

Strategia di adattamento climatico

Atlante delle pavimentazioni che
riducono il surriscaldamento estivo
nelle aree urbane

INDICE

Premessa: dalla Strategia di adattamento climatico all'Atlante delle pavimentazioni	5
Glossario e Acronimi	7
Introduzione	12
Quadro scientifico di riferimento	12
Contesto urbano	13
Comfort outdoor	14
La percezione del benessere	14
I componenti del microclima	15
I fattori che influenzano il bilancio energetico	16
I fattori architettonici che influenzano il microclima	17
La valutazione del comfort termoigrometrico	18
L'isola di calore urbana e le strategie di adattamento	19
L'isola di calore urbana	19
Il ruolo dei materiali in ambito urbano	21
I materiali ad elevata riflettanza	21

SCHEDA PAVIMENTAZIONI 26

Materiali Locali Tradizionali (ML)	29
---	-----------

Materiali Alternativi (MA)	30
-----------------------------------	-----------

Asfalto 31

Asfalto	33
---------	----

Asfalto colorato	35
------------------	----

Asfalto con legante trasparente	36
---------------------------------	----

Calcestruzzo in opera 37

Calcestruzzo	39
--------------	----

Calcestruzzo drenante	40
-----------------------	----

Calcestruzzo prefabbricato 43

Cubetti autobloccanti in calcestruzzo	44
---------------------------------------	----

Cubetti autobloccanti in calcestruzzo fotocatalitico	46
--	----

Lastre in calcestruzzo	47
------------------------	----

Lastre in calcestruzzo ad alto indice di riflettanza solare (SRI)	48
---	----

Lastre drenanti	49
-----------------	----

Lastre drenanti fotocatalitiche	50
---------------------------------	----

Lastre fotocatalitiche	51
------------------------	----

Lastre fotoluminescenti	52
-------------------------	----

Masselli autobloccanti	53
------------------------	----

Masselli autobloccanti drenanti	55
---------------------------------	----

Masselli autobloccanti drenanti fotocatalitici	57
--	----

Masselli autobloccanti filtranti	59
----------------------------------	----

Masselli autobloccanti filtranti fotocatalitici	61
---	----

Masselli autobloccanti fotocatalitici	63
---------------------------------------	----

	Pietre tradizionali	65
	Cubetti in basalto tipo Sampietrino	67
	Lastre in basalto	68
	Cubetti in porfido	70
	Lastre in porfido	71
	Lastre in travertino	73
	Gomma	74
	Gomma antitrauma	76
	Conglomerato in gomma	78
	Gres	79
	Cubetti autobloccanti in gres porcellanato	81
	Lastre autobloccanti in gres porcellanato	82
	Terra stabilizzata	83
	Terra stabilizzata	85
	Terra stabilizzata ecologica	87
	Pavimentazione erbosa	89
	Manto erboso	91
	Grigliato salvaprato	94
SCHEDE	RIVESTIMENTI	96
	Coating	97
	Micro-rivestimenti polimerici compositi	98
	Rivestimenti in resina epossidica acrilica	99
MATRICE	MATRICE COMPARATIVA	100
	Note e Considerazioni	104
	Bibliografia	106

Premessa: dalla Strategia di adattamento climatico all'Atlante delle pavimentazioni

La strategia di adattamento climatico di Roma approvata dall'Assemblea capitolina il 14 gennaio 2025 individua il caldo come una priorità da affrontare per ridurre l'impatto sulla salute delle persone e migliorare la vivibilità urbana. Le analisi mettono infatti in evidenza un costante aumento delle temperature medie e delle giornate con picchi di calore e notti tropicali, ma anche grandi differenze all'interno del territorio romano che possono arrivare anche oltre i 5 gradi tra i parchi e alcuni quartieri, a seconda delle caratteristiche degli spazi liberi e di quelli costruiti, dei livelli di impermeabilizzazione, della presenza o meno di aree verdi e alberi. Infatti, il modo in cui le città sono state costruite influenza profondamente le temperature e il comfort percepito dalle persone negli spazi aperti, in particolare durante le più calde giornate estive dove i dati epidemiologici mettono in evidenza i rischi per la salute delle persone, con aumento dei ricoveri e della mortalità tra le persone più fragili.

La scelta di realizzare un *Atlante delle pavimentazioni che riducono il surriscaldamento estivo nelle aree urbane* è dunque un tassello importante del percorso di attuazione della Strategia di Adattamento e del lavoro che Roma ha intrapreso sul tema del contrasto alle ondate di calore. Si vuole infatti far crescere le conoscenze sui temi dell'adattamento climatico, ampliare le ricerche, promuovere approfondimenti e monitoraggi che aiutino a comprendere meglio i processi in corso e le più efficaci iniziative da intraprendere. I cambiamenti climatici determinano impatti di una forma e portata inedite che vanno studiati e approfonditi, e queste analisi vanno condivise sia in ambito scientifico che con iniziative di divulgazione e confronto pubblico visto il crescente interesse da parte dei cittadini verso temi di interesse e preoccupazione diffusa.

Uno dei campi più importanti di innovazione nell'approccio all'adattamento climatico riguarda la riqualificazione degli spazi pubblici, dove in ogni intervento occorre prevedere una specifica attenzione progettuale per ridurre le temperature e rendere gli spazi fruibili e accoglienti anche nelle giornate più calde. A Roma questo cambiamento di approccio nel modo in cui la città progetta e riqualifica le sue piazze e gli spazi pubblici lo si può già vedere nei cantieri inaugurati e realizzati nell'ambito delle iniziative per il Giubileo 2025 della Chiesa Cattolica e in diversi interventi in corso di realizzazione in aree differenti della città. In ognuno di questi interventi - dalla pedonalizzazione e riqualificazione di Piazza Pia, a quelli che hanno interessato Piazza San Giovanni, Piazza Risorgimento, piazza del Planetario e giardini di Dogali, fino al primo tratto inaugurato del Grab (il grande raccordo anulare ciclabile di Roma) a Via di San Gregorio per arrivare al ridisegno del giardino Galati, è chiara la volontà di porre attenzione a come riuscire eliminando l'asfalto e mettendo a dimora alberi e arbusti, e poi attraverso il contributo dell'ombreggiamento, dell'acqua, della permeabilità e dei caratteri delle pavimentazioni, a trovare le più efficaci soluzioni per ridurre l'impatto delle temperature che le persone percepiscono, renderle accessibili davvero per tutti e in particolare per i soggetti più fragili nei confronti del caldo, come anziani e bambini.

I materiali che troviamo nelle pavimentazioni delle città svolgono un ruolo importante rispetto al caldo percepito perché possono arrivare a coprire larga parte degli spazi frequentati dalle persone e a influenzare in modo decisivo il comfort outdoor. La novità positiva è che oggi disponiamo di riferimenti tecnici sempre più affidabili rispetto alle

prestazioni dei materiali e al comportamento rispetto al caldo, di competenze crescenti e esempi concreti di progetti realizzati e conosciuti. Inoltre, nei Criteri ambientali minimi per gli interventi edilizi approvati dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica è stato introdotto un parametro che riguarda l'assorbimento del calore da parte dei materiali – l'indice di riflessione solare – con un limite massimo da rispettare in tutti gli interventi pubblici e che oggi rappresenta un riferimento tecnico conosciuto dalle aziende che producono materiali e dai progettisti.

Il lavoro del gruppo di ricerca della Sapienza ha permesso di chiarire i riferimenti scientifici e di organizzare delle schede per le diverse tipologie di pavimentazioni e di materiali, con riferimenti prestazionali, criteri ed esempi che permettono di capire il ventaglio di soluzioni oggi possibili con i risultati che si possono raggiungere nel ridurre il caldo negli spazi pubblici. Si vuole in questo modo mettere a disposizione degli uffici di Roma Capitale e dei Municipi, ma anche di stazioni appaltanti e imprese private, esempi concreti che possono essere di spunto per progetti e capitolati dei lavori pubblici. Le schede sono pensate proprio per mettere a disposizione soluzioni e approcci tecnologici e progettuali diversi ma dove l'obiettivo imprescindibile è quello prestazionale, perché si deve garantire la riduzione del caldo percepito negli spazi pubblici che, oltretutto, oggi può essere calcolato e stimato attraverso specifici programmi di simulazione in cui al risultato finale contribuiscono le scelte fatte per pavimentazioni, ombreggiature, permeabilità, Nature based solutions (NBS).

Obiettivo dell'Atlante è di ampliare la conoscenza tecnica su questi temi e fare in modo che l'attenzione all'adattamento climatico sia sempre più diffusa e presente negli interventi pubblici e privati. In particolare, attraverso questo documento si vuole aprire un confronto con imprese, ordini professionali, mondo della ricerca e cittadini, in modo da accompagnare l'innovazione in corso e raccogliere osservazioni. Verrà aggiornato nel tempo per integrare nuove schede di esempi, materiali e soluzioni tecniche via via che procederà la sperimentazione e applicazione. Come possiamo vedere passeggiando nelle nuove piazze di Roma e leggendo le schede dell'Atlante disponiamo di molteplici soluzioni già applicate e conosciute che devono diventare progressivamente pratica diffusa in tutti gli interventi che riguardano piazze, giardini, marciapiedi, sedi stradali con l'obiettivo di migliorare la qualità dello spazio pubblico e renderlo accogliente in tutte le stagioni.

Glossario e Acronimi

AEC *Architectural Engeneering Costruction*

Acronimo con il quale viene comunemente designata l'industria delle costruzioni.

Albedo (o riflettanza solare)

L'albedo di una superficie è la frazione di luce o, più in generale, di radiazione solare incidente che è riflessa in tutte le direzioni. Indica dunque il potere riflettente di una superficie. Si può esprimere come un valore tra 0 e 1 (o come percentuale tra 0% e 100%), dove 1 (o 100%) indica che tutta la luce solare viene riflessa e 0 (o 0%) che nessuna viene riflessa.

Capacità drenante

Rapporto tra il volume d'acqua che passa nel sottosuolo e il volume caduto sul pavimento. Rappresenta la percentuale di acqua che drena nel sottosuolo.

Capacità fotocatalitica

La capacità fotocatalitica di un materiale si riferisce alla sua abilità di attivare reazioni chimiche sotto l'azione della luce, generalmente luce solare o luce ultravioletta (UV). Questo processo avviene grazie alla presenza di un fotocatalizzatore, un materiale che, quando esposto alla luce, promuove la formazione di specie reattive in grado di degradare sostanze organiche, inquinanti o trasformare composti chimici senza essere consumato nel processo.

Coefficiente di deflusso

Esprime il rapporto fra il volume d'acqua defluito in un dato intervallo di tempo e le precipitazioni. Il coefficiente di deflusso è la % di acqua che defluisce dal pavimento.

CAM *Criteri Ambientali Minimi*

Criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori per gli interventi edilizi come disciplinati dal decreto legislativo 18 aprile 2016 n. 50, contenuti nel Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione ovvero Piano d'Azione Nazionale sul Green Public Procurement (PANGPP) adottato l'11 aprile 2008 ai sensi dell'art. 1 c. 1126 e 1127 della legge 27 dicembre 2006 n. 296, con decreto del Ministro dell'Ambiente della tutela del territorio e del mare di concerto con il Ministro dello Sviluppo economico e dell'Economia e delle finanze.

Carico di rottura

Il carico di rottura (detto anche forza di rottura o sollecitazione a rottura) è il limite, in termini di forza o sollecitazione esterna applicata, oltre il quale un materiale risulta definitivamente inservibile dal punto di vista della resistenza.

CCM *Cool colored materials*

Vedi paragrafo "I materiali ad elevata riflessività".

CE *Marchatura CE*

La marcatura CE denomina un insieme di pratiche obbligatorie per tutti i prodotti per

i quali nell'Unione europea esiste almeno una direttiva comunitaria o un regolamento (chiamati nel loro complesso "norme comunitarie") che richiedano l'applicazione di un simbolo con le lettere "CE", generalmente sul prodotto oggetto di marcatura. Essa è realizzata dal fabbricante di un prodotto regolamentato nell'Unione europea, il quale dichiara, per mezzo della dichiarazione di conformità (o di prestazione nel caso dei prodotti da costruzione, o di incorporazione nel caso di quasimacchine), che il prodotto è conforme ai requisiti di sicurezza previsti dalle direttive o dai regolamenti comunitari applicabili.

CM *Cool materials*

Vedi paragrafo "I materiali ad elevata riflessività".

Coating

In italiano rivestimento, indica uno strato di materiale applicato sulla superficie di un oggetto (detto substrato) con lo scopo di modificarne le proprietà superficiali. I coating possono avere funzioni protettive (ad esempio, contro la corrosione o l'usura), estetiche (come la colorazione o la brillantezza) o funzionali (ad esempio, migliorare la conducibilità elettrica o la resistenza termica).

ρ Densità

La densità di un materiale è una proprietà fisica che indica la quantità di massa presente per unità di volume. Descrive quanto "compatto" o "concentrato" è il materiale. L'unità di misura della densità è il chilogrammo per metro cubo (kg/m^3).

ϵ Emissività termica

La emissività di un materiale è la frazione di energia irraggiata da quel materiale rispetto all'energia irraggiata da un corpo nero che sia alla stessa temperatura. È una misura della capacità di un materiale di irraggiare energia. Un vero corpo nero avrebbe un $\epsilon=1$ mentre qualunque oggetto reale ha $0<\epsilon<1$ (corpo grigio).

IR Infrarossa

La radiazione infrarossa (IR) è anche conosciuta come radiazione termica, in fisica è considerata la radiazione dello spettro elettromagnetico compresa tra le microonde e la luce visibile, che copre una banda di frequenze da circa $3 \cdot 10^{11}$ a $4 \cdot 10^{14}$ Hz, con le rispettive lunghezze d'onda da circa 1 mm a 700 nm ($0,7 \mu\text{m}$).

ITACA Istituto per l'innovazione e trasparenza degli appalti e la compatibilità ambientale

Il protocollo ITACA descrive i principi metodologici e procedurali per la valutazione della sostenibilità ambientale degli edifici residenziali e non residenziali, ai fini della loro classificazione attraverso l'attribuzione di un punteggio di prestazione. Il protocollo completo è articolato in settanta schede di valutazione e stabilisce requisiti minimi di sostenibilità edilizia.

LEED Leadership in Energy and Environmental Design

È il sistema statunitense di classificazione dell'efficienza energetica e dell'impronta ecologica degli edifici, sviluppato dallo U.S. Green Building Council (USGBC). Fornisce un insieme di standard di misura per valutare le costruzioni ambientalmente sostenibili.

Materie prime riciclate

Le materie prime riciclate sono materiali recuperati da rifiuti o scarti, che vengono sottoposti a processi di riciclo per essere riutilizzati nella produzione di nuovi prodotti o componenti, a differenza delle materie prime vergini, che vengono estratte direttamente da risorse naturali (come minerali, petrolio o legname).

OMS Organizzazione Mondiale della Sanità

L'Organizzazione mondiale della sanità è un istituto specializzato dell'Organizzazione delle Nazioni Unite per la salute, istituito nel 1948 con l'obiettivo di garantire a tutte le popolazioni il livello più alto possibile di salute, definita nella medesima costituzione come condizione di completo benessere fisico, mentale e sociale, e non soltanto come assenza di malattia o di infermità.

Permeabilità all'acqua

L'effettiva quantità di acqua che una pavimentazione può drenare. Il coefficiente di permeabilità è la velocità con cui l'acqua può attraversare l'impasto di una pavimentazione filtrante. Può essere espresso come percentuale di acqua che passa e drena attraverso la pavimentazione.

PET Temperatura Fisiologica Equivalente (*Physiologically Equivalent Temperature*)

È un indice termico che tiene conto di vari fattori ambientali come la temperatura, l'umidità, la velocità del vento e la temperatura media radiante per stimare il livello di stress termico sperimentato dagli individui. La PET è definita come la temperatura dell'aria alla quale, in un ambiente interno tipico (senza vento e radiazione solare), la temperatura del nucleo e della pelle sono uguali a quella delle condizioni valutate in base allo stato di equilibrio termico, che si basa sul modello di equilibrio energetico di Monaco per gli individui.

PMV Voto medio previsto (*Predicted Mean Vote*)

Il modello PMV è stato sviluppato da P.O. Fanger utilizzando equazioni di bilancio termico e studi empirici sulla temperatura della pelle per definire il comfort. Le indagini standard sul comfort termico chiedono ai soggetti di esprimere la loro sensazione termica su una scala a sette punti, da freddo (-3) a caldo (+3). Le equazioni di Fanger sono utilizzate per calcolare il voto medio previsto (PMV) di un gruppo di soggetti per una particolare combinazione di temperatura dell'aria, temperatura radiante media, umidità relativa, velocità dell'aria, tasso metabolico e isolamento degli indumenti.

Resistenza a compressione

La resistenza a compressione è una proprietà meccanica di un materiale che misura la sua capacità di resistere a forze che tendono a ridurne il volume, applicate in direzione opposta. In altre parole, è la massima pressione o sforzo compressivo che un materiale può sopportare prima di rompersi o deformarsi in modo permanente. Questa proprietà è particolarmente importante per materiali utilizzati in costruzioni e pavimentazioni, poiché permette di valutare quanto un materiale può sostenere carichi elevati senza collassare.

Resistenza a trazione

È una proprietà meccanica che si riferisce alla massima sollecitazione di trazione che un materiale può sopportare prima che si verifichi una deformazione permanente o una frattura.

Resistenza a flessione

È una proprietà meccanica di un materiale che misura la sua capacità di resistere a forze che tendono a piegarlo. È il massimo sforzo che il materiale può sopportare senza rompersi o subire deformazioni permanenti sotto un carico applicato in modo trasversale, che genera una combinazione di tensioni a trazione e a compressione sulla sezione del materiale.

Resistenza al gelo/disgelo

È una proprietà dei materiali che misura la loro capacità di sopportare cicli ripetuti di congelamento e scongelamento senza subire danni strutturali significativi, come crepe, spaccature o disgregazione superficiale. Questo parametro è particolarmente rilevante per materiali utilizzati in ambienti esterni e in climi freddi, dove le temperature scendono spesso sotto lo zero.

Resistenza alla deformazione permanente

È la capacità di un materiale di resistere a carichi o sollecitazioni senza subire deformazioni irreversibili. Quando un materiale è sottoposto a un carico, si deforma; tuttavia, se rimosso, dovrebbe tornare alla sua forma originale. Se il carico supera un certo limite, chiamato limite elastico, la deformazione diventa permanente, ovvero il materiale non ritorna alla sua forma iniziale.

Resistenza allo scivolamento

È una proprietà di una superficie che misura la sua capacità di offrire attrito e impedire lo scivolamento di persone o oggetti in contatto con essa. Questo parametro

è particolarmente rilevante per pavimentazioni e rivestimenti, soprattutto in aree soggette a condizioni di umidità.

Rigidezza

È la capacità che ha un corpo di opporsi alla deformazione provocata da una forza applicata. Il suo inverso è detto cedevolezza o flessibilità. Un corpo è tanto più rigido quanto maggiore è il modulo elastico.

SDGs Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Goals)

Gli obiettivi di sviluppo sostenibile sono una serie di 17 obiettivi interconnessi, definiti dall'Organizzazione delle Nazioni Unite come strategia per ottenere un futuro migliore e più sostenibile per tutti. Sono conosciuti anche come Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile.

SET Temperatura Effettiva Standard (Standard Effective Temperature)

Secondo la norma ANSI/ASHRAE 55-2010 la SET è definita come la temperatura equivalente di un ambiente standard immaginario caratterizzato da un 50% di umidità relativa, una velocità dell'aria inferiore a 0,1 metri al secondo e una temperatura media radiante uguale alla temperatura dell'aria, in cui la perdita totale di calore dalla pelle di un occupante immaginario con un livello di attività di 1,0 met e un livello di abbigliamento di 0,6 clo è uguale a quella di una persona nell'ambiente reale, con abbigliamento e livello di attività reali.

SR Riflettanza solare (o albedo)

È la capacità di un materiale di riflettere la radiazione solare. Si può esprimere come un valore tra 0 e 1 (o come percentuale tra 0% e 100%), dove 1 (o 100%) indica che tutta la luce solare viene riflessa e 0 (o 0%) che nessuna viene riflessa.

SRI Indice di riflettanza solare (Solar Reflectance Index)

È un parametro che misura la capacità di un materiale di riflettere l'energia solare incidente. È un'unità di misura normalizzata che combina la riflettanza solare (SR) e l'emissività termica (ϵ). In altre parole, l'SRI indica la capacità di un materiale di isolare termicamente quando esposto alla luce solare. Si esprime in scala da 1-100, anche se sono possibili valori negativi o superiori a 100.

SVF Indice di copertura del cielo (Sky View Factor)

Indica la porzione di cielo visibile da un punto di osservazione. Più alto è lo SVF e maggiore è la perdita di calore in atmosfera. Ad esempio, una conca piccola e profonda ha un SVF basso e quindi un raffreddamento notturno ridotto, mentre al contrario una radura ha un SVF elevato ed è sensibile ad un raffreddamento più accentuato. I valori di misurazione possono variare da 0,0 in caso di cielo completamente ostruito e quindi non visibile, a 1,0 nel caso di cielo completamente visibile a 360 gradi.

T_{air} Temperatura dell'aria

La temperatura atmosferica è una misura della temperatura a diversi livelli dell'atmosfera terrestre. È regolata da molti fattori, tra cui la radiazione solare in entrata, l'umidità e l'altitudine.

T_{MRT} Temperatura media radiante (Mean Radiant Temperature)

Il concetto di temperatura media radiante viene utilizzato per quantificare lo scambio di calore radiante tra un essere umano e l'ambiente circostante, al fine di comprendere l'influenza delle temperature superficiali sul comfort percepito. Può essere definita come la temperatura uniforme di un involucro immaginario in cui il trasferimento di calore radiante dal corpo umano è uguale al trasferimento di calore radiante nell'involucro reale non uniforme. La T_{MRT} è un concetto utile in quanto lo scambio netto di energia radiante tra due oggetti è approssimativamente proporzionale al prodotto della loro differenza di temperatura moltiplicata per la loro emissività (capacità di emettere e assorbire calore). L'MRT ha una forte influenza sugli indici di comfort termofisiologico, come la temperatura equivalente fisiologica (PET) o il voto medio previsto (PMV).

T_{surface} Temperatura delle superfici

La temperatura delle superfici di un materiale è la temperatura rilevata sulla superficie

esterna del materiale stesso. Questa temperatura è determinata dall'equilibrio tra l'energia assorbita dalla superficie (come radiazione solare, calore da attrito o altre fonti di calore) e l'energia dispersa attraverso radiazione, conduzione o convezione. $T_{surfaces}$ è un parametro fondamentale in molte applicazioni, tra cui l'analisi termica degli edifici, la climatizzazione, il design dei materiali e la valutazione dell'efficienza energetica, poiché influisce direttamente sulle proprietà di trasferimento termico tra il materiale e l'ambiente circostante.

UCL Calotta Urbana (*Urban Canopy Layer*)

La calotta urbana si riferisce allo spazio tra la superficie urbana e i tetti e viene utilizzata per riflettere le condizioni termiche delle aree di attività umana negli ambienti urbani.

UHI Isola di Calore Urbana (*Urban Heat Island*)

In meteorologia e climatologia l'isola di calore è il fenomeno che determina un microclima più caldo all'interno delle aree urbane cittadine, rispetto alle circostanti zone periferiche e rurali. L'isola di calore urbana è un effetto combinato delle attività umane e delle condizioni meteorologiche locali durante l'urbanizzazione. Le cause dell'effetto dell'isola di calore urbana includono le caratteristiche della superficie del suolo urbano, le emissioni di gas serra, la concentrazione delle fonti di calore e l'inquinamento atmosferico.

UR Umidità relativa

L'umidità è la concentrazione di vapore acqueo presente nell'aria. L'umidità assoluta è espressa come massa di vapore acqueo per volume di aria umida (in grammi per metro cubo) o come massa di vapore acqueo per massa di aria secca (in grammi per chilogrammo). L'umidità relativa, spesso espressa in percentuale, indica lo stato attuale di umidità assoluta rispetto all'umidità massima a parità di temperatura.

UTCI Indice Termico Climatico Universale (*Universal Thermal Climate Index*)

L'UTCI è una temperatura equivalente ($^{\circ}\text{C}$) che misura la risposta fisiologica dell'uomo all'ambiente termico. L'indice descrive gli scambi di calore sinergici tra l'ambiente termico e il corpo umano, ovvero il suo bilancio energetico, la fisiologia e l'abbigliamento. L'UTCI prende in considerazione l'adattamento dell'abbigliamento della popolazione in risposta alla temperatura ambientale effettiva. Per calcolare l'UTCI sono necessarie quattro variabili: temperatura dell'aria a 2 metri di altezza, temperatura del punto di rugiada a 2 metri di altezza (o umidità relativa), velocità del vento a 10 metri dal suolo e temperatura media radiante (T_{MRT}).

UV Ultravioletta

È una radiazione elettromagnetica di lunghezza d'onda compresa tra 10 e 400 nanometri, più corta di quella della luce visibile, ma più lunga dei raggi X. La radiazione UV è presente nella luce solare e costituisce circa il 10% della radiazione elettromagnetica totale emessa dal Sole.

W_s Velocità del vento (*Wind speed*)

In meteorologia, la velocità del vento, o velocità del flusso del vento, è una grandezza atmosferica fondamentale causata dal movimento dell'aria da un'alta a una bassa pressione, di solito a causa di variazioni di temperatura. La velocità del vento viene oggi comunemente misurata con un anemometro e l'unità di misura è il metro al secondo (m/s).

WAI Indice di assorbimento dell'acqua (*Water Absorption Index*)

Indica la capacità del materiale di assorbire e trattenere acqua per capillarità o per porosità, favorendo il suo passaggio attraverso la superficie, contribuendo al drenaggio e alla gestione delle acque meteoriche. Viene usato per valutare l'efficienza drenante di pavimentazioni drenanti.

Introduzione

Quadro scientifico di riferimento

A partire dalla COP 21 di Parigi del 2015, il contrasto ai cambiamenti climatici è emerso come una delle questioni ambientali più rilevanti a livello globale. Oggi oltre metà della popolazione mondiale vive in città e si prevede che entro il 2050 oltre due terzi degli abitanti saranno concentrati in aree urbane. Questo progressivo fenomeno di inurbamento evidenzia il ruolo centrale delle città nel far fronte ai cambiamenti climatici e l'importanza di una pianificazione urbana capace di promuovere una crescita economica sostenibile e inclusiva. In questo contesto assume un ruolo strategico il Sustainable Development Goal (SDG) 11, *Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable*, che mira a rendere le città sicure, inclusive e sostenibili¹. In particolare l'obiettivo 11.B prevede che entro il 2030 aumenti significativamente il numero di città e insediamenti umani che adottano e attuano politiche e piani integrati per l'inclusione, l'efficienza delle risorse, la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici. Questi obiettivi sono in linea con il Quadro di Sendai per la Riduzione del Rischio di Disastri 2015-2030, che pone l'accento su una gestione olistica del rischio a livello locale e nazionale.

L'incremento generale delle temperature e le sempre più frequenti ondate di calore innescate dai cambiamenti climatici sottolineano la relazione tra la copertura del suolo e la temperatura dell'aria, soprattutto nelle aree urbane caratterizzate da superfici artificiali spesso asfaltate o impermeabili e con poche aree verdi. Nel periodo estivo, queste condizioni contribuiscono al fenomeno dell'isola di calore urbana (UHI), poiché non è garantita un'adeguata traspirazione ed evaporazione del terreno. In Europa, la crescente urbanizzazione incide in modo significativo sull'intensificarsi del fenomeno dell'UHI provocando un aumento del disagio termico con conseguente incremento di comportamenti e pratiche energivore per contrastare il fenomeno, come l'uso prolungato di sistemi di climatizzazione attivi.

Le strategie di mitigazione e adattamento assumono un ruolo determinante nel breve termine per incrementare la resilienza degli spazi pubblici. Per mitigare gli effetti dell'UHI e proteggere la popolazione da eventi climatici estremi, città come Parigi e Londra hanno adottato misure specifiche in ambito urbano. Nei tessuti consolidati e storici, l'attenzione si è concentrata su soluzioni innovative volte a ridurre l'impatto ambientale e migliorare il comfort termico attraverso materiali e tecnologie avanzate. Lo studio di pavimentazioni stradali e pedonali performanti è diventato un ambito di ricerca prioritario per ridurre gli effetti ambientali e sanitari della UHI in contesti densamente antropizzati.

In ambito europeo, l'iniziativa *New European Bauhaus* promuove un approccio integrato alla progettazione urbana, basato su sostenibilità, estetica e inclusione e ha tracciato le future linee di ricerca e gli obiettivi per migliorare la qualità della vita nell'ambiente costruito. Il settore dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni (*Architectural Engineering Construction - AEC*) gioca un ruolo chiave nel raggiungimento degli obiettivi climatici, attraverso l'uso di materiali più performanti e innovativi capaci di ridurre le emissioni di gas serra e il l'UHI.

¹ L'Obiettivo 11 per lo Sviluppo sostenibile è uno dei 17 Obiettivi di sviluppo sostenibile (SDGs) fissati dall'Assemblea generale delle Nazioni Unite nel 2015. I 17 SDGs tengono conto del fatto che l'azione in un settore influenzerà i risultati anche negli altri, e che lo sviluppo deve bilanciare la sostenibilità sociale, economica e ambientale.

2. Il Piano Regolatore Generale di Roma Capitale è il principale strumento urbanistico che regola l'attività edificatoria all'interno del territorio comunale. Il Piano Regolatore è costituito da una serie di elaborati prescrittivi tra cui le NTA, atti a contenuto generale, recanti prescrizioni a carattere normativo e programmatico, che stabiliscono diritti e doveri della proprietà immobiliare in funzione delle trasformazioni edilizie ed urbanistiche della città e del territorio.

Contesto urbano

Il presente Atlante sarà da contestualizzare rispetto alla classificazione del territorio stabilita dalle Norme Tecniche Attuative (NTA) del Piano Regolatore Generale di Roma², che distinguono il territorio urbano in diverse componenti del sistema insediativo, ciascuna caratterizzata da specificità urbanistiche, morfologiche, storiche e funzionali. In coerenza con tale articolazione, l'Atlante propone soluzioni diversificate che andranno selezionate in relazione alla tipologia di tessuto urbano, considerando parametri quali la densità edilizia, la presenza di verde, le caratteristiche storiche e materiche, le potenzialità di trasformazione o ristrutturazione e l'eventuale presenza di vincoli paesaggistici o normativi. Si fa riferimento in particolare alle componenti del sistema insediativo articolate in riferimento a: la Città storica; la Città consolidata; la Città da ristrutturare; la Città della trasformazione; i Progetti strutturanti.

Per **Città Storica** si intende l'insieme integrato costituito dall'area storica centrale interna alle mura, dalle parti urbane dell'espansione otto-novecentesca consolidata interne ed esterne alle mura e dai singoli siti e manufatti localizzati nell'intero territorio comunale che presentano una identità storico-culturale definita da particolari qualità, riconoscibili e riconosciute dal punto di vista dei caratteri morfogenetici e strutturanti dell'impianto urbano e di quelli tipo-morfologici, architettonici e d'uso dei singoli tessuti, edifici e spazi aperti, anche in riferimento al senso e al significato da essi assunto nella memoria delle comunità insediate.

Per **Città consolidata** si intende quella parte della città esistente stabilmente configurata e definita nelle sue caratteristiche morfologiche e, in alcune parti, tipologiche, in larga misura generata dall'attuazione degli strumenti urbanistici esecutivi dei Piani regolatori generali del 1931 e del 1962.

Per **Città da ristrutturare** si intende quella parte della città esistente solo parzialmente configurata e scarsamente definita nelle sue caratteristiche di impianto, morfologiche e di tipologia edilizia, che richiede consistenti interventi di riordino, di miglioramento e/o completamento di tali caratteri nonché di adeguamento ed integrazione della viabilità, degli spazi e servizi pubblici.

Per **Città della trasformazione** si intende quella parte di città di nuovo impianto, destinata a soddisfare esigenze insediative, di servizi ed attrezzature di livello locale, urbano e metropolitano ed a costituire nuove opportunità di qualificazione dei contesti urbani e periurbani.

I **Progetti strutturanti** sono relativi: a parti di città fortemente caratterizzate da insiemi di elementi e tracciati archeologici, storici e naturali; ad ambiti di trasformazione strategici rispetto al futuro assetto della città; a luoghi centrali dotati di forte identità locale.

Comfort outdoor

La percezione del benessere

Il benessere percepito dagli utenti negli spazi aperti è strettamente legato al concetto di comfort, inteso come una condizione di agio psicofisico e sociale. L'Organizzazione Mondiale della Sanità, nella definizione di salute del 1948³, ulteriormente sviluppata nella Carta di Ottawa del 1986⁴, descrive la salute come uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale, e non solo come assenza di malattia.

Attualmente non esistono normative europee o nazionali che regolano il livello di comfort negli spazi esterni, in parte per le difficoltà di descriverlo e controllarlo. Pertanto, i criteri per la progettazione climatica degli spazi aperti sono complessi e includono il controllo solare stagionale e la gestione dei venti.

Il benessere fisico è strettamente correlato all'equilibrio termico del corpo umano, che varia in risposta alla capacità di adattamento dell'organismo a un ambiente in continuo mutamento. Questo adattamento avviene attraverso tre principali meccanismi adottati dal corpo:

1. **adattamento fisiologico:** processi interni di termoregolazione come sudorazione e variazione del battito cardiaco;
2. **adattamento fisico:** modifiche esterne come l'abbigliamento, la postura o l'interazione con l'ambiente (ad esempio, aprire una schermatura);
3. **adattamento psicologico:** cambiamenti soggettivi nella percezione del comfort.

Il comfort termico-igrometrico negli spazi aperti è fortemente influenzato dal bilancio energetico del corpo umano, che include il metabolismo e la temperatura media della pelle. Il comfort si raggiunge quando i recettori termici della pelle e dell'ipotalamo rilevano una condizione di equilibrio e inviano il minimo segnale nervoso.

Modelli energetici come il MEMI (*Munich Energy Model for Individuals*) permettono di stimare i valori della temperatura cutanea e possono essere applicati universalmente in diversi scenari climatici. Il bilancio termico del corpo con l'ambiente avviene principalmente attraverso:

- **convezione:** trasporto di energia tramite fluidi (aria);
- **irraggiamento:** scambio di energia sotto forma di onde elettromagnetiche, proporzionale alla temperatura del corpo emittente.

La conduzione, ossia lo scambio di calore per contatto diretto, è generalmente trascurabile negli spazi aperti. Per questo motivo il MEMI è considerato tra i modelli di calcolo più affidabili e che meglio approssimano il comportamento umano all'interno di uno spazio outdoor, descritto nella seguente formula:

$$M + W + R + C + ED + ERe + ESw + S = 0$$

dove:

M= tasso metabolico,

W= attività fisica,

R= radiazione netta del corpo umano,

C= flusso convettivo,

3. L'Organizzazione Mondiale della Sanità ha introdotto una definizione di salute nella sua Costituzione adottata dalla Conferenza Internazionale della Sanità tenutasi a New York dal 19 giugno al 22 luglio 1946, firmata il 22 luglio 1946 dai rappresentanti di 61 Stati ed entrata in vigore il 7 aprile 1948.

4. La Carta di Ottawa per la promozione della salute è il nome dato a un accordo internazionale firmato in occasione della Prima Conferenza Internazionale sulla Promozione della Salute, organizzata dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) e tenutasi a Ottawa, in Canada, dal 7 al 21 novembre 1986. La carta definisce il concetto di "Promozione della salute" come il processo che mette in grado le persone di aumentare il controllo sulla propria salute e di migliorarla. Solo attraverso la promozione della salute si potrà raggiungere un completo stato di benessere, che non è lasciato come unica responsabilità del settore sanitario, ma riguarda tutti.

E_D = flusso di calore latente diffuso attraverso la pelle,
 E_{Re} = flusso di calore per la respirazione,
 E_{Sw} = flusso di calore dovuto all'evaporazione del sudore,
 S = flusso di calore immagazzinato per riscaldare o raffreddare la massa corporea.

L'unità di misura di ogni fattore è il W/m^2 . I singoli termini dell'equazione hanno segno positivo quando rappresentano guadagni energetici e segno negativo quando si configurano come perdite (M è sempre positivo; W , E_D e E_{Sw} sono sempre negativi). I parametri microclimatici che influenzano il bilancio energetico del corpo umano sono la temperatura del vento (T_{air}), la velocità dell'aria (W_s), l'umidità relativa (UR) e la temperatura media radiante (Mean Radiant Temperature, nella doppia abbreviazione: MRT o T_{mrt}).

I componenti del microclima

I principali fattori che influenzano il benessere e la salute umana in un ambiente outdoor sono: la radiazione solare, i raggi UV e il calore.

Radiazione solare

Il sole emette radiazioni di diverse lunghezze d'onda, tra cui luce visibile, ultravioletta (UV) e infrarossa (IR). Circa il 50% della radiazione solare che raggiunge la terra è luce visibile, il 10% è UV e il 40% è IR. La radiazione solare è il motore del sistema meteorologico terrestre e alimenta tutte le trasformazioni microclimatiche, essendo fondamentale per la vita sul pianeta. Lo spettro elettromagnetico solare è simile a quello di un corpo nero e consiste principalmente di radiazioni a onde corte (lunghezza d'onda inferiore a $4,0 \mu m$), che sono altamente energetiche. A seconda della nuvolosità e della presenza di vapore acqueo, particelle e aerosol nell'atmosfera, una parte della radiazione solare viene riflessa (circa il 25%) e una parte assorbita (dal 10% al 25%). Di conseguenza, una quota compresa tra il 75% e il 50% della radiazione raggiunge la superficie terrestre, suddivisa in due componenti: la componente diretta, che proviene direttamente dal sole, e la componente diffusa, quasi isotropa, causata dalle deviazioni multiple nell'atmosfera. Una volta giunta al suolo, questa radiazione viene integrata nei processi giornalieri e stagionali di riflessione, assorbimento, trasmissione ed emissione infrarossa delle masse naturali e artificiali della terra, sotto forma di calore sensibile e latente.

Raggi UV

La radiazione solare ha sia effetti positivi che negativi sul benessere umano. Tra gli effetti negativi dei raggi UV sulla salute si includono ustioni, accelerazione dell'invecchiamento cutaneo, vari tipi di cancro della pelle, perdita di spessore cutaneo e sviluppo di cheratosi solari. I raggi UV possono anche influire sull'apparato visivo, causando cataratta corticale, congiuntivite e carcinoma della cornea.

Tuttavia, piccole quantità di raggi UV sono necessarie per la produzione di vitamina D. L'intensità dei raggi UV che raggiunge la superficie terrestre è determinato da diversi fattori, tra cui i livelli di ozono nella stratosfera, la copertura nuvolosa, la latitudine (a latitudini più elevate corrispondono livelli inferiori di radiazione UV), l'elevazione del sole rispetto alla stagione (maggiore è l'altezza solare, maggiore è il livello di radiazione UV) e l'inquinamento atmosferico.

Non esistono regolamenti o standard riguardanti la radiazione UV. L'Organizzazione Mondiale della Sanità raccomanda misure focalizzate sul comportamento individuale delle persone per evitare l'eccessiva esposizione, come cercare zone ombreggiate, applicare protezioni solari, indossare occhiali da sole. Riguardo la sottoesposizione, l'OMS indica che un'esposizione giornaliera del 6-10% della superficie corporea a 1 MED (Minimal Erythematous Dose, Dose minima Eritema) dovrebbe essere sufficiente a mantenere una giusta quantità di vitamina D.

Calore

Il paesaggio termico è il risultato dell'interazione tra la radiazione solare in ingresso e l'atmosfera terrestre, che genera fenomeni di riflessione, assorbimento e riemissione. La radiazione solare in ingresso è ad onda corta, mentre la radiazione riemessa dalla terra e dall'atmosfera è ad onda lunga. Il risultato percepito dello scambio netto di

radiazione Q^* tra il corpo umano e il suo ambiente viene definito temperatura media radiante (MRT o T_{mrt}) descritta come la temperatura immaginaria di uno spazio chiuso nel quale lo scambio energetico radiativo con il corpo eguaglia lo scambio energetico radiativo nell'attuale ambiente non uniforme che riguarda tutte le superfici e il cielo.

Unitamente alla temperatura dell'aria, la T_{mrt} svolge un ruolo fondamentale sul sistema di termoregolazione dell'uomo. La radiazione e la temperatura dell'aria rappresentano quattro dei fattori che influenzano il bilancio termico umano, insieme all'umidità relativa e alla velocità del vento. La loro influenza sul sistema di termoregolazione dell'uomo non può essere distinta, dal momento che il corpo umano non presenta ricettori selettivi per la percezione dei singoli parametri microclimatici ma percepisce l'effetto termico in maniera combinata come una temperatura percepita. Il valore della temperatura ottimale varia con la localizzazione: latitudini elevate mostrano un valore ottimale inferiore a latitudini più basse.

I fattori che influenzano il bilancio energetico

I singoli flussi termici all'interno dell'equazione di bilancio energetico dell'essere umano sono controllati dai seguenti parametri meteorologici:

- la temperatura dell'aria (T_{air} , °C): C , E_{Re}
- la velocità del vento (W_s , m/s): C , E_{Sw}
- l'umidità relativa (UR, %): E_D , E_{re} , E_{Sw}
- la temperatura media radiante (T_{mrt} , °C): R

Temperatura dell'aria (T_{air})

La temperatura dell'aria, o temperatura di bulbo asciutto, è misurata con un termometro esposto direttamente all'aria ma schermato dalla radiazione solare diretta e dall'umidità. Questa grandezza è principalmente influenzata dallo scambio convettivo tra l'aria e la superficie terrestre, rendendola variabile nel tempo e nello spazio, soprattutto in funzione dell'insolazione. L'entità dell'escursione termica giornaliera e annuale dipende dalle condizioni di soleggiamento e dalla presenza di masse termiche significative.

Un fattore che influenza notevolmente la temperatura dell'aria durante il giorno è la copertura del cielo, o Sky View Factor (SVF), che attenua l'irraggiamento e rappresenta un importante parametro architettonico da manipolare. Le condizioni più critiche si verificano in giornate estive e invernali serene, quando si registra il massimo guadagno solare e la massima dispersione radiativa. Questo, insieme all'inerzia termica della terra, porta a un picco delle temperature nelle prime ore pomeridiane, dopo che la radiazione solare più intensa, registrata intorno a mezzogiorno, è stata assorbita e riemessa dal suolo.

Con l'aumento della temperatura dell'aria (T_{air}), aumentano anche il flusso di calore convettivo e il flusso di calore sensibile dovuto alla respirazione (E_{Re}).

Velocità del vento (W_s)

La velocità del vento è un parametro fondamentale in fluidodinamica, estremamente instabile e che aumenta con l'incremento del gradiente di pressione tra due punti. Essa dipende da fattori meteorologici sia su scala macro che micro, oltre che da fattori topografici e morfologici, in particolare dalla variazione termica e dal coefficiente di rugosità del suolo.

La velocità del vento influisce indirettamente sia sullo scambio termico convettivo che su quello evaporativo, poiché la velocità media e il livello di turbolenza modificano significativamente i coefficienti di scambio termico convettivo e di massa. Nell'ambito dell'equazione di bilancio MEMI, un aumento della velocità del vento comporta una diminuzione del flusso convettivo (C) e del flusso evaporativo (E_{Sw}).

Quando la temperatura dell'aria (T_{air}) è inferiore a quella della pelle, si verifica una perdita di calore per convezione; al contrario, se T_{air} è superiore, si ha un guadagno di energia. È importante sottolineare la relazione con l'umidità relativa: a umidità molto basse (<30%) o molto alte (>80%), l'effetto della ventilazione sullo scambio termico è estremamente elevato nel primo caso e praticamente nullo nel secondo. In condizioni di umidità relativa media, l'evaporazione aumenta significativamente con l'incremento della velocità del vento.

Umidità relativa (UR)

L'umidità atmosferica è la quantità di vapore acqueo nell'aria, principalmente dovuta

all'evaporazione dai grandi bacini idrici per effetto della radiazione solare. L'umidità relativa è il rapporto percentuale tra la quantità effettiva di vapore acqueo presente e la quantità massima necessaria per saturare l'aria alla stessa temperatura.

Nel contesto dell'equazione di bilancio energetico MEMI, un aumento dell'umidità relativa riduce le dispersioni di calore latente, influenzando i flussi termici attraverso la pelle (E_p), l'evaporazione del sudore (E_{sw}) e la respirazione (E_{re}). Questo fenomeno non compromette significativamente il comfort fino a un livello critico (UR ~80% per temperature sopra i 25°C), poiché il corpo compensa aumentando la sudorazione. Oltre tale livello, l'evaporazione del sudore si arresta, causando una sgradevole sensazione di pelle eccessivamente bagnata.

Temperatura media radiante (T_{mrt})

La temperatura media radiante riassume tutti i flussi radiativi a onde corte e lunghe (diretti e riflessi) a cui il corpo umano è esposto ed è un parametro meteorologico cruciale per il bilancio energetico umano e il comfort termico. È definita come la temperatura uniforme di una cavità nera ipotetica in cui il trasferimento di calore per irraggiamento dal corpo umano equivale a quello nell'ambiente reale non uniforme. Nel contesto dell'equazione di bilancio energetico MEMI, la T_{mrt} rappresenta lo scambio radiativo semplificato tra l'ambiente circostante e l'individuo; valori elevati di T_{mrt} corrispondono a un aumento della radiazione netta (R) del corpo umano.

I fattori architettonici che influenzano il microclima

Il microclima urbano è profondamente influenzato dall'ambiente costruito, in particolare dalla topografia, dalla morfologia urbana, dalle proprietà dei materiali e dalla presenza di vegetazione. La topografia, che comprende latitudine, altitudine, esposizione, sistemi orografici, corpi idrici e vegetazione, modifica il microclima locale influenzando la distribuzione della radiazione solare, la temperatura e la circolazione dell'aria. Ad esempio, la latitudine determina l'angolo di incidenza dei raggi solari, mentre corpi idrici e vegetazione mitigano il clima attraverso evaporazione ed evapotraspirazione, aumentando l'umidità relativa e riducendo la temperatura dell'aria.

Alla scala dell'Urban Canopy Layer (UCL), che rappresenta la microscala climatica urbana, i principali fattori influenti sono la geometria urbana, le proprietà radiative dei materiali e la presenza di vegetazione o acqua. La geometria urbana, ovvero la forma e la disposizione degli edifici, influenza la circolazione dell'aria e l'esposizione alla radiazione solare. Il fattore di vista del cielo (Sky View Factor, SVF) misura la porzione di cielo visibile da un punto urbano, variando da 0 (cielo completamente ostruito) a 1 (cielo completamente aperto). Uno SVF basso può ridurre la dispersione del calore durante la notte, mantenendo temperature più elevate, mentre durante il giorno fornisce ombreggiamento, riducendo l'assorbimento di calore.

Le proprietà radiative dei materiali urbani influenzano la riflessione, l'assorbimento e l'emissione della radiazione solare, contribuendo al paesaggio radiante urbano. L'albedo è la percentuale di radiazione solare riflessa da una superficie, variando da 0 (riflettanza nulla) a 1 (massima riflettanza). Materiali con bassa albedo, come l'asfalto invecchiato, assorbono più calore, mentre quelli con alta albedo, come il marmo, riflettono maggiormente la radiazione solare. L'emissività (ϵ) rappresenta la capacità di un materiale di emettere energia termica; i materiali edili hanno emissività elevata, contribuendo al riscaldamento dell'ambiente. La combinazione di bassa albedo e alta emissività nei materiali urbani è una delle principali cause del fenomeno dell'isola di calore urbana.

La presenza di vegetazione e corpi idrici è cruciale per mitigare il microclima urbano. L'acqua dei corpi idrici, evaporando, assorbe calore e raffresca l'aria senza aumentare la radiazione a onde lunghe. La vegetazione, tramite l'evapotraspirazione, sottrae calore dall'ambiente e fornisce ombreggiamento, riducendo l'assorbimento diretto della radiazione solare da parte delle superfici urbane. Questi elementi migliorano il comfort termico e contribuiscono al benessere degli abitanti.

In sintesi, il microclima urbano è il risultato di una complessa interazione tra fattori naturali e antropici. La topografia stabilisce le condizioni climatiche di base, mentre la geometria urbana e le proprietà dei materiali modificano gli scambi termici e radiativi. La vegetazione e i corpi idrici svolgono un ruolo fondamentale nella mitigazione degli effetti negativi, come l'UHI, attraverso processi di raffrescamento naturale.

La valutazione del comfort termoigrometrico

Esistono diversi modelli ed indici per valutare il comfort termoigrometrico in un ambiente outdoor. I principali sono: il **PMV** (*Predicted Mean Vote*, trad. it. Voto Medio Previsto), il **PET** (*Physiologically Equivalent Temperature*, trad. it. Temperatura Fisiologica Equivalente) il **SET** (*Standard Effective Temperature*, trad. it. Temperatura Effettiva Standard) o **Out_SET** (*Outdoor Standard Effective Temperature*, trad. it. Temperatura Effettiva Standard Esterna) e l'**UTCI** (*Universal Thermal Climate Index*, trad. it. Indice termico universale del clima). Ciascuno si concentra su aspetti diversi, pur basandosi su combinazioni differenti degli stessi parametri meteorologici e termofisiologici. Il PMV e il SET hanno una solida base per il calcolo negli ambienti confinati, mentre il PET e l'Out_SET sono stati formulati per ambienti esterni.

Il PMV, la cui unità di misura si basa su una scala numerica adimensionale che va da -3 a +3, può essere applicato anche in ambiente outdoor, ma non tiene conto dei meccanismi fisiologici come la vasodilatazione e la sudorazione, motivo per cui risulta poco accurato nel descrivere condizioni estreme e mutevoli tipiche degli ambienti esterni.

Il SET è definito come la temperatura dell'aria in cui un individuo, in un ambiente definito ($T_{air}=T_{mrt}$, UR=hPa, $v=0.1$ m/s), mantiene la stessa temperatura media somatica che presenterebbe in un ambiente complesso.

L'Out_SET è un adattamento del SET per l'ambiente outdoor. La sua scala di misura, espressa in gradi Celsius (°C), permette di valutare l'abbigliamento e il grado di attività dell'uomo, ma esclude la possibilità di variare l'umidità relativa fissata a 50%.

Il PET rappresenta il parametro più efficace e accurato a descrivere il comfort outdoor. Definisce la temperatura dell'aria in cui, in un ambiente interno tipico ($T_{air}=T_{mrt}$, pressione di vapore acqueo=12hPa, $v=0.1$ m/s), il carico termico del corpo umano è bilanciato con la stessa temperatura dell'interno della pelle sottoposto a condizioni esterne complesse. Questo implica che il PET consente di confrontare la percezione del comfort outdoor con la percezione del comfort interno. Inoltre, insieme all'Out_SET, tiene conto degli effetti delle radiazioni a onde corte e lunghe sul corpo umano. I software più usati per il calcolo del PET, come RayMan e BioMet di ENVI-met, consentono di variare parametri come attività, abbigliamento, temperatura dell'aria, velocità del vento, umidità relativa, e temperatura media radiante. Come l'Out_SET, il PET ha un'unità di misura in gradi Celsius (°C) che permette confronti diretti con altri parametri, quali la T_{mrt} o la T_{air} , facilitandone l'interpretazione.

L'UTCI è un indice biometeorologico sviluppato per valutare l'impatto combinato di diversi fattori climatici sul comfort termico umano. Misura lo stress termico percepito dal corpo umano esposto all'ambiente outdoor tenendo conto di variabili come temperatura dell'aria, velocità del vento, umidità relativa e radiazione solare (in particolare, radiazione solare incidente). A differenza di altri indici termici, l'UTCI utilizza un modello fisiologico complesso che simula la risposta termica umana, considerando parametri come il metabolismo e la regolazione della temperatura corporea. L'UTCI è espresso in gradi Celsius (°C) e si riferisce al livello di stress termico percepito dal corpo umano rispetto a un ambiente di riferimento. La scala varia da situazioni di stress da freddo estremo (< -40 °C) a stress da caldo estremo (> 46 °C) passando per una zona ottimale di comfort termico che va da 9 °C a 26 °C.

L'isola di calore urbana e le strategie di adattamento

L'isola di calore urbana

La climatologia urbana ha fornito un contributo fondamentale alla comprensione delle dinamiche interne ed esterne agli insediamenti umani, analizzando i flussi di materia e gli scambi energetici che caratterizzano le città e gli spazi aperti urbani. Le città sono composte da un insieme complesso di elementi naturali - aria, acqua, suolo, flora e fauna - e dall'ambiente costruito, che include edifici, infrastrutture e spazi aperti. Il clima urbano è il risultato di una continua interazione tra questi sistemi e i sistemi più ampi che li circondano.

Sebbene i sistemi atmosferici su larga scala e il regime climatico a lungo termine determinino le condizioni climatiche generali delle città, le modifiche morfologiche e strutturali del tessuto urbano possono influenzare significativamente gli scambi di energia e materia vicino alla superficie terrestre, generando cambiamenti notevoli nel microclima urbano.

Uno dei fenomeni più studiati in questo contesto è l'isola di calore urbana, fenomeno causato principalmente da:

- **alta densità di edifici e strutture urbane** che assorbono la radiazione solare;
- utilizzo di **materiali ad elevato assorbimento termico**;
- **mancaanza di spazi verdi**, che riducono l'ombreggiamento e l'evapotraspirazione;
- **caratteristiche dei canyon urbani**, che limitano la dispersione del calore;
- produzione di **calore antropogenico**, derivante da attività umane come l'uso di veicoli e sistemi di climatizzazione.

Il fenomeno dell'isola di calore è stato documentato in numerose città in tutto il mondo, e diversi studi confermano un generale aumento delle temperature estive. In generale, l'isola di calore urbana ha un impatto significativo sulla qualità della vita nelle città con conseguenze come:

- **aumento del consumo energetico** per il raffrescamento degli edifici, che esaspera il picco della domanda elettrica;
- **intensificazione dell'inquinamento atmosferico**, a causa dell'aumento delle emissioni da sistemi di climatizzazione e traffico veicolare;
- **incremento dell'impronta ecologica urbana**, dovuto all'uso intensivo di risorse energetiche;
- **insorgere di problemi di salute e discomfort**, specialmente tra le fasce di popolazione più vulnerabili, come anziani e bambini.

Gli effetti dell'UHI possono essere classificati in due categorie principali.

1. **Effetti sulle persone:** la riduzione del benessere fisico genera danni al sistema termo-regolatorio umano, come stress da caldo, problemi cardiovascolari e colpi di calore. Per alleviare il disagio fisico, gli abitanti ricorrono all'uso intensivo di climatizzatori, che a loro volta aggravano le condizioni microclimatiche esterne attraverso l'emissione di calore residuo e l'aumento dei consumi energetici.
2. **Effetti sul microclima:** le elevate temperature dell'aria influenzano negativamente il microclima urbano attraverso:
 - la formazione di ozono a livello del suolo, che peggiora la qualità dell'aria;
 - l'alterazione dei microclimi locali e macroclimi, modificando l'andamento dei venti

e i livelli di umidità;

- l'aumento delle precipitazioni e delle inondazioni, a causa dei cambiamenti nei pattern meteorologici;
- i cambiamenti negli ecosistemi locali, che possono portare alla perdita di biodiversità;
- il contributo al riscaldamento globale, dovuto all'incremento della domanda energetica per il raffrescamento.

L'uomo, come principale modificatore del microclima, ha la responsabilità di reindirizzare politiche e strategie di intervento per mitigare gli effetti negativi sul clima urbano e per promuovere una maggiore integrazione tra climatologia urbana, pianificazione urbana e progettazione ambientale. Le città, in questo contesto, svolgono un ruolo cruciale nell'affrontare le sfide ambientali in una prospettiva trans-disciplinare e integrata.

A livello comunitario, si punta alla collaborazione internazionale, in linea con le raccomandazioni dell'IPCC⁵, per sviluppare progetti e piattaforme che monitorino i cambiamenti climatici e condividano buone pratiche, al fine di sistematizzare strategie comuni.

Le politiche europee si concentrano su due principali filoni di ricerca e intervento per affrontare efficacemente la crisi economica-energetica e ambientale-climatica.

1. Strategie di Mitigazione: mirano a ridurre o prevenire le emissioni dirette e indirette di gas serra e a limitare l'entità dei cambiamenti climatici. Interventi specifici includono:

- incremento dei pozzi di carbonio, attraverso la riforestazione urbana e la gestione sostenibile del verde poiché gli alberi assorbono CO₂ dall'atmosfera;
- implementazione di tecnologie innovative per la cattura e lo stoccaggio del carbonio (intonaci, coating, rivestimenti);
- miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici attraverso l'aumento delle prestazioni termiche e l'installazione di sistemi di riscaldamento e raffreddamento più efficienti.
- uso di impianti in sito per l'autoproduzione di energia da fonti rinnovabili di energia come solare, eolico e geotermico.

2. Strategie di Adattamento: mirano a ridurre la vulnerabilità degli ecosistemi naturali e delle società umane agli effetti dei cambiamenti climatici già in atto o inevitabili. Storicamente, l'adattamento ha ricevuto meno attenzione rispetto alla mitigazione, ma sta emergendo come un intervento necessario. Un approccio chiave è l'Adattamento Ecosistemico (EbA), definito come l'uso della biodiversità e dei servizi ecosistemici per aiutare le persone ad adattarsi agli effetti del cambiamento climatico. Le strategie di adattamento urbano includono:

- utilizzo di materiali tecnologici innovativi per pavimentazioni, coperture e facciate, che riflettano maggiormente la radiazione solare;
- incremento della vegetazione urbana, sia al suolo che sulle strutture, attraverso la creazione di parchi, l'installazione di coperture verdi e facciate verdi (tecnologie di inverdimento);
- creazione di infrastrutture verdi, che migliorano la qualità dell'aria e contribuiscono al raffrescamento naturale;
- adozione di suoli permeabili, utilizzando asfalti porosi e materiali permeabili per favorire l'infiltrazione dell'acqua e ridurre il deflusso superficiale;
- gestione della ventilazione urbana, attraverso la progettazione di spazi che facilitino la circolazione dell'aria;
- integrazione di elementi idrici, come fontane e specchi d'acqua, che contribuiscono al raffrescamento evaporativo;
- implementazione di sistemi di depurazione atmosferica, installando tecnologie che filtrino l'aria, simulando il comportamento delle piante.

Il concetto di EbA è stato introdotto nel 2008 durante la Conferenza delle Nazioni Unite sul Cambiamento Climatico ed è sostenuto da organizzazioni ambientali internazionali.

Gli approcci basati sui servizi ecosistemici includono:

- gestione e conservazione degli ecosistemi, per mantenere o ripristinare i servizi ecosistemici che riducono l'esposizione ai rischi climatici;
- risanamento di foreste di mangrovie, che proteggono le coste dall'erosione e dalle inondazioni;

5. Si fa riferimento al 5° Rapporto dell'IPCC rilasciato nel 2014. IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.

- protezione delle zone umide e delle pianure alluvionali, per assicurare risorse idriche e contenere le inondazioni;
- miglioramento delle infrastrutture verdi urbane, che riducono l'effetto dell'isola di calore e migliorano la salute pubblica.

Un terzo aspetto cruciale per l'implementazione efficace di queste strategie è la sensibilizzazione della popolazione e la partecipazione attiva dei cittadini. Coinvolgere la comunità attraverso progetti partecipativi e iniziative dal basso (bottom-up) può aumentare l'efficacia delle misure adottate e promuovere una cultura della sostenibilità.

Il ruolo dei materiali in ambito urbano

Il principale impatto dello sviluppo urbano sul territorio è la trasformazione dei suoi attributi biofisici. I materiali utilizzati come rivestimenti per edifici e strutture urbane svolgono un ruolo cruciale nel bilancio termico urbano: assorbono la radiazione solare e infrarossa e dissipano parte del calore accumulato attraverso processi radiativi e convettivi verso l'atmosfera, aumentando così la temperatura ambientale. Di conseguenza, le caratteristiche tecniche dei materiali impiegati in ambito urbano influenzano sia il consumo energetico sia le condizioni di comfort degli edifici e degli spazi aperti.

Ad esempio, durante l'estate, la temperatura superficiale dei materiali da costruzione può raggiungere valori fino a 30°C superiori rispetto alla temperatura dell'aria. L'energia termica immagazzinata viene rilasciata nell'ambiente prima per conduzione tra gli strati solidi e poi per convezione tra la superficie dei materiali e l'aria, contribuendo all'incremento della temperatura ambientale. Considerando che strade, marciapiedi, parcheggi e aree pedonali costituiscono tra il 30% e il 45% dell'impronta urbana, il loro ruolo nel bilancio energetico è significativo.

In questa prospettiva, i materiali assumono un ruolo predominante come modificatori del microclima e del comfort, fungendo da mediatori del microclima stesso. Tra le strategie di adattamento urbano ai cambiamenti climatici, in particolare l'isola di calore urbana, i materiali ad elevata riflessività costituiscono una tecnologia innovativa particolarmente interessante. Le recenti e numerose sperimentazioni hanno evidenziato il loro notevole potenziale nel mitigare le temperature medie dell'aria e delle superfici. Inoltre, l'applicazione di nuovi pigmenti su diverse superfici urbane sta rivelando effetti molteplici riguardo al comfort negli spazi aperti. Questa categoria di materiali innovativi stimola quindi una riflessione non solo sulle loro proprietà ottiche e termiche intrinseche, ma anche sulle diverse interazioni in funzione dell'esposizione.

I materiali ad elevata riflettanza

Le tecniche di mitigazione mirano a bilanciare il carico termico nelle città aumentando le dispersioni termiche e riducendo gli incrementi di calore. Tra le principali strategie vi sono l'aumento dell'albedo nell'ambiente urbano, l'incremento delle aree verdi e l'utilizzo di bacini termici naturali per dissipare il calore in eccesso. Dagli anni '70 ad oggi, numerosi studi hanno analizzato le caratteristiche ottiche e termiche dei materiali e il loro impatto sul clima, evidenziando gli effetti sulle temperature dell'aria e delle superfici.

Fino al 2015, la ricerca sui *cool materials* (CM) e sui *cool colored materials* (CCM) si è concentrata sull'impatto energetico globale di questi materiali sul riscaldamento locale, sul risparmio energetico indoor e sul bilancio termico urbano. Gli studi hanno focalizzato l'attenzione su indicatori quantificabili come la temperatura dell'aria, la temperatura superficiale, la temperatura media radiante e il calore latente, trascurando il comfort termoigrometrico. Ciò è dovuto all'orientamento iniziale verso aspetti più facilmente misurabili del microclima e alle tematiche globali come il riscaldamento globale e l'isola di calore urbana.

I primi studi sui *cool materials* si sono concentrati sulle coperture (*cool roofs*), poiché le superfici orizzontali ricevono il picco di radiazione solare estiva e hanno un elevato SVE, favorendo lo scambio radiativo notturno. Successivamente, l'attenzione si è spostata sulle pavimentazioni urbane e, più recentemente, sulle facciate.

Le applicazioni dei *cool materials* sulle coperture rappresentano la parte più consolidata della ricerca, con numerosi studi che confermano benefici come la riduzione dei

consumi per la climatizzazione estiva, il risparmio energetico annuale e la mitigazione dell'isola di calore urbana. Le applicazioni su pavimentazioni e facciate urbane sono meno consolidate, ma l'estensione del loro utilizzo ha portato recentemente a studiare l'interazione microclimatica tra questi materiali e il comfort dei pedoni.

I *cool materials* e i *cool colored materials* appartengono alla categoria dei materiali ad elevata riflettanza, una tecnologia passiva di geingegneria volta a mitigare il riscaldamento climatico e l'isola di calore urbana. Grazie alle loro caratteristiche ottiche e termiche, modificano gli scambi radiativi delle superfici urbane, contribuendo a migliorare il bilancio termico della città e le condizioni intorno agli edifici.

Questi materiali presentano:

1. **elevata riflettanza solare** (albedo o SR): misurata su una scala da 0 a 1, indica la capacità di una superficie di riflettere la radiazione solare, inclusa la riflessione speculare e diffusa;
2. **elevata emissività all'infrarosso** (ϵ): anch'essa misurata su una scala da 0 a 1, misura la capacità di una superficie di rilasciare e assorbire calore rispetto a un corpo nero alla stessa temperatura.

L'elevata emissività permette ai materiali di raffreddarsi durante le ore notturne, irradiando verso il cielo il calore accumulato durante il giorno. Di conseguenza, i *cool materials* rimangono più freddi rispetto ai materiali convenzionali, riducendo l'innalzamento della temperatura superficiale. I benefici includono la diminuzione del calore trasmesso all'interno degli edifici, migliorando l'efficienza energetica estiva, la riduzione del calore ceduto all'ambiente esterno, contribuendo alla mitigazione dell'isola di calore urbana, e la diminuzione dello stress termico sui rivestimenti, aumentando la loro durabilità.

Parametri legati ai materiali ad alta riflessività

Riflettanza solare o albedo (SR)

È la frazione di radiazione solare riflessa da una superficie misurata su una scala da 0 a 1, o da 0 a 100%. Oscilla tipicamente intorno a 0.04 (o 4%) per il carbone sino a 0.9 (o 90%) per la neve fresca. Valori elevati di riflessione solare sono la proprietà caratteristica e dominante di una superficie fredda.

Assorbanza solare

È la frazione di radiazione luminosa che viene assorbita da una superficie (misurata su una scala da 0 a 1, o da 0 a 100%). Le superfici con un'elevata assorbanza solare tendono a diventare calde sotto l'azione del sole. Se la superficie è opaca, l'assorbanza solare è pari a 1 meno la riflettanza solare.

Emissività termica (ϵ)

È la capacità di una superficie di rimettere radiazione termica ovvero radiazione nell'infrarosso (misurata da 0 a 1). Elevati valori di emissività aiutano una superficie a raffreddarsi più velocemente irradiando calore nell'intorno. Quasi tutte le superfici non metalliche presentano un'elevata emissività termica, in genere tra 0.80 e 0.95. I metalli non rivestiti presentano un basso indice di emissività termica, quindi restano caldi. Una superficie metallica non rivestita che riflette la radiazione solare come una superficie bianca resterà più a lungo calda al sole perché emetterà minore radiazione termica. L'emissività termica (ϵ) è la seconda proprietà caratteristica e importante di una superficie fredda.

Indice di riflessività solare | Solar Reflective Index (SRI)

Oltre all'albedo o riflettanza solare (SR) e all'emissività termica (ϵ), esiste un terzo indice ampiamente utilizzato per classificare i *cool materials*: l'Indice di Riflettanza Solare (SRI). L'SRI incorpora sia l'albedo che l'emissività in un unico valore, fornendo una misura del potenziale di raffreddamento passivo di una superficie rispetto a una superficie standard nera (SR=5%, ϵ =90%, SRI=0) e a una bianca (SR=80%, ϵ =90%, SRI=100), secondo lo standard ASTM E1980-11. La formula per il calcolo dell'SRI è:

$$SRI = [(T_{black} - T_{surface}) \setminus (T_{black} - T_{white})] \times 100$$

dove T_{black} , T_{white} e $T_{surface}$ rappresentano le temperature superficiali stazionarie dei materiali standard nero, bianco e del campione testato. I *cool coatings* ad alte

prestazioni possono avere un SRI superiore a 100, mentre materiali scuri e assorbenti hanno SRI bassi, prossimi allo zero. I rivestimenti più performanti hanno una SR intorno all'80% o superiore, a differenza di materiali scuri standard come il bitume, che riflette solo il 10% della radiazione solare e ha un'emissività dell'80-90%.

La misurazione della riflettanza solare (SR) può essere effettuata tramite misurazioni dirette in situ con riflettometri o attraverso misurazioni spettrali e successiva integrazione con curve di riferimento. Le normative di riferimento includono ASTM E903-2012, ASTM C1549-02 e ASTM E1918-06. L'emissività termica viene misurata con un emissometro portatile secondo ASTM C1371-2015 e UNI EN 16012-2012. Questa tecnica è vantaggiosa per i costi ridotti ma presenta limiti legati all'incertezza della misura e alle caratteristiche dei materiali.

Tuttavia, data la complessità delle variabili microclimatiche outdoor, l'indice SRI non rappresenta un parametro esaustivo per descrivere la performance mitigatrice di una superficie caratterizzata da *cool coatings*, dal momento che una superficie esposta ad ambiente outdoor è soggetta a molteplici influenze microclimatiche tra cui le caratteristiche dello spettro della radiazione solare, la temperatura d'ambiente, l'umidità relativa e altri parametri influenzanti i *cool coatings* come le precipitazioni e gli agenti inquinanti.

Le prime applicazioni e studi sui materiali ad elevata riflettanza si sono concentrate su rivestimenti *cool* per tetti e pavimentazioni. Recentemente, è emerso un nuovo filone di ricerca sui *cool colored materials* (CCM) per le facciate urbane. Gli studi su CM e CCM sono essenzialmente di due tipi.

1. Studi sul comportamento generale dei materiali in contesti urbani, classificati in:

- misurazioni in situ delle variazioni termiche;
- simulazioni di fenomeni;
- rilevamenti di dati a distanza.

2. Studi sulla modellazione specifica dei materiali, analizzando i pigmenti dal punto di vista chimico per valutarne l'efficacia nella mitigazione termica e la durabilità.

La ricerca ha evidenziato una certa confusione nella classificazione dei CCM, spesso suddivisi in base all'applicazione in *coatings* (vernici per finiture superficiali) e *materials* (prodotti esistenti come piastrelle trattate). In realtà, sono i pigmenti aggiunti al composto a determinare le proprietà di elevata riflettanza ed emissività. Questi pigmenti possono essere incorporati nel materiale stesso, come nel caso di asfalti e vernici, o applicati come strato di finitura su superfici esistenti, come facciate o coperture.

Di seguito vengono illustrate le principali tipologie di *cool materials* in riferimento alla superficie di applicazione.

Cool coatings

I pigmenti utilizzati nelle vernici e nei rivestimenti possono essere classificati in organici e inorganici, o alternativamente in naturali e sintetici, a seconda del metodo di produzione. Le principali caratteristiche di un pigmento includono l'insolubilità nel solvente, la stabilità fisica (come resistenza alla luce o al calore) e l'inertia chimica rispetto alle sostanze con cui è mescolato. Grazie alle loro dimensioni estremamente fini, dell'ordine dei micron o meno, i pigmenti permettono la creazione di numerose tipologie di *cool coatings* e *cool materials*, con pellicole sottili applicabili su diversi supporti. Questo ha portato a ricerche non solo sulle proprietà dei *cool coatings*, ma anche sulla loro efficacia in relazione al supporto su cui vengono applicati.

Le vernici, o *coatings*, sono composte da quattro componenti principali: il legante, i solventi, gli additivi e i pigmenti, che rappresentano la componente principale. Oltre a fornire la colorazione, i pigmenti controllano la lucentezza, l'opacità, la forza e la permeabilità della pellicola. Assorbono e riflettono diverse parti dello spettro solare in base alla loro composizione chimica e mineralogica.

I pigmenti organici sono opachi e hanno una durata relativamente breve, mentre i pigmenti inorganici sono più durevoli, meno suscettibili al degrado fotochimico causato dai raggi ultravioletti, stabili alle alte temperature e chimicamente inerti. Oltre ai pigmenti tradizionali, esistono pigmenti inorganici non convenzionali, come i complessi pigmenti inorganici colorati (CICPs) o i pigmenti mescolati a ossidi di metallo (MMO). Questi pigmenti presentano una struttura a spinello, elevata opacità nel visibile e alta riflettanza nella regione del near infra-red (NIR). Sono inoltre caratterizzati da lunga durata e stabilità chimica.

Le vernici colorate con pigmenti organici tendono ad assorbire la radiazione infrarossa,

aumentando il calore superficiale. Tuttavia, sostituendo i pigmenti tradizionali con CICPs, le vernici acquisiscono maggiore riflettanza solare (SR) ed emissività termica (ϵ), riducendo l'assorbimento di radiazione infrarossa.

Le principali tipologie di *cool coatings* includono pitture ad acqua, vernici a base acrilica, intonaci, calci e vernici minerali. I primi studi si sono concentrati su materiali bianchi ad alta riflettanza, ma l'abbagliamento causato sulle superfici urbane ha portato allo sviluppo di *cool colored materials*, che utilizzano pigmenti inorganici colorati complessi. Questi pigmenti consentono di ottenere colorazioni scure che riflettono efficacemente nella porzione NIR dello spettro solare, disponibili in una vasta gamma di tonalità dal giallo al nero.

Per creare materiali freddi colorati, si utilizzano due tecniche principali basate sulla riflettanza all'infrarosso del substrato:

1. **sistema a monostrato:** applicazione di uno strato di finitura con pigmenti a bassa assorbanza NIR su un substrato ad alta riflettanza NIR;
2. **sistema a doppio strato:** applicazione di uno strato di finitura freddo su uno strato di base ad alta riflettanza NIR, se il substrato ha bassa riflettanza NIR.

Sulla base di queste tecniche, diversi ricercatori hanno sviluppato CCM innovativi per il rivestimento di edifici e altre superfici urbane.

L'evoluzione dei *cool coatings* può essere suddivisa in tre generazioni.

- **Prima generazione:** utilizzo di minerali naturali con albedo elevata (0,5-0,7), superiori ai materiali tradizionali come il bitume, ma inferiori ai rivestimenti artificiali successivi. Questi materiali offrono vantaggi come la permeabilità intrinseca e l'ecocompatibilità grazie all'uso di polveri di pietra.
- **Seconda generazione:** sviluppo di rivestimenti bianchi ad alta riflettanza (albedo > 0,80). Alcuni studi hanno modellato rivestimenti a base di calce combinata con leganti acrilici per applicazioni su edifici e pavimentazioni. I rivestimenti in alluminio, contenenti fiocchi di alluminio in resina di asfalto, aumentano la riflessione solare ma possono ridurre l'emissività a causa del contenuto metallico.
- **Terza generazione:** sviluppo di *cool colored coatings*, rivestimenti colorati ad elevata riflettanza simili ai materiali tradizionali, adatti per contesti storici e vincolati. Alcuni studi hanno analizzato pigmenti ad alta riflettanza NIR con colorazioni simili ai materiali caldi, evidenziando riduzioni del picco di domanda di raffrescamento indoor tra l'11% e il 27%.

Per quanto riguarda i rivestimenti con pigmentazioni organiche, alcuni studi hanno esplorato l'uso di leganti naturali a base di calce idraulica naturale (NHL) prodotta a temperature più elevate. I campioni testati, inclusi calce idraulica con polvere di carbonato di calcio e pitture minerali a base di latte di calce o silicati minerali, si comportano come vernici fredde, presentando un'albedo intorno all'89-90% e un risparmio energetico per il raffrescamento fino al 20% quando applicati su coperture.

Infine, i materiali termocromici rappresentano un'ulteriore tipologia di rivestimento studiata in parallelo ai *cool coatings*. Questi materiali presentano una trasformazione termica reversibile che causa un cambiamento di colore visibile, risultando altamente assorbenti in inverno e altamente riflettenti in estate. Ciò contribuisce a ridurre i carichi di riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Diversi studi hanno dimostrato che l'integrazione di materiali termocromici in rivestimenti bianchi può ridurre la temperatura superficiale fino a 4°C rispetto a materiali ordinari, grazie all'elevata riflettanza solare in condizioni di elevate temperature esterne.

Cool pavements

Uno dei principali fattori dell'isola di calore urbana (UHI) è rappresentato dalle proprietà termiche e ottiche dei materiali utilizzati per le pavimentazioni urbane, come asfalto e cemento. Questi materiali convenzionali tendono ad assorbire grandi quantità di radiazione solare durante il giorno e a rilasciarla sotto forma di calore nell'ambiente circostante durante la notte, contribuendo al fenomeno dell'UHI notturna. Inoltre, la loro bassa permeabilità idrica riduce il potenziale evapotraspirativo del suolo, limitando la naturale riduzione delle temperature ambientali.

Considerando che il 50% delle superfici urbane è occupato da coperture e pavimentazioni, si riscontra un crescente interesse nella ricerca e nell'applicazione di materiali innovativi su queste superfici. Per le pavimentazioni, le applicazioni più documentate riguardano l'asfalto e i materiali in cemento *cool colored*, utilizzando i *cool coatings* descritti in precedenza.

Una tecnica comune per realizzare asfalti *cool* è l'utilizzo di aggregati chiari o pigmenti nella miscela d'asfalto, aumentando l'albedo della superficie. Recenti ricerche hanno sviluppato nuovi tipi di pavimentazioni che combinano elevati valori di albedo con una bassa luminosità, applicando specifici *cool coatings* sull'asfalto, ottenendo una riflettanza del 23% nello spettro visibile e dell'86% nell'infrarosso.

Un esempio significativo è il Flisvos Project ad Atene, realizzato da Mattheos Santamouris nel 2009. Questo progetto ha comportato l'installazione di pavimentazioni *cool colored* su un'area di 4.500 m² in un parco urbano. Le nuove pavimentazioni hanno sostituito superfici in asfalto e cemento scuro con materiali aventi un indice di riflettanza solare (SR) globale del 60%, riducendo la temperatura dell'aria di circa 1,9°C durante le ore di picco e la temperatura superficiale fino a 12°C. Tuttavia, lo studio ha valutato il comfort principalmente basandosi sulla temperatura dell'aria e delle superfici, senza considerare l'indice di comfort outdoor.

Studi più recenti, hanno esaminato l'effetto di questi materiali sul comfort dei pedoni. Attraverso simulazioni in diverse città e configurazioni stradali, è emerso che l'aumento dell'albedo delle superfici può comportare un deterioramento significativo delle condizioni di comfort outdoor. Simili conclusioni sono state tratte da uno studio condotto presso l'Università La Sapienza di Roma, dove l'integrazione di materiali *cool colored* su facciate e pavimentazioni ha portato a un aumento dell'indice di stress termico. Questi risultati evidenziano la necessità di considerare attentamente l'impatto di tali tecnologie sul comfort outdoor, oltre ai benefici in termini di riduzione delle temperature.

Programmi e Politiche

Esiste un forte interesse da parte di enti e istituti di ricerca, sia a livello europeo che internazionale, nei confronti dei *cool materials*. Questo interesse si concentra da un lato sull'approfondimento e la condivisione delle diverse esperienze, e dall'altro sulla necessità di colmare il divario tra ricerca e industria, facilitando il trasferimento delle scoperte scientifiche verso applicazioni concrete sul mercato.

Tra i principali organi di ricerca internazionali vi sono il *Cool Roofing Rating Council* (CRRC) e il *Lawrence Berkley National Institute* (LBNL). Il CRRC offre una lista di materiali e di rating dei prodotti. L'attività del LBNL in merito ai *cool materials* è consolidata, la ricerca più nota è il progetto commissionato nel 2006 da parte della *California Energy Commission* (per il quale fu istituito il gruppo denominato *Cool Group*) con l'obiettivo di redigere una tabella di pigmenti cool e creare tegole per le coperture in cool materials. A livello di iniziative internazionali si sottolinea il contributo del *Cool Roof and Pavements Toolkit* nato dalla collaborazione tra la *Global Cool Cities Alliance* e l'*R20 Regions of Climate Action*. Nello scenario europeo il principale istituto è rappresentato dall'*European Cool Roof Council* (EU CRC) che offre una piattaforma di aggiornamento, ricerca, supporto e messa a sistema delle principali aziende impegnate nella fabbricazione di CM e CCM per l'edilizia. Per quanto riguarda le attività di standardizzazione attualmente il protocollo migliore è offerto dall'*Energy Star System* e dal *Cool Roof Toolkit* dell'EU CRC.

Per quanto riguarda il calcolo dei *cool materials* legati ai *cool roof* esistono diversi strumenti a supporto tra i quali i principali sono: lo *Star model*, il *DOE Calculator*, l'*Energy Star's Roofing comparison calculator*, il *Mitigation impact screening tool* (MIST), il *Cool Roof Calculator* dell'Oak Ridge National Laboratory e infine il *Roof Saving Calculator*. Interessante a tal riguardo è uno studio in merito alle politiche europee e internazionali che ha portato all'elaborazione nel biennio 2008-2009 di un Piano di Valutazione Paesistica (*Plan of Landscape Assessment*, PLA) per dare un inquadramento generale delle attuali politiche e iniziative a livello internazionale, nazionale, regionale e locale, al fine di comprendere quanto si è andati avanti nel garantire una solida politica per l'incentivazione all'utilizzo di tecnologie *cool*.

SCHEDA **Pavimentazioni**

Il capitolo analizza i principali materiali impiegati nelle pavimentazioni urbane nella città di Roma, suddividendoli in due categorie: materiali tradizionali locali e soluzioni alternative, queste ultime caratterizzate da migliori prestazioni in termini di mitigazione del surriscaldamento urbano e gestione del deflusso delle acque meteoriche.

I materiali sono classificati in sette macrocategorie:

- Asfalto
- Calcestruzzo
- Pietre naturali (travertino, porfido, basalto)
- Gres
- Terra stabilizzata
- Gomma
- Pavimentazione erbosa

Per ogni macrocategoria è presente una scheda sintetica (scheda blu) che descrive le caratteristiche generali del materiale, il comportamento termico diurno e notturno e le potenzialità di integrazione con altre strategie bioclimatiche (es. ombreggiamento, NBS, misting systems).

Seguono le schede tecniche di materiali tradizionali (schede gialle) e soluzioni alternative (schede verdi) dedicate a materiali specifici reperibili sul mercato.

Le pavimentazioni rappresentano una componente rilevante dello spazio pubblico urbano, ma non esaustiva nella definizione delle condizioni microclimatiche locali. Il comfort termico percepito negli spazi aperti è influenzato non solo dalla natura dei materiali di rivestimento delle superfici orizzontali, ma anche dalla configurazione morfologica dell'ambiente costruito, dalle dinamiche microclimatiche site-specific e dalla presenza e distribuzione di elementi naturali o artificiali (vegetazione, sistemi di ombreggiamento, acqua), nonché dalla loro interazione con i materiali che definiscono l'invaso urbano.

Ne consegue la necessità di adottare un approccio integrato all'analisi ambientale, capace di considerare l'interazione tra superfici orizzontali, superfici verticali e il volume atmosferico sovrastante.

Pertanto, per ciascuna macrocategoria di materiale, la relativa scheda introduttiva (scheda blu) fornisce una sintesi delle principali prestazioni ambientali del materiale, considerando sia la sua applicazione isolata sia in combinazione con altre strategie bioclimatiche, come la piantumazione di nuove alberature. Le schede includono:

- la descrizione del comportamento termico (diurno e notturno);
- i risultati delle simulazioni microclimatiche condotte in ambiente virtuale generico, relativi a temperatura dell'aria, temperatura superficiale e temperatura media radiante;
- l'analisi dell'impatto sul comfort termo-fisiologico, valutato tramite gli indici UTCI (Universal Thermal Climate Index) e PET (Physiologically Equivalent Temperature).

Le simulazioni sono state realizzate tramite software ENVI-met utilizzando i dati climatici della città di Roma relativi alla giornata più calda registrata nell'anno 2023 (23 agosto), con output elaborati per le fasce orarie 08:00, 12:00, 15:00, 19:00 e 24:00.

Per ogni macrocategoria, sono presentate due versioni della scheda blu:

- una relativa al materiale con le prestazioni termiche meno favorevoli (posizionata prima delle schede gialle, dedicate ai materiali tradizionali);
- una relativa al materiale con le prestazioni migliori (anteposta alle schede verdi, riservate a soluzioni innovative).

I risultati indicano che, sebbene i materiali innovativi offrano prestazioni superiori rispetto a quelli tradizionali, il miglioramento più significativo in termini di comfort termico si ottiene quando le pavimentazioni vengono integrate con strategie bioclimatiche. Tra queste, risultano particolarmente efficaci le alberature, elementi ombreggianti, nature based solutions e sistemi di raffrescamento passivo come i misting system. Tali evidenze confermano la validità di un approccio progettuale sistemico e integrato nella definizione degli spazi pubblici climaticamente resilienti e termicamente confortevoli.

La raccolta di schede tecniche (gialle e verdi) che segue presenta una selezione di materiali tradizionali e alternativi che possono essere utilizzati in ambito urbano a Roma, in sostituzione dell'asfalto tradizionale. Ogni materiale è descritto in termini di proprietà tecniche, vantaggi ambientali e idoneità per diversi campi di applicazione. Le schede forniscono una panoramica delle caratteristiche tecniche dei materiali, includendo le seguenti caratteristiche.

Caratteristiche chimico-fisiche

- Albedo
- Indice di riflettanza solare (*Solar Reflectance Index*)
- Emissanza
- Indice di assorbimento dell'acqua (*Water Absorption Index*)
- Coefficiente di deflusso

6. CAM Strade (DM 5 Agosto 2024):
2. Criteri per l'affidamento del servizio di progettazione di infrastrutture stradali
- 2.2 Specifiche tecniche progettuali per l'affidamento del servizio di progettazione di infrastrutture stradali
- 2.2.1 Sostenibilità ambientale dell'opera
- 2.2.2 Efficienza funzionale e durata della pavimentazione
- 2.2.3 Temperatura di posa degli strati in conglomerato bituminoso
- 2.2.4 Emissione acustica delle pavimentazioni
- 2.2.5 Piano di manutenzione dell'opera.
- 2.2.6 Disassemblaggio e fine vita
- 2.2.7 Rapporto sullo stato dell'ambiente
- 2.2.8 Riutilizzo del conglomerato bituminoso di recupero
- 2.3 Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione.
- 2.3.1 Circolarità dei prodotti da costruzione
- 2.3.2 Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati.
- 2.3.3 Prodotti prefabbricati in calcestruzzo, in calcestruzzo aerato autoclavato e in calcestruzzo vibro-compreso.

Caratteristiche meccaniche

- Resistenza a compressione
- Resistenza a trazione
- Carico di rottura
- Resistenza a scivolamento
- Resistenza al gelo/disgelo

Caratteristiche economiche:

- Prezzo al mq (materiale)
- Prezzo al mq (posa in opera)

Prestazioni e certificazioni

- Percentuale di materie prime riciclate
- Riciclabile
- Marcatura CE
- Crediti LEED
- Crediti ITACA
- Certificazione CAM

Le pavimentazioni analizzate nelle schede sono classificate in base a sei principali categorie di utilizzo.



1. **Strade carrabili:** Pavimentazioni soggette a traffico veicolare intenso, che richiedono una resistenza a compressione e un carico di rottura elevati.



2. **Zone 30:** area urbana con limite di velocità a 30 km/h per aumentare la sicurezza stradale e rendere le strade più sicure per pedoni e ciclisti.



3. **Strade pedonali:** Superfici utilizzate prevalentemente da pedoni, dove i requisiti di resistenza meccanica sono meno stringenti rispetto alle strade carrabili, ma l'aspetto estetico e il comfort termico assumono maggiore importanza.



4. **Piste ciclabili:** Pavimentazioni per il traffico ciclabile, che necessitano di una buona resistenza all'usura e alla compressione, pur richiedendo una minore resistenza rispetto alle strade carrabili.



5. **Aree parcheggio:** Zone che ospitano veicoli in sosta, dove è necessario un equilibrio tra capacità drenanti e resistenza a compressione per sopportare il peso statico delle automobili.



6. **Piazze:** Spazi pubblici che possono essere utilizzati sia dai pedoni sia dai veicoli occasionali, dove è importante combinare estetica, funzionalità e resistenza.



7. **Aree gioco:** Superfici destinate a bambini e attività ricreative, dove il comfort termico e la sicurezza (in termini di antiscivolo e materiali ammortizzanti) sono prioritari rispetto alla resistenza strutturale.

L'obiettivo di queste schede è offrire agli amministratori, ai progettisti e agli operatori del settore strumenti concreti per selezionare i materiali più adatti a ogni contesto urbano di Roma, contribuendo così a un ambiente urbano più sostenibile e resiliente. Durante l'elaborazione delle schede sono stati considerati i Criteri Ambientali Minimi (CAM) vigenti per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di interventi edilizi (DM 23 giugno 2022 n.256), a cui ad oggi fanno riferimento le schede tecniche disponibili sul mercato. A dicembre 2025 è prevista l'entrata in vigore dei nuovi CAM Strade per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali (DM 5 Agosto 2024). Poiché i nuovi CAM Strade non sono ancora inclusi all'interno delle schede tecniche commerciali procurate dai fornitori, le schede di questa raccolta non includono tali criteri. Pertanto, in un futuro prossimo si dovrà fare riferimento anche ai nuovi criteri⁶.

Materiali Locali Tradizionali (ML)

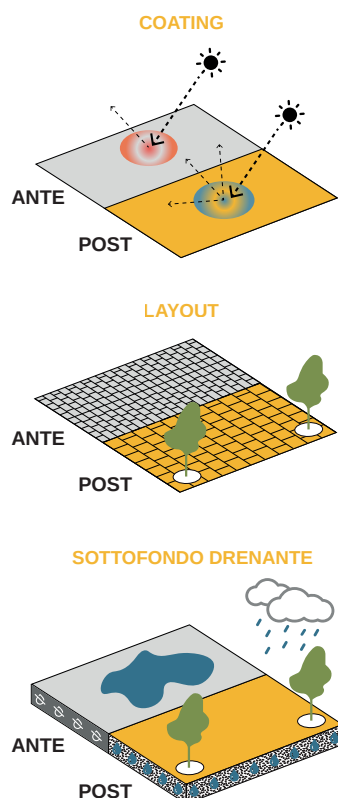
I materiali tradizionali comunemente utilizzati nella città di Roma per le pavimentazioni presentano limiti significativi in termini di contributo al surriscaldamento estivo in area urbana.

Asfalto. È uno dei materiali più utilizzati per la pavimentazione stradale, caratterizzato da un'elevata capacità di assorbimento della radiazione solare a causa del suo colore scuro. Questo materiale può raggiungere temperature molto elevate durante i mesi estivi, contribuendo significativamente al fenomeno dell'UHI. La sua bassa riflettanza solare (intorno al 5-10%) lo rende meno efficiente per ridurre il surriscaldamento urbano.

Calcestruzzo. Sebbene meno scuro dell'asfalto, il calcestruzzo ha anch'esso una capacità significativa di accumulare calore durante il giorno. Tuttavia, esso ha una riflettanza solare più elevata rispetto all'asfalto (tra il 30% e il 50%), riducendo parzialmente il surriscaldamento. Il calcestruzzo può essere trattato per aumentarne l'albedo, ma resta meno efficace rispetto ai materiali innovativi.

Pietre naturali (basalto, porfido, travertino). Le pavimentazioni in pietra naturale, comunemente utilizzate nelle aree storiche o di pregio architettonico, offrono una certa capacità di ridurre il surriscaldamento rispetto ai materiali asfaltici. Tuttavia, la loro capacità di riflettere la radiazione solare varia significativamente in base al colore e alla tipologia di pietra utilizzata. Ad esempio, il travertino, di colore chiaro, ha un'albedo relativamente alta, mentre il basalto scuro tende ad accumulare più calore.

Figura 1. Tecniche per il miglioramento delle prestazioni dei materiali tradizionali.



Tuttavia, con l'adozione di alcune strategie di integrazione, questi materiali possono migliorare significativamente le loro prestazioni. Le principali modalità per migliorare i materiali tradizionali includono (Figura 1):

- **Coating e trattamenti cromatici:** L'applicazione di rivestimenti riflettenti o l'uso di pigmenti chiari consente di aumentare l'albedo delle superfici, riducendo la quantità di radiazione solare assorbita e, di conseguenza, abbassando la temperatura superficiale del materiale. Questi trattamenti possono essere applicati a materiali come asfalto e calcestruzzo, migliorandone l'efficienza termica senza necessità di sostituire l'intera pavimentazione.
- **Ottimizzazione del layout:** L'adozione di una posa con fughe più ampie tra i blocchi di pavimentazione, specialmente nelle pietre naturali e nei masselli, consente l'evaporazione e la traspirazione del suolo, favorendo la dispersione del calore e consentendo una maggiore permeabilità del suolo. Questa tecnica contribuisce a ridurre l'accumulo di calore, migliorando il microclima urbano.
- **Sottofondi drenanti:** L'impiego di sottofondi drenanti, come sabbia o ghiaia, al posto di materiali impermeabili, permette di gestire meglio il deflusso delle acque piovane. Questi materiali permeabili favoriscono l'infiltrazione dell'acqua nel suolo, contribuendo al raffreddamento per evaporazione e riducendo il riscaldamento delle superfici pavimentate.

Questi interventi migliorativi consentono ai materiali tradizionali di offrire prestazioni più avanzate in termini di mitigazione del calore, rendendoli un'opzione più sostenibile per le pavimentazioni urbane.

Materiali Alternativi (MA)

Per affrontare in modo più efficace il surriscaldamento urbano, l'industria ha sviluppato materiali alternativi, più o meno innovativi, che migliorano le prestazioni termiche delle superfici urbane, combinando capacità drenanti, fotocatalitiche e riflettenti.

Tra i materiali alternativi è possibile annoverare le seguenti categorie:

- Asfalto colorato o con legante trasparente;
- Calcestruzzo in opera drenante e/o filtrante e/o fotocatalitico;
- Calcestruzzo prefabbricato in lastre o masselli autobloccanti drenanti e/o fotocatalitici;
- Gres in lastre o cubetti;
- Terra stabilizzata con stabilizzatore ecologico;
- Grigliato erboso;
- Gomma antitrauma.

Tuttavia, è importante notare che, pur offrendo notevoli vantaggi in termini di condizioni termiche e sostenibilità, le caratteristiche meccaniche di alcuni materiali, come la resistenza a compressione o il carico di rottura, possono essere inferiori rispetto a materiali tradizionali come l'asfalto, il calcestruzzo o il porfido. Questa considerazione è cruciale, in quanto la scelta del materiale deve essere fatta tenendo conto del campo di applicazione specifico, per garantire che le prestazioni strutturali siano adeguate all'uso previsto.

Per questo motivo, nella selezione dei materiali alternativi è fondamentale considerare attentamente l'ambito di utilizzo.

La scelta del materiale innovativo più idoneo deve quindi essere basata non solo sulle sue caratteristiche ambientali e di mitigazione del calore, ma anche sulle sue proprietà meccaniche e sulla capacità di rispondere adeguatamente alle sollecitazioni imposte dal contesto d'uso specifico.

SCHEDA
TECNICHE

Asfalto

ASFALTO



Superkilen
Copenhagen (Danimarca), 2012



Rotonda sottopasso Lingotto
Torino, 2020



Skakkerengen Public Square
Etnesjøen (Norvegia), 2019

Materiale bituminoso, viscoso e nero utilizzato prevalentemente per pavimentare strade carrabili data la facilità di posa, manutenzione ed economicità.

Campi di applicazione



Potenziale di mitigazione



Riduzione del surriscaldamento



Comfort termoigrometrico



Costo messa in opera



Costo di manutenzione



Durabilità



EFFETTO DIURNO

La tonalità scura e dunque l'albedo molto bassa (0.12) determina un'elevata capacità di assorbire la radiazione solare. Durante il giorno, accumula calore e raggiunge temperature superficiali molto elevate, contribuendo all'effetto isola di calore urbana. La sua scarsa permeabilità impedisce l'evaporazione e la traspirazione che contribuirebbero a raffreddare

EFFETTO NOTTURNO

Dopo aver accumulato calore durante il giorno, l'asfalto lo rilascia lentamente durante la notte sotto forma di radiazione infrarossa a causa della sua elevata inerzia termica. L'irraggiamento termico contribuisce al persistere dell'isola di calore urbana anche durante la notte, ritardando il raffreddamento notturno.

OSSERVAZIONI SINTETICHE

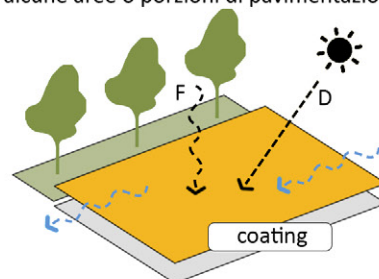
Durante il giorno, l'asfalto amplifica il surriscaldamento, mentre di notte ritarda il raffreddamento, prolungando il discomfort termico. Inoltre, trattandosi di un materiale al 100% impermeabile che non consente il drenaggio dell'acqua, contribuisce a ridurre i tempi di deflusso delle acque meteoriche.

SOLUZIONI E COMBINAZIONI

Soluzioni. Per ridurre l'assorbimento di calore e migliorare il microclima locale è possibile realizzare miscele in conglomerato chiaro e leganti innovativi sintetici trasparenti o applicare micro-rivestimenti polimerici (coating).

Schede di riferimento: A.1_{ML}; A.1-2_{MA}; X.1-2_{MA}

Combinazioni. Se inserito in aree fortemente ventilate, le caratteristiche termiche dell'asfalto possono essere attenuate perché la ventilazione contribuisce al raffreddamento naturale e a dissipare il calore rilasciato dall'asfalto. L'asfalto colorato consente di coniugare le proprietà del materiale con le esigenze termiche e funzionali di alcune aree o porzioni di pavimentazione.



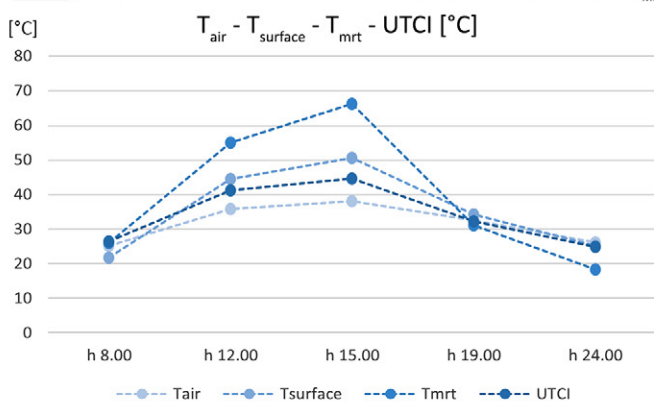
D - Radiazione solare diretta; F - Radiazione solare diffusa

COMPARAZIONE DATI*

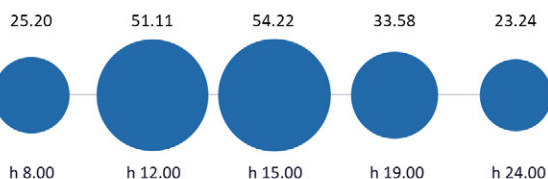


Pavimentazione
in asfalto

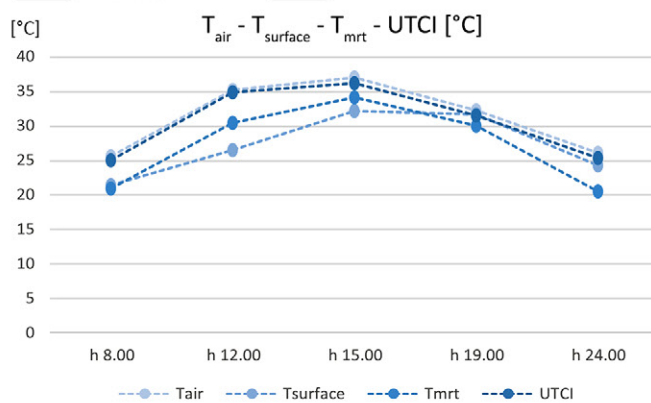
Scheda di riferimento: A.1_{ML}



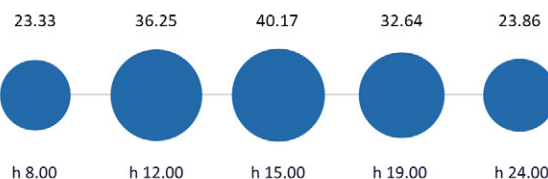
PET [°C]



Pavimentazione + Alberature
in asfalto



PET [°C]



—OSSERVAZIONI—

Effetto diurno. La pavimentazione in asfalto, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} minore di -0.6°C e una T_{surface} minore di -18°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a -24.5°C e -14.9°C, rispetto alla soluzione non combinata.

Effetto notturno. La pavimentazione in asfalto, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} maggiore di +0.1°C e una T_{surface} minore di -0.8°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a +2.3°C e +0.6°C, rispetto alla soluzione non combinata.

*Simulazioni ENVI-met. File climatico: Roma, 23 agosto 2023

Scheda **A 1** **ASFALTO** conglomerato bituminoso tradizionale

ML

**CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI**

[UNI EN 13108-1; UNI EN 13043]

DESCRIZIONE

Conglomerato bituminoso per strati di usura attraverso il quale si realizzano pavimentazioni minori, per lo più in ambiente urbano, con l'aggiunta di pigmenti coloranti. Costituisce lo strato superiore chiuso della sovrastruttura ed è applicabile in tutte le situazioni in cui si vogliano ottenere effetti cromatici ambientali poco impattanti, rispetto ai conglomerati bituminosi tradizionali di usura.

COMPOSIZIONE

Conglomerato bituminoso tradizionale, costituito da una **miscela di pietrischi, graniglie, sabbie di frantumazione e additivo minerale** (filler), impastati a caldo, in impianto, con legante bituminoso stradale normale.

Spessore [cm]	> 5
Dosaggio [%]	Aggregato grosso > 2 mm 55 – 75 %
	Aggregato fine < 2 mm 13 – 39 %
	Filler 6,0 -12 %
	Legante bituminoso 5,0 – 6,0 %
Densità [kg/m³]	2300

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	⁽¹⁾ 0,12
Indice di riflettanza solare (SRI)	< 29
Emissanza (ε)	⁽¹⁾ 0,90
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	n.d.
Permeabilità [l/(s·ha)]	n.d.

DATI TECNICI

[UNI EN 12697-8/30/34]

Rigidezza Prova Marshall [kN/mm]	> 3
Stabilità Prova Marshall [kN]	> 10
Contenuto vuoti residui [%]	3 - 6

DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale) [€/m²]	n.d.
Prezzo al m² (fornitura e posa in opera) [€/m²]	n.d.
Prezzo al m² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m²] ⁽²⁾	19,32



Asfalto | Pavimentazioni in conglomerato bituminoso tradizionale.



Esempi di applicazione di pavimentazioni in conglomerato bituminoso tradizionale.

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate	n.d.
Riciclabile [%]	n.d.
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	n.d.

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

- 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
- 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

E' sconsigliata la posa in opera nei seguenti casi: temperature ambientali inferiori a 5°C; pioggia; piani di posa saturi di acqua o con deficit di portanza; spessori superiori a 5 cm.

⁽¹⁾ fonte: Envi-met software database corrispondente alla voce *asfalto nuovo*;

⁽²⁾ valore corrispondente a fornitura e posa in opera (compresa rullatura) - voce B1.05.5 Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.

ASFALTO ALTERNATIVO



Piazza della Comunità Europea
Aprilia, 2021



Macrolotto Zero
Prato, 2020



Parcheggio Area Archeologica
Enna, 2019

Conglomerato bituminoso in cui il tradizionale bitume nero è sostituito o modificato con leganti sintetici trasparenti o pigmentati. L'impiego di inerti chiari o colorati consente di ottenere pavimentazioni chiare con ottime prestazioni meccaniche.

Campi di applicazione



Potenziale di mitigazione



Riduzione del surriscaldamento



Comfort termoigrometrico



Costo messa in opera



Costo di manutenzione



Durabilità



EFFETTO DIURNO

Grazie alla colorazione chiara e alla più elevata albedo (fino a 0.47), l'asfalto trasparente o pigmentato riflette una porzione maggiore della radiazione solare, riducendo significativamente l'accumulo di calore durante il giorno. Questo contribuisce a limitare l'innalzamento delle temperature superficiali.

EFFETTO NOTTURNO

Grazie al minore accumulo termico diurno, l'asfalto alternativo rilascia meno calore durante la notte. L'irraggiamento termico è ridotto e il raffreddamento notturno risulta più rapido, contribuendo a migliorare il comfort termico urbano nelle ore serali e notturne.

OSSERVAZIONI SINTETICHE

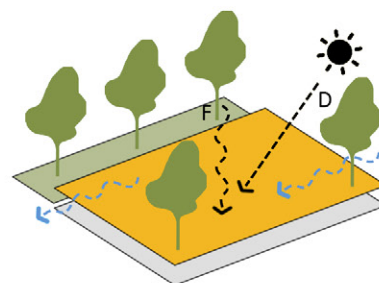
L'asfalto alternativo riduce il surriscaldamento durante il giorno e favorisce un più rapido raffreddamento notturno rispetto all'asfalto tradizionale. Tuttavia, essendo anch'esso impermeabile, non permette il drenaggio dell'acqua piovana, contribuendo all'aumento del deflusso superficiale.

SOLUZIONI E COMBINAZIONI

Soluzioni. Per ottimizzare le prestazioni termiche, è possibile utilizzare leganti sintetici trasparenti in combinazione con aggregati chiari ad alta riflettanza.

Scheda di riferimento: A.1-2_{MA}

Combinazioni. L'efficacia dell'asfalto alternativo può essere potenziata integrandolo con vegetazione (alberature), sistemi ombreggianti o ventilazione naturale. Queste combinazioni migliorano ulteriormente il raffreddamento e il comfort microclimatico. Le diverse colorazioni disponibili consentono inoltre di distinguere funzionalmente le superfici (es. percorsi pedonali, ciclabili, aree di sosta).



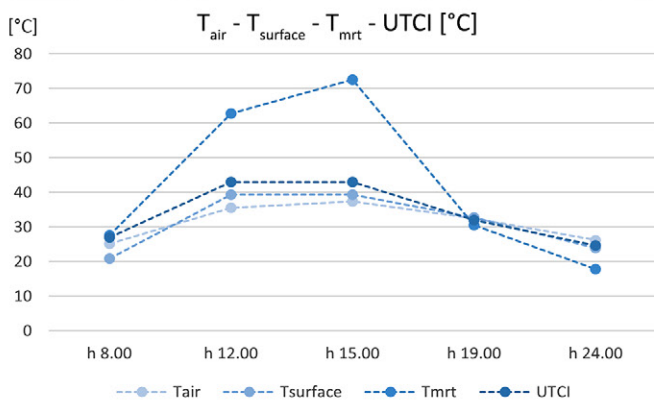
D - Radiazione solare diretta; F - Radiazione solare diffusa

COMPARAZIONE DATI*

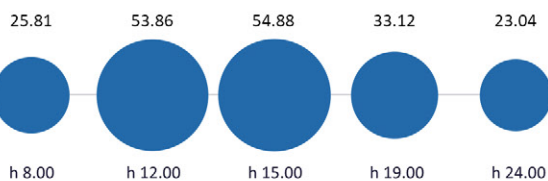


Pavimentazione
in asfalto trasparente

Scheda di riferimento: A.2_{MA}



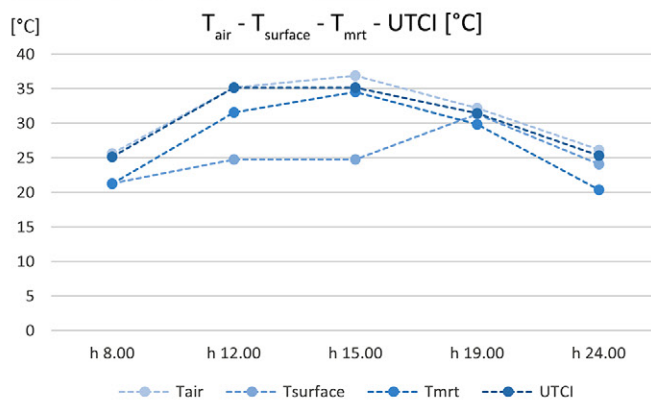
PET [°C]



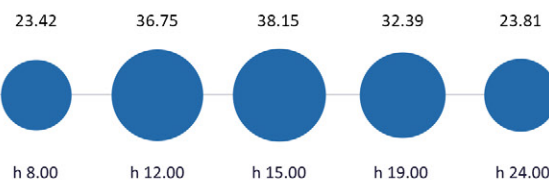
Pavimentazione
in asfalto trasparente



+ Alberature



PET [°C]



— OSSERVAZIONI —

Effetto diurno. La pavimentazione in conglomerato con leganti trasparenti, combinata con alberature, registra una T_{air} minore di -0.2°C e una T_{surface} minore di -14.5°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a -31.1°C e -17.1°C, rispetto alla soluzione non combinata.

Effetto notturno. La pavimentazione in conglomerato con leganti trasparenti, combinata con alberature, registra una T_{air} maggiore di +0.1°C e una T_{surface} maggiore di +0.2°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a +2.6°C e +0.8°C, rispetto alla soluzione non combinata.

*Simulazioni ENVI-met. File climatico: Roma, 23 agosto 2023

Scheda **A 1** **ASFALTO** conglomerato bituminoso colorato

MA

**CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI**

[UNI EN 13108-1; UNI EN 13043]

DESCRIZIONE

Conglomerato bituminoso per strati di usura attraverso il quale si realizzano pavimentazioni minori, per lo più in ambiente urbano, con l'aggiunta di pigmenti coloranti. Costituisce lo strato superiore chiuso della sovrastruttura ed è applicabile in tutte le situazioni in cui si vogliano ottenere effetti cromatici ambientali poco impattanti, rispetto ai conglomerati bituminosi tradizionali di usura.

COMPOSIZIONE

Conglomerato bituminoso per strati di usura costituito da una **miscela di pietrischetti e graniglie di natura mineralogica** variabile a seconda degli effetti cromatici desiderati, **sabbie di frantumazione, additivo minerale** (filler), **pigmenti coloranti** (costituiti da additivi minerali che conferiscono al conglomerato il particolare effetto cromatico prescelto con caratteristiche granulometriche paragonabili al filler; il loro dosaggio varia dall'1 al 2 %, impastati a caldo con legante trasparente di derivazione petrolifera).

Spessore [cm]	3 - 5
Dosaggio [%]	Aggregato grosso > 2 mm 52 - 68 %
	Aggregato fine < 2 mm 20 - 42 %
	Filler 6,0 - 12 %
	Legante bituminoso 5,6 - 6,0 %
Densità [kg/m ³]	2300

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(1) n.d.
Indice di riflettanza solare (SRI)	(1) n.d.
Emittanza (ε)	n.d.
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	n.d.
Permeabilità [l/(s·ha)]	n.d.

DATI TECNICI

[UNI EN 12697-8/30/34]

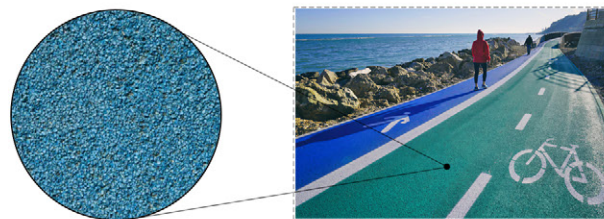
Rigidezza Prova Marshall [kN/mm]	> 1,5
Stabilità Prova Marshall [kN]	> 0,5
Contenuto vuoti residui [%]	1 - 6

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	n.d.
Prezzo al m ² (fornitura e posa in opera) [€/m ²]	n.d.
Prezzo al m ² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m ²] (2)	41,77

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

E' sconsigliata la posa in opera nei seguenti casi: spessori superiori a 5 cm; interventi di lavorazione manuali; temperature di stesa inferiori a 100°C.



Asfalto | Pavimentazioni in conglomerato bituminoso colorato



Esempi di applicazione di pavimentazioni in conglomerato bituminoso colorato

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate	n.d.
Riciclabile [%]	n.d.
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	n.d.

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

- 2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale
- 2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

(1) in funzione del colore scelto;

(2) valore corrispondente a fornitura e posa in opera - voce B1.05.6 Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.

**DESCRIZIONE**

Spessore [cm] [UNI EN 12697-36]	Percorso ciclo-pedonale = 3 Percorso carrabile leggero = 4
Densità [kg/m³]	2300

Albedo	⁽¹⁾ 0,45; 0,47
Indice di riflettanza solare (SRI)	⁽²⁾ 51,7; 53
Emittanza (ϵ)	0,90
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	n.d.
Permeabilità [l/(s·ha)]	n.d.
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.

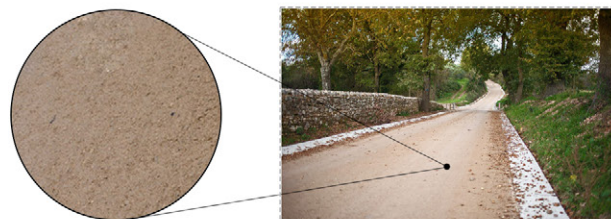
Prova Marshall [kN/mm]	> 10
Rigidezza [MPa]	> 2800
Resistenza a trazione [Gpa*10 ³]	0,8 - 1,95
Resistenza alla deformazione permanente [%]	9
Contenuto vuoti residui [%]	⁽³⁾ max 6 - 8

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	n.d.
Prezzo al m ² (fornitura e posa in opera) [€/m ²]	40,00

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

prodotto e più elevata del bitume tradizionale, per cui la posa manuale risulta più faticosa per gli operatori. Va ovviamente effettuata una buona pulizia dei mezzi di trasporto e delle finitrici, ma per il resto le modalità di posa sono identiche a quelle dei manti bituminosi. E' da tenere in considerazione che, come per i bitumi tradizionali, anche in questo caso è la qualità del sottofondo che determina la durata dell'opera, per cui particolare cura deve essere posta nel realizzare gli strati sottostanti tenendo in giusta considerazione i fattori geologici, idrogeologici e idrologici nonché i carichi che la strada dovrà sopportare.

La posa in opera è eseguita mediante utilizzo di macchine vibrofinitrici e successiva compattazione effettuata con rulli e comprensiva di ogni altro onere per dare il lavoro compiuto a regola d'arte. E' fondamentale mantenere la qualità del sottofondo che determina la durata dell'opera, per cui particolare cura deve essere posta nel realizzare gli strati sottostanti tenendo in giusta considerazione i fattori geologici, idrogeologici e idrologici nonché i carichi che la strada dovrà supportare. La viscosità del prodotto è più elevata del bitume tradizionale, per cui la posa manuale risulta più faticosa per gli operatori.



ECOpav, EVIzero | Pavimentazioni in conglomerato "ECOPAV" realizzato con legante EVIZERO. [<https://evizero.com/>]



Realizzazione del piazzale e parcheggio in conglomerato ECOpav presso il Museo Michelangelo Antonioni di Ferrara.
<https://evizero.com/>

Materie prime riciclate	n.d.
Riciclabile [%]	⁽⁴⁾ n.d.
Marcatura CE	n.d.
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	n.d.

D.M. 23 giugno 2022, n. 256

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

⁽¹⁾ 0,45 Legante Evizero RB; 0,47 Legante Evizero TiO-RB;

(2) 51,7 Legante Evizero RB; 53 Legante Evizero TiO-RB;

(3) max. 6% per percorso carrabile-leggero; max. 8% per percorso ciclo-pedonali non carrabile;

(4) rifiuto speciale non pericoloso.

SCHEDA
TECNICA

Calcestruzzo in opera

CALCESTRUZZO



Piazza D. Diogo de Menezes
Cascais (Portogallo), 2009



Piazza Alighiero Boetti - MAXXI
Roma, 2010



Piazza Oberdan
San Marco in Lamis, 2023

Il calcestruzzo è un materiale composito molto versatile dalle alte proprietà meccaniche che presenta la possibilità di essere additivato con altre sostanze per modificare le sue proprietà.

Campi di applicazione



Potenziale di mitigazione



Riduzione del surriscaldamento



Comfort termoigrometrico



Costo messa in opera



Costo di manutenzione



Durabilità



EFFETTO DIURNO

Data la vasta gamma di composizioni e finiture superficiali il comportamento del cls è piuttosto variabile. Il SRI di un cls di colore grigio è di circa 35 e può arrivare a oltre 80 in caso di finitura chiara. Per tale motivo durante il giorno è capace di assorbire una quantità variabile di radiazione solare, aspetto che contribuisce in maniera cruciale all'effetto isola di calore urbano.

EFFETTO NOTTURNO

A causa della sua elevata capacità termica il cls può immagazzinare grandi quantità di calore durante il giorno e rilasciarlo lentamente durante la notte contribuendo sensibilmente al rallentamento del processo di raffreddamento notturno. Per tale motivo il comportamento di questo materiale è fortemente influenzato dalla sua composizione e finitura superficiale.

OSSERVAZIONI SINTETICHE

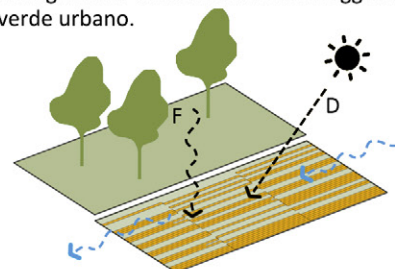
Le pavimentazioni in cls (in opera o prefabbricate) offrono formati e finiture in grado di adattarsi ad ogni scenario urbano. Queste giocano un ruolo fondamentale nella riduzione delle temperature urbane grazie ai diversi valori di SRI, di permeabilità e alla loro possibilità di creare transizioni tra spazi verdi e pavimentati.

SOLUZIONI E COMBINAZIONI

Soluzioni. Per la riduzione dell'effetto isola di calore e la gestione delle acque meteoriche è possibile realizzare pavimentazioni in cls in opera o prefabbricate con caratteristiche drenanti, filtranti e fotocatalitiche.

Schede : B.1_{ML'}; B.1_{MA'}; B.2.1_{ML'}; B.2.1_{MA'}; B.2.2.1_{ML'}; B.2.2.1-5_{MA'}; B.2.3_{ML'}; B.2.3.1-5_{MA'}

Combinazioni. I prodotti in cls (in opera o prefabbricati) possono essere utilizzati sia in strade con traffico leggero che in aree urbane. Al fine di massimizzare i livelli di comfort termico percepito è fondamentale utilizzare tipologie ottimizzate dal punto di vista della riflettività e della permeabilità associate all'integrazione di soluzioni di ombreggiamento e verde urbano.



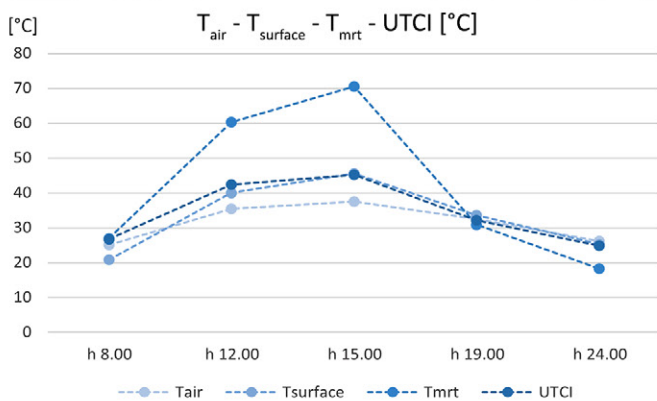
D - Radiazione solare diretta; F - Radiazione solare diffusa

COMPARAZIONE DATI*



Pavimentazione
in calcestruzzo

Scheda di riferimento: B.1_{ML}



PET [°C]

25.59 53.63 54.47 33.41 23.25



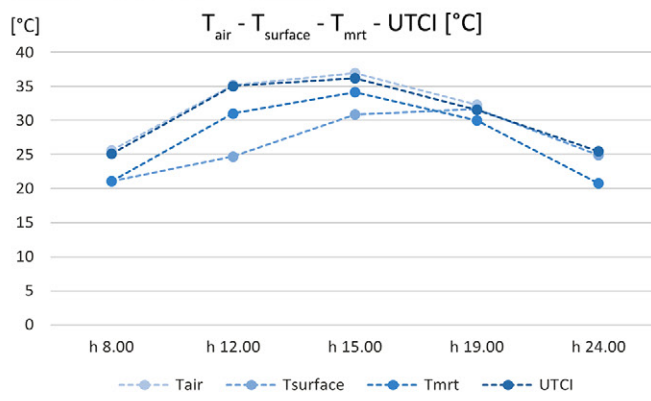
h 8.00 h 12.00 h 15.00 h 19.00 h 24.00



Pavimentazione +
in calcestruzzo



Alberature



PET [°C]

23.35 36.44 39.97 32.55 23.95



h 8.00 h 12.00 h 15.00 h 19.00 h 24.00

— OSSERVAZIONI —

Effetto diurno. La pavimentazione in calcestruzzo, combinata con alberature, registra una T_{air} minore di -0.3°C e una T_{surface} minore di -15.3°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a -29.3°C e -17.2°C, rispetto alla soluzione non combinata.

Effetto notturno. La pavimentazione in calcestruzzo, combinata con alberature, registra una T_{air} maggiore di +0.1°C e una T_{surface} minore di -0.4°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a +2.5°C e +0.7°C, rispetto alla soluzione non combinata.

Scheda **B 1** **CALCESTRUZZO IN OPERA** tipo *i.pro PAVIMIX® Heidelberg Materials*

ML

**CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

i.pro PAVIMIX è un calcestruzzo a prestazione, specifico per pavimentazioni esterne in cui l'ambiente è caratterizzato da una percentuale di umidità da moderata ad alta e da sollecitazioni di media intensità.

Spessore [cm]	in funzione del manto stradale di partenza
Rapporto acqua/cemento	300
Contenuto min cemento [kg]	≤ 0,60
Diamento max aggregato [mm]	31,5
Densità [kg/m³]	(1) 2100

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(1) 0,35
Indice di riflettanza solare (SRI)	38
Emittanza [ε]	0,9
Indice di assorbimento dell'acqua [%]	n.d.
Permeabilità [lt/m²·min]	n.d.
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.

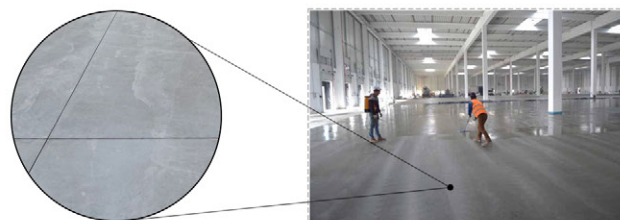
DATI TECNICI

[UNI 11146-05]

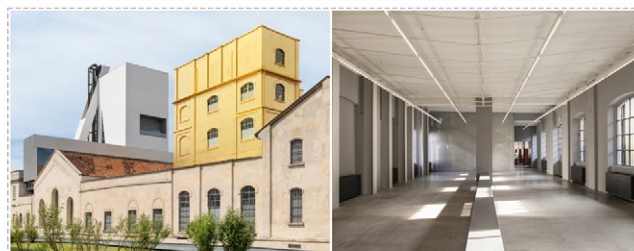
Resistenza a compressione [MPa]	> 20
Resistenza a trazione [MPa]	n.d.
Resistenza allo scivolamento [USRV]	n.d.
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	n.d.

DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale) [€/m³]	152,00
Prezzo al m² (posa in opera) [€/m²]	n.d.



i.pro PAVIMIX®, Heidelberg Materials: Pavimentazione di tipo industriale in calcestruzzo. [https://www.heidelbergmaterials.it/]



Realizzazione di pavimentazioni di tipo industriale i.pro PAVIMIX® per gli spazi espositivi della Fondazione Prada (Milano). [https://www.heidelbergmaterials.it/it/fondazione-prada]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	5
Riciclabile [%]	n.d.
Marcatura CE	n.d.
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

2.5 Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione

2.5.2 Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati

2.5.3 Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

i.pro PAVIMIX® garantisce qualità elevate e durevoli delle pavimentazioni a patto che il prodotto venga utilizzato in modo corretto; è necessaria infatti una corretta progettazione e posa in opera secondo la UNI 11146. La posa in opera avviene con staggia vibrante o per mezzo di posa meccanizzata.

Una maturazione non protetta può pregiudicare le prestazioni finali della struttura con formazione di fessurazioni. Si consiglia di realizzare il taglio dei giunti non oltre le 24 ore dalla finitura. Nel caso la pavimentazione sia realizzata su supporto rigido è opportuno prevedere uno strato di separazione.

La posa in opera può avvenire sia con staggia vibrante che con posa meccanizzata; qualora la posa sia meccanizzata con Laser Screed impiegare la classe di consistenza S3.

(1) fonte: REBUS® (Renovation of Public Buildings and Urban Spaces).

Scheda **B 1a** **CALCESTRUZZO IN OPERA** tipo *Ecodrain Ecopavi s.r.l***CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

Ecodrain è un calcestruzzo drenante studiato appositamente per la realizzazione di pavimentazioni ecologiche ad alto potere drenante, con elevata resistenza a compressione, fonoassorbente e senza alcun rilascio di sostanze nocive nell'eluato. *Ecodrain* è un conglomerato cementizio ad alte prestazioni composto da aggregati (pietrisco e sabbia), cemento, acqua e componenti *Ecodrain*.

Spessore [cm] piste ciclopedonali e marciapiedi = 5
traffico leggero = 6

Densità [kg/m³] 2000

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

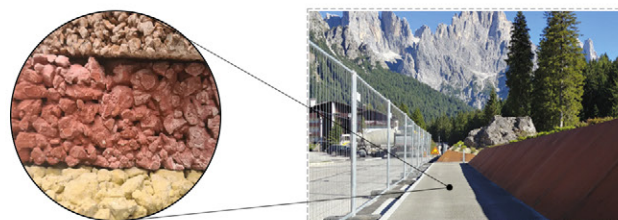
Albedo	0,46
Indice di riflettanza solare (SRI)	54
Emittanza (ε)	0,92
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	n.d.
Permeabilità [lt/m ² .min]	≥ 200
Coefficiente di deflusso [ψ]	0,41

DATI TECNICI [UNI EN 12390-1 2012/-7 2009/-3 2009]

Resistenza a compressione [MPa]	> 20
Resistenza a trazione [MPa]	n.d.
Resistenza allo scivolamento [USRV]	n.d.
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	ottima

DATI ECONOMICI

Fonitura additivi <i>Ecodrain</i> [€/m ³]	105,00
Fornitura Pigmenti colorati [€/m ³]	⁽¹⁾ 25 - 40
Fornitura Base cementizia [€/m ³]	90 - 130
Prezzo posa in opera [€/m ²]	⁽²⁾ 6 - 12
Prezzo fornitura e posa in opera [€/m ²]	40,00



Ecodrain, Ecopavi s.r.l.: Pavimentazione in calcestruzzo drenante. [https://www.ecopavi.it/]



Esempi di applicazione di **pavimentazione in calcestruzzo drenante**. [https://www.ecopavi.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	n.d.
Riciclabile [%]	⁽³⁾
Marcatura CE	n.d.
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

- 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
- 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

2.5 Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione

- 2.5.2** Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati
- 2.5.3** Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

Ecodrain viene miscelato direttamente in autobetoniera come un normale calcestruzzo, e può essere posato tramite vibrofinitrice o steso a mano. Nel primo caso è necessario posare il materiale a freddo senza riscaldare la piastra, e correggere le imperfezioni lasciate dal banco tramite semplici frattazzi con bastone. In caso di stesa a mano si procede come per l'asfalto, senza rullare il materiale finito, ma passando un piccolo rullo a mano del peso di circa 60-100 kg. Il confezionamento del conglomerato tramite impianto mobile presso il cantiere, oppure all'assistenza presso impianto di betonaggio idoneo previo montaggio di dosatori.

⁽¹⁾ prezzo variabile in funzione del colore;

⁽²⁾ prezzo variabile in funzione della tipologia di posa (manuale/macchina a mezzo vibrofinitrice);

⁽³⁾ in fase di smaltimento non richiede particolari autorizzazioni o trattamenti, e può essere addirittura riciclato.

Scheda **B 1b** **CALCESTRUZZO IN OPERA** tipo *i.idro DRAIN ECO CAM®* Heidelberg Materials**CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

Calcestruzzo drenante confezionato utilizzando il 5% in peso di sottoprodotti e/o con materiali di riciclo selezionati e di qualità certificata nel rispetto dei Criteri Ambientali Minimi.

Diametro max aggregato [mm]	8 - 22
Percentuale vuoti [%]	15 - 25
Densità [kg/m ³]	⁽¹⁾ 2042; 1914

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

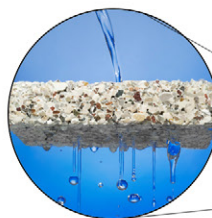
Albedo	⁽²⁾ 29; 63
Indice di riflettanza solare (SRI)	⁽³⁾ 33; 46
Emittanza (ε)	⁽⁴⁾ 0,96; 0,12
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	n.d.
Permeabilità [lt/m ² ·min]	≥ 200
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.

DATI TECNICI [UNI EN 12390-1 2012/-7 2009/-3 2009]

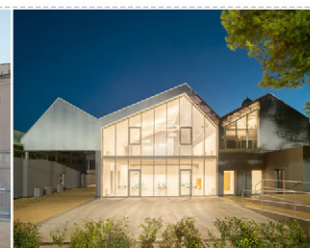
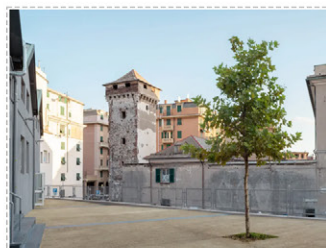
Resistenza a compressione [MPa]	≥ 15
Resistenza a trazione [MPa]	n.d.
Resistenza allo scivolamento [USRV]	n.d.
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	ottima

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ³ (materiale) [€/m ³]	193,00
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	n.d.



i.idro DRAIN ECO CAM®, Heidelberg Materials: Pavimentazione in calcestruzzo drenante. [https://www.heidelbergmaterials.it/]



Realizzazione di **pavimentazioni drenanti per i nuovi spazi per lo sport e per la socialità** nell'ambito del progetto di riqualificazione dell'ex area Dufour di Cornigliano a Genova. [https://www.heidelbergmaterials.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	5
Riciclabile [%]	n.d.
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
- 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
- 2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
- 2.5.2** Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati
 - 2.5.3** Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

i.idro Drain può essere steso mediante vibro-finitrici stradali o a mano mediante apposite attrezzature da cantiere. Si consiglia di preparare l'impasto miscelando *i.idro Drain* con una betoniera da cantiere o altra attrezzatura simile e di applicare il prodotto entro 1/2h (temperatura di circa 20°). Al termine della posa, la pavimentazione deve essere adeguatamente coperta per almeno 6/7 giorni con teli in pvc o geotessile in grado di trattenere l'umidità necessaria per la corretta maturazione del conglomerato.

⁽¹⁾ *i.idro DRAIN* grigio 2042 kg/m³; *i.idro DRAIN* bianco 1914 kg/m³;

⁽²⁾ *i.idro DRAIN* grigio 29; *i.idro DRAIN* bianco 63;

⁽³⁾ *i.idro DRAIN* grigio 33; *i.idro DRAIN* bianco 46;

⁽⁴⁾ *i.idro DRAIN* grigio 0,96; *i.idro DRAIN* bianco 0,12;

**CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

i.idro DRAIN ECO LOW CARBON è un calcestruzzo preconfezionato per pavimentazioni pedonali e carrabili con un'alta capacità drenante garantita da un'accurata selezione degli aggregati, dal mix design e dalla specifica azione del legante cementizio utilizzato nella miscela che conferisce al prodotto valori di CO₂ incorporata ridotti fino al 30%.

Diametro max aggregato [mm]	8 - 22
Percentuale vuoti [%]	15 - 25
Densità [kg/m ³]	(1) 2042; 1914

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

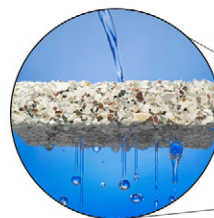
Albedo	(2) 29; 63
Indice di riflettanza solare (SRI)	(3) 33; 46
Emittanza (ε)	(4) 0,96; 0,12
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	n.d.
Permeabilità [lt/m ² ·min]	≥ 200
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.

DATI TECNICI [UNI EN 12390-1 2012/-7 2009/-3 2009]

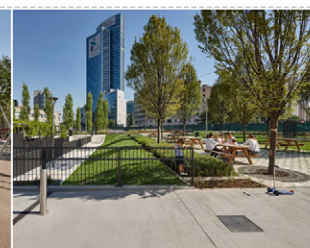
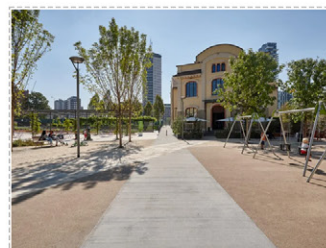
Resistenza a compressione [MPa]	≥ 15
Resistenza a trazione [MPa]	n.d.
Resistenza allo scivolamento [USRV]	n.d.
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	ottima

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ³ (materiale) [€/m ³]	219,00
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	n.d.



i.idro DRAIN ECO LOW CARBON®, Heidelberg Materials: Pavimentazione in calcestruzzo drenante. [https://www.heidelbergmaterials.it/]



Realizzazione di percorsi lineari in calcestruzzo drenante all'interno del Parco della Biblioteca degli Alberi a Milano. [https://www.heidelbergmaterials.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	5
Riciclabile [%]	n.d.
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
 - 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
- 2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
 - 2.5.2** Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati
 - 2.5.3** Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

i.idro Drain può essere steso mediante vibro-finitrici stradali o a mano mediante apposite attrezzature da cantiere. Si consiglia di preparare l'impasto miscelando i.idro Drain con una betoniera da cantiere o altra attrezzatura simile e di applicare il prodotto entro 1/2h (temperatura di circa 20°). Al termine della posa, la pavimentazione deve essere adeguatamente coperta per almeno 6/7 giorni con teli in pvc o geotessile in grado di trattenere l'umidità necessaria per la corretta maturazione del conglomerato.

(1) i.idro DRAIN grigio 2042 kg/m³; i.idro DRAIN bianco 1914 kg/m³;

(2) i.idro DRAIN grigio 29; i.idro DRAIN bianco 63;

(3) i.idro DRAIN grigio 33; i.idro DRAIN bianco 46;

(4) i.idro DRAIN grigio 0,96; i.idro DRAIN bianco 0,12;

SCHEDA
TECNICHE

Calcestruzzo prefabbricato



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Pavimentazione in calcestruzzo vibrocompresso prodotta solo con inerti naturali da Azienda dotata di Certificazione di Qualità UNI EN ISO 9001 e Certificazione Ambientale UNI EN ISO 14001. La pavimentazione deve essere costituita da due strati, di cui lo strato superficiale con spessore ≥ 4 mm e realizzato con una miscela di inerti silicei e quarzo di granulometria massima 2 mm.

Dimensioni [cm]	12,5 x 12,5
Spessore [cm]	6
Finitura	(1)
Peso teorico [kg/m ²]	± 135
Densità [kg/m ³]	2200

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(2)
Indice di riflettanza solare (SRI)	> 29 ; (3)
Emissanza (ϵ)	(4)
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.

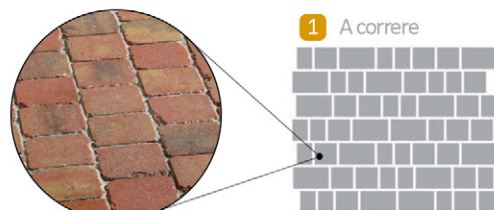
DATI TECNICI

[UNI EN 1338]

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	$\geq 3,6$
Resistenza a flessione [MPa]	≥ 5
Carico di rottura [N/mm]	≥ 250
Resistenza allo scivolamento [μ]	$\geq 0,70$
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	32,5
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	n.d.



Cubetto®, Senini | Pavimentazioni in cubetti autobloccanti in calcestruzzo e schema tipologia di posa in opera. [https://www.senini.it/]



Esempi di applicazione di pavimentazione in cubetti autobloccanti in calcestruzzo. [https://www.senini.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	≥ 5
Riciclabile	n.d.
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	(3)
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

2.5 Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione

2.5.2 Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati

2.5.3 Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE

MANUTENZIONE

Per una pulizia ordinaria e donare alla pavimentazione nuova lucentezza e ravvivarne i colori è sufficiente un lavaggio con acqua e detersivo per pavimenti. In caso di macchie particolari seguire istruzione dal produttore con prodotti e procedure specifiche per ogni tipologia di macchia.

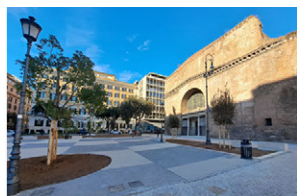
(1) superficie di calpestio e gli spigoli a vista antichizzati con un processo meccanico;

(2) il valore varia in funzione del colore di finitura;

(3) soltanto per colore finitura bianco (SRI = 36) o colori su richiesta;

(4) semplificazione secondo la normativa ASTM E 1980-11.

CALCESTRUZZO ALTERNATIVO



Piazza della Repubblica
Roma, 2025



Parco Tevere Marconi
Roma, 2023



Via di San Gregorio - GRAB
Roma, 2025

Vasta gamma di prodotti prefabbricati come cubetti, lastre e masselli autobloccanti, caratterizzati da proprietà tecniche e funzionali avanzate.

Campi di applicazione



Potenziale di mitigazione



Riduzione del surriscaldamento



Comfort termoigrometrico



Costo messa in opera



Costo di manutenzione



Durabilità



EFFETTO DIURNO

Il comportamento termico di questi prodotti dipende dalla colorazione, dalla finitura superficiale e dai materiali impiegati. Le versioni chiare o trattate con pigmenti riflettenti possono raggiungere valori di SRI superiori a 60-80, riducendo significativamente l'assorbimento di calore e contribuendo alla mitigazione dell'isola di calore urbana.

EFFETTO NOTTURNO

Rispetto al calcestruzzo in opera, questi elementi prefabbricati tendono a immagazzinare meno calore grazie alla presenza di fughe e discontinuità che ne migliorano l'aerazione e la dispersione termica. L'inerzia termica risulta quindi mediamente inferiore, facilitando un più rapido raffreddamento notturno.

OSSERVAZIONI SINTETICHE

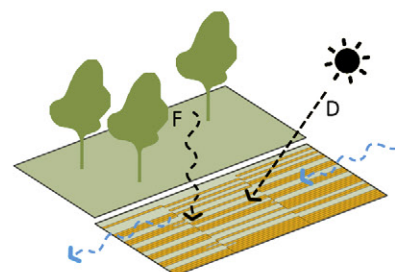
Le pavimentazioni in calcestruzzo alternativo offrono una combinazione efficace di funzionalità estetica, termica e ambientale. Grazie alla varietà di formati, finiture e colori, possono essere utilizzate per armonizzare spazi verdi e urbanizzati. Le versioni drenanti e filtranti contribuiscono alla gestione sostenibile delle acque meteoriche.

SOLUZIONI E COMBINAZIONI

Soluzioni. I cubetti, le lastre e i masselli autobloccanti possono essere realizzati con finiture ad alta riflettanza, materiali drenanti o tecnologie fotocatalitiche.

Schede di riferimento: B.1_{MA'}; B.2.1_{MA'}; B.2.2.1-5_{MA'}; B.2.3.1-5_{MA'}

Combinazioni. L'integrazione con vegetazione (alberature), sistemi ombreggianti o superfici erbose tra le fughe permette di amplificare l'efficacia climatica del sistema. Tali combinazioni sono particolarmente indicate in aree pedonali, cortili, parcheggi, spazi pubblici e residenziali, dove il comfort termico e la gestione sostenibile del suolo sono prioritari.



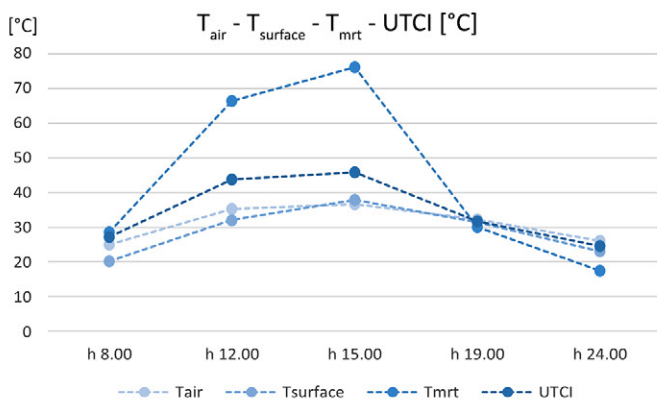
D - Radiazione solare diretta; F - Radiazione solare diffusa

COMPARAZIONE DATI*

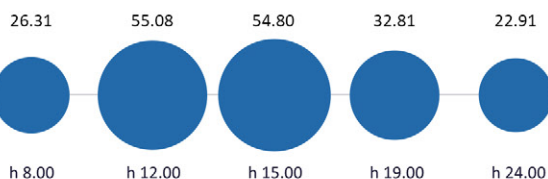


Pavimentazione
in lastre di calcestruzzo

Scheda di riferimento: B.2.2.5_{MA}



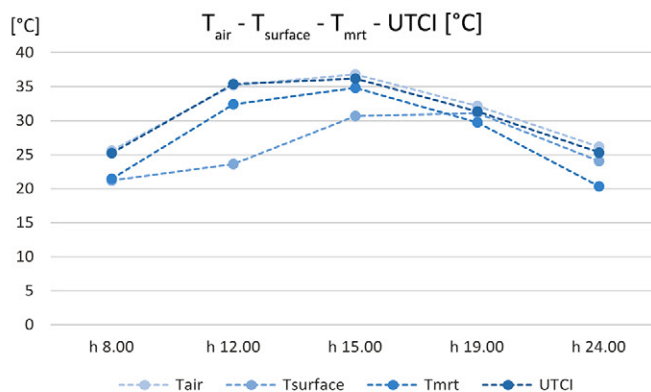
PET [°C]



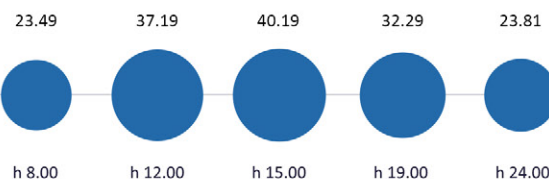
Pavimentazione
in lastre di calcestruzzo



+ Alberature



PET [°C]



— OSSERVAZIONI —

Effetto diurno. La pavimentazione in lastre di calcestruzzo, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} minore di -0.1°C e una T_{surface} minore di -8.5°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a -34°C e -17.9°C, rispetto alla soluzione non combinata.

Effetto notturno. La pavimentazione in lastre di calcestruzzo, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} maggiore di +0.1°C e una T_{surface} maggiore di +1°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a +3°C e +0.9°C, rispetto alla soluzione non combinata.

*Simulazioni ENVI-met. File climatico: Roma, 23 agosto 2023



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Cubetti autobloccanti in calcestruzzo linea Rocciablock® GOLD ad alto SRI con capacità fotocatalitica. Calcestruzzo vibrocompreso a doppio strato con finitura "Pietra" realizzato con inerti ad alta resistenza a granulometria controllata e ottimizzata. Gli inerti impiegati per la miscela sono esclusivamente inerti di pregio: basalto, giallo reale, rosso Verona, bianco di Carrara, nero ebano uniti al cemento bianco di base.

Dimensioni [cm] 10 x 10; 12,5 x 10 ; 7,5 x 10

Spessore [cm] 10

Finitura (1)

Peso teorico [kg/m²] ± 220

Densità [kg/m³] ≥ 2200

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo (2)

Indice di riflettanza solare (SRI) ≥ 29; (3)

Emittanza (ε) (4)

Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%] ≤ 6

Capacità drenante sperimentale [%] (5) 100

Coefficiente di deflusso [ψ] (6)

Capacità fotocatalitica (7) sì

DATI TECNICI [UNI EN 1338]

Resistenza a compressione [MPa] n.d.

Resistenza a trazione [MPa] ≥ 3,6

Resistenza a flessione [MPa] ≥ 5

Carico di rottura [N/mm] ≥ 250

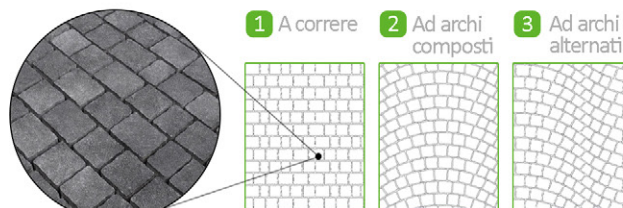
Resistenza allo scivolamento [μ] ≥ 0,74

Resistenza al gelo/disgelo [MPa] ≤ 1

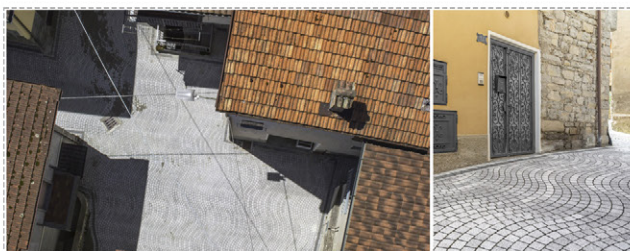
DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale) [€/m²] 44,90

Prezzo al m² (posa in opera) [€/m²] n.d.



Via del Centro®, Ferrari BK | Pavimentazioni in cubetti autobloccanti in calcestruzzo con finitura in pietra e schemi tipologia di posa in opera. [https://www.ferrariBK.it/]



Esempi di applicazione di pavimentazione in cubetti autobloccanti in calcestruzzo con finitura in pietra. [https://www.ferrariBK.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%] 12

Riciclabile 100

Marcatura CE sì

Crediti LEED sì

Crediti ITACA sì

Certificazione CAM sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

2.5 Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione

2.5.2 Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati

2.5.3 Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

Al fine di ottenere i valori dichiarati di permeabilità e coefficiente di deflusso è opportuno: sigillare i giunti con sabbia 2÷3mm; creare una stratigrafia di fondazione di tipo permeabile; utilizzare geosintetici filtro/separatori con elevato valore di permeabilità (Kv) ed adeguato diametro di filtrazione.

MANUTENZIONE

La semplicità di posa consente un agevole accesso alla rete dei servizi ospitati sotto il manto stradale, che può essere ripristinato velocemente e senza lasciare tracce visibili.

(1) lo strato di usura superficiale è composto al 100% da aggregati selezionati di pietre e marmi pregiati, con colorazione naturale;

(2) il valore varia in funzione del colore di finitura: bianco assoluto 0,67; giallo reale 0,30; grigio 0,35; grigio venato 0,38; puntinato 0,45; luserna 0,30; terracotta 0,38; roccia vulcanica 0,36;

(3) bianco assoluto 83; giallo reale 31; grigio 34; grigio venato 43; puntinato 52; luserna 33; terracotta 41; roccia vulcanica 39;

(4) bianco assoluto e giallo reale 0,94; grigio 0,35; grigio venato 0,91; puntinato 0,94; luserna 0,94; terracotta 0,90; roccia vulcanica 0,89.

(5) fonte: Manuale Assobeton Drenanti – Volume 3 - Linee guida per la determinazione della capacità drenante delle pavimentazioni modulari in calcestruzzo (Ed. Ottobre 2011)

(6) per eventi di forte intensità (200mm/h durata 10'), media intensità (100 mm/h durata 20') e debole intensità (20mm/h durata 24h accumulo 480mm/gg).

(7) finitura Blue City®

Scheda **B 2.2** LASTRE IN CALCESTRUZZO tipo Corso Milano® Micheletto

ML



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Prodotto realizzato in calcestruzzo doppio strato, composto da una miscela di pregiati aggregati ad altissima resistenza all'usura

Dimensioni [cm] 20,0 x 40,0; 40,0 x 40,0; 40,0 x 60,0

Spessore [cm] 8

Finitura Liscia

Peso teorico [kg/m²] n.d.

Densità [kg/m³] n.d.

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo ⁽¹⁾ ≥ 0,27

Indice di riflettanza solare (SRI) ⁽²⁾ ≥ 29

Emittanza (ε) ⁽³⁾ 0,90

Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%] ≤ 6

Permeabilità [l/(s·ha)] n.d.

Coefficiente di deflusso [ψ] n.d.

DATI TECNICI

[UNI EN 1339]

Resistenza a compressione [MPa] n.d.

Resistenza a trazione [MPa] n.d.

Resistenza a flessione [MPa] ≥ 3,5

Carico di rottura [kN] n.d.

Resistenza allo scivolamento [μ] ≥ 60

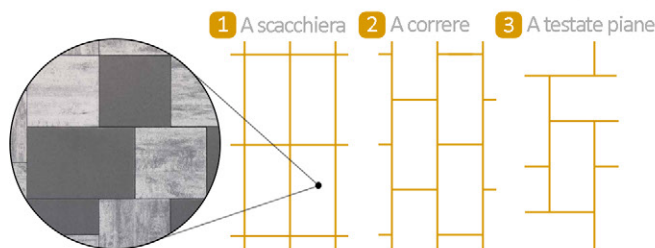
Resistenza al gelo/disgelo [MPa] ≤ 1

DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale) [€/m²] 40,00

Prezzo al m² (posa in opera) [€/m²] n.d.

Prezzo al m² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m²] ⁽⁴⁾ 97,17



Corso Milano®, Micheletto | Pavimentazioni in lastre in calcestruzzo e schemi tipologia di posa in opera.
[https://www.michelettopavimenti.it/]



Esempi di applicazione di pavimentazione in lastre in calcestruzzo.
[https://www.michelettopavimenti.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%] ≥ 5

Riciclabile n.d.

Marcatura CE sì

Crediti LEED no

Crediti ITACA no

Certificazione CAM sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

2.5 Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione

2.5.2 Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati

2.5.3 Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

La classica posa su terreno è l'ideale per gli spazi esterni. Il geotessuto e lo strato di fondazione garantiscono stabilità e una migliore redistribuzione dei carichi in presenza sia di uno strato di base di differente granulometria sia di una soletta in calcestruzzo. Dato lo spessore ridotto delle lastre, si prestano ad essere posate come vere e proprie piastrelle attraverso l'utilizzo di un adesivo cementizio.

⁽¹⁾ valore corrispondente al colore di finitura bianco;

⁽²⁾ valore corrispondente al colore di finitura bianco;

⁽³⁾ valore per difetto secondo norma ASTM E1980-11;

⁽⁴⁾ valore corrispondente alla somma del prezzo delle lastre dim. 25x25 cm o 40x40 cm (€ 32,38) e posa in opera con malta di sabbia e cemento su massetto (€ 64,79) - voci B1.05.13, B1.05.32a Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Lastra in calcestruzzo-pietra linea RocciaBlock® GOLD ad alto SRI. Calcestruzzo vibrocompresso a doppio strato con finitura "Pietra" realizzato con inerti ad alta resistenza a granulometria controllata e ottimizzata. Gli inerti impiegati per la miscela sono esclusivamente inerti di pregio: basalto, giallo reale, rosso Verona, bianco di Carrara, nero ebano uniti al cemento bianco di base.

Dimensioni [cm]	60,0 x 40,0
Spessore [cm]	10
Finitura	(1) Pietra
Peso teorico [kg/m²]	± 220
Densità [kg/m³]	≥ 2200

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(2)
Indice di riflettanza solare (SRI)	≥ 29; (3)
Emittanza (ε)	(4)
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Permeabilità [l/(s·ha)]	n.d.
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.

DATI TECNICI

[UNI EN 1339]

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	n.d.
Resistenza a flessione [MPa]	≥ 5
Carico di rottura [kN]	≥ 14
Resistenza allo scivolamento [μ]	≥ 0,74
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale) [€/m²]	49,85
Prezzo al m² (posa in opera) [€/m²]	n.d.

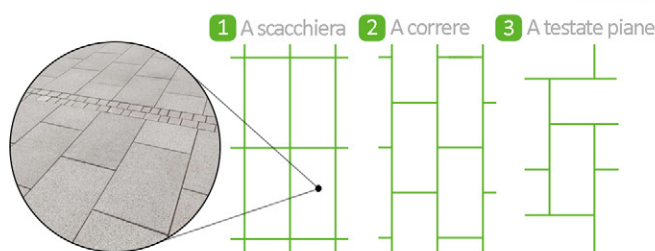
INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

La pavimentazione sarà posata a secco su letto di sabbioncino, dello spessore variabile di 3 - 5 cm max e disposto secondo l'effetto estetico richiesto. Saranno opportunamente tagliati con taglierina a spacco tutti le lastre che non potranno essere inserite integralmente. La pavimentazione sarà successivamente battuta con apposita piastra vibrante e cosparsa in superficie di sabbia fine pulita e asciutta. La rimozione dell'eccesso di sabbia sarà effettuata dopo un sufficiente a garantire il corretto intasamento dei giunti tra le singole lastre.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in lastre in calcestruzzo, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.



GRANITBLOCK 60x40®, Ferrari BK | Pavimentazioni in lastre in calcestruzzo con finitura in pietra e schemi tipologia di posa in opera. [https://www.ferraribk.it/]



Esempi di applicazione di pavimentazione in lastre in calcestruzzo con finitura in pietra. [https://www.ferraribk.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	≥ 5
Riciclabile	n.d.
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

2.5 Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione

2.5.2 Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati

2.5.3 Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

(1) la faccia superiore dei masselli viene sottoposta a idrolavaggio a pressione che permette di valorizzare, facendoli risaltare, gli inerti naturali utilizzati e di ottenere una superficie piacevolmente granulosa.

(2) il valore varia in funzione del colore di finitura: bianco assoluto 0,67; giallo reale 0,30; grigio 0,35; grigio venato 0,38; puntinato 0,45; luserna 0,30; terracotta 0,38; roccia vulcanica 0,36;

(3) bianco assoluto 83; giallo reale 31; grigio 34; grigio venato 43; puntinato 52; luserna 33; terracotta 41; roccia vulcanica 39;

(4) bianco assoluto e giallo reale 0,94; grigio 0,35; grigio venato 0,91; puntinato 0,94; luserna 0,94; terracotta 0,90; roccia vulcanica 0,89.



Scheda **B 2.2.2** **LASTRE IN CALCESTRUZZO** tipo GRETO ERBOSO Paver

CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Lastra grigliata drenante in cemento ad alto SRI. Calcestruzzo realizzato con inerti ad alta resistenza a granulometria controllata e ottimizzata, con finitura doppio strato fine standard grigio caratterizzato da una percentuale di foratura pari al 35%.

Dimensioni [cm]	33,0 x 56,0
Spessore [cm]	8
Peso teorico [kg/m ²]	127

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(1) 0,42; 0,44
Indice di riflettanza solare (SRI)	(2) 46; 48
Emissanza (ε)	(3) 0,86; 0,84
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Permeabilità [l/(s·ha)]	n.d.
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.

DATI TECNICI

[UNI EN 1339]

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	≥ 3,6
Resistenza a flessione [MPa]	n.d.
Resistenza allo scivolamento [USRV]	≥ 60
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	33,05
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	n.d.



GRETO ERBOSO, Paver | Pavimentazioni in lastre drenanti.
[https://www.paver.it/]



Esempi di applicazione di **pavimentazione in lastre drenanti**.
[https://www.paver.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	min. 5,70
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	sì
Crediti ITACA	sì
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
 - 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
- 2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
 - 2.5.2** Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati
 - 2.5.3** Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

Tale grigliato sarà posato a secco su letto di graniglia 3/6, nello spessore variabile di 3 – 5 cm (massimo), e disposto secondo l'effetto estetico richiesto e successivamente riempiti con terreno vegetale o risetta di colore a scelta della DD.LL.. Per ragioni di resistenza della pavimentazione, è consigliabile impiegare tali grigliati laddove il traffico è medio-leggero ed occasionale.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in lastre in calcestruzzo, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.

(1) colore grigio monte bianco 0,42; colore granito monte bianco 0,44;

(2) colore grigio monte bianco 46; colore granito monte bianco 48;

(3) colore grigio monte bianco 0,86; colore granito monte bianco 0,84.



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Lastra grigliato drenante fotocatalitico in cemento ad alto SRI. Calcestruzzo realizzato con inerti ad alta resistenza a granulometria controllata e ottimizzata, con finitura doppio strato fine standard grigio integrata con BIOTi Ecopav® soluzione nanotecnologica autopulente fotocatalitica oltre quarzi e sabbie silicee, caratterizzato da una percentuale di foratura pari al 35%.

Dimensioni [cm]	33,0 x 56,0
Spessore [cm]	8
Peso teorico [kg/m ²]	127

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	⁽¹⁾ 0,42; 0,44
Indice di riflettanza solare (SRI)	⁽²⁾ 46; 48
Emittanza (ε)	⁽³⁾ 0,86; 0,84
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Permeabilità [l/(s·ha)]	n.d.
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.
Capacità fotocatalitica	70 ÷ 80

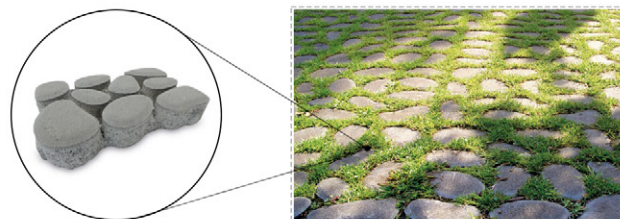
DATI TECNICI

[UNI EN 1339]

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	≥ 3,6
Resistenza a flessione [MPa]	n.d.
Resistenza allo scivolamento [USRV]	≥ 60
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	39,35
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	n.d.



GRETO ERBOSO BIOTi Ecopav®, Paver | Pavimentazioni in lastre drenanti fotocatalitiche. [https://www.paver.it/]



Esempi di applicazione di pavimentazione in lastre drenanti fotocatalitiche. [https://www.paver.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	min. 5,70
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	sì
Crediti ITACA	sì
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
 - 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
- 2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
 - 2.5.2** Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati
 - 2.5.3** Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

Tale grigliato sarà posato a secco su letto di graniglia 3/6, nello spessore variabile di 3 – 5 cm (massimo), e disposto secondo l'effetto estetico richiesto e successivamente riempiti con terreno vegetale o risetta di colore a scelta della DD.LL.. Per ragioni di resistenza della pavimentazione, è consigliabile impiegare tali grigliati laddove il traffico è medio-leggero ed occasionale.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in lastre in calcestruzzo, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.

⁽¹⁾ colore grigio monte bianco 0,42; colore granito monte bianco 0,44;

⁽²⁾ colore grigio monte bianco 46; colore granito monte bianco 48;

⁽³⁾ colore grigio monte bianco 0,86; colore granito monte bianco 0,84.

Scheda **B 2.2.4** LASTRE IN CALCESTRUZZO tipo PIETRA TOSCANA BIOTi Ecopav® Paver

MA



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Lastra grigliato fotocatalitico in cemento ad alto SRI. Calcestruzzo unigranulare a macroporosità controllata, con inerti ad alta resistenza a granulometria controllata e ottimizzata, integrata con BIOTi Ecopav soluzione nanotecnologica autopulente fotocatalitica oltre quarzi e sabbie silicee.

Dimensioni [cm]	31,8 x 47,8
Spessore [cm]	6
Peso teorico [kg/m ²]	130

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(1) 0,42; 0,44
Indice di riflettanza solare (SRI)	(2) 46; 48
Emittanza (ε)	(3) 0,86; 0,84
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Permeabilità [l/(s·ha)]	n.d.
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.
Capacità fotocatalitica	70 ÷ 80

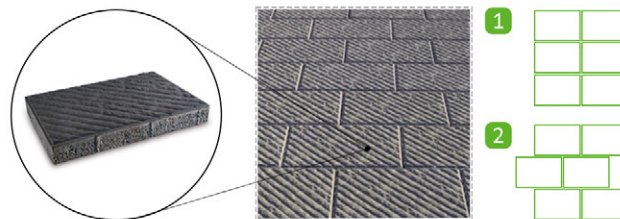
DATI TECNICI

[UNI EN 1339]

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	n.d.
Resistenza a flessione [MPa]	≥ 3,5
Resistenza allo scivolamento [USRV]	≥ 60
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	35,35
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	n.d.



PIETRA TOSCANA BIOTi Ecopav®, Paver | Pavimentazioni in lastre fotocatalitiche e schemi tipologia di posa in opera (1. a sorella; 2. a correre sfalsata). [https://www.paver.it/]



Esempi di applicazione di pavimentazione in lastre fotocatalitiche. [https://www.paver.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	min. 5,70
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	sì
Crediti ITACA	sì
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
- 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
- 2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
- 2.5.2** Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati
 - 2.5.3** Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

La pavimentazione sarà posata a secco su letto di sabbioncino, dello spessore variabile di 3 - 5 cm max e disposto secondo l'effetto estetico richiesto. Saranno opportunamente tagliati con taglierina a spacco tutti le lastre che non potranno essere inserite integralmente. La pavimentazione sarà successivamente battuta con apposita piastra vibrante e cosparsa in superficie di sabbia fine pulita e asciutta. La rimozione dell'eccesso di sabbia sarà effettuata dopo un sufficiente a garantire il corretto intasamento dei giunti tra le singole lastre.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in lastre in calcestruzzo, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.

(1) colore grigio monte bianco 0,42; colore granito monte bianco 0,44;

(2) colore grigio monte bianco 46; colore granito monte bianco 48;

(3) colore grigio monte bianco 0,86; colore granito monte bianco 0,84.



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Lastra fotoluminescente in cemento ad alto SRI. Calcestruzzo realizzato con inerti ad alta resistenza a granulometria controllata e ottimizzata con l'aggiunta di aggregati fotoluminescenti. Le graniglie BOROLUX composte principalmente da vetro borosilicato di qualità farmaceutica. La fotoluminescenza è ottenuta tramite aggiunta di pigmento a base di alluminato di stronzio dopato con Eu e Dy.

Dimensioni [cm]	80,0 x 40,0
Spessore [cm]	4,8
Finitura	(1) Nightglow; Soft-Touch
Peso teorico [kg/m ²]	± 108

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(2) 0,38 - 0,67
Indice di riflettanza solare (SRI)	≥ 29; (3) 43 - 83
Emittanza (ε)	(4) 0,91 - 0,94
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Permeabilità [l/(s·ha)]	n.d.
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.

DATI TECNICI

[UNI EN 1339]

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	n.d.
Resistenza a flessione [MPa]	≥ 5
Carico di rottura [kN]	≥ 4,5
Resistenza allo scivolamento [μ]	≥ 0,74
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	80,00
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	n.d.

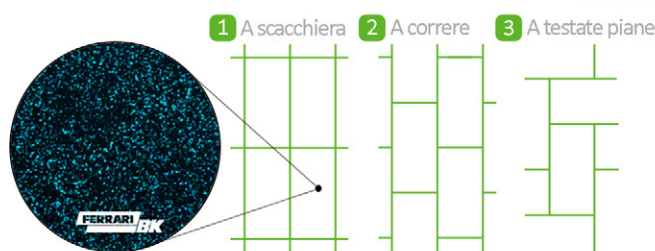
INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

La pavimentazione sarà posata su malta/colla. Si raccomanda di sigillare le fughe con sabbia polimerica Sandblock, al fine di ridurre la penetrazione di acqua. E' consigliabile impermeabilizzare la superficie e le fughe con BK Protective e favorire l'adesione delle lastre utilizzando un martello in gomma. In tutti i casi, è opportuno curare con attenzione il drenaggio delle acque meteoriche, sia quello superficiale che quello degli strati di sottostrati.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in lastre in calcestruzzo, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.



SASSLONG® NIGHTGLOW, Ferrari BK | Pavimentazioni in lastre luminescenti e schemi di tipologie di posa in opera. [https://www.ferraribk.it/]



Esempi di applicazione di pavimentazione in lastre fotoluminescenti e a soluzione mista. [https://www.ferraribk.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	≥ 5
Riciclabile	n.d.
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

2.5 Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione

2.5.2 Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati

2.5.3 Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

(1) Nightglow: finitura con aggiunta di aggregati fotoluminescenti; Soft-Touch: speciale trattamento che consente di ottenere uno strato superiore delle lastre perfettamente liscio, mantenendo la sicurezza della superficie anti-scivolo;

(2) il valore varia in funzione del colore di finitura, in particolare: colore grigio venato 0,38; colore bianco assoluto 0,67;

(3) colore grigio venato 43; colore bianco assoluto 83;

(4) colore grigio venato 0,91; colore bianco assoluto 0,94.

Scheda **B 2.3a** **MASSELLI AUTOBLOCCANTI** tipo *MEZZAROMA Betonella*

ML

**CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

Masselli autobloccanti in cemento ad alto SRI. Calcestruzzo di peso specifico medio superiore a 2,20 Ton/mc, che incorporerà inerti basaltici di origine vulcanica frantumati di granulometria da 0 a 9,5 mm; lo strato di superficie per uno spessore medio di circa 10 mm altezza con calcestruzzo di peso specifico medio superiore a 2,20 Ton/mc. che incorporerà inerti basaltici di vulcanica frantumati e/o naturali di granulometria da 0 a 3 mm.

Dimensioni [cm]	20 x 20
Spessore [cm]	6
Peso teorico [kg/m ²]	90 ÷ 170

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(1) 0,32
Indice di riflettanza solare (SRI)	(1) 34,9
Emittanza (ε)	(1) 0,948
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Permeabilità [l/(s·ha)]	n.d.
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.

DATI TECNICI

[UNI EN 1338]

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	≥ 3,6
Carico di rottura a taglio [N/nm]	≥ 250
Resistenza allo scivolamento [USRV]	> 60
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

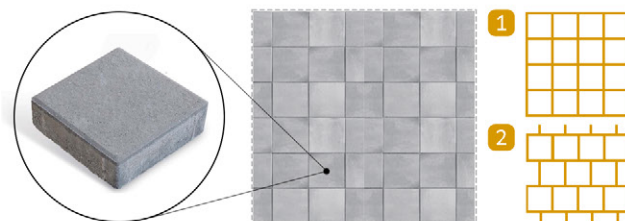
Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	27,40
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	20,00
Prezzo al m ² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m ²] (2)	37,56

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

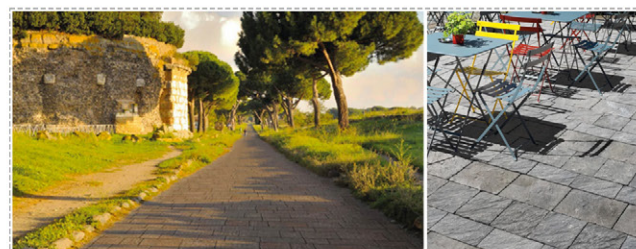
Detti masselli saranno posti in opera su sottofondo portante adeguato, interponendo un riporto di posa costituito da circa 3-5 cm di sabbia granita, con successiva compattazione con adeguata piastra vibrante. I giunti dovranno essere sigillati con sabbia fine asciutta di elevata durezza. La posa in opera dovrà essere eseguita secondo le modalità indicate dalla norma UNI 11241 su massiciata approntata in funzione del tipo di traffico previsto e dello stato del suolo naturale sulla base delle indicazioni del "Catalogo per il dimensionamento delle pavimentazioni in ambito urbano" edito da Assobeton, 2005.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in masselli autobloccanti, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.



Mezzaroma, Betonella: Pavimentazione in masselli autobloccanti e schemi tipologia di posa in opera (1. a sorella; 2. a correre sfalsata). [https://www.betonella.it/]



Esempi di applicazione di **pavimentazione in masselli autobloccanti**. [https://www.betonella.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	n.d.
Riciclabile [%]	n.d.
Marcatura CE	n.d.
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico**2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale**2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico**2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione**2.5.2** Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati**2.5.3** Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

(1) valore corrispondente al colore di finitura grigio serpentino;

(2) valore corrispondente a masselli di sp. 4-6 cm, largo 20-25 cm e lungo 10-16 cm, e comprensivo della stesa di un riporto di circa 3-5 cm di sabbia, il taglio e lo spacco, la compattazione e la sigillatura dei giunti - voce B1.05.33 Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Masselli autobloccanti in cemento.
Calcestruzzo realizzato con inerti ad alta resistenza a granulometria controllata e ottimizzata con finitura doppio fine standard.

Dimensioni [cm]	12,8 x 24,2
Spessore [cm]	4 - 6 - 8
Strato di usura [mm]	n.d.
Peso teorico [kg/m ²]	90 ÷ 170

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	⁽¹⁾ 0,324; 0,33
Indice di riflettanza solare (SRI)	⁽²⁾ 36,1; 37,7
Emittanza (ε)	⁽³⁾ 0,927; 0,936
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Permeabilità [l/(s·ha)]	n.d.
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.

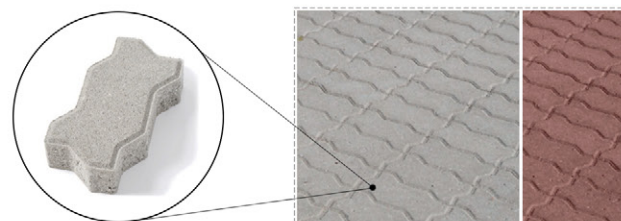
DATI TECNICI

[UNI EN 1338]

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	≥ 3,6
Resistenza allo scivolamento [USRV]	≥ 60
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	25,70
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	n.d.
Prezzo al m ² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m ²]	⁽⁴⁾ 44,44



UNO PAV, Paver: Pavimentazioni in masselli autobloccanti
[https://www.paver.it/]



Esempi di applicazione di pavimentazione in masselli autobloccanti. [https://www.betonella.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	10
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	sì
Crediti ITACA	sì
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

2.5 Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione

2.5.2 Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati

2.5.3 Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

La pavimentazione sarà posata a secco su letto di graniglia, nello spessore variabile di 3 – 5 cm (massimo), e disposta secondo l'effetto estetico richiesto. Saranno opportunamente tagliati con taglierina a spacco tutti i masselli che non potranno essere inseriti integralmente.

La pavimentazione sarà successivamente battuta con apposita piastra vibrante e cosparsa in superficie di sabbia fine (granulometria 0 – 2 mm.), pulita e asciutta. La rimozione dell'eccesso di sabbia sarà effettuata dopo un periodo sufficiente a garantire il corretto intasamento dei giunti tra i singoli masselli.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in masselli autobloccanti, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.

⁽¹⁾ colore di finitura granito monte bianco 0,324; terra di Guamo 0,33;

⁽²⁾ colore di finitura granito monte bianco 36,1; terra di Guamo 37,7;

⁽³⁾ colore di finitura granito monte bianco 0,927; terra di Guamo 0,936;

⁽⁴⁾ valore corrispondente a masselli di sp. 4-6 cm, largo 20-25 cm e lungo 10-16 cm, e comprensivo della stesa di un riporto di circa 3-5cm di sabbia, il taglio e lo spacco, la compattazione e la sigillatura dei giunti - voce B1.05.33 Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.

Scheda **B 2.3.1a** **MASSELLI AUTOBLOCCANTI** tipo *BETONECO Betonella***CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

Masselli autobloccanti drenanti in cemento ad alto SRI. Calcestruzzo di peso specifico medio superiore a 2,20 Ton/mc, che incorporerà inerti basaltici di origine vulcanica frantumati di granulometria da 0 a 9,5 mm; lo strato di superficie per uno spessore medio di circa 10 mm altezza con calcestruzzo di peso specifico medio superiore a 2,20 Ton/mc. che incorporerà inerti basaltici di vulcanica frantumati e/o naturali di granulometria da 0 a 3 mm.

Dimensioni [cm]	15,6 x 20,2
Spessore [cm]	8
Peso teorico [kg/m ²]	145

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	⁽¹⁾ 0,32; 0,40; 0,43
Indice di riflettanza solare (SRI)	⁽²⁾ 34,9; 45; 49,2
Emittanza (ε)	⁽³⁾ 0,95; 0,948; 0,948
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Permeabilità [l/(s·ha)]	1000 = 360 mm di pioggia/h

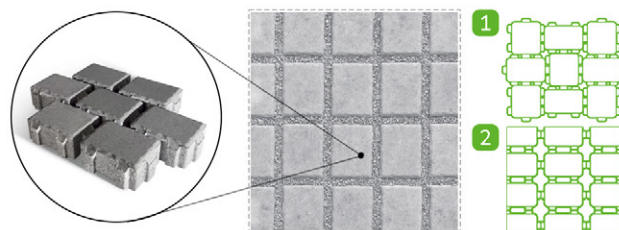
DATI TECNICI

[UNI EN 1338]

Carico di rottura a taglio [N/mm]	≥ 250
Resistenza a trazione [MPa]	≥ 3,6
Resistenza allo scivolamento [USRV]	≥ 60
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	26,35
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	20,00



Betoneco, Betonella: Pavimentazioni in masselli autobloccanti drenanti e schermi tipologia di posa in opera (1. a trama stretta; 2. a trama larga). [https://www.betonella.it/]



Esempi di applicazione di **pavimentazione in masselli autobloccanti drenanti**. [https://www.betonella.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	n.d.
Riciclabile [%]	n.d.
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
 - 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
- 2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
 - 2.5.2** Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati
 - 2.5.3** Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

Detti masselli saranno posti in opera su sottofondo portante adeguato, interponendo un riporto di posa, che al fine di favorire la permeabilità della pavimentazione, sarà realizzato di spessore 30-50 mm utilizzando pietrisco di frantoio di granulometria 3-5 o 4-6 mm, lavato e di elevata resistenza meccanica. La sabbia di sigillatura dei giunti dovrà essere di origine alluvionale o lavata fine asciutta e di elevata durezza, esente di limi e argille. La posa in opera dovrà essere eseguita secondo le modalità indicate dalla norma UNI 11241 su massiciata approntata in funzione del tipo di traffico previsto e dello stato del suolo naturale sulla base delle indicazioni del "Catalogo per il dimensionamento delle pavimentazioni in ambito urbano" edito da Assobeton, 2005.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in masselli autobloccanti, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.

⁽¹⁾ il valore varia in funzione del colore di finitura, in particolare: colore grigio serpentino 0,32; colore adriatico 0,40; colore artico 0,43;

⁽²⁾ colore grigio serpentino 34,9; colore adriatico 45,3; colore artico 49,2;

⁽³⁾ colore grigio serpentino 0,95; colore adriatico 0,948; colore artico 0,948;

Scheda **B 2.3.1b** **MASSELLI AUTOBLOCCANTI** tipo DRENAPAV Paver**CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

Masselli autobloccanti drenanti in cemento. Calcestruzzo unigranulare a macroporosità controllata, con inerti ad alta resistenza a granulometria controllata e ottimizzata con finitura doppio strato quarzo.

Dimensioni [cm]	15,0 x 26,6
Spessore [cm]	8
Strato di usura [mm]	≥ 4
Peso teorico [kg/m ²]	150

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	⁽¹⁾ 0,324; 0,33
Indice di riflettanza solare (SRI)	⁽²⁾ 36,1; 37,7
Emittanza (ε)	⁽³⁾ 0,927; 0,936
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Permeabilità [l/(s·ha)]	n.d.

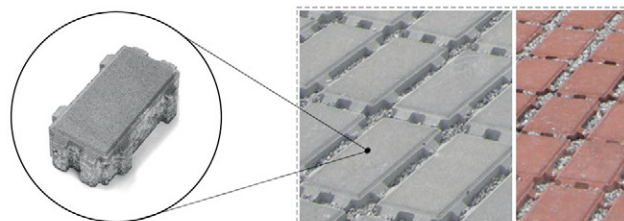
DATI TECNICI

[UNI EN 1338]

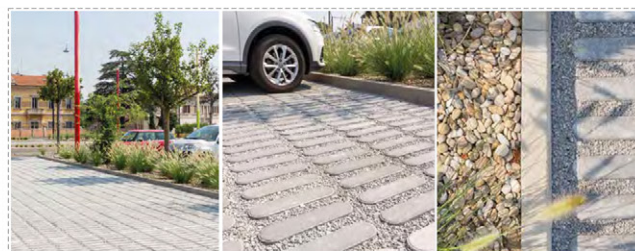
Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	≥ 3,6
Resistenza allo scivolamento [USRV]	≥ 60
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/mq]	22,65
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/mq]	n.d.



DRENAPAV, Paver: Pavimentazioni in masselli autobloccanti filtranti e fotocatalitici. [https://www.paver.it/]



Esempi di applicazione di pavimentazione in masselli autobloccanti drenanti. [https://www.paver.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	10
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	sì
Crediti ITACA	sì
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
- 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
- 2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
- 2.5.2** Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati
 - 2.5.3** Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

La pavimentazione sarà posata a secco su letto di graniglia, nello spessore variabile di 3 – 5 cm (massimo), e disposta secondo l'effetto estetico richiesto. Saranno opportunamente tagliati con taglierina a spacco tutti i masselli che non potranno essere inseriti integralmente. La pavimentazione sarà successivamente battuta con apposita piastra vibrante e riempita con terreno vegetale o riseta di colore a scelta della DD.LL. Per ragioni di resistenza della pavimentazione, è consigliabile impiegare tali grigliati laddove il traffico è medio-leggero ed occasionale.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in masselli autobloccanti, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.

⁽¹⁾ colore grigio monte bianco 0,324; colore terra di guamo 0,33;

⁽²⁾ colore grigio monte bianco 36,1; colore terra di guamo 37,7;

⁽³⁾ colore grigio monte bianco 0,927; colore terra di guamo 0,936;

Scheda **B 2.3.2a** **MASSELLI AUTOBLOCCANTI** tipo *BETONECO FUTURA Betonella***CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

Masselli autobloccanti drenanti fotocatalitici in cemento effetto ad alto SRI. Calcestruzzo contenenti al loro interno il principio attivo TX Active brevettato da Italcementi, di peso specifico medio superiore a 2,20 Ton/mc, che incorporerà inerti basaltici di origine vulcanica frantumati di granulometria da 0 a 9,5 mm; lo strato di superficie per uno spessore medio di circa 10 mm altezza con calcestruzzo di peso specifico medio superiore a 2,20 Ton/mc, che incorporerà inerti basaltici di vulcanica frantumati e/o naturali di granulometria da 0 a 3 mm.

Dimensioni [cm]	15,6 x 20,2
Spessore [cm]	8
Peso teorico [kg/m ²]	145

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	⁽¹⁾ 0,32; 0,40; 0,43
Indice di riflettanza solare (SRI)	⁽²⁾ 34,9; 45,3; 49,2
Emittanza (ε)	⁽³⁾ 0,95; 0,948; 0,948
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Permeabilità [l/(s·ha)]	1000 = 360 mm di pioggia/h
Capacità fotocatalitica [%]	60 ÷ 75

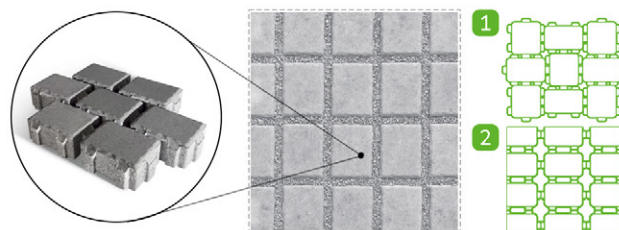
DATI TECNICI

[UNI EN 1338]

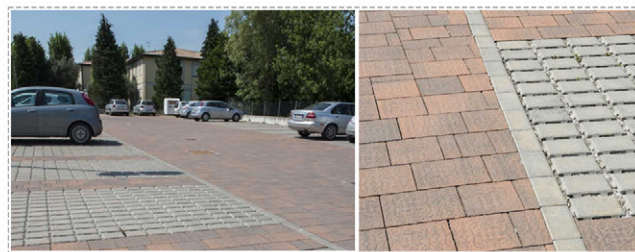
Carico di rottura a taglio [N/mm]	≥ 250
Resistenza a trazione [MPa]	≥ 3,6
Resistenza allo scivolamento [USRV]	≥ 60
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	34,25
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	20,00



Betoneco Futura, Betonella: Pavimentazioni in masselli autobloccanti drenanti e schemi tipologia di posa in opera (1. a trama stretta; 2. a trama larga). [https://www.betonella.it/]



Esempi di applicazione di **pavimentazione in masselli autobloccanti drenanti fotocatalitici**. [https://www.betonella.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	n.d.
Riciclabile [%]	n.d.
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3	Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
2.3.2	Permeabilità della superficie territoriale
2.3.3	Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
2.5	Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
2.5.2	Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati
2.5.3	Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

Detti masselli saranno posti in opera su sottofondo portante adeguato, interponendo un riporto di posa, che al fine di favorire la permeabilità della pavimentazione, sarà realizzato di spessore 30-50 mm utilizzando pietrisco di frantoio di granulometria 3-5 o 4-6 mm, lavato e di elevata resistenza meccanica. La sabbia di sigillatura dei giunti dovrà essere di origine alluvionale o lavata fine asciutta e di elevata durezza, esente di limi e argille. La posa in opera dovrà essere eseguita secondo le modalità indicate dalla norma UNI 11241 su massiciata approntata in funzione del tipo di traffico previsto e dello stato del suolo naturale sulla base delle indicazioni del "Catalogo per il dimensionamento delle pavimentazioni in ambito urbano" edito da Assobeton, 2005.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in masselli autobloccanti, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.

⁽¹⁾ il valore varia in funzione del colore di finitura, in particolare: colore grigio serpentino 0,32; colore adriatico 0,40; colore artico 0,43;

⁽²⁾ colore grigio serpentino 34,9; colore adriatico 45,3; colore artico 49,2;

⁽³⁾ colore grigio serpentino 0,95; colore adriatico 0,948; colore artico 0,948;

Scheda **B 2.3.2b** **MASSELLI AUTOBLOCCANTI** tipo DRENAPAV BIOTi Ecopav® Paver

CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Masselli autobloccanti drenanti fotocatalitici in cemento ad alto SRI. Calcestruzzo realizzato con inerti ad alta resistenza a granulometria controllata e ottimizzata con finitura doppio strato quarzo, integrata con BIOTi Ecopav® soluzione nanotecnologica autopulente fotocatalitica oltre quarzi e sabbie silicee.

Dimensioni [cm]	15,0 x 26,6
Spessore [cm]	8
Strato di usura [mm]	≥ 4
Peso teorico [kg/m²]	150

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(1) 0,42; 0,44
Indice di riflettanza solare (SRI)	(2) 46; 48
Emittanza (ε)	(3) 0,86; 0,84
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Permeabilità [l/(s·ha)]	n.d.
Capacità fotocatalitica [%]	70 ÷ 80

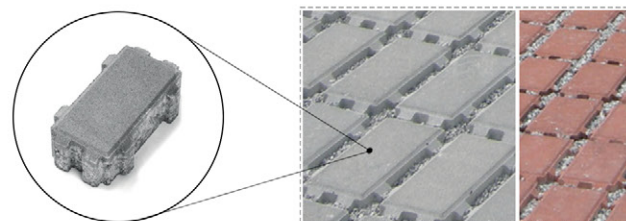
DATI TECNICI

[UNI EN 1338]

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	≥ 3,6
Resistenza allo scivolamento [USRV]	≥ 60
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale) [€/m²]	39,35
Prezzo al m² (posa in opera) [€/m²]	n.d.



DRENAPAV BIOTi Ecopav, Paver: Pavimentazioni in masselli autobloccanti drenanti fotocatalitici. [https://www.paver.it/]



Esempi di applicazione di pavimentazione in masselli autobloccanti drenanti fotocatalitici. [https://www.paver.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	10
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	sì
Crediti ITACA	sì
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
 - 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
- 2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
 - 2.5.2** Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati
 - 2.5.3** Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

La pavimentazione sarà posata a secco su letto di graniglia, nello spessore variabile di 3 – 5 cm (massimo), e disposta secondo l'effetto estetico richiesto. Saranno opportunamente tagliati con taglierina a spacco tutti i masselli che non potranno essere inseriti integralmente. La pavimentazione sarà successivamente battuta con apposita piastra vibrante e riempita con terreno vegetale o risetta di colore a scelta della DD.LL. Per ragioni di resistenza della pavimentazione, è consigliabile impiegare tali grigliati laddove il traffico è medio-leggero ed occasionale.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in masselli autobloccanti, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.

(1) colore grigio 0,42; colore bianco 0,44;

(2) colore grigio 46; colore bianco 48;

(3) colore grigio 0,86; colore bianco 0,84.

Scheda **B 2.3.3a** **MASSELLI AUTOBLOCCANTI** tipo *FILTERBOX Betonella***CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

Masselli autobloccanti filtranti in cemento ad alto SRI. Calcestruzzo vibrocompresso confezionato con inerti granulari (granulometria 4/8 mm) e cementi ad alta resistenza classe 42.5; lo strato di finitura viene realizzato con calcestruzzo vibrocompresso confezionato con inerti silicei granulari (granulometria 2 mm) per uno spessore > 4 mm e cemento ad alta resistenza classe 42.5.

Dimensioni [cm]	21,0 x 10,5
Spessore [cm]	8
Strato di usura [mm]	≥ 4
Peso teorico [kg/m ²]	90 ÷ 170

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	⁽¹⁾ 0,32; 0,40; 0,43
Indice di riflettanza solare (SRI)	⁽²⁾ 34,9; 45,3; 49,2
Emittanza (ε)	⁽³⁾ 0,948; 0,95
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	n.d.
Permeabilità [l/(s·ha)]	> 650 = 240 mm/h
Coefficiente di deflusso [ψ]	0,2
Capacità filtrante sperimentale [%]	100

DATI TECNICI

[UNI EN 1338]

Resistenza a compressione [MPa]	≥ 39,2
Resistenza a trazione [MPa]	n.d.
Carico di rottura a taglio [N/mm]	n.d.
Resistenza allo scivolamento [USRV]	soddisfacente
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	n.d.

DATI ECONOMICI

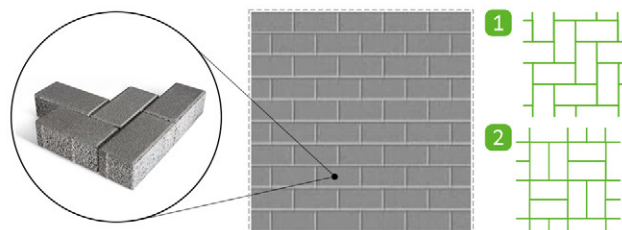
Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	30,60
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	20,00

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

Detti masselli saranno posti in opera su sottofondo portante adeguato, interponendo un riporto di posa, che al fine di favorire la permeabilità della pavimentazione, sarà realizzato di spessore 30-50 mm utilizzando pietrisco di frantoio di granulometria 3-5 o 4-6 mm, lavato e di elevata resistenza meccanica. La sabbia di sigillatura dei giunti dovrà essere di origine alluvionale o lavata fine asciutta e di elevata durezza, esente di limi e argille. La posa in opera dovrà essere eseguita secondo le modalità indicate dalla norma UNI 11241 su massciata approntata in funzione del tipo di traffico previsto e dello stato del suolo naturale sulla base delle indicazioni del "Catalogo per il dimensionamento delle pavimentazioni in ambito urbano" edito da Assobeton, 2005.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in masselli autobloccanti, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.



Filterbox, Betonella: Pavimentazione in masselli autobloccanti filtranti in cemento e schemi tipologia di posa in opera (1. incrociata a testa avanti; 2. incrociate). [https://www.betonella.it/]



Esempi di applicazione di **pavimentazione in masselli autobloccanti filtranti**. [https://www.betonella.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	n.d.
Riciclabile [%]	n.d.
Marcatura CE	no
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
 - 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
- 2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
 - 2.5.2** Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati
 - 2.5.3** Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

⁽¹⁾ il valore varia in funzione del colore di finitura, in particolare: colore grigio serpentino 0,32; colore adriatico 0,40; colore articolo 0,43;

⁽²⁾ colore grigio serpentino 34,9; colore adriatico 45,3; colore articolo 49,2;

⁽³⁾ colore grigio serpentino e colore articolo 0,948, colore adriatico 0,95.

Scheda **B 2.3.3b** **MASSELLI AUTOBLOCCANTI** tipo *UNO PAV filtrante Paver*

CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Masselli autobloccanti filtranti in cemento ad alto SRI. Calcestruzzo unigranulare a macroporosità controllata, con inerti ad alta resistenza a granulometria controllata e ottimizzata con finitura doppio strato quarzo.

Dimensioni [cm]	12,8 x 24,2
Spessore [cm]	4 - 6 - 8
Strato di usura [mm]	± 3
Peso teorico [kg/m ²]	90 ÷ 170

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(1) 0,42; 0,44
Indice di riflettanza solare (SRI)	(2) 46; 48
Emissanza (ε)	(3) 0,86; 0,84
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Permeabilità [l/(m ² ·s)]	3,72
Coefficiente di deflusso [ψ]	0,00
Capacità filtrante certificata [%]	100

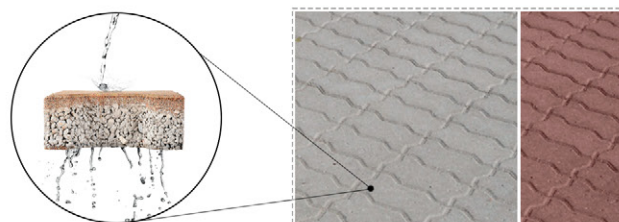
DATI TECNICI

[UNI EN 1338]

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	≥ 3,6
Resistenza allo scivolamento [USRV]	≥ 60
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	28,05
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	n.d.



UNO PAV filtrante, Paver: Pavimentazioni in masselli autobloccanti filtranti [https://www.paver.it/]



Esempi di applicazione di pavimentazione in masselli autobloccanti filtranti. [https://www.paver.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	10
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	sì
Crediti ITACA	sì
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
 - 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
- 2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
 - 2.5.2** Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati
 - 2.5.3** Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

La pavimentazione sarà posata a secco su letto di graniglia, nello spessore variabile di 3 – 5 cm (massimo), e disposta secondo l'effetto estetico richiesto. Saranno opportunamente tagliati con taglierina a spacco tutti i masselli che non potranno essere inseriti integralmente. La pavimentazione sarà successivamente battuta con apposita piastra vibrante e cosparsa in superficie di sabbia fine (granulometria 0 – 2 mm), pulita e asciutta. La rimozione dell'eccesso di sabbia sarà effettuata dopo un periodo sufficiente a garantire il corretto intasamento dei giunti tra i singoli masselli.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in masselli autobloccanti, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.

(1) colore grigio 0,42; colore bianco 0,44;

(2) colore grigio 46; colore bianco 48;

(3) colore grigio 0,86; colore bianco 0,84;

Scheda **B 2.3.4a** **MASSELLI AUTOBLOCCANTI** tipo *FILTERBOX FUTURA* Betonella**CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

Masselli autobloccanti filtranti e fotocatalitici in cemento ad alto SRI. Calcestruzzo vibrocompresso contenenti il principio attivo TX Active brevettato da Italcementi, confezionato con inerti granulari (4/8 mm) e cementi ad alta resistenza classe 42.5; lo strato di finitura è realizzato con calcestruzzo vibrocompresso confezionato con inerti silicei granulari (2 mm) e spessore > 4 mm e cemento ad alta resistenza.

Dimensioni [cm]	21 x 10,5
Spessore [cm]	8
Strato di usura [mm]	≥ 4
Peso teorico [kg/m ²]	90 ÷ 170

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(1) 0,32; 0,40; 0,43
Indice di riflettanza solare (SRI)	(2) 34,9; 45,3; 49,2
Emittanza (ε)	(3) 0,948; 0,95
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	n.d.
Permeabilità [l/(s·ha)]	> 650 = 240 mm/h
Coefficiente di deflusso [ψ]	0,2
Capacità fotocatalitica [%]	60 ÷ 75
Capacità filtrante sperimentale [%]	100

DATI TECNICI

[UNI EN 1338]

Resistenza a compressione [MPa]	≥ 39,2
Resistenza a trazione [MPa]	n.d.
Carico di rottura a taglio [N/mm]	n.d.
Resistenza allo scivolamento [USRV]	soddisfacente
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	n.d.

DATI ECONOMICI

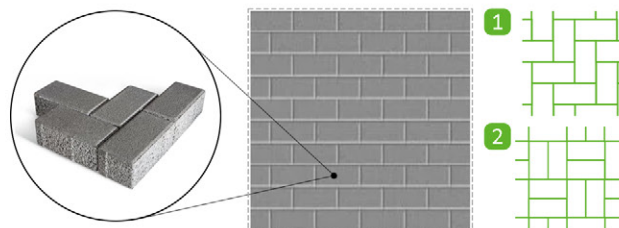
Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	39,78
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	20,00

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

Detti masselli saranno posti in opera su sottofondo portante adeguato, interponendo un riporto di posa, che al fine di favorire la permeabilità della pavimentazione, sarà realizzato di spessore 30-50 mm utilizzando pietrisco di frantoio di granulometria 3-5 o 4-6 mm, lavato e di elevata resistenza meccanica. La sabbia di sigillatura dei giunti dovrà essere di origine alluvionale o lavata fine asciutta e di elevata durezza, esente di limi e argille. La posa in opera dovrà essere eseguita secondo le modalità indicate dalla norma UNI 11241 su massiciata approntata in funzione del tipo di traffico previsto e dello stato del suolo naturale sulla base delle indicazioni del "Catalogo per il dimensionamento delle pavimentazioni in ambito urbano" edito da Assobeton, 2005.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in masselli autobloccanti, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.



Filterbox Futura, Betonella: Pavimentazione in masselli autobloccanti filtranti fotocatalitici e schemi tipologia di posa in opera (1. Incrociata a testa avanti; 2. incrociate). [https://www.betonella.it/]



Realizzazione delle **pavimentazioni esterne** con Betonella® FUTURA per l'ampliamento dell'Headquarter Banca Crédit-Agricole (Parma). [https://www.betonella.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	n.d.
Riciclabile [%]	n.d.
Marcatatura CE	no
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico**2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale**2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico**2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione**2.5.2** Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati**2.5.3** Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

(1) il valore varia in funzione del colore di finitura, in particolare: colore grigio serpentino 0,32; colore adriatico 0,40; colore articolo 0,43;

(2) colore grigio serpentino 34,9; colore adriatico 45,3; colore articolo 49,2;

(3) colore grigio serpentino e colore articolo 0,948, colore adriatico 0,95.



Scheda **B 2.3.4b** **MASSELLI AUTOBLOCCANTI** tipo **UNO PAV** filtrante **BIOTi Ecopav® Paver** **MA**

CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Masselli autobloccanti filtranti e fotocatalitici in cemento ad alto SRI. Calcestruzzo unigranulare a macroporosità controllata, con inerti ad alta resistenza a granulometria controllata e ottimizzata con finitura doppio strato quarzo, integrata con Bioti Ecopav® soluzione nanotecnologica autopulente fotocatalitica oltre quarzi e sabbie silicee.

Dimensioni [cm]	12,8 x 24,2
Spessore [cm]	4 - 6 - 8
Strato di usura [mm]	≥ 4
Peso teorico [kg/m²]	90 ÷ 170

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	⁽¹⁾ 0,42; 0,44
Indice di riflettanza solare (SRI)	⁽²⁾ 46; 48
Emittanza (ε)	⁽³⁾ 0,86; 0,84
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Permeabilità [l/(m²·s)]	3,72
Coefficiente di deflusso [ψ]	0,00
Capacità fotocatalitica [%]	70 ÷ 80
Capacità filtrante certificata [%]	100

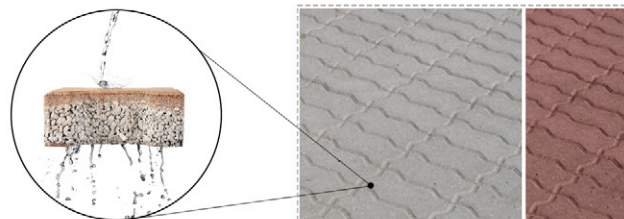
DATI TECNICI

[UNI EN 1338]

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	≥ 3,6
Resistenza allo scivolamento [USRV]	≤ 1
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	n.d.

DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale) [€/m²]	41,70
Prezzo al m² (posa in opera) [€/m²]	n.d.



UNO PAV filtrante Bioti Ecopav, Paver: Pavimentazioni in masselli autobloccanti filtranti e fotocatalitici. [https://www.paver.it/]



Esempi di applicazione di pavimentazione in masselli autobloccanti filtranti e fotocatalitici. [https://www.paver.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	10
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	sì
Crediti ITACA	sì
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
 - 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
- 2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
 - 2.5.2** Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati
 - 2.5.3** Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

La pavimentazione sarà posata a secco su letto di graniglia, nello spessore variabile di 3 – 5 cm (massimo), e disposta secondo l'effetto estetico richiesto. Saranno opportunamente tagliati con taglierina a spacco tutti i masselli che non potranno essere inseriti integralmente. La pavimentazione sarà successivamente battuta con apposita piastra vibrante e cosparsa in superficie di sabbia fine (granulometria 0 – 2 mm), pulita e asciutta. La rimozione dell'eccesso di sabbia sarà effettuata dopo un periodo sufficiente a garantire il corretto intasamento dei giunti tra i singoli masselli.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in masselli autobloccanti, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.

⁽¹⁾ colore grigio 0,42; colore bianco 0,44;

⁽²⁾ colore grigio 46; colore bianco 48;

⁽³⁾ colore grigio 0,86; colore bianco 0,84;

Scheda **B 2.3.5a** **MASSELLI AUTOBLOCCANTI** tipo *MEZZAROMA FUTURA Betonella*

MA

**CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

Masselli autobloccanti fotocatalitici in cemento effetto pietra naturale ad alto SRI.

Calcestruzzo contenenti al loro interno il principio attivo TX Active brevettato da Italcementi, di peso specifico medio superiore a 2,20 Ton/mc, che incorporerà inerti basaltici di origine vulcanica frantumati di granulometria da 0 a 9,5 mm; lo strato di superficie per uno spessore medio di circa 10 mm altezza con calcestruzzo di peso specifico medio superiore a 2,20 Ton/mc, che incorporerà inerti basaltici di vulcanica frantumati e/o naturali di granulometria da 0 a 3 mm.

Dimensioni [cm]	20,0 x 20,0
Spessore [cm]	6
Peso [kg/m ²]	90 ÷ 170

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(*) 0,32
Indice di riflettanza solare (SRI)	(*) 34,9
Emissanza (ε)	(*) 0,948
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Permeabilità [l/(s·ha)]	n.d.
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.
Capacità fotocatalitica [%]	60 ÷ 75

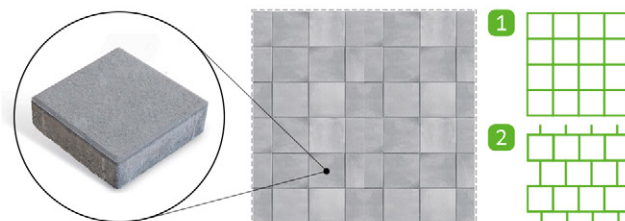
DATI TECNICI

[UNI EN 1338]

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	≥ 3,6
Carico di rottura a taglio [N/mm]	≥ 250
Resistenza allo scivolamento [USRV]	> 60
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	35,62
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	20,00



Mezzaroma Futura, Betonella: Pavimentazione in masselli autobloccanti fotocatalitici e schemi tipologia di posa in opera (1. a sovrapposta; 2. a sfalsata). [https://www.betonella.it/]



Realizzazione delle **pavimentazioni esterne** con Betonella® FUTURA per l'ampliamento dell'Headquarter Banca Crédit-Agricole (Parma). [https://www.betonella.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	n.d.
Riciclabile [%]	n.d.
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
 - 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
- 2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
 - 2.5.2** Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati
 - 2.5.3** Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

Detti masselli saranno posti in opera su sottofondo portante adeguato, interponendo un riporto di posa costituito da circa 3-5 cm di sabbia granita, con successiva compattazione con adeguata piastra vibrante. I giunti dovranno essere sigillati con sabbia fine asciutta di elevata durezza.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in masselli autobloccanti, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.

(*) valore corrispondente al colore di finitura grigio serpentino



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Masselli autobloccanti fotocatalitici in cemento ad alto SRI. Calcestruzzo realizzato con inerti ad alta resistenza a granulometria controllata e ottimizzata con finitura doppio strato fine standard/quarzo integrata con BIOTi Ecopav® soluzione nanotecnologica autopulente fotocatalitica oltre quarzi e sabbie silicee.

Dimensioni [cm]	12,8 x 24,2
Spessore [cm]	4 - 6 - 8
Strato di usura [mm]	n.d.
Peso teorico [kg/m²]	90 ÷ 170

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(1) 0,42; 0,44
Indice di riflettanza solare (SRI)	(2) 46; 48
Emittanza (ε)	(3) 0,86; 0,84
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Permeabilità [l/(s·ha)]	n.d.
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.
Capacità fotocatalitica [%]	70 ÷ 80

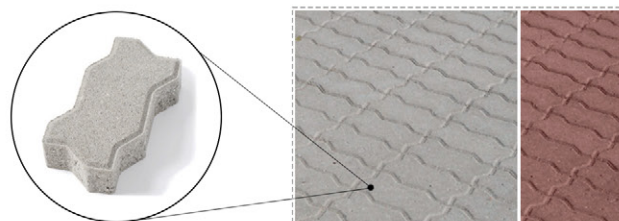
DATI TECNICI

[UNI EN 1338]

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	≥ 3,6
Resistenza allo scivolamento [USRV]	≥ 60
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale) [€/m²]	39,35
Prezzo al m² (posa in opera) [€/m²]	n.d.



UNO PAV BIOTi Ecopav, Paver: Pavimentazioni in masselli autobloccanti fotocatalitici. [https://www.paver.it/]



Esempi di applicazione di pavimentazione in masselli autobloccanti fotocatalitici. [https://www.paver.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	10
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	sì
Crediti ITACA	sì
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

2.5 Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione

2.5.2 Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati

2.5.3 Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

La pavimentazione sarà posata a secco su letto di graniglia, nello spessore variabile di 3 – 5 cm (massimo), e disposta secondo l'effetto estetico richiesto. Saranno opportunamente tagliati con taglierina a spacco tutti i masselli che non potranno essere inseriti integralmente.

La pavimentazione sarà successivamente battuta con apposita piastra vibrante e cosparsa in superficie di sabbia fine (granulometria 0 – 2 mm.), pulita e asciutta. La rimozione dell'eccesso di sabbia sarà effettuata dopo un periodo sufficiente a garantire il corretto intasamento dei giunti tra i singoli masselli.

MANUTENZIONE

Per la pavimentazione in masselli autobloccanti, se adeguatamente progettata e realizzata in funzione della destinazione d'uso e della posa in opera, il piano di manutenzione ordinaria risulta semplice e di costo trascurabile. Poiché l'azione autobloccante si sviluppa prevalentemente per effetto dell'attrito nei giunti, il piano di manutenzione ordinaria si limita infatti al controllo della corretta sigillatura, intervenendo con reintegro di sabbia se necessario. Considerato che la particolare caratteristica di questo tipo di pavimentazione è di sviluppare progressivamente una sempre maggiore autobloccanza, per effetto del costipamento della sabbia nei giunti indotto dal traffico e dall'accumulo di detriti superficiali, tali controlli dovranno risultare più frequenti nel corso del primo anno dalla realizzazione della pavimentazione mentre, a regime, una verifica all'anno può ritenersi sufficiente.

(1) colore grigio 0,42; colore bianco 0,44;

(2) colore grigio 46; colore bianco 48;

(3) colore grigio 0,86; colore bianco 0,84;

SCHEDA
TECNICA

Pietre tradizionali

BASALTO



Via Puglie
Roma, 2022



Piazza Pia
Roma, 2024



Via Ottaviano
Roma, 2024

Pietra lavica di origine vulcanica. Grazie alla sua elevata resistenza all'usura e agli agenti atmosferici è impiegata da sempre nei rivestimenti per esterni e nelle pavimentazioni stradali.

Campi di applicazione



Potenziale di mitigazione



Riduzione del surriscaldamento



Comfort termoigrometrico



Costo messa in opera



Costo di manutenzione



Durabilità



EFFETTO DIURNO

Date le caratteristiche chimico-fisiche del basalto, albedo 0.15/0.20 ed emissività 0.90, la temperatura superficiale diurna risulta essere leggermente inferiore rispetto a tradizionali superfici in asfalto, albedo 0.10 ed emissività 0.90, considerando il giorno più caldo. Tale aspetto non influenza i valori di comfort termoigrometrico (PMV).

EFFETTO NOTTURNO

Risultati presenti in letteratura scientifica dimostrano come l'abbassamento della temperatura superficiale, seppur minimo, è rilevante nelle ore diurne dove la radiazione solare diretta è prevalente. Nelle ore notturne i valori di temperatura superficiali risultano essere equiparabili a quelli di pavimentazioni in asfalto.

OSSERVAZIONI SINTETICHE

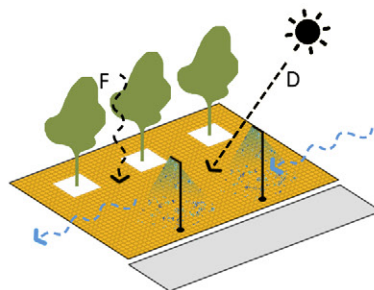
I risultati presenti in letteratura dimostrano che l'impiego di pavimentazione in basalto, in lastre e blocchi, non influenzano positivamente i valori di PMV anche a fronte di pattern permeabili e non sigillati. Altre strategie dovrebbero essere implementate per migliorare il comfort termoigrometrico ove possibile.

SOLUZIONI E COMBINAZIONI

Soluzioni. Le pavimentazioni esterne in basalto possono essere realizzate in cubetti o lastre e possono assumere diverse configurazioni.

Schede di riferimento: C.1.1-2_{ML}

Combinazioni. Per contrastare le isole di calore urbane in presenza di pavimentazioni in basalto è necessario ricorrere all'uso di alberature, elementi ombreggianti, *misting systems* per incrementare l'effetto evapotraspirativo attraverso la nebulizzazione o prevedere la sostituzione delle pavimentazioni esistenti con altre fredde che aumentano il valore dell'albedo.



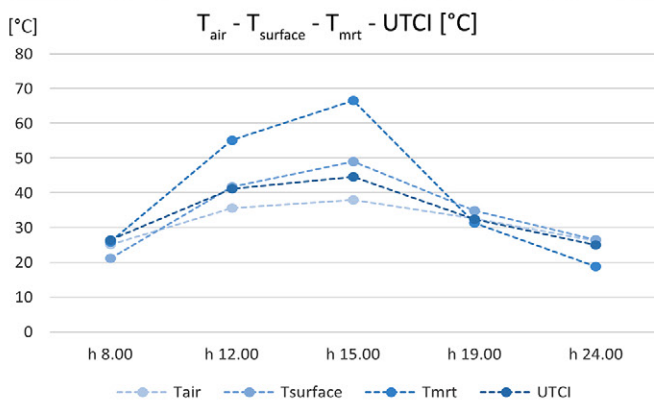
D - Radiazione solare diretta; F - Radiazione solare diffusa

COMPARAZIONE DATI*

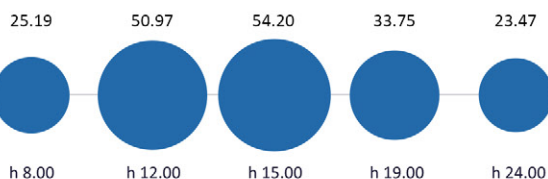


Pavimentazione
in basalto

Scheda di riferimento: C.1.1_{ML}



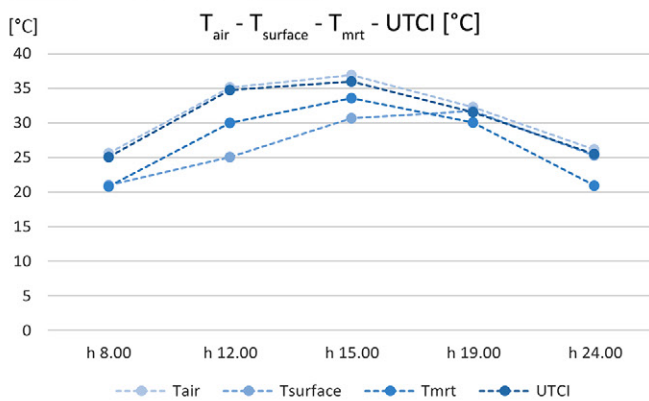
PET [°C]



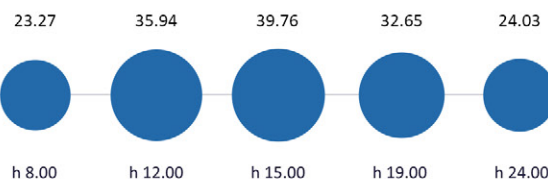
Pavimentazione +
in basalto



Alberature



PET [°C]



—OSSERVAZIONI

Effetto diurno. La pavimentazione in basalto, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} minore di -0.4°C e una T_{surface} minore di -16.6°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a -25°C e -15°C, rispetto alla soluzione non combinata.

Effetto notturno. La pavimentazione in basalto, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} minore di -0.1°C e una T_{surface} minore di -1.2°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a +2.2°C e +0.6°C, rispetto alla soluzione non combinata.

*Simulazioni ENVI-met. File climatico: Roma, 23 agosto 2023

Scheda **C 1.1** CUBETTI IN PIETRE NATURALI "Sampietrino" tipo Basalto Creations

ML



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

[UNI EN 1342]

DESCRIZIONE

Cubetti in basalto per pavimentazioni esterne.

Composizione	Fonolite Tefritica tipo basalto romano
Dimensione [cm]	10x10 - 8x8 - 6x6
Spessore [cm]	6
Finitura	Piano Sega - Bocciardatura Sabbatura - Spazzolatura
Densità [kg/m³]	2038

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(1) 0,15
Indice di riflettanza solare (SRI)	12,6
Emissanza (ε)	(2) 0,90
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	9,4
Permeabilità [%]	(3)

DATI TECNICI

Resistenza a compressione [MPa]	105
Resistenza a trazione [MPa]	15,4
Resistenza a flessione [MPa]	11,9
Resistenza allo scivolamento [USRV]	(4) 69; 80
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	(5) 106

DATI ECONOMICI

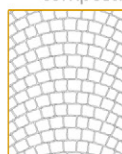
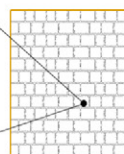
Prezzo (fornitura) [€/ql]	(6) 60; 65
Prezzo (imballo e trasporto) [€/m²]	8
Prezzo al m² (posa in opera) [€/m²]	n.d.
Prezzo al m² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m²] (7)	64,79



1 A correre

2 Ad archi composti

3 Ad archi alternati

Basalto Creations | Pavimentazioni in cubetti in basalto.
[https://www.basaltocreations.it/]Piazza Giovanni Paolo II a Roma
[https://www.basaltocreations.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	no
Riciclabile [%]	sì
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	no
Crediti ITACA	no
Certificazione CAM	no

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

È consigliato predisporre sopra il terreno di fondazione un massetto in calcestruzzo con rete elettrosaldata di spessore minimo 10-12cm, con le pendenze predisposte verso i punti di scolo di almeno 1,5%-2%. Una volta realizzato il massetto si può procedere alla posa del prodotto. Ogni disegno di posa, presenta un diverso grado di resistenza alle sollecitazioni meccaniche. Per la sigillatura dei cubetti si usano diversi metodi: sigillatura in boiacca cementizia; sigillatura in sabbia; sigillatura in resina poliuretanica.

(1) fonte: REBUS® (Renovation of Public Buildings and Urban Spaces;

(2) fonte: Envi-met database;

(3) possibilità di fare fughe con materiale permeabile;

(4) piano sega = 69 (dry), 80 (wet);

(5) valore medio della resistenza a compressione dopo 56 cicli di gelo e disgelo, in presenza di sali disgelanti;

(6) 60 €/ql materiale fornito per montaggio ad archi contrastanti; 65 €/ql materiale fornito per montaggio a filara;

(7) voce B1.05.32 Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.

Scheda **C 1.2** LASTRE IN PIETRE NATURALI tipo Basalto Creations

ML



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

[UNI EN 1341]

DESCRIZIONE

Lastre in basalto per pavimentazioni esterne.

Composizione	Fonolite Tefritica tipo basalto romano
Dimensione [cm]	30x60 - 30x50 - 30x75
Spessore [cm]	5
Finitura	Piano Sega - Bocciardatura Sabbatura - Spazzolatura
Densità [kg/m³]	2038

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

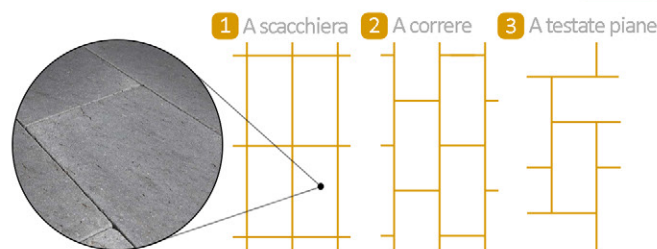
Albedo	(1) 0,15
Indice di riflettanza solare (SRI)	12,6
Emittanza (ε)	(2) 0,90
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	9,4
Permeabilità [%]	(3)

DATI TECNICI

Resistenza a compressione [MPa]	105
Resistenza a trazione [MPa]	15,4
Resistenza a flessione [MPa]	11,9
Resistenza allo scivolamento [USRV]	(4) 69; 80
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	(5) 106

DATI ECONOMICI

Prezzo (fornitura) [€/q]	(6) 135
Prezzo (imballo e trasporto) [€/m²]	8
Prezzo al m² (posa in opera) [€/m²]	n.d.
Prezzo al m² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m²] (7)	179,46



Basalto Creations | Pavimentazioni in lastre in basalto.
[https://www.basaltocreations.it/]



Intervento di pedonalizzazione di Via Puglie a Roma.
[https://www.basaltocreations.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	no
Riciclabile [%]	sì
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	no
Crediti ITACA	no
Certificazione CAM	no

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

- 2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale
- 2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

La pavimentazione sarà posata su letto di sabbia, utilizzata per elementi di notevole spessore e con superficie di qualsiasi misura. Questo tipo di messa in opera, di facile realizzazione, permette una rimozione e un ripristino veloci degli elementi qualora si rendessero necessari interventi nel sottosuolo o in caso di rottura. Il tipo di posa va comunque scelto tenendo conto, oltre che dell'aspetto funzionale ed estetico, anche delle sollecitazioni da sostenere.

(1) fonte: REBUS® (Renovation of Public Buildings and Urban Spaces);

(2) fonte: Envi-met database;

(3) possibilità di fare fughe con materiale permeabile;

(4) piano sega = 69 (dry), 80 (wet);

(5) valore medio della resistenza a compressione dopo 56 cicli di gelo e disgelo, in presenza di sali disgelanti;

(6) prezzo stimato per lastre di dimensione cm 30x60x5;

(7) valore corrispondente alla somma del prezzo della fornitura a piè d'opera di lastre spesse 5 cm (€18,75 per ogni cm in più o in meno di spessore) (€114,67) e posa in opera con malta di calce e pozzolana (€64,79) - voci B1.05.31 e B1.05.32a Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.

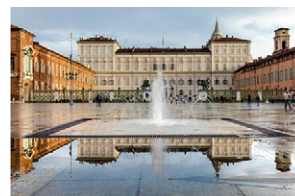
PORFIDO



Tempio di Roma
Roma, 2019



Piazza Mostra
Trento, 2023



Piazza Castello
Torino, 2015

Il porfido è una roccia magmatica effusiva. Grazie alla sua resistenza e durabilità, è ampiamente utilizzato per le pavimentazioni esterne di percorsi pedonali e piazze.

Campi di applicazione



Potenziale di mitigazione



Riduzione del surriscaldamento



Comfort termoigrometrico



Costo messa in opera



Costo di manutenzione



Durabilità



EFFETTO DIURNO

Date le caratteristiche chimico-fisiche del porfido, albedo 0.15/0.20 ed emissività 0.90, riflette una quantità maggiore di radiazione solare rispetto all'asfalto. Grazie a questa maggiore riflettività, accumula meno calore, mantenendo temperature superficiali più basse riducendo il valore del PMV e migliorando il comfort termoigrometrico.

EFFETTO NOTTURNO

Risultati presenti in letteratura scientifica dimostrano come il porfido, avendo accumulato meno calore durante il giorno, si raffredda più rapidamente nelle ore notturne. Le temperature notturne più basse possono influire con il raffreddamento naturale dell'ambiente, mantenendo un valore del PMV ottimale e favorendo il riposo notturno.

OSSERVAZIONI SINTETICHE

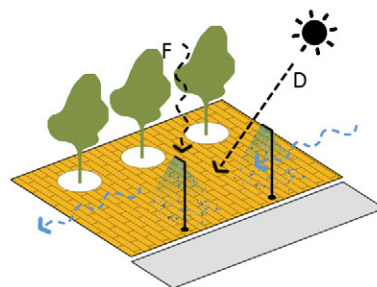
Le superfici in asfalto contribuiscono a incrementare la T_{air} diurna e notturna, influenzando negativamente il PET. Il porfido, grazie alle sue proprietà riflettenti e alla minore capacità di accumulo termico, offre vantaggi nel migliorare il comfort notturno controilanciato tuttavia da un inasprimento del PET nelle ore diurne.

SOLUZIONI E COMBINAZIONI

Soluzioni. Le pavimentazioni esterne in basalto possono essere realizzate in cubetti o lastre e possono assumere diverse configurazioni.

Schede di riferimento: C.2.1-2_{ML}.

Combinazioni. Per contrastare le isole di calore urbane in presenza di pavimentazioni in porfido è necessario ricorrere all'uso di alberature, elementi ombreggianti, *misting system* per incrementare l'effetto evapotraspirativo attraverso la nebulizzazione o prevedere la sostituzione delle pavimentazioni esistenti con altre fredde che aumentano il valore dell'albedo.



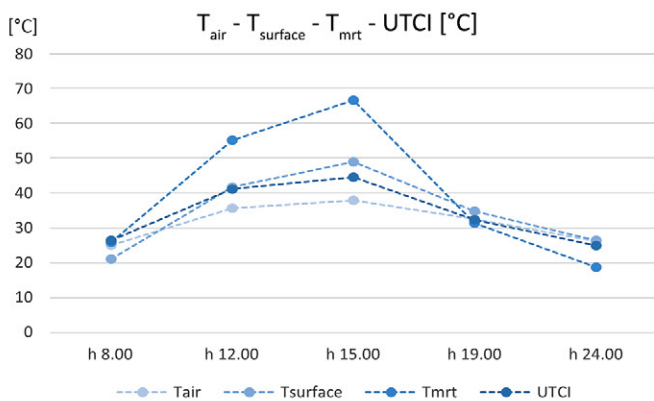
D - Radiazione solare diretta; F - Radiazione solare diffusa

COMPARAZIONE DATI*

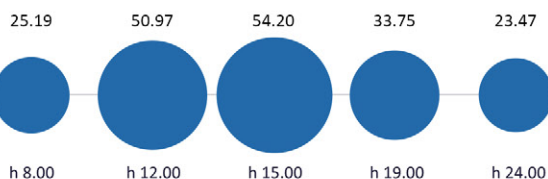


Pavimentazione
in porfido

Scheda di riferimento: C.2.1_{ML}



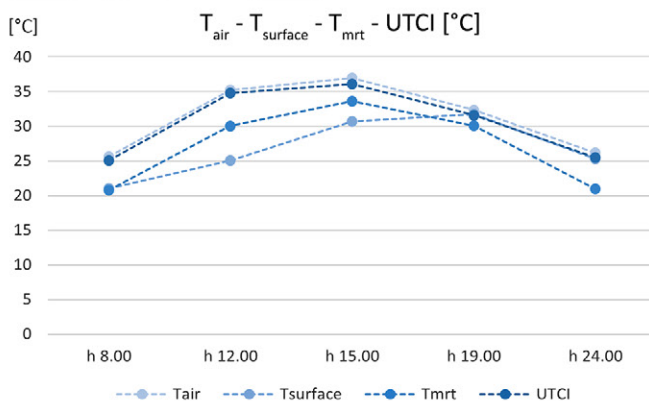
PET [°C]



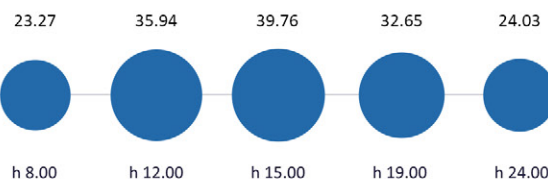
Pavimentazione +
in porfido



Alberature



PET [°C]



—OSSERVAZIONI—

Effetto diurno. La pavimentazione in porfido, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} minore di -0.4°C e una $T_{surface}$ minore di -16.6°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a -25°C e -15°C, rispetto alla soluzione non combinata.

Effetto notturno. La pavimentazione in porfido, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} minore di -0.1°C e una $T_{surface}$ minore di -1.2°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a +2.2°C e +0.6°C, rispetto alla soluzione non combinata.

*Simulazioni ENVI-met. File climatico: Roma, 23 agosto 2023

Scheda **C 2.1** CUBETTI IN PIETRE NATURALI tipo Top Center Porfido

ML



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

[UNI EN 1342]

DESCRIZIONE

Cubetti in Porfido per pavimentazioni esterne. Roccia di colore rosso molto scuro, tessitura porfirica con grossi fenocristalli di grana media di quarzo e di plagioclasio in una pasta di fondo vetrosa. Tessitura massiccia con fiamme violacee e livelli di ossidazione che attraversano la matrice di fondo, inclusi femici e riolitici.

Dimensione [cm]	4 ÷ 14
Spessore [cm]	4 ÷ 14
Peso [kg/m ²]	90 ÷ 300
Densità [kg/m ³]	2597
Finitura	Fiammato - Lucido - Semi-lucido - Piano cava

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

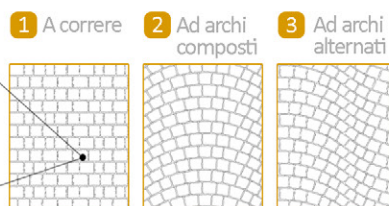
Albedo	⁽¹⁾ 0,15
Indice di riflettanza solare (SRI)	12,6
Emittanza (ε)	⁽²⁾ 0,90
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	0,2
Permeabilità [%]	⁽³⁾

DATI TECNICI

Resistenza a compressione [MPa]	174
Resistenza a trazione [MPa]	n.d.
Resistenza allo scivolamento [USRV]	68
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	⁽⁴⁾ 172

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	37,00
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	30,00
Prezzo al m ² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m ²] ⁽⁵⁾	163,48



Top Center Porfido | Pavimentazioni in cubetti in porfido.
[https://www.topcenterporfido.it/]



Esempi di pavimentazione in cubetti in porfido.
[https://www.topcenterporfido.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	no
Riciclabile [%]	sì
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	no
Crediti ITACA	no
Certificazione CAM	no

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

- 2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale
- 2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

È consigliato predisporre sopra il terreno di fondazione un massetto in calcestruzzo con rete elettrosaldata di spessore minimo 10-12cm, con le pendenze predisposte verso i punti di scolo di almeno 1,5%-2%. Una volta realizzato il massetto si può procedere alla posa del prodotto. Ogni disegno di posa, presenta un diverso grado di resistenza alle sollecitazioni meccaniche. Per la sigillatura dei cubetti si usano diversi metodi: sigillatura in boiacca cementizia; sigillatura in sabbia; sigillatura in resina poliuretanica.

MANUTENZIONE

I problemi che affliggono maggiormente le pavimentazioni in porfido sono le macchie di olio. Per questo tipo di macchie bisogna intervenire tempestivamente versando sulla macchia un materiale polveroso assorbente. Per manutenzione generiche si userà una idropulitrice.

(1) fonte: REBUS® (Renovation of Public Buildings and Urban Spaces;
(2) fonte: Envi-met database;
(3) possibilità di fare fughe con materiale permeabile;
(4) valore medio della resistenza a compressione dopo di gelo e disgelo, in presenza di sali disgelanti;
(5) valore corrispondente alla somma del prezzo della fornitura a piè d'opera (€98,69) e posa in opera su sottostante massetto di fondazione (€64,79) - voci B1.05.23 e B1.05.32a Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.

Scheda **C 2.2** LASTRE IN PIETRE NATURALI tipo Top Center Porfido

ML



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

[UNI EN 1341]

DESCRIZIONE

Lastre in Porfido per pavimentazioni esterne. Ignimbrite riolitica: roccia di colore rosso molto scuro, tessitura porfirica con grossi fenocristalli di grana media di quarzo e di plagioclasio in una pasta di fondo vetrosa. Tessitura massiccia con fiamme violacee e livelli di ossidazione che attraversano la matrice di fondo, inclusi femici e riolitici.

Larghezza [cm] 10 - 15 - 20 - 25 - 30 - 35 - 40

Lunghezza [cm] a correre

Spessore [cm] 1 ÷ 3

Finitura Piano naturale – Bocciardato – Filosega – a Puntillo – Fiammato

Densità [kg/m³] 2597

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo ⁽¹⁾ 0,15

Indice di riflettanza solare (SRI) 12,6

Emissanza (ε) ⁽²⁾ 0,90

Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%] 0,2

Permeabilità [%] ⁽³⁾

DATI TECNICI

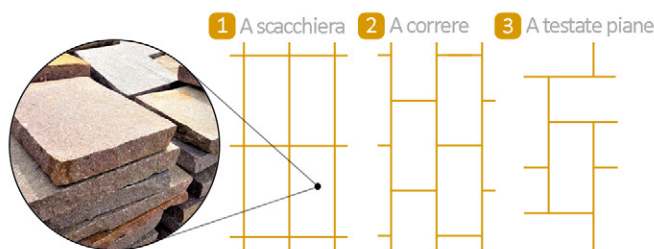
Resistenza a compressione [MPa] non richiesto

Resistenza a flessione [MPa] 24,3

Resistenza allo scivolamento n.d.

Resistenza al gelo/disgelo [MPa] ⁽⁴⁾ 18,6

DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale) [€/m²] 15,00Prezzo al m² (posa in opera) [€/m²] 15,00Prezzo al m² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m²] ⁽⁵⁾ 64,79

Top Center Porfido | Pavimentazioni in lastre in porfido.
[https://www.topcenterporfido.it/]



Rifacimento Piazza Cappelletti a Brescia.
[https://www.topcenterporfido.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%] no

Riciclabile [%] sì

Marcatura CE sì

Crediti LEED no

Crediti ITACA no

Certificazione CAM no

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

La pavimentazione sarà posata su letto di sabbia, utilizzata per elementi di notevole spessore e con superficie di qualsiasi misura. Questo tipo di messa in opera, di facile realizzazione, permette una rimozione e un ripristino veloci degli elementi qualora si rendessero necessari interventi nel sottosuolo o in caso di rottura. Il tipo di posa va comunque scelto tenendo conto, oltre che dell'aspetto funzionale ed estetico, anche delle sollecitazioni da sostenere.

MANUTENZIONE

I problemi che affliggono maggiormente le pavimentazioni in porfido sono le macchie di olio. Per questo tipo di macchie bisogna intervenire tempestivamente versando sulla macchia un materiale polveroso assorbente. Per manutenzione generiche si userà una idropulitrice.

⁽¹⁾ fonte: REBUS® (Renovation of Public Buildings and Urban Spaces);

⁽²⁾ fonte: Envi-met database;

⁽³⁾ possibilità di fare fughe con materiale permeabile;

⁽⁴⁾ valore medio della resistenza a compressione dopo cicli di gelo e disgelo, in presenza di sali disgelanti;

⁽⁵⁾ voce B1.05.35 Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.

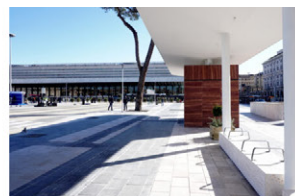
TRAVERTINO



Auditorium Parco della Musica
Roma, 2002



Chiesa Dives in Misericordia
Roma, 2003



Piazza dei Cinquecento
Roma, 2025

Il travertino è una pietra calcarea sedimentaria composta principalmente da minerali di carbonato di calcio (95%) e caratterizzata da colori che variano dal beige al nocciola.

Campi di applicazione



Potenziale di mitigazione



Riduzione del surriscaldamento



Comfort termoigrometrico



Costo messa in opera



Costo di manutenzione



Durabilità



EFFETTO DIURNO

Le tonalità chiare del travertino con valori di SRI simili ai *cool materials* bloccano durante il giorno molta della radiazione diretta incidente impedendo l'assorbimento di essa e il surriscaldamento del suolo, evitando in questo modo che la radiazione emessa in forma di energia termica rilasci calore all'ambiente.

EFFETTO NOTTURNO

Durante le ore notturne il travertino rilascia lentamente il calore accumulato, contribuendo a mantenere una temperatura confortevole. Tuttavia, grazie alla sua porosità e capacità di trattenere meno calore rispetto ad altri materiali più densi, si raffredda più rapidamente, evitando eccessivo accumulo di calore notturno.

OSSERVAZIONI SINTETICHE

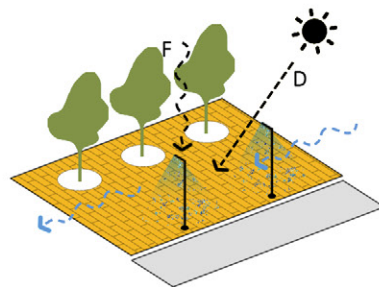
Le pavimentazioni in travertino richiedono cure adeguate per preservarne l'integrità e l'aspetto nel tempo. La pianificazione di interventi di pulizia e riparazione deve essere parte integrante della strategia di utilizzo del travertino, per garantire che i benefici estetici e ambientali siano mantenuti.

SOLUZIONI E COMBINAZIONI

Soluzioni. Le pavimentazioni esterne in travertino possono essere realizzate in lastre o a giunti aperti per favorire il drenaggio dell'acqua e possono assumere diverse configurazioni.

Schede di riferimento: C.3_{ML}.

Combinazioni. La resistenza del travertino lo rende adatto a spazi urbani carrabili. È un materiale che contribuisce a contrastare l'isola di calore urbana ma l'alto valore di SRI può creare effetti di discomfort esterno. Combinazioni interessanti sono travertino - alberature e travertino - nebulizzazione per aumentare il comfort attraverso la evapotraspirazione.



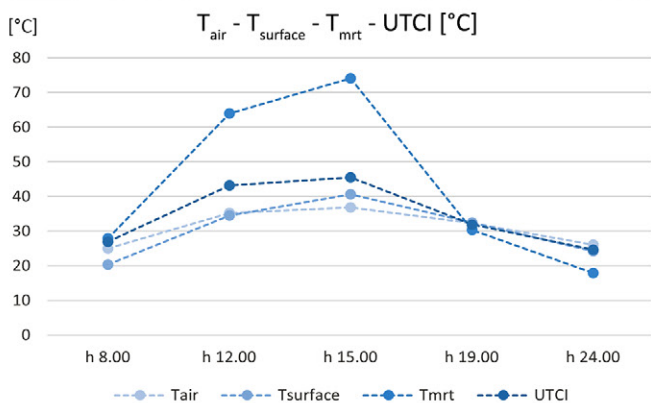
D - Radiazione solare diretta; F - Radiazione solare diffusa

COMPARAZIONE DATI*

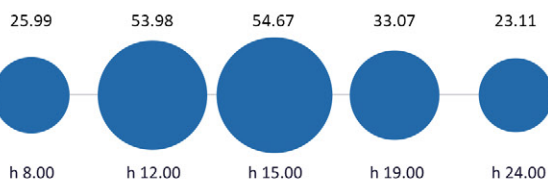


Pavimentazione
in travertino

Scheda di riferimento: C.3_{ML}



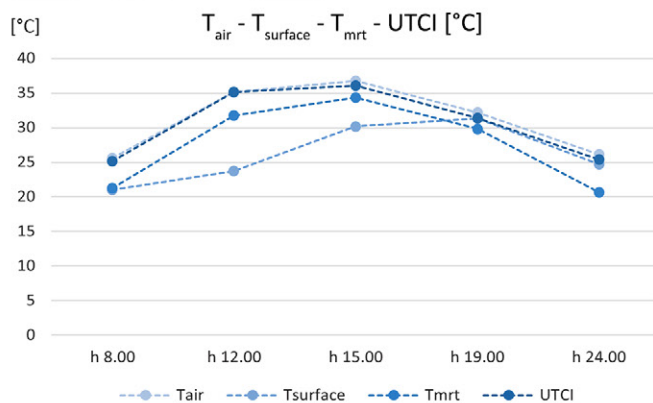
PET [°C]



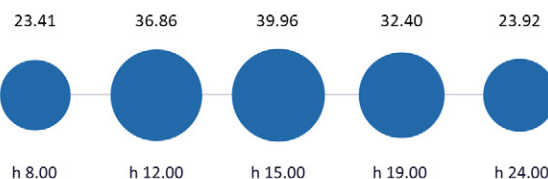
Pavimentazione +
in travertino



Alberature



PET [°C]



— OSSERVAZIONI —

Effetto diurno. La pavimentazione in travertino, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} minore di -0.2°C e una T_{surface} minore di -10.8°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a -32.2°C e -17.1°C, rispetto alla soluzione non combinata.

Effetto notturno. La pavimentazione in travertino, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} maggiore di +0.1°C e una T_{surface} maggiore di +0.4°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a +2.8°C e +0.8°C, rispetto alla soluzione non combinata.

*Simulazioni ENVI-met. File climatico: Roma, 23 agosto 2023



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

[UNI EN 1341]

DESCRIZIONE

Il travertino è una pietra sedimentaria di origine chimica a stratificazione più o meno evidente, concrezionata, strutturalmente microcristallina, la quale si forma quando acque ricche in bicarbonati cedono anidride carbonica all'atmosfera e agli organismi vegetali fotosintetici. Il marmo Travertino Romano Classico è un calcare costituito da roccia sedimentaria a grana fine di colore d'insieme beige-nocciola con venature biancastre.

Dimensioni [cm] 20x20; 30x30; 40x40; 60x40

Spessore [cm] 2 ÷ 3

Finitura taglio falda; taglio controfalda; spazzolato; levigato

Finitura tonalità color paglierino, nocciola o bianco, con venature di colore più scuro

Densità [kg/m³] 2727

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo ⁽¹⁾ 0,50 ÷ 0,60Indice di riflettanza solare (SRI) ⁽¹⁾ 58 ÷ 72Emissanza (ε) ⁽²⁾ 0,90

Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%] 2,3

Permeabilità [%] ⁽³⁾

DATI TECNICI

Resistenza a compressione [MPa] 93,85

Resistenza a flessione [MPa] 12,45

Resistenza al gelo/disgelo [MPa] ⁽⁴⁾ 86,3

DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale) [€/m²] 20,00 ÷ 60,00

Prezzo al m² (posa in opera) [€/m²] n.d.

Prezzo al m² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m²] ⁽⁵⁾ 126,13

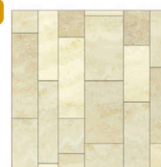
Poggi Travertino Romano | Pavimentazioni in lastre in travertino.
[https://www.topcenterporfido.it/]

1



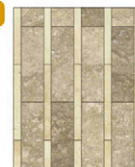
in "opus quadratum",
ad elementi modulari
o variati

2



in lastre rettangolari
posate "a correre"

3



in listelli di varie
pezzature

Esempi di tipologia di posa in opera di **pavimentazioni in lastre in travertino** [https://www.architetturadi pietra.it/].

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%] no

Riciclabile [%] sì

Marcatura CE n.d.

Crediti LEED no

Crediti ITACA no

Certificazione CAM no

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

Posa in opera, di tipo manuale-meccanica, su letto compatto secondo la norma di riferimento: UNI 11714-1.

⁽¹⁾ valore corrispondente ad una tonalità chiara e con variazioni dovute alla natura non omogenea del materiale;

⁽²⁾ fonte: ASTM-E1980 11;

⁽³⁾ possibilità di realizzare le fughe con materiale permeabile;

⁽⁴⁾ valore medio della resistenza a compressione dopo 56 cicli di gelo e disgelo, in presenza di sali disgelanti;

⁽⁵⁾ valore corrispondente a lastre di sp.2cm poste in opera su letto di malta bastarda - voce A14.01.12 Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.

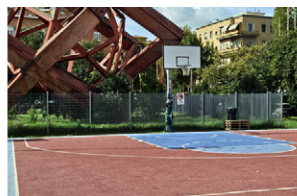
SCHEDA
TECNICHE

Gomma

GOMMA ANTITRAUMA



Giardino Angelo Galafati
Roma, 2024



Parco Primo Sport 0246
Roma, 2022



Parco Tevere Marconi
Roma, 2023

Superficie elastica e ammortizzante, permeabile e drenante, realizzata con materiali riciclati come granuli di gomma e progettata per attutire gli impatti e prevenire infortuni.

Campi di applicazione



Potenziale di mitigazione



Riduzione del surriscaldamento



Comfort termoigrometrico



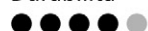
Costo messa in opera



Costo di manutenzione



Durabilità



EFFETTO DIURNO

L'uso di pavimentazioni in gomma antitrauma ha effetti significativi nella mitigazione del calore durante le ore diurne. Questo effetto è dovuto alla bassa conducibilità termica della gomma, alla sua capacità di trattenere meno calore e alla minore trasmissione di calore verso l'ambiente circostante.

EFFETTO NOTTURNO

La bassa capacità di assorbimento del calore della gomma antitrauma durante il giorno si traduce in una superficie che rilascia meno calore residuo durante la notte rispetto ai materiali tradizionali. Ciò aiuta a mantenere la $T_{surfaces}$ più bassa e stabile, riducendo il riscaldamento dell'aria circostante nelle ore notturne.

OSSERVAZIONI SINTETICHE

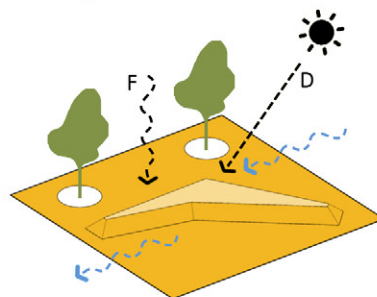
La pavimentazione in gomma antitrauma rappresenta una soluzione versatile per realizzare spazi pubblici e ricreativi sicuri, resistenti agli agenti atmosferici e confortevoli per gli utenti, in particolare bambini, sia in termini di temperatura percepita che di ridotta sensazione di calore eccessivo.

SOLUZIONI E COMBINAZIONI

Soluzioni. La gomma colata permette di creare pavimentazioni prive di giunzioni e modellate in forme diverse per stimolare l'attività fisica e il gioco nei bambini.

Schede di riferimento: D.1_{ML}; D.1-2_{MA}.

Combinazioni. Combinare la pavimentazione in gomma antitrauma con altre soluzioni passive, come tetti verdi, pareti verdi, superfici permeabili, pergolati o sistemi di ombreggiatura naturale, permette di creare spazi esteticamente gradevoli e funzionali, e migliorare significativamente il comfort termico e visivo degli utenti.



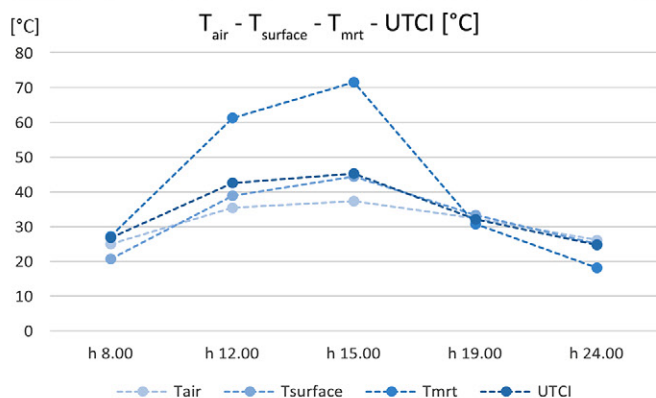
D - Radiazione solare diretta; F - Radiazione solare diffusa

COMPARAZIONE DATI*

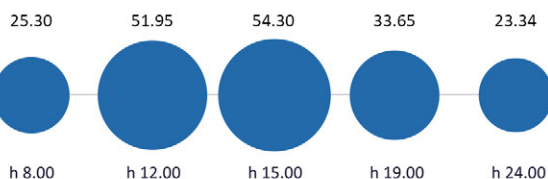


Pavimentazione
in gomma antitrauma

Scheda di riferimento: D.2_{MA}



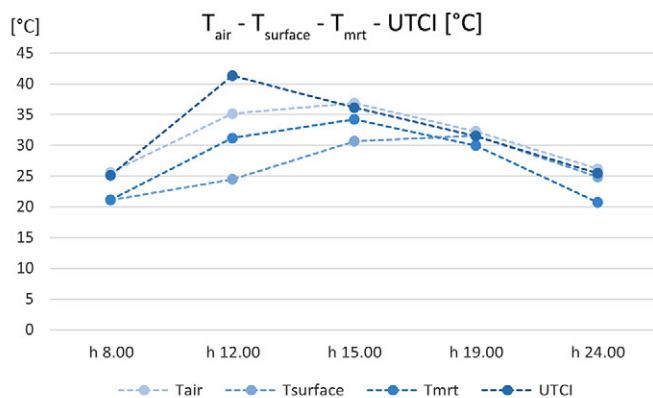
PET [°C]



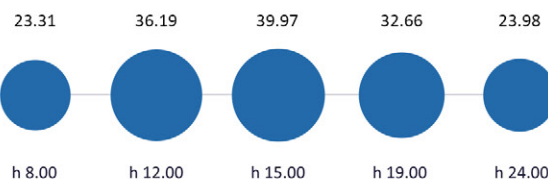
Pavimentazione
in gomma antitrauma



+ Alberature



PET [°C]



— OSSERVAZIONI —

Effetto diurno. La pavimentazione in gomma antitrauma, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} minore di -0.4°C e una $T_{surfaces}$ minore di -16.6°C . La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a -26.1°C e -15.8°C , rispetto alla soluzione non combinata.

Effetto notturno. La pavimentazione in gomma antitrauma, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} maggiore di $+0.1^{\circ}\text{C}$ e una $T_{surfaces}$ minore di -0.8°C . La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a $+2.3^{\circ}\text{C}$ e $+0.6^{\circ}\text{C}$, rispetto alla soluzione non combinata.

*Simulazioni ENVI-met. File climatico: Roma, 23 agosto 2023



Scheda **D 1** **MATTONELLE ANTITRAUMA** tipo ECO-SOFT, BEN Progetti

CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Pavimentazione antitrauma realizzata in gomma riciclata e nata per garantire la massima sicurezza e divertimento dei bambini. È ideale per essere utilizzata per la pavimentazione di parchi gioco ed aree ludiche e per tutte le situazioni in cui è necessario che la pavimentazione assorba l'impatto dovuto a una caduta da un'altezza specifica.

COMPOSIZIONE

Granulo di gomma riciclata SBR derivante da pneumatici fuori uso (PFU), granulometria selezionata tra i 2 e i 4 mm, agglomerata con resine poliuretaniche e con l'aggiunta di pigmenti per la colorazione in amalgama.

Spessore [mm]	⁽¹⁾ 30 ÷ 100
Strato di usura [mm]	n.d.
Densità [kg/m ³]	n.d.

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

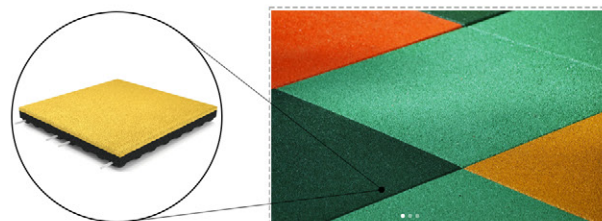
Albedo	n.d.
Indice di riflettanza solare (SRI)	⁽³⁾ > 29
Emittanza (ε)	n.d.
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	n.d.
Permeabilità [l/m ² sec]	2,7
Capacità drenante [%]	sì

DATI TECNICI [UNI-EN 1177]

Resistenza a compressione [N/cm ²]	⁽³⁾ 6,7; 200
Resistenza a trazione [N/cm ²]	147
Resistenza allo scivolamento [USRV]	antiscivolo

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	⁽⁴⁾ 83,38
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	n.d.
Prezzo al m ² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m ²]	⁽⁵⁾ 100,70



Eco-soft, BEN Progetti | Pavimentazioni in mattonelle antitrauma. [https://www.benprogetti.it/]



Esempi di applicazione di pavimentazione in mattonelle antitrauma. [https://www.benprogetti.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	10
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
 - 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
- 2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
 - 2.5.10** Pavimenti
 - 2.5.10.2** Pavimenti resilienti

INFORMAZIONI OPERATIVE

MANUTENZIONE

Per mantenere pulita ed efficiente la pavimentazione eco-soft, è consigliabile rimuovere la polvere con un panno. Per rimuovere lo sporco più ostinato, si consiglia l'uso di un panno umido ben strizzato. Al fine di ridurre al massimo il deterioramento della pavimentazione, e prolungare il periodo di duratura, si consiglia di evitare l'appoggio o il transito di oggetti potenzialmente taglienti. L'esposizione ai raggi solari può determinare, nel tempo, una variazione di colore del prodotto. Lo stoccaggio è preferibile in zona coperta, ventilata ed a temperatura ambiente.

⁽¹⁾ in funzione dell'altezza di caduta (H.I.C);

⁽²⁾ nel caso di colori chiari;

⁽³⁾ deformazione al 10% spessore = 6,7 N/cm²; deformazione al 50% spessore = 200 N/cm²

⁽⁴⁾ prezzo soggetto alle specifiche di progetto;

⁽⁵⁾ valore corrispondente a gomma sintetica non rigenerata al 100% posta in opera con concollante poliuretanico su pavimento esistente - voce B1.05.39 Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.


Scheda D 1 GOMMA ANTITRAUMA tipo Vitriturf® Playground System (VPS)
CAMPI DI APPLICAZIONE

DATI GENERALI
DESCRIZIONE

Il sistema VPS è la soluzione ideale per le aree gioco installate su sottofondi rigidi e compatti (massetto in calcestruzzo, asfalto regolare, piastrelle, guaina bituminosa) avente caratteristiche antitrauma ed antiscivolo, e di durata nel tempo.

COMPOSIZIONE

Tappeto di base: Primer, resina poliuretanicica aromatica monocomponente; **Tappeto di base,** impasto costituito da granuli di gomma riciclata SBR e legante (resina monocomponente).

Manto di usura: composto da un impasto di resina poliuretanicica aromatica monocomponente e granuli di gomma sintetica granulare EPDM (etilene propilene diene) colorati all'origine.

Spessore [mm]	(1) 30 ÷ 110
Strato di usura [mm]	10
Densità [kg/m³]	(2) 870 ÷ 1150

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

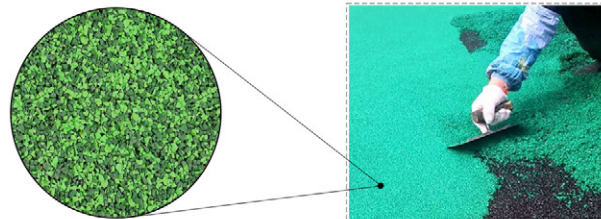
Albedo	n.d.
Indice di riflettanza solare (SRI)	(3) > 29
Emissanza (ε)	n.d.
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	n.d.
Permeabilità [l/m² sec]	5,6
Capacità drenante [%]	sì

DATI TECNICI
[UNI-EN 1177]

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza allo scivolamento [USRV]	antiscivolo

DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale + posa in opera) [€/m²] (4) 95 ÷ 105



Vitriturf®, Playground System (VPS) | Pavimentazioni in gomma anti-trauma. [https://www.vitriturf.com/]



Esempi di applicazione di pavimentazione in gomma antitrauma. [https://www.vitriturf.com/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	10
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	sì
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
 - 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
- 2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
 - 2.5.10** Pavimenti
 - 2.5.10.2** Pavimenti resilienti

INFORMAZIONI OPERATIVE
REQUISITI PER LA POSA IN OPERA
1. Tappeto di base:

Applicazione sul sottofondo di primer costituito da resina poliuretanicica aromatica monocomponente. Posa in opera del tappeto di base di spessore variabile in base all'altezza di caduta tramite stesura a freddo di impasto costituito da granuli di gomma riciclata SBR e legante (resina monocomponente). Applicazione sul tappeto di base di primer costituito da resina poliuretanicica aromatica monocomponente.

2. Manto di usura:

Posa del manto di usura di spessore 10 mm, mediante applicazione e rasatura manuale, composto da un impasto di resina poliuretanicica aromatica monocomponente e granuli di gomma sintetica granulare EPDM (etilene propilene diene) colorati all'origine.

MANUTENZIONE

In caso di lacune è possibile intervenire sostituendo le parti lacerate per colata o sostituendo le mattonelle usurate.

(1) in funzione dell'altezza di caduta (H.I.C);
 (2) in funzione dello spessore e della miscela;
 (3) nel caso di colori chiari;
 (4) prezzo soggetto alle specifiche di progetto.

Scheda **D 2** CONGLOMERATO IN GOMMA tipo Playbike® Demetra

MA



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Pavimentazione semielastica ad elevata resistenza monostrato, per piste ciclabili, percorsi didattici outdoor e indoor. Può essere applicato su asfalto o calcestruzzo o su pavimentazioni già resinate.

COMPOSIZIONE

Conglomerato in granuli di gomma nera proveniente da riciclo (SBR), miscelata con granulo di EPDM tecnico, sabbia di quarzo e pre-polimero monocomponente come legante. Opzionale: miscela di pietre luminescenti che si illuminano di notte dopo aver accumulato energia solare di giorno.

COLORAZIONE

La colorazione standard è quella del tappetino asfaltoidale stradale. A richiesta, si può realizzare in diverse gradazioni.

Spessore [mm]	15
Densità [kg/m³]	n.d.

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	⁽¹⁾ 0,12 ÷ 0,20
Indice di riflettanza solare (SRI)	⁽²⁾ > 29
Emissanza (ε)	⁽³⁾ 0,90
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	n.d.
Permeabilità [l/m² sec]	n.d.
Capacità drenante [%]	n.d.

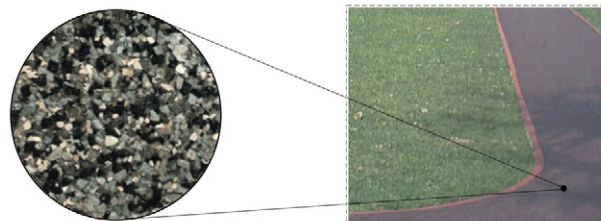
DATI TECNICI

[UNI-EN 1177]

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza allo scivolamento [USRV]	antiscivolo

DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale) [€/m²]	n.d.
Prezzo al m² (posa in opera) [€/m²]	n.d.



Playbike®, Demetra | Pavimentazioni in conglomerato in gomma.
[https://www.playsport.biz/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	⁽⁴⁾
Riciclabile [%]	n.d.
Marcatura CE	n.d.
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
 - 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico
- 2.5** Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione
 - 2.5.10** Pavimenti
 - 2.5.10.2 Pavimenti resilienti

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

Il sistema è gettato in opera, non prefabbricato, senza giunti. Mescolato a freddo in appositi mescolatori e applicato con dime di piano, regoli e fratazzatori elettromeccanici opportunamente studiati allo scopo.

1 Applicazione di promotore di adesione (da scegliere in funzione del supporto da rivestire), steso uniformemente su TUTTA la superficie e sul cassero perimetrale;

2. Stesura di conglomerato in granuli di gomma nera proveniente da riciclo (SBR), miscelata con granulo di EPDM tecnico, sabbia di quarzo e pre polimero monocomponente come legante.

⁽¹⁾ valori corrispondenti a una finitura con aspetto simil asfalto-strada;

⁽²⁾ soltanto su richiesta per finiture in cui il % di gomma da riciclo diminuisce in funzione alla quantità di caucciù naturale con pigmenti;

⁽³⁾ valore per difetto secondo calcolo ASTM E1980-11;

⁽⁴⁾ la % di granuli di gomma riciclata possono essere in maggior o minor proporzione; il risultato di un % più elevato di granuli risulta in una pavimentazione con colori simili all'asfalto.

SCHEDA
TECNICA **Gres**

GRES PORCELLANATO



Via Val d'Ossola
Roma, 2023



Piazzale D'Annunzio
Pesaro, 2023



Progetto "Life Cersuds"
Benicassim (Spagna), 2019

Le pavimentazioni in gres porcellanato ad alto spessore sono fabbricate a partire da un impasto di argilla magra, che cotta al forno tra i 1200-1400°C si trasforma in una ceramica a pasta dura.

Campi di applicazione



Potenziale di mitigazione



Riduzione del surriscaldamento



Comfort termoigrometrico



Costo messa in opera



Costo di manutenzione



Durabilità



EFFETTO DIURNO

Le pavimentazioni in gres porcellanato, se trattate con finiture chiare e riflettenti, hanno un basso indice di assorbimento del calore rispetto ad altre pavimentazioni esterne, come l'asfalto o le pietre tradizionali scure. Durante il giorno, il gres porcellanato assorbe meno calore dalla radiazione solare, riducendo il surriscaldamento della superficie.

EFFETTO NOTTURNO

Il gres porcellanato ha una buona conducibilità termica e quindi disperde rapidamente il calore assorbito durante il giorno rispetto a materiali con maggiore inerzia termica, come il calcestruzzo. Questo permette alle superfici di raffreddarsi velocemente, migliorando il comfort termico nelle ore serali, soprattutto in climi caldi e aree poco ventose.

OSSERVAZIONI SINTETICHE

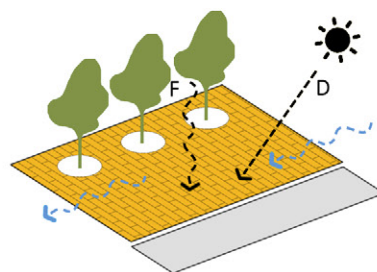
Le pavimentazioni in gres porcellanato ad alto spessore, grazie alle diverse possibilità per i sistemi di posa in opera e per le finiture superficiali, se adeguatamente configurate, presentano un notevole potenziale di mitigazione delle temperature e una gestione sostenibile delle acque in ambito urbano.

SOLUZIONI E COMBINAZIONI

Soluzioni. Le pavimentazioni esterne in gres porcellanato possono essere realizzate in cubetti o lastre e possono assumere diverse configurazioni.

Schede di riferimento: E.1.1-2_{MA}

Combinazioni. Oltre all'applicazione su pavimentazioni carrabili, un'altra performante combinazione è rappresentata dall'uso di pavimentazioni in gres porcellanato insieme a *nature-based solutions* e sistemi urbani di drenaggio sostenibili per configurare spazi urbani interconnessi che mitigano l'impatto dei rischi ambientali.



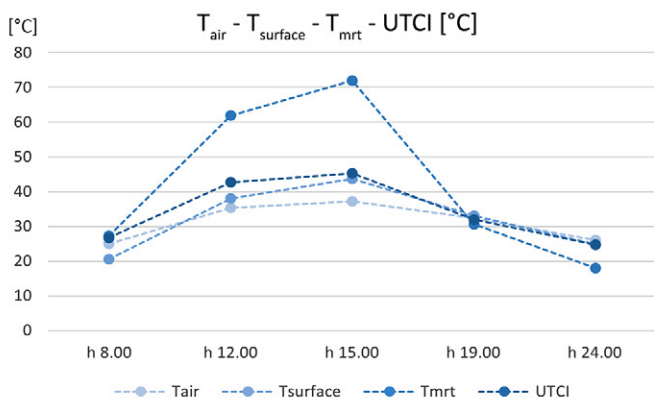
D - Radiazione solare diretta; F - Radiazione solare diffusa

COMPARAZIONE DATI*

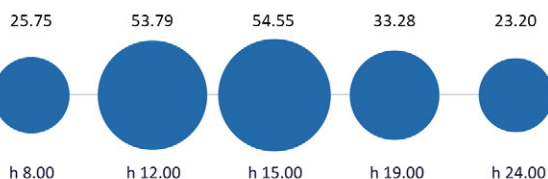


Pavimentazione
in lastre di gres porcellanato

Scheda di riferimento: E.1.2_{MA}



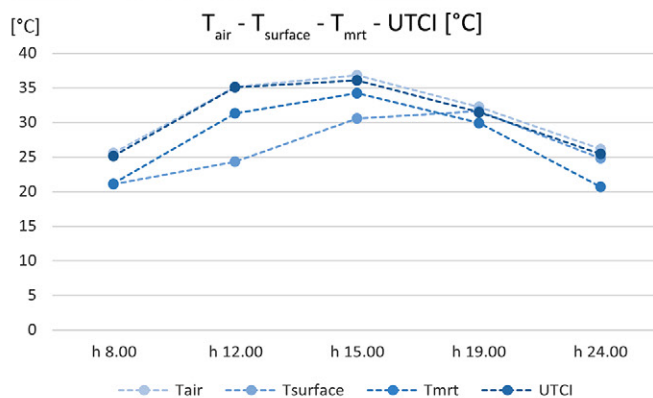
PET [°C]



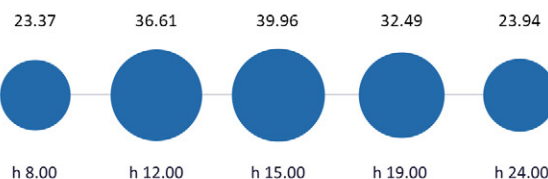
Pavimentazione
in lastre di gres porcellanato



Alberature



PET [°C]



—OSSERVAZIONI

Effetto diurno. La pavimentazione in lastre di gres porcellanato, combinata con alberature, registra una T_{air} minore di -0.2°C e una T_{surface} minore di -13.8°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a -30.6°C e -17.2°C, rispetto alla soluzione non combinata.

Effetto notturno. La pavimentazione in lastre di gres porcellanato, combinata con alberature, registra una T_{air} maggiore di +0.1°C e una T_{surface} minore di -0.1°C. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a +2.6°C e +0.7°C, rispetto alla soluzione non combinata.

Scheda **E 1.1** CUBETTI AUTOBLOCCANTI IN GRES PORCELLANATO tipo LAPIS Grestone® MA



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Cubetti autobloccanti in gres porcellanato ad alto spessore tipo selce. Composizione caratterizzata da un impasto di argilla magra che, cotta al forno tra i 1200-1400 C°, si "trasforma" in una ceramica a pasta dura.

Dimensioni [cm]	10 x 10; 10 x 20; 20 x 20;
Spessore [cm]	6,5
Peso [kg/m ²]	n.d.
Densità [kg/m ³]	(1) 1670
Finitura	Cementizia colorata

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(2) 0,33 - 0,42
Indice di riflettanza solare (SRI)	(3) 36 - 47
Emittanza (ε)	0,90
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 0,5
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.
Capacità drenante [%]	(4)

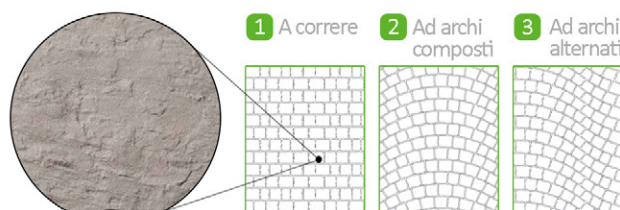
DATI TECNICI

[UNI-EN ISO 10545]

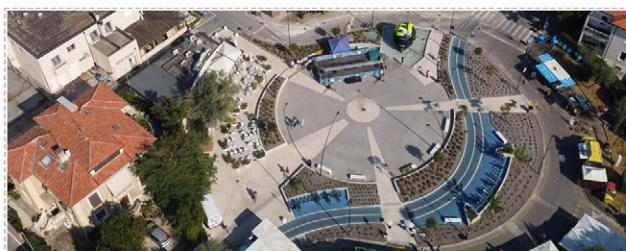
Resistenza a compressione [MPa]	150
Resistenza a trazione [MPa]	n.d.
Carico di rottura [kN]	100
Resistenza allo scivolamento	≥ 11
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	ingelivo

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	135,00
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	n.d.
Prezzo al m ² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m ²] (5)	114,87



LAPIS, Grestone® Urban Pavings | Pavimentazioni in cubetti autobloccanti in gres porcellanato.
[https://www.grestone.it/]



Riqualificazione Piazzale D'Annunzio a Pesaro (Marche).
[https://www.grestone.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	15,5
Riciclabile	sì
Marcatura CE	n.d.
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Crediti ECOLABEL	sì
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

La pavimentazione sarà posata a secco, usando materiale drenante per le fughe, o con posa tradizionale a colla. Progettato per ridurre i tempi di posa in ampi contesti urbani, "Smart Spacer System" include nel corpo della mattonella distanziali che determinano la fuga minima da adottare. Basta quindi il semplice accostamento tra i pezzi per ottenere fughe a regola d'arte. Saranno necessari "distanziatori a croce" solo se si desiderano fughe con maggiore larghezza.

MANUTENZIONE

Lavabile all'acqua senza necessità di altri trattamenti speciali.

(1) fonte: REBUS® (Renovation of Public Buildings and Urban Spaces;

(2) il valore varia in funzione della finitura, in particolare: lapis nero 0,33; lapis Lux 0,42;

(3) lapis nero 36; lapis Lux 47;

(4) la capacità drenante dipende dal materiale impiegato per le fughe;

(5) valore corrispondente a fornitura a piè d'opera (il prezzo varia a seconda della dimensione) - voce B1.05.22.1 Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.

Scheda **E 1.2** LASTRE AUTOBLOCCANTI IN GRES PORCELLANATO tipo Eco-pietre Grestone® MA



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Lastre autobloccanti in gres porcellanato con finiture in pietra naturale. Composizione caratterizzata da un impasto di argilla magra che, cotta al forno tra i 1200-1400 C°, si "trasforma" in una ceramica a pasta dura.

Dimensioni [cm]	60 x 60; 40 x 60; 20 x 40; 20 x 20; 10 x 20; 10 x 10;
Spessore [cm]	3 - 5
Peso [kg/m²]	n.d.
Densità [kg/m³]	(1) 1670
Finitura	Pietra naturale

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

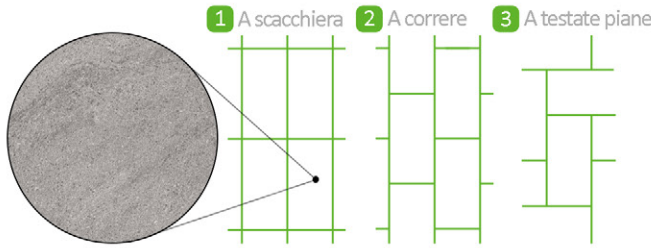
Albedo	(2) 0,33 - 0,42 - 0,43
Indice di riflettanza solare (SRI)	(3) 36 - 47 - 49
Emittanza (ε)	0,90
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 0,5
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.

DATI TECNICI [UNI-EN ISO 10545]

Resistenza a compressione [MPa]	150
Resistenza a trazione [MPa]	n.d.
Carico di rottura [N/mm²]	40
Resistenza allo scivolamento	≥ 11
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	ingelivo

DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale) [€/m²]	(4) 132,44
Prezzo al m² (posa in opera) [€/m²]	n.d.
Prezzo al m² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m²] (5)	115,46



Eco-pietre, Grestone® Urban Pavings | Pavimentazioni in lastre autobloccanti in gres porcellanato.
[https://www.grestone.it/]



Rifacimento di camminamenti pedonali, Viale America a Roma.
[https://www.grestone.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	15,5
Riciclabile	sì
Marcatura CE	n.d.
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3	Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
2.3.2	Permeabilità della superficie territoriale
2.3.3	Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

La pavimentazione sarà posata a secco o con posa tradizionale a colla. Progettato per ridurre i tempi di posa in ampi contesti urbani, "Smart Spacer System" include nel corpo della mattonella distanziali che determinano la fuga minima da adottare. Basta quindi il semplice accostamento tra i pezzi per ottenere fughe a regola d'arte. Saranno necessari "distanziatori a croce" solo se si desiderano fughe con maggiore larghezza.

MANUTENZIONE

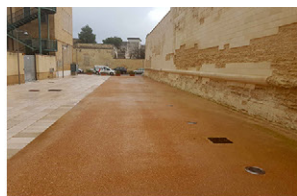
Lavabile all'acqua senza necessità di altri trattamenti speciali.

(1) fonte: REBUS® (Renovation of Public Buildings and Urban Spaces;
(2) il valore varia in funzione della finitura, in particolare: basalto naturale 0,33; pietra lavica grey 0,42; pietra lavica sand 0,43;
(3) basalto naturale 36; pietra lavica grey 47; pietra lavica sand 49;
(4) prezzo corrispondente a tutti i formati con spessore 5 cm. Formato 90x90x3cm = 93,00 €/m²; Formato 50x30x3cm = 88,00 €/m²;
(5) formato 60x60x3cm = 85,00 €/m²;
valore corrispondente a fornitura a piè d'opera (il prezzo varia a seconda della dimensione) - voce B1.05.22.1d Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.

SCHEDA
TECNICHE

Terra stabilizzata

TERRA STABILIZZATA



Mura Urbiche
Lecce, 2016



Fori Imperiali - Palatino
Roma, 2016



Giardini di Piazza Vittorio
Roma, 2020

Pavimentazione realizzata mescolando terreno naturale con leganti tradizionali o eco-compatibili, garantendo buona permeabilità e ottima resistenza a tutte le condizioni climatiche.

Campi di applicazione



Potenziale di mitigazione



Riduzione del surriscaldamento



Comfort termoigrometrico



Costo messa in opera



Costo di manutenzione



Durabilità



EFFETTO DIURNO

L'uso di pavimentazioni in terra stabilizzata, rispetto a materiali tradizionali come asfalto e calcestruzzo, contribuisce ad una riduzione della $T_{surface}$ durante le ore diurne. Grazie alla capacità di assorbire l'umidità e di regolarne il rilascio, queste pavimentazioni possono aumentare la percentuale di umidità relativa, migliorando il comfort percepito.

EFFETTO NOTTURNO

La terra stabilizzata, essendo un materiale naturale, possiede una conduttività termica più bassa rispetto a pavimentazioni dure come asfalto e calcestruzzo, consentendo una maggiore dispersione del calore durante le ore notturne. Questa tipologia di pavimentazione rilascia gradualmente l'umidità atmosferica assorbita durante il giorno.

OSSERVAZIONI SINTETICHE

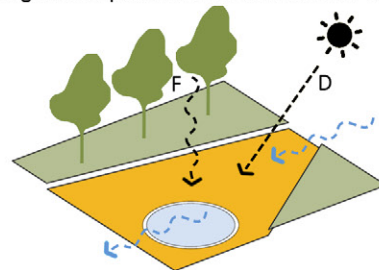
La pavimentazione in terra stabilizzata è composta principalmente da materiali naturali, riducendo l'impatto ambientale, e può essere prodotta localmente, diminuendo l'impatto dei trasporti e favorendo l'economia locale. La colorazione della pavimentazione può essere trattata per aumentare il valore di riflettanza.

SOLUZIONI E COMBINAZIONI

Soluzioni. Le pavimentazioni possono essere realizzate con materiali come cemento, inerte terroso o misto granulare di cava e additivi per migliorare la stabilità e la durabilità, risultando in superfici attraenti e funzionali.

Schede di riferimento: $F.1_{ML}$; $F.1-2_{MA}$

Combinazioni. Le pavimentazioni in terra stabilizzata, combinate con sistemi evaporativi, come fontane e bacini d'acqua, sistemi di nebulizzazione, alberature e soluzioni tipo *nature-based*, creano ambienti urbani sostenibili migliorando il microclima locale, potenziando la resilienza climatica e favorendo una gestione più efficiente delle risorse naturali.



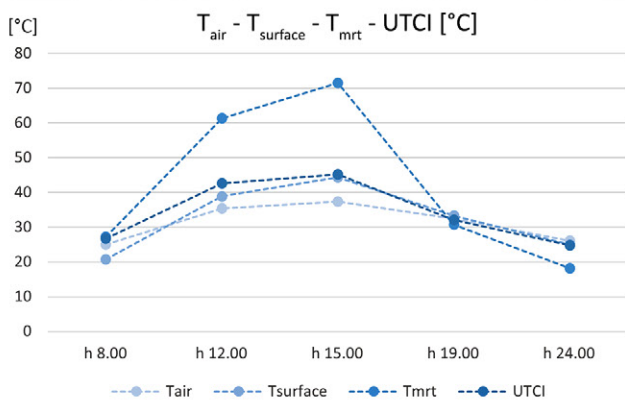
D - Radiazione solare diretta; F - Radiazione solare diffusa

COMPARAZIONE DATI*

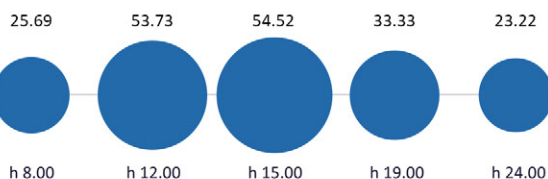


Pavimentazione
in terra stabilizzata

Scheda di riferimento: $F.1_{ML}$



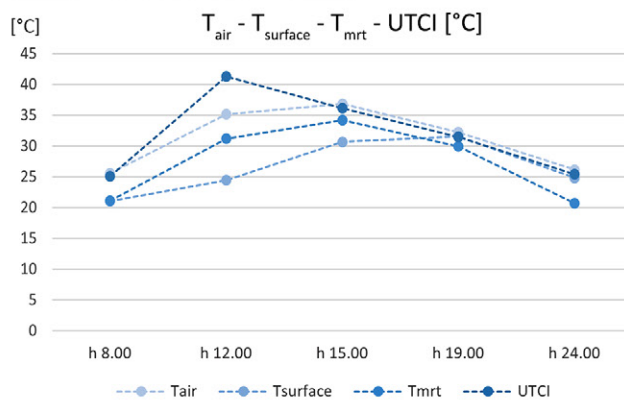
PET [°C]



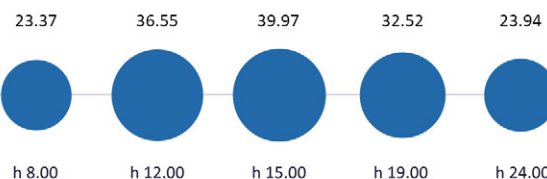
Pavimentazione
in terra stabilizzata



Alberature



PET [°C]

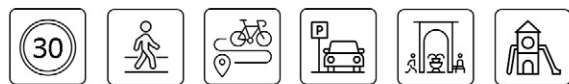


— OSSERVAZIONI —

Effetto diurno. La pavimentazione in terra stabilizzata, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} minore di -0.2°C e una $T_{surface}$ minore di -14.5°C . La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a -30.1°C e -17.2°C , rispetto alla soluzione non combinata.

Effetto notturno. La pavimentazione in terra stabilizzata, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} maggiore di $+0.1^{\circ}\text{C}$ e una $T_{surface}$ minore di -0.2°C . La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a $+2.5^{\circ}\text{C}$ e $+0.7^{\circ}\text{C}$, rispetto alla soluzione non combinata.

*Simulazioni ENVI-met. File climatico: Roma, 23 agosto 2023

Scheda **F 1** **TERRA STABILIZZATA** tipo Glorit/A Studio Muscatelli S.r.l.**CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

Terre stabilizzate tradizionali.

Composizione

Terra in ragione del 30 - 40%
Cemento tipo Portland 325/425
Catalizzatore Glorit/A

Spessore [cm] 10

Dosaggio [1 m³ impasto] 130/150 kg cemento
 1 kg catalizzatore Glorit/A
 80/100 lt. acqua per terreni asciutti
 20/40 lt. acqua per terreni umidi

Finitura n.d.

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHEAlbedo ⁽¹⁾ 0,4 - 0,6Indice di riflettanza solare (SRI) ⁽²⁾ n.d.

Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%] n.d.

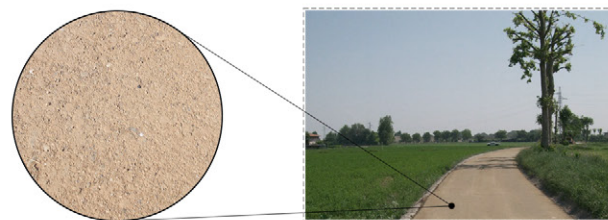
Permeabilità [l/(s·ha)] leggera

Coefficiente di deflusso [ψ] n.d.

DATI TECNICI [UNI-EN 459-1:2015]

Resistenza a compressione a 7gg [MPa] 3,00

Resistenza a trazione a 7gg [MPa] n.d.

DATI ECONOMICIPrezzo al m² (materiale + posa in opera) [€/m²] ⁽³⁾ 33,23Prezzo al m² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m²] ⁽⁴⁾ 165,36

Glorit/A, Studio Muscatelli | Pavimentazioni in terra stabilizzata.
[\[https://www.studiomuscatelli.com/\]](https://www.studiomuscatelli.com/)



Esempi di applicazione di **pavimentazione in terra stabilizzata**.
[\[https://www.studiomuscatelli.com/\]](https://www.studiomuscatelli.com/)

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate	si
Riciclabile	no
Marcatura CE	no
Crediti LEED	n.d.
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	n.d.

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

- 2.3** Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico
- 2.3.2** Permeabilità della superficie territoriale
 - 2.3.3** Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

L'operazione fondamentale nell'eseguire una stabilizzazione ben fatta è la formazione della miscela costituita da terreni sabbiosi, limosi, argillosi, misti granulari a granulometria continua e discontinua che possono essere proficuamente trattati direttamente in posto oppure in centrale fissa. Il mescolamento in sito mediante macchinario frazionato è particolarmente economico e vantaggioso per stabilizzazioni di terreno naturale e prevede l'esecuzione delle seguenti operazioni: dopo aver asportato la possibile vegetazione superficiale, sul terreno livellato, in condizioni meteorologiche favorevoli, sarà steso uniformemente lo strato di cemento, corrispondente al dosaggio definito dai Tecnici mediante idonea spanditrice, oppure, per lavori di ridotte proporzioni, mediante spandimento manuale; a tempi serrati verrà operato il mescolamento del cemento steso con il terreno da trattare mediante macchine specifiche (pulvimixer, erpici a dischi o similari) sino alla profondità prefissata (usualmente cm 20). Al termine delle operazioni di miscelazione dovranno essere accertate con la massima rapidità l'umidità del terreno per consentire la corretta aggiunta d'acqua e l'aspersione della soluzione acquosa contenente GLORIT, a cui seguirà immediatamente un accurato rimescolamento dello strato per opera dei mezzi sopra citati; ultimata anche la profilatura finale mediante livellatrice o altro mezzo atto a sagomare, infine si procederà al costipamento con macchine idonee (rulli vibranti, gommati od a punte) da scegliere in relazione alla natura del terreno. Il mescolamento in centrale fissa conviene allorché tutta o la maggior parte del materiale proviene da località esterna al cantiere o per lavori di notevole rilevanza tecnica ed estetica. Le successive operazioni svolte e le macchine impiegate sono le seguenti: alimentazione della centrale di mescolamento dell'inerte esaminato e prescelto in laboratorio mediante autocarri, pala caricatrice, predosatori, nastri convogliatori; aggiunta del legante idraulico, dell'acqua e della soluzione acqua-GLORIT nelle proporzioni fissate dalla progettazione preliminare ed infine miscelazione effettuata dalla centrale; raccolta della miscela entro tramoggia di deposito; trasporto sul luogo di impiego della miscela con autocarri o autobetoniere; stesa e sagomatura del materiale stabilizzato mediante livellatrice o meglio ancora mediante vibrofinitrice ed infine costipamento con rullo vibrante.

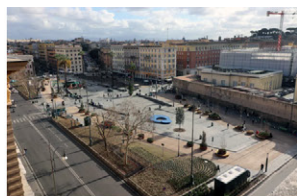
⁽¹⁾ fonte: REBUS® (Renovation of Public Buildings and Urban Spaces);

⁽²⁾ in funzione al colore naturale del terreno trattato;

⁽³⁾ tale prezzo non include eventuali costi nella preparazione del sottofondo e del piano di posa; non include le spese di trasporto franco cantiere;

⁽⁴⁾ valore corrispondente a tipo Levocell e/o Diogene con inerti naturalitipo sabbia di roccia e/o travertino impastata con legante cementizio e/o resinoso - voce C1.06.23 Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.

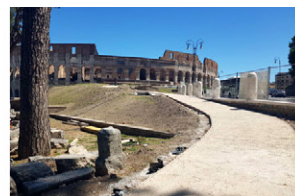
TERRA STABILIZZATA ALTERNATIVA



Piazza Risorgimento
Roma, 2025



Giardino Angelo Galafati
Roma, 2024



Belvedere del Colosseo
Roma, in corso

Pavimentazione realizzata miscelando terreno naturale con leganti eco-compatibili o tradizionali, ottimizzata attraverso l'uso di finiture chiare e materiali riflettenti.

Campi di applicazione



Potenziale di mitigazione



Riduzione del surriscaldamento



Comfort termoigrometrico



Costo messa in opera



Costo di manutenzione



Durabilità



EFFETTO DIURNO

Grazie alla maggiore riflettanza solare, la terra stabilizzata chiara assorbe una quantità significativamente inferiore di radiazione solare rispetto a quella con finiture scure. Ciò si traduce in $T_{surface}$ più basse durante le ore diurne. La naturale capacità del materiale di assorbire e rilasciare umidità contribuisce ad aumentare l'umidità relativa dell'aria.

EFFETTO NOTTURNO

La bassa conduttività termica della terra stabilizzata, unita al minore accumulo di calore diurno, consente una discreta dispersione termica notturna, evitando il rilascio eccessivo di calore tipico delle pavimentazioni compatte. L'umidità atmosferica, assorbita durante il giorno, viene rilasciata gradualmente durante la notte.

OSSERVAZIONI SINTETICHE

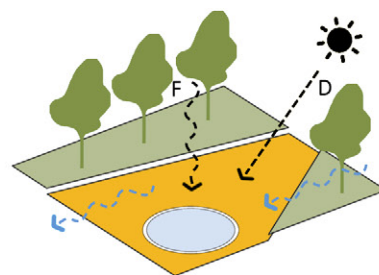
Le pavimentazioni in terra stabilizzata chiara rappresentano una soluzione a basso impatto ambientale, con ottime prestazioni microclimatiche e un'estetica naturale adattabile a contesti urbani, paesaggistici e storici.

SOLUZIONI E COMBINAZIONI

Soluzioni. Le superfici possono essere realizzate con miscele stabilizzate di terre locali, inerti chiari, leganti naturali (calce, pozzolana) o cementizi in basse percentuali, combinati con pigmentazioni minerali chiare per aumentare il valore di albedo.

Schede di riferimento: F.1-2_{MA}

Combinazioni. L'efficacia della pavimentazione è amplificata da sistemi ombreggianti (alberature, pergole) e soluzioni evaporative (fontane, bacini, nebulizzatori), oltre all'integrazione con infrastrutture verdi e sistemi *nature-based*.



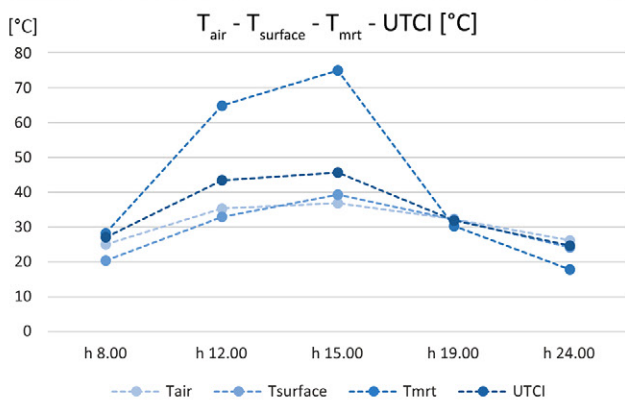
D - Radiazione solare diretta; F - Radiazione solare diffusa

COMPARAZIONE DATI*

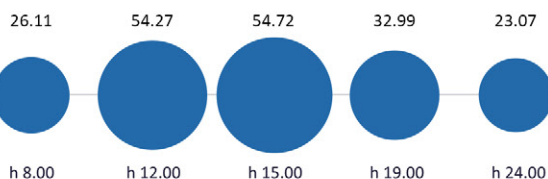


Pavimentazione
in terra stabilizzata

Scheda di riferimento: F.2_{MA}



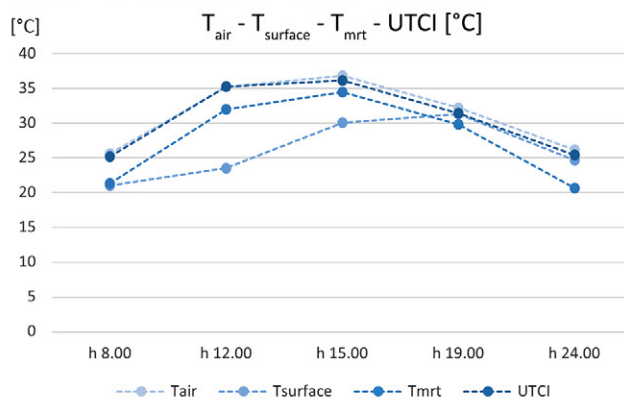
PET [°C]



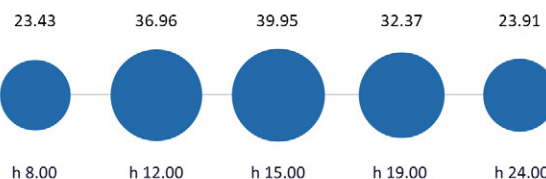
Pavimentazione
in terra stabilizzata



+ Alberature



PET [°C]



— OSSERVAZIONI —

Effetto diurno. La pavimentazione in terra stabilizzata, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} minore di -0.1°C e una $T_{surface}$ minore di -9.4°C . La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a -32.9°C e -17.3°C , rispetto alla soluzione non combinata.

Effetto notturno. La pavimentazione in terra stabilizzata, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} maggiore di $+0.1^{\circ}\text{C}$ e una $T_{surface}$ maggiore di $+0.6^{\circ}\text{C}$. La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a $+2.8^{\circ}\text{C}$ e $+0.8^{\circ}\text{C}$, rispetto alla soluzione non combinata.

*Simulazioni ENVI-met. File climatico: Roma, 23 agosto 2023

Scheda **F 1** **TERRA STABILIZZATA** tipo *ECOSTABILIZER PLUS* Pan Neto International**CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

Terra stabilizzata ECOSTABILIZER PLUS COMPLETE NATURE 35150 NORIP. Pacchetto composto da: Conglomerato terroso miscelato con catalizzatore bio edile ECOSTABILIZER POLVERE [1 kg/m³] + autocompattante ECOSTABILIZER NATURE 35 (150 kg/m³) + AGAFIBER + consolidante antievaporante ECOSTABILIZER PLUS (0.250 kg/m²); avrà una colorazione totalmente naturale ed uniforme senza la presenza di calce o cemento all'interno.

Spessore [cm]	10
Densità [kg/m ³]	700
Finitura	consolidamento per nebulizzazione con consolidante antievaporante

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(1) 0,4 - 0,6
Indice di riflettanza solare (SRI)	(2)
Emittanza (ε)	n.d.
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	n.d.
Permeabilità [l/(s·ha)]	(3)
Coefficiente di deflusso [ψ]	n.d.

DATI TECNICI [UNI-EN 459- 1:2015]

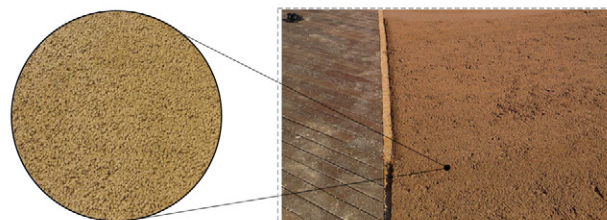
Resistenza a compressione [MPa]	> 12
Resistenza a trazione [MPa]	> 1,2

DATI ECONOMICI

ECOSTABILIZER NATURE [€/kg]	0,65
ECOSTABILIZER POLVERE [€/kg]	30,00
ECOSTABILIZER PLUS [€/kg]	12,35
AGAFIBER [€/kg]	15,60
KIT COLORE TERRA [€/m ³]	36,00
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	n.d.
Prezzo al m ² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m ²] (4)	113,88

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

La stesura avverrà manualmente o con macchine vibro-finitrici di portanza adeguata all'area di lavoro e alle quantità da realizzare. E' necessario conservare una quantità di materiale impastato fine per intasare eventuali alveoli o nidi di ghiaia concentrati in un determinato punto durante la rullatura, e considerare che lo spessore soffice sarà maggiore di circa il 15-20% rispetto allo spessore finale. La rullatura avverrà unidirezionalmente alla pavimentazione con rullo adeguato allo spessore della pavimentazione (20/50 Q.li), evitando sterzate (prima rullatura senza vibrazione, seconda e terza rullatura con vibrazione quarta e quinta rullatura senza vibrazione). Al termine della compattazione la superficie deve essere immediatamente protetta dall'asciugatura superficiale precoce. Già in fase di stesura adoperare una prima mano a nebulizzazione di un consolidante antivapore tipo ECOSTABILIZER PLUS il quale conferirà azione consolidante ai primi cm della superficie, dopo la rullatura si potrà procedere con la seconda mano di ECOSTABILIZER PLUS che consolida la parte più esposta ai raggi del sole e al vento e protegge la superficie dagli attriti radenti e volventi causati da gomme d'auto, calpestio intenso e biciclette. In alternativa o come ulteriore precauzione si potrà continuare ad umidificare la superficie per almeno 72 ore dalla stesura, utilizzando un tessuto non tessuto umido, e durante le 72 ore la superficie resterà non transitabile. Andranno eseguiti i giunti di dilatazione. La superficie sarà pedonabile per eventuali operazioni dopo 24 ore e praticabile dopo almeno 72 ore, il massimo della resa si avrà dopo circa 15 giorni.



ECOSTABILIZER PLUS, Pan Neto International | Pavimentazioni in terra stabilizzata. [https://www.panneto.it/]



Esempi di applicazione di **pavimentazione in terra stabilizzata** tipo *Ecocostabilizer Plus*. [https://www.panneto.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate	n.d.
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	no
Crediti LEED	sì
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

- 2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale
- 2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

(1) fonte: REBUS® (Renovation of Public Buildings and Urban Spaces);

(2) in funzione al colore naturale del terreno di base o usando il kit colore di finitura usando i colori più chiari;

(3) dipende dalle condizioni di partenza del terreno e dalla miscela finale risultante;

(4) valore corrispondente a Inmisto granulometrico stabilizzato di cava con legante naturale - voce C1.06.24 Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.

Scheda **F 2** **TERRA STABILIZZATA** tipo *Terra Solida Promotec*

CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Terre stabilizzate ecologiche. Pavimentazione riportata in terra stabilizzata e legata, mediante un sistema che preveda l'utilizzo di idoneo misto granulare naturale di cava come da specifica tecnica, acqua di impasto e Nature Premix.

Spessore [cm] ⁽¹⁾ 10 - 12

Dosaggio [kg/m³] ⁽²⁾ 100 ÷ 120; 120 ÷ 150; 50 ÷ 80

Densità [kg/m³] ⁽³⁾ 2180

Finitura ⁽⁴⁾ trattamento immediato

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo ⁽⁵⁾ 0,4 ÷ 0,6

Indice di riflettanza solare (SRI) n.d.

Emittanza (ε) n.d.

Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%] ⁽⁶⁾ n.d.

Permeabilità [l/(s·ha)] n.d.

Coefficiente di deflusso [ψ] n.d.

DATI TECNICI

[UNI-EN 459- 1:2015]

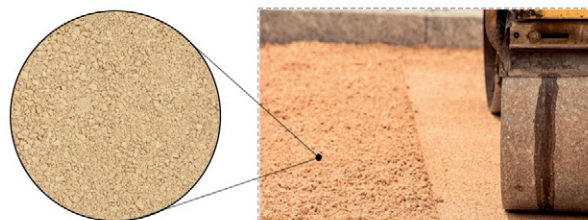
Resistenza a compressione a 7gg [MPa] ≥ 15

Resistenza a trazione a 7gg [MPa] ≥ 1,7

DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale + posa in opera) [€/m²] 35,85

Prezzo al m² (posa in opera) [€/m²] 4,00



Terra Solida, Promotec | Pavimentazioni in terra stabilizzata.
[https://www.terrasolida.it/]



Realizzazione di **pavimentazione ciclopedonale ecocompatibile** in terra stabilizzata presso il **Parco Gentile di Bari**.
[https://www.terrasolida.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate	sì
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	no
Crediti LEED	sì
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

La messa in opera dovrà avvenire immediatamente dopo la miscelazione a temperature che dovranno essere comprese tra i 5°C e i 30°C (e comunque non inferiori ai 5°C nelle successive 24-48 ore) e dovrà essere eseguita "a regola d'arte", correggendo tempestivamente eventuali difetti, per garantire idonee ed omogenee caratteristiche di portanza e durabilità della pavimentazione. La stesa deve avvenire preferibilmente ed ove possibile tramite vibrofinitrice, come alternativa in zone di difficile accesso si procederà alla messa in opera della pavimentazione a mano. La successiva compattazione sarà eseguita tramite rullo compattatore. Al termine della compattazione la pavimentazione dovrà essere tempestivamente e progressivamente protetta dalla disidratazione superficiale precoce, tramite trattamento immediato applicato a spruzzo a bassa pressione in quantitativo di 200/250 g/mq.

MANUTENZIONE

Trattamento superficiale, da utilizzare inizialmente e/o occasionalmente secondo necessità. Applicazione di un prodotto consolidante antipolvere in dispersione acquosa, specifico per l'applicazione su pavimentazioni in inerte naturale legato e stabilizzato tipo STABILGUARD di Terra Solida, in quantitativo minimo di 100 g/mq.

⁽¹⁾ 15 cm in caso di traffico pesante;

⁽²⁾ percorsi ciclopedonali 100 – 120 kg/m³ di inerte; percorsi carrabili 120- 150 kg/m³ di inerte; sottofondi stradali: 50-80 kg/m³ di inerte;

⁽³⁾ fonte: REBUS® (Renovation of Public Buildings and Urban Spaces);

⁽⁴⁾ trattamento immediato con un prodotto coadiuvante in dispersione acquosa ad azione anti evaporante specifico per il trattamento superficiale di pavimentazioni realizzate con inerte naturale legato e stabilizzato;

⁽⁵⁾ in funzione al colore naturale del terreno o agli aggregati di base (misto granulare naturale di cava, terreni presenti in situ o aggregati riciclati derivanti da demolizioni);

⁽⁶⁾ in funzione della natura originale del terreno e agli aggregati di base.

SCHEDA
TECNICHE

Pavimentazione erbosa

PAVIMENTANZIONE ERBOSA

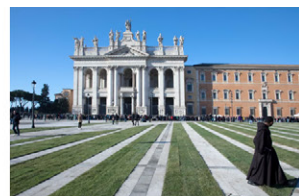


Parco Tevere Marconi
Roma, 2023



Piazza dei Cinquecento
Roma, in corso

Rendering IT'S Architects



Piazza San Giovanni
Roma, 2025

Pavimentazione permeabile composta da moduli che consentono la crescita del manto erboso e favoriscono il drenaggio, la stabilizzazione del terreno e l'integrazione con l'ambiente naturale.

Campi di applicazione



Potenziale di mitigazione



Riduzione del surriscaldamento



Comfort termoigrometrico



Costo messa in opera



Costo di manutenzione



Durabilità



EFFETTO DIURNO

La pavimentazione erbosa assorbe meno calore grazie alla capacità della vegetazione di riflettere parte della radiazione solare e di abbassare la T_{air} attraverso l'evapotraspirazione. La $T_{surfaces}$ risulta ridotta in quanto le superfici vegetate tendono a rimanere più fresche rispetto alle pavimentazioni tradizionali, riducendo le temperature di picco durante il giorno.

EFFETTO NOTTURNO

A differenza delle pavimentazioni tradizionali (asfalto e calcestruzzo), la pavimentazione erbosa funge da isolante naturale, riducendo le escursioni termiche tra il giorno e la notte, e migliorando il comfort termoigrometrico durante le ore notturne. Inoltre, l'umidità presente nel manto erboso evapora, contribuendo ad un ulteriore abbassamento della $T_{surfaces}$.

OSSERVAZIONI SINTETICHE

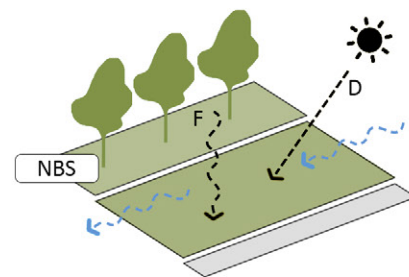
La pavimentazione erbosa rappresenta una soluzione ecologica e sostenibile in quanto contribuisce a ridurre gli effetti dell'isola di calore urbana e del ruscellamento delle acque piovane, a creare spazi favorevoli per la biodiversità e a migliorare la qualità dell'aria, assorbendo polveri e inquinanti.

SOLUZIONI E COMBINAZIONI

Soluzioni. Le pavimentazioni esterne erbose possono essere realizzate con grigliati salvaprato o con elementi in calcestruzzo. La % di manto erboso rispetto a moduli in calcestruzzo consente di definire molteplici configurazioni.

Schede di riferimento: G.1.1-2_{ML}; G.1.2_{MA}

Combinazioni. La piantumazione strategica di alberature e l'integrazione con soluzioni tipo *nature-based* offrono molteplici opportunità per progettare spazi urbani sostenibili e migliorare il comfort ambientale e la gestione delle risorse.



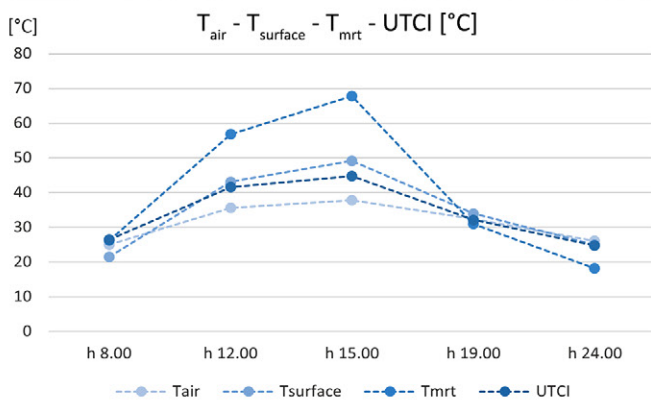
D - Radiazione solare diretta; F - Radiazione solare diffusa

COMPARAZIONE DATI*

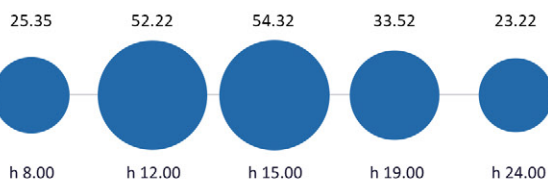


Pavimentazione
in manto erboso

Scheda di riferimento: G.1.1_{ML}



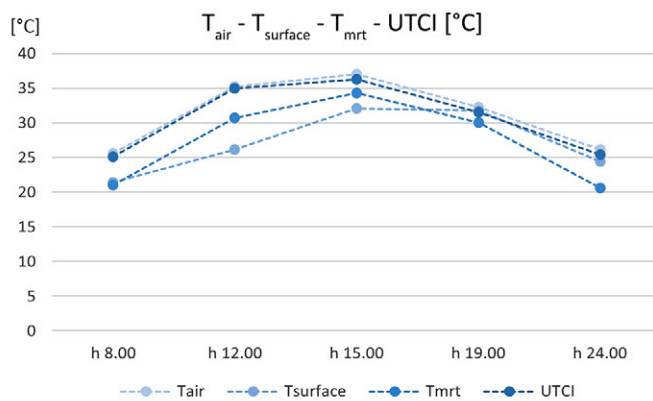
PET [°C]



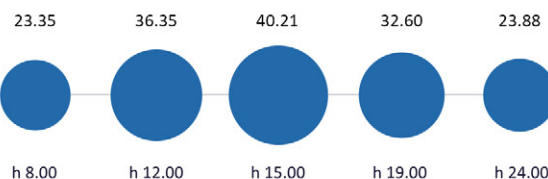
Pavimentazione
in manto erboso



Alberature



PET [°C]



— OSSERVAZIONI —

Effetto diurno. La pavimentazione erbosa, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} minore di -0.5°C e una $T_{surfaces}$ minore di -17°C . La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a -26.2°C e -15.9°C , rispetto alla soluzione non combinata.

Effetto notturno. La pavimentazione erbosa, combinata con strategie come l'inserimento di alberature, registra una T_{air} maggiore di $+0.1^{\circ}\text{C}$ e una $T_{surfaces}$ minore di -0.6°C . La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a $+2.4^{\circ}\text{C}$ e $+0.7^{\circ}\text{C}$, rispetto alla soluzione non combinata.

*Simulazioni ENVI-met. File climatico: Roma, 23 agosto 2023

Scheda **G 1.1** **MANTO ERBOSO** tipo Bindi Pratopronto® FLORIDA**CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

Composizione: Stenotaphrum secundatum. Ibrido sterile e nano di macroterma con foglia larga e corta, forma un tappeto molto folto e spesso.

Colore: verde intenso. In inverno assume un color paglia; l'inconveniente è ovviabile sia ricorrendo a trapianti di Lolium in autunno, sia colorando il tappeto erboso con delle apposite vernici atossiche.

Terreno: predilige suoli neutri o leggermente alcalini ed ha una buona resistenza ai suoli salini.

Esposizione: sole, mezz'ombra, ombra.

Tolleranza alle temperature: ottima resistenza al caldo, vegeta fino a 40°C, va in dormienza sotto i 15°C e non tollera geli prolungati.

Resistenza al calpestio: discreta. Non è adatta ad impianti sportivi.

Densità [kg/m³]: in funzione alla soluzione finale e il tipo di terreno di base.

Resistenza ai carichi: è raccomandato l'uso in prati residenziali e aree di verde pubblico in aree temperato-calde.

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(2) 0,20
Indice di riflettanza solare (SRI)	19
Emissanza (ε)	(2) 0,97
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	(3)
Capacità drenante [%]	100
Coefficiente di deflusso [ψ]	0,00

DATI TECNICI

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	n.d.

DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale) [€/m²]	10,50
Prezzo al m² (posa in opera) [€/m²]	n.d.
Prezzo al m² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m²]	(4) 6,83

INFORMAZIONI OPERATIVE**MANUTENZIONE****IRRIGAZIONE**

Benché sia quasi impossibile stabilire un programma di irrigazione valido ovunque, normalmente il Florida necessita di circa 30mm/settimana nei periodi caldi distribuiti con irrigazioni profonde ogni 2/3 giorni. L'orario ottimale per irrigare è dalle ore 6.00 alle ore 9.00 del mattino, evitando quindi le ore serali e/o notturne allo scopo di non generare condizioni di eccessiva e prolungata umidità, evitare inoltre irrigazioni leggere e frequenti, che impedirebbero un buono sviluppo dell'apparato radicale e faciliterebbe la crescita delle infestanti e lo svilupparsi di malattie. Tollera brevi periodi di siccità. (non oltre 30 giorni) entrando in dormienza.

TAGLIO

Tagliare regolarmente (ogni 7/10 giorni) ad un'altezza di 4/5 mm, con tosaerba rotativa.

CONCIMAZIONE

Effettuare regolarmente la concimazione azotata durante i periodi di crescita, in autunno utilizzare un concime ad alto titolo di potassio per incrementare la resistenza al freddo. Irrigare abbondantemente dopo ogni concimazione.



Pratopronto® FLORIDA, Bindi | Manto erboso.
[https://www.pratobindi.it/]



Esempi di pavimentazione realizzate con manto erboso.
[https://www.pratobindi.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate	100
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	no
Crediti LEED	no
Crediti ITACA	no
Certificazione CAM	n.d.

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

(1) in funzione alla soluzione finale e il tipo di terreno di base;

(2) fonte: REBUS® (Renovation of Public Buildings and Urban Spaces);

(3) in funzione al pacchetto scelto e alle specie seminate per il manto erboso di finitura;

(4) valore corrispondente a tappeto erboso in terra vegetale - voce C3.01.4 Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.

Scheda **G 1.2** **MANTO ERBOSO** tipo Bindi Pratopronto® TAHOMA 31

CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Composizione: Cynodon Dactylon. Interspecifico tappeto erboso di Bermudagrass di alta qualità che ha dimostrato un'eccezionale resistenza al freddo e alla siccità. Ha un rapido risveglio vegetativo e una buona tolleranza alla salinità.

Colore: verde scuro, tessitura fine e densità elevata

Terreno: predilige suoli acidi o subacidi (ph 5/6,5). Si adatta bene ai suoli poveri o salini.

Esposizione: sole.

Tolleranza alle temperature: ottima resistenza sia alla siccità che al freddo, le radici si sviluppano in profondità e richiedono una quantità d'acqua ridotta per mantenere una crescita sana.

Resistenza al calpestio: specie molto aggressiva; recupera rapidamente i danni collegati alle attività sportive.

Densità [kg/m³]: in funzione alla soluzione finale e il tipo di terreno di base.

Resistenza ai carichi: è raccomandato l'uso in prati residenziali e aree di verde pubblico in aree temperato/calde.

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(2) 0,20
Indice di riflettanza solare (SRI)	19
Emittanza (ε)	(2) 0,97
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	(3)
Capacità drenante [%]	100
Coefficiente di deflusso [ψ]	0,00

DATI TECNICI

Resistenza a compressione [MPa]	n.d.
Resistenza a trazione [MPa]	n.d.

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	11,70
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	n.d.
Prezzo al m ² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m ²]	(4) 6,83

INFORMAZIONI OPERATIVE

MANUTENZIONE

IRRIGAZIONE

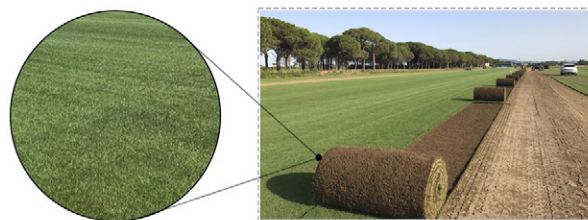
Benché sia quasi impossibile stabilire un programma di irrigazione valido ovunque, nei periodi caldi necessita di circa 20mm/settimana distribuiti con irrigazioni profonde. L'orario ottimale per irrigare è dalle ore 6.00 alle ore 9.00 del mattino, evitando quindi le ore serali e/o notturne allo scopo di non generare condizioni di eccessiva e prolungata umidità, evitare inoltre irrigazioni leggere e frequenti, che impedirebbero un buono sviluppo dell'apparato radicale e faciliterebbe la crescita delle infestanti. Mantiene il colore anche con quantità minori di acqua (15mm/settimana) e può sopravvivere a siccità prolungate. Ha un'ottima tolleranza alla salinità.

TAGLIO

Tagliare regolarmente 2 volte a settimana a un'altezza di 10/20 mm con tosaerba elicoidale. Sopporta tagli molto bassi, fino a 3 mm, altezza ideale per i green dei campi da golf, Range ottimale 8-18 mm Non rimuovere mai più di un terzo della foglia in un unico taglio. Si consiglia di asportare il feltro una volta l'anno, in estate.

CONCIMAZIONE

Effettuare una concimazione primaverile e una estiva con fertilizzante azotato, distribuendo ogni volta 500 gr di azoto ogni 100 m²; in autunno usare un concime ad alto titolo di potassio, per incrementare la resistenza alle basse temperature e la ritenzione del colore. Irrigare sempre a fondo dopo ogni concimazione.



Pratopronto® TAHOMA 31, Bindi | Manto erboso.
[<https://www.pratobindi.it/>]



Esempi di pavimentazione realizzate con manto erboso.
[<https://www.pratobindi.it/>]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate	100
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	no
Crediti LEED	no
Crediti ITACA	no
Certificazione CAM	n.d.

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

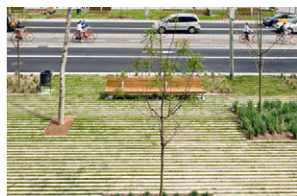
(1) in funzione alla soluzione finale e il tipo di terreno di base;

(2) fonte: REBUS® (Renovation of Public Buildings and Urban Spaces);

(3) in funzione al pacchetto scelto e alle specie seminate per il manto erboso di finitura;

(4) valore corrispondente a tappeto erboso in terra vegetale - voce C3.01.4 Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.

PAVIMENTANZIONE ERBOSA ALTERNATIVA



Passeig De St Joan Boulevard
Barcellona (Spagna), 2011



Karlsplatz
Vienna, 2023



Piazza San Giovanni
Roma, 2025

Pavimentazione permeabile costituita da grigliati prefabbricati in plastica riciclata (salvaprato) o in calcestruzzo, progettati per sostenere carichi leggeri o medi.

Campi di applicazione



Potenziale di mitigazione



Riduzione del surriscaldamento



Comfort termoigrometrico



Costo messa in opera



Costo di manutenzione



Durabilità



EFFETTO DIURNO

Il grigliato consente alla vegetazione di svilupparsi in modo uniforme, riducendo l'assorbimento della radiazione solare grazie all'albedo più elevata e alla capacità di evapotraspirazione del manto erboso. Le $T_{surfaces}$ risultano sensibilmente più basse rispetto a quelle delle pavimentazioni tradizionali, migliorando le condizioni microclimatiche.

EFFETTO NOTTURNO

La pavimentazione erbosa alternativa mitiga le escursioni termiche tra giorno e notte grazie alla capacità del suolo e dell'erba di trattenere umidità e rilasciare lentamente il calore accumulato. L'effetto isolante del sistema favorisce un raffreddamento graduale e più stabile rispetto alle superfici impermeabili.

OSSERVAZIONI SINTETICHE

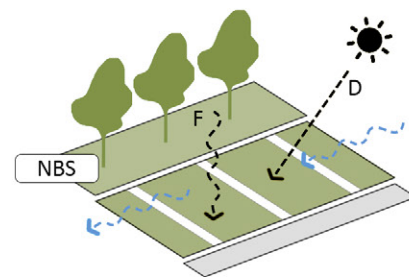
Le pavimentazioni con grigliati erbosi rappresentano una soluzione sostenibile ed ecologica per spazi urbani e residenziali a basso traffico. Favoriscono la riduzione dell'isola di calore urbana, aumentano la permeabilità del suolo e contribuiscono al miglioramento della qualità dell'aria.

SOLUZIONI E COMBINAZIONI

Soluzioni. I sistemi a grigliato salvaprato in plastica riciclata sono leggeri, facili da posare e adatti a contesti a basso carico, come percorsi pedonali, aree verdi o parcheggi occasionali. I grigliati in calcestruzzo offrono maggiore resistenza strutturale, ideali per superfici carrabili o soggette a traffico moderato.

Schede di riferimento: G.1-2_{MA}

Combinazioni. L'integrazione con alberature, siepi o altre soluzioni *nature-based* consente di incrementare il comfort ambientale e migliorare la gestione delle acque meteoriche.



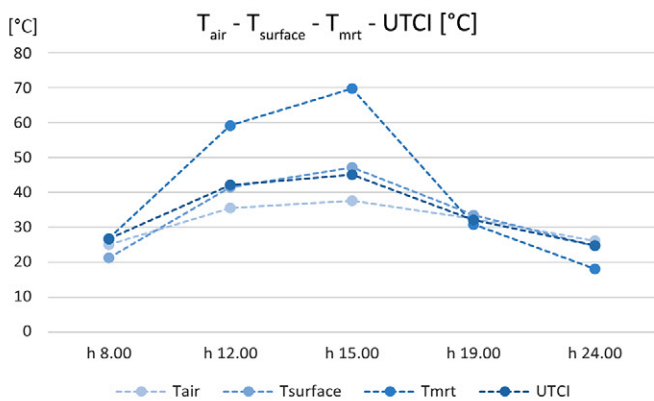
D - Radiazione solare diretta; F - Radiazione solare diffusa

COMPARAZIONE DATI*

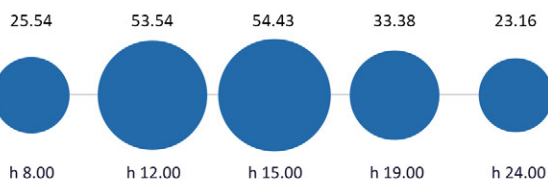


Pavimentazione
in grigliato autobloccante in cls

Scheda di riferimento: G.2_{MA}



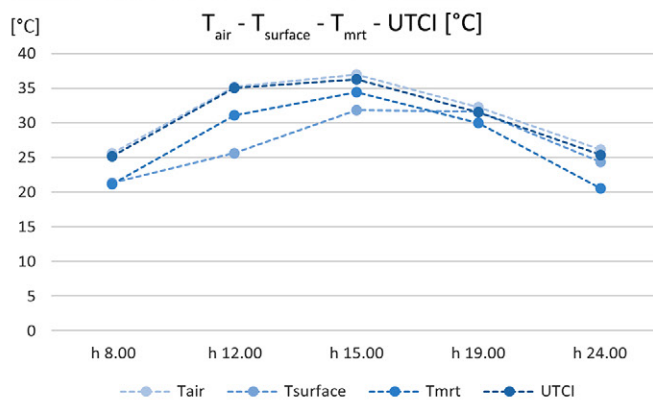
PET [°C]



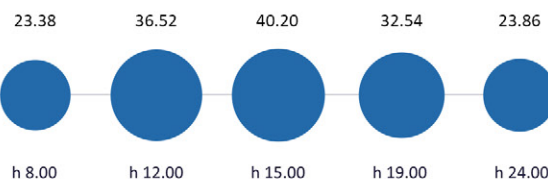
Pavimentazione
in grigliato autobloccante in cls



+ Alberature



PET [°C]



-OSSERVAZIONI-

Effetto diurno. La pavimentazione in grigliato autobloccante in cls, combinata con alberature, registra una T_{air} minore di -0.4°C e una $T_{surfaces}$ minore di -15.9°C . La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a -28.1°C e -17°C , rispetto alla soluzione non combinata.

Effetto notturno. La pavimentazione in grigliato autobloccante in cls, combinata con alberature, registra una T_{air} maggiore di $+0.1^{\circ}\text{C}$ e una $T_{surfaces}$ minore di -0.3°C . La T_{mrt} e il PET registrano rispettivamente un delta pari a $+2.5^{\circ}\text{C}$ e $+0.7^{\circ}\text{C}$, rispetto alla soluzione non combinata.

*Simulazioni ENVI-met. File climatico: Roma, 23 agosto 2023

Scheda **G 1** **GRIGLIA SALVAPRATO** tipo GARDEN GRID® Terra Solida Promotec**CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

Ecogriglia salvaprato specifica per la realizzazione di pavimentazioni drenanti in erba o in aggregato decorativo. Dotata di particolare struttura a nido d'ape semi-flessibile dello spessore di 5mm, grazie al profilo antisdrucchiolo zigrinato, alla speciale armatura orizzontale, ai giunti di dilatazione che ne evitano la deformazione nella stagione estiva ed invernale e all'ulteriore irrobustimento in quattro punti per elemento, può essere utilizzata anche in condizioni particolarmente sfavorevoli. Offre la possibilità di realizzare percorsi con forte pendenza grazie al picchetto di ancoraggio.

Dimensione [cm]	53,7 x 52,1 x 4
Spessore [cm]	0,5
Densità [kg/m ³]	(1)
Peso [kg]	1,4 (peso della griglia)
Finitura	Manto erboso

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

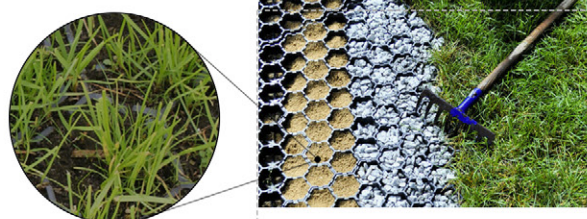
Albedo	(2) 0,20
Indice di riflettanza solare (SRI)	19
Emittanza (ε)	(2) 0,97
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	(3)
Capacità drenante [%]	86,8
Coefficiente di deflusso [ψ]	0,00

DATI TECNICI

Resistenza a compressione a 7gg [MPa]	(4) ≥ 80
Resistenza a trazione a 7gg [MPa]	n.d.

DATI ECONOMICI

Prezzo al m² (materiale + posa in opera) [€/m²] 48,50



Garden Grid, Terra Solida Promotec | Pavimentazioni drenanti con ecogriglia salvaprato. [https://www.terrasolida.it/]



Esempi di pavimentazione drenante in erba con ecogriglia salvaprato. [https://www.terrasolida.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate	(5)
Riciclabile [%]	100
Marcatura CE	non obbligatorio
Crediti LEED	no
Crediti ITACA	no
Certificazione CAM	n.d.

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

1. Realizzazione di cassonetto di fondazione costituito da misto stabilizzato di cava di sp. 10cm per pavimentazioni ad uso esclusivamente pedonale o sp. 25cm per pavimentazioni ad uso carrabile occasionale, steso con tenore in acqua prossimo all'umidità ottimale ed adeguatamente compattato; 2. Strato di base drenante per la pavimentazione in grigliato, costituito da pietrisco monogranulare di pezzatura 4/8 mm, steso a mano o con vibrofinitrice e rullato con rullo manuale, per uno sp. 7cm; 3. Realizzazione di strato finale di posa e regolarizzazione, costituito da sabbia di frantoio in frazione 0/4 mm opportunamente livellata e compattata tramite rullo statico, previa interposizione di geotessuto; 4. Posa in opera di elementi di eco griglia Garden Grid; 5. Esecuzione di superficie a prato mediante riempimento delle cellette con una miscela ottimale di terreno vegetale, torba, sabbia silicea o/e inerte vulcanico (pomice) arricchita con concime a lenta cessione. Fornitura e semina di una miscela ottimale di sementi per manti erbosi idonei al transito veicolare (tipo: poa pratensis/lolium perenne/festuca arundinacea) in misura di 35/40 gr. al mq.

MANUTENZIONE

Garden Grid non si aggancia al terreno ma è dotato di solidi incastri a "clic" non disancoranti che uniscono saldamente una griglia all'altra pur permettendo una veloce rimozione eventuali interventi sottostanti. Manutenzione ordinaria consiste in irrigazione del manto erboso.

(1) in funzione alla soluzione finale e il tipo di terreno di base;

(2) fonte: REBUS® (Renovation of Public Buildings and Urban Spaces);

(3) in funzione al pacchetto scelto e alle specie seminate per il manto erboso di finitura;

(4) in caso di pavimentazione ad uso anche carrabile;

(5) possibilità di riutilizzare il terreno del luogo.

Scheda **G 2** **GRIGLIATO AUTOBLOCCANTE IN CALCESTRUZZO tipo LUNIX® Ferrari BK****CAMPI DI APPLICAZIONE****DATI GENERALI****DESCRIZIONE**

Grigliato autobloccante in calcestruzzo per pavimentazioni erbose al 57%, ad alto SRI. Calcestruzzo realizzato con inerti ad alta resistenza a granulometria controllata e ottimizzata, con finitura doppio strato fine standard grigio caratterizzato da una percentuale di foratura pari al 57%.

Dimensioni [cm]	60 x 45
Spessore [cm]	12
Peso [kg/m ²]	± 165
Densità [kg/m ³] [UNI 9065-91]	≥ 2200

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Albedo	(1)
Indice di riflettanza solare (SRI)	≥ 29; (2)
Emittanza (ε)	(3)
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	≤ 6
Capacità drenante sperimentale [%]	(4) 100
Coefficiente di deflusso [ψ]	(5) 0,00

DATI TECNICI

[UNI 1339 (non obbligatorio)]

Resistenza a compressione [MPa]	≥ 60
Resistenza a trazione [MPa]	n.d.
Resistenza allo scivolamento [USRV]	n.d.
Resistenza al gelo/disgelo [MPa]	≤ 1

DATI ECONOMICI

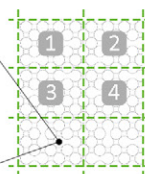
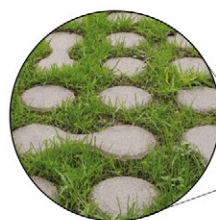
Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	(6) 30,70
Prezzo al m ² (posa in opera) [€/m ²]	n.d.
Prezzo al m ² (Tariffa Regione Lazio 2023) [€/m ²]	(7) 26,56

INFORMAZIONI OPERATIVE**REQUISITI PER LA POSA IN OPERA**

La stratigrafia tipo di posa in opera prevede la posa a secco degli elementi su uno strato di allettamento in pietrisco spaccato. Lo strato di fondazione sarà composto da materiale granulare drenante e avrà spessore variabile in funzione della tipologia del sottofondo.

MANUTENZIONE

Le pavimentazioni in grigliato erboso sono estremamente durevoli e non necessitano di particolari interventi di manutenzione nel corso del tempo. Il tappeto erboso richiede una modesta manutenzione, che prevede qualche innaffiatura, la rasatura o il reintegro dell'erba ed eventuali concimazioni.

**1** Posa "A correre"

Il sistema è composto da 4 pezzi di uguale geometria, ma con differente tessitura superficiale

LUNIX®, Ferrari BK | Pavimentazioni in grigliato autobloccante in calcestruzzo e schemi di tipologia di posa in opera.
[https://www.ferraribk.it/]



Esempi di applicazione di **pavimentazione in grigliato autobloccante in calcestruzzo**. [https://www.ferraribk.it/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate [%]	10
Riciclabile [%]	≥ 70
Marcatura CE	non obbligatorio
Crediti LEED	sì
Crediti ITACA	sì
Certificazione CAM	sì

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

2.5 Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione

2.5.2 Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati

2.5.3 Prodotti prefabbricati in calcestruzzo

- (1) il valore varia in funzione del colore di finitura: bianco assoluto 0,67; giallo reale 0,30; grigio 0,35; grigio venato 0,38; puntinato 0,45; luserna 0,30; terracotta 0,38; roccia vulcanica 0,36;
- (2) bianco assoluto 83; giallo reale 31; grigio 34; grigio venato 43; puntinato 52; luserna 33; terracotta 41; roccia vulcanica 39;
- (3) bianco assoluto e giallo reale 0,94; grigio 0,35; grigio venato 0,91; puntinato 0,94; luserna 0,94; terracotta 0,90; roccia vulcanica 0,89;
- (4) fonte: Manuale Assobeton Drenanti – Volume 3 - Linee guida per la determinazione della capacità drenante delle pavimentazioni modulari in calcestruzzo (Ed. Ottobre 2011);
- (5) per eventi di forte intensità (200mm/h durata 10'), media intensità (100 mm/h durata 20') e debole intensità (20mm/h durata 24h accumulo 480mm/gg);
- (6) possibili variazioni di prezzo a seconda dei colori scelti per la finitura; prezzo al m² include solo la fornitura degli elementi LUNIX (grigliato in calcestruzzo autobloccante);
- (7) valore corrispondente a grigliato prefabbricato in cls fornito in opera su piano di posa già predisposto - voce B1.04.3 Tariffa dei prezzi per le opere pubbliche edili ed impiantistiche del Lazio - Edizione 2023.

SCHEDA **Rivestimenti**

Tra le principali modalità per migliorare complessivamente le prestazioni dei materiali tradizionali comunemente utilizzati a Roma vi è l'applicazione di coating e trattamenti cromatici. L'applicazione di rivestimenti riflettenti o l'uso di pigmenti chiari consente di aumentare l'albedo delle superfici, riducendo la quantità di radiazione solare assorbita e, di conseguenza, abbassando la temperatura superficiale del materiale. Questi trattamenti possono essere applicati a materiali come asfalto e calcestruzzo, migliorandone l'efficienza termica senza necessità di sostituire l'intera pavimentazione.

SCHEDA
TECNICA

Coating

Scheda **X 1** **COATING** tipo E-Krete PCMO, Rodeco Group

MA



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

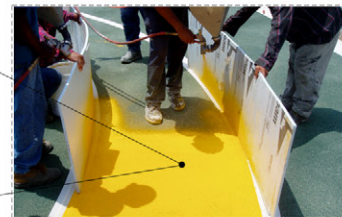
Micro-rivestimento polimerico composto (PCMO) ad elevata resistenza, a base cementizia e a basso impatto ambientale. Progettata per essere posata su nuove pavimentazioni in asfalto e su pavimentazioni in asfalto afflitte da ossidazione, usura superficiale o esposizione a sostanze chimiche. Il polimero formulato, mescolato con acqua, cemento speciale e aggregati, si potrà utilizzare per il ricoprimento di una larga varietà di tipologie di pavimentazioni. Il prodotto si presenterà sotto forma liquida, facilmente lavorabile, che permetterà di creare overlay sottili o ricostruzioni importanti.

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

P(BAImMA) [%]	46 ÷ 48
Idrossido di ammonio [%]	0,3
Acqua [%]	52 ÷ 54
Cemento in polvere [%]	30
Aggregati in quarzo [%]	70
Ph	9,3
Temperatura di ebollizione [°C]	100
Solubilità in acqua [mPa.s]	5,000 ÷ 55,000
Evaporazione [%]	52 ÷ 54
Albedo	⁽¹⁾ 0,38
Indice di riflettanza solare (SRI)	⁽¹⁾ 39
Emittanza (ε)	⁽¹⁾ 0,81
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	n.d.

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	3,05
Prezzo al m ² (fornitura e posa in opera) [€/m ²]	20,75



E-Krete PCMO, PolyCon | Micro-rivestimento polimerico composto per pavimentazioni in conglomerato bituminoso.
[<https://polyconintl.com/>]



[a] Pista aeroporto in Florida; [b] Pista aeroporto N.A.S.A di San Jose, California [https://polyconintl.com/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate	n.d.
Riciclabile [%]	n.d.
Marcatura CE	n.d.
Crediti LEED	sì
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	n.d.

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

Il sistema E-Krete è utilizzato per il ripristino superficiale delle pavimentazioni flessibili e in calcestruzzo mediante una copertura superficiale da minimo 2 mm fino a 5 mm della pavimentazione ammalorata. Un'applicazione a doppio strato dovrà avere normalmente uno spessore minimo (**) di 3.5 – 4.0 mm. Verrà applicato a freddo e non necessita di fresatura o preparazione superficiale, ad eccezione della polvere e detriti. In una giornata di sole (75°F con umidità relativa del 50% - 75%) il tempo di asciugatura è di circa 2 ore per singolo strato. Quanto più calda è la temperatura e più secca è la giornata, più veloce è il tempo di asciugatura.

Il sistema E-Krete è progettato per essere applicato con il dispositivo di applicazione Polycon Placer, la lama per malta Polycon, l'impianto di spruzzatura approvato da Polycon o altre attrezzature approvate dal produttore. Il materiale deve essere applicato esclusivamente da un applicatore certificato. Verrà utilizzato un impianto meccanico con banco di stesa integrato, in modo da garantire la massima precisione durante la lavorazione, dotato di tramoggia con alimentazione a coclea. Il costipamento avverrà con speciali gomme inserite nel banco, il tutto per dare il lavoro finito a regola d'arte.

⁽¹⁾ valore corrispondente a finitura di colore grigio;

Scheda **X 2** COATING tipo StreetBond, Transaco

MA



CAMPI DI APPLICAZIONE



DATI GENERALI

DESCRIZIONE

Rivestimento per asfalto tipo (StreetBond) composto da una miscela di resina epossidica acrilica bicomponente a base acquosa di alta qualità e da speciali additivi che garantiscono un'adesione ottimale e una protezione duratura contro gli agenti atmosferici. Si combina con i coloranti tipo (StreetBond) per offrire una ampia gamma di colori e può essere abbinato anche ai coloranti riflettenti solari tipo (StreetBond(RS)).

Spessore consigliato [mm]: 2 - 3 mm a strato.

Resa: StreetBond rende da 20 a 30 metri quadrati per barattolo, a seconda delle condizioni dell'asfalto.

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

Densità [g/mL]	1,65
Volume [%]	53,5 ÷ 60,6
Peso [%]	70 ÷ 76
Cemento in polvere [%]	30
Aggregati in quarzo [%]	70
Aderenza [psi]	300 ÷ 1400
Attrito	Asciutto 55 ÷ 90 Bagnato 35 ÷ 70
Temperatura di applicazione [°C]	10 ÷ 45
Albedo	⁽¹⁾ 0,34; 0,57
Indice di riflettanza solare (SRI)	⁽²⁾ 33; 65
Emittanza (ε)	0,81
Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	8 ÷ 12

DATI ECONOMICI

Prezzo al m ² (materiale) [€/m ²]	n.d.
Prezzo al m ² (fornitura e posa in opera) [€/m ²]	32,00

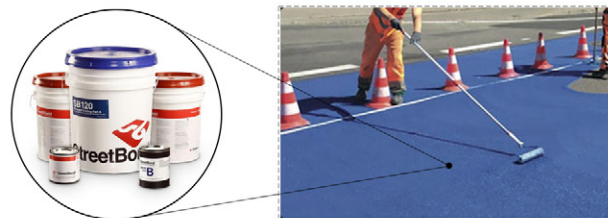
INFORMAZIONI OPERATIVE

REQUISITI PER LA POSA IN OPERA

Si raccomanda una pavimentazione in asfalto altamente stabile e priva di difetti. La quantità di strati dipenderà dell'intensità del traffico carrabile e l'utilizzo della superficie. StreetBond SB150 può essere applicato in strati sottili a pennello, a rullo o a spruzzo. Le applicazioni pedonali tipiche richiedono 3 strati di rivestimento, mentre le applicazioni veicolari richiedono 4 strati o più, a seconda della quantità di traffico.

Il rivestimento StreetBond® deve essere fornito e applicato da un applicatore certificato StreetBond® con certificazione SB 120/150, in conformità ai piani e alle specifiche. È necessario eseguire i lavori di posa in opera con la strumentazione consigliata per poter garantire la massima qualità nella finitura finale.

La superficie della pavimentazione in asfalto deve essere completamente asciutta e accuratamente pulita prima dell'applicazione dei rivestimenti. L'applicazione del rivestimento deve avvenire il prima possibile dopo il completamento dell'imprinting della pavimentazione in asfalto, ove applicabile. Il primo strato di rivestimento deve essere applicato a spruzzo e poi spatolato per far penetrare il materiale di rivestimento nella superficie della pavimentazione. Le applicazioni successive dovranno essere effettuate a spruzzo e poi con la scopa o con la rullatura. Ogni applicazione di materiale di rivestimento deve essere lasciata asciugare al tatto prima di applicare lo strato successivo. L'Applicatore dovrà applicare i rivestimenti StreetBond® solo quando la temperatura dell'aria è di 50°F / (10°C) e in aumento e non scenderà al di sotto di 50°F / (10°C) entro 24 ore. Non si devono prevedere precipitazioni entro 24 ore.



StreetBond | Rivestimento tipo StreetBond per pavimentazioni in conglomerato bituminoso. [https://streetbond.com/]



[a] Realizzazione di un playground in Los Angeles (California);
[b] Realizzazione di un attraversamento pedonale nel centro urbano di Padova. [https://streetbond.com/]

PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI

Materie prime riciclate	n.d.
Riciclabile [%]	n.d.
Marcatura CE	n.d.
Crediti LEED	sì
Crediti ITACA	n.d.
Certificazione CAM	n.d.

CRITERI AMBIENTALI MINIMI

[D.M. 23 giugno 2022, n. 256]

2.3 Specifiche tecniche progettuali di livello territoriale-urbanistico

2.3.2 Permeabilità della superficie territoriale

2.3.3 Riduzione dell'effetto "isola di calore estiva" e dell'inquinamento atmosferico

⁽¹⁾ finitura grigio SLATE = 0,34, grigio LIMESTONE GRAY = 0,57; con il presupposto di applicarlo in ambito stradale e a seconda della natura del progetto, la seguente gamma di colori è stata selezionata tra quattro cartelle colori disponibili;

⁽²⁾ finitura grigio SLATE = 33, grigio LIMESTONE GRAY = 65.

MATRICE COMPARATIVA

La matrice ha lo scopo di mettere a confronto, in maniera strutturata e visiva, i diversi materiali presenti nell'atlante delle pavimentazioni, con particolare attenzione alla loro capacità di ridurre il surriscaldamento estivo. Attraverso questo strumento, sarà possibile valutare le prestazioni termiche di ciascun materiale, considerando caratteristiche come albedo, emittanza, indice di riflettanza solare (SRI), indice di assorbimento dell'acqua (WAI), permeabilità, capacità drenante, capacità filtrante, e coefficiente di deflusso, tutte qualità che influenzano il raffrescamento delle superfici. La matrice consente di confrontare i materiali secondo diversi criteri oltre a quelli rilevanti per il comfort urbano, tra cui la durabilità, i costi di applicazione e manutenzione, la sostenibilità ambientale e la facilità di applicazione, consentendo un'osservazione immediata dei vantaggi e degli svantaggi di ciascun materiale.

MATERIALE				CAMPO APPLICAZIONE				PRESTAZIONI E CERTIFICAZIONI					
Scheda		Forma	Dettaglio					Materie prime riciclate [%]	Riciclabile [%]	Marchatura CE	Crediti LEED	Crediti ITACA	Certificazioni e CAM
ASFALTO	A. 1	Conglomerato bituminoso	tipo asfalto AC 12 SURF 50-70 (Superbeton)					-	-	SI	-	-	-
	A. 1	Conglomerato bituminoso con	tipo asfalto colorato ST32 (Superbeton)					-	-	SI	-	-	-
	A. 2	Conglomerato non bituminoso	tipo asfalto trasparente ECOpav (EVlzero)					-	-	-	-	-	-
CLS IN OPERA	B. 1	Impasto a caldo	tipo cls in opera Pavimix (Heidelberg materials)					5	-	-	-	-	SI
	B. 1a	Impasto poroso	tipo cls drenante Ecodrain (Ecopavi s.r.l.)					-	-	-	-	-	SI
	B. 1b		tipo cls drenante i.idro drain (Heidelberg materials)					5%	-	SI	-	-	SI
	B. 1c		tipo cls drenante i.idro drain ECOLOWCARBON					5%	-	SI	-	-	SI
CLS PREFABBRICATO	B. 2.1	Cubetti	tipo Cubetto (Senini) * colore: mix					≥5%	-	SI	SI *	-	SI
	B. 2.2	Lastre	tipo Corso milano (Micheletto) * colore: grigio scuro					≥5%	-	SI	-	-	SI
	B. 2.3a	Masselli	tipo Mezzaroma (Betonella) * colore: grigio serpentino					-	-	-	-	-	SI
	B. 2.3b		tipo Unopav (Paver) * colore granito monte bianco					10%	100%	SI	-	-	SI
	B. 2.1	cubetti - pietra-SRI (Ferrari Bk)	tipo Via del centro (Ferrari BK) * colore: grigio venato					12%	100%	SI	SI	SI	SI
	B. 2.2.1	Lastre finitura pietra Ferrari BK	tipo Granitblock (Ferrari BK) *colore: grigio venato					≥5%	-	SI	-	-	SI
	B. 2.2.2	Lastre drenanti ad alto SRI	tipo Greto erboso (Paver) *foratura al 35%					min 5,7%	100%	SI	SI	SI	SI
	B. 2.2.3	Lastre drenanti ad alto SRI fotocatalitica	tipo Greto erboso (Paver) *foratura al 35%					min 5,7%	100%	SI	SI	SI	SI
	B. 2.2.4	Lastre ad alto SRI fotocatalitica	tipo pietra toscana (Paver) * colore: grigio					min 5,7%	100%	SI	SI	SI	SI
	B. 2.2.5	Lastre ad alto SRI fotoluminiscente	tipo Sasslong nightglow (Ferrari BK)					≥5%	-	SI	-	-	SI
	B. 2.3.1a	Masselli drenanti ad alto SRI	tipo Betoneco (Betonella) *colore: grigio serpentino					-	-	SI	-	-	SI
	B. 2.3.1b		tipo Drenapav (Paver) *colore: granito monte bianco					10%	100%	SI	SI	SI	SI
	B. 2.3.2a	Masselli drenanti ad alto SRI fotocatalitici	tipo Betoneco futura (Betonella) *colore: grigio serpentino					-	-	SI	-	-	SI
	B. 2.3.2b		tipo Drenapav BioTi Ecopav (Paver) *colore: grigio					10%	100%	SI	SI	SI	SI
	B. 2.3.3a	Masselli filtranti ad alto SRI	tipo Filterbox (Betonella) *colore: grigio serpentino					-	-	NO	-	-	SI
	B. 2.3.3b		tipo Unopav filtrante (Paver) * colore grigio					10%	100%	SI	SI	SI	SI
	B. 2.3.4a	Masselli filtramente ad alto SRI fotocatilitici	tipo Filterbox futura (Betonella) *colore: grigio serpentino					-	-	NO	-	-	SI
	B. 2.3.4b		tipo unopav filtrante BioTi Ecopav (Paver)					10%	100%	SI	SI	SI	SI
	B. 2.3.5a	Masselli ad alto SRI fotocatilitici	tipo mezzaroma futura (Betonella) *colore: grigio serpentino					-	-	SI	-	-	SI
	B. 2.3.5b		tipo unopav BioTi Ecopav (Paver) * colore grigio					10%	100%	SI	SI	SI	SI
PIETRE TRADIZIONALI	C. 1.1	Basalto	cubetti in Fonolite Tetrifica tipo "Basalto Romano"					SI	SI	SI	-	-	-
	C. 1.2		lastre in Fonolite Tetrifica tipo "Basalto Romano"					SI	SI	SI	-	-	-
	C. 2.1	Porfido	cubetti in Porfido (Top center Porfido)					NO	SI	SI	-	-	-
	C. 2.2		lastre in Porfido (Top center Porfido)					NO	SI	SI	-	-	-
	C. 3	Travertino	lastre in Travertino Romano (Top center Porfido)					NO	SI	-	-	-	-
POLIMERI	D. 1	Moduli di gomma	mattonelle antitrauma tipo ECO-soft (BEN progetti)					10%	100%	SI	-	-	SI
	D. 1	Gomma colata	gomma antitrauma tipo Vitriturf Playground system (VPS)					10%	100%	SI	-	-	SI
	D. 2		conglomerato in gomma tipo PlayBike (Demetra)					fino a 90%	-	-	-	-	SI
CERAMICI	E. 1.1	Cubetti	tipo Lapis (Grestone) *colore: lapis nero					15,50%	100%	SI	SI	SI	SI
	E. 1.2	Lastre	tipo Ecopietre (Grestone) *colore: basalto naturale					15,50%	100%	-	-	-	SI
TERRA STABILIZZATA	F. 1	Impasto a freddo	tipo Glorit/A (Studio Muscatelli) * colore: secondo natura del terreno					SI	-	-	-	-	-
	F. 1		tipo Ecostabilizer Plus (Pan Neto International)					-	100%	-	SI	-	SI
	F. 2		tipo Terra Solida (Promotec) * colore: secondo natura del terreno					SI	100%	-	SI	-	SI
PAVIMENTAZIONI ERBOSE	G. 1.1	Manto erboso	tipo Florida (Bindi Pratopronto) * colore: con variazioni durante le					100%	100%	-	-	-	-
	G. 1.2		tipo Tahoma 31 (Bindi Pratopronto) * colore: con variazioni durante le					100%	100%	-	-	-	-
PAVIMENTAZIONI ERBOSE	G. 1	Ecogriglia + manto erboso	tipo Garden Grid (Promotec) * colore: manto erboso a seconda					* possibilità di riutilizzare il terreno del luogo	100%	-	-	-	-
	G. 2	Grigliato in cls prefabbricato	tipo Lunix(Ferrari BK) * colore: grigio venato					10%	>70%	-	SI	SI	SI
INTINGIMENTO	X. 1	Coating	tipo E-Krete (PCMO) *colore grigio					-	-	-	-	-	SI

MATERIALE			CARATTERISTICHE CHIMICO - FISICHE								
Scheda	Forma		Albedo [0-1]	Emittanza (ε) [0-1]	Indice di riflettanza solare (SRI) [%]	Indice di assorbimento dell'acqua (WAI) [%]	Permeabilità [mm/h]	Capacità drenante [%]	Capacità filtrante certificata [%]	Coefficiente di deflusso [%]	Capacità fotocatalitica [%]
ASFALTO	A. 1	Conglomerato bituminoso	0,12	0,90	< 29	-	-	-	-	-	-
	A. 1	Conglomerato bituminoso con	-	0,90	> 29*	-	-	-	-	-	-
	A. 2	Conglomerato non bituminoso	0,45-0,47	0,90	51,7-53	-	-	-	-	-	-
CLS IN OPERA	B. 1	Impasto a caldo	0,35	0,90	38	-	-	-	-	-	-
	B. 1a	Impasto poroso	0,46	0,92	54	-	12000 mm/h	-	-	0,41	-
	B. 1b		0,29	0,96	33	-	12000 mm/h	-	-	-	-
	B. 1c		0,29	0,96	33	-	12000 mm/h	-	-	-	-
CLS PREFABBRICATO	B. 2.1	Cubetti	≤ 0,27	0,9	≤ 29	≤ 6%	-	-	-	-	-
	B. 2.2	Lastre	≤ 0,27	0,9	≤ 29	≤ 6%	-	-	-	-	-
	B. 2.3a	Masselli	0,32	0,948	34,9	≤ 6%	-	-	-	-	NO
	B. 2.3b		0,324	0,927	36,1	≤ 6%	-	-	-	-	NO
	B. 2.1	cubetti - pietra-SRI (Ferrari Bk)	0,38	0,91	43	≤ 6%	-	100%	-	-	SI
	B. 2.2.1	Lastre finitura pietra Ferrari BK	0,38	0,91	43	≤ 6%	-	-	-	-	NO
	B. 2.2.2	Lastre drenanti ad alto SRI	0,42	0,86	46	≤ 6%	-	-	-	-	NO
	B. 2.2.3	Lastre drenanti ad alto SRI fotocatalitica	0,42	0,86	46	≤ 6%	-	35%	-	-	SI 70-80%
	B. 2.2.4	Lastre ad alto SRI fotocatalitica	0,42	0,86	46	≤ 6%	-	-	-	-	SI 70-80%
	B. 2.2.5	Lastre ad alto SRI fotoluminescente	0,38	0,91	43	≤ 6%	-	-	-	-	NO
	B. 2.3.1a	Masselli drenanti ad alto SRI	0,32	0,948	34,90	≤ 6%	360 mm/h	SI	-	-	NO
	B. 2.3.1b		0,324	0,927	36,10	≤ 6%	-	SI	-	-	NO
	B. 2.3.2a	Masselli drenanti ad alto SRI fotocatalitici	0,32	0,948	34,90	≤ 6%	360 mm/h	SI	-	-	SI 60-75%
	B. 2.3.2b		0,42	0,86	46	≤ 6%	-	SI	-	-	SI 70-80%
	B. 2.3.3a	Masselli filtranti ad alto SRI	0,32	0,948	34,90	≤ 6%	> 240 mm/h	SI	100%	0,20	NO
	B. 2.3.3b		0,42	0,86	46	≤ 6%	13392 mm/h	SI	100%	0,00	NO
	B. 2.3.4a	Masselli filtramente ad alto SRI fotocatalitici	0,32	0,948	34,90	≤ 6%	> 240 mm/h	SI	100%	0,20	SI 60-75%
	B. 2.3.4b		0,42	0,86	46	≤ 6%	13392 mm/h	SI	100%	0,00	SI 70-80%
	B. 2.3.5a	Masselli ad alto SRI fotocatalitici	0,32	0,948	34,90	≤ 6%	-	-	-	-	SI 60-75%
	B. 2.3.5b		0,42	0,86	46	≤ 6%	-	-	-	-	SI 70-80%
PIETRE TRADIZIONALI	C. 1.1	Basalto	0,15	0,90	12,60	9,40%	-	-	-	-	-
	C. 1.2		0,15	0,90	12,60	9,40%	-	-	-	-	-
	C. 2.1		0,15	0,90	12,60	2%	-	-	-	-	-
	C. 2.2	Porfido	0,15	0,90	12,60	2%	-	-	-	-	-
	C. 3	Travertino	0,15	0,90	12,60	2%	-	-	-	-	-
POLIMERI	D. 1	Moduli di gomma	0,50	0,90	59	2,30%	-	-	-	-	-
	D. 1	Gomma colata	-	-	> 29* *con determinati colori	-	9900 mm/h	SI	-	-	-
	D. 2		-	-	> 29* *con determinati colori	-	20160 mm/h	SI	-	-	-
CERAMICI	E. 1.1	Cubetti	0,12-0,20	-	< 29 *con colori su richiesta >29	-	-	-	-	-	-
	E. 1.2	Lastre	0,33	0,9	36	≤ 5%	-	-	-	-	-
	E. 1.2		0,33	0,9	36	≤ 5%	-	-	-	-	-
TERRA STABILIZZATA	F. 1	Impasto a freddo	0,4-0,6*	-	-	-	leggera	-	-	-	-
	F. 1		0,4-0,6*	-	-	-	* in funzione delle condizioni di partenza del terreno e le caratteristiche della miscela finale	-	-	-	-
	F. 2		0,4-0,6*	-	-	-	* in funzione delle condizioni di partenza del terreno e le caratteristiche della miscela finale	-	-	-	-
	F. 2		0,4-0,6*	-	-	-	* in funzione delle condizioni di partenza del terreno e le caratteristiche della miscela finale	-	-	-	-
PAVIMENTAZIONI ERBOSE	G. 1.1	Manto erboso	0,20	0,97	22	* in funzione delle caratteristiche del manto erboso	* in funzione delle caratteristiche del manto erboso	100%	-	0 %	-
	G. 1.2		0,20	0,97	22	* in funzione delle caratteristiche del manto erboso	* in funzione delle caratteristiche del manto erboso	100%	-	0 %	-
	G. 1	Ecogriglia + manto erboso	0,20	0,97	22	* in funzione delle caratteristiche del manto erboso	* in funzione delle caratteristiche del manto erboso	100%	-	0 %	-
	G. 2	Grigliato in cls prefabbricato	0,20	0,97	22	* in funzione delle caratteristiche del manto erboso	* in funzione delle caratteristiche del manto erboso	86,86%	-	-	-
COATING	X. 1	Coating	0,38	0,91	43	≤ 6%	-	100%	-	0 %	-
	X. 2		0,38	0,81	39	-	-	-	-	-	-

MATERIALE			DATI ECONOMICI DI MERCATO			PREZZARIO REGIONALE		
	Scheda	Forma	Prezzo materiale [€/m2]/[€/m3]*	Prezzo posa in opera [€/m2]	Prezzo posa in opera [€/m2]	€/mq	Voce prezzoario	Note
ASFALTO	A. 1	Conglomerato bituminoso	-	-		19,32	B1.05.5	Fornitura e posa in opera (compresa rullatura)
	A. 1	Conglomerato bituminoso con	-	-		41,77	B1.05.6	Fornitura e posa in opera
	A. 2	Conglomerato non bituminoso	-	-	40,00			
CLS IN OPERA	B. 1	Impasto a caldo	152*	-				
	B. 1a	Impasto poroso	-	-	40,00			
	B. 1b		193*	-	-			
	B. 1c		219*	-	-			
CLS PREFABBRICATO	B. 2.1	Cubetti	32,5	-	-			
	B. 2.2	Lastre	40,00	-	-	32,38 + 64,79	B1.05.13 + + B1.05.32a	25x25 cm o 40x40 cm + Posa in opera con malta di sabbia e cemento su massetto
	B. 2.3a	Masselli	27,40	20	-	37,56	B1.05.33	Masselli di sp. 4-6 cm, largo 20-25 cm e lungo 10-16 cm. Comprensivo di stesa di riporto di 3-5cm di sabbia, taglio e spacco, compattazione, sigillatura dei giunti
	B. 2.3b		25,70	-	-	44,44	B1.05.33	Masselli di sp. 4-6 cm, largo 20-25 cm e lungo 10-16 cm. Comprensivo di stesa di riporto di 3-5cm di sabbia, taglio e spacco, compattazione, sigillatura dei giunti
	B. 2.1	cubetti - pietra-SRI (Ferrari Bk)	44,90	-	-			
	B. 2.2.1	Lastre finitura pietra Ferrari BK	49,85	-	-			
	B. 2.2.2	Lastre drenanti ad alto SRI	33,05	-	-			
	B. 2.2.3	Lastre drenanti ad alto SRI fotocatalitica	39,35	-	-			
	B. 2.2.4	Lastre ad alto SRI fotocatalitica	35,35	-	-			
	B. 2.2.5	Lastre ad alto SRI fotoluminescente	80,00	-	-			
	B. 2.3.1a	Masselli drenanti ad alto SRI	26,35	20,00	-			
	B. 2.3.1b		22,65	-	-			
	B. 2.3.2a	Masselli drenanti ad alto SRI fotocatalitici	34,25	-	-			
	B. 2.3.2b		39,35	-	-			
	B. 2.3.3a	Masselli filtranti ad alto SRI	30,6	20,00	-			
	B. 2.3.3b		28,05	-	-			
	B. 2.3.4a	Masselli filtramente ad alto SRI fotocatalitici	39,78	20,00	-			
	B. 2.3.4b		41,70	-	-			
	B. 2.3.5a	Masselli ad alto SRI fotocatalitici	35,62	20,00	-			
	B. 2.3.5b		39,35	-	-			
PIETRE TRADIZIONALI	C. 1.1	Basalto	65,00	-	-	64,79	B1.05.32	
	C. 1.2		135,00	-	-	114,67 + 64,79	B1.05.31 + B1.05.32a	Fornitura a pié d'opera di lastre spesse 5 cm (18,75€ per ogni cm in più o in meno di spessore) + Posa in opera con malta di calce e pozolana
	C. 2.1	Porfido	37,00	30,00	-	0,34/98,69 + 64,7	B1.05.23 + B1.05.32a	Fornitura a pié d'pera + Posa in opera su sottostante massetto di fondazione
	C. 2.2		15,00	15,00	-	64,79	B1.05.35	
	C. 3	Travertino	60,00	-	-	122,07-126,13	A14.01.12	Lastre di sp.2cm poste in opera u lettodi malta bastarda
POLIMERI	D. 1	Moduli di gomma	83,38	-	-	100,7	B1.05.39	Gomma sintetica non rigenerata al 100% posta in opera con concollante poliuretano su pavimento esistente
	D. 1	Gomma colata	-	-	95-105			
	D. 2		-	-	-			
CERAMICI	E. 1.1	Cubetti	135,00	-	-	110,07/114,87	B1.05.22.1	Fornitura a pié d'opera (il prezzo varia a seconda della dimensione)
	E. 1.2	Lastre	132,44	-	-	110,93/115,46	B1.05.22.1d	Fornitura a pié d'opera (il prezzo varia a seconda della dimensione)
TERRA STABILIZZATA	F. 1	Impasto a freddo	33,23*	-	-	165,36	C1.06.23	Tipo Levocell e/o Diogene con inerti naturalitipo sabbia di roccia e/o travertino impastatacon legante cementizio e/o resinoso
	F. 1		-	-	*	113,88	C1.06.24	Inmisto granulometrico stabilizzato di cava con legante naturale
	F. 2		35,85	4,00	-			
PAVIMENTAZIONI ERBOSE	G. 1.1	Manto erboso	10,50	-	-	6,83	C3.01.4	Tappeto erboso in terra vegetale
	G. 1.2		11,70	-	-	6,83	C3.01.4	Tappeto erboso in terra vegetale
	G. 1	Ecogriglia + manto erboso	-	-	48,50			
	G. 2	Grigliato in cls prefabbricato	30,70*	-	-	26,56	B1.04.3	Grigliato prefabbricato in cls fornito in opera su paino di posa già predisposto
COATING	X. 1	Coating	3,05	21,70	-			
	X. 2		-	-	32,00			

Note e Considerazioni

Valore di Albedo/ SRI

Per garantire un confronto uniforme, è stato scelto un colore simile (e dunque un'albedo simile) per tutti i materiali inclusi nella matrice, adottando una tonalità grigia in linea con gli standard attualmente utilizzati nella città di Roma. Tuttavia, questa scelta non consente di valutare pienamente il potenziale dei materiali nel ridurre la temperatura superficiale del suolo. Per un'analisi più approfondita, sarebbe necessario considerare l'intera gamma di colori di finitura disponibili per ciascun materiale.

Certificazione CAM

Attualmente, non esiste una certificazione unica CAM; essa viene rilasciata da diversi enti con denominazioni differenti. Al momento della raccolta dei dati per questo studio, i certificati obbligatori per alcuni produttori riguardavano il contenuto di materia riciclata, recuperata o di sottoprodotti, utilizzando i seguenti schemi di certificazione:

- **Dichiarazione Ambientale di Prodotto di Tipo III (EPD)**, conforme alle norme UNI EN 15804 e UNI EN ISO 14025, come gli schemi internazionali EPD® o EPD Italy®, che specificano la percentuale di materiale riciclato, recuperato o di sottoprodotti, includendo la metodologia di calcolo.
- **Certificazione ReMade in Italy®**, con indicazione in etichetta della percentuale di materiale riciclato o di sottoprodotto.
- **Marchio Plastica Seconda Vita**, con specifica della percentuale di materiale riciclato sul certificato.
- Per prodotti in PVC, certificazione basata sui criteri 4.1 **"Use of recycled PVC"** e 4.2 **"Use of PVC by-product"** del marchio **VinylPlus Product Label**, con attestazione della fornitura specifica.
- **Certificazione di prodotto basata sulla tracciabilità dei materiali e sul bilancio di massa**, rilasciata da un organismo di valutazione della conformità, con indicazione della percentuale di materiale riciclato, recuperato o di sottoprodotti.
- **Certificazione conforme alla Prassi di Riferimento UNI/PdR 88**, per verificare il contenuto di riciclato, recuperato o sottoprodotto nei prodotti, se applicabile al materiale.

Infine, le asserzioni ambientali autodichiarate, conformi alla norma UNI EN ISO 14021 e validate da un organismo di valutazione della conformità, possono essere utilizzate fino alla scadenza della loro convalida, purché valide alla data di entrata in vigore del CAM. I produttori che includono una delle certificazioni riconosciute nelle loro schede tecniche dichiarano di possedere la certificazione CAM. Tuttavia, non tutti i produttori delle schede tecniche rielaborate in queste linee guida hanno fornito la documentazione necessaria. In questi casi, è stata indicata l'assenza di dichiarazione. Nelle schede sono stati evidenziati i criteri ambientali potenzialmente soddisfatti dai singoli prodotti, indipendentemente dalla certificazione. Al contrario, nella matrice, è stato indicato "sì" o "no" esclusivamente in base alla presenza di una certificazione valida che dimostri la conformità ai CAM, escludendo dichiarazioni verbali non supportate da documentazione.

Permeabilità e coefficiente di drenaggio

La permeabilità può essere espressa in diverse unità di misura, variabili in base alla natura del prodotto. Per uniformare i dati nella matrice, tutti i valori sono

stati convertiti in mm/h, l'unità più comunemente riportata nelle schede tecniche. La capacità drenante, nota anche come coefficiente di permeabilità, può essere espressa in percentuale. Tuttavia, a causa delle diverse normative che regolano le prove obbligatorie, alcuni produttori utilizzano il coefficiente di permeabilità, mentre altri si riferiscono alla permeabilità. Questi due termini, spesso, vengono confusi o usati in modo intercambiabile. Per i masselli "filtranti", non ancora soggetti all'obbligo di marcatura CE, viene utilizzato il termine capacità filtrante certificata per indicare la gestione delle acque di dilavamento, con un ritmo di flusso diverso rispetto ai materiali denominati "drenanti".

Stima dei prezzi (documentazione dei fornitori)

I fornitori non garantiscono un'indicazione di prezzo definitiva senza conoscere le specifiche progettuali, i quantitativi richiesti, il tipo esatto di materiale, i costi di trasporto e le eventuali scontistiche applicabili. I prezzi riportati in questo lavoro si riferiscono all'ultimo aggiornamento disponibile per ciascun fornitore, basato sui listini 2024 al momento della richiesta.

Pavimentazioni erbose

Non esiste una normativa unificata per le pavimentazioni erbose, indipendentemente dal materiale utilizzato per le griglie. I grigliati prefabbricati in calcestruzzo non sono soggetti all'obbligo di marcatura CE, a differenza dei masselli e delle lastre prefabbricate in CLS. Tuttavia, alcuni produttori, pur non essendo obbligati, eseguono i test normati per masselli e lastre, anche per i grigliati, facendo riferimento alle norme UNI EN 1338 e UNI EN 1339.

Gli inerti e gli elementi utilizzati per produrre gli impasti di grigliati, masselli e lastre devono essere marcati CE, ma non il prodotto finito.

Non esiste una normativa che definisca la percentuale minima di manto erboso per classificare una superficie come erbosa. Tuttavia, pavimentazioni con almeno il 50% di manto erboso integrate da grigliati sono generalmente considerate tali, poiché garantiscono drenaggio e resistenza al calpestio. Queste pavimentazioni rientrano nel macrogruppo delle superfici drenanti. I prodotti filtranti però, a causa del loro impasto poroso, non rispettano la norma UNI EN 1338 e quindi non possono essere marcati CE, così come i grigliati erbosi, che non rientrano nelle categorie di masselli o lastre. Al contrario, i masselli drenanti conformi alla UNI EN 1338 devono la loro capacità drenante alla forma o alle fughe tra gli elementi e utilizzano impasti tradizionali. Di conseguenza, i grigliati erbosi non possono essere classificati come pavimentazioni in calcestruzzo (né a lastre né a masselli), poiché non soddisfano i requisiti obbligatori di queste categorie. Per questo motivo, i produttori li categorizzano separatamente.

Bibliografia

Akbari, H., Cartalis, C., Kolokotsa, D., Muscio, A., Pisello, A. L., Rossi, F., Wong, N.H. & Zinzi, M. (2016). Local climate change and urban heat island mitigation techniques—the state of the art. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(1), 1-16. doi:<https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1111934>.

Besancenot, J. P. (2002). Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines. *Environnement, risques & santé*, 1(4), 229-40.

Bretz, S. E., & Akbari, H. (1997). Long-term performance of high-albedo roof coatings. *Energy and buildings*, 25(2), 159-167.

Chatzidimitriou, A., & Yannas, S. (2015). Microclimate development in open urban spaces: The influence of form and materials. *Energy and buildings*, 108, 156-174. doi:[10.1016/j.enbuild.2015.08.048](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.048).

Erell, E., Pearlmutter, D., Boneh, D., & Kutiel, P. B. (2014). Effect of high-albedo materials on pedestrian heat stress in urban street canyons. *Urban climate*, 10, 367-386. doi:[10.1016/j.uclim.2013.10.005](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.10.005).

Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. (2012). *Urban microclimate: designing the spaces between buildings*. Routledge. ISBN 978-1-84407-467-9.

European Commission. Directorate-General for the Environment. (2014). Building a green infrastructure for Europe. Publications Office of the European Union.

Faragallah, R. N., & Ragheb, R. A. (2022). Evaluation of thermal comfort and urban heat island through cool paving materials using ENVI-Met. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(3), 101609. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.10.004>.

Georgi, B., Isoard, S., Asquith, M., Garzillo, C., Swart, R. J., & Timmerman, J. G. (2016). *Urban adaptation to climate change in Europe 2016: Transforming cities in a changing climate* (No. 12/2016). ETC CCA. ISBN 978-92-9213-741-0.

Golden, J. S. (2004). The built environment induced urban heat island effect in rapidly urbanizing arid regions—a sustainable urban engineering complexity. *Environmental Sciences*, 1(4), 321-349.

Hassler, U., & Kohler, N. (2014). Resilience in the built environment. *Building Research & Information*, 42(2), 119-129.

Irmak, M. A., Yilmaz, S., & Dursun, D. (2017). Effect of different pavements on human thermal comfort conditions. *Atmosfera*, 30(4), 355-366. doi: <https://doi.org/10.20937/ATM.2017.30.04.06>

Karlessi, T., Santamouris, M., Apostolakis, K., Synnefa, A., & Livada, I. J. S. E. (2009). Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures. *Solar Energy*, 83(4), 538-551. doi:[10.1016/j.solener.2008.10.005](https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.005).

Kolokotsa, D., Maravelaki-Kalaitzaki, P., Papantoniou, S., Vangeloglou, E., Saliari, M., Karlessi, T., & Santamouris, M. (2012). Development and analysis of mineral based coatings for buildings and urban structures. *Solar energy*, 86(5), 1648-1659. doi:[10.1016/j.solener.2012.02.032](https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.02.032).

Landsberg, H. E. (1983). *The urban climate*; Acad. Press:New York. ISBN 978-0-12-435960-4.

Lee, H., Mayer, H., & Chen, L. (2016). Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a

residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landscape and urban planning*, 148, 37-50.

Manley, G. (1958). On the frequency of snowfall in metropolitan England. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 84(359), 70-72.

Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and urban planning*, 147, 38-49.

Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522-538. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>.

Moretti, L., Cantisani, G., Carpicci, M., D'Andrea, A., Del Serrone, G., Di Mascio, P., & Loprencipe, G. (2021). Effect of Sampietrini pavers on urban heat islands. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24), 13108. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph182413108>

Nouri, A. S., & Costa, J. P. (2017). Addressing thermophysiological thresholds and psychological aspects during hot and dry mediterranean summers through public space design: The case of Rossio. *Building and Environment*, 118, 67-90.

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, 108(455), 1-24.

Pearlmutter, D. (2000). Patterns of sustainability in desert architecture. *Arid Lands Newslett*, 47, 1-12.

Peluso, P., Persichetti, G., & Moretti, L. (2022). Effectiveness of road cool pavements, greenery, and canopies to reduce the urban heat island effects. *Sustainability*, 14(16027). doi: <https://doi.org/10.3390/su142316027>

Piselli, C., Castaldo, V. L., Pigliautile, I., Pisello, A. L., & Cotana, F. (2018). Outdoor comfort conditions in urban areas: On citizens' perspective about microclimate mitigation of urban transit areas. *Sustainable cities and society*, 39, 16-36. doi:10.1016/j.scs.2018.02.004.

Saaroni, H., Amorim, J. H., Hiemstra, J. A., & Pearlmutter, D. (2018). Urban Green Infrastructure as a tool for urban heat mitigation: Survey of research methodologies and findings across different climatic regions. *Urban climate*, 24, 94-110. doi:<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.02.001>.

Santamouris, M. (2013). *Energy and climate in the urban built environment*. Routledge. ISBN 978-1-873936-90-0.

Santamouris, M. (2014). Cooling the cities—a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar energy*, 103, 682-703. doi:10.1016/j.solener.2012.07.003.

Santamouris, M., Gaitani, N., Spanou, A., Saliari, M., Giannopoulou, K., Vasilakopoulou, K., & Kardomateas, T. (2012). Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas—Design realization and results of the flisvos project. *Building and Environment*, 53, 128-136. doi:10.1016/j.buildenv.2012.01.022.

Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and buildings*, 31(3), 221-235. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(99\)00018-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00018-3).

ROMA



Strategia di adattamento climatico

Coordinamento

Ufficio di Scopo Clima

Direttore: Edoardo Zanchini
Danila Severa, Cecilia Corelli, Giuseppe Rizzo.

Gruppo di lavoro

Assessorato all'Agricoltura, Ambiente e Ciclo dei rifiuti

Assessore: Sabrina Alfonsi

Assessorato ai Lavori Pubblici e alle Infrastrutture

Assessore: Ornella Segnalini

Assessorato Urbanistica

Assessore: Maurizio Veloccia

Assessorato alla Mobilità

Assessore: Eugenio Patanè

Assessorato al Patrimonio e alle Politiche Abitative

Assessore: Andrea Tobia Zevi

Dipartimento Protezione Civile

Direttore: Giuseppe Napolitano
Andrea Lorito, Gianluca Ferri, Vittorio Malara, Piero Pelliccioni,
Giovanna Antonella Scotto, Francesca Vetro

Dipartimento Coordinamento Sviluppo Infrastrutture e Manutenzione Urbana

Direttore: Ernesto Dello Vicario.
Massimiliano Antonazzo.

Dipartimento Tutela Ambientale

Direttore: Giuseppe Sorrentino.
Marina Mantella.

Dipartimento Ciclo dei Rifiuti Prevenzione e Risanamento dagli Inquinamenti

Direttore: Paolo Gaetano Giacomelli
Claudio Papiccio, Isidoro Bonfà

Dipartimento Programmazione e Attuazione urbanistica

Direttore: Gianni Gianfrancesco
Enrica De Paulis, Elena Andreoni

Dipartimento Mobilità Sostenibile e Trasporti

Direttore: Antonello Fatello

Dipartimento Valorizzazione del Patrimonio e Politiche Abitative

Direttore: Tommaso Antonucci

Dipartimento Pianificazione strategica e PNRR

Direttore: Raffaele Barbato



ROMA



Coordinamento scientifico

Prof. Alessandra Battisti

Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura, Facoltà di Architettura - Progettazione Tecnologica Ambientale (ICAR-12)

Gruppo di lavoro

Alessandra Battisti (coordinamento scientifico) ha ideato il progetto di ricerca e ne ha supervisionato lo sviluppo, garantendo la coerenza metodologica e scientifica. Ha inoltre redatto i capitoli dedicati al *Quadro scientifico di riferimento*, al *Comfort outdoor* e all'*Isola di calore urbana e le strategie di adattamento* (pp. 12–25).

Livia Calcagni (coordinamento operativo) ha verificato l'impostazione del lavoro e l'accuratezza della raccolta dati. Ha redatto le sezioni introduttive relative ai *Materiali* (pp. 26–30), si è occupata dell'identificazione degli indicatori nei materiali schedati (pp. 31–99) e della *matrice comparativa* (pp. 100–103).

Eva Vergara e **Angela Calvano** hanno svolto la raccolta dei dati, redatto le schede tecniche dedicate a materiali e rivestimenti (pp. 31–99) e collaborato alla stesura della matrice comparativa (pp. 100–103).

Andrea Canducci ha curato la redazione delle schede generali dei materiali (pp. 32, 34, 38, 45, 66, 69, 72, 75, 80, 84, 86, 90, 93), e svolto le analisi finalizzate all'individuazione e comparazione dei dati ambientali e degli indici climatici termici.

Alessandra Battisti, **Livia Calcagni** e **Andrea Canducci** si sono occupati dell'elaborazione dei risultati e della loro sintesi critica, contribuendo all'interpretazione dei dati emersi e alla definizione delle conclusioni.

Un ringraziamento speciale va a **Angelo Figliola** e **Alberto Calenzo** per il supporto nell'impostazione delle analisi microclimatiche.

