

Asphalt-Workshop

CAM STRADE

Bolzano, giovedì 5 dicembre 2024



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

INGEGNERIA CIVILE,
EDILE E AMBIENTALE
CIVIL, ENVIRONMENTAL AND
ARCHITECTURAL ENGINEERING



Pavimentazioni urbane chiare per la mitigazione delle isole di calore

Prof. Ing. Emiliano Pasquini, Ph.D.

emiliano.pasquini@unipd.it

AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL



PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO - ALTO ADIGE

PROVINCIA AUTONOMA DE BULSAN - SÜDTIROL



Ordine Ingegneri - Bolzano
Ingenieurkammer - Bozen

Università di Padova

Gruppo di ricerca “Strade, Ferrovie e Aeroporti”



Leader

Marco Pasetto

Full Professor



Emiliano Pasquini

Associate Professor



Augusto Cannone Falchetto

Associate Professor



Giovanni Giacomello

Assistant Professor



Andrea Baliello

Assistant Professor

Pavimentazioni urbane chiare per la mitigazione delle isole di calore

Prof. Ing. Emiliano Pasquini, Ph.D.

emiliano.pasquini@unipd.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

INGEGNERIA CIVILE,
EDILE E AMBIENTALE
CIVIL, ENVIRONMENTAL AND
ARCHITECTURAL ENGINEERING



Indice

Introduzione

- Contesto
 - Urban heat island
- Background teorico
 - Flusso di calore
 - Proprietà radiative
- CAM Strade
 - Proprietà radiative pavimentazioni

Ricerca @ UniPD

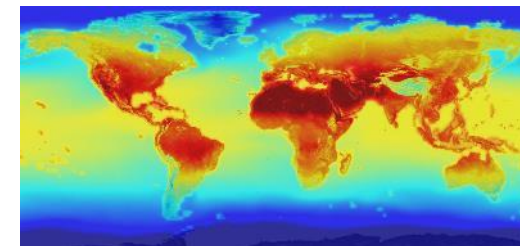
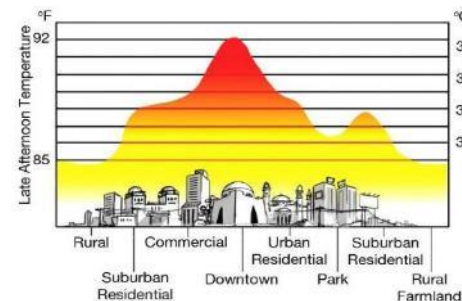
- Materiali
 - Aggregati
 - Leganti
 - Ossidi
 - Vernici superficiali
 - Miscele ad uso stradale
- Sperimentazione
 - Piano di lavoro
 - Analisi termiche
- Risultati
 - Analisi termiche
- Conclusioni
 - Indicazioni desunte dalla sperimentazione
- Bibliografia
 - Pubblicazioni scientifiche UniPD
- Sviluppi recenti
 - Campagna preliminare misure dirette di albedo



Contesto

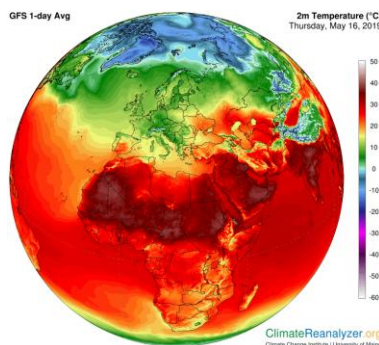
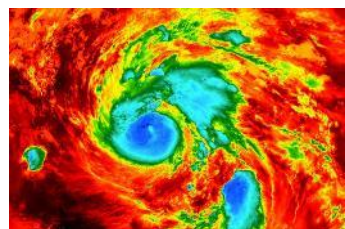
Urban Heat Island (UHI)

- Concentrazione di calore nelle aree urbane
- Città più calde rispetto alle regioni rurali circostanti

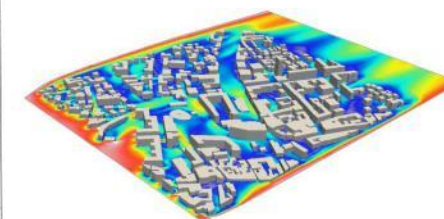
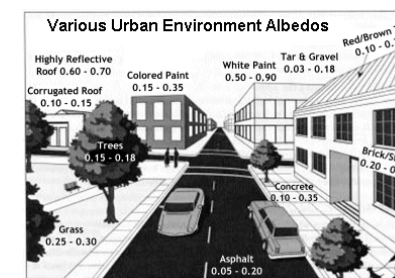
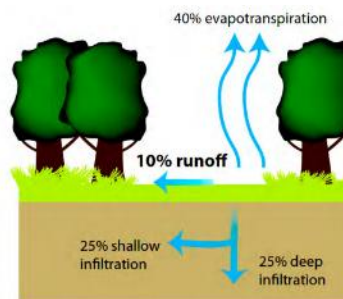
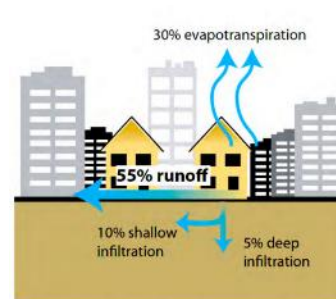


Cause

- Posizione (latitudine e altitudine)
- Clima regionale
- Meteo locale



- Urbanizzazione
 - Edifici vs. vegetazione
 - Geometria urbana
 - Materiali urbani
 - Calore antropogenico

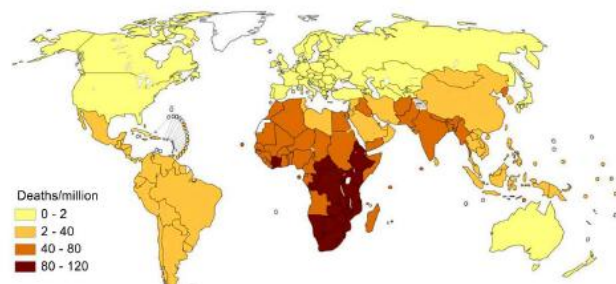
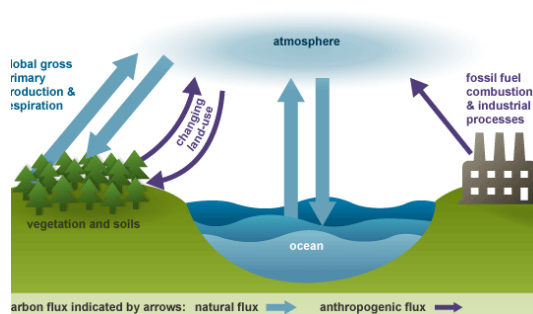


Contesto

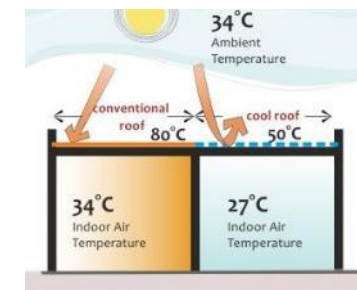
Urban Heat Island (UHI)

Effetti

- Impatti localizzati
 - Comfort
 - Salute umana



- Impatti globali
 - Onde anomale di calore
 - Riscaldamento globale
 - Emissioni gas – effetto serra
 - Ecosistema (fauna e flora)
 - Economia



Strategie di mitigazione

- Riduzione emissioni
- Geometria urbana
- Tetti verdi / eco-materiali
- **Strade chiare / colorate**



Background teorico

Flusso di calore

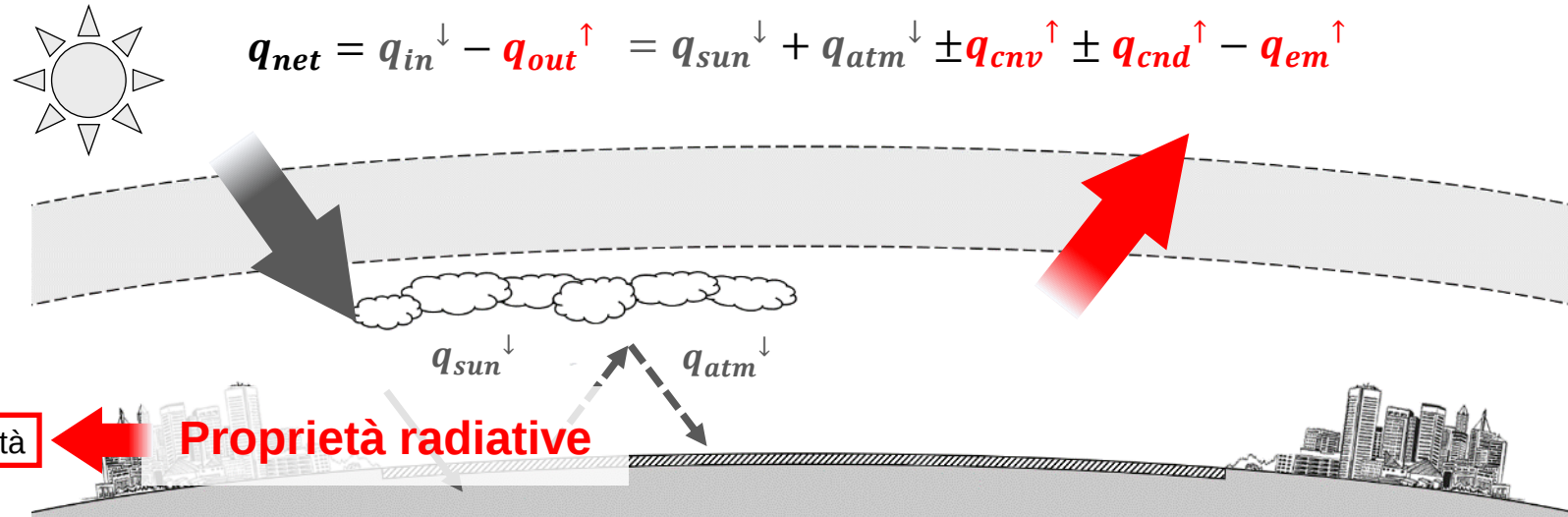
■ Bilancio radiativo superficiale

- q : tasso di flusso di calore [W/m^2]
- R_0 : costante radiativa del sole ($1394 W/m^2$)
- i : angolo di incidenza della radiazione [$^\circ$]
- τ_a : coefficiente specifico di trasmissione [$1/kg$]
- m, v : massa dell'aria, pressione di vapore
- **a, k, ϵ : albedo, conducibilità termica [$W/(m \cdot K)$], emissività**
- σ : costante di Stefan-Boltzman ($5.68 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^4$)
- h_c : coefficiente convettivo [$W/(m^2 \cdot K)$]
- T_{air} : temperatura dell'aria
- T_{surf} : temperatura della superficie
- T_d : temperature del corpo irradiato alla profondità d

— UV (ultravioletti): onde corte

- - - IR (infrarossi): onde lunghe

Solaimanian, M. & Kennedy, T. W. (1993). Predicting maximum pavement surface temperature using maximum air temperature and hourly solar radiation. Transportation Research Record, 1417, 1–11.



q solare – Assorbita

Diretta: UV (+)

$$q_{sun}^{\downarrow} = R_0 \cos i \tau_a m (1 - a)$$

Q fenomeni convettivi

Di transito: UV ($\pm$)

$$q_{cnv}^{\uparrow} = h_c (T_{surf} - T_{air})$$

q atmosferica – Assorbita

Diffusa: IR (+)

$$q_{atm}^{\downarrow} = (0.77 - 0.28 \times 10^{-0.074 v}) \sigma T_{air}^4$$

Q fenomeni conduttivi

Di transito: UV ($\pm$)

$$q_{cnd}^{\uparrow} = k (T_d - T_{surf}) / d$$

Q emessa

Dalla sup.: IR ($\pm$)

$$q_{em}^{\uparrow} = \epsilon \sigma T_{surf}^4$$

Background teorico

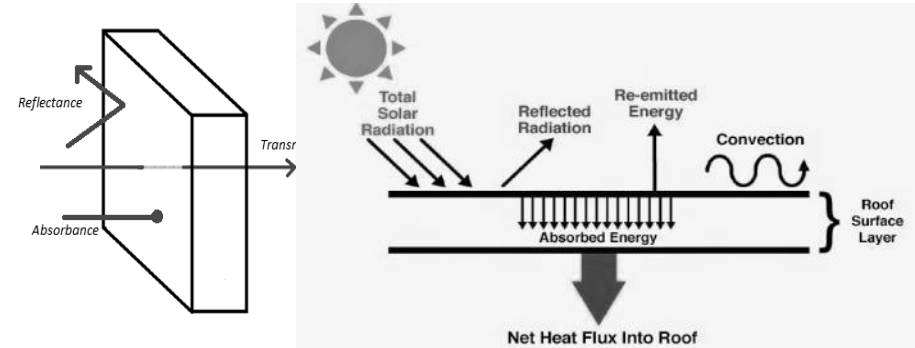
Proprietà radiative

■ Emissività superficiale, ε

- Rapp. tra radiazione emessa dalla superficie e quella emessa dal corpo nero ideale alla stessa T
- Varia da 0 a 1 (tendenza della superficie ad approssimare il corpo nero)
- Dipende da: T, lunghezza d'onda, direzione radiazione
- Per materiali da costruzioni: proprietà intrinseca del materiale

$$\varepsilon(T) = \frac{E(T)}{E_n(T)} = \frac{E(T)}{\sigma T^4}$$

$$E(T) = \varepsilon(T) \cdot \sigma \cdot T^4$$



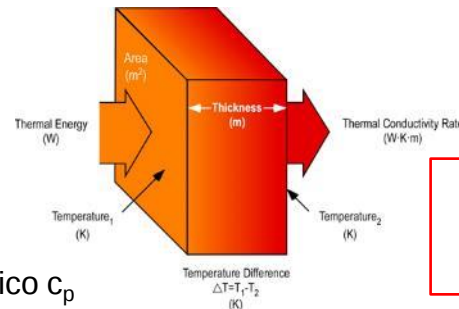
■ Albedo, a

- Coeff. di riflessione: parte di radiazione riflessa dal corpo (varia tra 0 e 1)
- E' considerata una proprietà intrinseca del materiale
- Dipende anche da colore e opacità della superficie

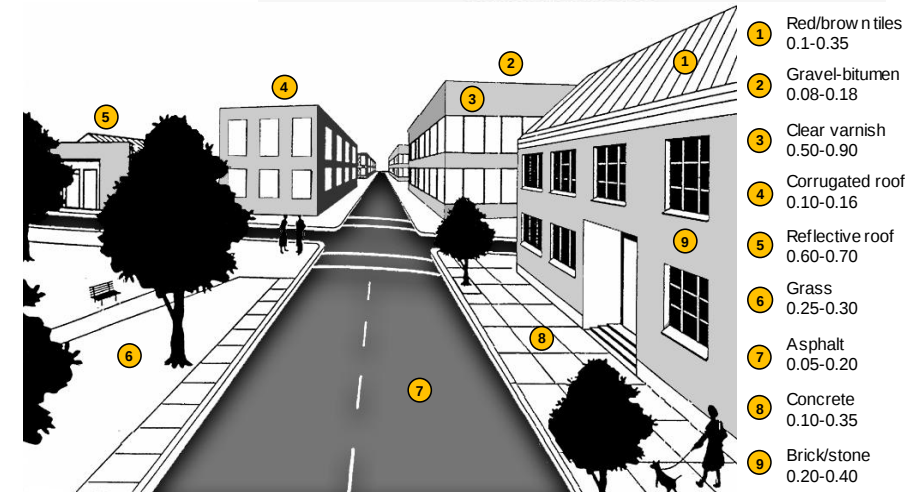
$$a = \frac{G_{ref}}{G}$$

■ Conduttività termica, k

- [W/m·K] Indice della tendenza a condurre il calore
- Proprietà intrinseca del materiale
- Dipende da diffusività λ_m , densità ρ_m e calore specifico c_p



$$\lambda_m = \frac{k}{\rho_m \cdot c_p}$$





CAM Strade

Proprietà radiative pavimentazioni

Requisiti in ambito urbano

2.2 SPECIFICHE TECNICHE PER L’AFFIDAMENTO DEL SERVIZIO DI PROGETTAZIONE DI INFRASTRUTTURE STRADALI

...

2.2.1 Sostenibilità ambientale dell’opera

...

Inoltre, per i progetti di **nuove strade urbane di tipo F e F-bis** è previsto l’impiego di soluzioni progettuali che conseguano un indice di riflessione solare (**Solar Reflectance Index, SRI**) **maggiore o uguale a 20**, misurata tra 30 e 90 giorni dall’apertura al traffico, conformemente alla norma tecnica ASTM E1980-11(2019) Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces.

Per le **aree di sosta o stazionamento, parcheggi, piste ciclabili, marciapiedi, piazze e di percorsi pedonali** è previsto, invece, l’impiego di soluzioni progettuali che conseguano un indice di riflessione solare (**Solar Reflectance Index, SRI**) **maggiore o uguale a 29**.

...

CAM Strade

Proprietà radiative pavimentazioni

Solar Reflectance Index (SRI) – ASTM E1980

Approccio I (standard solar and ambient conditions)

$$SRI = 100 \frac{T_b - T_s}{T_b - T_w}$$

b = reference black surface ($\alpha = 0.05 - \varepsilon = 0.9$)

w = reference white surface ($\alpha = 0.80 - \varepsilon = 0.9$)

s = superficie di prova

$$T_s = 309.07 + \frac{(1066.07\alpha - 31.98\varepsilon)}{(6.78\varepsilon + h_c)} - \frac{(890.94\alpha^2 + 2153.86\alpha\varepsilon)}{(6.78\varepsilon + h_c)^2}$$

h_c = coefficiente convettivo

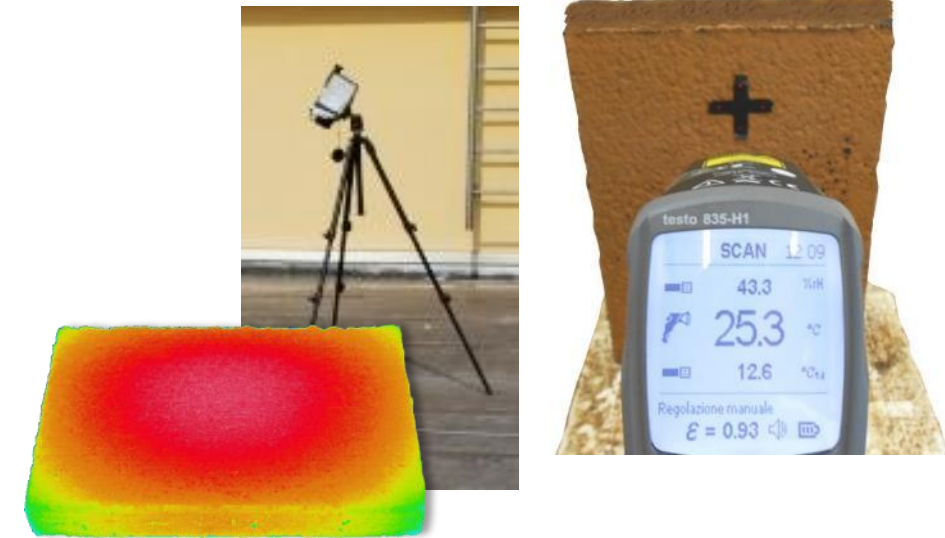
ε = **thermal emissivity**

α = solar absorbance (= $1 - a$)

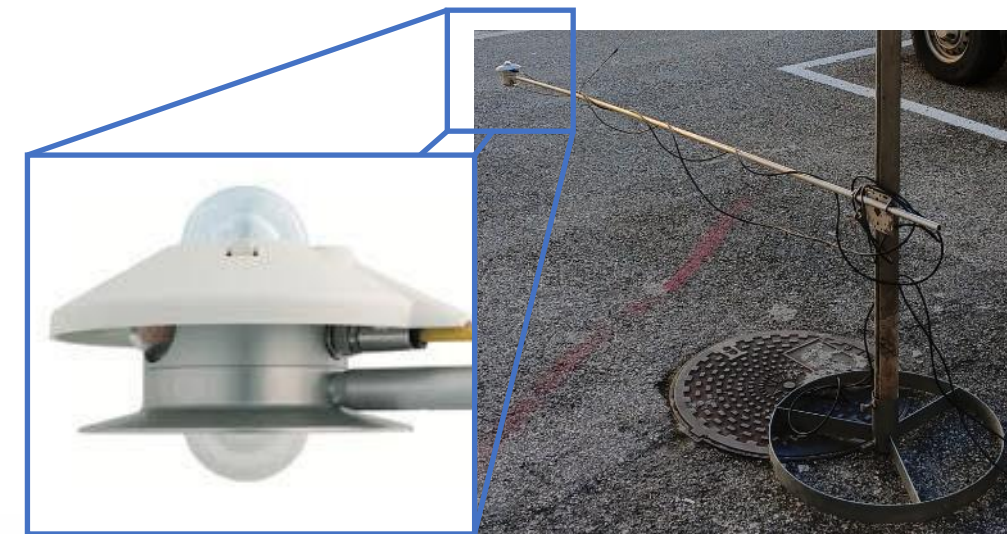
$\rightarrow a$ = **solar reflectance (albedo)**

Velocità del vento	h_c [W/(m ² ·K)]
Bassa: < 2 m/s	5
Media: 2-6 m/s	12
Alta: 6-10 m/s	30

$\varepsilon \rightarrow$ termocamera o pirometro



$a \rightarrow$ albedometro (coppia di piranometri)



CAM Strade

Proprietà radiative pavimentazioni

Solar Reflectance Index (SRI) – ASTM E1980

Approccio II (standard solar and ambient conditions)

$$SRI = 123.97 - 141.35\chi + 9.655\chi^2$$

$$\chi = \frac{(\alpha - 0.029\varepsilon)(8.797 + h_c)}{9.5205\varepsilon + h_c}$$

h_c = coefficiente convettivo

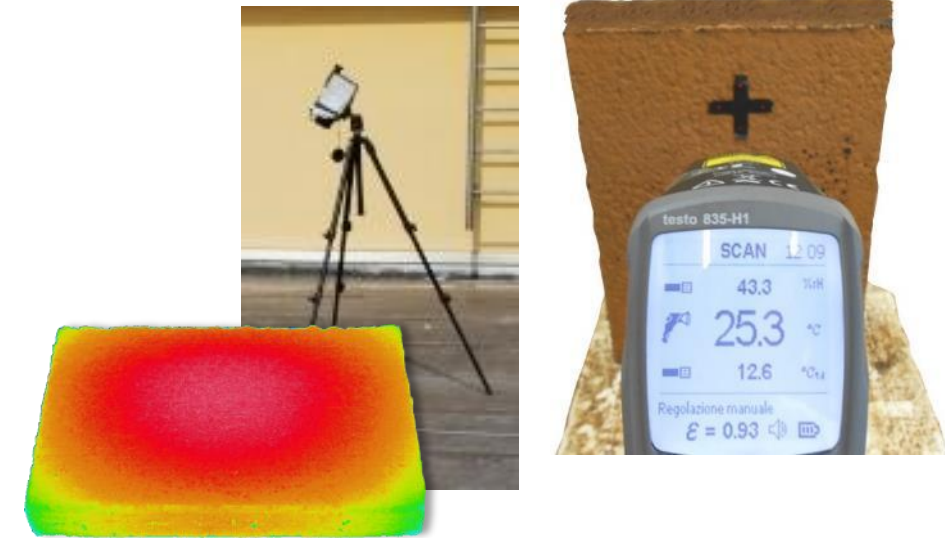
ε = **thermal emissivity**

α = solar absorbance (= 1 – a)

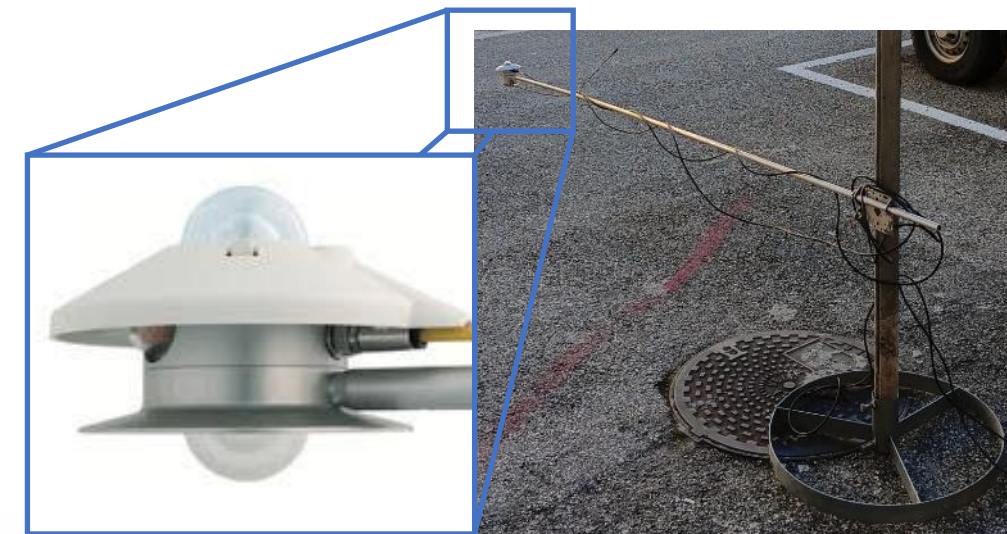
→ **a = solar reflectance (albedo)**

Velocità del vento	h_c [W/(m ² ·K)]
Bassa: < 2 m/s	5
Media: 2-6 m/s	12
Alta: 6-10 m/s	30

ε → termocamera o pirometro



a → albedometro (coppia di piranometri)



CAM Strade

Proprietà radiative pavimentazioni

Solar Reflectance Index (SRI) – ASTM E1980

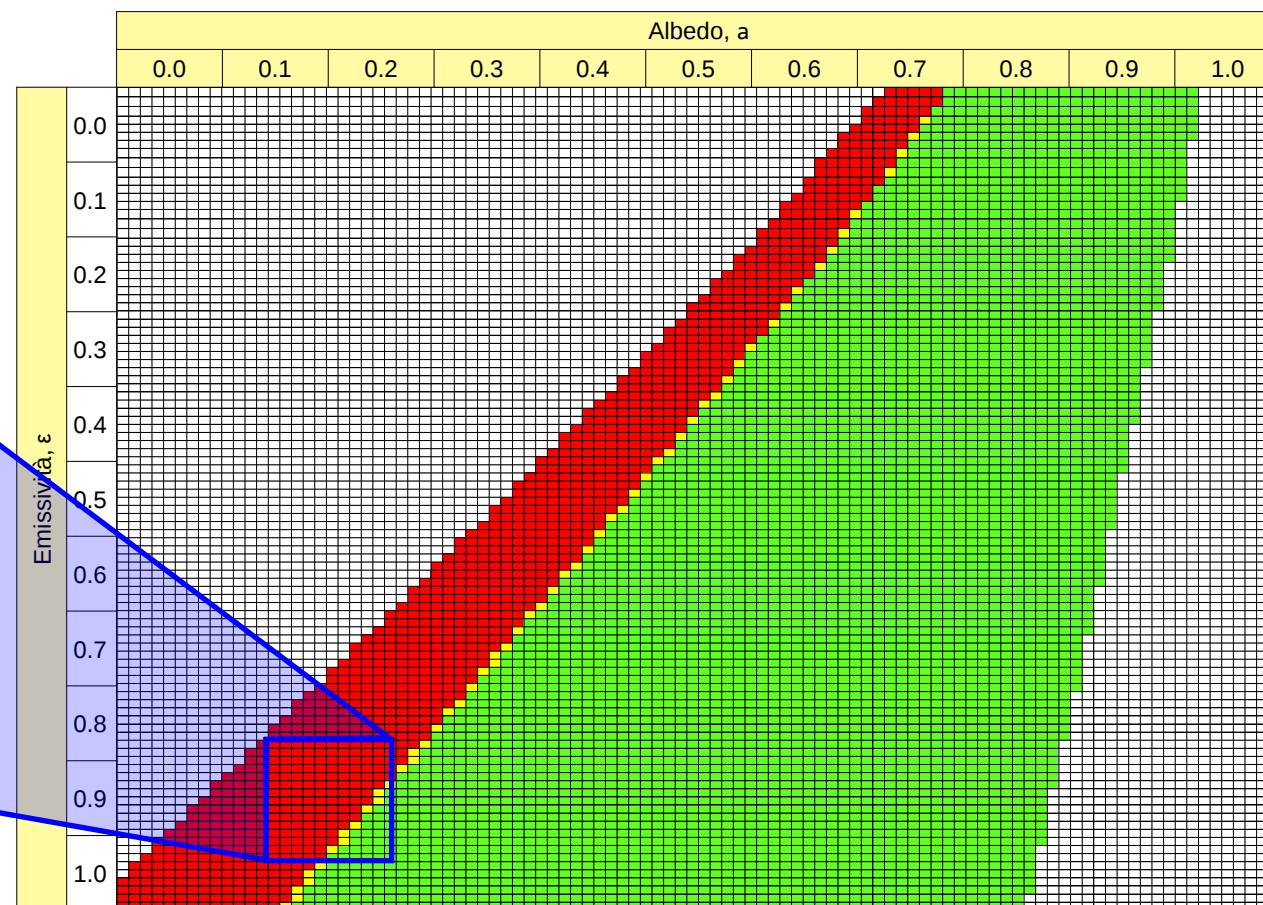
■ : SRI < 20

■ : SRI = 20

■ : SRI > 20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26

■ $h_c = 5.0 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$ (velocità vento < 2 m/s)



CAM Strade

Proprietà radiative pavimentazioni

Solar Reflectance Index (SRI) – ASTM E1980

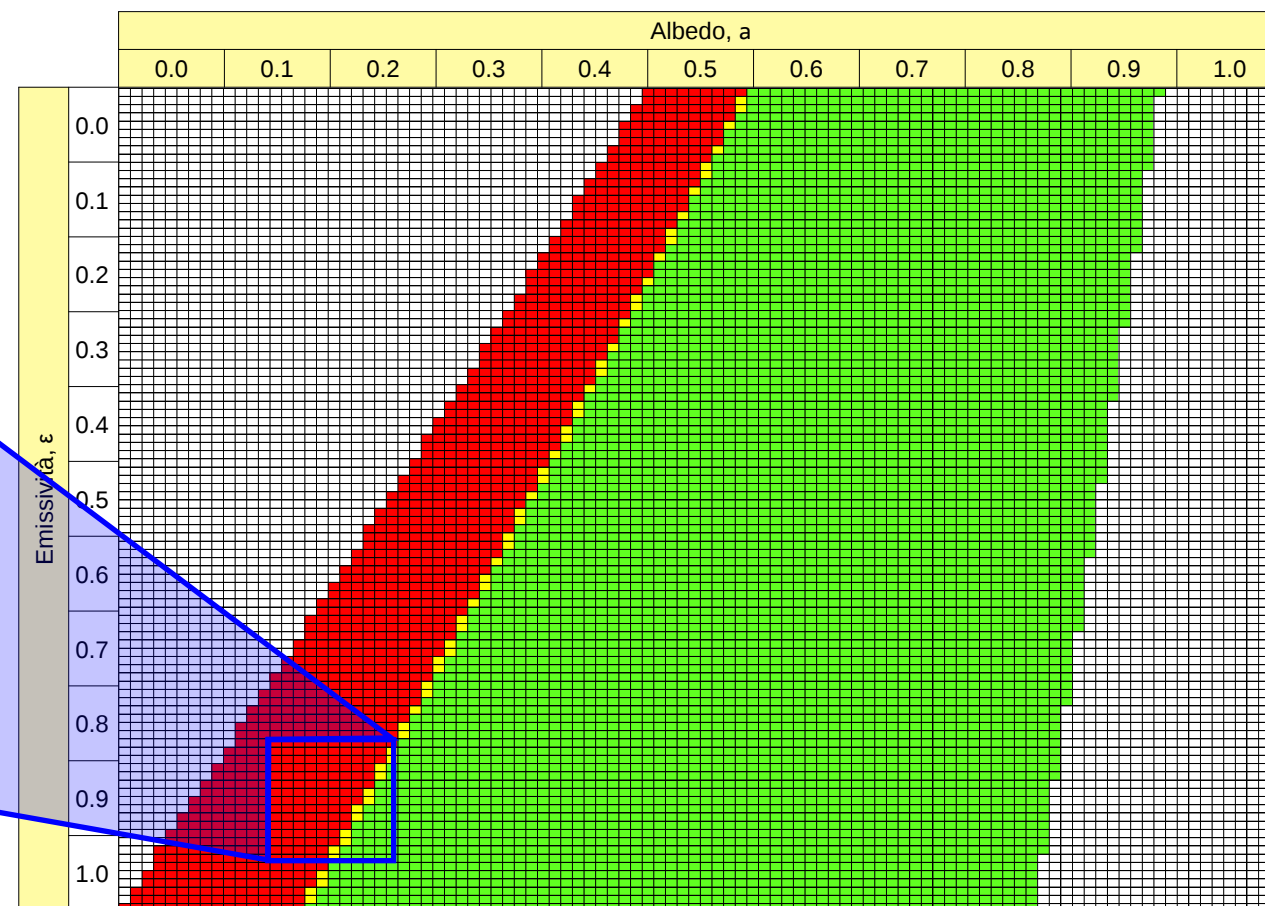
■ : SRI < 20

■ : SRI = 20

■ : SRI > 20

6	8	9	10	12	13	15	16	17	19
7	8	10	11	12	14	15	16	18	19
8	9	10	12	13	14	16	17	18	20
8	10	11	12	14	15	16	18	19	20
9	10	11	13	14	15	17	18	19	21
9	11	12	13	15	16	17	19	20	21
10	11	13	14	15	16	18	19	20	22
10	12	13	14	16	17	18	20	21	22
11	12	14	15	16	18	19	20	21	23
12	13	14	15	17	18	19	21	22	23
12	13	15	16	17	19	20	21	22	24
13	14	15	17	18	19	20	22	23	24
13	14	16	17	18	20	21	22	23	25
14	15	16	18	19	20	21	23	24	25
14	16	17	18	19	21	22	23	24	26
15	16	17	19	20	21	22	24	25	26

■ $h_c = 12.0 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$ (velocità vento: 2÷6 m/s)



CAM Strade

Proprietà radiative pavimentazioni

Solar Reflectance Index (SRI) – ASTM E1980

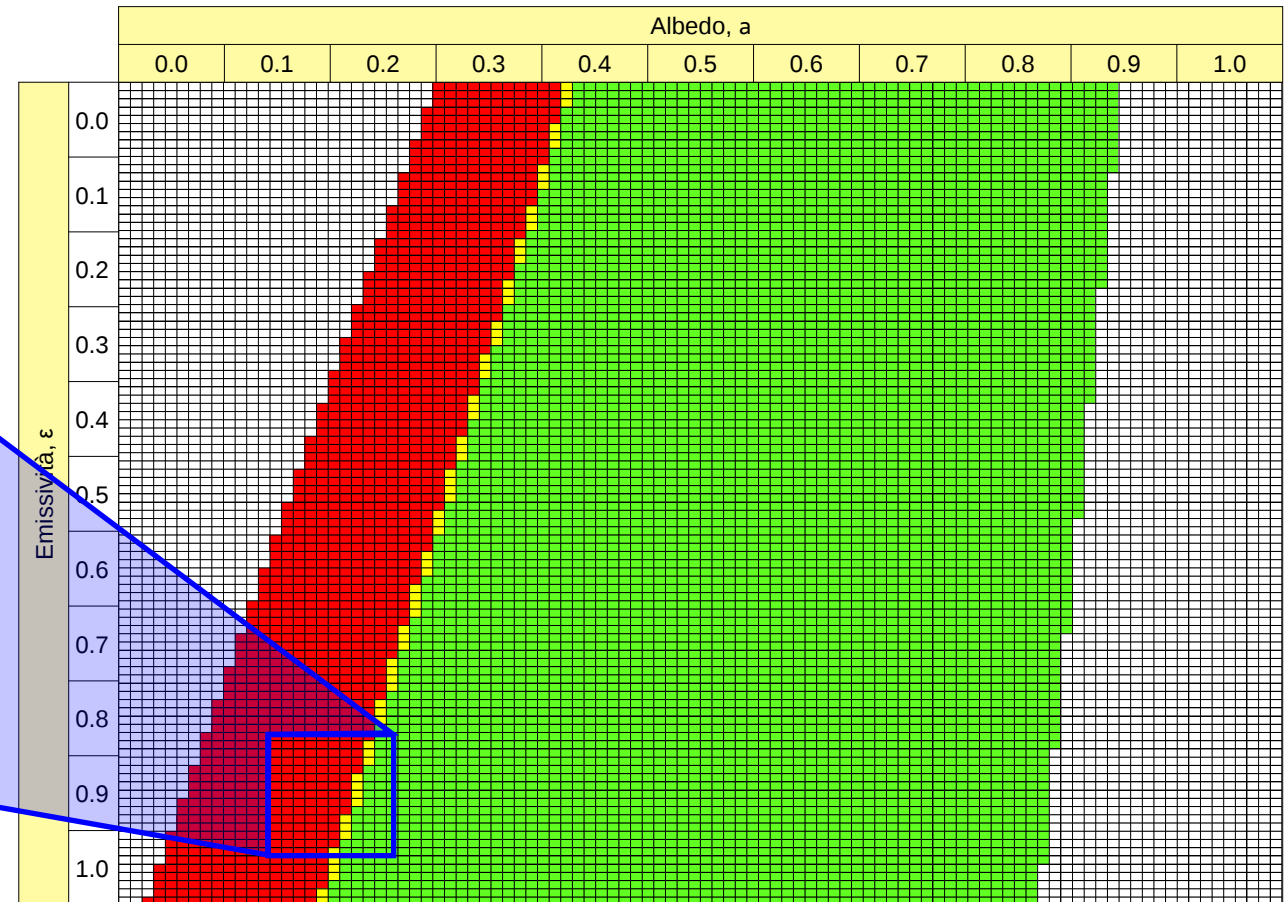
■ : SRI < 20

■ : SRI = 20

■ : SRI > 20

8	9	10	12	13	14	16	17	18	20
8	9	11	12	13	15	16	17	19	20
8	10	11	12	14	15	16	18	19	20
9	10	11	13	14	15	17	18	19	21
9	10	12	13	14	16	17	18	20	21
9	11	12	13	15	16	17	19	20	21
10	11	12	14	15	16	18	19	20	21
10	11	13	14	15	16	18	19	20	22
10	11	13	14	15	17	18	19	21	22
10	12	13	14	16	17	18	20	21	22
11	12	13	15	16	17	19	20	21	23
11	12	14	15	16	18	19	20	22	23
11	13	14	15	17	18	19	21	22	23
12	13	14	16	17	18	20	21	22	23
12	13	15	16	17	19	20	21	22	24
12	14	15	16	18	19	20	21	23	24

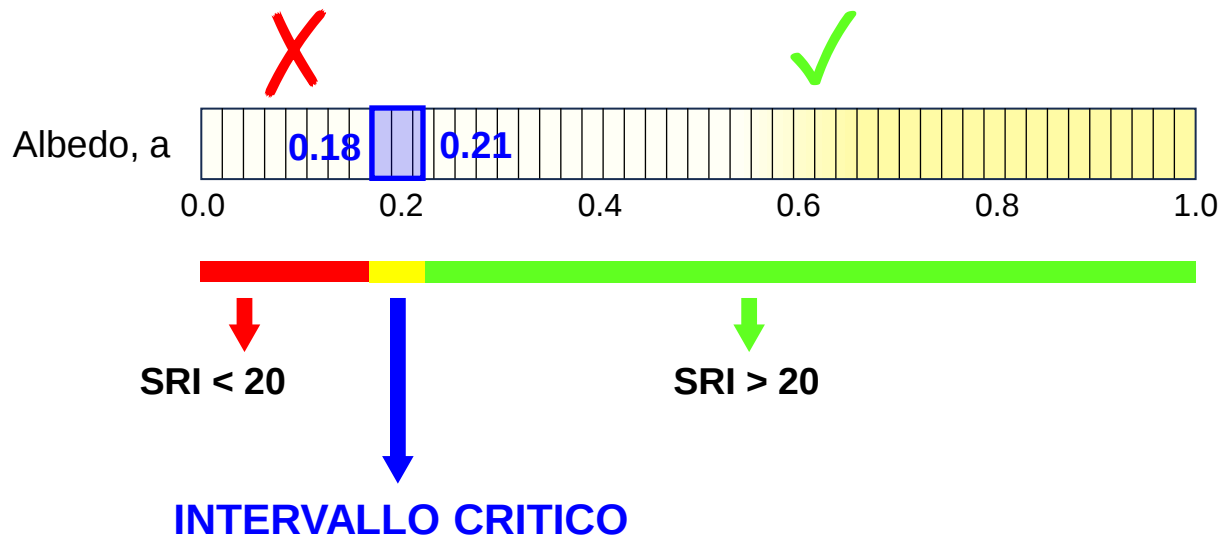
■ $h_c = 30.0 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$ (velocità vento: 6÷10 m/s)



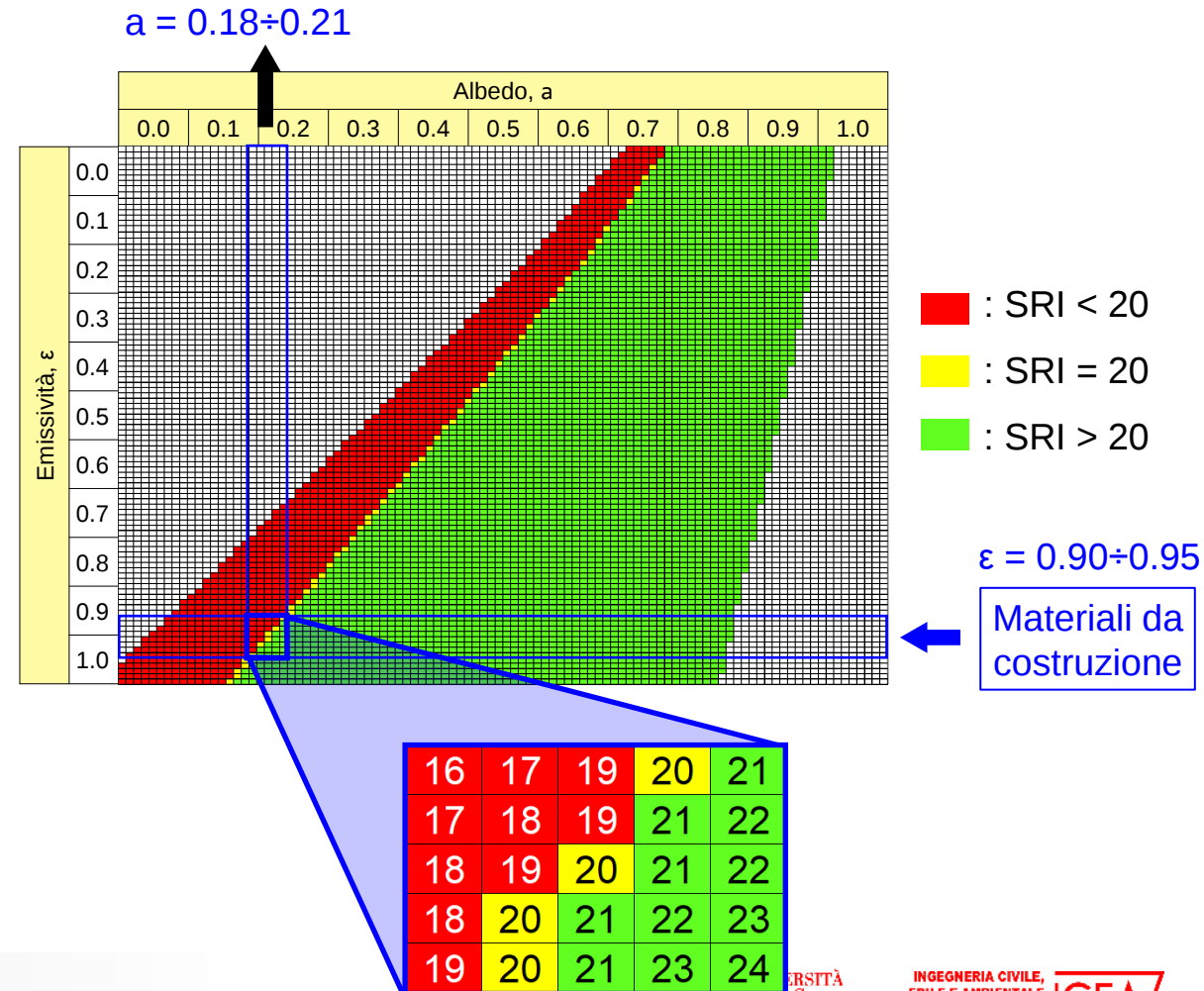
CAM Strade

Proprietà radiative pavimentazioni

Solar Reflectance Index (SRI) – ASTM E1980



- $h_c = 5.0 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$ (velocità vento < 2 m/s)





Ricerca @ UniPD

Progetto di Ricerca



TITOLO

«L'analisi termica delle pavimentazioni stradali»

OBIETTIVI

- Caratterizzazione sperimentale per la determinazione delle caratteristiche e delle performance termiche di pavimentazioni ad uso stradale confezionate con materiali chiari/colorati
- Caratterizzazione meccanica preliminare delle miscele



Materiali

Aggregati

- **D/d**: pezzatura
- **I.F.**: indice di forma
- **I.A.**: indice di appiattimento
- **E.S.**: equivalente in sabbia
- ρ_m : massa volumica in mucchio
- ρ_r : massa volumica reale
- ρ_a : massa volumica apparente
- **L.A.**: coefficiente Los Angeles
- **LL**: limite liquido (Atterberg)
- **LP**: limite plastico (Atterberg)
- **IP**: indice di plasticità (Atterberg)

	D/d [mm]	I.F. [%]	I.A. [%]	E.S. [%]
	---	UNI EN 933-4	UNI EN 933-3	UNI EN 933-8
Calcare	0/4	---	---	73
	4/8	13	11	---
	8/12	7	12	---
	12/20	11	14	---
	0/2	---	---	85
Bianco Botticino	0/2	---	---	96
	3/6	---	23	96
	5/9	24	18	---
	6/9	18	18	---
	0/2	---	---	23
Rosa Corallo	2/4	---	17	63
	2/8	10	16	62
	4/10	9	11	---
	0/2	---	---	31
Giallo Siena	2/4	---	19	59
	2/8	10	17	93
	4/10	23	16	---
	0/2	---	---	31

	ρ_m [Mg/m³]	ρ_r [Mg/m³]	ρ_a [Mg/m³]	L.A. [%]	LL [%]	LP [%]	IP [-]
	UNI EN 1097-3	UNI EN 1097-7	UNI EN 1097-6	UNI EN 1097-2	UNI CEN ISO 17892-12		
Calcare	1.39	2.80	2.70	21	N.D.	N.D.	N.D.
Bianco Botticino	1.34	2.76	2.44	31	18	16	2
Rosa Corallo	1.33	2.65	2.37	28	20	15	5
Giallo Siena	1.31	2.79	2.42	31	17	16	1

Calcare



0/4



4/8



8/12



12/20

Bianco Botticino



0/2



0/2



3/6



5/9



6/9

Rosa Corallo



0/2



2/4



2/8



4/10

Giallo Siena



0/2



2/4



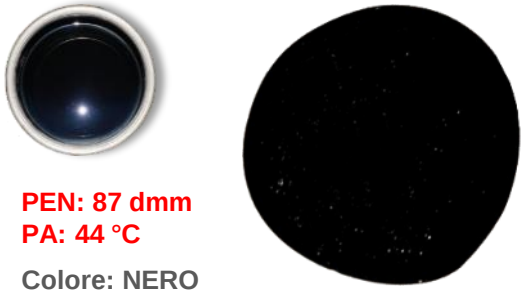
2/8



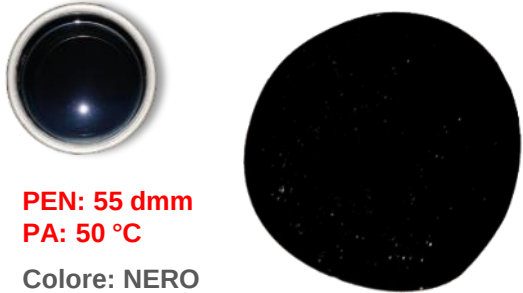
4/10

Materiali Leganti

■ Bitume 70/100 (Riferimento)



■ Bitume Hard (Riferimento)



■ Resina sintetica



Legante sintetico trasparente per conglomerati colorati

- PEN: penetrazione a 25 °C
- PEN*: penetrazione a 25 °C dopo RTFOT
- RAMM: punto di rammollimento
- RAMM*: punto di rammollimento dopo RTFOT
- DUT: duttilità a 25 °C
- RE: ritorno elastico
- FR: punto di rottura Fraass

		Bitume 70/100	Bitume Hard	Resina Sintetica
PEN [dmm]	UNI EN 1426	87	55	69
PEN* [dmm]	UNI EN 1426	46	27	54
RAMM [°C]	UNI EN 1427	44	50	61
RAMM* [°C]	UNI EN 1427	51	56	64
DUT [cm]	ASTM D 113	100	100	21
RE [%]	UNI EN 13398	6	83	91
FR [°C]	UNI EN 12593	-9	-6	-7

Materiali

Ossidi

- Pigmenti coloranti (in pasta)

Ossidi inorganici per conglomerati bituminosi colorati



OSSIDO
Colore: ROSSO
Ossido di ferro



OSSIDO
Colore: VERDE
Ossido di cromo



OSSIDO
Colore: BIANCO
Biossido di titanio rutilo



OSSIDO
Colore: GIALLO
Ossido di ferro

Granuli cilindrici; 2–6 % sul peso degli aggregati; temperature di fusione: 90–120 °C; densità apparenti: 1.10–1.50 g/cm³

Vernici superficiali

- Malte
- Resine

Malte



MALTE
Colori: ROSSO/AZZURRO/SENAPE/VERDE

T appl.: 15–35 °C
Diluizione: 5–15%
Dose: 2.0–3.0 kg/mq

ρ: 1.65–1.75 g/cm³
Visc. 25 °C: 1740 cP
Aspetto: viscoso

Resine



RESINE
Colori: ROSSO/BLU/GIALLO/VERDE

T appl.: 15–35 °C
Diluizione: 5–15%
Dose: 2.0 kg/mq

ρ: 1.25–1.35 g/cm³
Aspetto: pastoso
Non infiammabile



Materiali

Miscele ad uso stradale

- Miscele nere (Riferimento)
- Miscele colorate (ossidi in pasta)
- Miscele chiare con resina
- Miscele bituminose verniciate



Materiali

Miscele ad uso stradale

- Miscele nere (Riferimento)
- Miscele colorate (ossidi in pasta)
- Miscele chiare con resina
- Miscele bituminose verniciate

Campioni:

- Lastre (EN 12697-33): 300 x 400 x 50 mm
- C. Marshall (EN 12697-30): $\Phi = 100$ mm

Leganti:

- Bitume 70/100
- Bitume Hard



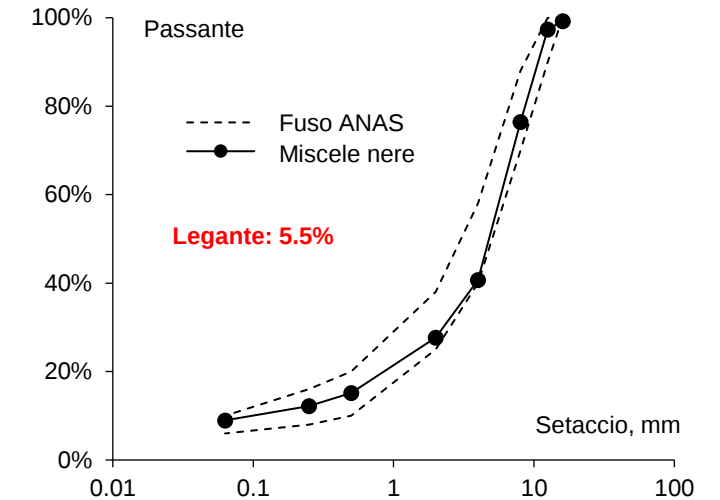
Aggregato:

- Calcare



Ottimizzazione Marshall 70/100:

	4.5 %	5.0 %	5.5 %
Stab.	7.86 kN	7.22 kN	9.85 kN
Scorr.	6.6 mm	4.3 mm	4.1 mm
Rigid.	1.37 kN/mm	1.17 kN/mm	2.53 kN/mm
Vuoti	6.91 %	7.43 %	4.70 %
Densità	2.317 Mg/m ³	2.287 Mg/m ³	2.337 Mg/m ³



CODICI:

CCB71
70/100 + Calcare

CCBH
Hard + Calcare

Materiali

Miscele ad uso stradale

- Miscele nere (Riferimento)
- Miscele colorate (ossidi in pasta)
- Miscele chiare con resina
- Miscele bituminose verniciate

Risultati Marshall, 70/100 con ossido:

Rig.	Vuoti	Densità
1.37 kN/mm	6.91 %	2.317 Mg/m ³

Campioni:

- Lastre (EN 12697-33): 300 x 400 x 50 mm
- C. Marshall (EN 12697-30): $\Phi = 100$ mm

Leganti:

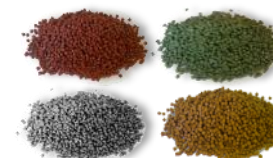
- Bitume 70/100
- Bitume Hard

Aggregato:

- Calcare

Coloranti in pasta:

- Ossidi (pellets)



Bitume 70/100



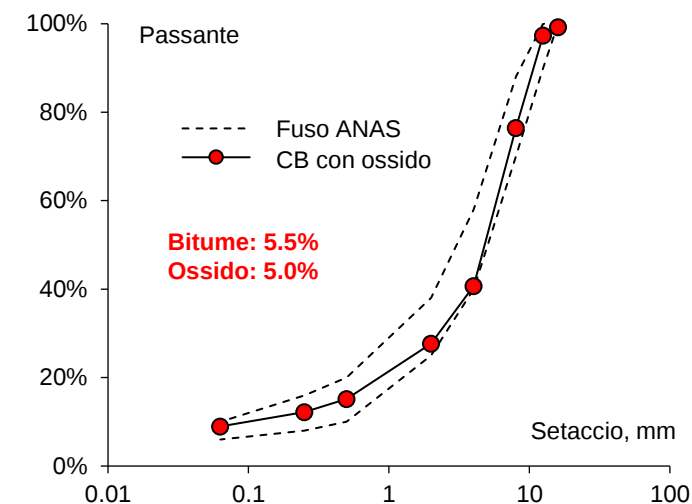
CODICI:

CCB71OR
con Ossido Rosso

CCB71OV
con Ossido Verde

CCB71OB
con Ossido Bianco

CCB71OG
con Ossido Giallo



Bitume Hard



CODICI:

CCBHOR
con Ossido Rosso

CCBHOV
con Ossido Verde

CCBHOB
con Ossido Bianco

CCBHOG
con Ossido Giallo

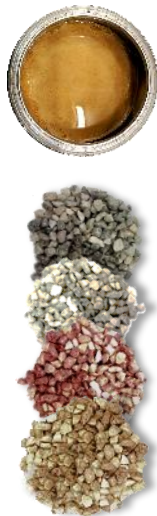
- # Materiali
- ## Miscele ad uso stradale
- Miscele nere (Riferimento)
 - Miscele colorate (ossidi in pasta)
 - Miscele chiare con resina
 - Miscele bituminose verniciate

Legante:

- Resina sintetica

Aggregati:

- Calcare
- Bianco Botticino
- Rosa Corallo
- Giallo Siena

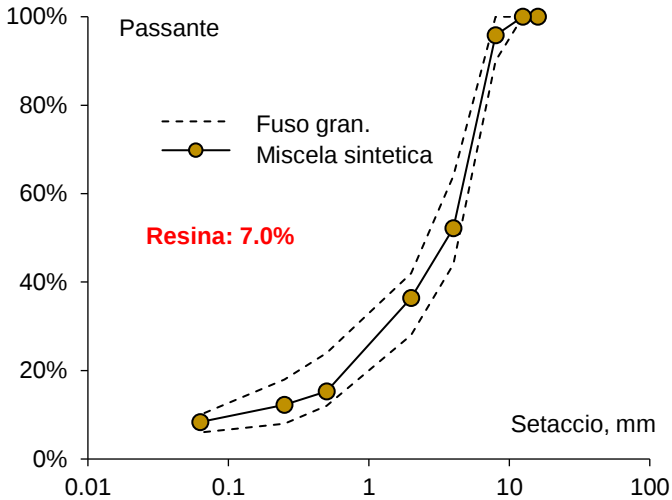


Ottimizzazione Marshall Resina + Calcare:

	6.0 %	6.5 %	7.0 %
Stab.	4.45 kN	4.73 kN	6.02 kN
Scorr.	5.91 mm	4.72 mm	4.94 mm
Rigid.	0.76 kN/mm	1.01 kN/mm	1.26 kN/mm
Vuoti	8.86 %	6.35 %	5.97 %
Densità	2.080 Mg/m³	2.238 Mg/m³	2.265 Mg/m³

Campioni:

- Lastre (EN 12697-33): 300 x 400 x 50 mm
- C. Marshall (EN 12697-30): $\Phi = 100$ mm



Resina sintetica



- CODICI:
- CCT con Calcare
 - CBT con Bianco Botticino
 - CRT con Rosa Corallo
 - CGT con Giallo Siena

Materiali

Miscele ad uso stradale

- Miscele nere (Riferimento)
- Miscele colorate (ossidi in pasta)
- Miscele chiare con resina
- Miscele bituminose verniciate

Legante:

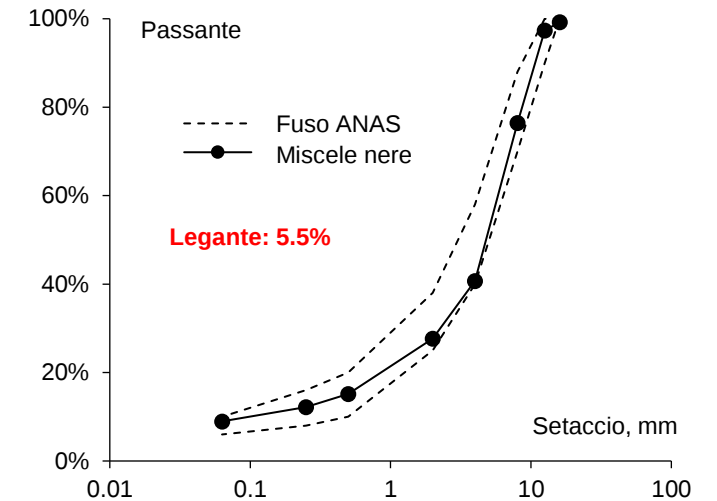
- Bitume 70/100

Aggregato:

- Calcare

Vernici:

- Malte
- Resine



Bitume 70/100



CODICI:

CCB71MR
con Malta Rossa

CCB71MV
con Malta Verde

CCB71MG
con Malta Senape

CCB71MB
con Malta Azzurra

Bitume 70/100



CODICI:

CCB71RR
con Resina Rossa

CCB71RV
con Resina Verde

CCB71RG
con Resina Gialla

CCB71RB
con Resina Blu

Campioni:

- Lastre (EN 12697-33): 300 x 400 x 50 mm

Materiali

Miscele ad uso stradale

- 1) C: conglomerato
- 2) C / B / R / G: Calcare / Bianco Botticino / Rosa Corallo / Giallo Siena
- 3) B71 / BH / T: Bitume 70/100 / Bitume Hard / Legante Trasparente
- 4) O / M / R: Ossido / Malta / Resina
- 5) R / V / B / G / B: Rosso / Verde / Blu / Giallo / Bianco

1/2

Riepilogo Miscele

											
Codice:	CCB71	CCBH	CCB71OR	CCB71OV	CCB71OB	CCB71OG	CCBHOR	CCBHOV	CCBHOB	CCBHOG	CCT
Legante:	Bit. 70/100 (5.5 % by a.w.)	Bit. Hard (5.5 % by a.w.)	Bit. 70/100 (5.5 % by a.w.)	Bit. 70/100 (5.5 % by a.w.)	Bit. 70/100 (5.5 % by a.w.)	Bit. 70/100 (5.5 % by a.w.)	Bit. Hard (5.5 % by a.w.)	Bit. Hard (5.5 % by a.w.)	Bit. Hard (5.5 % by a.w.)	Bit. Hard (5.5 % by a.w.)	Resina (7.0 % by a.w.)
Aggregato:	Calcare	Calcare	Calcare	Calcare	Calcare	Calcare	Calcare	Calcare	Calcare	Calcare	Calcare
Ossido:	X	X	✓ Rosso (5.0 % by a.w.)	✓ Verde (5.0 % by a.w.)	✓ Bianco (5.0 % by a.w.)	✓ Giallo (5.0 % by a.w.)	✓ Rosso (5.0 % by a.w.)	✓ Verde (5.0 % by a.w.)	✓ Bianco (5.0 % by a.w.)	✓ Giallo (5.0 % by a.w.)	X
Vernice:	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Colore Finale:	Nero	Nero	Rossastro	Verdastro	Grigio	Giallastro	Rossastro	Verdastro	Grigio	Giallastro	Nocciola

Materials

Miscele ad uso stradale

- 1) C: conglomerato
- 2) C / B / R / G: Calcare / Bianco Botticino / Rosa Corallo / Giallo Siena
- 3) B71 / BH / T: Bitume 70/100 / Bitume Hard / Legante Trasparente
- 4) O / M / R: Ossido / Malta / Resina
- 5) R / V / B / G / B: Rosso / Verde / Blu / Giallo / Bianco

2/2

Riepilogo Miscele

											
Codice:	CBT	CRT	CGT	CCB71MR	CCB71MB	CCB71MG	CCB71MV	CCB71RR	CCB71RB	CCB71RG	CCB71RV
Legante:	Resina (7.0 % by a.w.)	Resina (7.0 % by a.w.)	Resina (7.0 % by a.w.)	Bit. 70/100 (5.5 % by a.w.)	Bit. 70/100 (5.5 % by a.w.)	Bit. 70/100 (5.5 % by a.w.)	Bit. 70/100 (5.5 % by a.w.)	Bit. 70/100 (5.5 % by a.w.)	Bit. 70/100 (5.5 % by a.w.)	Bit. 70/100 (5.5 % by a.w.)	Bit. 70/100 (5.5 % by a.w.)
Aggregato:	B. Botticino	R. Corallo	G. Siena	Calcare	Calcare	Calcare	Calcare	Calcare	Calcare	Calcare	Calcare
Ossido:	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Vernice:	X	X	X	✓ Malta (2.0 kg/mq)	✓ Malta (2.0 kg/mq)	✓ Malta (2.0 kg/mq)	✓ Malta (2.0 kg/mq)	✓ Resina (2.0 kg/mq)	✓ Resina (2.0 kg/mq)	✓ Resina (2.0 kg/mq)	✓ Resina (2.0 kg/mq)
Colore Finale:	Crema	Rosa	Giallino	Rosso	Azzurro	Senape	Verde	Rosso	Blu	Giallo	Verde

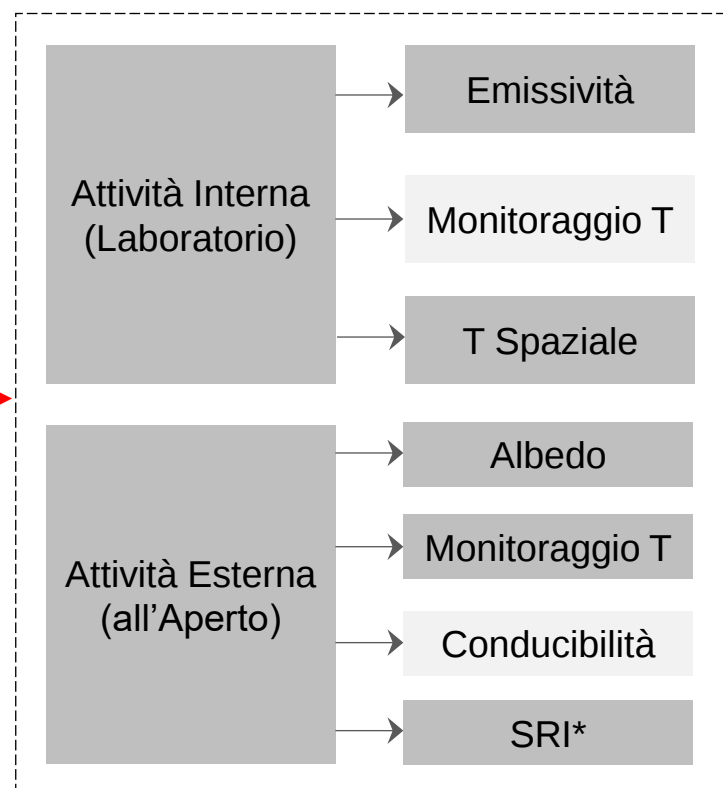
Sperimentazione

Piano di lavoro

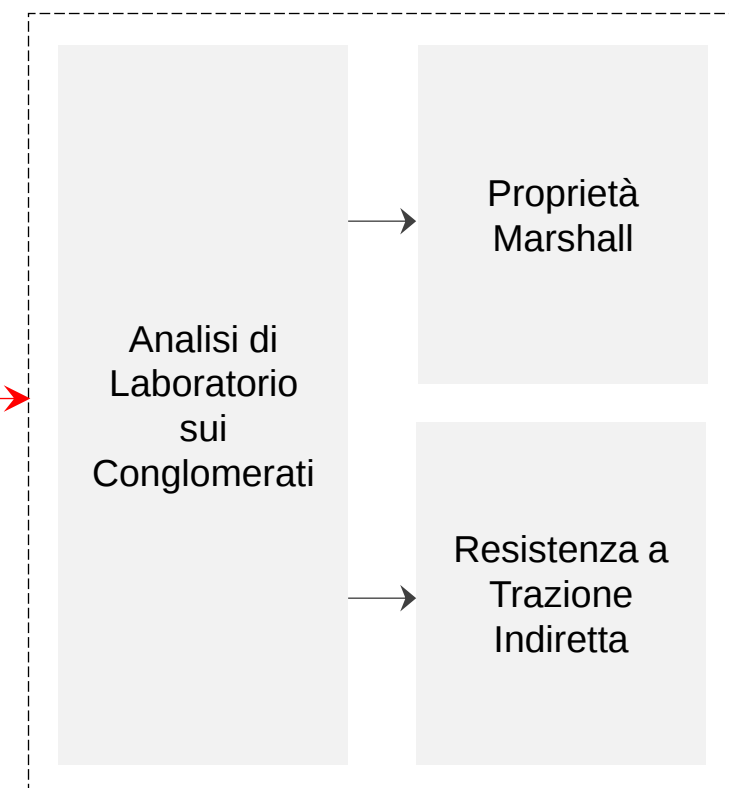
Materiali



Analisi Termiche



Caratterizzazione meccanica



Misurazione dell'emissività delle lastre

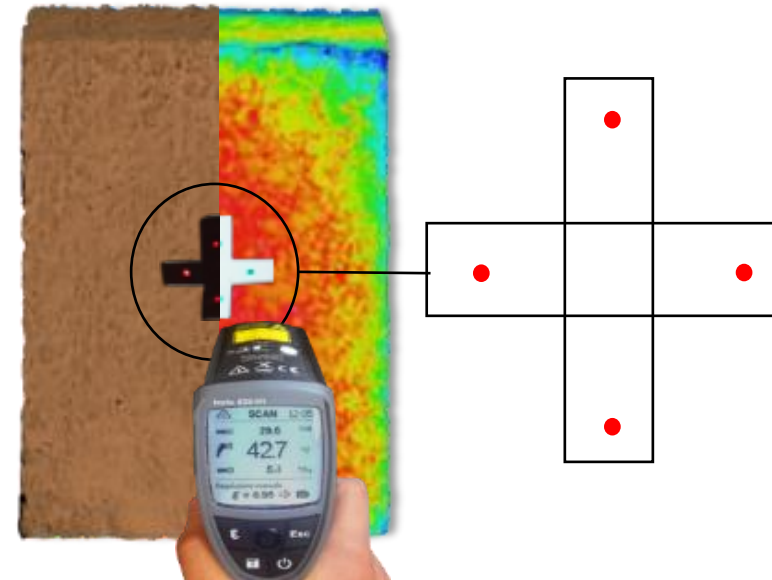
Sperimentazione

Analisi termiche

- Attività interne (Laboratorio)
- Calcolo dell'emissività, ε
 - Parametro di input per il monitoraggio termico

$$\varepsilon(T) = \frac{E(T)}{E_n(T)} = \frac{E(T)}{\sigma T^4}$$

- ε : emissività del corpo reale
- T: temperatura
- E(T): potenza emissiva reale
- $E_n(T)$: potenza emissiva del corpo nero
- σ : costante di Stefan-Boltzmann



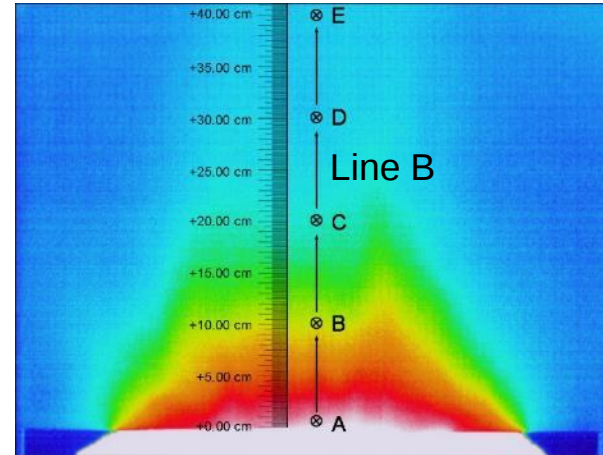
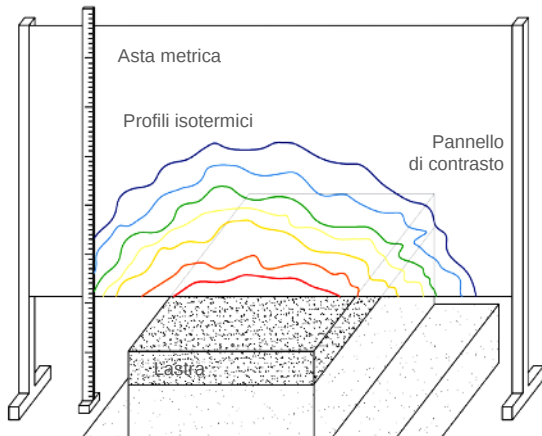
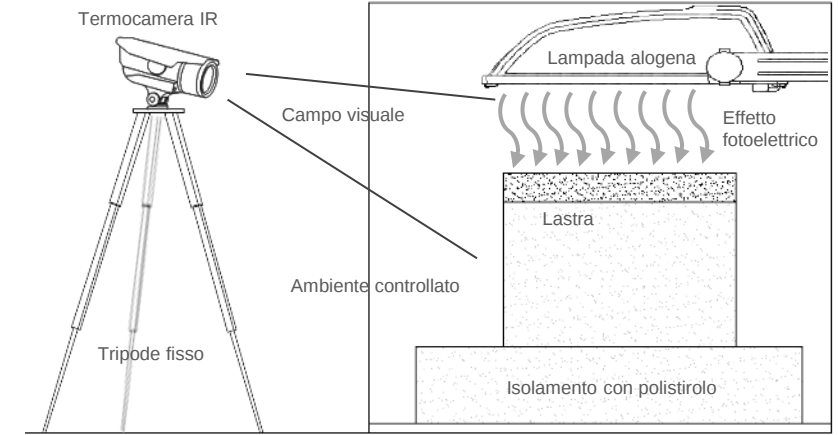
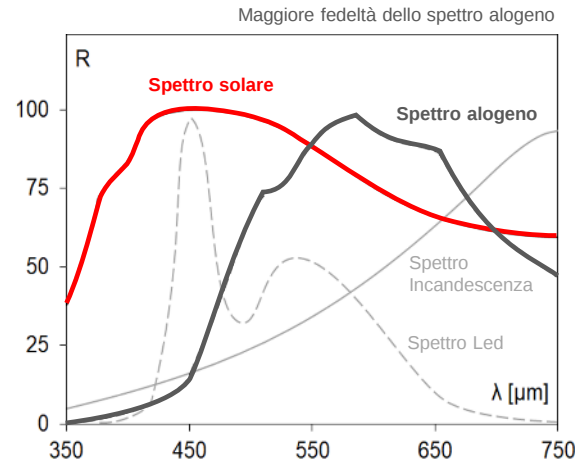
- Procedura comparativa
- Materiale noto (nastro nero) $\rightarrow \varepsilon_{rif} = 0.95$
- Equilibrio termico
- La T del corpo di riferimento viene rilevata impostando la ε nota
- Variazione ε lastra per arrivare alla T del corpo di riferimento

Sperimentazione

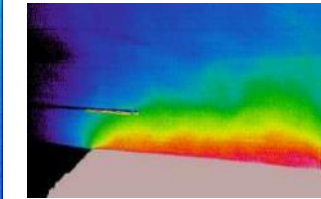
Analisi termiche

- Attività interne (Laboratorio)
 - Distribuzione T sopra le lastre
 - Acquisizione termografica a lampada spenta

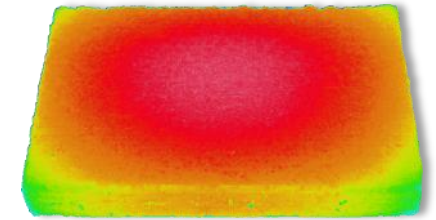
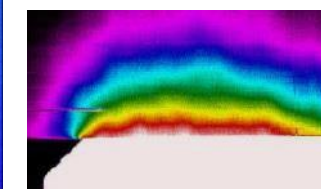
Andamento delle temperature in funzione della distanza dalla superficie della lastra



Profili termici: esempio 1



Profili termici: esempio 2



- Riscaldamento (2 h)
- Spegnimento lampada
- Pannello di contrasto
- Rilievo termografico
- Durata: 30 min.
- Distribuzione T sopra lastre
- Analisi restituzione calore

Acquisizione fotografica per il calcolo dell'albedo con procedura comparativa

Sperimentazione

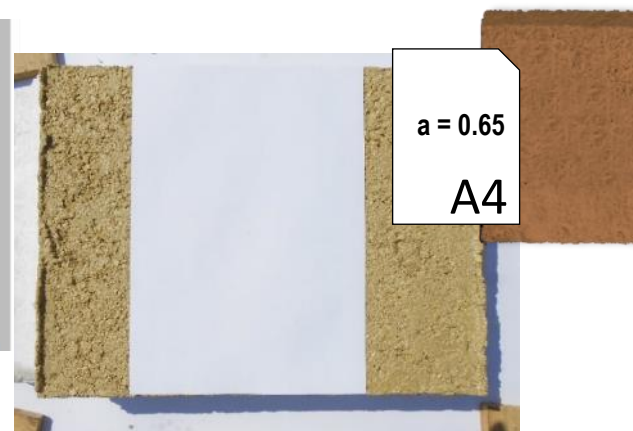
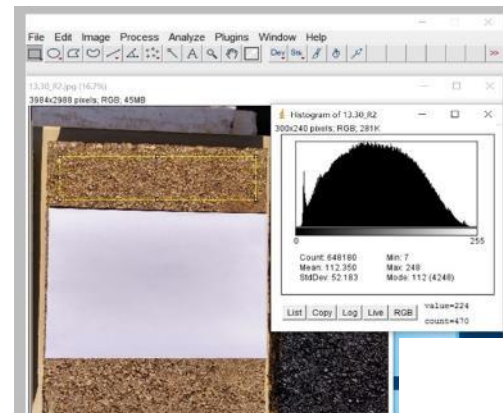
Analisi termiche

- Attività esterne (all'Aperto)
- Calcolo dell'albedo, a
 - Parametro indicativo dell'attitudine alla riflessione



$$a = \frac{\int \rho_{\lambda} G_{\lambda} d\lambda}{\int G_{\lambda} d\lambda}$$

- a : albedo del corpo reale
- ρ_{λ} : riflettività (al valore di λ)
- G_{λ} : radiazione (al valore di λ)
- λ : lunghezza d'onda



- Procedura comparativa
- Acquisizione fotografica
- Materiale noto (carta bianca)
- Luminosità (L) carta = 100%
- Immagine settata per avere max. luminosità sulla carta
- Lettura L risultante sulla lastra

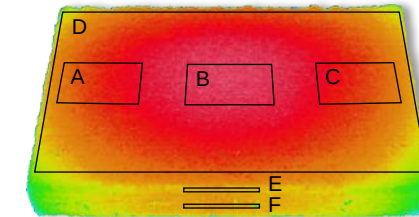
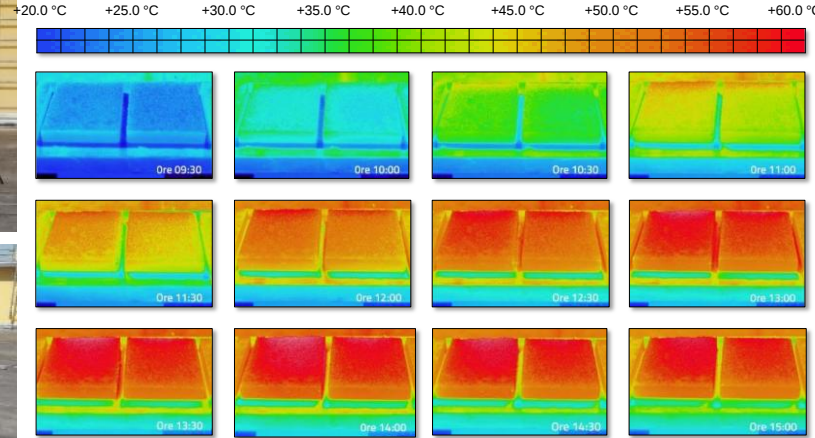
$$L_{bianco} : 0.65 = L_{lastra} : \rho_{lastra}$$

Monitoraggio temperature raggiunte dai conglomerati con esposizione solare diretta

Sperimentazione

Analisi termiche

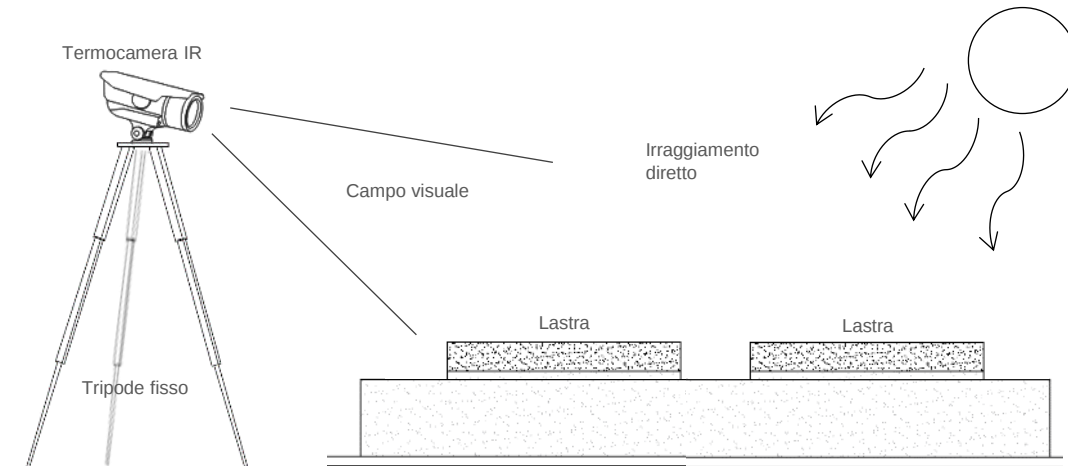
- Attività esterne (all'Aperto)
 - Monitoraggio della temperatura, T
 - Acquisizione dati con termocamera infrarossa



■ Analisi superficiali

■ Analisi sul bordo

- Rilievi: 9.00–17.30 (Luglio)
- Campionamento: 15 min.
- Rilievo della temperatura dell'aria



Sperimentazione

Analisi termiche

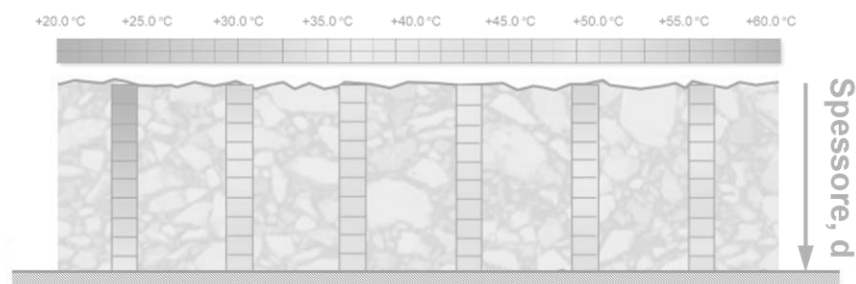
■ Attività esterne (all'Aperto)

■ Calcolo della conducibilità, k

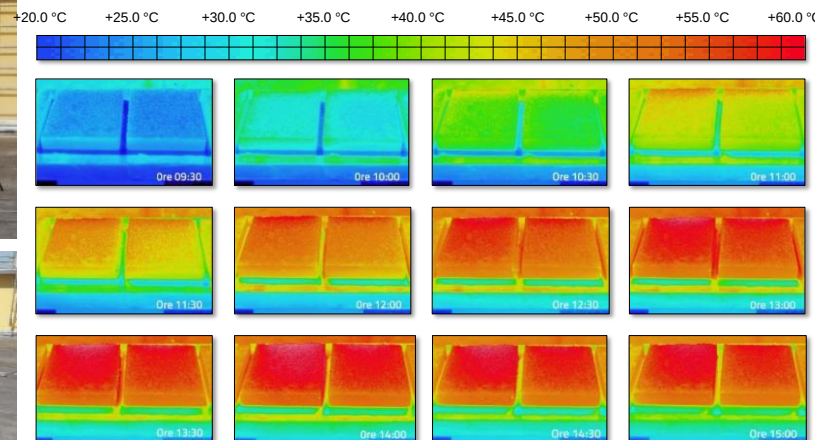
- Trasmissione di calore all'interno di mezzo solido
- Caratteristica dei materiali componenti le lastre

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\rho_m \cdot c_p}{k} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$q_{cnd} = k \cdot \frac{\Delta T}{d}$$



Calcolo della conducibilità e dell'indice SRI* delle lastre sulla base dei risultati di T

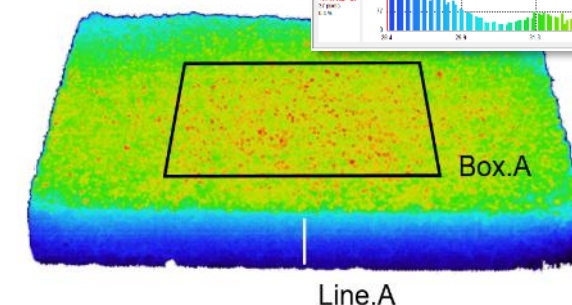
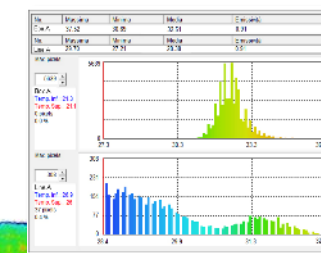


■ Calcolo dell'indice SRI*

- Solar Refelctance Index
- Metodo: ASTM E1980-11
- Riflettanza solare

SRI* → 0 : superficie «nera»
SRI* → 100 : superficie «bianca»

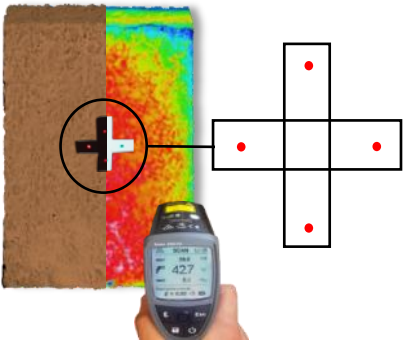
$$SRI = 100 \frac{T_b - T_s}{T_b - T_w}$$



Risultati

Analisi termiche

- Attività interne (Laboratorio)
- Emissività, ϵ
- Risultati molto simili a prescindere da: **tipo conglomerato, aggregato, colore**



“Emissivity cannot be considered an intrinsic characteristic of the material since it varies with the temperature, the wavelength and the direction of the radiation emitted by the surface.”

“Indeed, in the case of pavement materials, ϵ can be considered an intrinsic characteristic: namely, typical emissivity values for asphalt concretes ranges from 0.90 to 0.97, for cement concretes from 0.92 to 0.94.”

Shen, J., Zhang, Y., Xing, T. (2018). The study on the measurement accuracy of non-steady state temperature field under different emissivity using infrared thermal image. Infrared Physics & Technology, 94: 207–213.

Lillesand, D.T., Kiefer, R.W., Chipman, J. (2015). “Remote sensing and image interpretation”. Wiley, New Jersey, United States

Valori di emissività

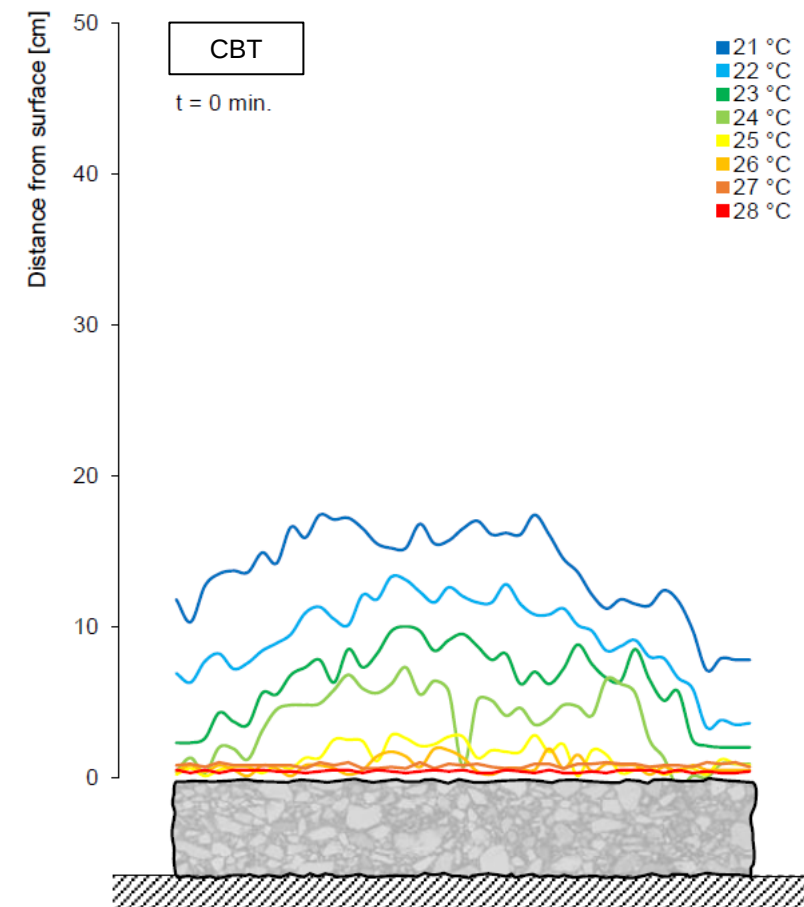
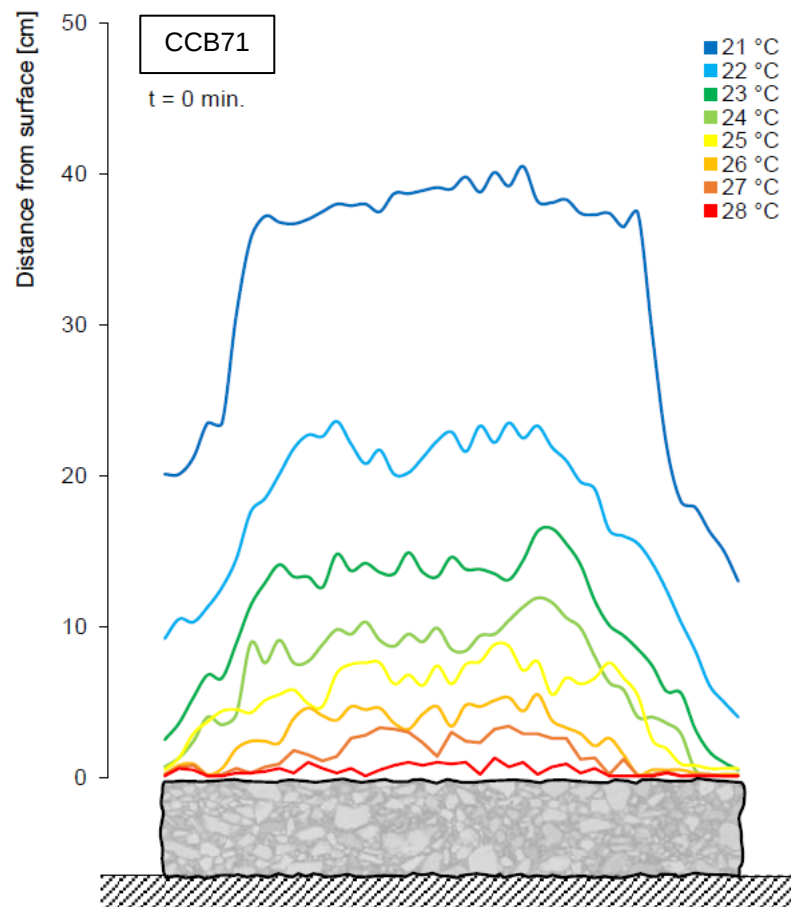
Codice	Tipo	ϵ [-]
CCB71	Riferimento	0.90 – 0.91
CCBH	Riferimento	0.90 – 0.91
CCB71OR	Colorato con ossidi	0.91 – 0.92
CCB71OV	Colorato con ossidi	0.91 – 0.92
CCB71OB	Colorato con ossidi	0.91 – 0.92
CCB71OG	Colorato con ossidi	0.91 – 0.92
CCBHOR	Colorato con ossidi	0.91 – 0.92
CCBHOV	Colorato con ossidi	0.91 – 0.92
CCBHOB	Colorato con ossidi	0.91 – 0.92
CCBHOG	Colorato con ossidi	0.91 – 0.92
CCT	Legante trasparente	0.91 – 0.92
CBT	Legante trasparente	0.91 – 0.92
CRT	Legante trasparente	0.90 – 0.91
CGT	Legante trasparente	0.90 – 0.91
CCB71MR	Vernice superficiale	0.92 – 0.93
CCB71MB	Vernice superficiale	0.92 – 0.93
CCB71MG	Vernice superficiale	0.92 – 0.93
CCB71MC	Vernice superficiale	0.92 – 0.93
CCB71RR	Vernice superficiale	0.93
CCB71RB	Vernice superficiale	0.93
CCB71RG	Vernice superficiale	0.93
CCB71RV	Vernice superficiale	0.93

Risultati

Analisi termiche

- Attività interne (Laboratorio)
 - Distribuzione T sopra le lastre
- Differente diffusione spaziale temperature
- Sino a 3-4 °C in meno a parità di distanza

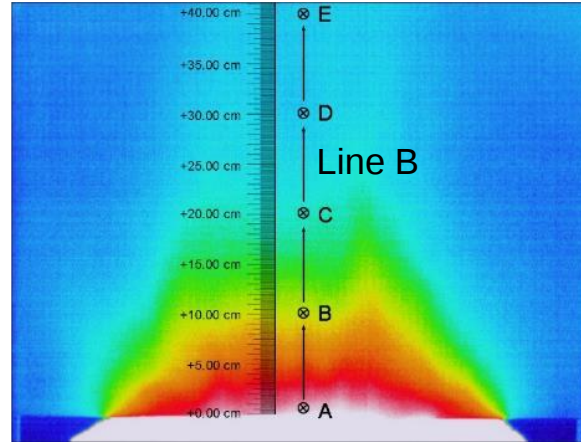
Andamento delle T nello spazio



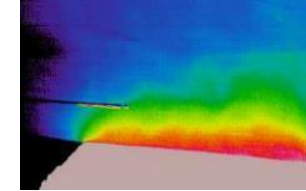
Risultati

Analisi termiche

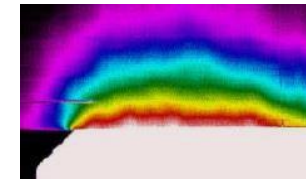
- Attività interne (Laboratorio)
- Distribuzione T sopra le lastre



Profili termici: esempio 1

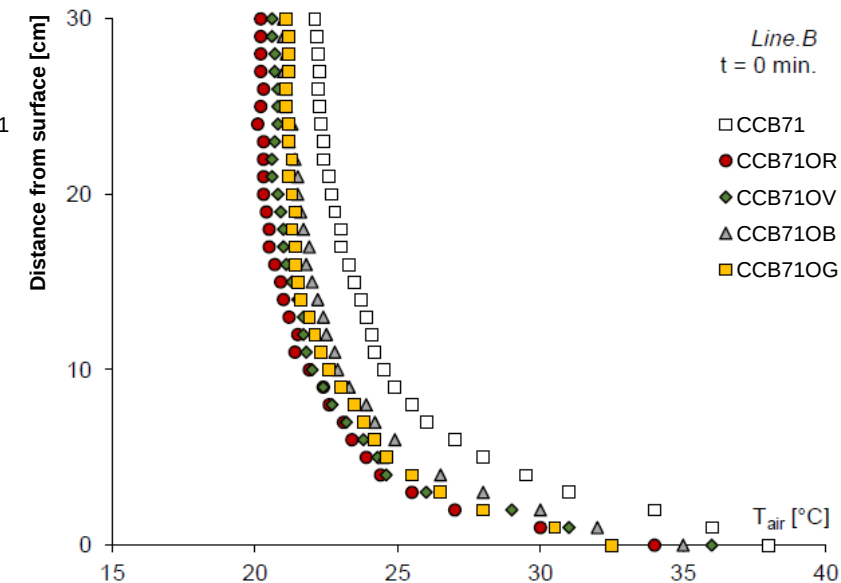
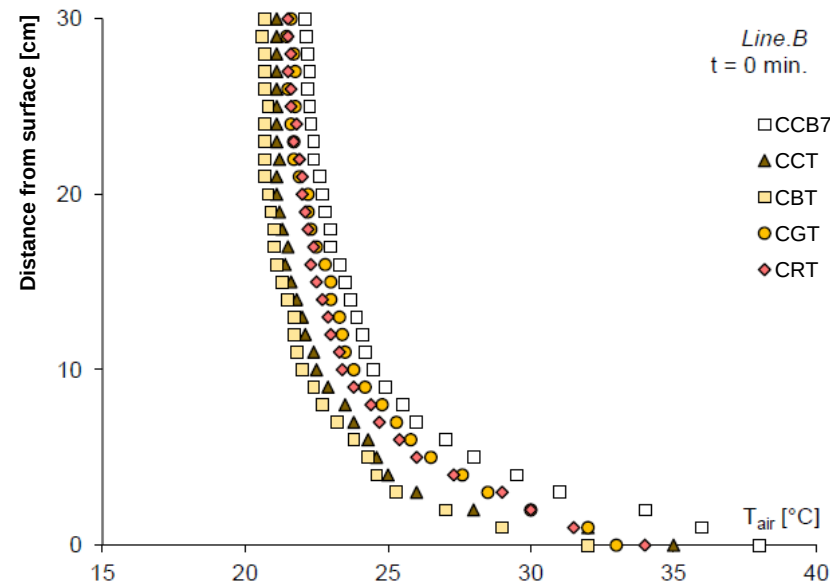


Profili termici: esempio 2



Andamento delle T nello spazio

- Differente diffusione spaziale temperature
- Sino a 3-4 °C in meno a parità di distanza

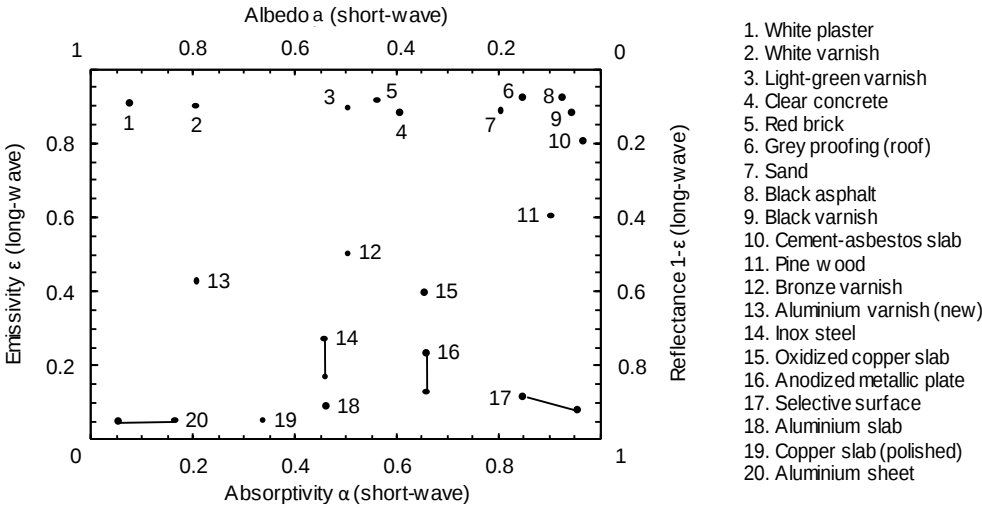




Risultati

Analisi termiche

- Attività esterne (all'Aperto)
 - Albedo, a
- Dipende dalla luminosità
- Colore chiaro fornisce maggiore albedo
- **Ossidi**: colori medio-scuri → scarsi incrementi di a, indipendentemente da uso di CCB71 o CBBH
- **Resine**: migliori a. La trasparenza della resina rende cruciale il colore dell'aggregato impiegato
- **Vernici**: colori accesi → incrementi significativi di a (simili valori con utilizzo di Resina o Malta)
- **CBT**, **CCB71MB**: migliori risultati (a: 0.497, 0.440)



Valentina Dessì (2007). Progettare il comfort urbano. Soluzione per un'integrazione tra società e territorio. Architettura sostenibile, Sistemi Editoriali, 280 pp. EAN: 9788851304737

Valori di albedo

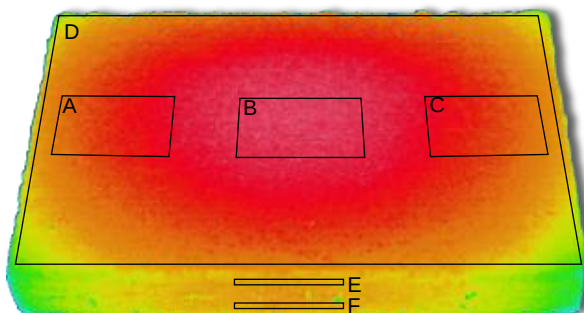
Codice	Tipo	a [-]
CCB71	Riferimento	0.107
CCBH	Riferimento	0.107
CCB71OR	Colorato con ossidi	0.151
CCB71OV	Colorato con ossidi	0.127
CCB71OB	Colorato con ossidi	0.135
CCB71OG	Colorato con ossidi	0.163
CCBHOR	Colorato con ossidi	0.151
CCBHOV	Colorato con ossidi	0.127
CCBHOB	Colorato con ossidi	0.135
CCBHOG	Colorato con ossidi	0.163
CCT	Legante trasparente	0.271
CBT	Legante trasparente	0.497
CRT	Legante trasparente	0.169
CGT	Legante trasparente	0.217
CCB71MR	Vernice superficiale	0.210
CCB71MB	Vernice superficiale	0.440
CCB71MG	Vernice superficiale	0.250
CCB71MC	Vernice superficiale	0.280
CCB71RR	Vernice superficiale	0.230
CCB71RB	Vernice superficiale	0.340
CCB71RG	Vernice superficiale	0.320
CCB71RV	Vernice superficiale	0.290



Risultati

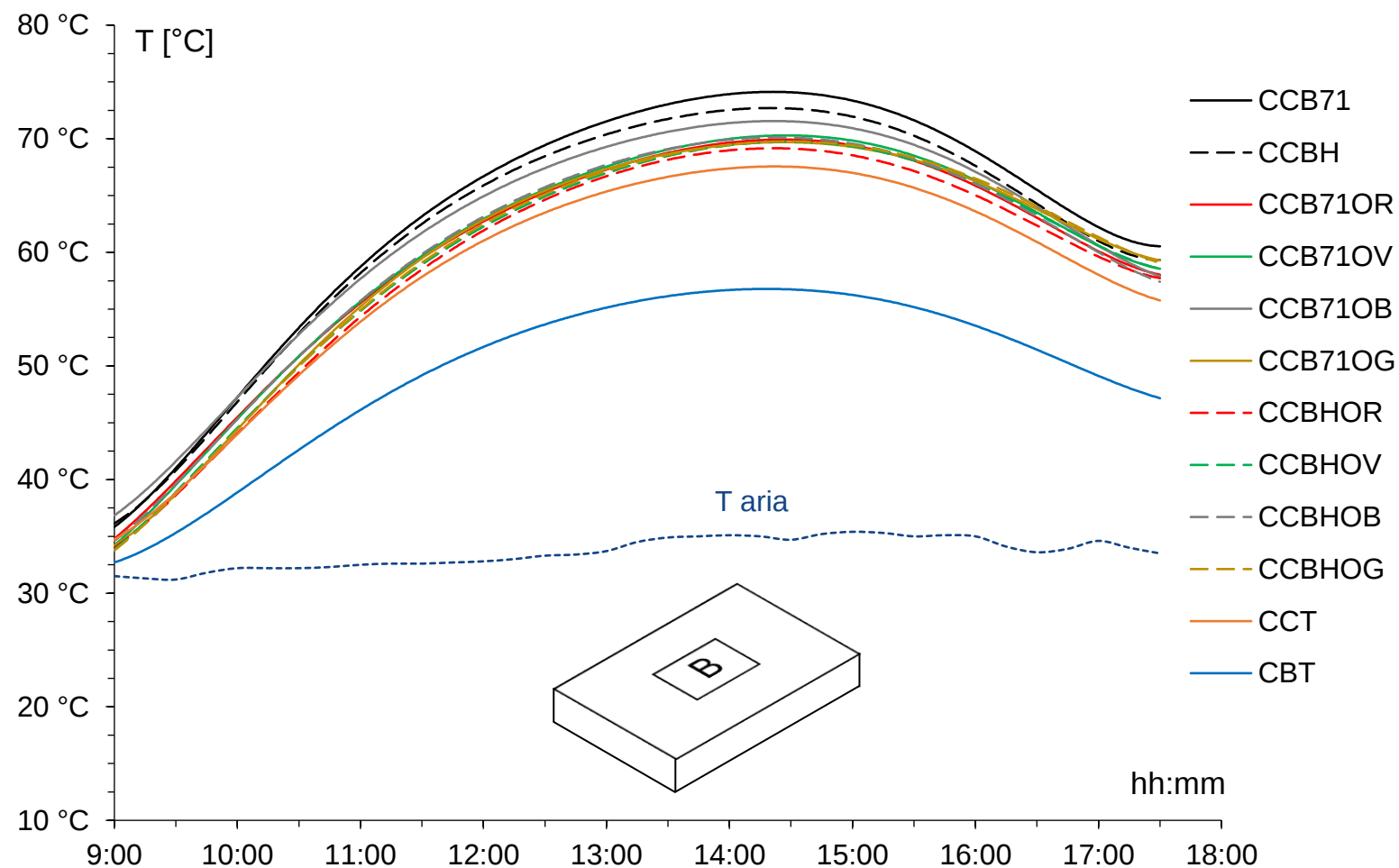
Analisi termiche

- Attività esterne (all'Aperto)
 - Monitoraggio della temperatura, T
 - Dati relativi al Riquadro B
(temperatura superficiale a centro lastra)
 - Rif. B71 ≈ Rif. Hard (con i valori + alti)
 - con Ossidi: mitigazione limitata
 - con Resina: mitigazione importante
 - con Resina **CBT**: risultato migliore



Andamento delle T nel tempo (Trends)

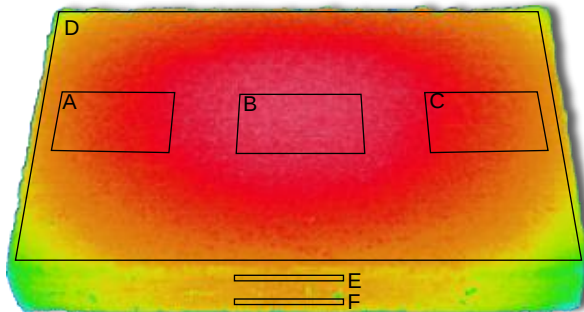
Riferimenti – con Ossidi – con Resine



Risultati

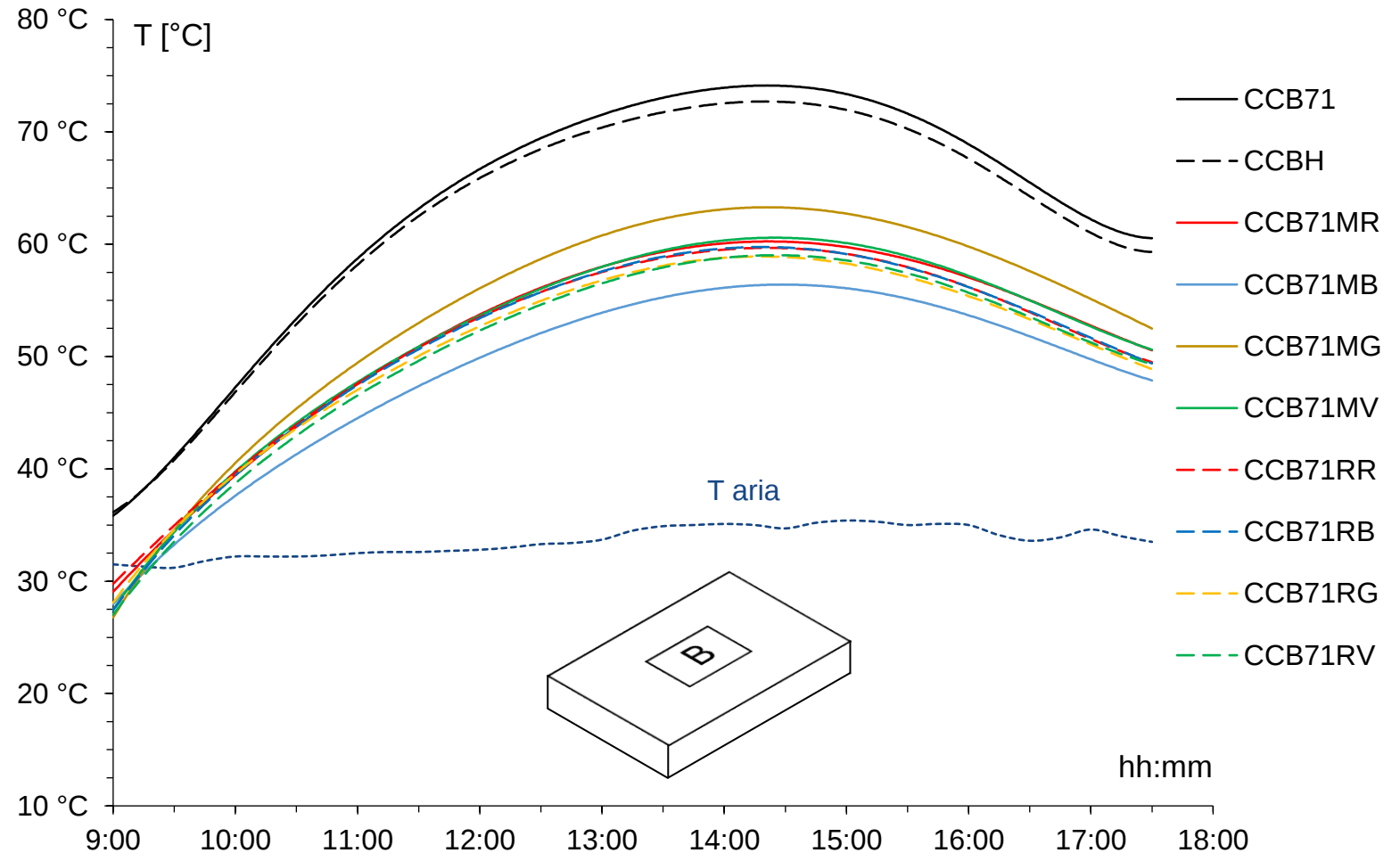
Analisi termiche

- Attività esterne (all'Aperto)
 - Monitoraggio della temperatura, T
 - Dati relativi al Riquadro B (temperatura superficiale a centro lastra)
 - Rif. B71 ≈ Rif. Hard (con i valori + alti)
 - Vernici e Malte: mitigazione significativa
 - con Malta **CCB71MB**: risultato migliore



Andamento delle T nel tempo (Trends)

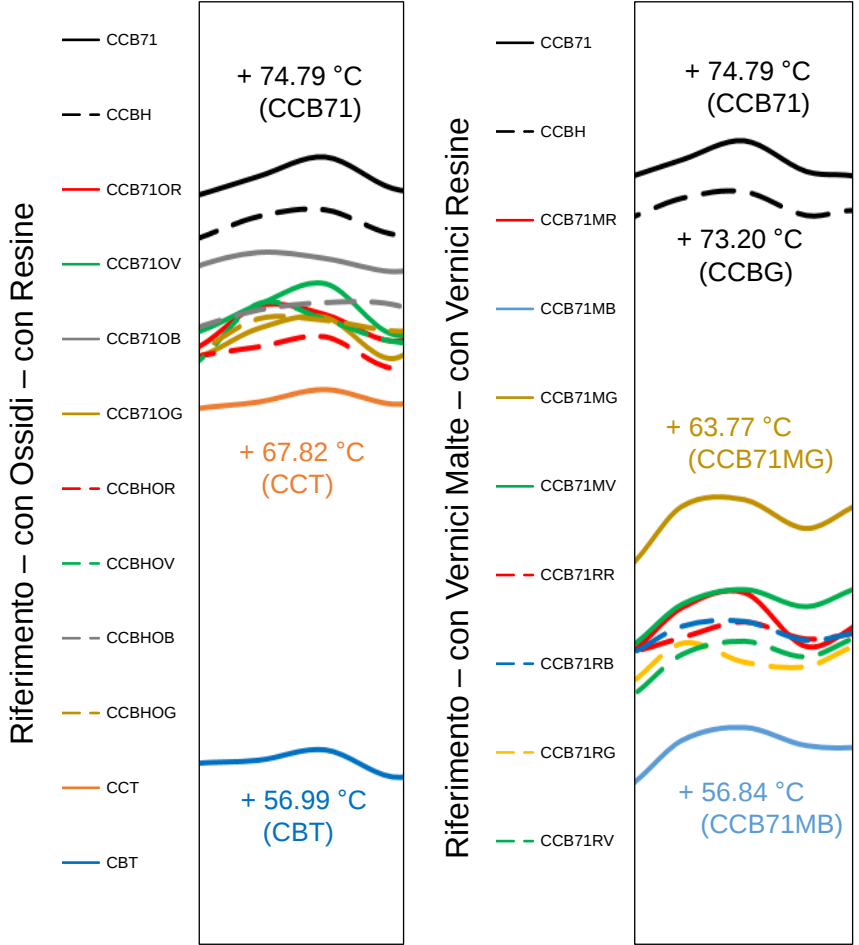
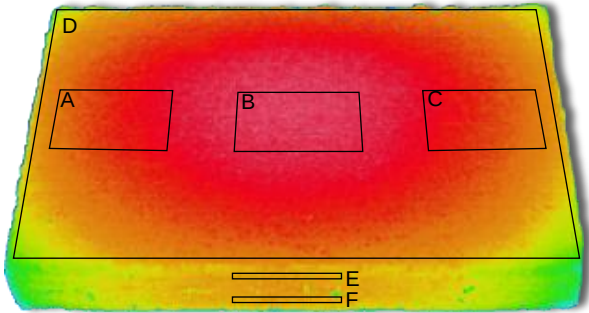
Riferimenti – con Vernici Malte – con Vernici Resine



Risultati

Analisi termiche

- Attività esterne (all'Aperto)
- Monitoraggio della temperatura, T
- Dati relativi al Riquadro B (temperatura superficiale a centro lastra)



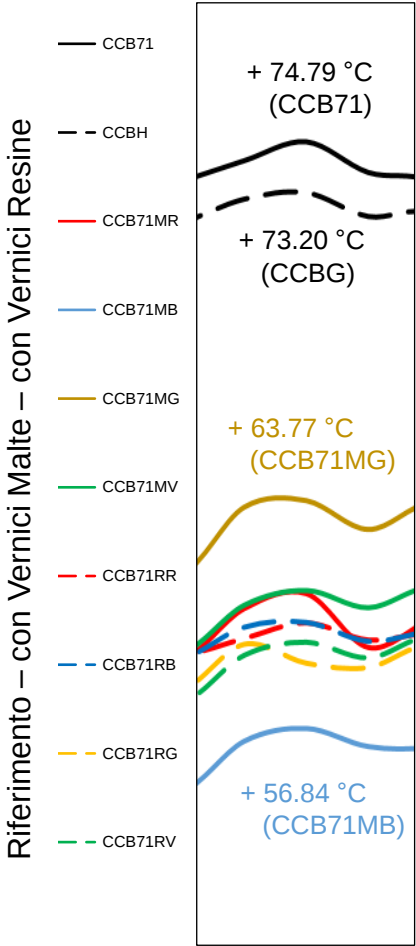
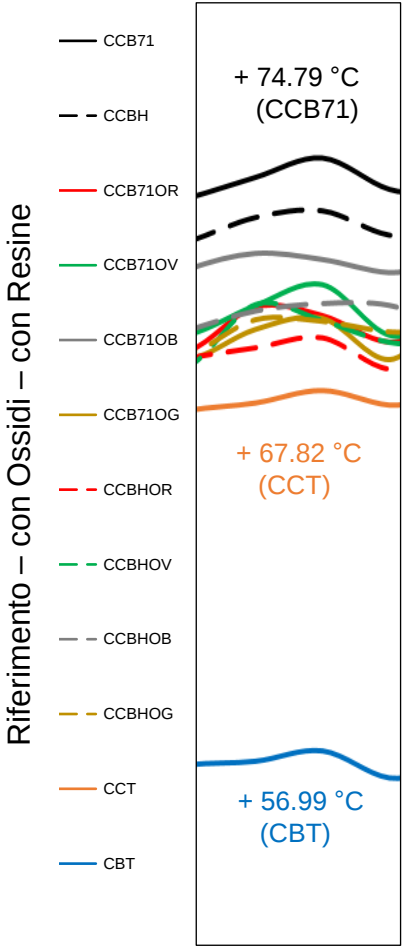
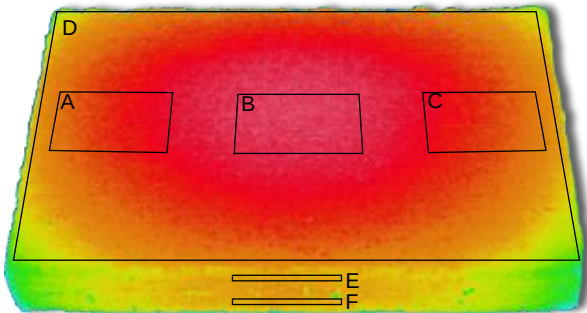
T max registrate (Dati Sperimentali)

Codice	Tipo	T max
CCB71	Riferimento	74.79 °C
CCBH	Riferimento	73.20 °C
CCB71OR	Colorato con ossidi	70.33 °C
CCB71OV	Colorato con ossidi	70.98 °C
CCB71OB	Colorato con ossidi	71.93 °C
CCB71OG	Colorato con ossidi	70.37 °C
CCBHOR	Colorato con ossidi	69.40 °C
CCBHOV	Colorato con ossidi	70.38 °C
CCBHOB	Colorato con ossidi	70.42 °C
CCBHOG	Colorato con ossidi	69.92 °C
CCT	Legante trasparente	67.82 °C
CBT	Legante trasparente	56.99 °C
CRT	Legante trasparente	Non eseguita
CGT	Legante trasparente	Non eseguita
CCB71MR	Vernice superficiale	60.92 °C
CCB71MB	Vernice superficiale	56.84 °C
CCB71MG	Vernice superficiale	63.77 °C
CCB71MC	Vernice superficiale	61.09 °C
CCB71RR	Vernice superficiale	60.00 °C
CCB71RB	Vernice superficiale	60.02 °C
CCB71RG	Vernice superficiale	59.36 °C
CCB71RV	Vernice superficiale	59.60 °C

Risultati

Analisi termiche

- Attività esterne (all'Aperto)
 - Monitoraggio della temperatura, T
 - Dati relativi al Riquadro B (temperatura superficiale a centro lastra)
 - Migliore mitigazione con **CBT** e **CCB71MB**
 - Diminuzione dei picchi di T di circa 18 °C
 - CCB71 → **CBT**: -17.80 °C
 - CCB71 → **CCB71MB**: -17.95 °C



T max registrate (Dati Sperimentali)

Codice	Tipo	T max
CCB71	Riferimento	74.79 °C
CCBH	Riferimento	73.20 °C
CCB71OR	Colorato con ossidi	70.33 °C
CCB71OV	Colorato con ossidi	70.98 °C
CCB71OB	Colorato con ossidi	71.93 °C
CCB71OG	Colorato con ossidi	70.37 °C
CCBHOR	Colorato con ossidi	69.40 °C
CCBHOV	Colorato con ossidi	70.38 °C
CCBHOB	Colorato con ossidi	70.42 °C
CCBHOG	Colorato con ossidi	69.92 °C
CCT	Legante trasparente	67.82 °C
CBT	Legante trasparente	56.99 °C
CRT	Legante trasparente	Non eseguita
CGT	Legante trasparente	Non eseguita
CCB71MR	Vernice superficiale	60.92 °C
CCB71MB	Vernice superficiale	56.84 °C
CCB71MG	Vernice superficiale	63.77 °C
CCB71MC	Vernice superficiale	61.09 °C
CCB71RR	Vernice superficiale	60.00 °C
CCB71RB	Vernice superficiale	60.02 °C
CCB71RG	Vernice superficiale	59.36 °C
CCB71RV	Vernice superficiale	59.60 °C

Risultati
Analisi termica
■ Attività esterne

Indice SRI*

Codice	Tipo	SRI* [-]
CCB71	Riferimento	0
CCBH	Riferimento	9
CCB71OR	Colorato con ossidi	25
CCB71OV	Colorato con ossidi	21
CCB71OB	Colorato con ossidi	16
CCB71OG	Colorato con ossidi	25
CCBHOR	Colorato con ossidi	30
CCBHOV	Colorato con ossidi	25
CCBHOB	Colorato con ossidi	25
CCBHOG	Colorato con ossidi	27
CCT	Legante trasparente	39
CBT	Legante trasparente	100
CRT	Legante trasparente	Non eseguita
CGT	Legante trasparente	Non eseguita
CCB71MR	Vernice superficiale	78
CCB71MB	Vernice superficiale	100
CCB71MG	Vernice superficiale	62
CCB71MC	Vernice superficiale	77
CCB71RR	Vernice superficiale	83
CCB71RB	Vernice superficiale	83
CCB71RG	Vernice superficiale	87
CCB71RV	Vernice superficiale	85

Valori di albedo

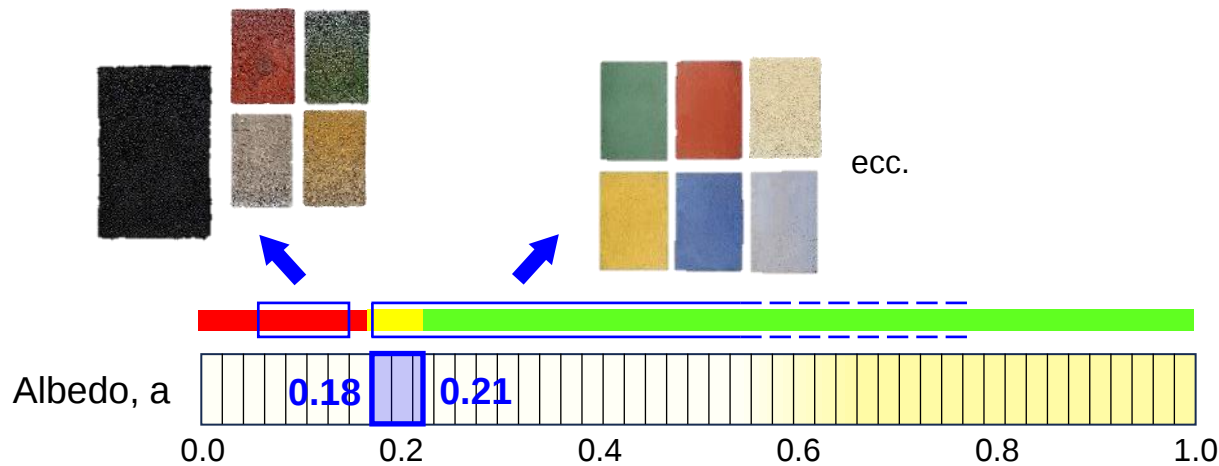
Codice	Tipo	a [-]
CCB71	Riferimento	0.107
CCBH	Riferimento	0.107
CCB71OR	Colorato con ossidi	0.151
CCB71OV	Colorato con ossidi	0.127
CCB71OB	Colorato con ossidi	0.135
CCB71OG	Colorato con ossidi	0.163
CCBHOR	Colorato con ossidi	0.151
CCBHOV	Colorato con ossidi	0.127
CCBHOB	Colorato con ossidi	0.135
CCBHOG	Colorato con ossidi	0.163
CCT	Legante trasparente	0.271
CBT	Legante trasparente	0.497
CRT	Legante trasparente	0.169
CGT	Legante trasparente	0.217
CCB71MR	Vernice superficiale	0.210
CCB71MB	Vernice superficiale	0.440
CCB71MG	Vernice superficiale	0.250
CCB71MC	Vernice superficiale	0.280
CCB71RR	Vernice superficiale	0.230
CCB71RB	Vernice superficiale	0.340
CCB71RG	Vernice superficiale	0.320
CCB71RV	Vernice superficiale	0.290

T max registrate (Dati Sperimentali)

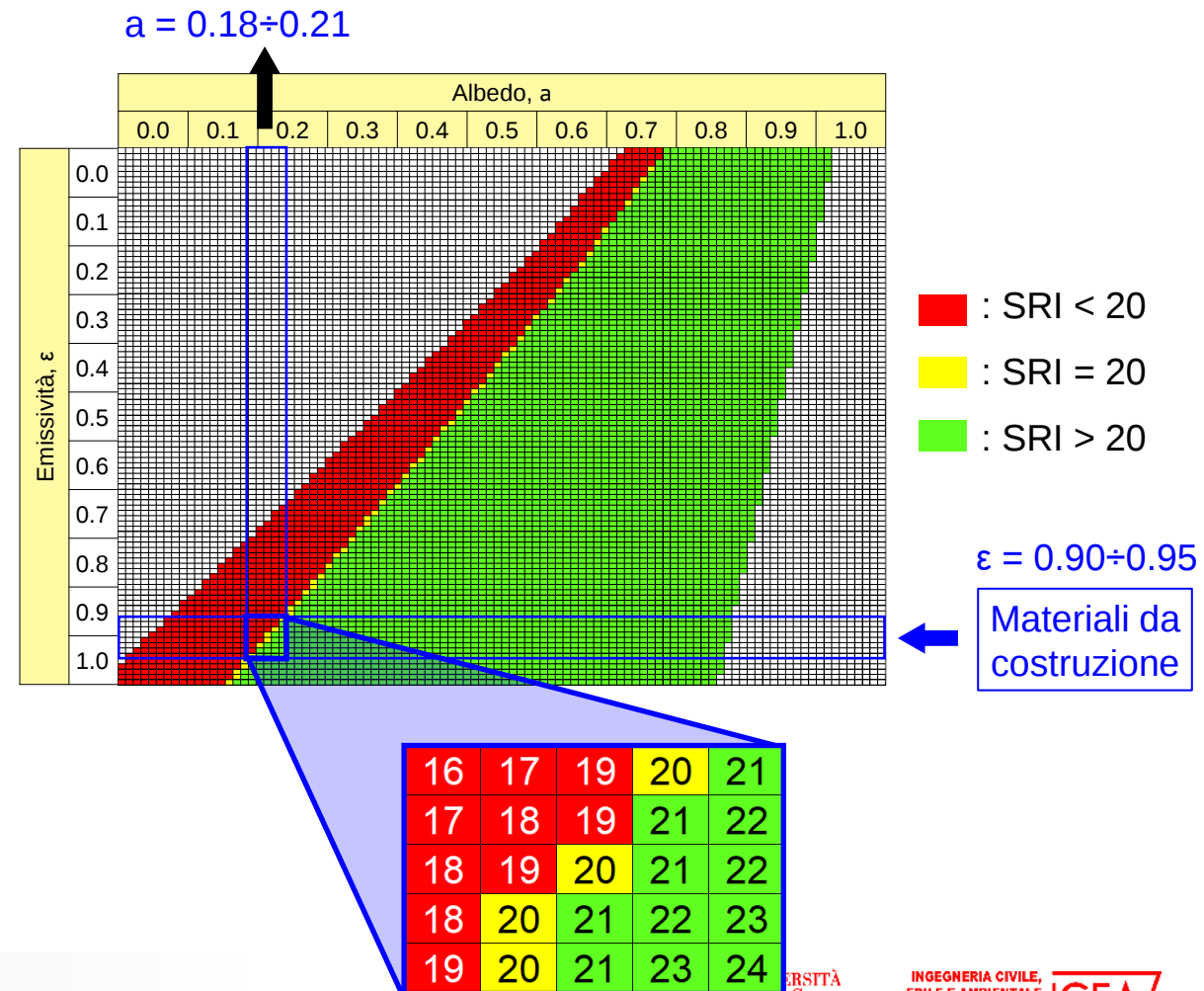
Codice	Tipo	T max
CCB71	Riferimento	74.79 °C
CCBH	Riferimento	73.20 °C
CCB71OR	Colorato con ossidi	70.33 °C
CCB71OV	Colorato con ossidi	70.98 °C
CCB71OB	Colorato con ossidi	71.93 °C
CCB71OG	Colorato con ossidi	70.37 °C
CCBHOR	Colorato con ossidi	69.40 °C
CCBHOV	Colorato con ossidi	70.38 °C
CCBHOB	Colorato con ossidi	70.42 °C
CCBHOG	Colorato con ossidi	69.92 °C
CCT	Legante trasparente	67.82 °C
CBT	Legante trasparente	56.99 °C
CRT	Legante trasparente	Non eseguita
CGT	Legante trasparente	Non eseguita
CCB71MR	Vernice superficiale	60.92 °C
CCB71MB	Vernice superficiale	56.84 °C
CCB71MG	Vernice superficiale	63.77 °C
CCB71MC	Vernice superficiale	61.09 °C
CCB71RR	Vernice superficiale	60.00 °C
CCB71RB	Vernice superficiale	60.02 °C
CCB71RG	Vernice superficiale	59.36 °C
CCB71RV	Vernice superficiale	59.60 °C

Risultati

Analisi termiche



- $h_c = 5.0 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$ (velocità vento < 2 m/s)



Conclusioni

Indicazioni desunte dalla sperimentazione

- **Possibilità di ottimizzazione termica delle superfici pavimentate → sensibili riduzioni T**

- Emissività sostanzialmente invariata
- Albedo fortemente dipendente da colorazione materiale
- Riduzione temperatura principalmente governata da albedo

- Durabilità colorazione (in particolare per applicazioni superficiali) ?? → studi/monitoraggi specifici
- Prestazioni meccaniche ?? → particolare attenzione al mix design



Bibliografia

Pubblicazioni scientifiche UniPD

- M. Pasetto, E. Pasquini, G. Giacomello, A. Baliello, "Preliminary investigation of mechanical and functional properties of coloured asphalt pavement surfaces", *Road and Rail Infrastructure V – Proceedings, 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure (CETRA2018)*, Zara, 2018.
- M. Pasetto, E. Pasquini, G. Giacomello, A. Baliello, "Innovative pavement surfaces as Urban Heat Islands mitigation strategy: chromatic, thermal and mechanical characterization of clear/colored mixtures", *Road Materials and Pavement Design*, Vol. 20(sup1), 2019. doi:10.1080/14680629.2019.1593230
- M. Pasetto, A. Baliello, G. Giacomello, E. Pasquini, "Aesthetic and Mechanical Suitability of a Clear Synthetic Resin as Unconventional Binder for Road Pavements", *Advances in Materials Science and Engineering (Special Issue on Novel Bituminous Materials for Sustainable Pavements)*, Vol. 2019, 2019. doi:10.1155/2019/8643608
- M. Pasetto, E. Pasquini, G. Giacomello, A. Baliello, "Investigation of thermal behaviour of coloured asphalt pavements", *Resilient road infrastructures: climatic changes and perspective of road infrastructures, Proceedings, 17th SIIV International Summer School and 5th International SIIV Arena, San Marino*, 2019.
- M. Pasetto, A. Baliello, E. Pasquini, G. Giacomello, "High albedo pavement materials", *Eco-efficient Materials for Reducing Cooling Needs in Buildings and Construction. Design, Properties and Applications*, 2020.
- M. Pasetto, A. Baliello, G. Giacomello, E. Pasquini, "Mechanical Feasibility of Asphalt Materials for Pavement Solar Collectors: Small-Scale Laboratory Characterization", *Applied Sciences (Topic: Innovative Construction and Building Materials)*, Vol. 13(1), 2023. doi:10.3390/app13010358
- M. Pasetto, A. Baliello, G. Giacomello, E. Pasquini, "Rutting Behavior of Asphalt Surface Layers Designed for Solar Harvesting Systems", *Materials (Special Issue on Advances in Sustainable Asphalt Pavements)*, Vol. 16(1), 2023. doi:10.3390/ma16010277
- M. Pasetto, A. Baliello, G. Giacomello, E. Pasquini, "Advances in the rheology of synthetic binder for sustainable road pavements: an improved protocol for DSR testing", *Sustainability (Special Issue on Research on Sustainable Infrastructure Construction and Green Building Construction Materials)*, Vol. 15(6), 2023.
- M. Pasetto, A. Baliello, G. Giacomello, E. Pasquini, "The effect of aggregate gradation on the thermal and anti-rutting properties of an asphalt solar collector", *Proceedings, 14th ISAP Conference on Asphalt Pavements ISAP2024, Montreal*, 2024.
- M. Pasetto, A. Baliello, G. Giacomello, E. Pasquini, "Modeling the interface shear strength of asphalt pavements containing a solar collector", *Lectures Notes in Civil Engineering*, Vol. 522 – *Proceedings, 10th International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements – MAIREPAV10, Guimaraes*, 2024. doi: 10.1007/978-3-031-63588-5_19
- M. Pasetto, A. Baliello, G. Giacomello, E. Pasquini, "Multi-criteria optimization of the aggregate gradation based on thermal, surface and mechanical properties of asphalt solar collector", accepted for publication to *Canadian Journal of Civil Engineering (Special Issue on 14th ISAP International Conference on Asphalt Pavement ISAP2024)*, 2024.
- M. Pasetto, A. Baliello, G. Giacomello, E. Pasquini, "Comprehensive optimization of a road asphalt solar collector for energy harvesting", submitted to *Road Materials and Pavement Design*, 2024.

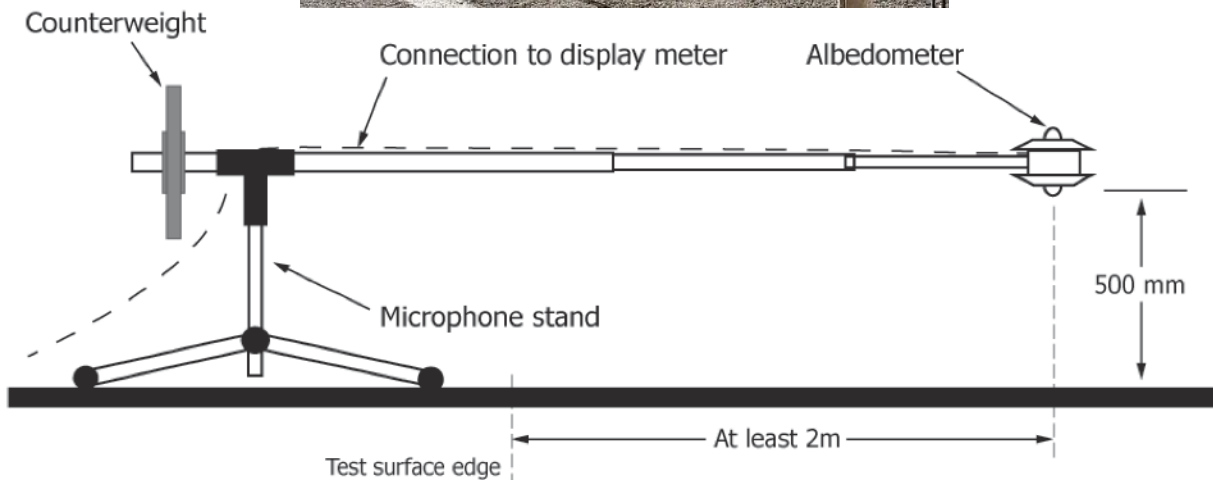
Recenti sviluppi

Campagna preliminare misure dirette di albedo

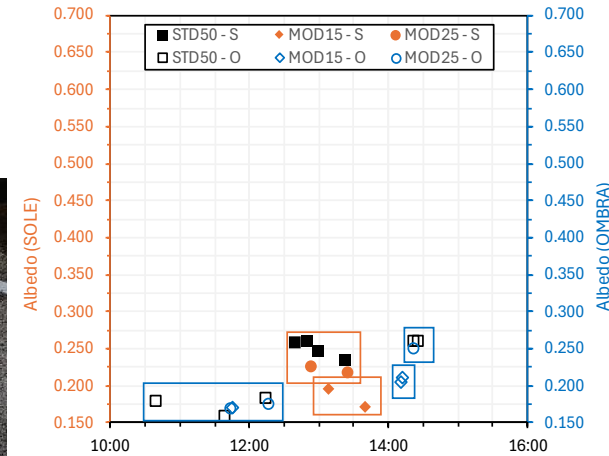
Misure in svariate condizioni

- Procedure
- Materiali
- Orari
- Giorni
- Meteo

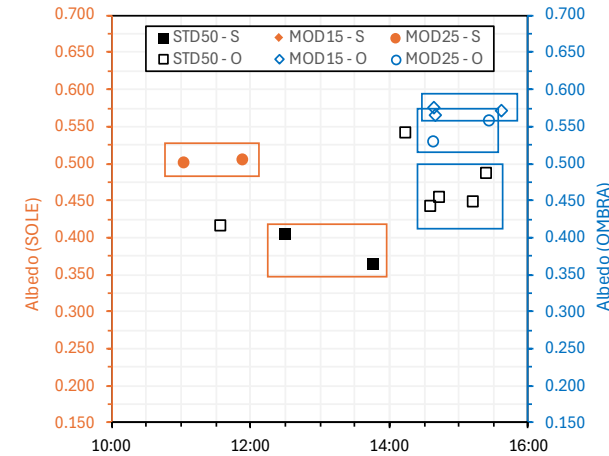
...



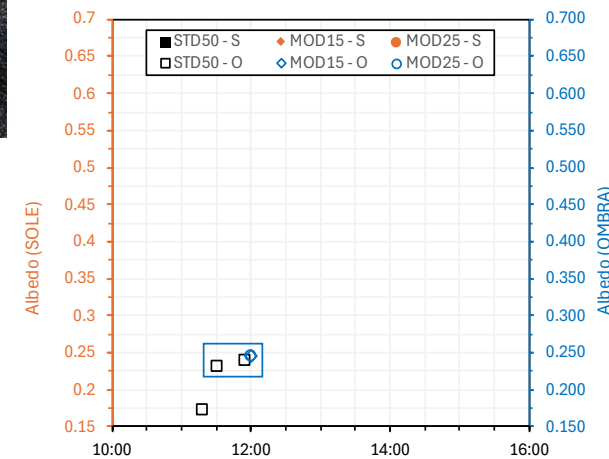
Conglomerato bituminoso



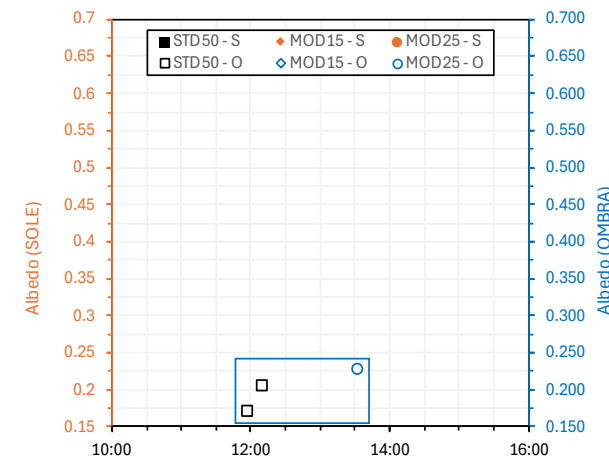
C. Bituminoso (segnaletica)



Ghiaia



Calcestruzzo



Recenti sviluppi

Campagna preliminare misure dirette di albedo

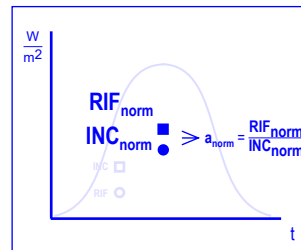
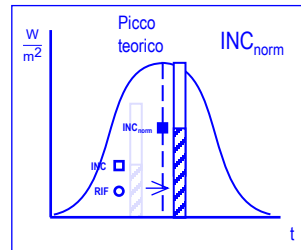
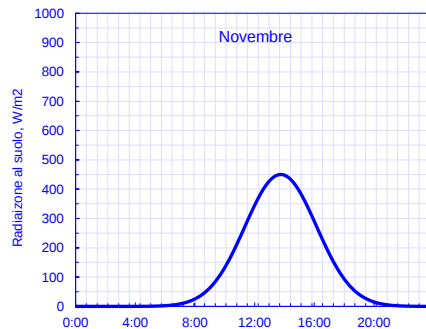
Misure in svariate condizioni

- Procedure
- Materiali
- Orari
- Giorni
- Meteo
- ...

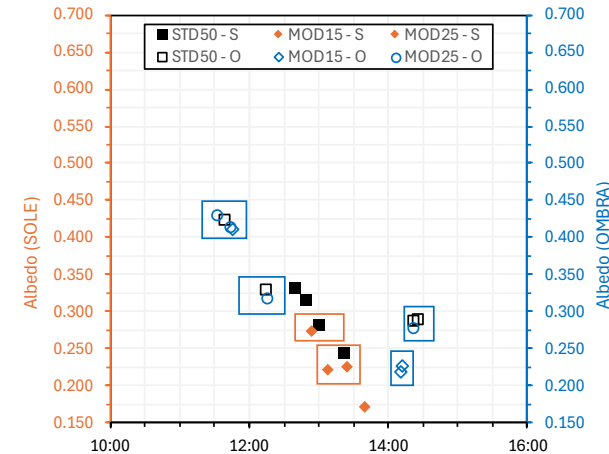
NORMALIZZAZIONE RADIAZIONE

Ricalcolo dei parametri per:

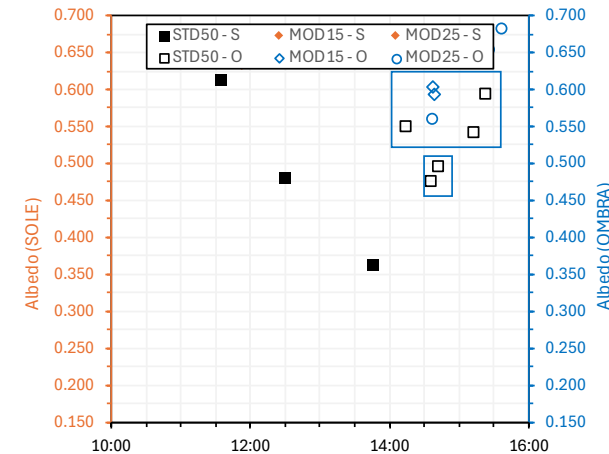
- Mese di indagine
- Picco orario
- Picco giornaliero



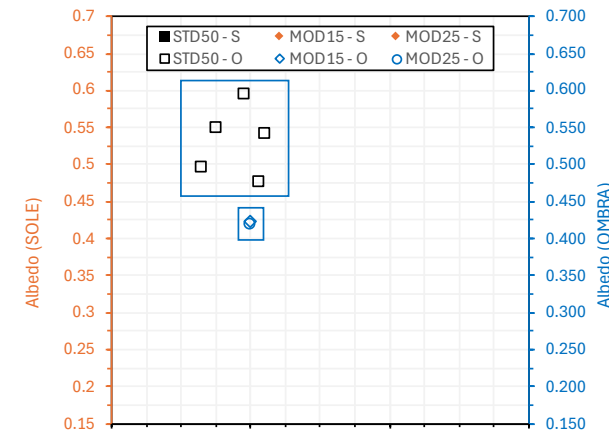
Conglomerato bituminoso



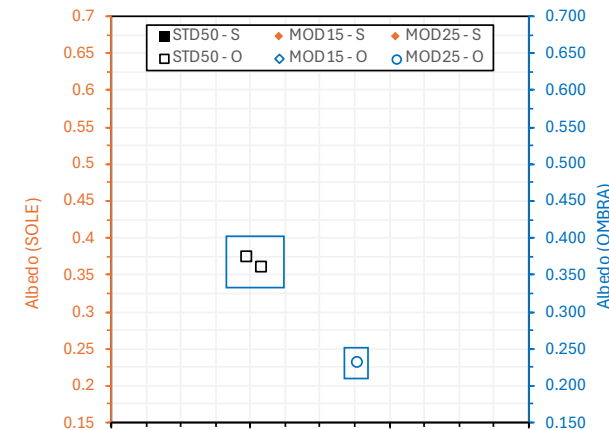
C. Bituminoso (segnaletica)



Ghiaia



Calcestruzzo



→ **Variabilità del risultato: necessari accorgimenti legati a condizioni di misura**

Asphalt-Workshop

CAM STRADE

Bolzano, giovedì 5 dicembre 2024



Grazie per l'attenzione!

Prof. Ing. Emiliano Pasquini, Ph.D.

emiliano.pasquini@unipd.it

AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL



PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO - ALTO ADIGE

PROVINCIA AUTONOMA DE BULSAN - SÜDTIROL



Ordine Ingegneri - Bolzano
Ingenieurkammer - Bozen