

Decarbonizzazione e Sostenibilità: Possibili Scenari per la Strada del Futuro, Con e Senza Bitume

Prof. Francesco Canestrari – Università Politecnica delle Marche

Sommario

- Il secolo del bitume
- La strada del futuro senza bitume
- La strada del futuro con il bitume
- Spunti e riflessioni

Sommario

- **Il secolo del bitume**
- La strada del futuro senza bitume
- La strada del futuro con il bitume
- Spunti e riflessioni

Il secolo del bitume

Evoluzione della “*bituminous age*”:

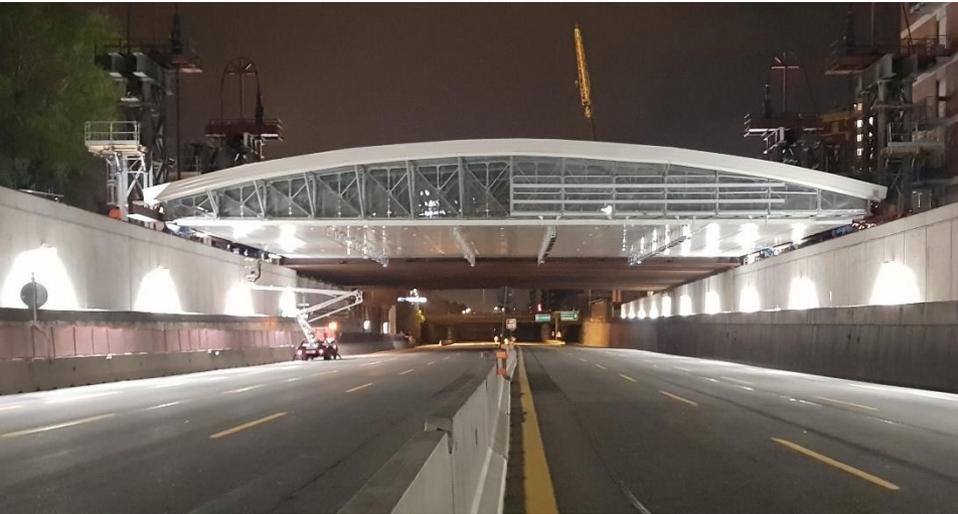
- La polvere e la tendenza allo sfaldamento divengono un problema a causa delle maggiori velocità dei veicoli
- 1854: prima miscelatrice meccanica a Parigi
- 1870s: primi brevetti americani per miscele bituminose
- 1901: primo impianto di produzione “moderno”
- 1907: la produzione di bitume distillato soppianta l’uso di bitume naturale.
- 1939: Il presidente dell’Asphalt Institute afferma che “*Il bitume nelle sue diverse forme è essenziale per la costruzione e la manutenzione delle strade*”



Rapidissima diffusione nel XX secolo



Il secolo del bitume

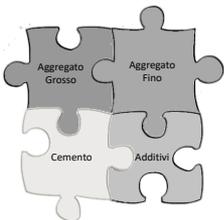


Sommario

- Il secolo del bitume
- **La strada del futuro senza bitume**
- La strada del futuro con il bitume
- Spunti e riflessioni

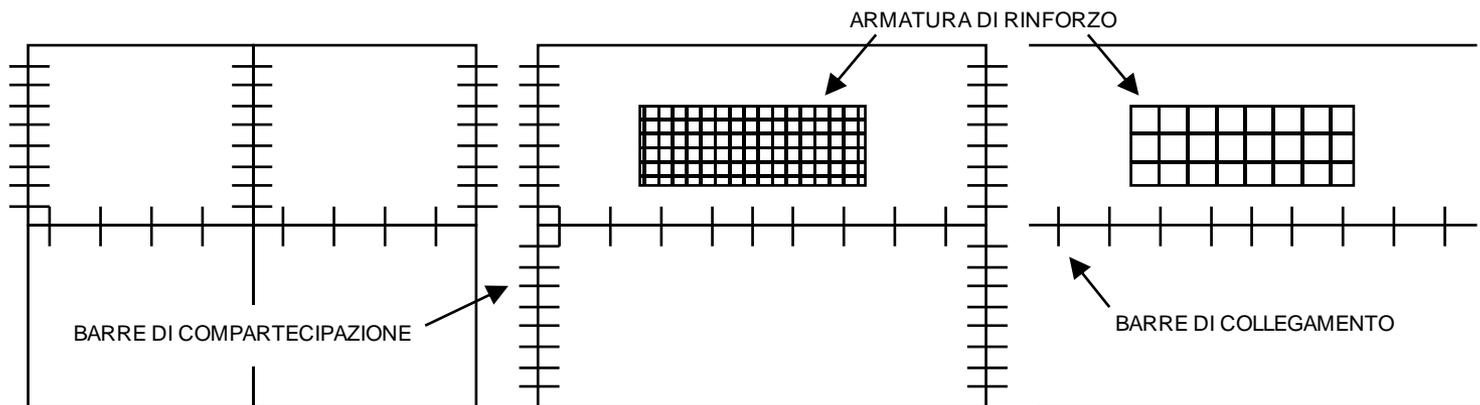
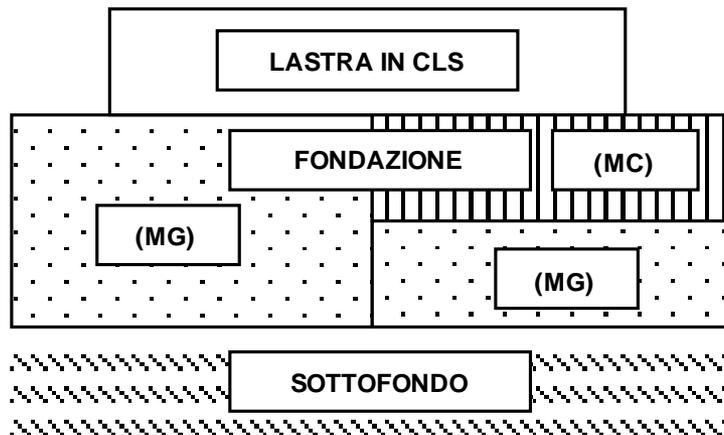
La strada del futuro senza bitume





La strada del futuro senza bitume

Pavimentazioni Rigide



Pav. Rig. CON GIUNTI NON ARMATE

Pav. Rig. CON GIUNTI RINFORZATE

Pav. Rig. AD ARMATURA CONTINUA



La strada del futuro senza bitume

Vantaggi e Svantaggi delle pavimentazioni rigide:

- Maggiori costi di costruzione;
- Maggiori costi e complessità di riqualificazione;
- Maggiore resistenza e durata;
- Ininfluenza della temperatura;
- Comportamento in caso di incendio in galleria;
- Minori livelli di aderenza e rumorosità;
- Tipici impieghi: piazzali aeroportuali, interporti, autostrade;
- Sconsigliate per strade con bassi volumi di traffico.

Potenziati sviluppi in termini di sostenibilità:

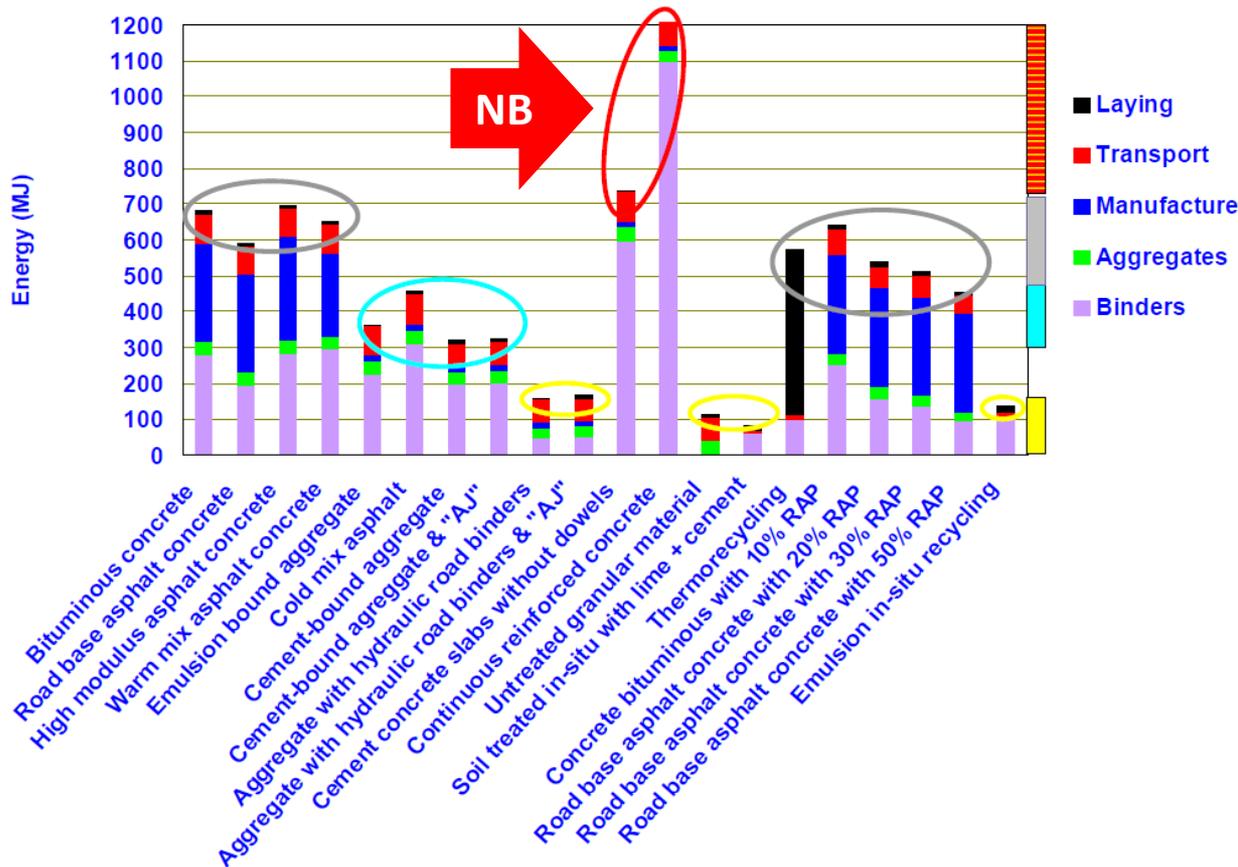
- Miscele con aggregati da riciclo (es. C&D);
- Leganti alternativi (es. geopolimeri);
- Valorizzazione di rifiuti e sottoprodotti industriali (es. fibre).

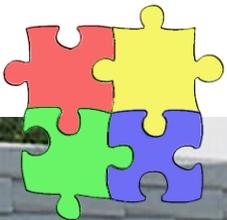


La strada del futuro senza bitume

Consumi energetici per la produzione e stesa delle principali tecnologie stradali

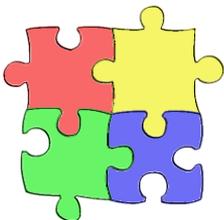
Energy consumption per ton of laid material





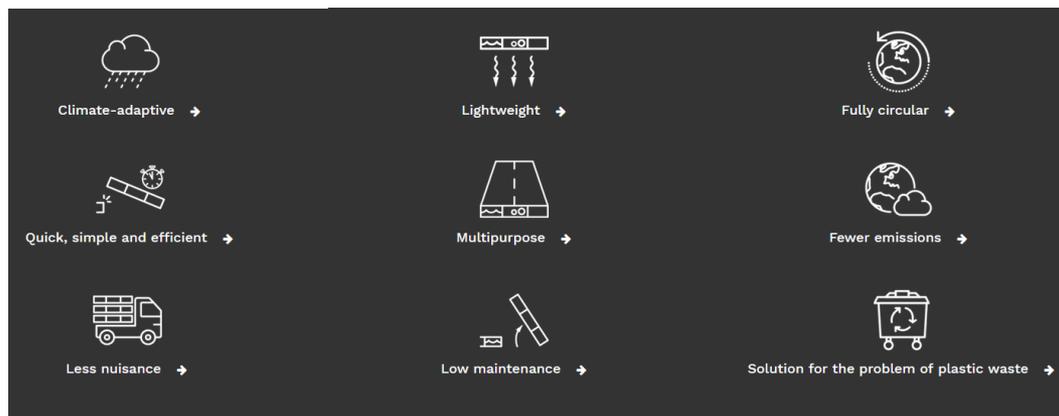
La strada del futuro senza bitume





La strada del futuro senza bitume

Vantaggi:



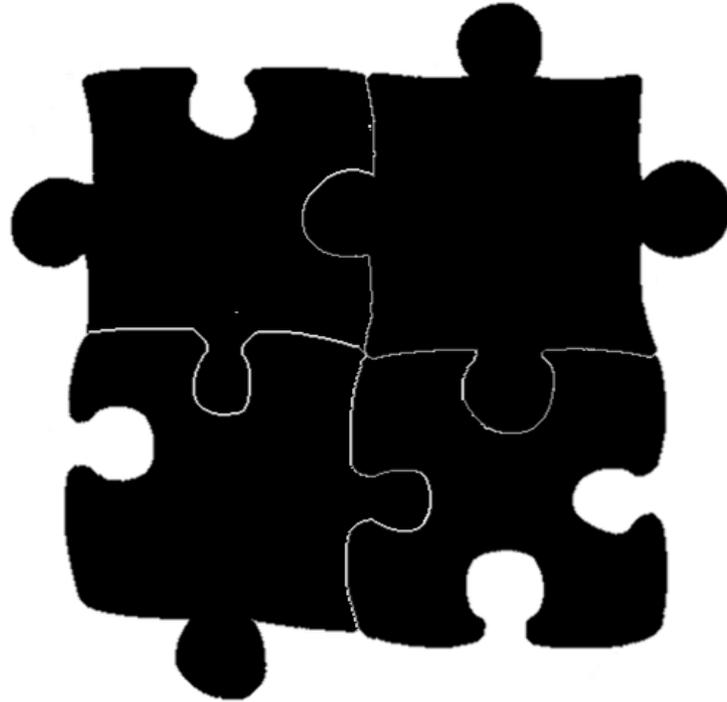
Potenziali limiti:

- Durabilità (i.e. cicli termici, radiazione solare);
- Portanza non adatta al traffico commerciale;
- Tracciato geometrico;
- ecc.

Sommario

- Il secolo del bitume
- La strada del futuro senza bitume
- **La strada del futuro con il bitume**
- Spunti e riflessioni

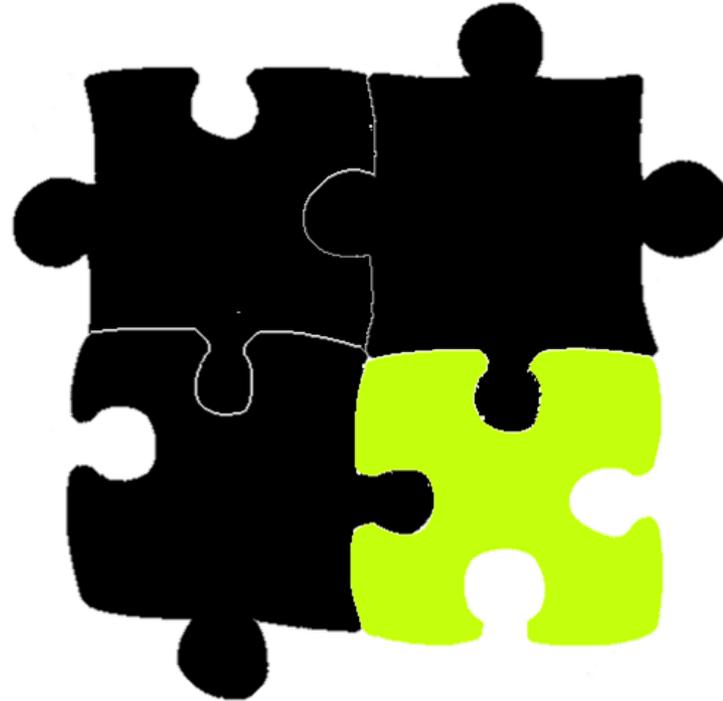
La strada del futuro con il bitume



Possibili Rimedi?

Bitume: materiale da fonte non rinnovabile
Disponibilità limitata con outlook negativo

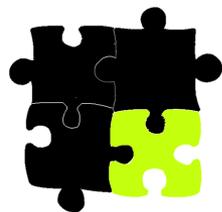
La strada del futuro con il bitume



Bio-leganti

Parziale aggiunta di **bio-oli o polveri** da fonti rinnovabili:

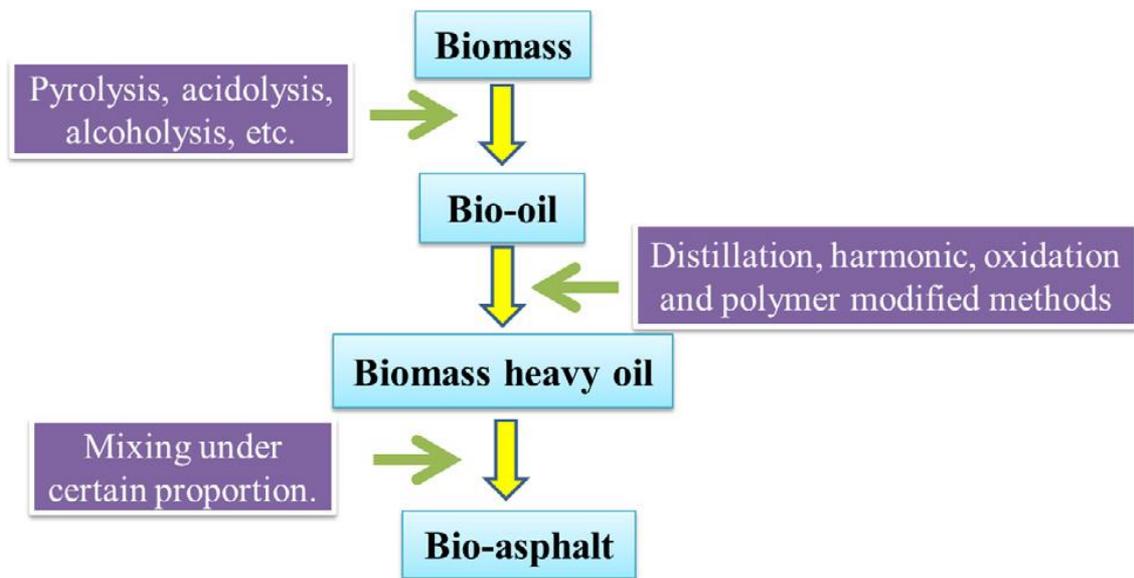
- **scarti del legno**
(bio-oli e lignina)
- **oli vegetali**
(soia, girasole, mais)
- **microalghe**
- ...

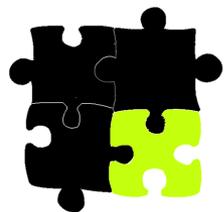


La strada del futuro con il bitume

Classificazione e Processo di produzione bio-leganti con bio-oli

| Category of Application | Content in the binder | Current State |
|-------------------------|-----------------------|---|
| Modifier | <10% | The application mode is rather mature |
| Extender | 25%–75% | The application mode is common |
| Alternative binder | 100% | The application mode cannot be achieved due to the limitation of performance of bio-asphalt |



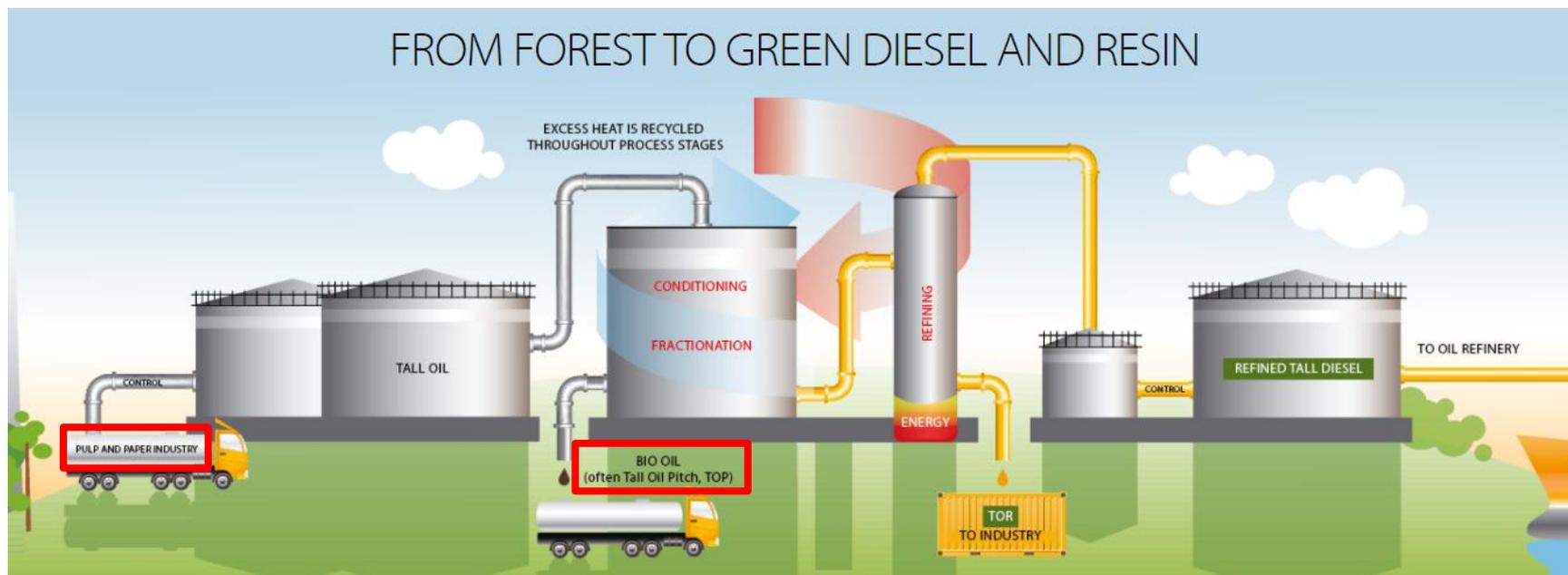


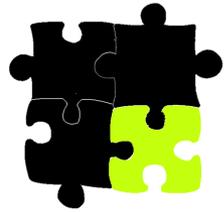
La strada del futuro con il bitume



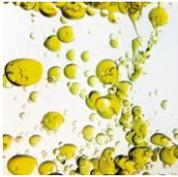
Sperimentazione UNIVPM su “bio-leganti” con bio-oli

- “Bio-legante”: legante in cui il bitume è parzialmente sostituito da un “bio-olio”
- Attività di ricerca in collaborazione con un’azienda petrolchimica straniera (finanziamento di 2 dottorati)
- Bio-olio studiato: **sotto-prodotto industriale derivante dal legno** (rinnovabile)



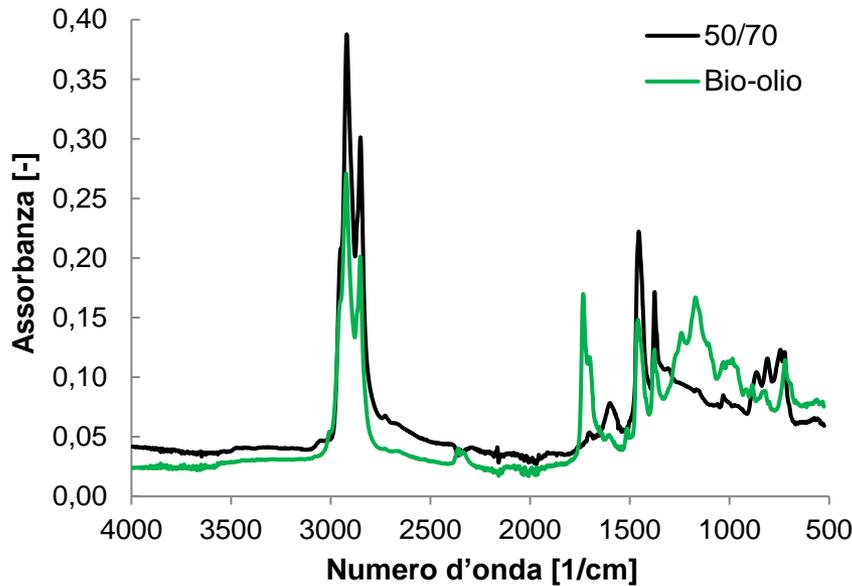


La strada del futuro con il bitume



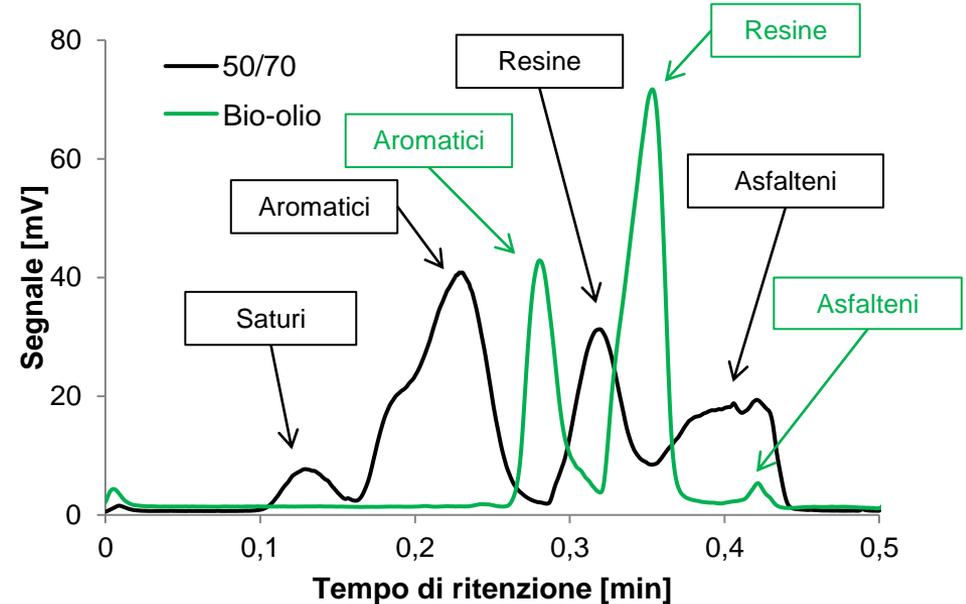
Proprietà chimiche del bio-olio e confronto con il bitume

Spettroscopia FTIR

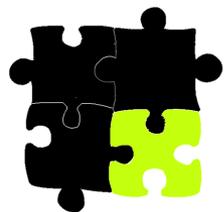


Picchi comuni (idrocarburi fossili vs. non-fossili)
→ **buona compatibilità**

Analisi SARA



Il bio-olio ha **pochissimi asfaltene** ($\approx 2\%$)
e non ha saturi (**limiti di dosaggio**)

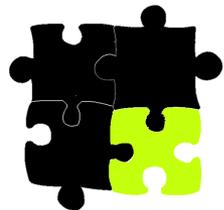


La strada del futuro con il bitume



Skills UNIVPM: verifica prestazioni in campo stradale





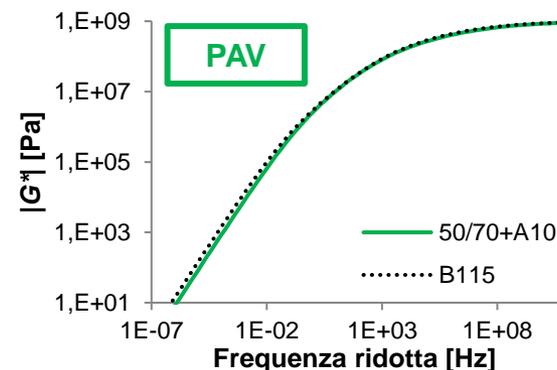
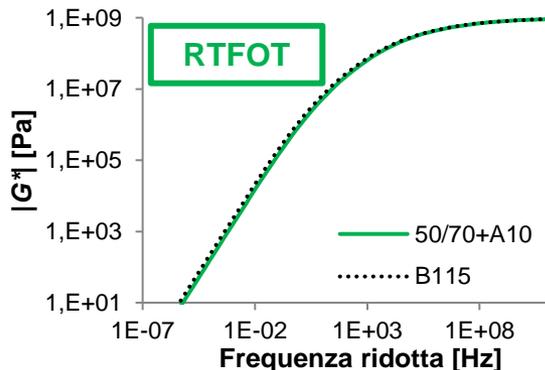
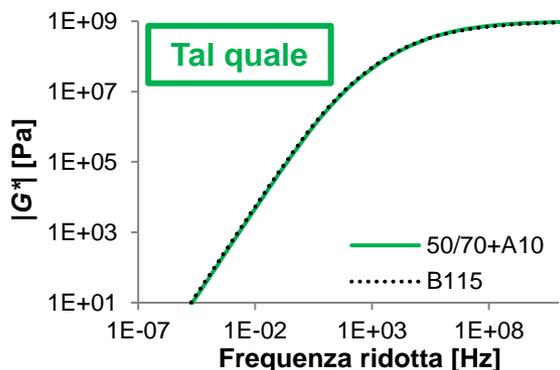
La strada del futuro con il bitume



Analisi del legante

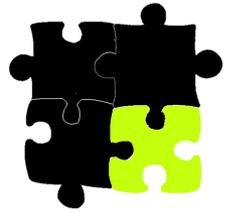
Confronto tra **bio-legante con 10% bio-olio (50/70+A10)** e bitume convenzionale con analogo grado di penetrazione (B115)

- Proprietà di caratterizzazione chimica (FTIR e SARA)
- Proprietà convenzionali (penetrazione e punto di rammollimento)
- Proprietà reologiche (curve maestre, fatica e healing)
- Invecchiamento a breve e lungo termine (RTFOT e PAV)

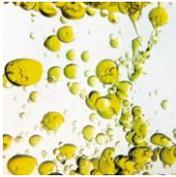


- Efficacia nel riciclaggio a caldo e riciclabilità (punto di vista chimico e meccanico)

Il bio-legante ha minore tendenza ad invecchiare rispetto al bitume convenzionale grazie alle peculiarità chimiche del bio-olio



La strada del futuro con il bitume



Confronto con miscele bituminose convenzionali

1) Approccio prestazionale «classico»

- Resistenza a trazione indiretta (ITS)
- Modulo di rigidezza a trazione indiretta (ITSM)
- Resistenza a fatica in configurazione di trazione indiretta (ITFT)
- Resistenza alla fessurazione in configurazione di flessione su tre punti (SCB)
- Resistenza all'accumulo di deformazioni permanenti (prova triassiale)

2) Approccio prestazionale «avanzato»

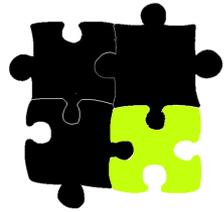
- Proprietà viscoelastiche (prove di modulo complesso)
- Comportamento a fatica interpretato secondo la teoria VECD (ViscoElastic Continuum Damage) → prove cicliche di trazione assiale



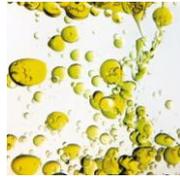
Confermati i risultati ottenuti sui leganti



I bio-leganti rappresentano una **valida alternativa ai bitumi tradizionali**

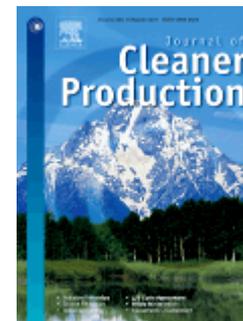
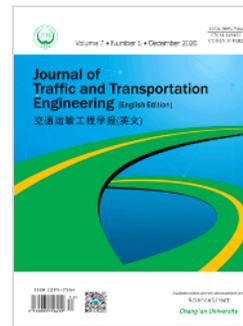
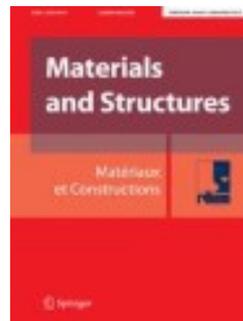
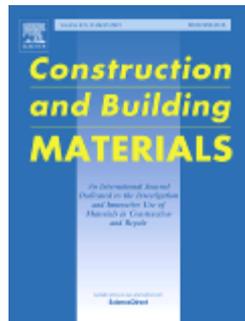
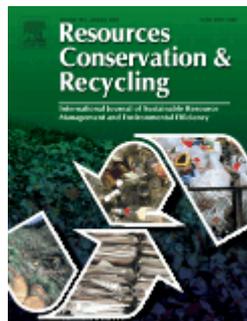


La strada del futuro con il bitume

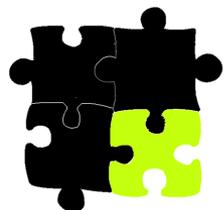


Publicazioni su riviste scientifiche internazionali

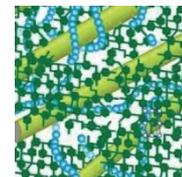
1. Ingrassia, L.P., Lu, X., Ferrotti, G., Canestrari, F., 2019. Renewable materials in bituminous binders and mixtures: Speculative pretext or reliable opportunity? *Resources, Conservation and Recycling*, 144, 209-222
2. Ingrassia, L.P., Lu, X., Ferrotti, G., Canestrari, F., 2019. Chemical and rheological investigation on the short- and long-term aging properties of bio-binders for road pavements. *Construction and Building Materials*, 217, 518-529
3. Ingrassia, L.P., Cardone, F., Canestrari, F., Lu, X., 2019. Experimental investigation on the bond strength between sustainable road bio-binders and aggregate substrates. *Materials and Structures*, 52, 80
4. Ingrassia, L.P., Lu, X., Ferrotti, G., Canestrari, F., 2020. Chemical, morphological and rheological characterization of bitumen partially replaced with wood bio-oil: Towards more sustainable materials in road pavements. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7 (2), 192-204
5. Ingrassia, L.P., Lu, X., Ferrotti, G., Conti, C., Canestrari, F., 2020. Investigating the “circular propensity” of road bio-binders: Effectiveness in hot recycling of reclaimed asphalt and recyclability potential. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120193
6. Gaudenzi, E., Cardone, F., Lu, X., Canestrari, F., 2020. Analysis of fatigue and healing properties of conventional bitumen and bio-binder for road pavements. *Materials*, 13 (2), 420
7. Gaudenzi, E., Canestrari, F., Cardone, F., Lu, X., 2021. Performance assessment of asphalt mixture produced by a bio-based binder. *Materials*, in press.



materials

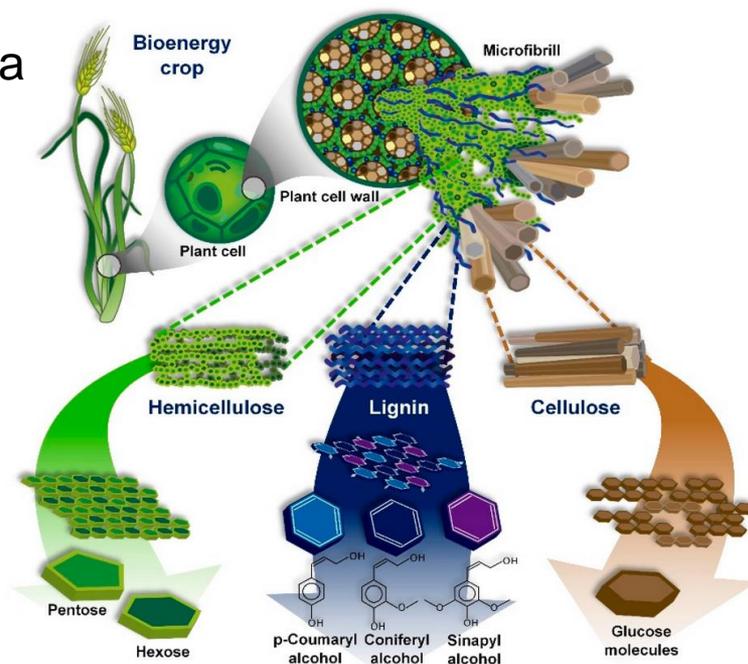


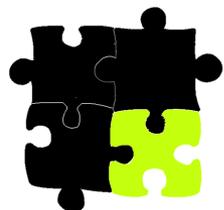
La strada del futuro con il bitume



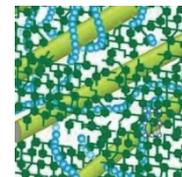
Sperimentazione UNIVPM su “bio-leganti” con Lignina

- Lignina = 15-25% della biomassa lignocellulosica
- **Elevate quantità** dall'industria della carta&cellulosa e dei biocarburanti (> 50 Mton/anno)
- Principalmente utilizzata come fonte di energia
- **Legante naturale con struttura aromatica**
- **Biopolimero termoplastico** ($T_g \approx 100-150^\circ\text{C}$) da fonte rinnovabile
- Resistente all'acqua (idrofoba)
- **Simile a prodotti derivati da risorse fossili**
- Polvere scura marrone/nera
- **Sostituto di elevate % di bitume** (fino al 50%?)



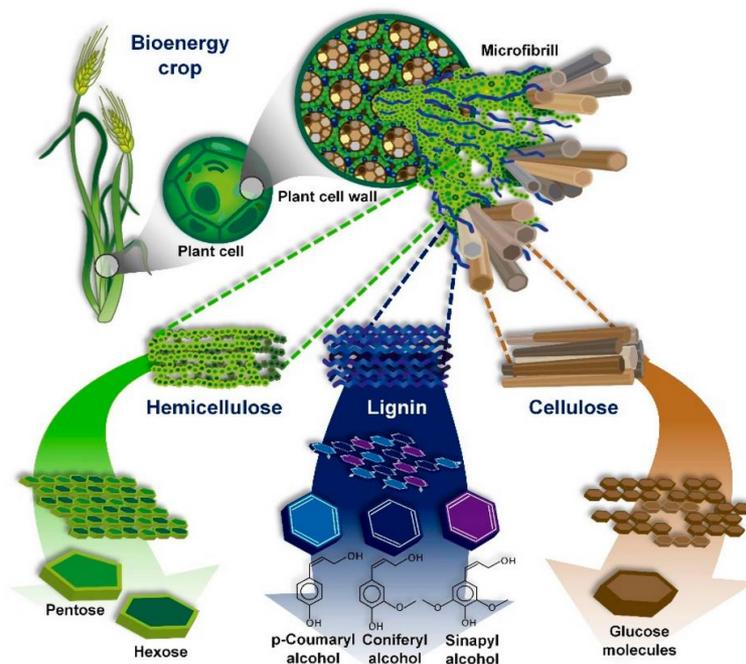


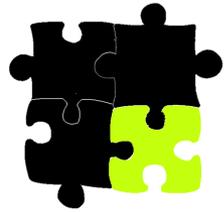
La strada del futuro con il bitume



Sperimentazione UNIVPM su “bio-leganti” con Lignina

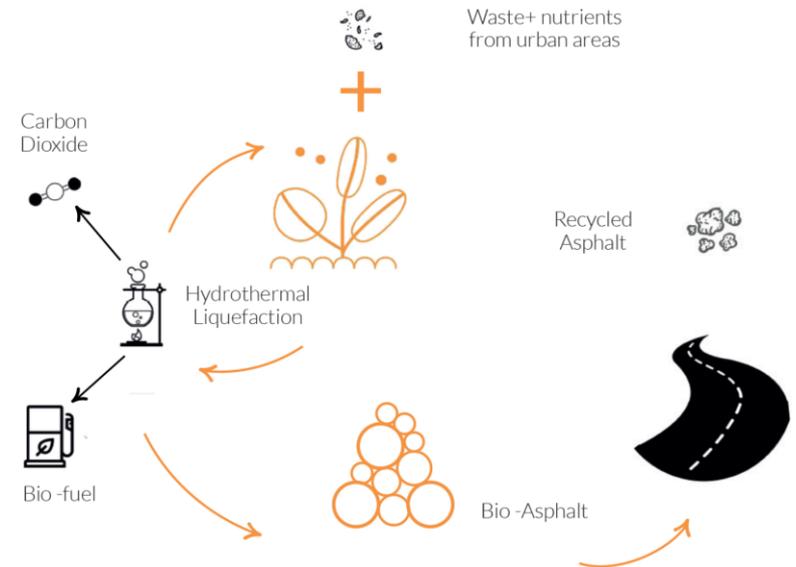
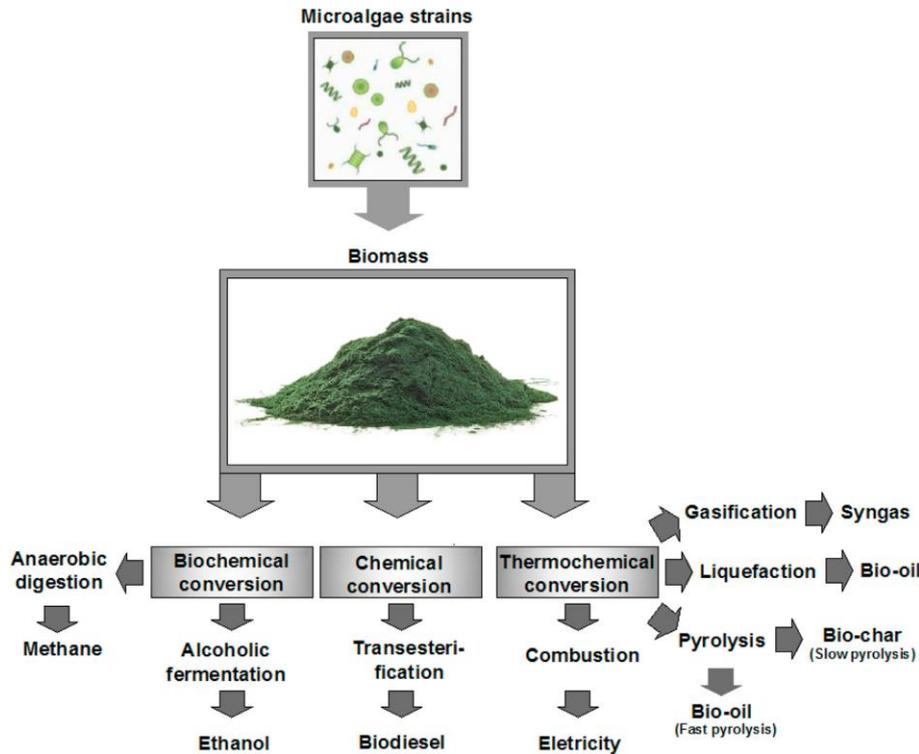
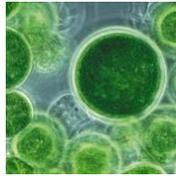
- **3 tipi di Lignina** da diversi produttori nord-europei
- **3 bitumi** di diversa consistenza e un bitume di riferimento non modificato 50/70
- **1 bitume modificato** soft e un bitume di riferimento modificato hard con polimeri SBS
- Obiettivo: determinare le **% di lignina** (su peso di bitume) per ottenere una **consistenza pari a quella del bitume di riferimento**.
- Prove sulla **fase legante**
- Prove prestazionali sulle **miscele**

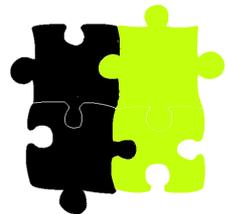




La strada del futuro con il bitume

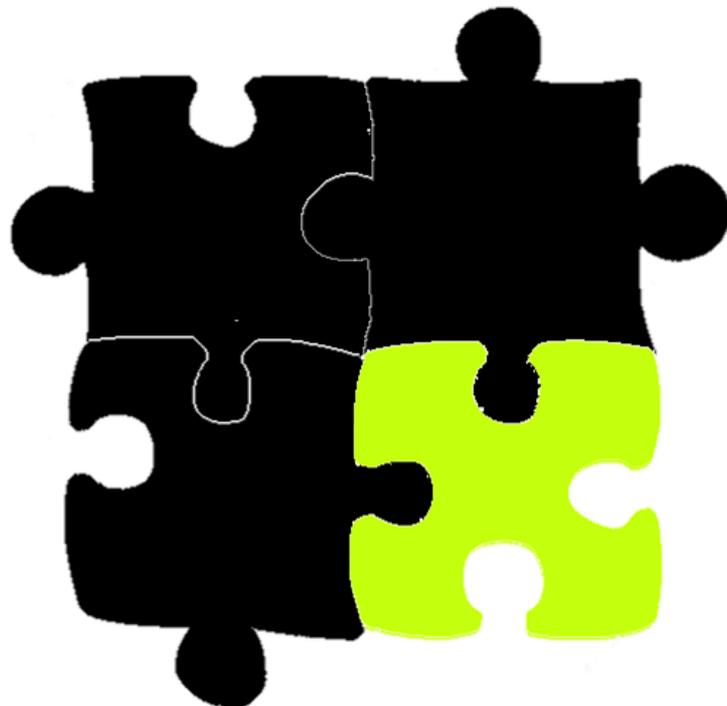
Microalghe





La strada del futuro con il bitume

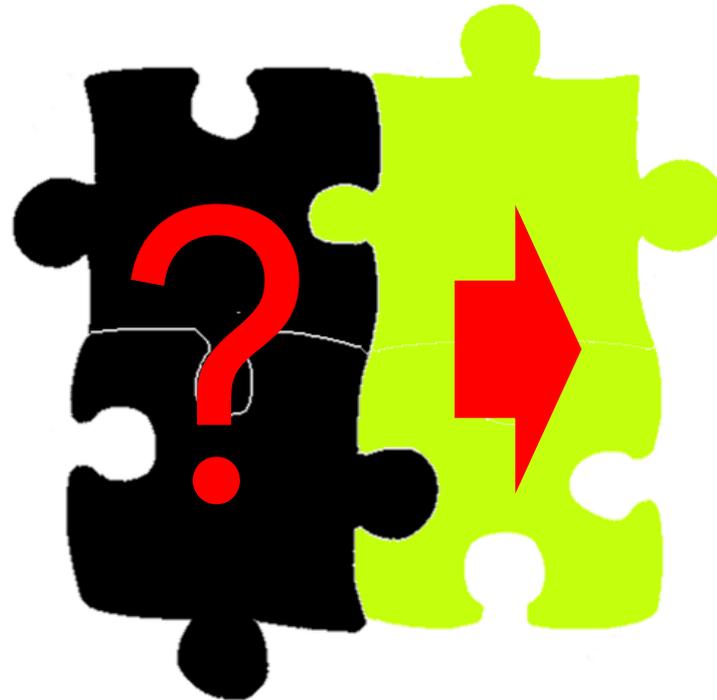
Come aumentare il grado di sostituzione del bitume naturale?



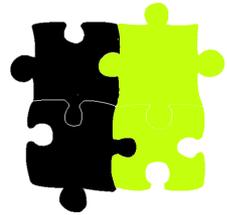
Integrazione con
prodotti ricavati da
plastica riciclata
(es. pirolisi)

La strada del futuro con il bitume

Come sopperire alle residue esigenze di bitume?



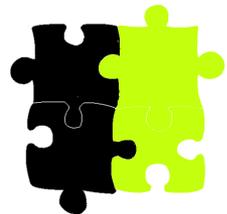
Esistono vaste
miniere di bitume
da sfruttare:
le nostre strade!



La strada del futuro con il bitume

Come sopperire alle residue esigenze di bitume?





La strada del futuro con il bitume

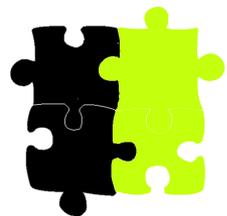
Come sopperire alle residue esigenze di bitume?

Conglomerato bituminoso fresato



Hot recycling: 30-50% di fresato di cui si **recupera solo parte del legante**

Cold recycling: 90-100% di fresato ma il **bitume** è considerato **inerte** e quindi **totalmente inutilizzato**



La strada del futuro con il bitume

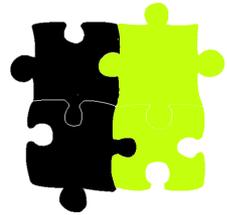


Come sopperire alle residue esigenze di bitume?

Conglomerato bituminoso fresato



Ricavare bitume e aggregati dal fresato con processi industriali ...
Punto di forza del bitume rispetto al cemento non riutilizzabile



La strada del futuro con il bitume

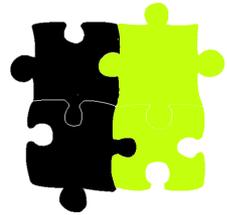


Come sopperire alle residue esigenze di bitume?

- Tentativi **basati sull'impiego di solventi non andati a buon fine** sono stati fatti nel passato (esperienza italiana di cui però non sono noti i dettagli tecnici)

RE.SOLUTION³
URBAN AND EXTRAURBAN RECYCLING SOLUTION

- Recenti interessanti soluzioni sono state proposte da uno studio giapponese in cui si mira alla **separazione della fase legante dal fresato mediante trattamento ad alta temperatura e pressione.**



La strada del futuro con il bitume

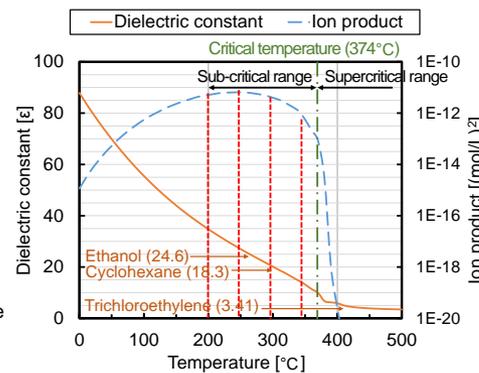
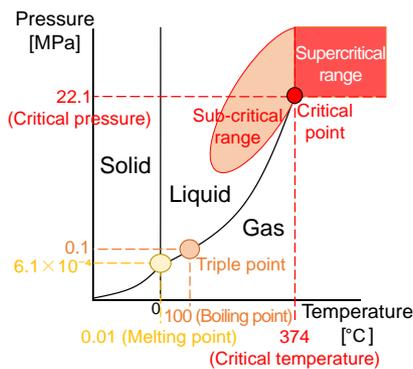


Es.: Recenti studi: idrolisi ad elevate T e P
(Akatsu, 2019)

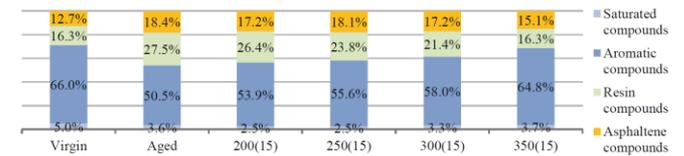


Ad elevate T e P l'acqua raggiunge proprietà simili a quelle di solventi organici favorendo la riduzione del peso molecolare e del grado di ossidazione del bitume invecchiato che tende a recuperare le proprietà chimiche e fisiche del bitume vergine.

Figure 1 Flow of separation recycling system



| | Virgin binder | Aged binder | Rehabilitated binder | | | |
|----------------------|---------------|-------------|----------------------|-------|-------|-------|
| | | | 200°C | 250°C | 300°C | 350°C |
| Penetration [0.1mm] | 68 | 20.3 | 26.0 | 28.7 | 33.7 | 60.3 |
| Softening point [°C] | 47.0 | 64.9 | 60.1 | 59.0 | 55.8 | 48.7 |
| Penetration index | -1.20 | 0.00 | -0.38 | -0.40 | -0.72 | -1.09 |
| Elongation [cm] | 100+ | 5.7 | 8.7 | 9.0 | 25.3 | 100+ |



Sommario

- Il secolo del bitume
- La strada del futuro senza bitume
- La strada del futuro con il bitume
- **Spunti e riflessioni**

Spunti e riflessioni

In generale:

- Il bitume è riutilizzabile il cemento no!
- La transizione verso i bio-leganti è già iniziata!
- Necessità di esperienze su scala reale
- Necessità di approcci ingegneristici migliori e di strumenti di analisi più potenti e “adattivi”

Inoltre:

- Esiste un modo per estrarre il bitume dal fresato?
- È conveniente? È sostenibile?

Spunti e riflessioni



Grazie per l'attenzione

