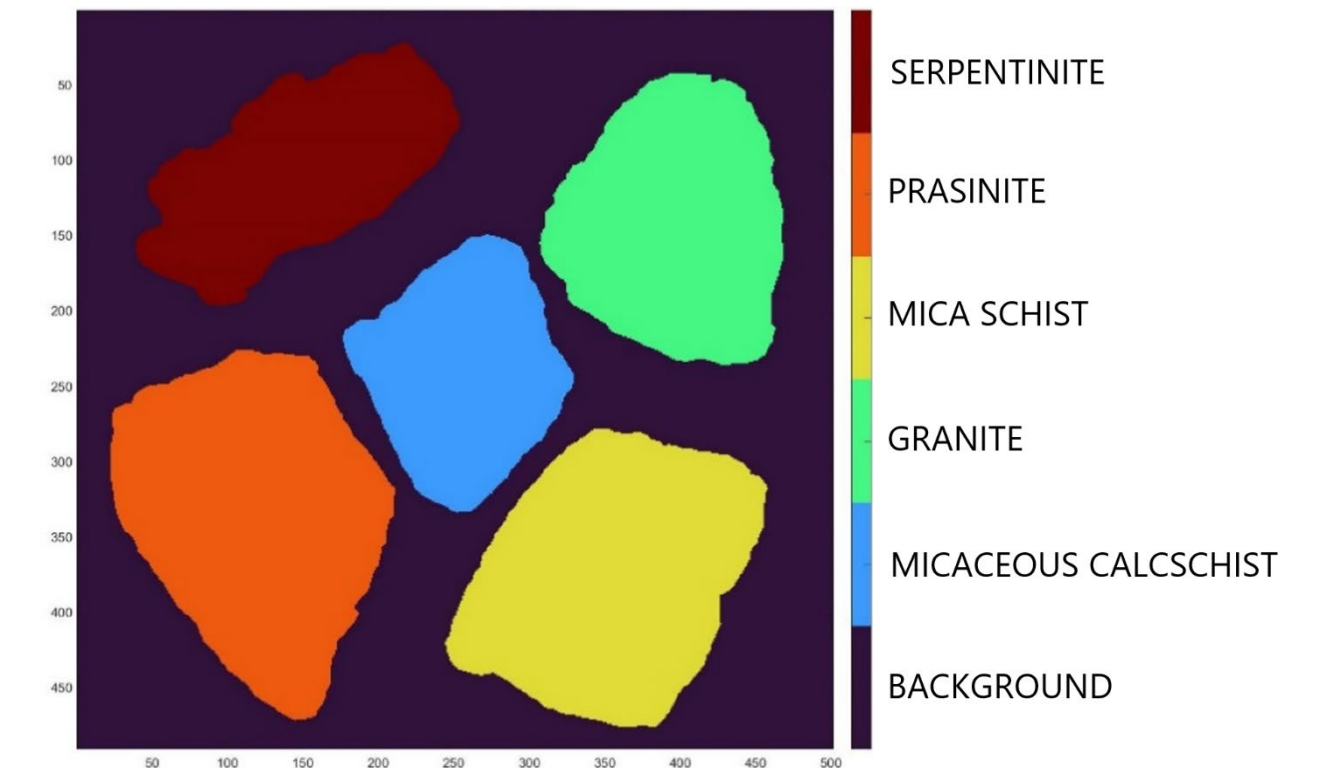
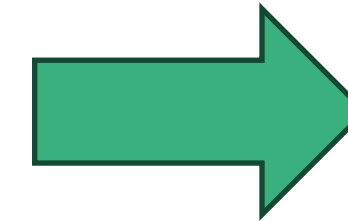
Fase 1 - caratterizzazione

Analisi dei materiali di scavo

- Caratterizzazione granulometrica
- Acquisizioni 2D e 3D
- Analisi avanzate dei materiali
- Comprensione del potenziale di riutilizzo

Intelligenza Artificiale applicata ai materiali

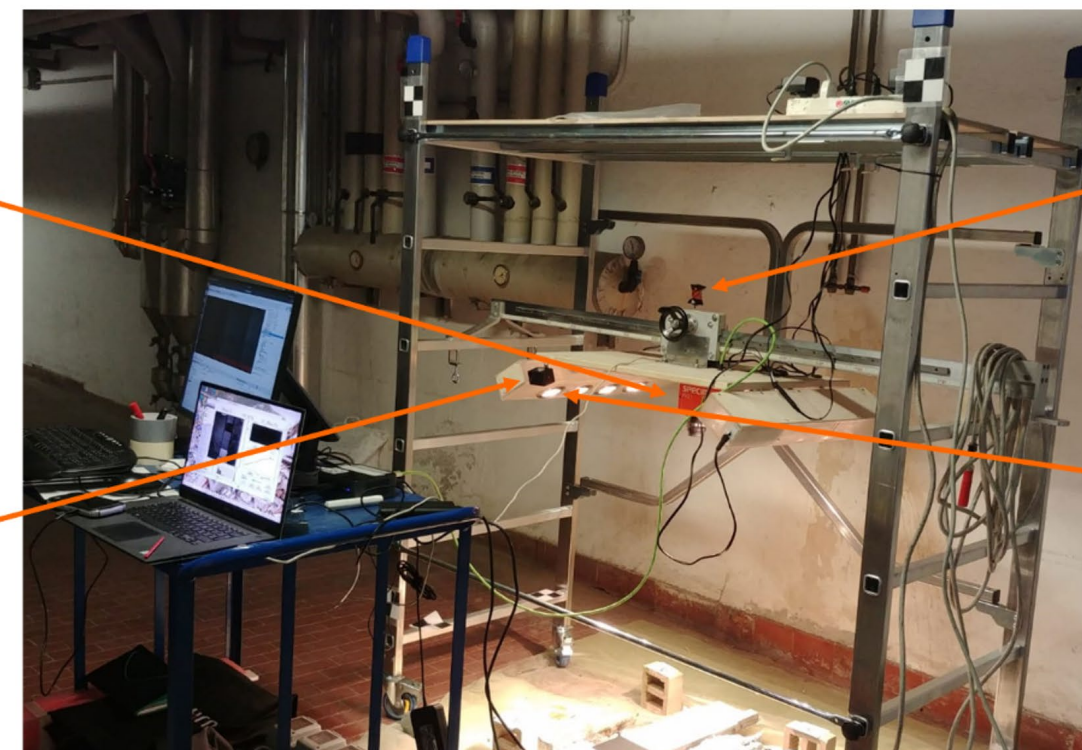
- Analisi automatica di immagini 2D
- Elaborazione di dati e modelli 3D
- Identificazione rapida delle caratteristiche del materiale



Specim FX17



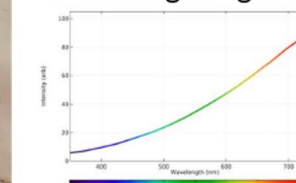
Sony RX0 II



360° prism



Halogen lights



Fase 2 - valorizzazione

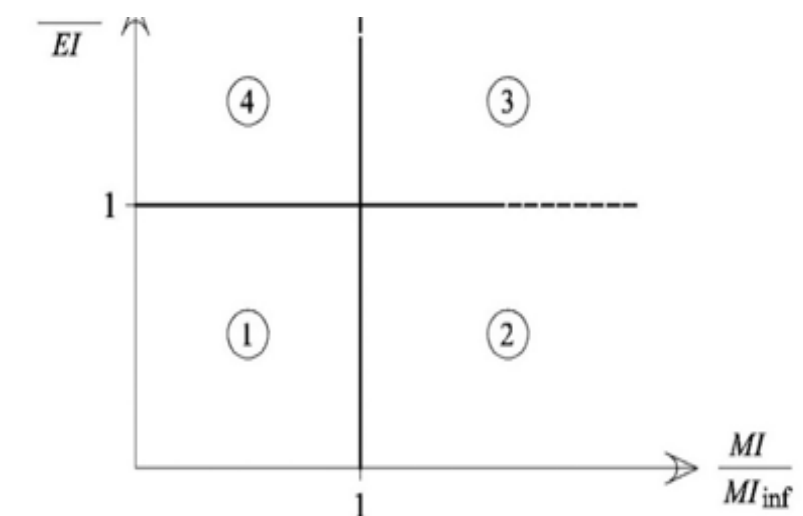
Sono state esplorate due strategie per la realizzazione di un calcestruzzo sostenibile (Green Concrete) **a partire dal riutilizzo del materiale fine (CL3) identificabile con le strategie digitali**

- Strategia di **miglioramento delle prestazioni del materiale**, finalizzata all'ottimizzazione delle proprietà del calcestruzzo
- **Strategia di sostituzione dei materiali**, basata sulla sostituzione di una parte degli aggregati utilizzati nei conci di rivestimento della galleria con materiali riciclati (es. pneumatici fine vita).

Questo approccio può consentire di migliorare **l'Indice Ecologico (EI)** mantenendo al contempo invariato l'Indice Meccanico (MI).



- Zone 1: Low mechanical performances– Low ecological performances.
- Zone 2: High mechanical performances– Low ecological performances.
- Zone 3: High mechanical performances– High ecological performances.
- Zone 4: Low mechanical performances– High ecological performances



Fase 3 – realizzazione di test di laboratorio e ulteriore sperimentazione

Nella terza fase del progetto, il Politecnico ha realizzato con successo degli esperimenti per la realizzazione di:

- calcestruzzo fibrorinforzato per i conci prefabbricati del rivestimento della galleria;
- materiale di backfilling per il riempimento dell'intercapedine anulare tra il rivestimento e la roccia;
- materiale di riempimento e di supporto tra l'arco rovescio e il piano di posa delle traverse.

Sulla base di questo test, il progetto è ancora in corso per ottenere il finanziamento di una fase 4 di sperimentazione di un concio.

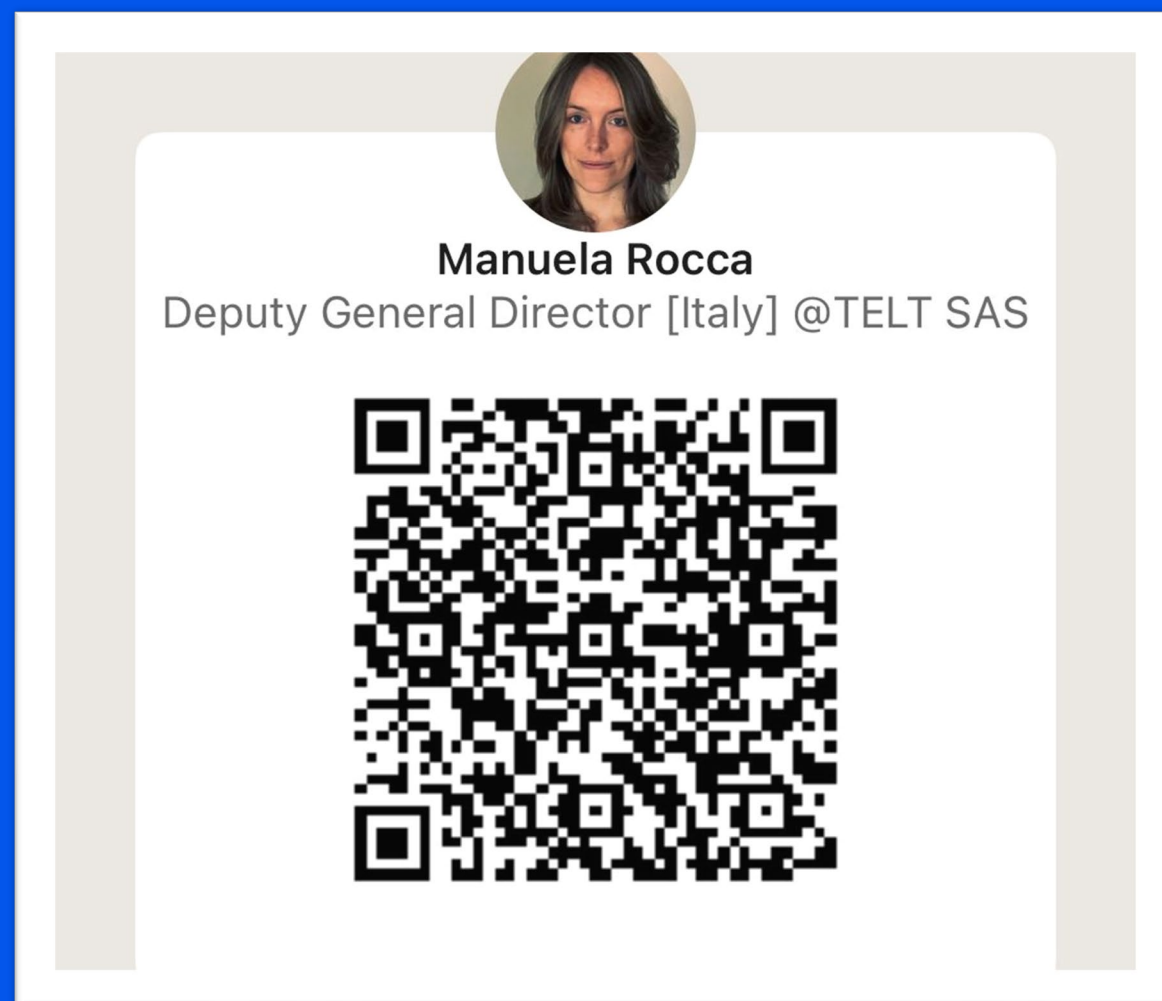
Il cantiere unico dei materiali di scavo: l'innovazione è necessariamente anche giuridica

L'Accordo Francia – Italia ratificato nel 2025 consente lo scambio transfrontaliero dei materiali di scavo tra Italia e Francia, mettendo in relazione le eccedenze di un versante con i fabbisogni dell'altro: **Cantiere Unico = Bilancio Unico**

➡ 600.000 t di materiali
C1Italia → Francia
⬅ 600.000 t di materiali
C12Francia → Italia



- ✓ Maggiore quota di materiali valorizzati nell'opera
- ✓ Riduzione del ricorso a materiali provenienti da cave esterne
- ✓ Minori stoccaggi e trasporti
- ✓ Impronta del carbonio positiva per l'interscambio dall'Italia alla Francia



Grazie della vostra attenzione
Merci de votre attention

<https://www.telt.eu/it/sostenibilita/>