

L'économie circulaire italienne appliquée au secteur Marocain de la construction

**Normes techniques, applications et contrôles des
granulats recyclés dans la construction
d'infrastructures de transport**

6 juillet 2023 | Casablanca, Maroc

Sommario

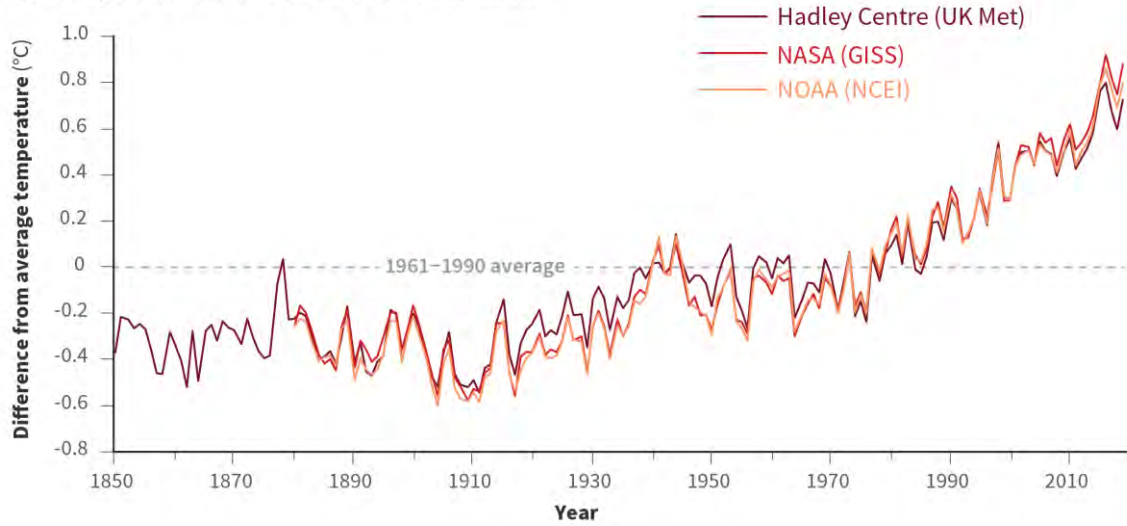
Norme tecniche, applicazioni e controlli degli aggregati riciclati nelle costruzioni delle infrastrutture di trasporto

- **Necessità di migliorare la sostenibilità delle infrastrutture**
Progettazione - Costruzione - Fase d'uso - Fine vita
- **Sostenibilità**
Ambientale - Economica - Sociale
- **Norme Tecniche sugli aggregate riciclati**
Cenni storici, Evoluzione, Stato attuale
- **Gli indirizzi Normativi**
I CAM sulle "Strade Verdi" - Criteri Ambientali Minimi e Criteri Premiati
- **Tipologie e Ambiti di impiego**
Controlli
- **L'evoluzione Tecnologica - Esempi di applicazioni**

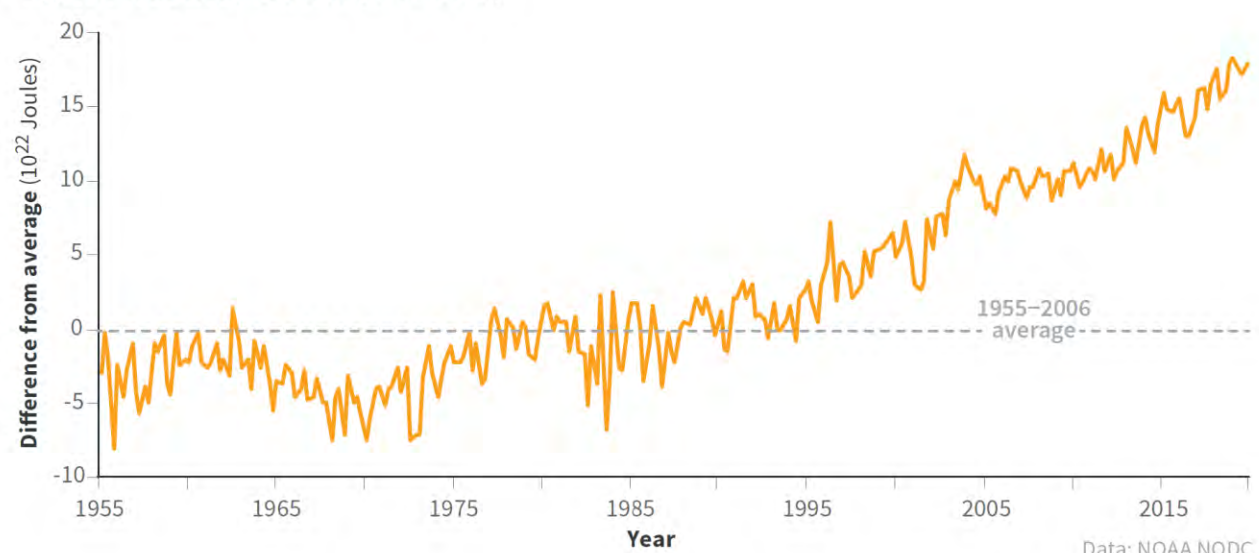


La necessità di contribuire alla sostenibilità ambientale

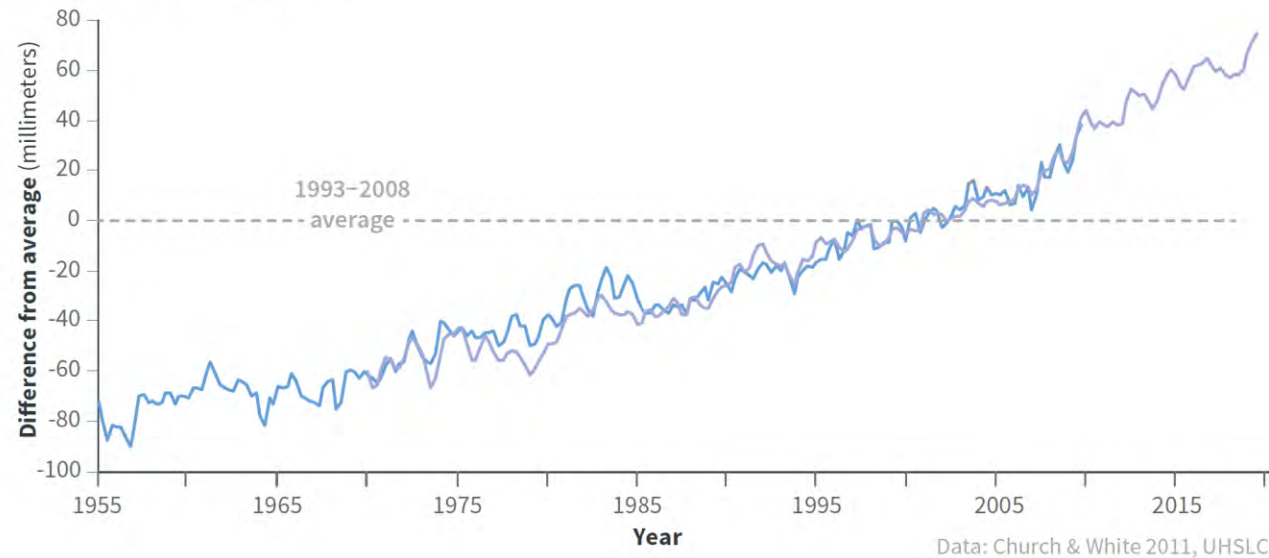
Annual global surface temperature (1850–2019)



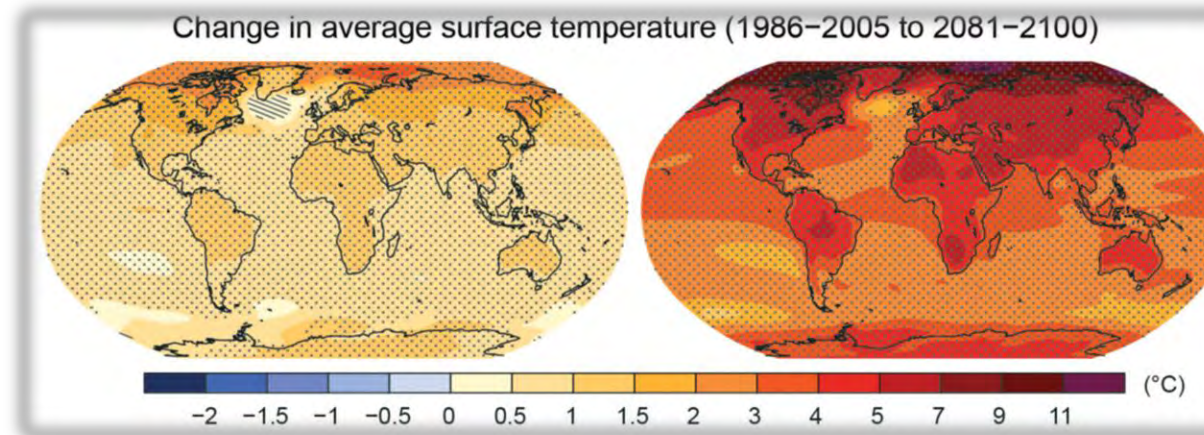
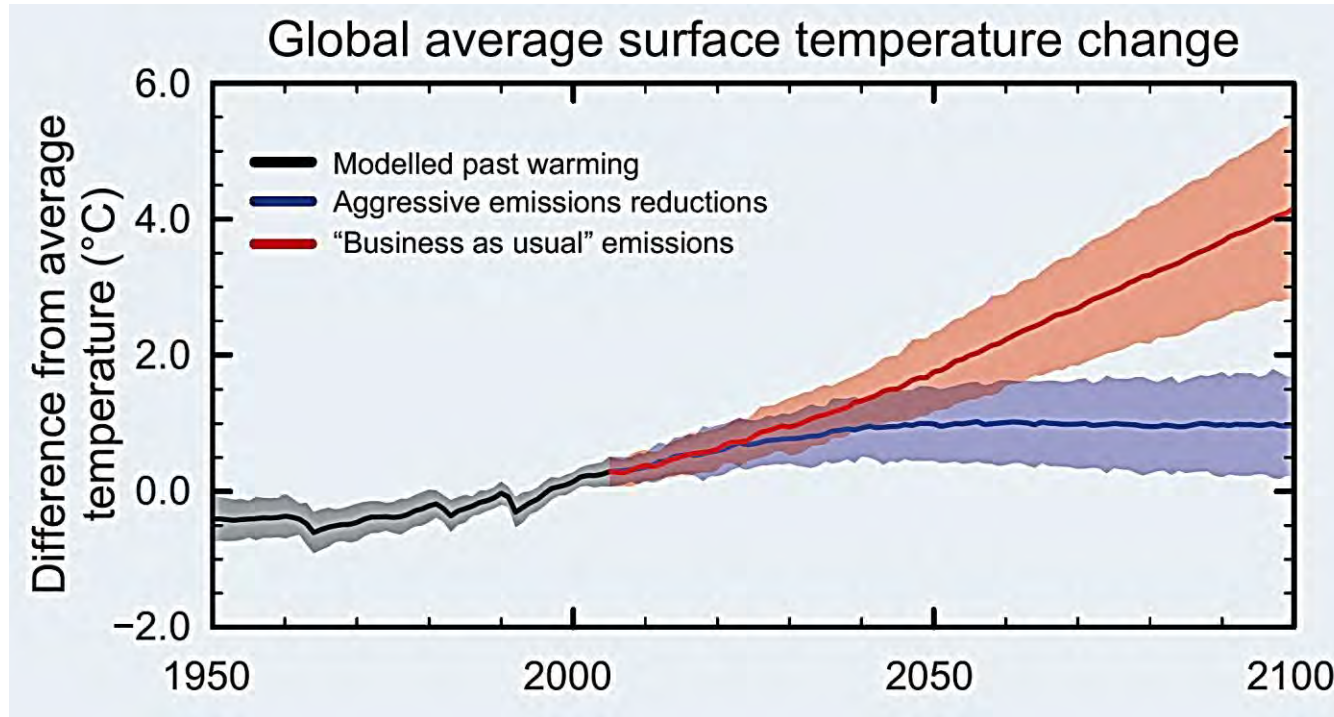
Upper ocean heat content (1955–2019)



Global sea level (1955–2019)



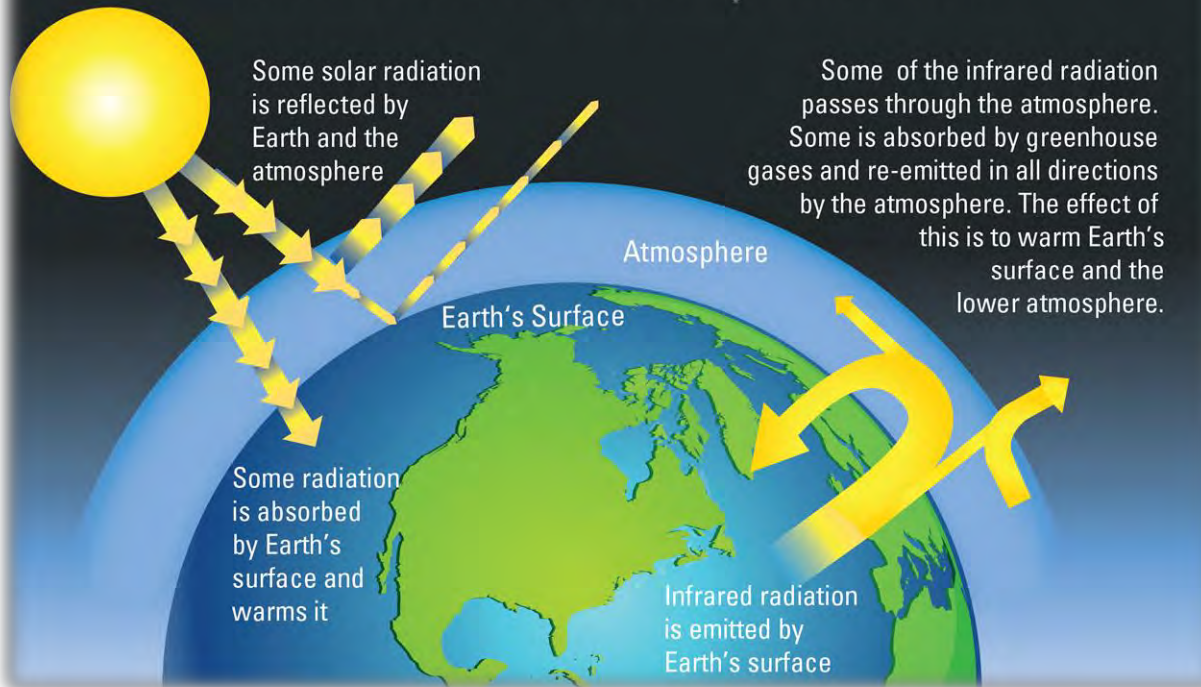
La necessità di contribuire alla sostenibilità ambientale



La necessità di contribuire alla sostenibilità ambientale

Le emissioni di gas serra causate dalle attività antropiche contribuiscono a rendere la bassa atmosfera terrestre sempre più calda e umida, aumentando il potenziale energetico per eventi meteorologici sempre più estremi.

THE GREENHOUSE EFFECT



Coerentemente con le aspettative teoriche, stanno diventando sempre più probabili quegli eventi più strettamente legati alla temperatura, come le ondate di caldo e le giornate estremamente calde. In genere stanno diventando più frequenti anche gli eventi piovosi e nevosi (che aumentano il rischio di inondazioni).

L'aumento del numero di eventi meteorologici estremi porta a nuove sfide per le amministrazioni che hanno in gestione le reti stradali poiché si devono modificare le dimensioni necessarie di diversi sistemi (ad es. drenaggio).

Come può contribuire il settore delle infrastrutture di trasporto a migliorare la situazione?

Sostenibilità e Infrastrutture

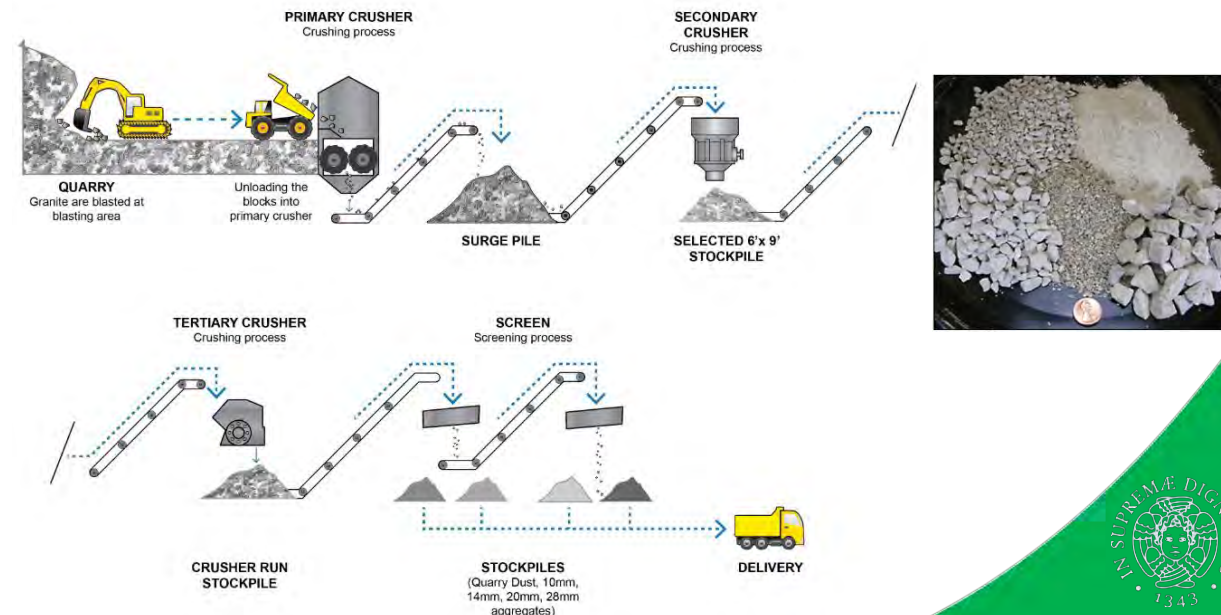
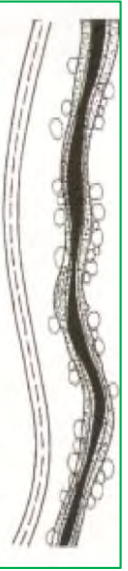
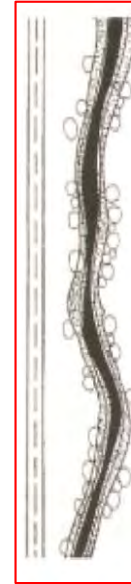
The past decade has seen a focus on changes to the footprint and alignment of roads to minimise ecological disturbance.

The coming decade will see a focus on the resources required to **build and maintain roads**.

For example, each kilometer of road constructed required large quantities of rock, concrete, asphalt and steel to be sources, transported and placed.

A typical two-lane bitumen road with an aggregate base can require up to **25'000 tons of material per kilometer, showing why aggregates are the most mined resource in the world.**

The emissions from the mining, transportation, earthworks and paving associated with road construction, as well as emissions from road users, makes it one of the greatest contributors to climate change, some 22 per cent of global carbon dioxide emissions.



Sostenibilità



Sustainable Development

*Sviluppo che soddisfa i bisogni della presente generazione
senza compromettere le possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni.*

(World Commission on Environment and Development, 1987)

Aggregati riciclati



- La legislazione e le Norme Tecniche del Capitolato Speciale d'Appalto
- Gli aggregati riciclati da Costruzione e Demolizione
- Impieghi: rilevati, fondazioni, misti cementati
- Progettazione, Realizzazione, Controlli

Le Specifiche Tecniche di Capitolato

IL PROGETTO:

- è predisposto in conformità alle regole e norme tecniche vigenti in materia.
- fine fondamentale del progetto è la realizzazione di un intervento di qualità e tecnicamente valido, nel rispetto del miglior rapporto benefici/costi di costruzione, manutenzione e gestione.
- è uniformato a principi di **minimizzazione dell'impegno di risorse e materiali non rinnovabili e di riutilizzo delle risorse naturali.**

IL CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO è un documento di Progetto

Le Norme Legislative (Art. 33 del D.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207) definiscono i documenti componenti il progetto esecutivo, gli unici documenti a cui fare riferimento in caso di contestazioni e controversie tra le parti. «Sono parte integrante del contratto, e devono in esso essere richiamati:

- a. Relazione generale;
- b. Relazione specialistiche;
- c. Elaborati grafici;
- d. Calcoli esecutivi delle strutture e degli impianti;
- e. Piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti;
- f. Piano di sicurezza e di coordinamento e quadro di incidenza della manodopera;
- g. Computo metrico estimativo e quadro economico.
- h. Cronoprogramma;
- i. Elenco dei prezzi unitari e eventuali analisi;
- j. Schema di contratto e **capitolato speciale di appalto**;
- k. Piano particellare di esproprio.»



Le Specifiche Tecniche di Capitolato

Nuovo Codice dei contratti pubblici Decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50

Art. 3 - Definizioni

«capitolato prestazionale»

il documento che indica, in dettaglio, le caratteristiche tecniche e funzionali, anche per gli aspetti edilizi, infrastrutturali e ambientali, che deve assicurare l'opera costruita e che traduce il quadro esigenziale in termini di requisiti e prestazioni che l'opera deve soddisfare, stabilendone la soglia minima di qualità da assicurare nella progettazione e realizzazione.

Art. 101 - Soggetti delle stazioni appaltanti

Gli assistenti con funzioni di ispettori di cantiere collaborano con il direttore dei lavori nella sorveglianza dei lavori in conformità delle prescrizioni stabilite nel capitolato speciale di appalto.

Art. 111 - Controllo tecnico, contabile e amministrativo

Gli accertamenti di laboratorio e le verifiche tecniche obbligatorie inerenti alle attività di cui al comma 1, ovvero specificamente previsti dal capitolato speciale d'appalto di lavori, sono disposti dalla direzione dei lavori o dall'organo di collaudo, imputando la spesa a carico delle somme a disposizione accantonate a tale titolo nel quadro economico.



Le Norme Legislative Regionali

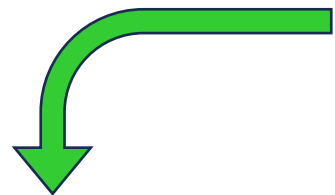
Il caso della Regione Toscana

D.C.R.T. 28.7.1998 n.265 “L.R: 18/5/98 n.25, art.4 comma 7 disposizioni per favorire l’uso di materiali recuperabili per la realizzazione di opere pubbliche di interesse pubblico, finanziate dalla Regione o dagli altri enti o azienda da essa dipendenti”

Venivano, tra altre disposizioni, definite le clausole da riportare obbligatoriamente nei bandi di gara per la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico finanziate in tutto o in parte dalla Regione:

- a) le offerte dei concorrenti devono prevedere l’impiego di una **percentuale minima dei materiali di recupero (materiali da costruzione o da demolizione), pari al 15%** dei materiali da costruzione o da riempimento da utilizzare;
- b) l’utilizzo dei materiali di cui al punto precedente, in misura superiore alla suddetta percentuale minima, costituisca uno dei parametri per l’individuazione dell’offerta più vantaggiosa;
- c) che a parità di condizione debba preferirsi l’offerta che proponga la più alta percentuale di impiego dei materiali suddetti.

Le Specifiche Tecniche di Capitolato



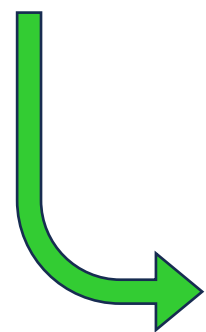
Tuttavia la diffusione dell'utilizzo e della produzione su larga scala degli aggregati riciclati C&D è ancora ridotta per diversi motivi, tra questi può annoverarsi anche l'assenza o la carenza di specifici strumenti come i Capitolati Speciali d'Appalto.

REGIONE TOSCANA



**PIANO REGIONALE DELLE ATTIVITA' ESTRATTIVE
DI RECUPERO DELLE AREE ESCAVATE E DI
RIUTILIZZO DEI RESIDUI RECUPERABILI**

(P.R.A.E.R.)



GIUNTA REGIONALE
- Deliberazioni

DELIBERAZIONE 15 maggio 2006, n. 337

Approvazione del documento tecnico d'indirizzo denominato "Capitolato speciale d'appalto tipo a carattere prestazionale per l'utilizzo di materiali inerti riciclati da costruzione e demolizione", ai sensi dell'art. 4, comma 7, della L.R. 25/98 e dell'Accordo n. 2 approvato con D.G.R.T. 100/03.



Le Norme Legislative Nazionali

Circolare n. 5205 del 15/07/2005

Indicazioni per l'operatività nel settore edile, stradale e ambientale, ai sensi del decreto ministeriale 8 maggio 2003, n. 203

3. Obbligo

L'obbligo di copertura del **trenta per cento** del fabbisogno annuale di aggregati riciclati, di cui all'articolo 3 del decreto ministeriale 8 maggio 2003, n. 203, si genera nel momento in cui i prodotti iscritti al repertorio del riciclaggio presentino contestualmente:

medesimo uso, ancorché con aspetto, caratteristiche o ciclo produttivo diversi, e prestazioni conformi all'utilizzo cui sono destinati rispetto a quelli realizzati a partire da materiali vergini.

4. Congruità del prezzo

La congruità del prezzo degli aggregati riciclati iscrivibili al Repertorio del riciclaggio si ritiene rispettata se tale valore non risulta superiore a quello relativo ai corrispondenti materiali che si vanno a sostituire.

BOLLETTINO UFFICIALE

PARTE IV

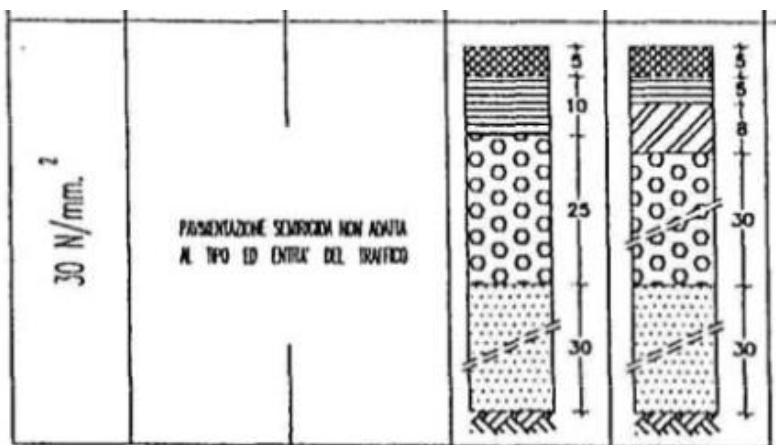
NORME TECNICHE

CNR - Bollettino Ufficiale - Norme Tecniche - A. XXIX - N. 178

SOMMARIO

Anno XXIX - N. 178

CATALOGO DELLE PAVIMENTAZIONI STRADALI



Norme Tecniche (1995)

2.5. Caratteristiche dei materiali

Le principali caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali impiegati nelle sovrastrutture di Catalogo (conglomerati bituminosi per strati di usura, di collegamento e di base, misti granulari non legali, misti cementati e conglomerati cementizi), sono riportate in tabella 8. In particolare la granulometria delle miscele bituminose è contenuta nei fusi riportati nelle figure 1, 2 e 3. Per un approfondimento delle problematiche relative alle caratteristiche dei materiali, alla confezione delle miscele e ai riflessi sul comportamento complessivo della pavimentazione, si rimanda alla consultazione dei quaderni e capitoli indicati in bibliografia.

L'eventuale ricorso a materiali diversi da quelli previsti nelle sovrastrutture di Catalogo è fortemente raccomandato per incentivare l'uso di materiali locali o di risulta.

In tal caso, lo spessore degli strati dovrà essere determinato in funzione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali disponibili.

Norme Tecniche (CIRS 2005)

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Ispettorato per la Circolazione e la Sicurezza Stradale

studio a carattere pre-normativo delle
NORME TECNICHE DI TIPO PRESTAZIONALE PER CAPITOLATI SPECIALI D'APPALTO

ALTRI MATERIALI

Il progetto può prevedere l'adozione di tecnologie, materiali ed prodotti di tipo innovativo, diversi dalle terre.

In tali casi l'Impresa deve attenersi, per le qualificazioni dei materiali e i controlli, alle specificazioni di progetto, eventualmente riferite a normativa nazionale o internazionale specifica.

In presenza di **esigenze tecniche particolari** l'Impresa può proporre, **nel rispetto del quadro economico**, l'impiego di **materiali non previsti espressamente in progetto**.

In tale caso i materiali debbono essere sottoposti, prima del loro impiego, ad adeguate verifiche e, se necessario, a prove di laboratorio per accertarne l'idoneità alla particolare utilizzazione prevista; gli oneri delle prove e delle verifiche sono a totale ed esclusivo carico dell'Impresa.



Condizioni di base per il riciclaggio

Affinché i materiali riciclati costituiscano una interessante alternativa ai materiali naturali è assolutamente necessario che sia garantito il rispetto di precisi requisiti di qualificazione.

3

condizioni essenziali

1. idonee prestazioni ingegneristiche
2. ridotto impatto ambientale
3. congruità di costo



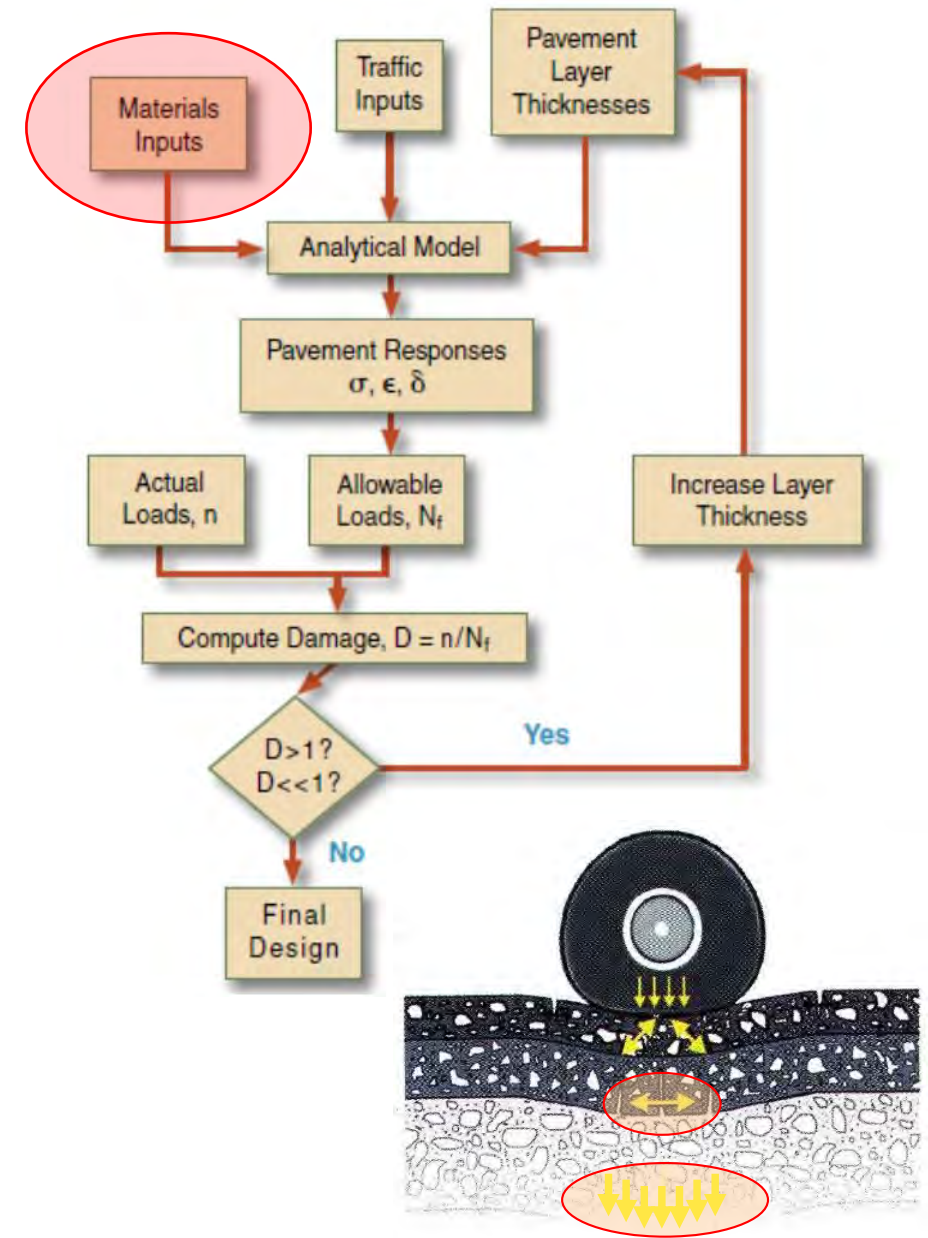
RISCHI



IMPORTANZA DI UNA CORRETTA PROGETTAZIONE

La corretta progettazione di un rilevato stradale o della struttura della pavimentazione è un punto decisivo: c'è il rischio che la strada si deteriori per un errato dimensionamento e che la causa sia attribuita all'impiego di materiale diversi dai materiali tradizionali.

Questi casi determinano la diffusione di un immotivato scetticismo nei confronti dell'uso di materiali riciclati, anche a fronte dei risultati di numerose sperimentazioni e realizzazioni che attestano la possibilità di ottenere risultati non inferiori a quelli che si ottengono con aggregati naturali



RISCHI



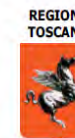
IL CAPITOLATO DEVE ESSERE SVILUPPATO DAL PROGETTISTA

Le Norme tecniche previste in un Capitolato tipo non possono essere adottate per tutte le opere cui si riferiscono in qualunque condizione ambientale e di sollecitazione cui sono soggette: potranno presentarsi situazioni in cui è opportuno adottare disposizioni diverse e/o innovative.

IL CAPITOLATO DEVE ESSERE PERIODICAMENTE AGGIORNATO

Va precisato che le Norme tecniche previste in un Capitolato tipo non possono essere adottate per tutte le opere cui si riferiscono in qualunque condizione ambientale e di sollecitazione cui sono soggette: potranno presentarsi situazioni in cui è opportuno adottare disposizioni diverse e/o innovative.

Regione Toscana 2006



REGIONE
TOSCANA
GIUNTA REGIONALE
DIREZIONE GENERALE DELLE POLITICHE
AMBIENTALI E TERRITORIALI

Allegato 2

DOCUMENTO TECNICO D'INDIRIZZO

CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO TIPO
A CARATTERE PRESTAZIONALE
PER L'UTILIZZO DI MATERIALI INERTI RICICLATI
DA COSTRUZIONE E DEMOLIZIONE

UNIVERSITÀ DI PISA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E
INDUSTRIALE

POLITECNICO DI TORINO



DIATI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
DELL'AMBIENTE, DEL TERRITORIO E DELLE
INFRASTRUTTURE



ASSOCIAZIONI NAZIONALI PROGETTORI
IN AMBIENTI RICICLATI

COSTRUZIONE E MANUTENZIONE DELLE STRADE VERDI
CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO TIPO



Co-finanziato da:



Maggio 2013

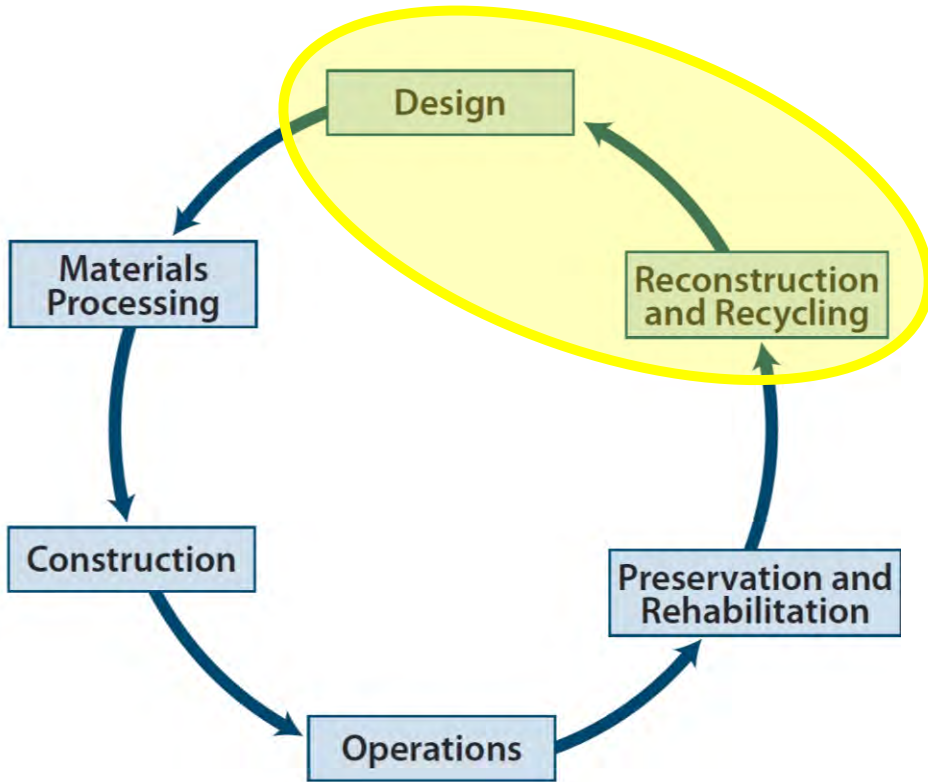
Regione Piemonte 2013



ALESSANDRO MARRADI
UNIVERSITÀ DI PISA

Progettazione

Una infrastruttura per essere verde deve essere concepita verde



Ottimizzazione delle risorse

Per limitare al massimo l'impiego di risorse non rinnovabili è necessario mettere in pratica efficienti strategie di riciclaggio dei materiali.



Prestazioni

Incrementare la durabilità delle opere realizzate è la più verde delle soluzioni che possiamo percorrere



Costi

Se costa di più ... non funzionerà

Sostenibilità e Pavimentazioni

Life-cycle phase	Description
Pavement design	Determination of structural and functional pavement requirements and determination of suitable structural composition, geometry and material selection.
Materials	Consideration of individual materials used in paving projects.
Construction	All processes and activities are necessary for the building of new pavement structure.
Use phase	Regular operation of the pavement structure, including interactions with traffic and the environment.
Maintenance/ preservation	Activities that are performed throughout the life of the pavement that ensure its serviceability.
End of life (EOL)	Final removal and/or disposal, recycling and reuse of the pavement as it reaches the end of its service life.

LCCA - Life Cycle Cost Assessment LCA - Life Cycle Assessment

A longer functional life of a road has a substantial impact on the sustainability due to the minimised use of materials and energy during the life cycle.

Durable pavements:

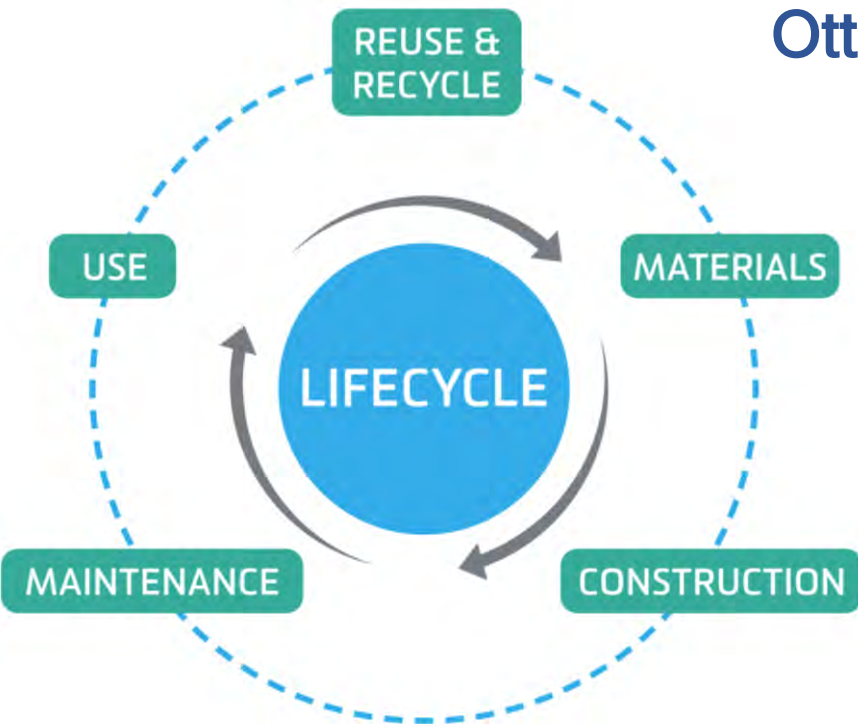
- reduce the consumption of raw materials;
- reduce traffic delays and interventions for maintenance.

Long life pavements are aiming at a greater availability of the road, over a longer period with less needed repairs and maintenance.

GREEN PAVING SOLUTIONS AND
SUSTAINABLE PAVEMENT
MATERIALS
(PIARC - 2019)



Ottimizzazione delle risorse



Alcuni degli strumenti normativi disponibili:

- UNI 11531-1 (2014) Costruzione e manutenzione delle opere civili e delle infrastrutture - Criteri per l'impiego dei materiali, Parte 1: Terre e miscele di aggregati non legati (*Aggregati naturali, riciclati, artificiali*);
- UNI 11531-2 (2021) Costruzione e manutenzione delle opere civili e delle infrastrutture - Criteri per l'impiego dei materiali, Parte 1: Materiali granulari e miscele di aggregati legati con leganti idraulici e aerei (*Trattamenti con calce, cemento e calce + cemento*);
- UNI TS 11688 (2017) Criteri di qualificazione e impiego del conglomerato bituminoso di recupero proveniente dalla rimozione delle pavimentazioni esistenti (*Riciclaggio del fresato - a caldo e a freddo*).

ALLEGATO

Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione

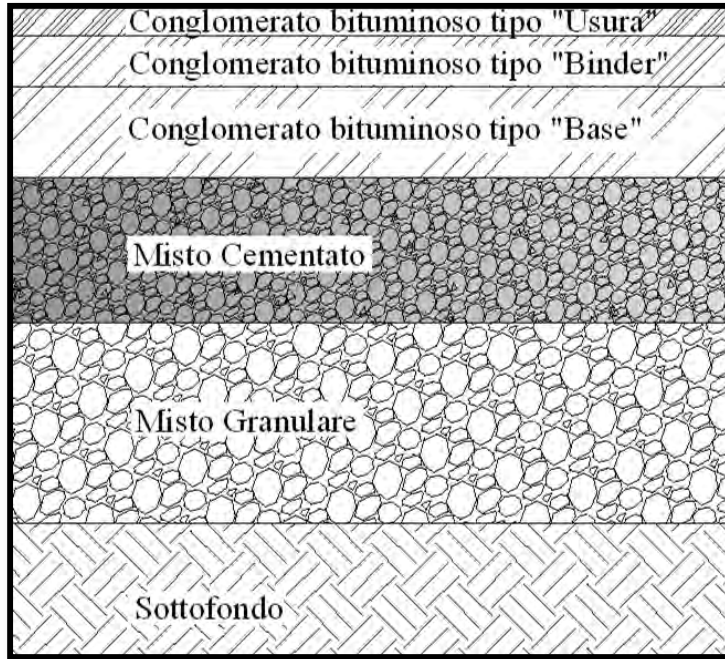
ovvero

Piano d'Azione Nazionale sul *Green Public Procurement* (PANGPP)

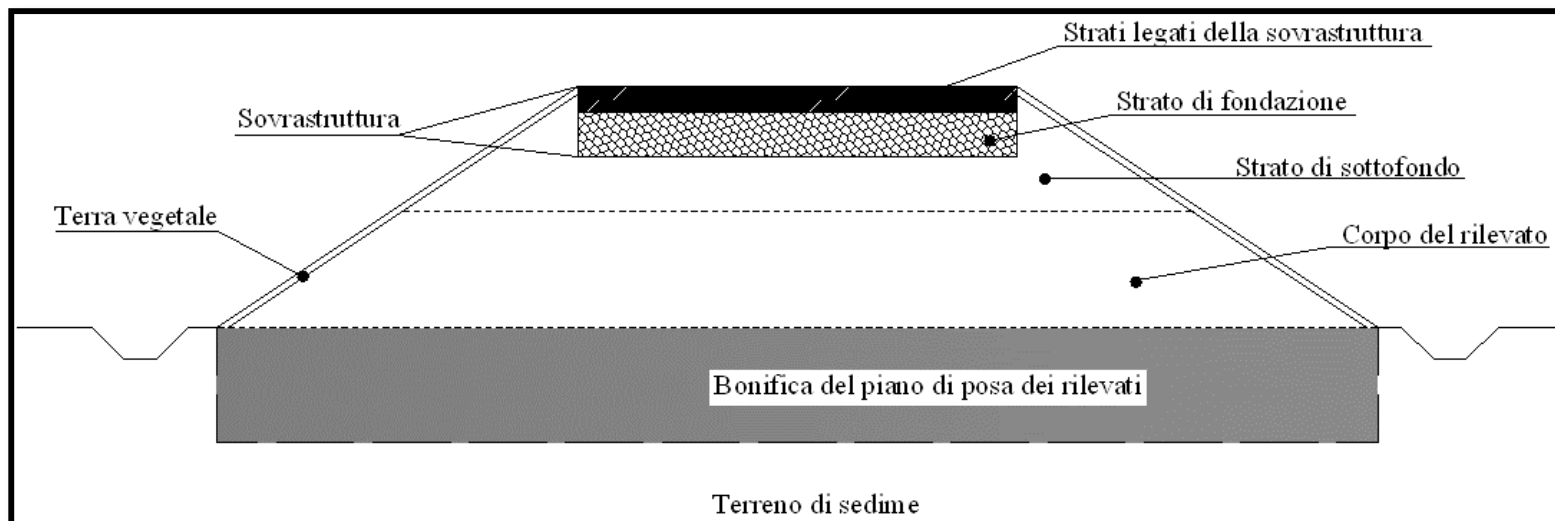
CRITERI AMBIENTALI MINIMI PER L'AFFIDAMENTO DEL SERVIZIO DI PROGETTAZIONE, ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI COSTRUZIONE, MANUTENZIONE E ADEGUAMENTO DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI

Aggregati riciclati (C&D e Fresato)

Utilizzo come "unbound"



	FRESATO	C&D
STRATI IN CONGLOMERATO BITUMINOSO	😊	😞
SOTTOBASI IN MISTO CEMENTATO	😐	😐
STRATI DI FONDAZIONE	😞	😊
CORPO STRADALE (RILEVATI)	😞	😊
SOTTOFONDI (BONIFICHE)	😞	😊



Norme Tecniche

UNI 11531-1

Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture

Criteri per l'impiego dei materiali

Parte 1: Terre e miscele di aggregati non legati

La norma indica i valori di riferimento per le caratteristiche tecniche in relazione a ciascuna destinazione d'impiego.



È finalizzata alla scelta di terre e miscele idonee alla costruzione di opere atte a sopportare, con adeguata capacità strutturale, resistenza e durabilità, il transito dei mezzi utilizzati nei trasporti terrestri e aerei (strade, ferrovie, aeroporti, terminali di trasporto, interporti, piazzali, parcheggi e simili).

Definizioni:

Aggregato: materiale granulare da utilizzare nelle costruzioni.

L'aggregato può essere naturale, artificiale o riciclato.

NORMA UNI EN 11531-1

1.SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

2.RIFERIMENTI NORMATIVI

3.TERMINI E DEFINIZIONI

4.STRATI IN MATERIALE NON LEGATO

➔ 4.2.2 Requisiti di idoneità delle miscele non legate di aggregati riciclati

5. RACCOMANDAZIONI PER LA POSA IN OPERA E LA CONDUZIONE

DEI CONTROLLI

5.1.4. Aggregati riciclati

5.2. Costipamento

5.3. Controlli



Composizione



100% laterizi
0% calcestruzzo



65% laterizi
35% calcestruzzo



35% laterizi
65% calcestruzzo



0% laterizi
100% calcestruzzo



NORMA UNI EN 11531-1

4.2.2 Requisiti di idoneità delle miscele non legate di aggregati riciclati

Aggregati Naturali e Artificiali

Miscele non legate di aggregati naturali e artificiali		Impieghi					
Caratteristica	Norma di prova	Strato anticapillare		Fondazione non legata		Base non legata	
		Requisito	Frequenza minima di prova in fase di stesa	Requisito	Frequenza minima di prova in fase di stesa	Requisito	Frequenza minima di prova in fase di stesa
Designazione	UNI EN 13242 UNI EN 13285	2/31,5		0/31,5		0/31,5	
Sopravvaglio della miscela	UNI EN 933-1	-		OC_{75}	1 000 m ³	OC_{75}	1 000 m ³
Contenuto massimo dei fini	UNI EN 933-1	UF_5	1 000 m ³	UF_5	1 000 m ³	UF_5	1 000 m ³
Contenuto minimo dei fini	UNI EN 933-1	-		LF_2	1 000 m ³	LF_2	1 000 m ³
Granulometria	UNI EN 933-1	$G_{0,85/15}$	1 000 m ³	G_A	1 000 m ³	G_A	1 000 m ³
Appiattimento dell'aggregato grosso	UNI EN 933-3	F_{15}	10 000 m ³	F_{15}	10 000 m ³	F_{15}	10 000 m ³
Qualità dei fini	UNI EN 933-9	-		MB_2	1 000 m ³	$MB_{1,5}$	1 000 m ³
Qualità dei fini (alternativo)	UNI EN 933-8	SE_{50}	1 000 m ³	SE_{50}	1 000 m ³	SE_{50}	1 000 m ³
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	LA_{10}	10 000 m ³	LA_{10}	10 000 m ³	LA_{10}	10 000 m ³
Percentuale di particelle frantumate/arrotolate	UNI EN 933-5	-		-		C_{900}	10 000 m ³
Resistenza all'usura	UNI EN 1097-1	-		-		M_{10}^{20}	10 000 m ³
Massa volumica max. con energia Proctor modificata	UNI EN 13286-2	-		√	2 000 m ³	√	2 000 m ³
Portanza CBR dopo 4 d di imbibizione su provini costipati, con umidità ±2% dell'ottimo, al 95% della massa volumica massima all'energia Proctor modificata	UNI EN 13286-47	-		≥30	20 000 m ³	-	
Portanza CBR dopo 4 d di imbibizione su provini costipati, con umidità ±2% dell'ottimo, al 100% della massa volumica massima all'energia Proctor modificata	UNI EN 13286-47	-		-		≥80	20 000 m ³
Rigonfiamento CBR	UNI EN 13286-47	-		≤1%	20 000 m ³	≤1%	20 000 m ³
Perdita di resistenza dopo cicli di gelo e disgelo ^{*)}	UNI EN 1367-1	-		$\Delta S_{A} \leq 30$	50 000 m ³	$\Delta S_{A} \leq 30$	50 000 m ³
Sonnenbrand del basalto ^{*)}	UNI EN 1097-2	SB_{A}	50 000 m ³	SB_{A}	50 000 m ³	SB_{A}	50 000 m ³
Stabilità volumetrica ^{*)}	Punto 19.3 della UNI EN 1744-1:2013	$V_{1,5}$	10 000 m ³	$V_{1,5}$	10 000 m ³	$V_{1,5}$	10 000 m ³

*) La prova può essere omessa per zone di impiego non soggette al gelo, oppure se l'assorbimento d'acqua dell'aggregato, determinato secondo l'appendice B della UNI EN 1097-6:2008, risulta minore di 0,5% ($WA_A - 0,5$).

**) Solo quando si usino aggregati per i quali è richiesta la prova.

Il simbolo √ indica che la caratteristica deve essere determinata, ma non deve rispondere a un requisito.
Il simbolo - indica che la determinazione della caratteristica può essere omessa.

Aggregati Riciclati

Miscele non legate di aggregati riciclati		Impieghi					
Caratteristica	Norma di prova	Strato anticapillare		Fondazione non legata		Base non legata	
		Requisito	Frequenza minima di prova in fase di stesa	Requisito	Frequenza minima di prova in fase di stesa	Requisito	Frequenza minima di prova in fase di stesa
Designazione	UNI EN 13242 UNI EN 13285	2/31,5		0/31,5		0/31,5	
Sopravvaglio della miscela	UNI EN 933-1	-		OC_{75}	1 000 m ³	OC_{75}	1 000 m ³
Contenuto massimo dei fini	UNI EN 933-1	UF_5	1 000 m ³	UF_5	1 000 m ³	UF_5	1 000 m ³
Contenuto minimo dei fini	UNI EN 933-1	-		LF_2	1 000 m ³	LF_2	1 000 m ³
Granulometria	UNI EN 933-1	$G_{0,85/15}$	1 000 m ³	G_A	1 000 m ³	G_A	1 000 m ³
Appiattimento dell'aggregato grosso	UNI EN 933-3	F_{15}	10 000 m ³	F_{15}	10 000 m ³	F_{15}	10 000 m ³
Qualità dei fini	UNI EN 933-9	-		MB_2	1 000 m ³	$MB_{1,5}$	1 000 m ³
Qualità dei fini (alternativo)	UNI EN 933-8	SE_{70}	1 000 m ³	SE_{50}	1 000 m ³	SE_{50}	1 000 m ³
Resistenza alla frammentazione	UNI EN 1097-2	LA_{10}	10 000 m ³	LA_{10}	10 000 m ³	LA_{10}	10 000 m ³
Percentuale di particelle frantumate/arrotolate	UNI EN 933-5	-		-		C_{900}	10 000 m ³
Resistenza all'usura	UNI EN 1097-1	-		-		M_{10}^{20}	10 000 m ³
Sciolto solubile in acqua	UNI EN 1744-1	$SS_{0,2}$	1 000 m ³	$SS_{0,2}$	1 000 m ³	$SS_{0,2}$	1 000 m ³
Contenuto di frammenti di conglomerati cementizi, manufatti in calcestruzzo, matte, elementi lapidei naturali anche derivanti da murature, sfitti di cava o pietrisco tolto d'opera, di materiali legali idraulicamente, vetro.	UNI EN 933-11	R_{ug10}	1 000 m ³	R_{ug10}	1 000 m ³	R_{ug10}	1 000 m ³
Contenuto di vetro	UNI EN 933-11	R_{gt}	1 000 m ³	R_{gt}	1 000 m ³	R_{gt}	1 000 m ³
Contenuto di materiali bituminosi	UNI EN 933-11	R_{bt}	1 000 m ³	R_{bt}	1 000 m ³	R_{bt}	1 000 m ³
Contenuto di materiale galleggiante: carta, legno, fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, polistirolo, sostanze organiche eccetto bituma,	UNI EN 933-11	FL_c	1 000 m ³	FL_c	1 000 m ³	FL_c	1 000 m ³
Contenuto di terreno vegetale, metalli, legno non galleggianti, plastica, gomma, gesso, cartongesso, e altri materiali non galleggianti non litoidi	UNI EN 933-11	X_f	1 000 m ³	X_f	1 000 m ³	X_f	1 000 m ³
Massa volumica max. con energia Proctor modificata	UNI EN 13286-2	-		√	2 000 m ³	√	2 000 m ³
Portanza CBR dopo 4 d di imbibizione su provini costipati con umidità ±2% dell'ottimo al 94% della massa volumica massima all'energia Proctor modificata	UNI EN 13286-47	-		≥50	20 000 m ³	-	

EN 933-11:2009

Tests for geometrical properties of aggregates

Part 11:
Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate

NORMA UNI EN 11531-1

4.2.2 Requisiti di idoneità delle miscele non legate di aggregati riciclati

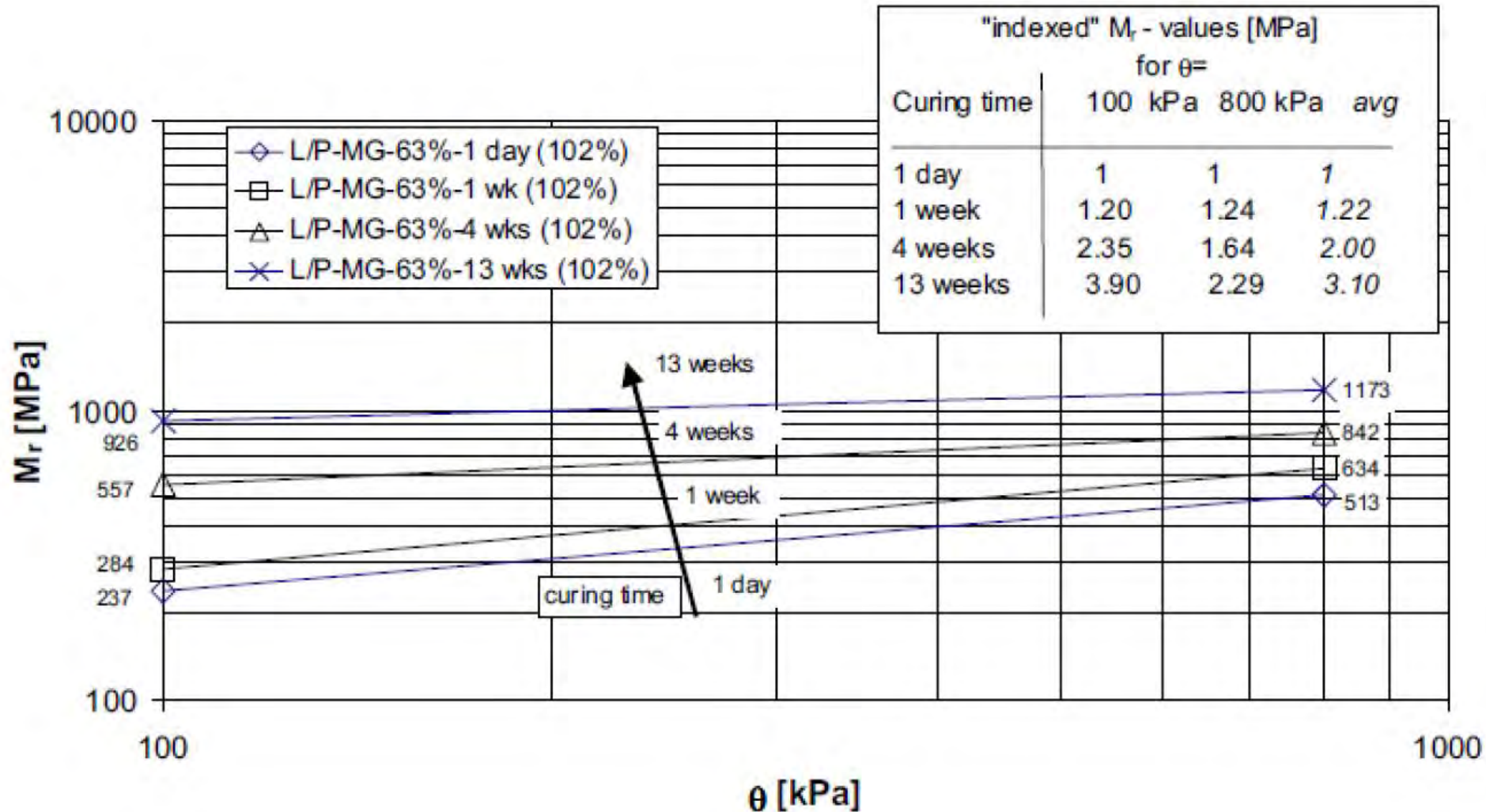


EN 933-11:2009

Tests for geometrical properties of aggregates

Part 11:
Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate

Autocementazione



Sviluppo nel tempo di proprietà di autocementazione in miscele di calcestruzzo (63%) e murature frantumate
(Prof. A.A.A. Molenaar - Delft University)



NORMA UNI EN 11531-1

5. RACCOMANDAZIONI PER LA POSA IN OPERA E LA CONDUZIONE DEI CONTROLLI

5.3. **Controlli** L'efficienza in fase di controllo può essere ottenuta, quando sia stato eseguito il campo prove, attraverso la misura della portanza mediante misure deflettometriche di rigidezza, operando con mezzi ad elevato rendimento come, a titolo di esempio, il **Light Weight Deflectometer LWD** o il **Falling Weight Deflectometer FWD**. Le soglie da raggiungere devono essere determinate, preliminarmente, sulla base delle correlazioni stabilite nel campo prove con il modulo di deformazione M_d ed, eventualmente, con la densità secca, tenuto conto del materiale in esame, degli spessori e dei valori assunti nel progetto della sovrastruttura.

Le misure dinamiche risultano generalmente assai più rapide delle misure di portanza statiche, pertanto, possono essere convenientemente predisposte per ottenere una rappresentazione della portanza sull'intera estensione del piano esaminato, sia in senso longitudinale, sia in senso trasversale. Tale informazione è utile per avere un controllo completo delle superfici, soprattutto nel caso degli ampliamenti e delle sezioni di mezza costa.

NORMA UNI EN 11531-1

5. RACCOMANDAZIONI PER LA POSA IN OPERA E LA CONDUZIONE DEI CONTROLLI



Svincolo Autostradale di
Viareggio
(Interconnessione A12 e A11)
2006

NORMA UNI EN 11531-1

5. RACCOMANDAZIONI PER LA POSA IN OPERA E LA CONDUZIONE DEI CONTROLLI



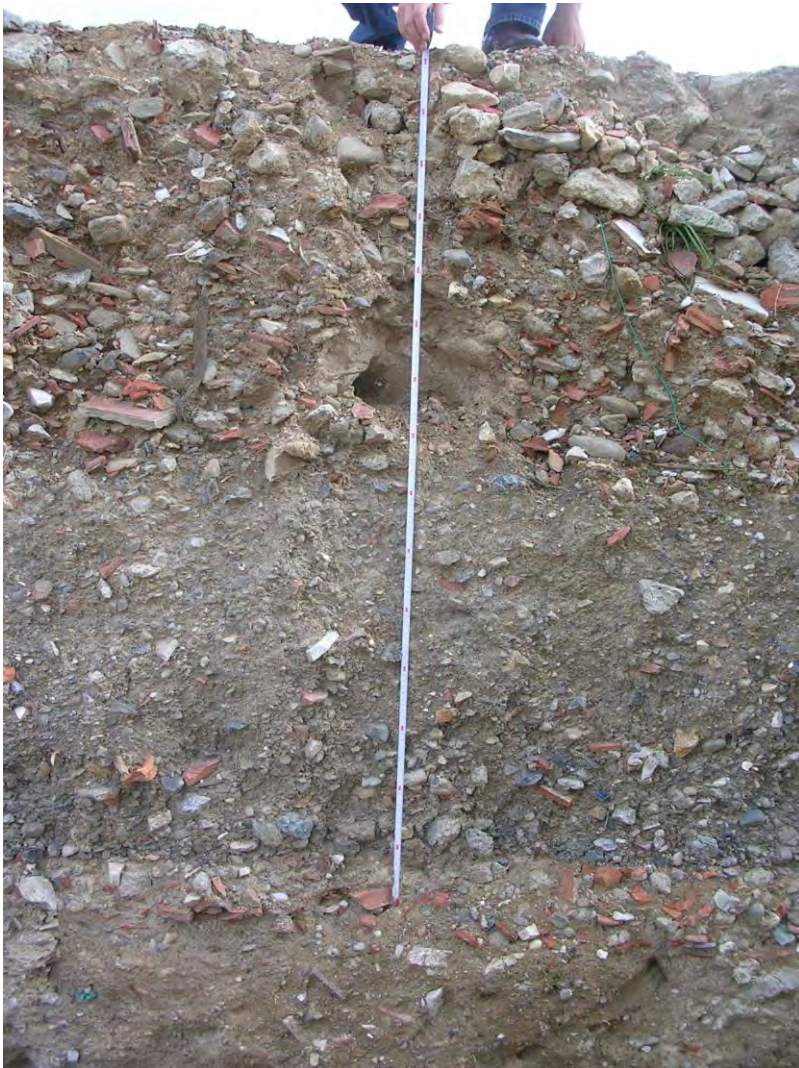
Falling Weight Deflectometer



Svincolo Autostradale di Viareggio
(Interconnessione A12 e A11)
2006

NORMA UNI EN 11531-1

5. RACCOMANDAZIONI PER LA POSA IN OPERA E LA CONDUZIONE DEI CONTROLLI



Svincolo Autostradale di Viareggio
(Interconnessione A12 e A11)
2006

NORMA UNI EN 11531-1

5. RACCOMANDAZIONI PER LA POSA IN OPERA E LA CONDUZIONE DEI

CONTROLLI

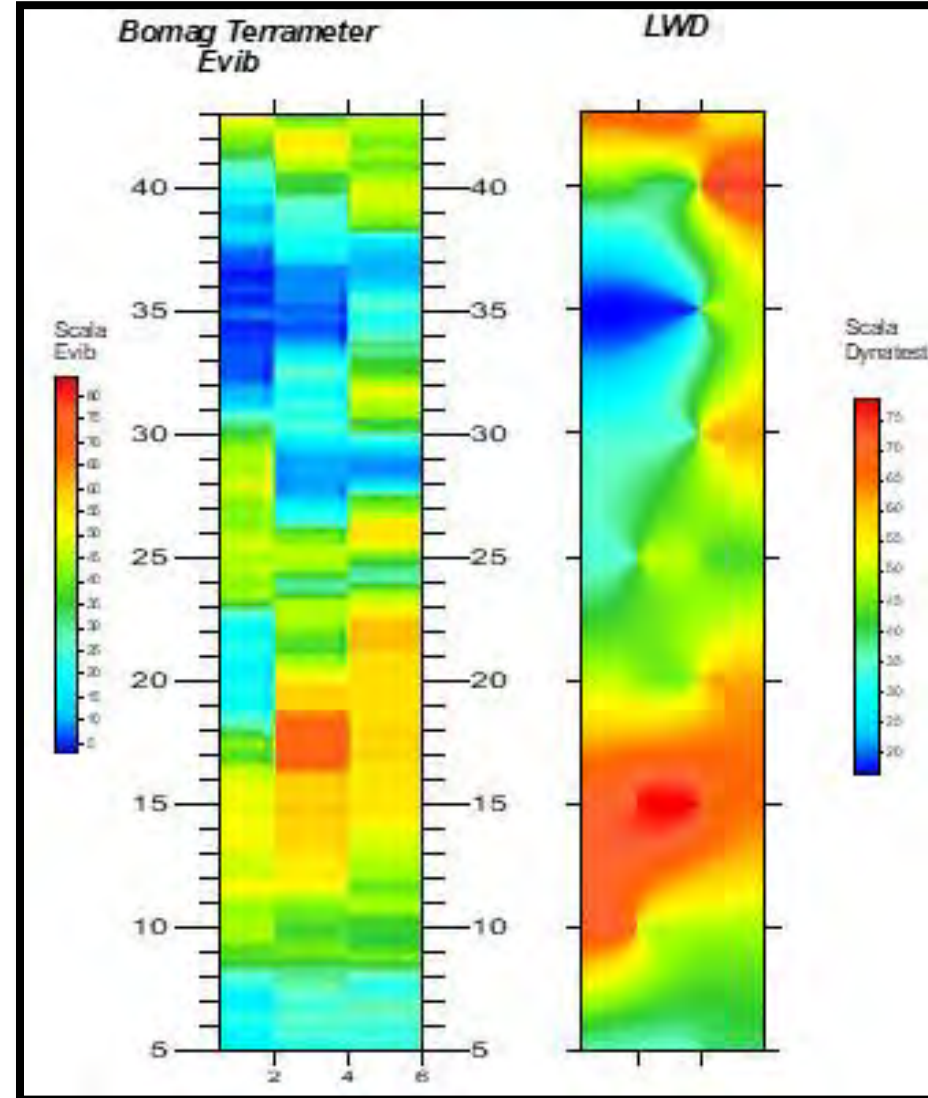
5.3 Controlli
Svincolo Autostradale di
Viareggio
(Interconnessione A12 e
A11)



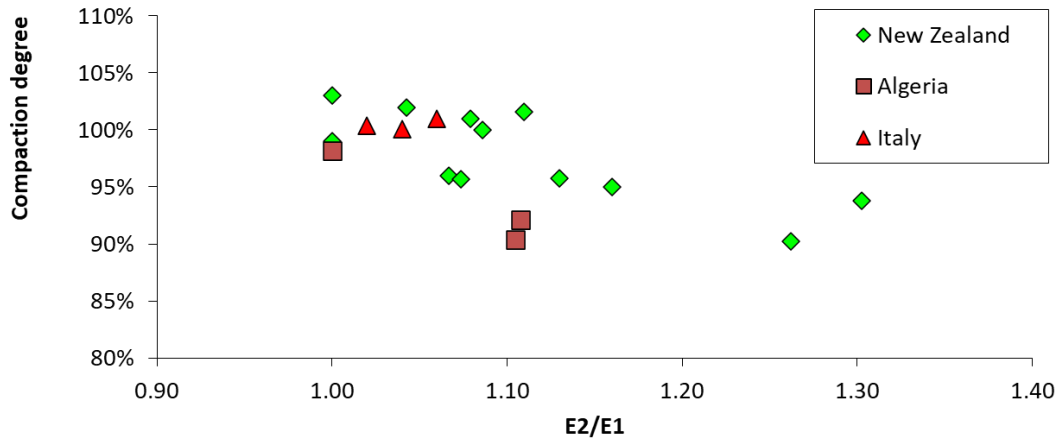
NORMA UNI EN 11531-1

5. RACCOMANDAZIONI PER LA POSA IN OPERA E LA CONDUZIONE DEI CONTROLLI

5.2. Costipamento



%Compaction before LWD test/LWD



NORMA UNI EN 11531-1

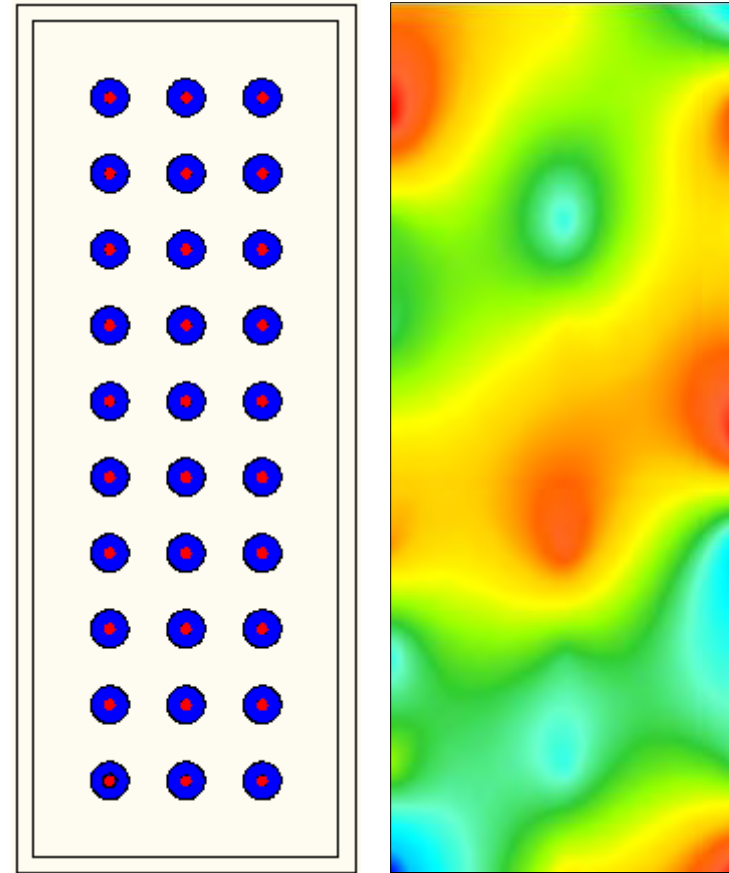
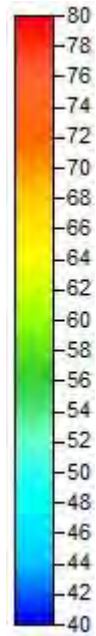
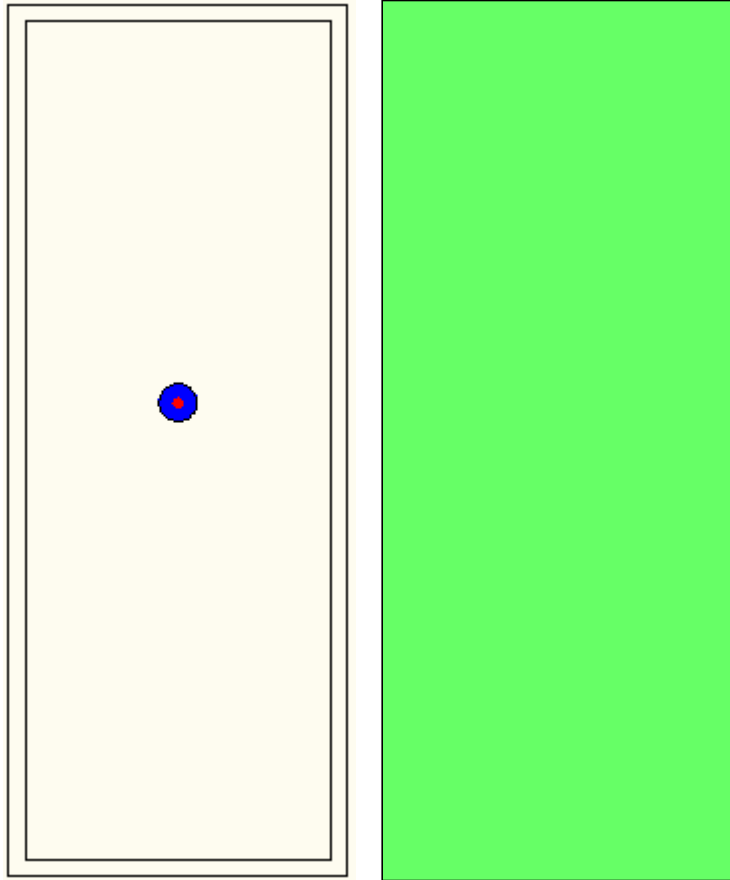
5. RACCOMANDAZIONI PER LA POSA IN OPERA E LA CONDUZIONE DEI

CONTROLLI

LPT

LWD

1 HOUR WORK



Prova di carico su piastra Md
Produttività \approx 1 postazione/ora

Prova deflettometrica E0
Produttività \approx 30 postazioni/ora



Norme Tecniche

UNI 11531-2 (Luglio)

Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture

Criteri per l'impiego dei materiali

Parte 2: Materiali granulari e miscele di aggregati legati con leganti idraulici e aerei

La norma costituisce un riferimento per la redazione dei capitolati e le contrattazioni (rapporti tra committente, cliente e fornitore). Essa si propone di fornire un riferimento tecnico per l'impiego di materiali trattati con legante idraulico e/o aereo nelle opere civili delle infrastrutture.

aggregato: Materiale granulare utilizzato nelle costruzioni. Gli aggregati possono essere naturali, artificiali o riciclati (UNI EN 1242, punto 3.1).



NORMA UNI EN 11531-2

7. RACCOMANDAZIONI PER LA POSA IN OPERA E LA CONDUZIONE DEI

CONTROLLI

Deve essere fortemente incentivato il ricorso a sistemi con controllo continuo della compattazione (CCC: Continuous Compaction Control) che potranno essere abbinati all'effettuazione di misure di portanza a elevato rendimento eseguite, a titolo indicativo, con trave di Benkelmann, Light Falling Weight Deflectometer (LFWD), deflettometro a massa battente (FWD).

CEN/TS 17006, Dicembre 2016 - Earthworks - Continuous Compaction Control (CCC)

This technical specification provides guidance, specifications and requirements on the use of Continuous Compaction Control (CCC) as a quality control method in earthworks by means of roller integrated dynamic measuring and documentation systems. The CCC method is suitable for soils, granular materials and rockfill materials which can be compacted using vibratory rollers.

7.2 (CCC quality control and acceptance testing with calibration)

7.3 (Selection of the calibration test area)

7.4 (Calibration procedure)

Annex B

(Statistical evaluation of CCC values based on decision rules for CCC application with calibration).



NORMA UNI EN 11531-2

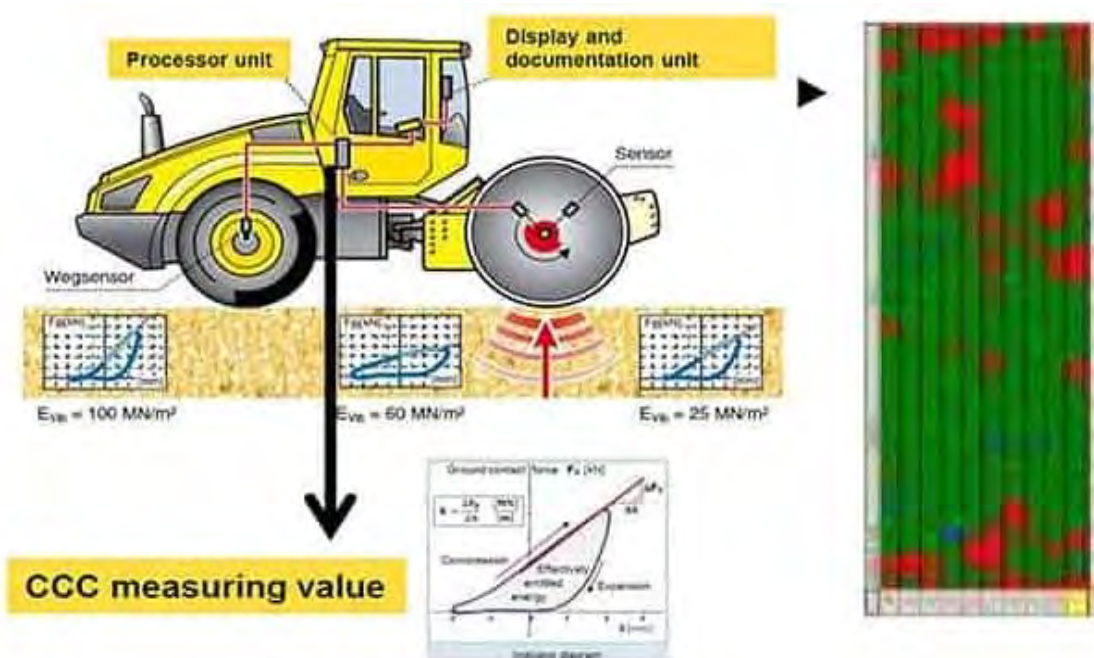
7. RACCOMANDAZIONI PER LA POSA IN OPERA E LA CONDUZIONE DEI

CONTROLLI

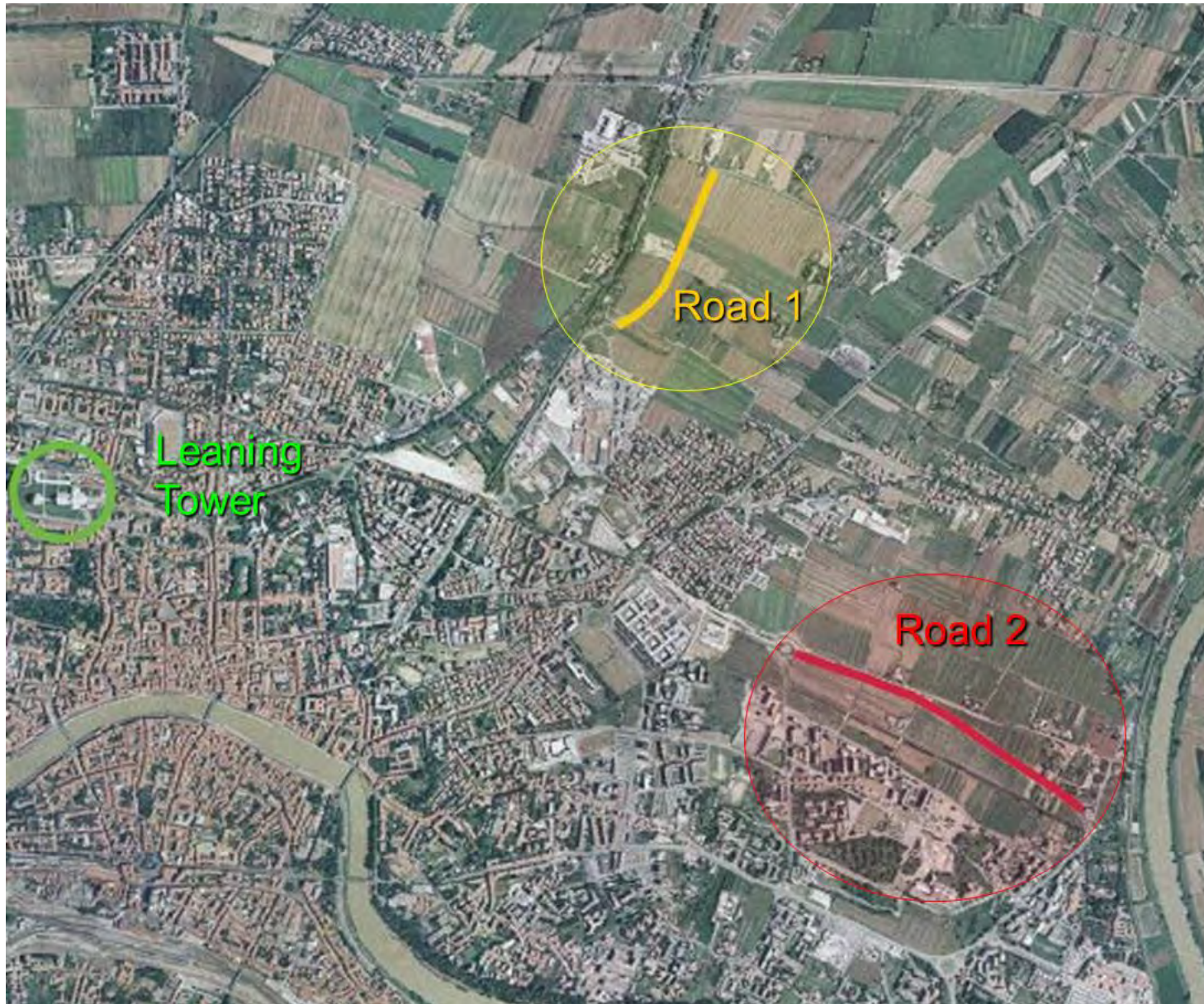
EN 16907-5, 2018 - Earthworks - Part 5: Quality control

Capitolo 7 (Approaches to Compaction Control) - Capitolo 8 (Compliance testing).

- CCC with calibration for indirect continuous density and stiffness control;
- CCC weak area analysis and documentation;
- CCC documentation of maximum compaction achieved;
- documentation of compaction method.



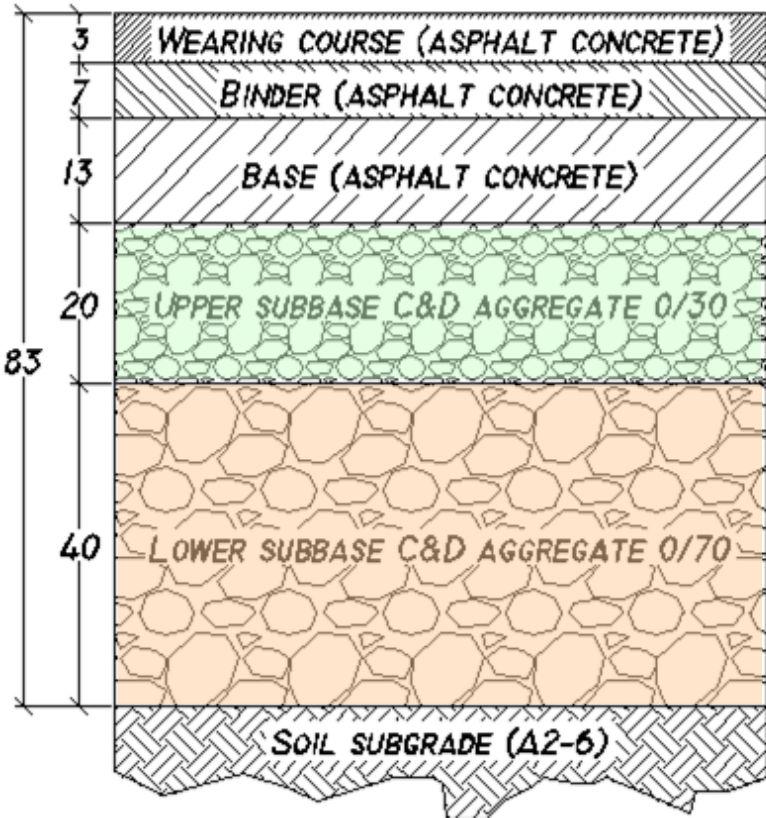
Prestazioni in opera Aggregati riciclati C&D



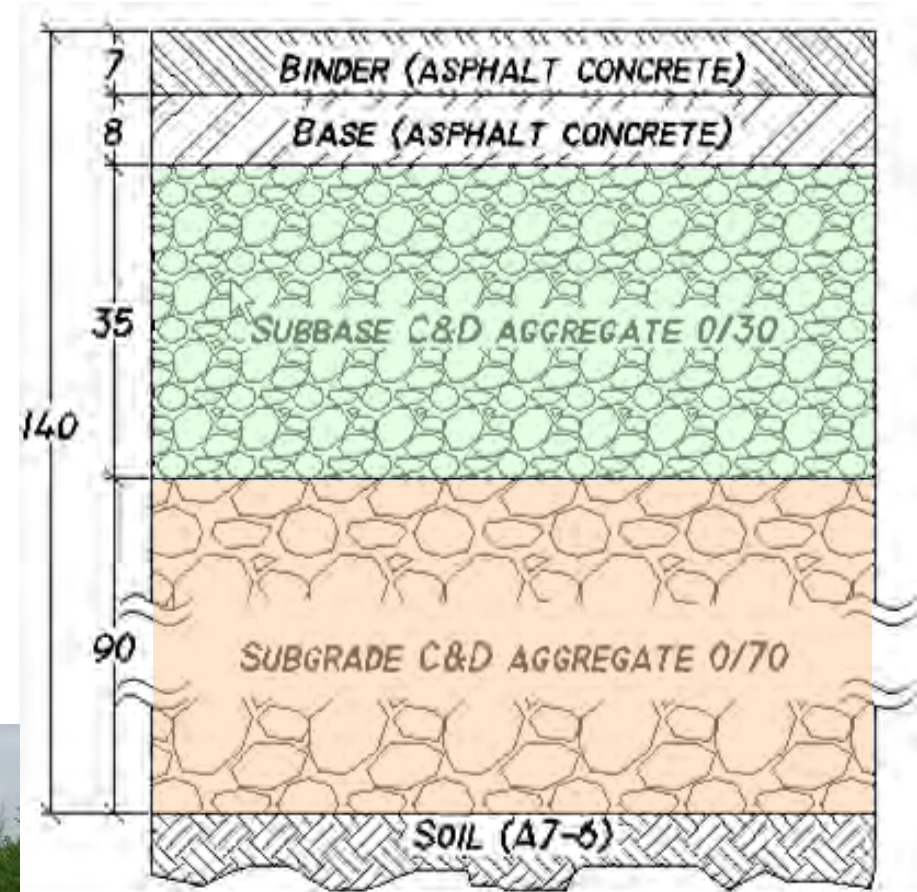
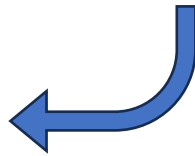
Strade sperimentali
Progettazione e Realizzazione
1998



Prestazioni in opera Aggregati riciclati C&D



Road 1



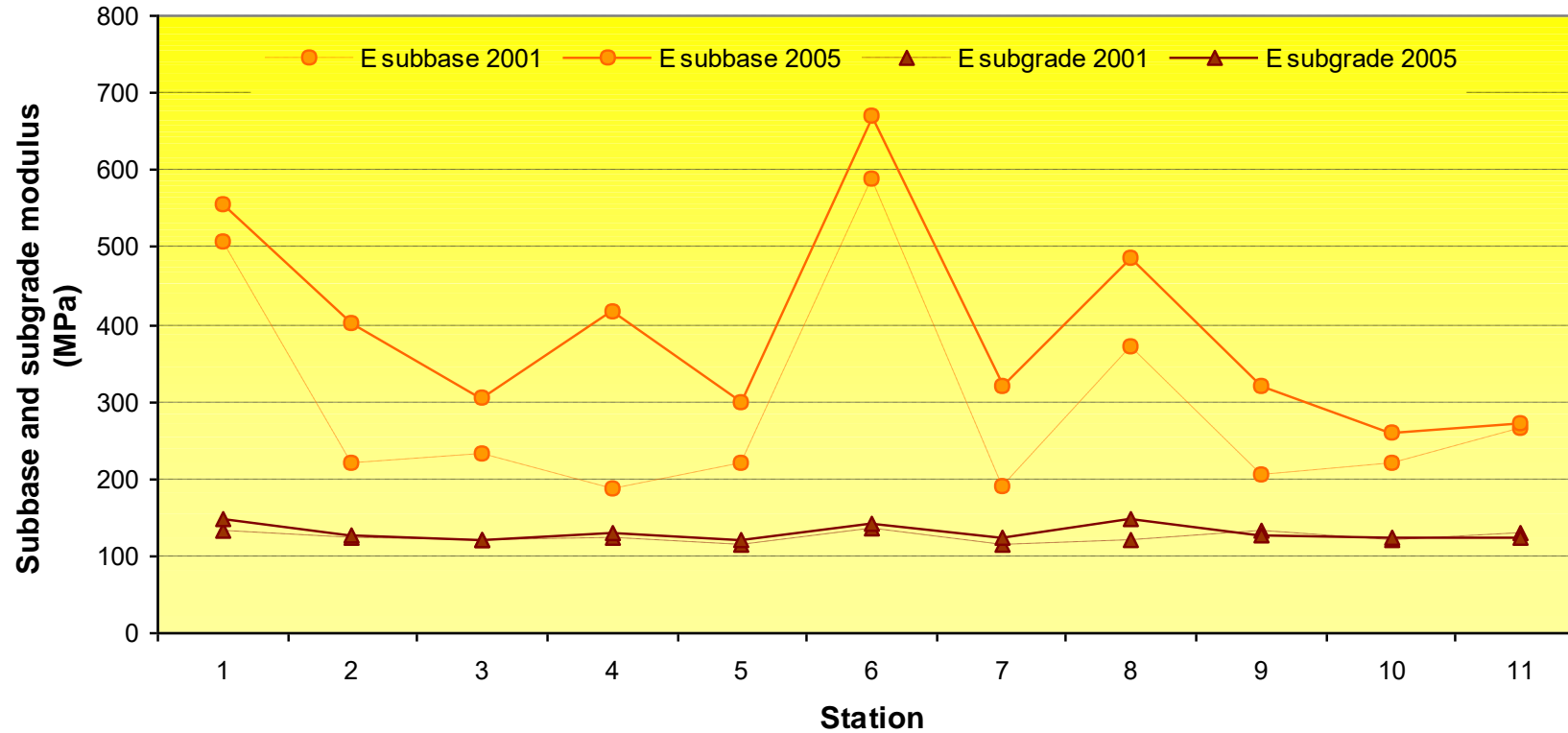
Road 2



Prestazioni in opera Aggregati riciclati C&D

Prove con Falling Weight Deflectometer

Incremento del modulo elastico di una fondazione C&D



Postazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Media
2001	506	220	233	186	222	588	189	370	206	221	265	291
2005	556	402	306	415	289	670	320	486	320	260	273	391
Diff. %	10	83	31	123	34	14	69	31	56	18	3	34

Prestazioni in opera Aggregati riciclati C&D



Road 1
2021



Road 2
2022

FRESATO

RICICLAGGIO CONGLOMERATO BIUMINOSO

RICICLAGGIO A CALDO

In sito



In impianto

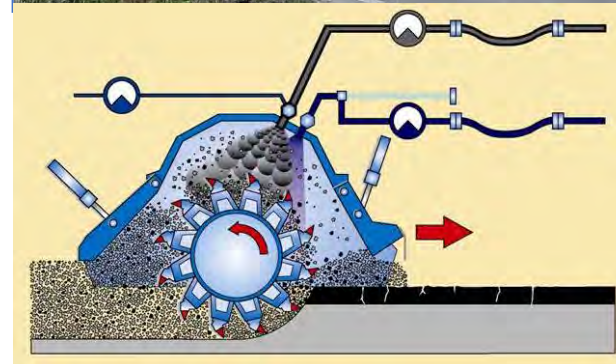


RICICLAGGIO A FREDDO

In sito



In impianto



FRESATO



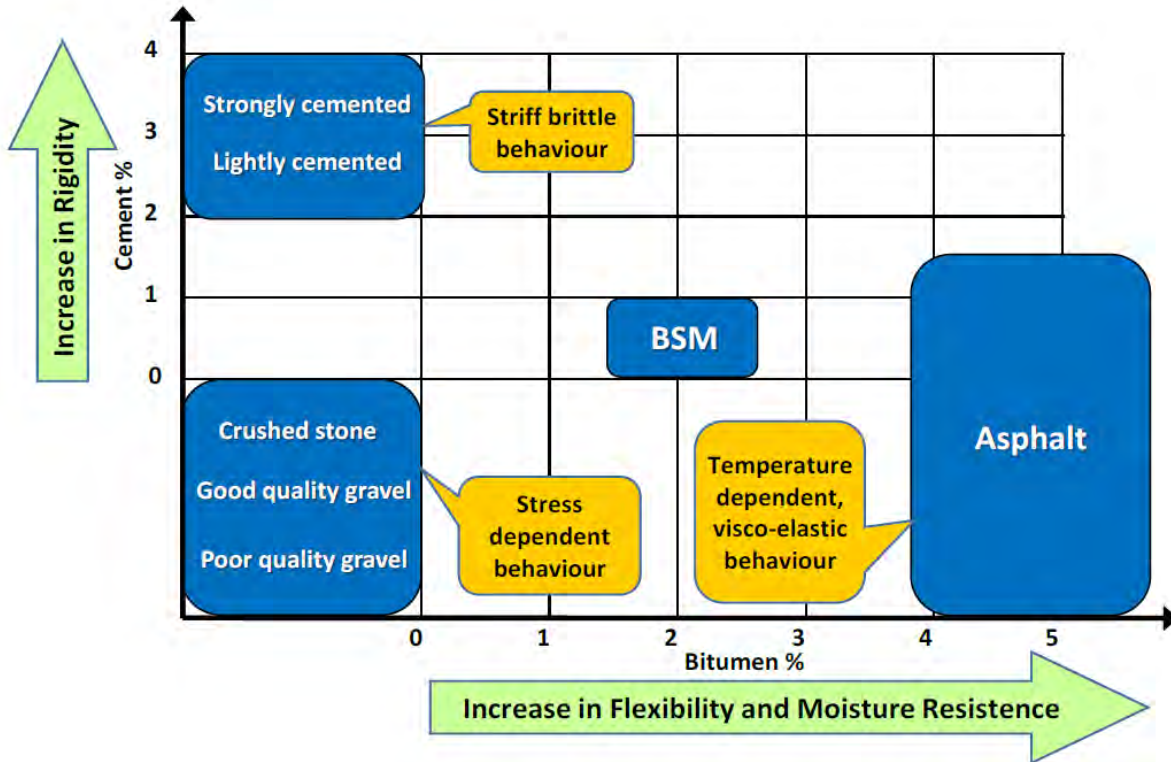
Cemento

Calce

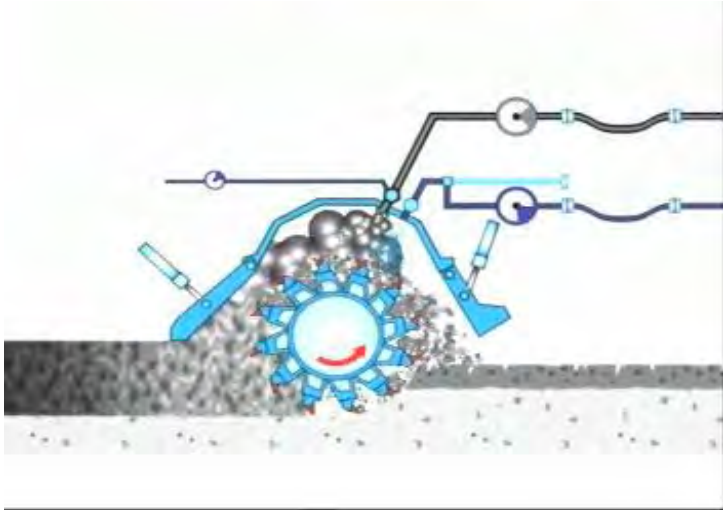


Emulsione bituminosa

Bitume schiumato



Riciclaggio a freddo del fresato



Practice and Performance of
Cold In-Place Recycling and
Cold Central Plant Recycling (2021)
NCHRP SYNTHESIS 569



Prestazione

The reported service life of cold recycled pavements ranges from 20 to 34 years when the cold recycled mix is used in conjunction with an overlay. The service life is somewhat shorter and more variable when chip seals are used as the wearing surface. Poor drainage can reduce the service life by 30% or more.

Costo

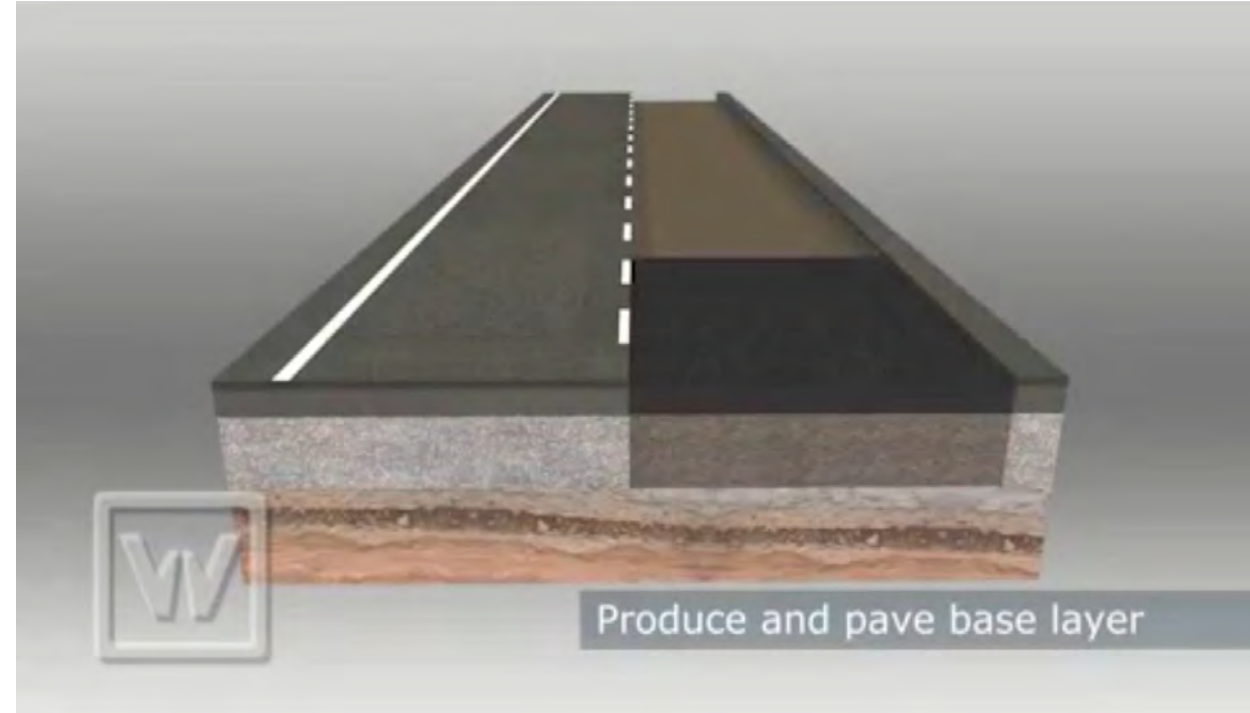
Cold recycling with an overlay can reduce the cost of a project by 40% to 60% compared to a conventional mill and fill.

Ambiente

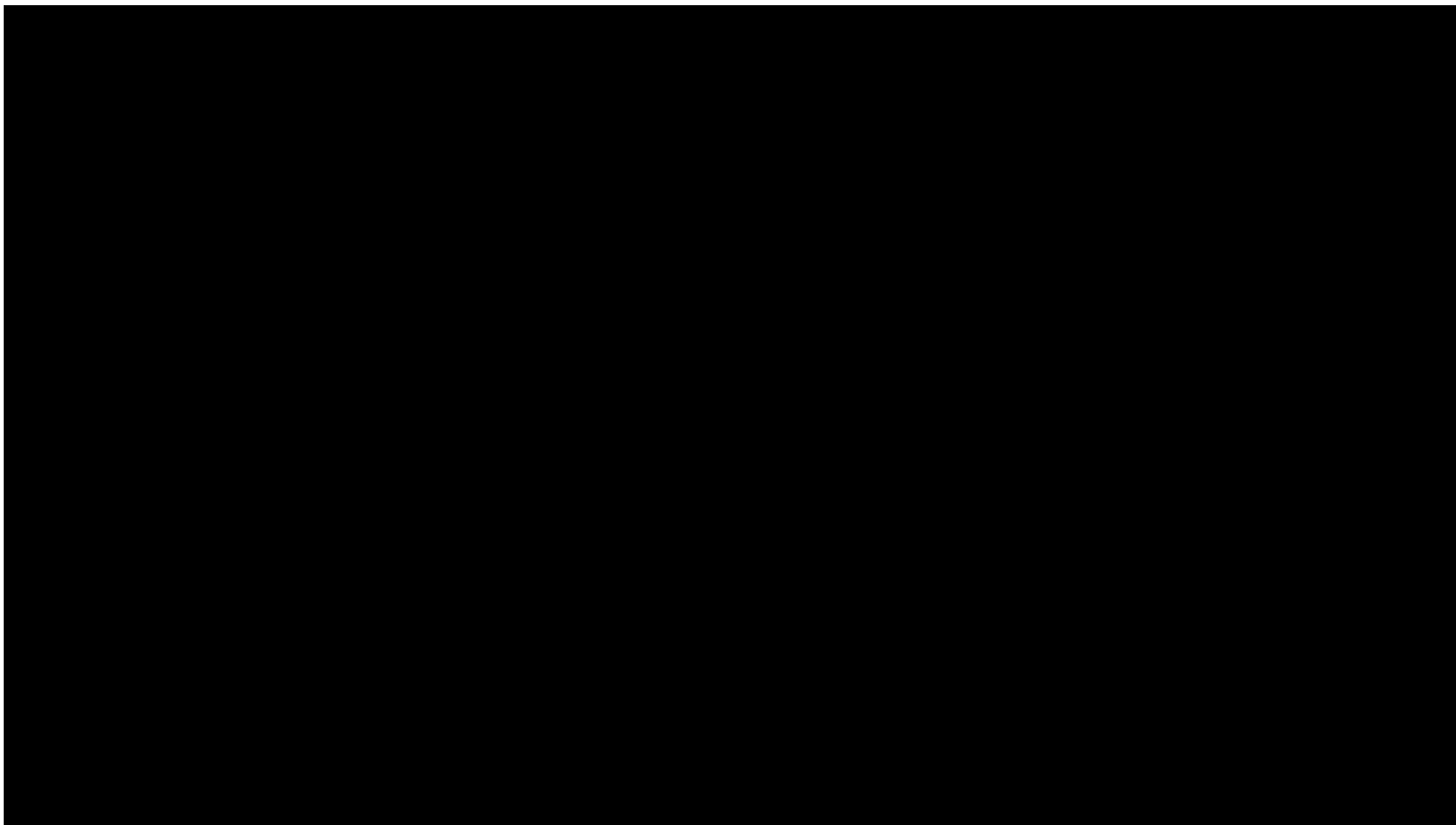
Greenhouse gas emissions can be reduced by about 50% compared to a conventional mill and fill.



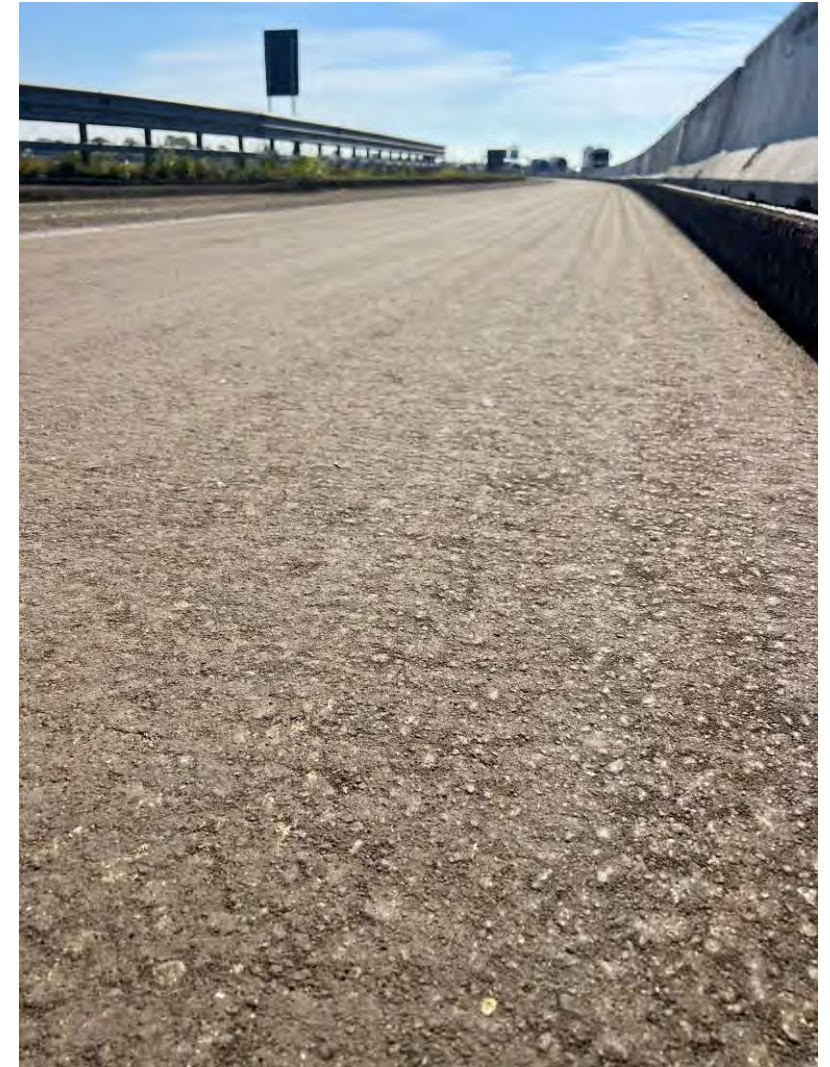
Riciclaggio a freddo - impianto mobile



Riciclaggio a freddo - CR



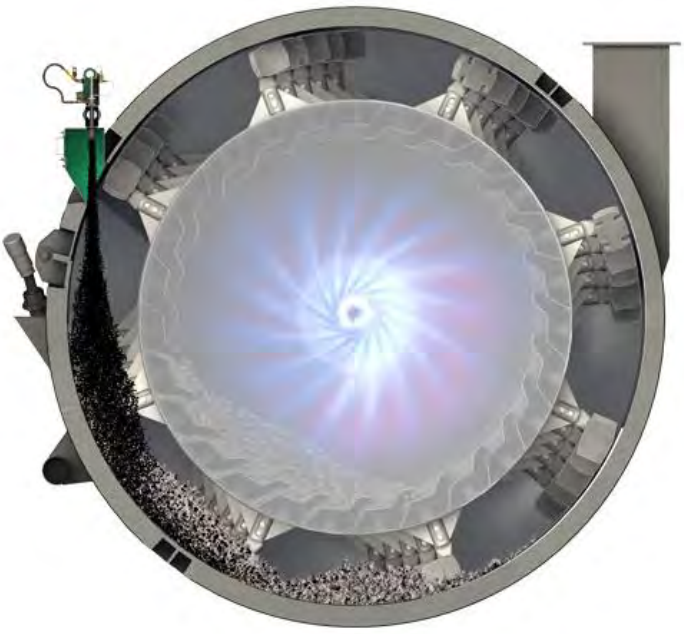
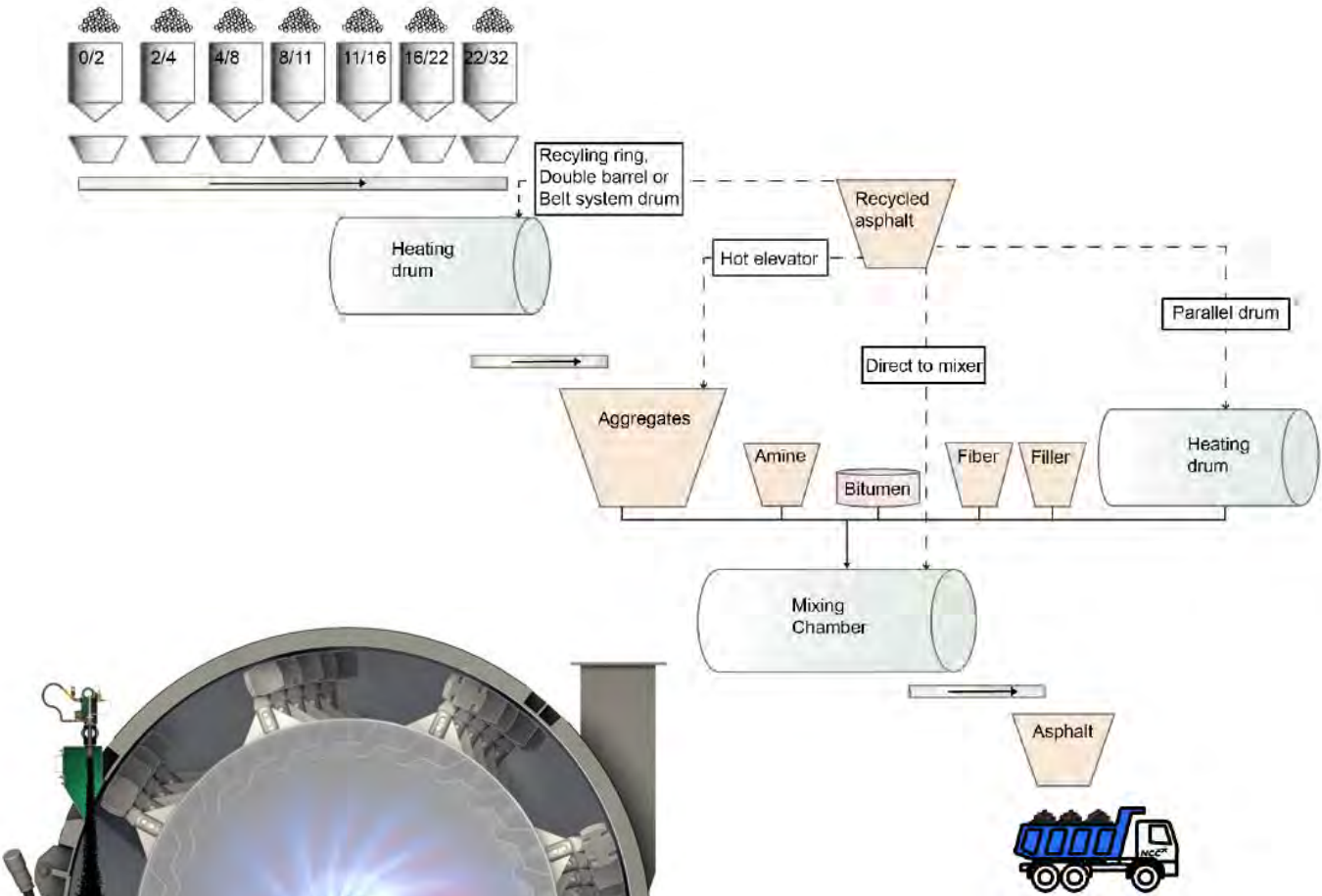
Tangenziale di Torino



2022 - 2023



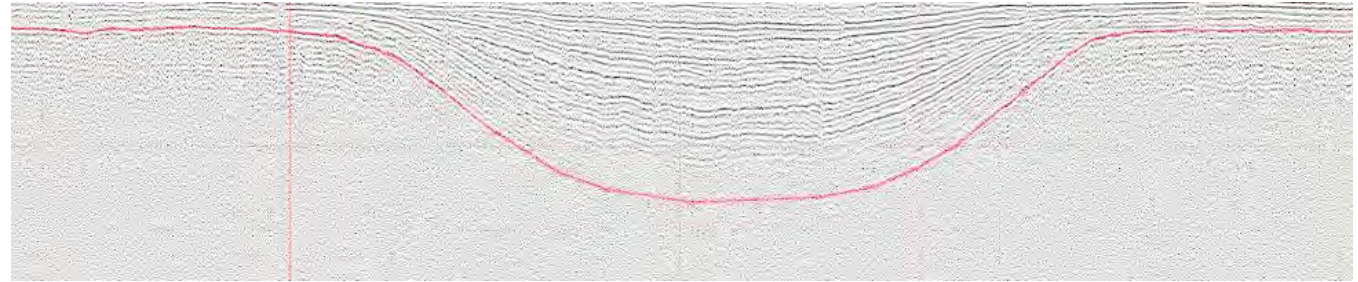
Riciclaggio del fresato a caldo



Schiuma di vetro - Vetro cellulare

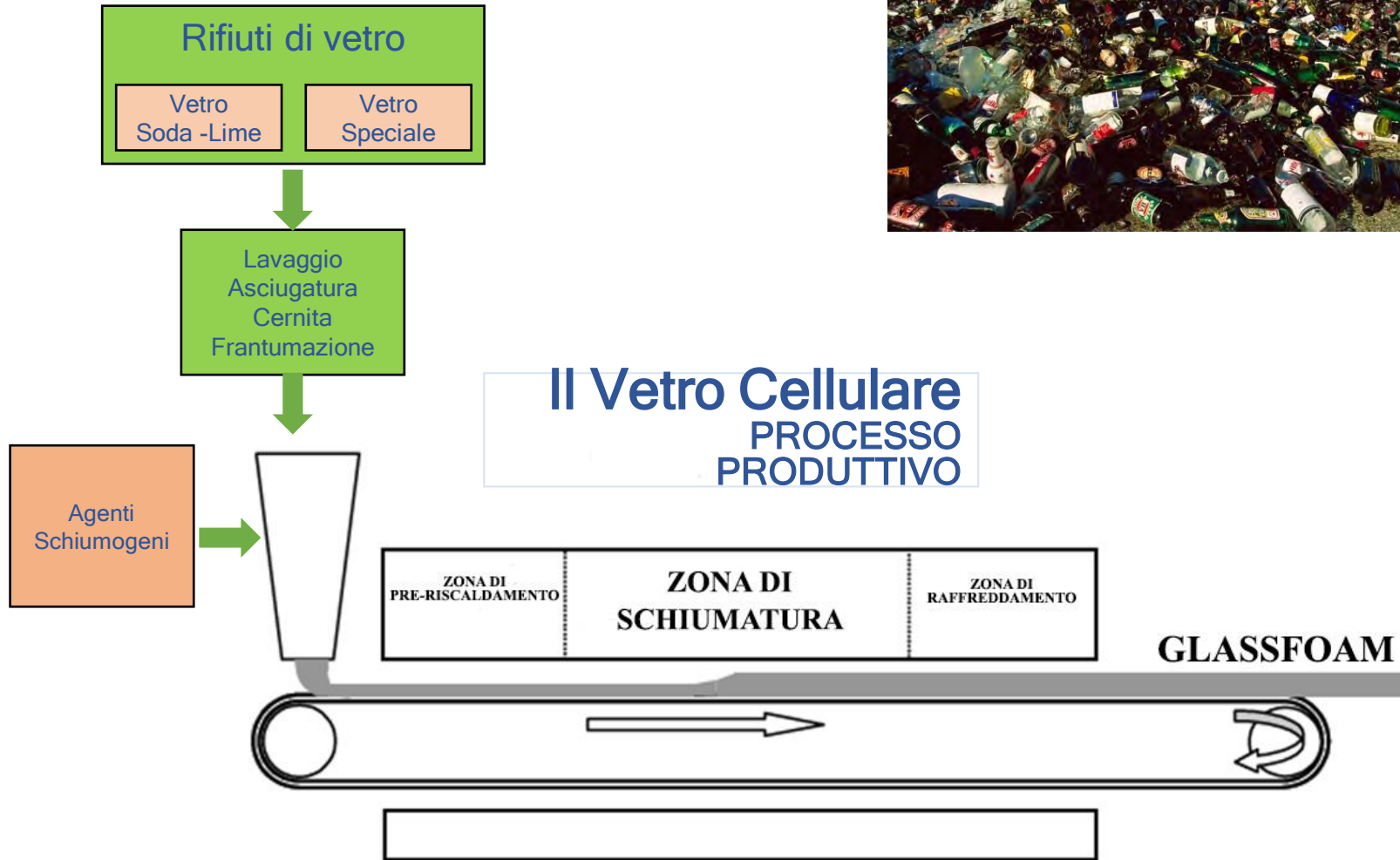


**AEREOPORTO DI FIUMICINO
RIQUALIFICA DELLA PISTA 16L/34R**



Schiuma di vetro - Vetro cellulare

AEREOPORTO DI FIUMICINO
RIQUALIFICA DELLA PISTA 16L/34R
2015



Il Vetro Cellulare
PROCESSO
PRODUTTIVO

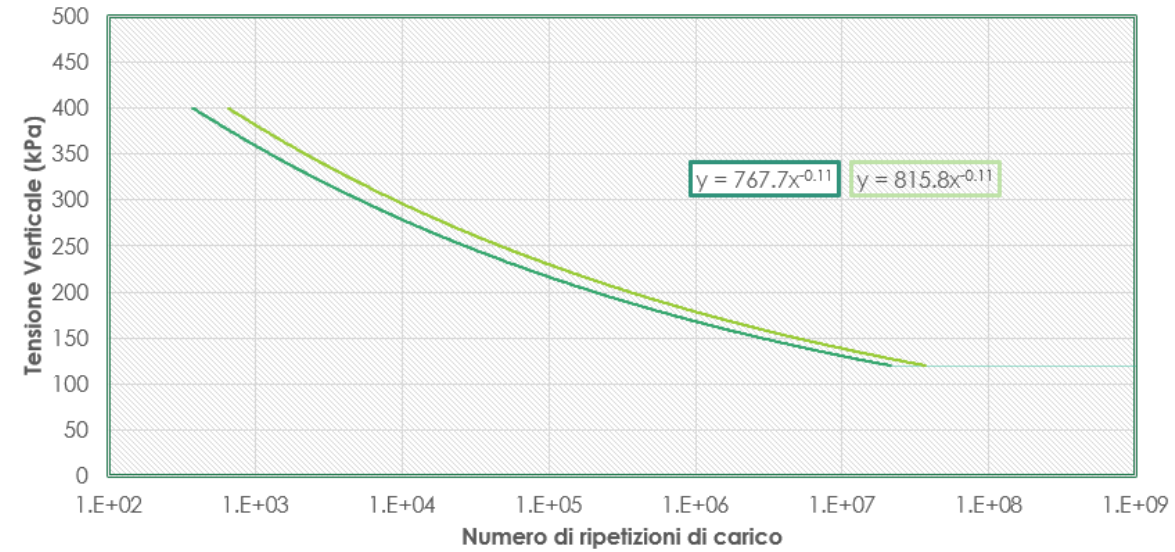
Schiuma di vetro - Vetro cellulare



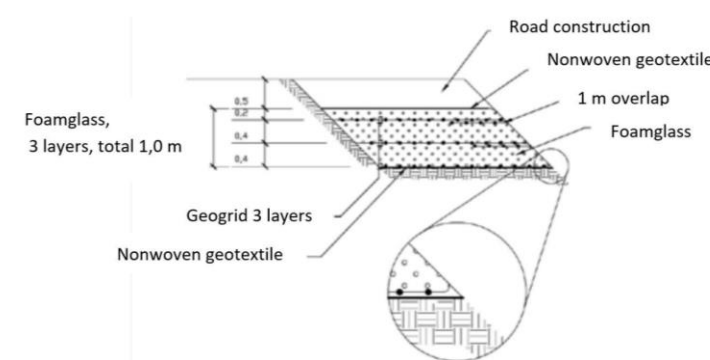
Schiuma di vetro - Vetro cellulare



Andamento del numero di passaggi a rottura in funzione della tensione verticale
Confronto



Schiuma di vetro - Vetro cellulare



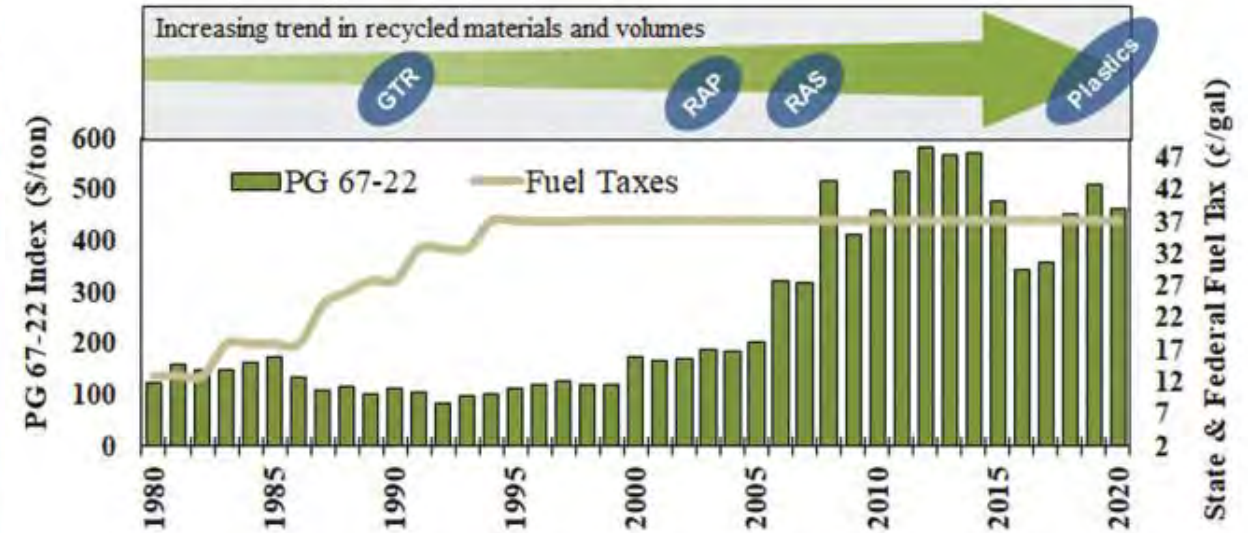
Lessons Learned About Recycling Plastic

Ponte San Giorgio di Genova



Photo: Pixabay

A plentiful supply of discarded plastic bottles are available to be recycled and mixed with asphalt, offering responsible recycling—and increased durability and affordability—to the world's roadway network.



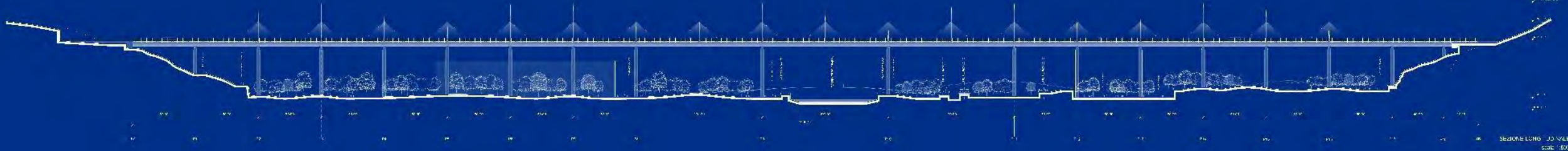
National Asphalt and Pavement Association
 TR NEWS November-December 2020



Ponte San Giorgio di Genova



Ponte San Giorgio di Genova

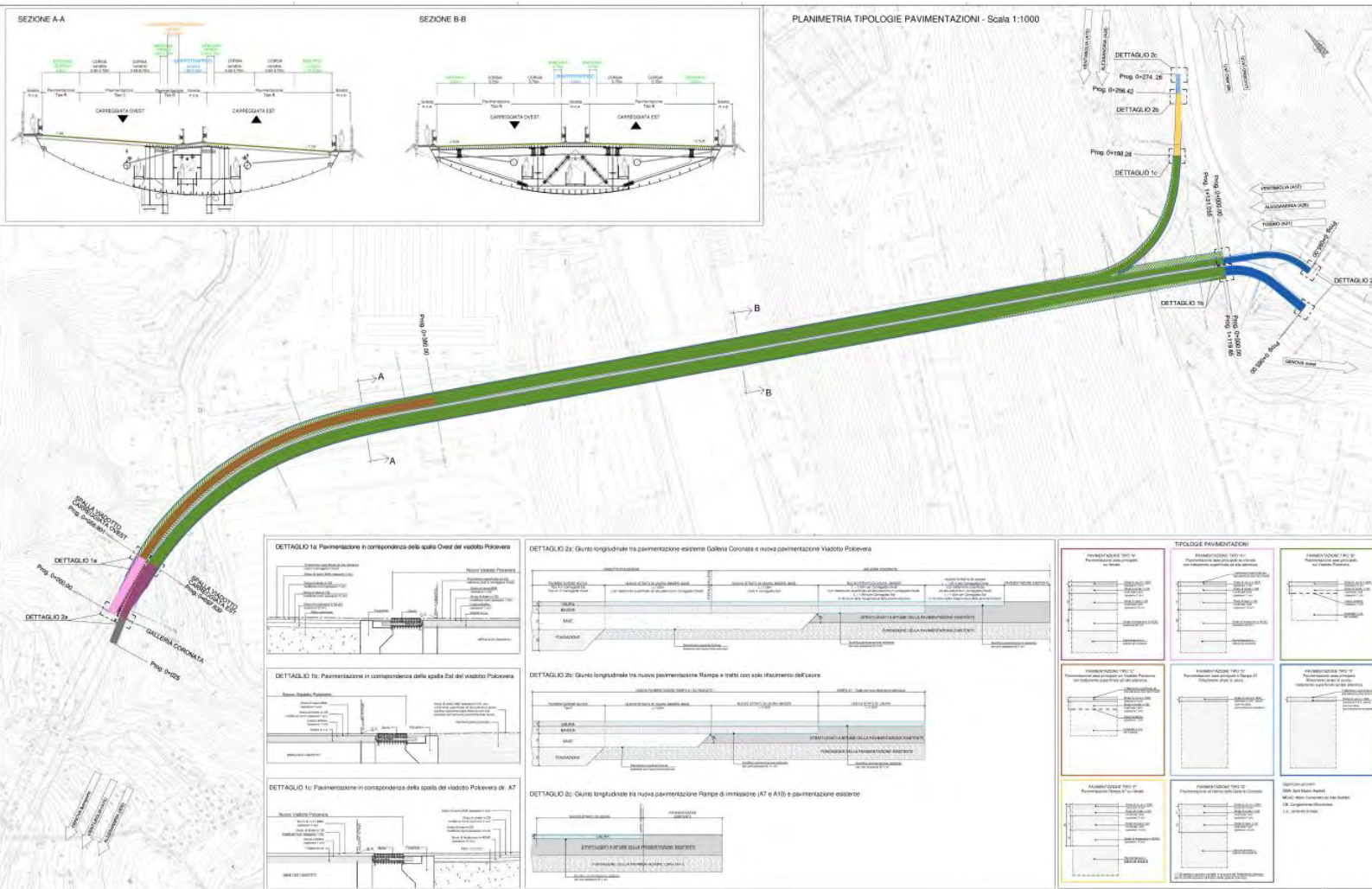


Sezione longitudinale del "Viadotto Polcevera" (Progetto Esecutivo di 2° Livello - Relazione generale)

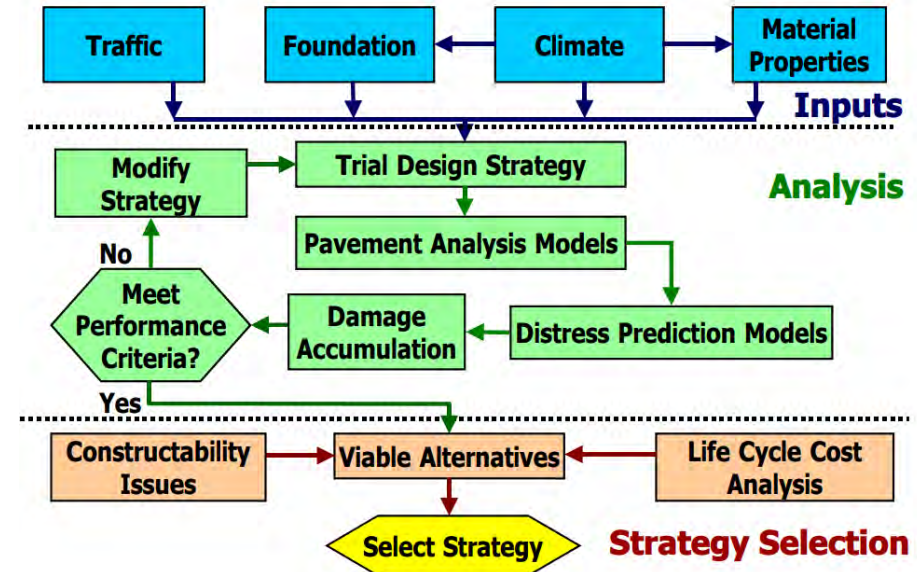
Il progetto risulta basato sul concetto architettonico sviluppato dallo "Studio Renzo Piano Building Workshop" prevede:

- pile in calcestruzzo armato di sezione ellittica;
- impalcato principale costituito da una travata continua di lunghezza totale pari a 1067.17 m, formata da un totale di 19 campate, di diverse lunghezze, in struttura mista acciaio-calcestruzzo.

Ponte San Giorgio di Genova



Guide for Mechanistic-Empirical Design Guide Overall design process for flexible pavements



Ponte San Giorgio di Genova

Progetto Esecutivo: Proposta migliorativa - Pavimentazioni

Le migliorie hanno riguardato esclusivamente le miscele in conglomerato bituminoso delle pavimentazioni stradali, prevedendo l'utilizzo di modifiche al bitume mediante l'impiego di compound polimerici innovativi ad alte prestazioni.

- strato di usura in conglomerato bituminoso modificato tipo SMA con “supermodificante” polimerico «GIPAVE» a base di grafene e plastiche tecno-selezionate;
- strati di binder e di base (ove previsto) in conglomerato bituminoso modificato con compound plastomerici specificatamente ottimizzati.

Il «GIPAVE» è un supermodificante polimerico a base di grafene, additivi specifici e una plastica appositamente tecno-selezionata, che ad oggi non rientra nella filiera del riciclo ma è normalmente destinata agli impianti di termovalorizzazione.

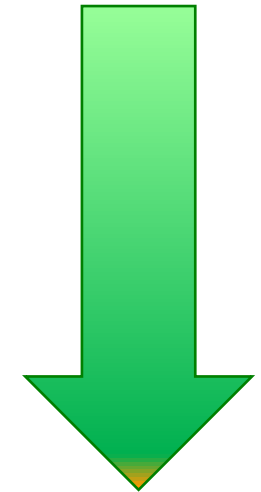


Ponte San Giorgio di Genova

Progetto Esecutivo: Proposta migliorativa - Pavimentazioni

Tre diversi livelli di confronto:

1. Progetto esecutivo - Proposta migliorativa
 2. Mix design (progetto - proposta)
 3. Controllo delle miscele in opera (proposta - specifiche + 2 + 1)
-Confirmation of Design Expectations (superata)

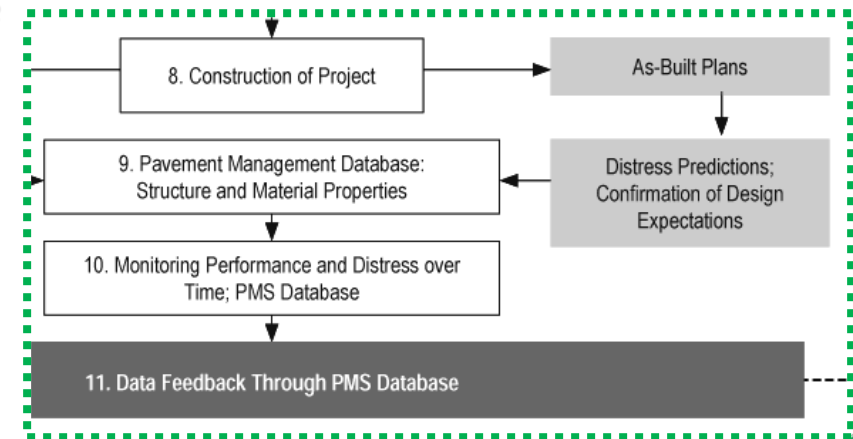


Ponte San Giorgio di Genova

Controlli

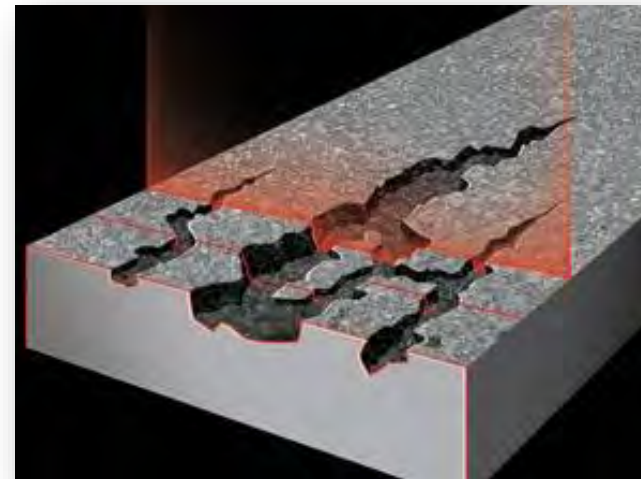
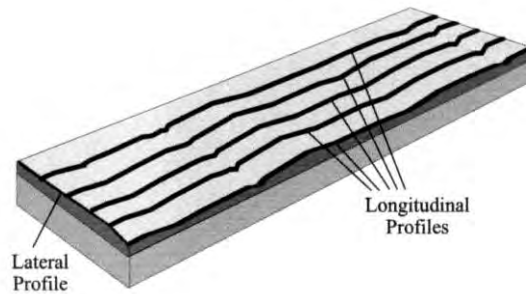
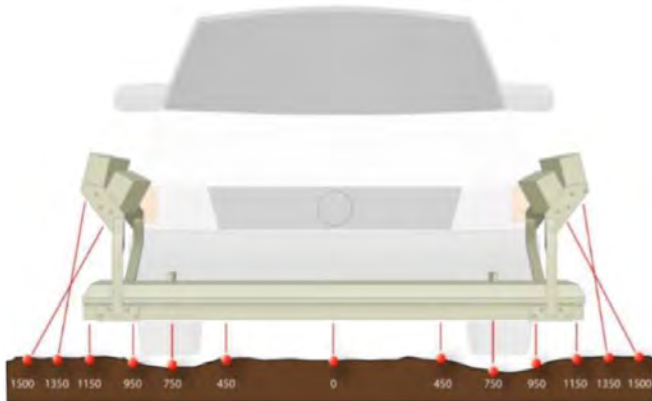
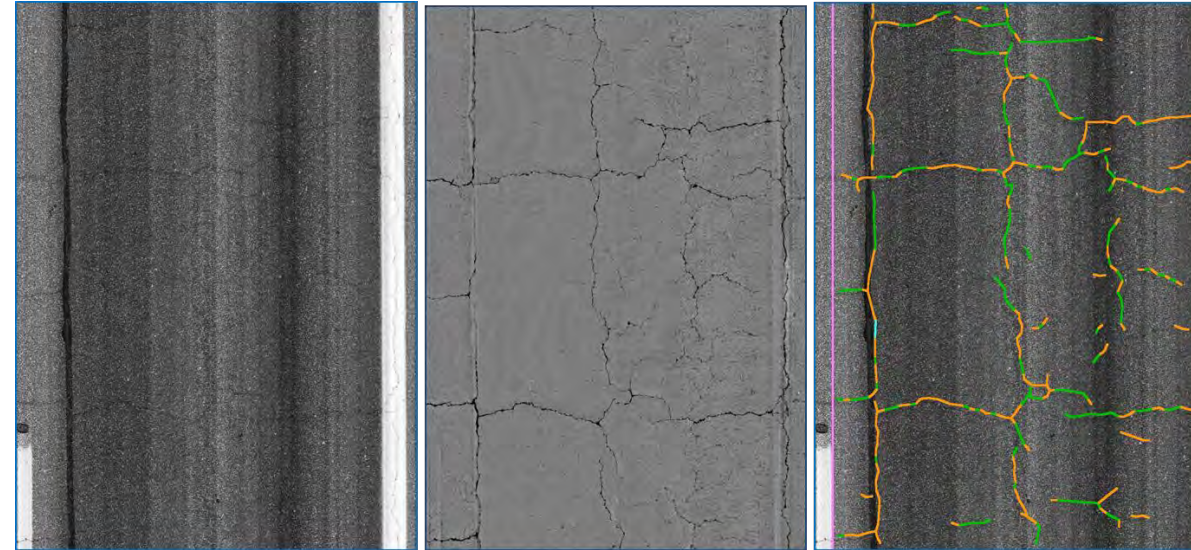
Per la soluzione adottata, che modifica il comportamento strutturale delle miscele, oltre ai controlli di Capitolato, sono state effettuate ulteriori specifiche determinazioni sperimentazioni sulle miscele campionate in fase di posa in opera per avere i parametri specifici da inserire nel metodo di calcolo M-E PDG e quantificare i benefici effettivi attesi rispetto a quelli previsti.

Tale procedura, oltre ad essere espressamente prevista dal metodo M-E PDG (Distress prediction; **Confirmation of Design Expectations**) è anche una verifica specifica riportata dal CSA.



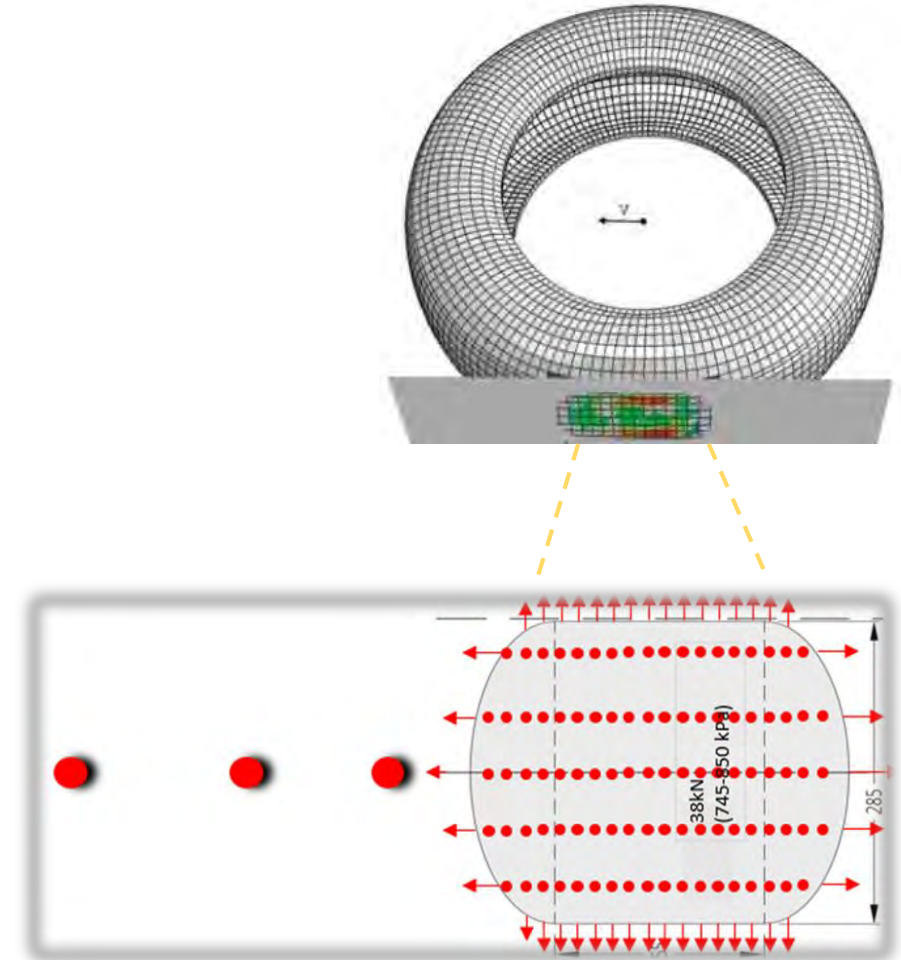
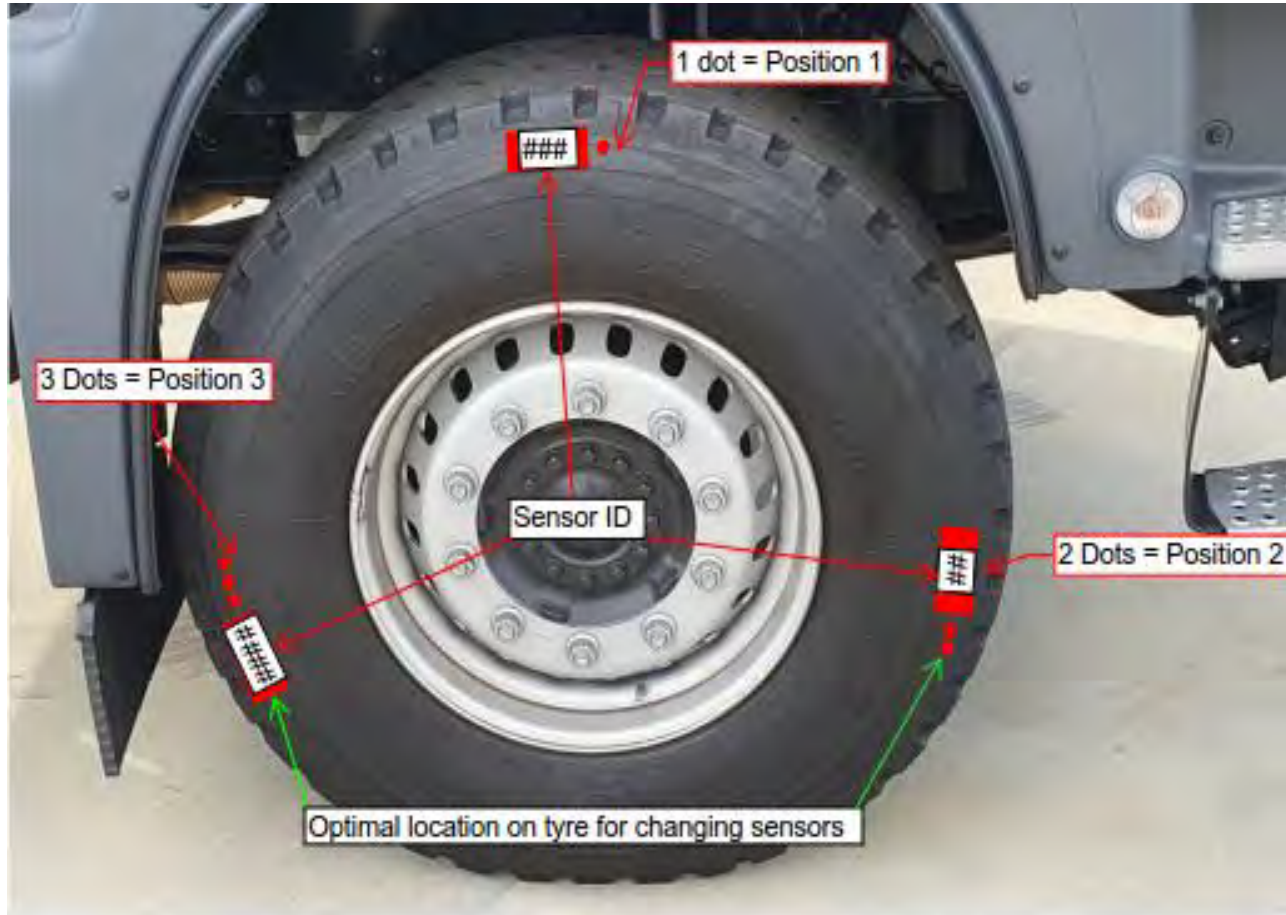
Ponte San Giorgio di Genova

Controlli



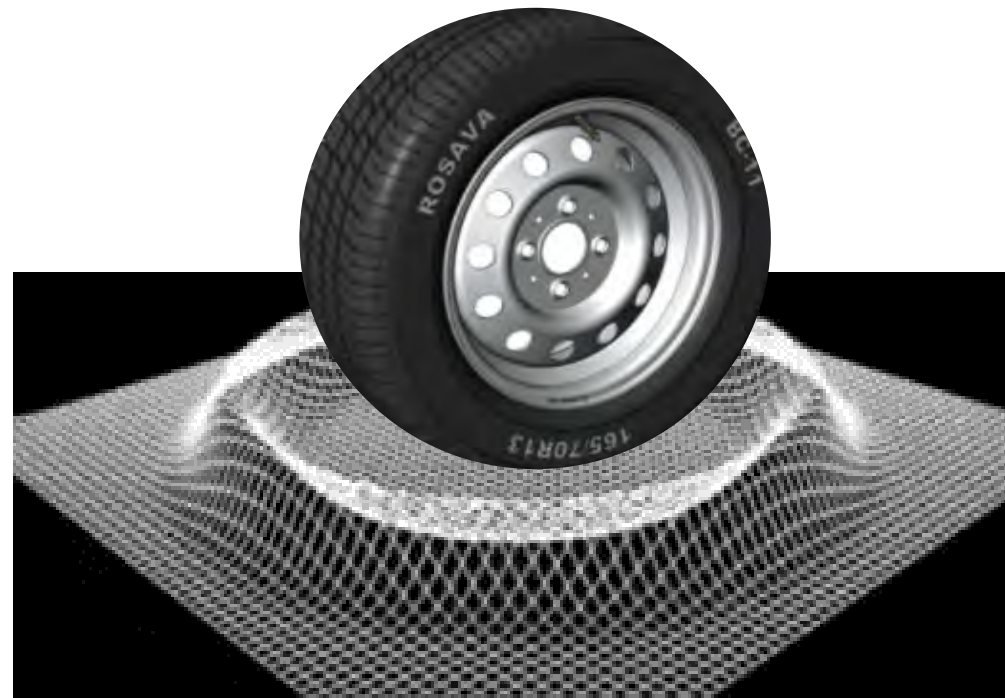
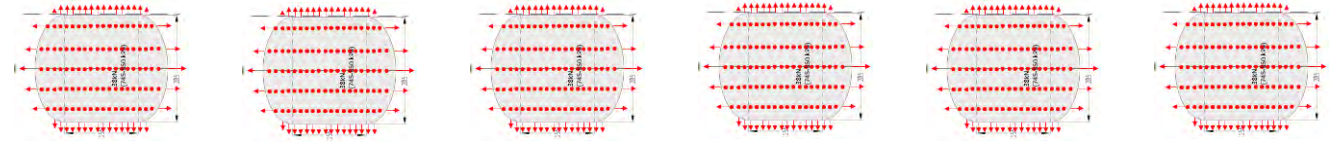
Ponte San Giorgio di Genova

Controlli



Ponte San Giorgio di Genova

Controlli



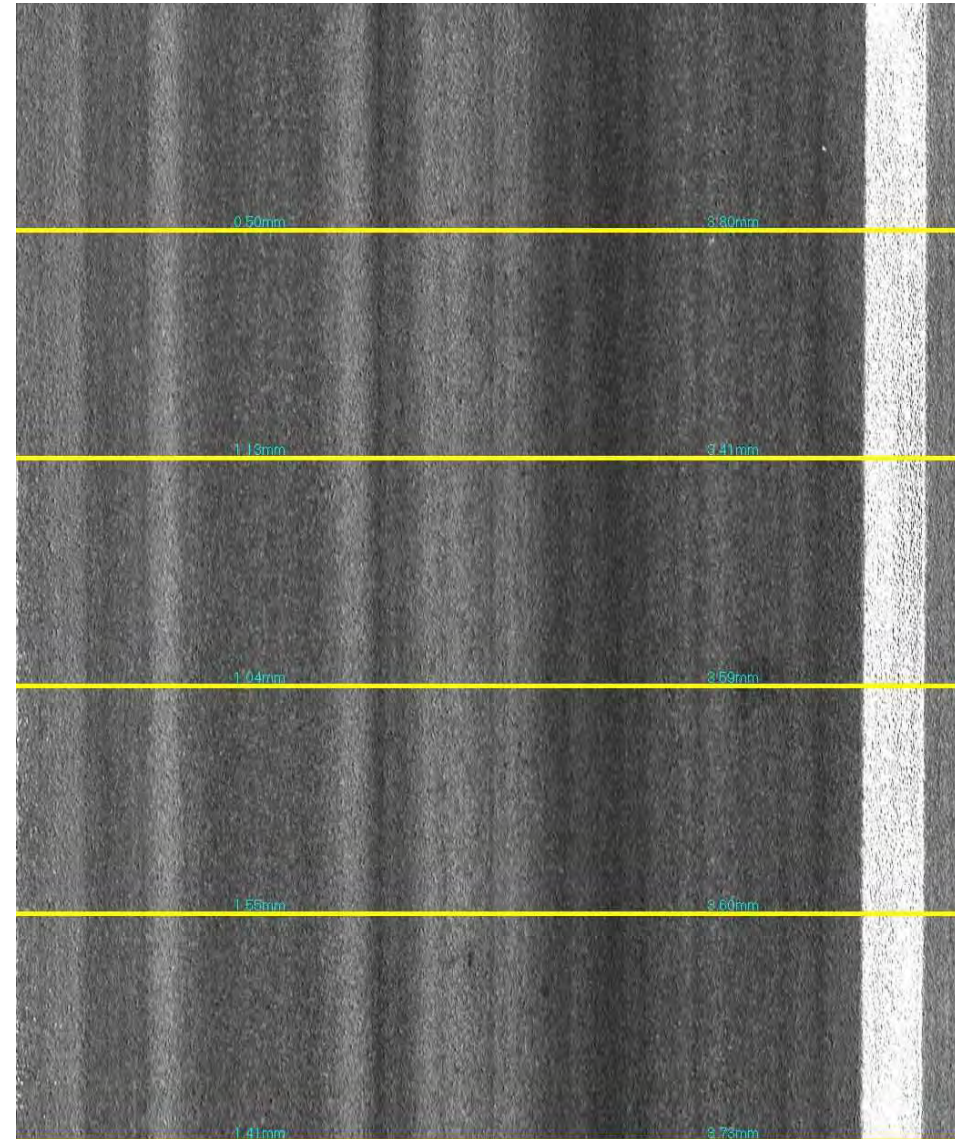
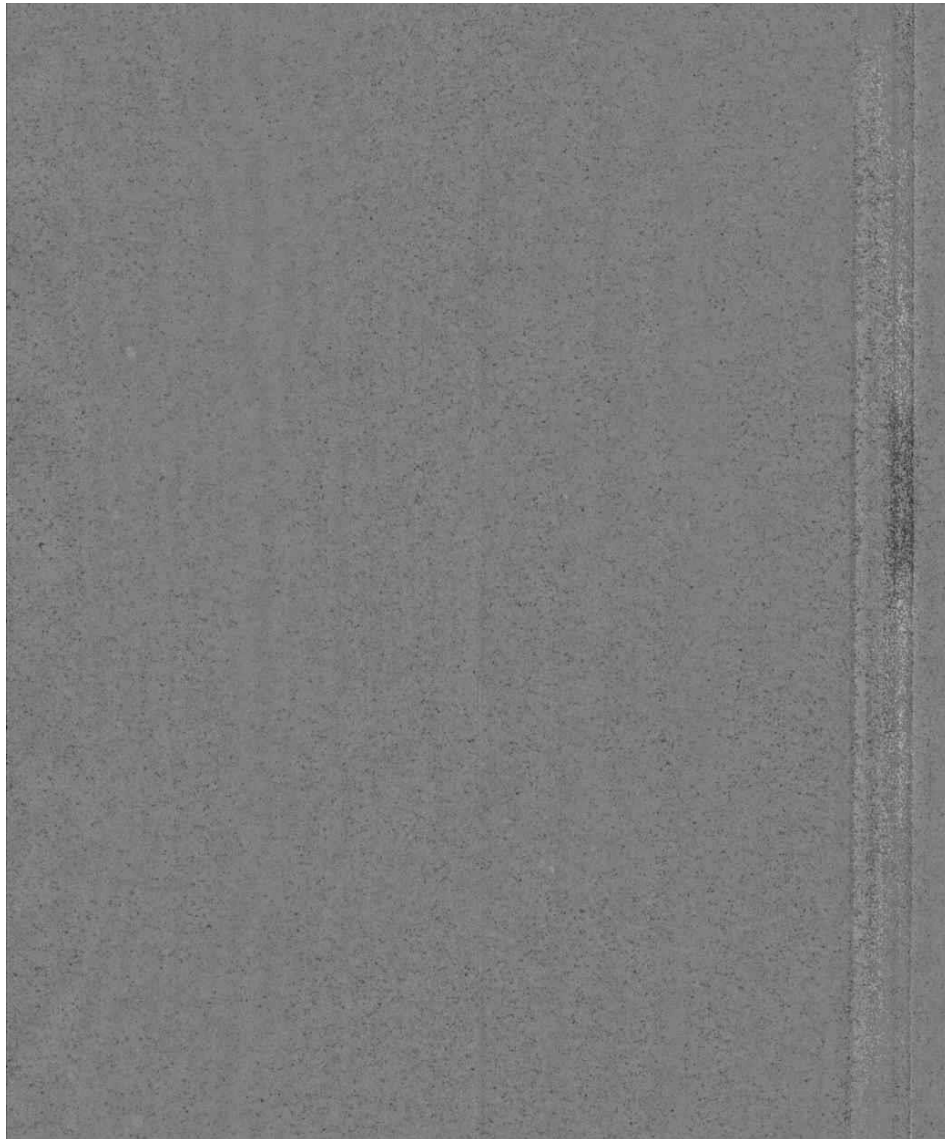
Ponte San Giorgio di Genova

Controlli



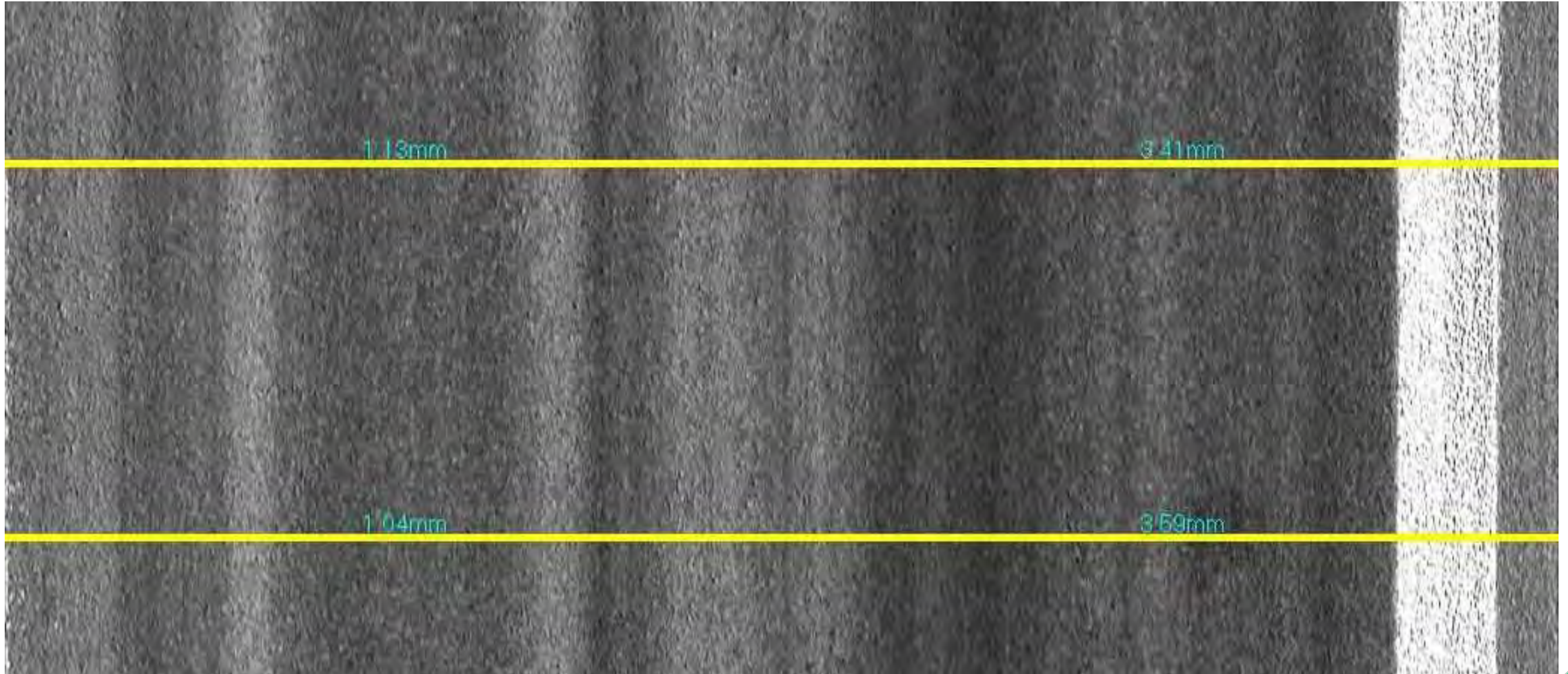
Ponte San Giorgio di Genova

Controlli



Ponte San Giorgio di Genova

Controlli



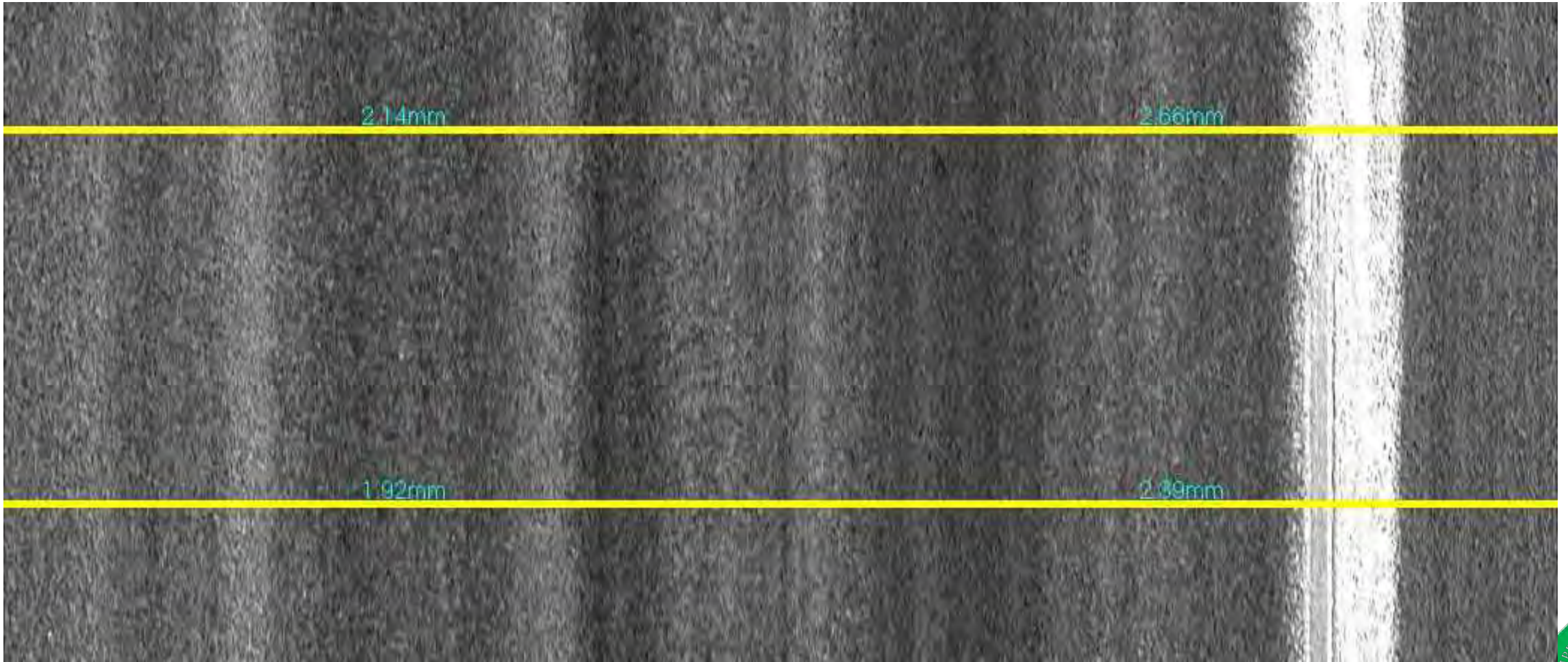
Ponte San Giorgio di Genova

Controlli



Ponte San Giorgio di Genova

Controlli



Ponte San Giorgio di Genova

Valutazioni di sostenibilità

L'utilizzo di compound polimerici innovativi oltre ad incrementare la **durabilità** dell'opera si configura come migliorativo, anche per quanto riguarda l'**ecocompatibilità**.

In particolare¹:

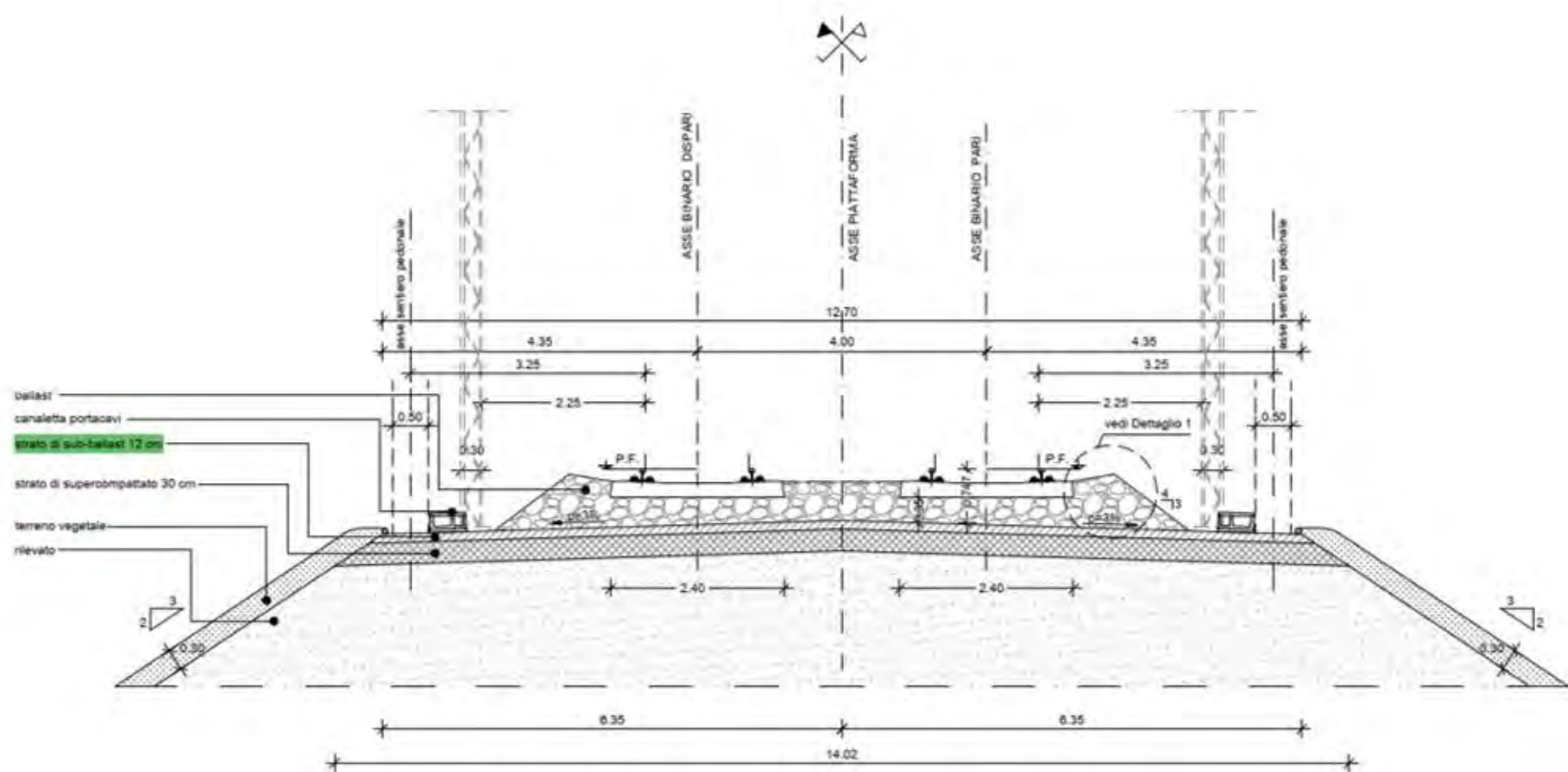
- riutilizzo di 9300 kg plastiche dure (altrimenti destinate ad inceneritore)
- riduzione di 25110 kg di CO_{2eq} prodotte dal processo di smaltimento delle plastiche reimpiegate
- i soli 4 cm di usura hanno comportato la riduzione di emissioni valutate in 16654kg di CO_{2eq}



¹ Venturini, L. - Meroni F., The Valorization of Waste Plastics in Durable Asphalt Concrete - The Genoa San Giorgio Bridge - Procedia Environmental Science and Management, 2021

SUB - BALLAST

con conglomerato bituminoso di recupero (fresato)



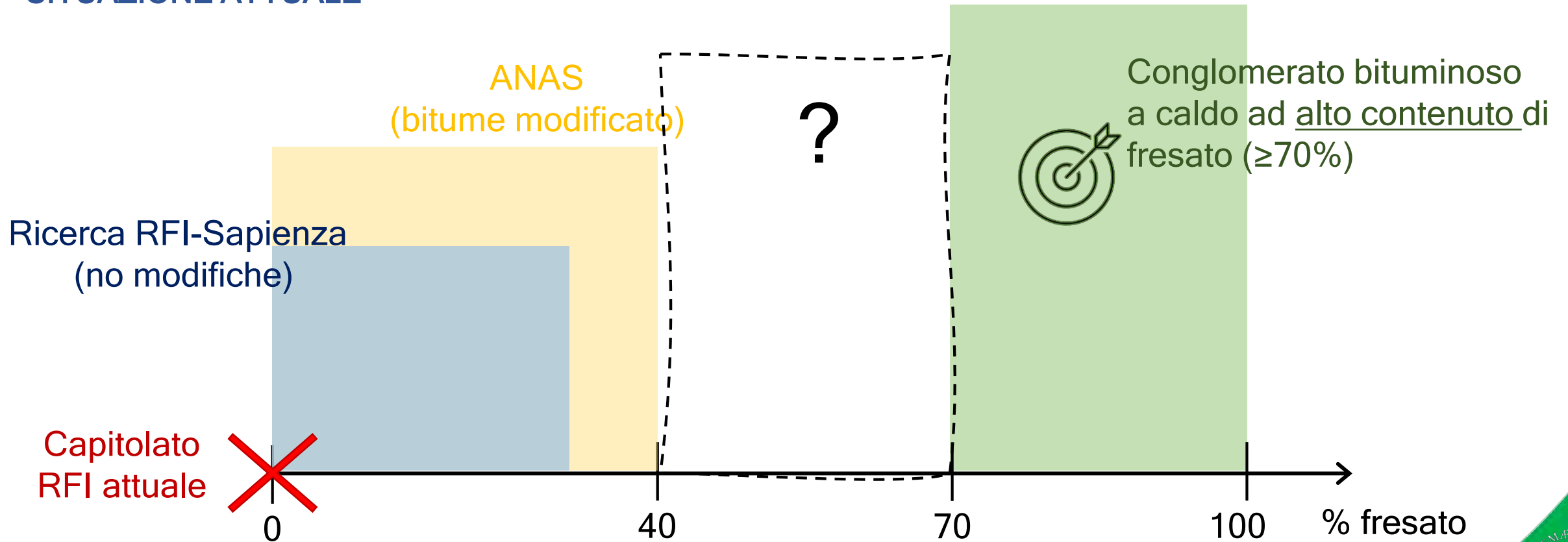
SUB - BALLAST

con conglomerato bituminoso di recupero (fresato)



SUB - BALLAST CON CONGLOMERATO BITUMINOSO DI RECUPERO (FRESATO)

SITUAZIONE ATTUALE



SUB - BALLAST CON CONGLOMERATO BITUMINOSO DI RECUPERO (FRESATO) - PROPOSTA VOCE DI CAPITOLATO:

LABORATORIO

	SUB-BALLAST CON FRESATO	SUB-BALLAST AD ALTO CONTENUTO DI FRESATO	SUB-BALLAST AD ALTISSIMO CONTENUTO DI FRESATO
% di fresato	<40	≥40, <70	≥70
% di ACF sul bitume	0,2 – 0,5	0,2 – 0,8	0,2 – 0,8
% di compound polimerico sul bitume	2 – 5	4 – 10	4 – 10

CAMPO PROVE 1

CAMPO PROVE 2

Aggregati Artificiali

Scorie di acciaieria

- E' il residuo della produzione dell'acciaio
- In Italia, la produzione di acciaio si attesta intorno ai 23 Mt/anno
- La produzione di scoria nera, oscilla tra 2,3 e 2,9 Mt/anno.



2 Raffreddamento controllato e maturazione



3 Frantumazione primaria e deferrizzazione



1 Sversamento paiola



4 Frantumazione secondaria e vagliatura

Aggregati Artificiali

Scorie di acciaieria

Los Angeles $\leq 15\%$

Psv ≥ 54

pH basico (ottima
affinità con il bitume)

Eccellente poliedricità
(% di vuoti inferiori)

Economicità e rispetto
per l'ambiente

6 processi di
deferrizzazione

Basso assorbimento
perde facilmente
umidità

Poco poroso

Indice di forma e di
appiattimento ≤ 10





GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Alessandro Marradi
Università di Pisa
alessandro.marradi@unipi.it

