

I CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI **INGEGNERI**



SAIV
Società Italiana Infrastrutture Viarie



CONVEGNI IN MODALITÀ ON LINE
MODULO 2 - Venerdì 23 febbraio 2024, ore 15.00 - 18.00

**Materiali e Tecnologie
per Pavimentazioni Stradali Sostenibili**

Sostenibilità e funzionalità delle pavimentazioni stradali urbane in pietra



Prof. Ing. Felice Giuliani
Dipartimento di Ingegneria e Architettura
Università degli Studi di Parma



Sostenibilità e mobilità urbana

Responsabilità della comunicazione ed aspettative dell'Utente.

Cambiamento modale di trasporto o cambio di alimentazione?

Verso la guida autonoma, in condizioni di sicurezza.

Rispetto storico, culturale e ambientale.

Sostenibilità economica e qualità della progettazione.

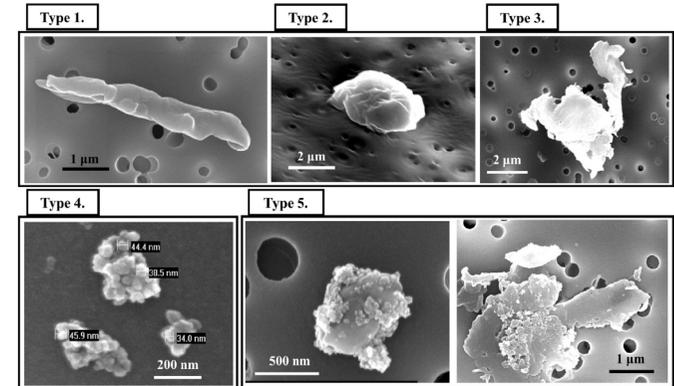
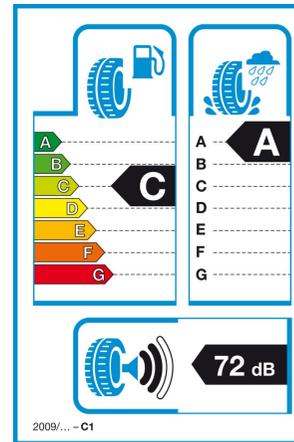


Qual'è il ruolo del progettista delle infrastrutture viarie?

Prof. Ing. Felice Giuliani

Sostenibilità e mobilità urbana

Rilettura del concetto di prestazione e di inquinamento.



Rapporto fra superficie stradale e pneumatico, anche in termini di quantità e dimensioni degli inquinanti ai fini degli indicatori della qualità dell'aria in ambito urbano.



Prof. Ing. Felice Giuliani

PAVIMENTAZIONI IN PIETRA E MOBILITÀ URBANA ODIERNA Un binomio possibile

Significato storico e culturale.

Modernità di una soluzione antica.

Rilettura del patrimonio secondo le reali
aspettative strutturali e funzionali per le
diverse componenti di traffico.



Il progetto manutentivo ed il progetto delle nuove realizzazioni



Prof. Ing. Felice Giuliani

PAVIMENTAZIONI IN PIETRA E VEICOLO ELETTRICO

Dal settore automotive...

- ❑ Con la coppia motrice ad erogazione istantanea, l'aumento del peso, la richiesta di una maggiore autonomia e di minori emissioni, è tutt'altro che sgradita una riduzione della resistenza al rotolamento.
- ❑ Gli pneumatici per veicoli elettrici sono gravati da una tara maggiore (peso delle batterie) e devono rispondere alla coppia motrice ad erogazione immediata, che comporta una maggiore usura degli pneumatici. È necessario intervenire sulla carcassa e sulla mescola perché diventino più robuste.
- ❑ Rispetto alle auto a combustione, la tecnologia della trazione elettrica riduce il rumore del motore e, ovviamente, le emissioni.
- ❑ È prefigurata (non provata, tantomeno consolidata) una riduzione dei costi di manutenzione e di esercizio, nel contesto attuale.



PAVIMENTAZIONI IN PIETRA E VEICOLO ELETTRICO

Dall'utente della strada...

- ❑ La microtessitura degli elementi lapidei costituisce un aumento di sicurezza in frenatura negli ambiti dove questa è particolarmente necessaria.
- ❑ La pavimentazione in pietra, con gli effetti vibrazionali a bordo dell'abitacolo, costituisce un implicito strumento di traffic calming nelle strade urbane locali.



PAVIMENTAZIONI IN PIETRA E VEICOLO ELETTRICO

Dall'utente della strada...

- L'assenza di rumore è un enorme traguardo, tuttavia non esente da problemi di sicurezza per gli utenti deboli. Addirittura è opportuno generare artificialmente un rumore.
- Eufonia da rotolamento ha un effetto benefico e aiuta all'individuazione del veicolo che si avvicina.
- Riferimento tattile importante per l'utente con specifici deficit sensoriali.



RAFFREDDAMENTO EVAPORATIVO DI PAVIMENTAZIONI IN PIETRA PERMEABILI

Comfort urbano e limitazione delle isole di calore

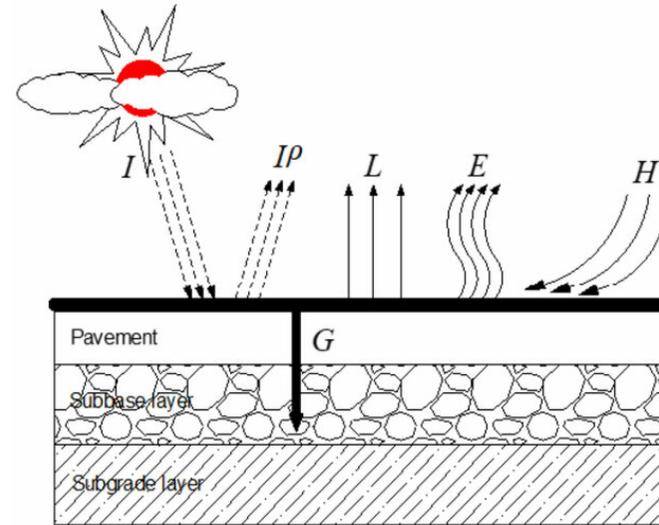
«Che le superfici pavimentate, i marciapiedi, le pavimentazioni di strade carrabili e di aree destinate a parcheggio o allo stazionamento dei veicoli abbiano un indice SRI ≥ 29 ».

Solar Reflectance Index, indice di riflessione solare.

Fonte: D.M. 23.06.2022 (CAM)

Sensibile effetto della struttura della pavimentazione permeabile sul raffreddamento evaporativo (umidità dell'allettamento e dei primi 15 cm di base granulare).

Fonte: Xie L. et al. «Numerical Analysis on the Optimization of Evaporative Cooling Performance for Permeable Pavements». Sustainability, 2022.



Material	Albedo	Emissivity
Granite	0.50	0.96
Limestone	0.70	0.93
Marble	0.80	0.95
Basalt	0.40	0.90
Concrete	0.50	0.85
Asphalt	0.10	0.93

Fonte: Moretti L. et al. «Effect of Sampietrini pavers on Urban Heat Islands», IJERPH, 2021.



Prof. Ing. Felice Giuliani

DESIGILLATURA URBANA E CONTRIBUTO ALLA PERMEABILITÀ TERRITORIALE

Opere di regimazione idraulica e difesa del suolo per resilienza e adattamento

Per opere infrastrutturali situate in zone pianeggianti e su reti di drenaggio appartenenti al reticolo minore, si dovranno ricercare aree di laminazione in grado di mitigare o ridurre il rischio idraulico, e si dovrà evitare la riduzione della permeabilità dei suoli, anche incentivando la posa di pavimentazioni drenanti.

Fonte: MIMS – Rapporto 2022 della “Commissione cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità sostenibili”

Il progetto di interventi di nuova costruzione prevede una superficie territoriale permeabile non inferiore al 60% (ad esempio le superfici a verde e le superfici esterne pavimentate ad uso pedonale o ciclabile come percorsi pedonali, marciapiedi, piazze, cortili, piste ciclabili). Per superficie permeabile si intendono le superfici con un coefficiente di deflusso inferiore a 0,50.



Fonte: D.M. 23.06.2022 (CAM)

Prof. Ing. Felice Giuliani

PAVIMENTAZIONI AD ELEMENTI QUALI SISTEMI PERMEABILI

Infiltrazione completa:

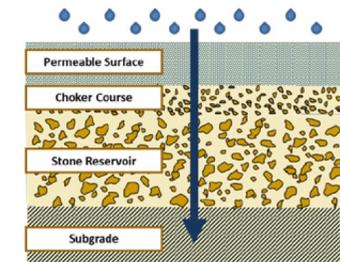
L'acqua meteorica raggiunge e permea il sottofondo. Non sono richiesti sistemi di raccolta per aree esclusivamente pedonali. Adatta in aree caratterizzate da sottofondi di terreni a matrice grossolana e di adeguato spessore.

Infiltrazione parziale:

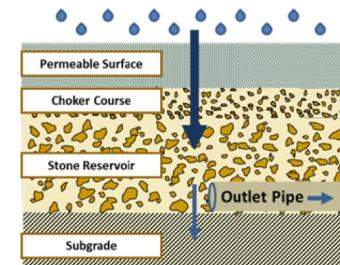
L'acqua meteorica è agevolata ad interessare il sottofondo permeabile, con l'eccesso convogliato in tubazione.

Infiltrazione bassa:

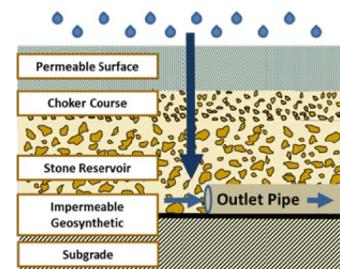
Nei casi in cui la raccolta e l'allontanamento delle acque è desiderato o necessario.



Full Infiltration



Partial Infiltration



Low Infiltration



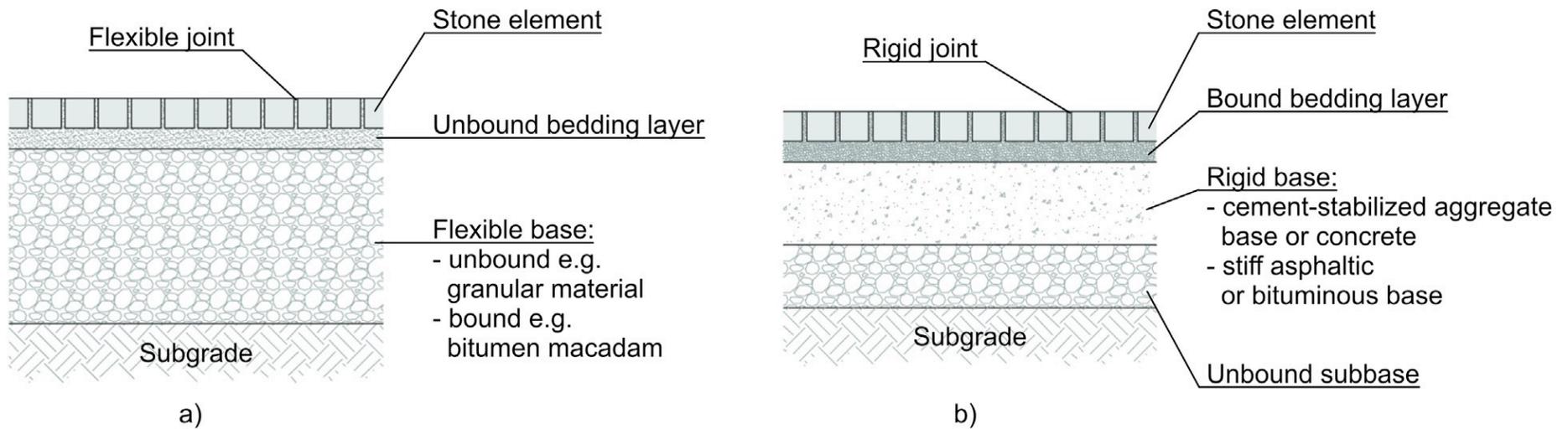
CLASSIFICAZIONE DEGLI AMBIENTI DI DESTINAZIONE

Classe	Localizzazione	Accesso, impiego e destinazione
P.1	Interno	Residenziale
P.2		Pubblico/commerciale leggero
P.3		Pubblico/commerciale pesante/industriale
P.4	Esterno	Esclusivamente pedonale, residenziale
P.5		Pedonale e ciclabile pubblico/commerciale
P.6		Residenziale/pubblico occasionalmente carrabile
P.7		Aree pedonali, mercati occasionalmente utilizzati da veicoli per le consegne e di emergenza
P.8		Aree pedonali spesso utilizzate da autoveicoli pesanti
P.9		Vie e strade

Fonte: Norma UNI 11714-1:2018 "Rivestimenti lapidei di superfici orizzontali, verticali e soffitti. Parte 1: Istruzioni per la progettazione, la posa e la manutenzione".



PROGETTAZIONE DEL GIUNTO (MATERIALI E PRESTAZIONE ATTESA)

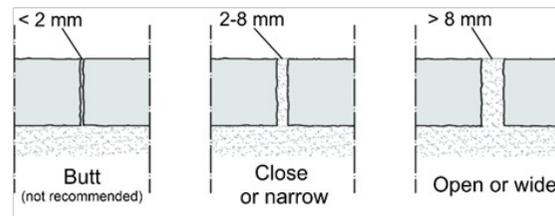
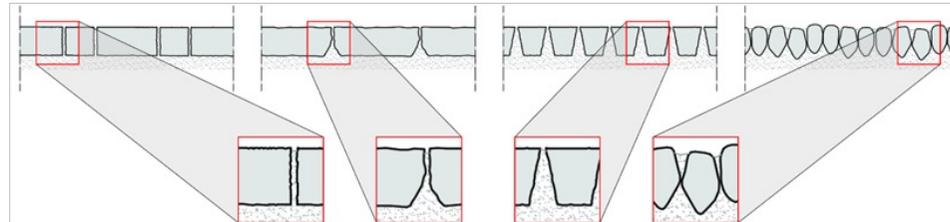


Fonte: Autelitano F. et al. "Criteria for the selection and design of joints for street pavements in natural stone".
Construction and Building Materials, 2020.

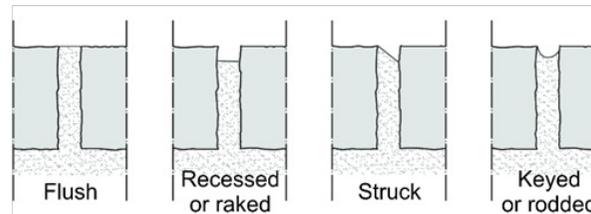


PROGETTAZIONE DEL GIUNTO (MATERIALI E PRESTAZIONE ATTESA)

Larghezza



Finitura



PROGETTAZIONE DEL GIUNTO (MATERIALI E PRESTAZIONE ATTESA)



Type	Behavior	Load transfer	Physical state	Drainability	Appearance		
					Color	Finish	Brightness
Fine sand/Gravel	Flexible	Friction	Granular solid	Good	Aggregate color	Fairly grainy/Grainy	Matte
Polymeric sand	Flexible	Friction/Adhesion	Granular solid	Poor	Sand color + pigment	Fairly grainy	Matte
Polymeric resin mortar	Flexible	Friction/Adhesion	Granular solid	Poor	Sand color + pigment	Fairly grainy	Matte
Asphalt base compound	Cement	Flexible	Solid Viscous (80-160 °C) Liquid (> 180°C)	None	Black/dark grey	Smooth	Matte
	Mastic	Flexible	Solid Viscous (80-160 °C)			Smooth	Matte
	Emulsion	Flexible	Liquid			Smooth	Matte
Cement based	Mortar	Rigid	Pasty/self-compacting	Poor	Grey + pigment	Smooth	Matte
	Modified mortar	Rigid	Adhesion Viscous			Smooth	Matte
	Grout	Rigid	Slurry			Smooth	Matte
Polyurethane resin	Semi-rigid	Friction/Adhesion	Liquid	Quite good	Gravel color + thin amber film	Grainy	Glossy

Fonte: Autelitano F. et al. "Criteria for the selection and design of joints for street pavements in natural stone".
Construction and Building Materials, 2020.



Prof. Ing. Felice Giuliani

PROGETTAZIONE DEL GIUNTO (MATERIALI E PRESTAZIONE ATTESA)



Type	Application			Operator		Opening to traffic		Cost	Frequency ordinary maintenance	
	Technique	Filling time*	Main tools	Working position	Skills	pedestrian	vehicular			
Fine Sand/Gravel	Dry brush-in	Short	Sweeping broom	Standing	Low	Immediate		Low	High	
Polymeric sand	Dry brush-in	Short	Sweeping broom + Garden hose	Standing	Low	24 h	48/72 h	High	Non-documented	
Polymeric resin mortar	Dry brush-in	Short	Sweeping broom + Garden hose	Standing	Low	24 h	48/72 h	High	Non-documented	
	Wash-in	Short	Squeegee + Garden hose	Standing						
Asphalt base compound	Cement			Kneeling	High			Medium		
	Mastic	Pouring	Long	Pouring bucket	Kneeling	High	12 h	24 h	Medium	Low
	Emulsion				Kneeling	High			Medium	
Cement based		Pouring	Short	Squeegee	Standing	Low			Low	
	Mortar	Injection	Short/Medium	Caulking gun	Kneeling	High			Medium	
		Hand-pointing	Medium/Long	Trowel	Kneeling	Medium	48 h	7/10 days	Low	Low (early life) High (after cracking)
	Modified mortar	Pouring	Short	Squeegee	Standing	Low	(min.)	(min.)	Medium	
	Grout	Injection	Medium/Long	Caulking gun	Kneeling	Medium			Medium	
		Slurry	Short	Squeegee	Standing	Low			Low	
Polyurethane resin	Injection	Long	Sweeping broom+injector/nebulizer	Kneeling	High	12/24 h	24/48 h	Very high	Non-documented	

* excluding curing time

Fonte: Autelitano F. et al. "Criteria for the selection and design of joints for street pavements in natural stone". Construction and Building Materials, 2020.



Prof. Ing. Felice Giuliani

PROGETTAZIONE DEL GIUNTO (MATERIALI E PRESTAZIONE ATTESA)

☐ Requisiti tecnici

- Resistenza a sollecitazioni
 - Meccaniche
 - Termo-igrometriche e chimiche
 - Carichi verticali ed orizzontali
- Tipologia di costruzione in relazione al tipo di traffico
 - Rigida
 - Flessibile
- Materiali e spessore degli strati
- Specifiche degli elementi
 - Natura mineralogica
 - Dimensione
 - Forma
 - Tessitura
 - Fughe o giunti
- Disposizione degli elementi

☐ Requisiti estetici

- Integrazione con il costruito e l'ambiente urbano
- Orditura degli elementi
- Resa Cromatica

☐ Requisiti economici

- Analisi dei costi nel ciclo di vita
 - Materiali
 - Manodopera specializzata
- Apertura al traffico
- Frequenza di manutenzione
- Gestione dei sottoservizi

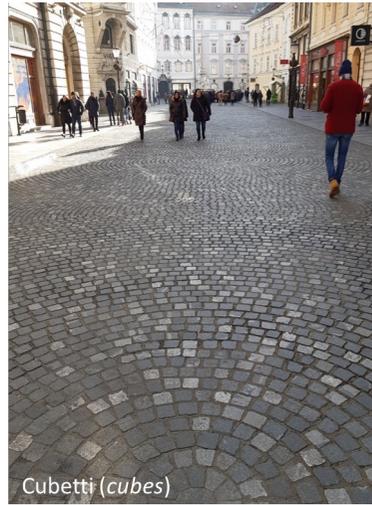




Ciottoli (*cobblestones*)



Binderi (*setts*)



Cubetti (*cubes*)



Blocchi (*blocks*)



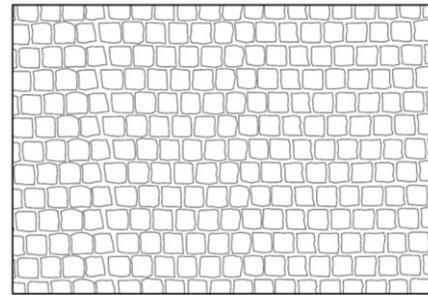
Lastre (*flagstones*)



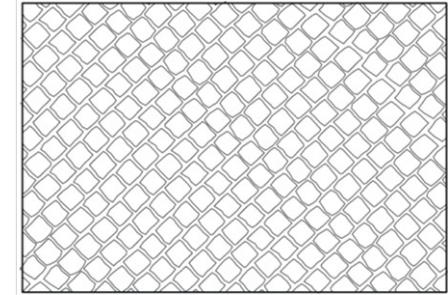
Lastrame (*polygonal flags*)



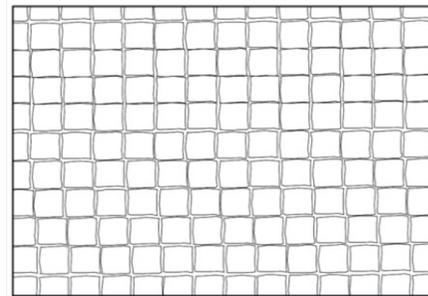
APPARECCHIATURA E RELATIVE FUNZIONI



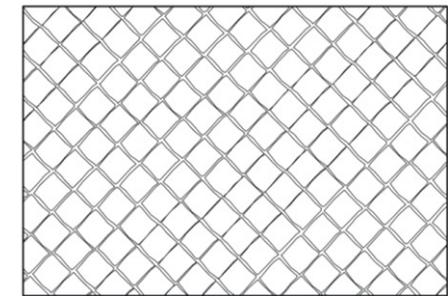
A file dritte (*stretcher bond*)



A file dritte con inclinazione 45° (*stretcher bond 45°*)



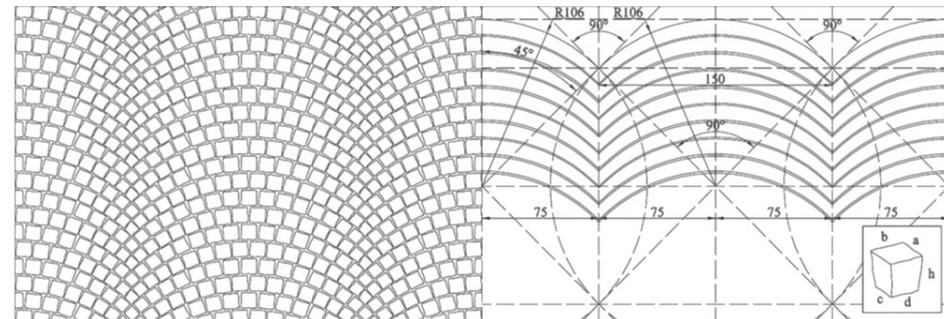
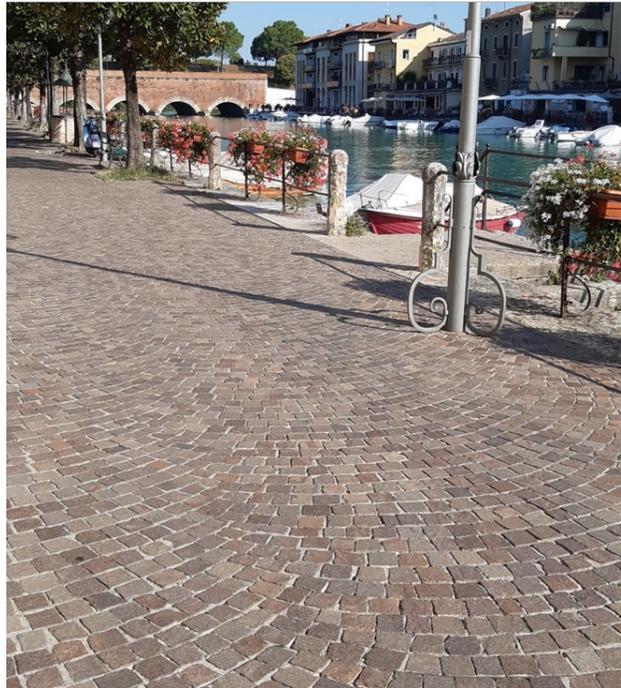
A file ortogonali (*stacked bond*)



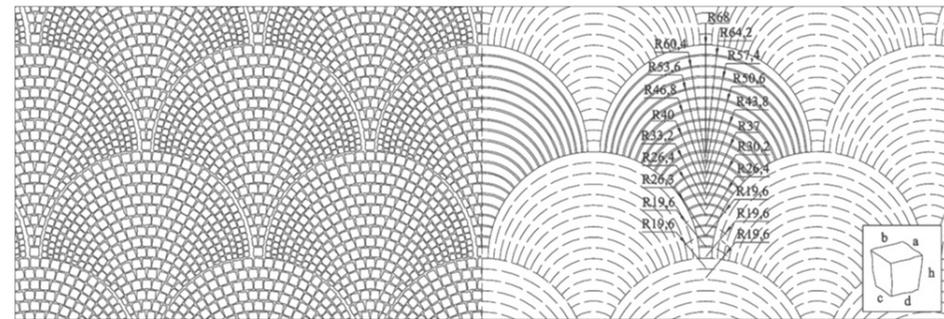
A file ortogonali con inclinazione 45° (*stacked bond 45°*)



APPARECCHIATURA E RELATIVE FUNZIONI



Archi contrastanti (*overlapping arch*)



A ventaglio (*polycentric fan*)

Fonte: Garilli E. et al. "Stone pavement materials and construction methods in Europe and North America between the 19th and 20th century". IJAH, 2019.

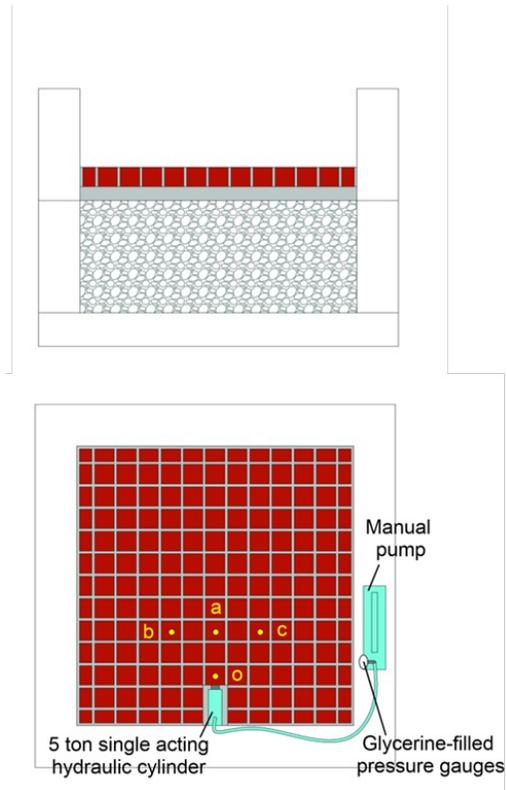


Prof. Ing. Felice Giuliani

APPARECCHIATURA E RELATIVE FUNZIONI



APPARECCHIATURA E RELATIVE FUNZIONI

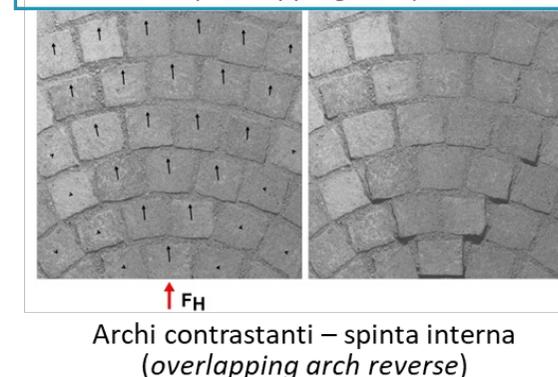
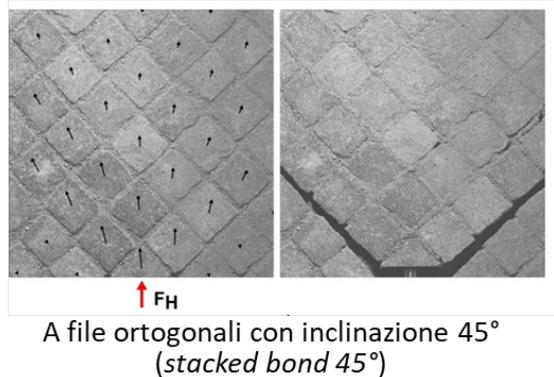
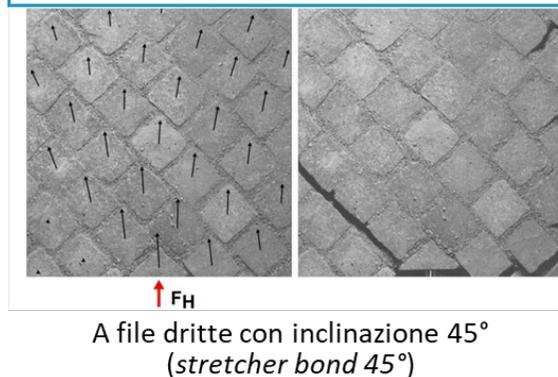
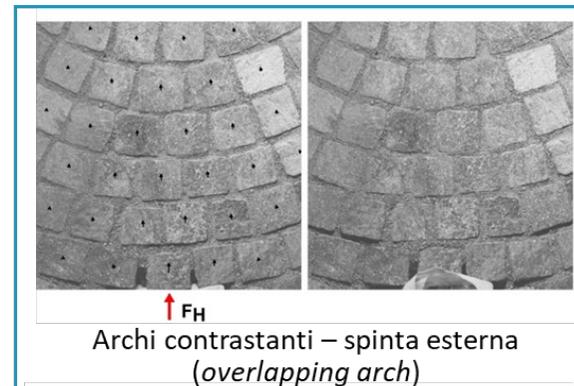
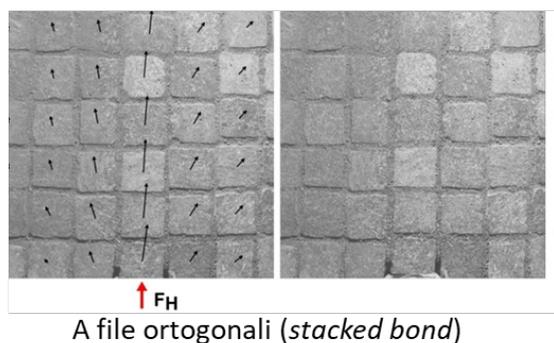
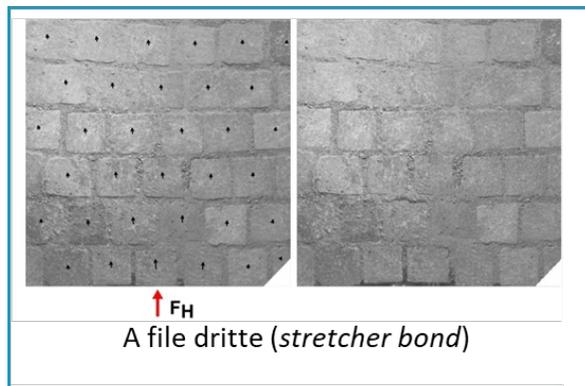


Fonte: Garilli E. et al. «The influence of laying patterns on the behaviour of historic stone pavements subjected to horizontal loads», Construction and Building Materials, 2020.



Prof. Ing. Felice Giuliani

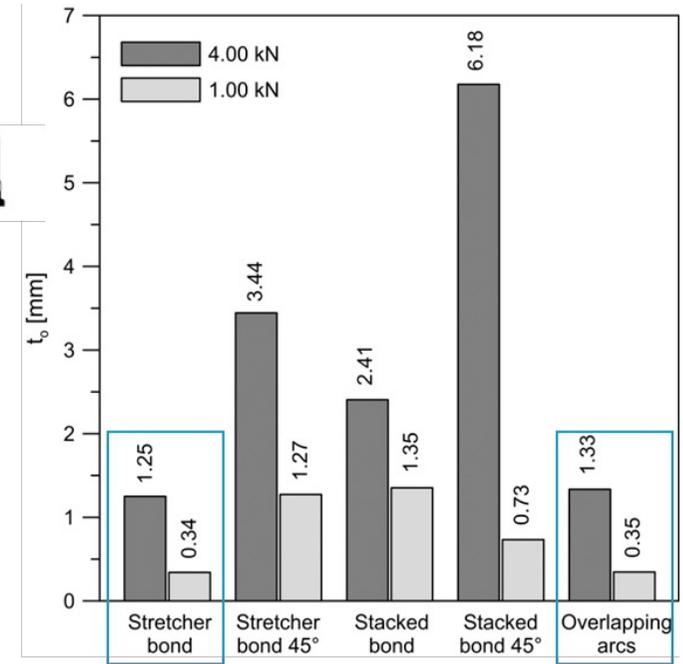
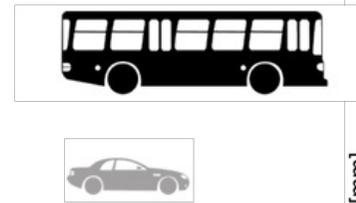
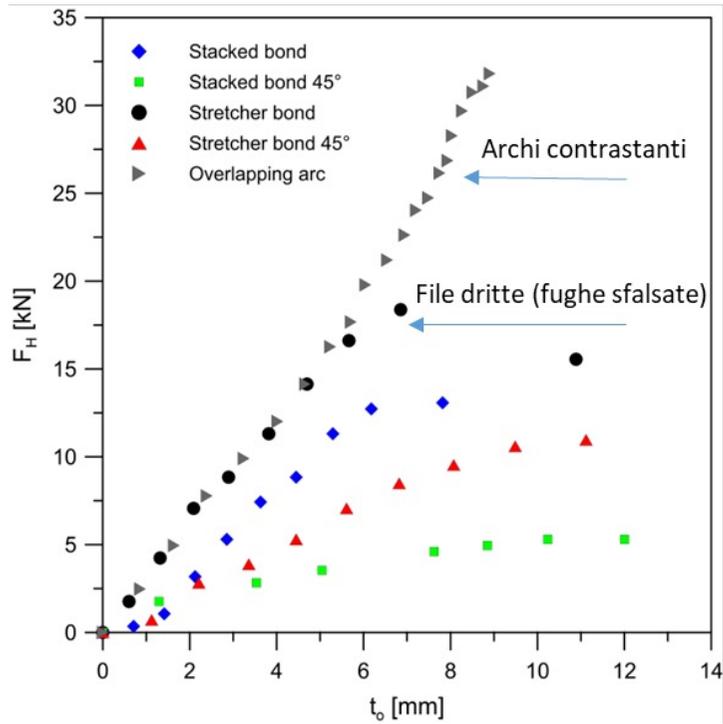
APPARECCHIATURA E RELATIVE FUNZIONI



Fonte: Garilli E. et al. «The influence of laying patterns on the behaviour of historic stone pavements subjected to horizontal loads», Construction and Building Materials, 2020.

Prof. Ing. Felice Giuliani

APPARECCHIATURA E RELATIVE FUNZIONI



Fonte: Garilli E. et al. «The influence of laying patterns on the behaviour of historic stone pavements subjected to horizontal loads», Construction and Building Materials, 2020.

Prof. Ing. Felice Giuliani

COMFORT DEL PEDONE PER PERCORSI CICLO-PEDONALI IN PIETRA

Pavement	Material	Dimensions of elements [mm]	Photo	Mean width of joints [mm]	Mean depth of joints [mm]	Age [years]
P01	Luserna stone	150 x 900		10	3	1
P02	Luserna stone	100 x 750		10	3	1
P03	Porphyry	200÷400 x 400÷1200		10	6	20
P04	Luserna stone	500 x 1000		4	3	< 1
P05	Cuasso's red porphyry	250÷400 x 250÷400		30	5	> 50
P06	Granite	250÷400 x 250÷900		25	10	> 50
Pavement	Material	Dimensions of elements [mm]	Photo	Mean width of joints [mm]	Mean depth of joints [mm]	Age [years]
P07	Marble	Irregular		Thin and irregular	0.2	> 50
P08	Asphalt concrete	Continuous pavement		No joints	No joints	< 1
P09	Porphyry	80÷120 x 80÷120		20	5	1
P10	Luserna stone	60÷90 x 60÷90		25	9	3
P11	Concrete	96 x 194		2	1	10
P12	Concrete	102 x 206		2	1	6

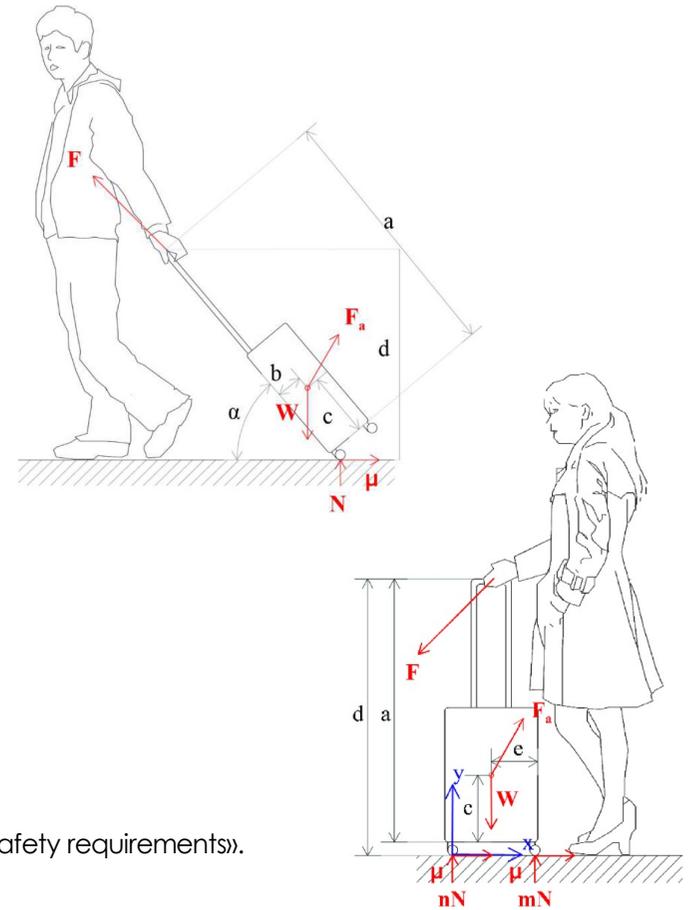
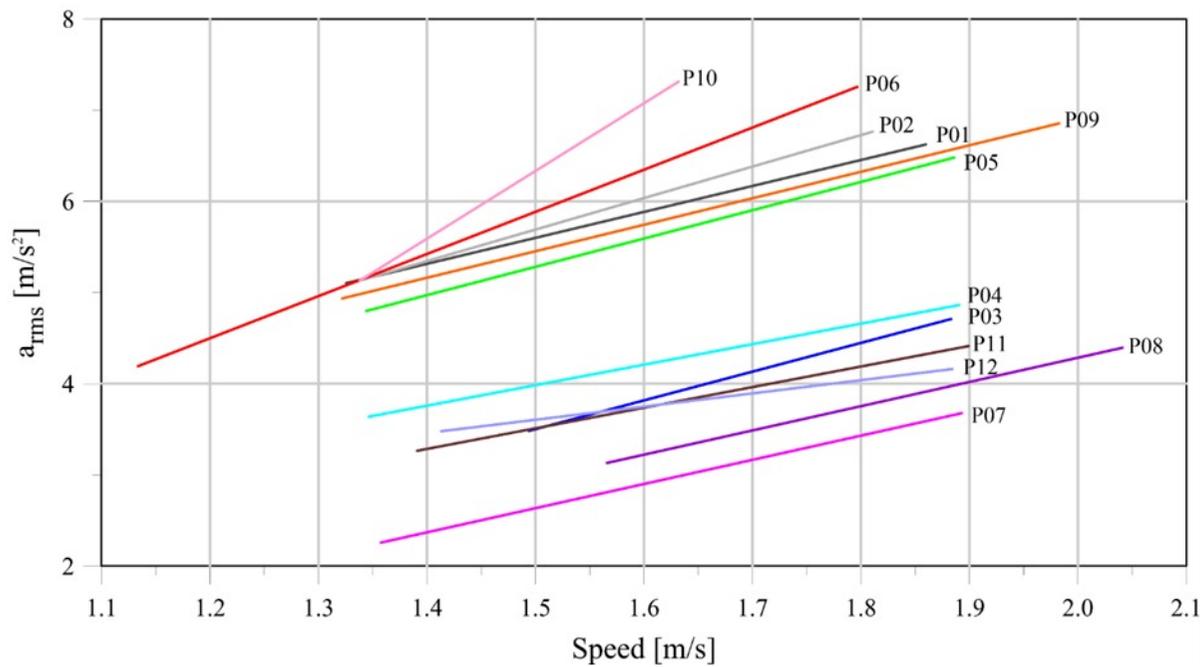


Fonte: Garilli E. et al. «Urban pedestrian stone pavements: measuring functional and safety requirements». International Journal of Pavement Engineering, 2021.

Prof. Ing. Felice Giuliani

COMFORT DEL PEDONE PER PERCORSI CICLO-PEDONALI IN PIETRA

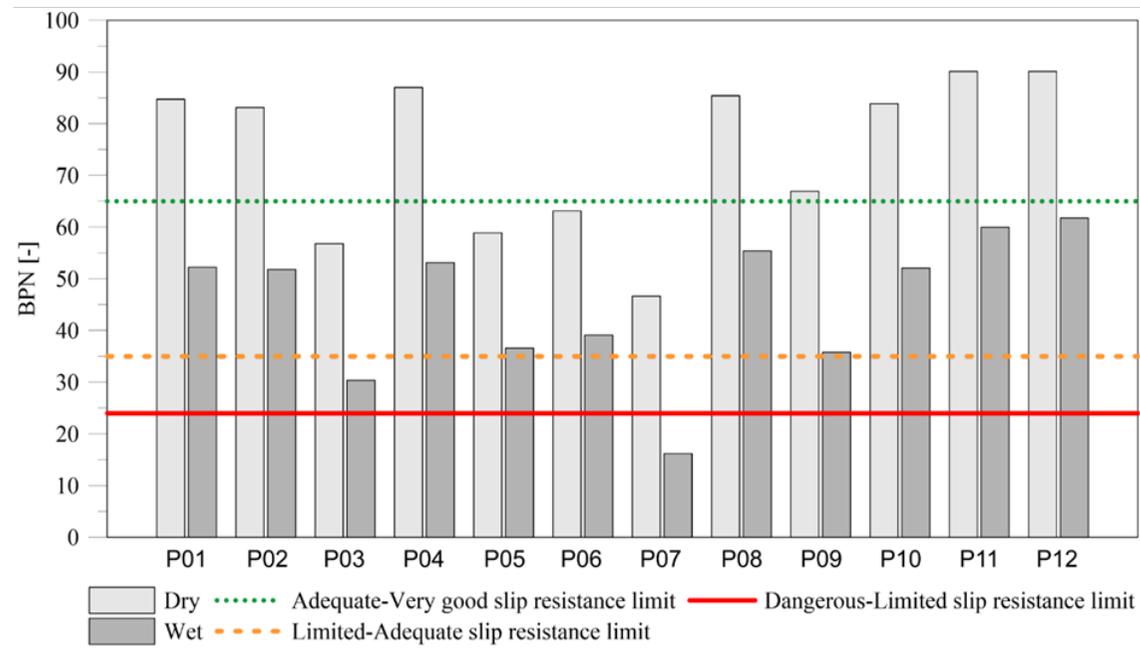
Stone Pavement Suitcase Trolley Test (SPSTT)



Fonte: Garilli E. et al. «Urban pedestrian stone pavements: measuring functional and safety requirements». International Journal of Pavement Engineering, 2021.

COMFORT DEL PEDONE PER PERCORSI CICLO-PEDONALI IN PIETRA

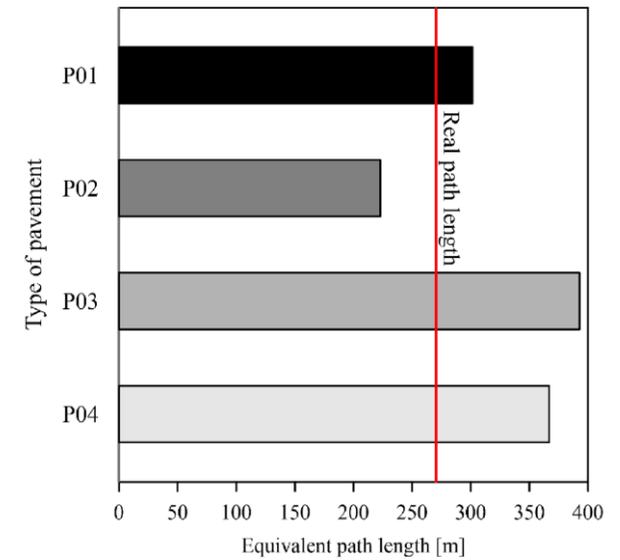
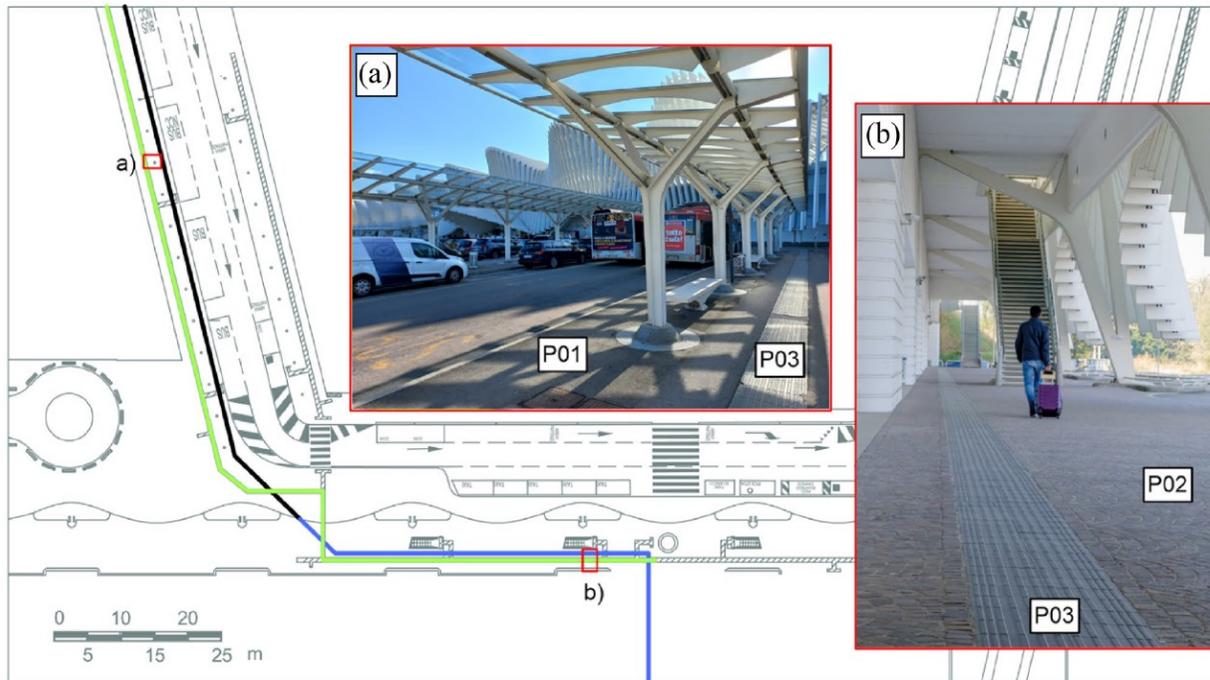
Skid Resistance Test (BPN)



Prof. Ing. Felice Giuliani

COMFORT DEL PEDONE PER PERCORSI CICLO-PEDONALI IN PIETRA

Cambi materici/giunti in percorsi misti



Fonte: Garilli E. et al. «Impact of Pedestrian Pavement Design on the Users' Comfort Level in an Intermodal Passenger Terminal». International Journal of Pavement Research and Technology, 2023.

Prof. Ing. Felice Giuliani

PROFILO TRASVERSALE: RISPETTO DELLE QUOTE E TOLLERANZE COSTRUTTIVE

Pavimentazioni a lastre di pietra



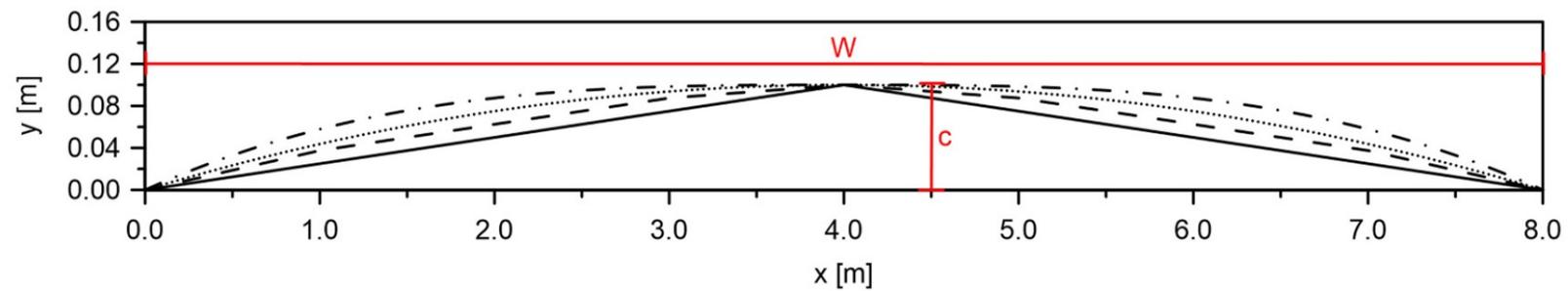
Fonte: Garilli E. et al. «Development of nomograms for the prediction of inherent geometric defects in stone block pavements». Automation in Construction, 2024.



Prof. Ing. Felice Giuliani

PROFILO TRASVERSALE: RISPETTO DELLE QUOTE E TOLLERANZE COSTRUTTIVE

Pavimentazioni a lastre di pietra

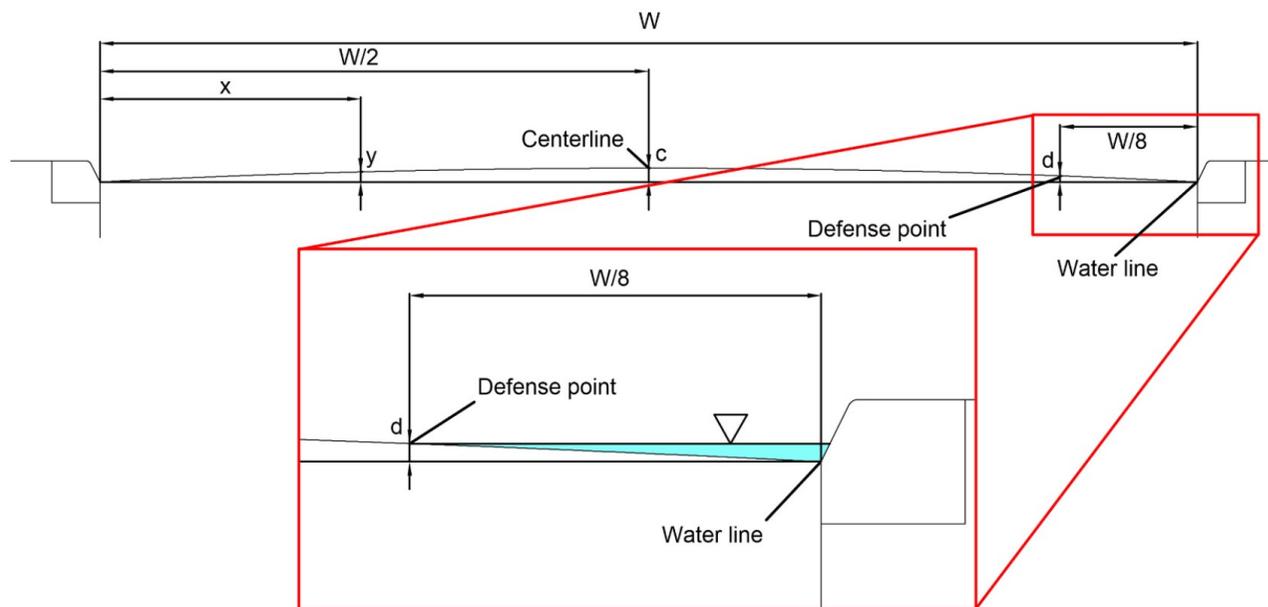


Fonte: Garilli E. et al. «Development of nomograms for the prediction of inherent geometric defects in stone block pavements». Automation in Construction, 2024.

Prof. Ing. Felice Giuliani

PROFILO TRASVERSALE: RISPETTO DELLE QUOTE E TOLLERANZE COSTRUTTIVE

Pavimentazioni a lastre di pietra

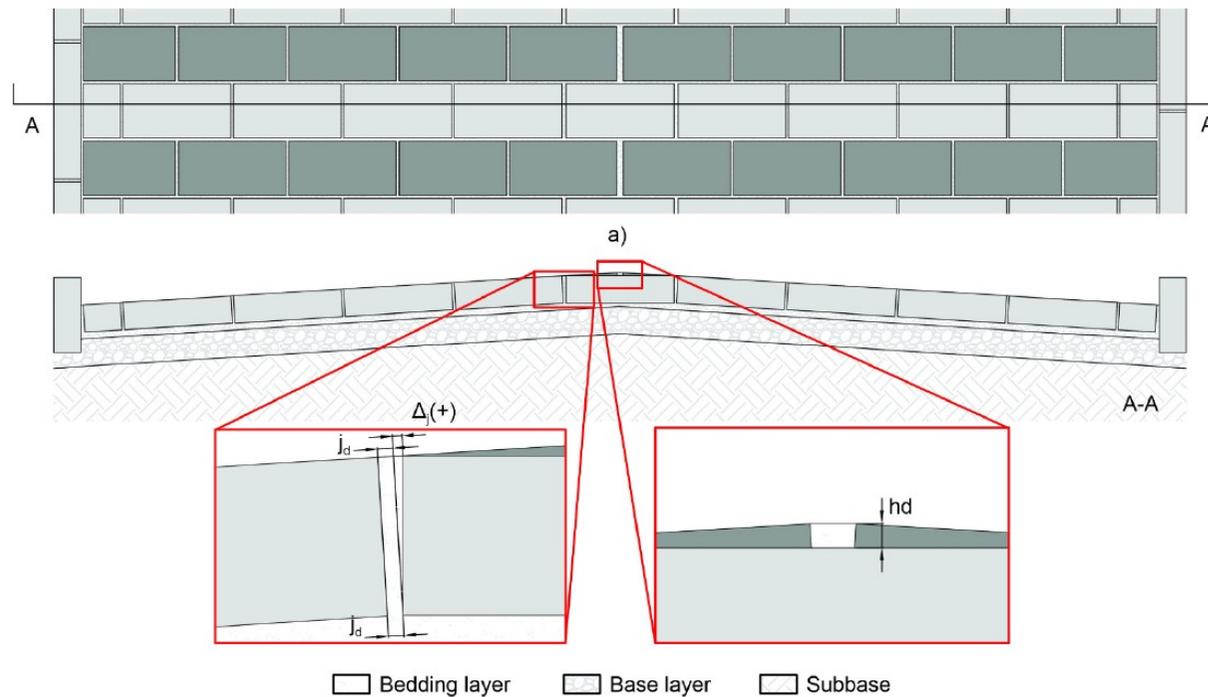


Fonte: Garilli E. et al. «Development of nomograms for the prediction of inherent geometric defects in stone block pavements». Automation in Construction, 2024.

Prof. Ing. Felice Giuliani

PROFILO TRASVERSALE: RISPETTO DELLE QUOTE E TOLLERANZE COSTRUTTIVE

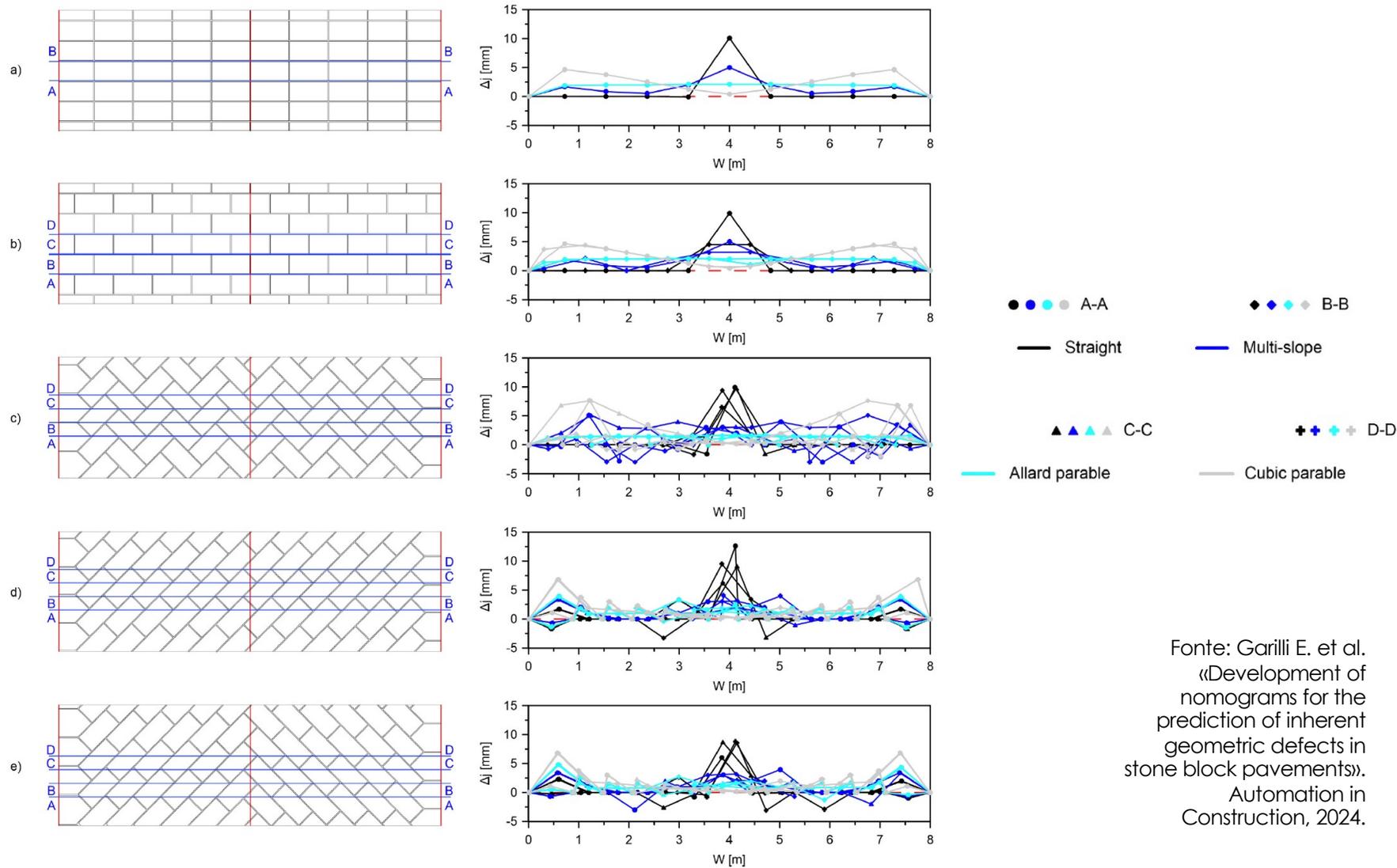
Pavimentazioni a lastre di pietra



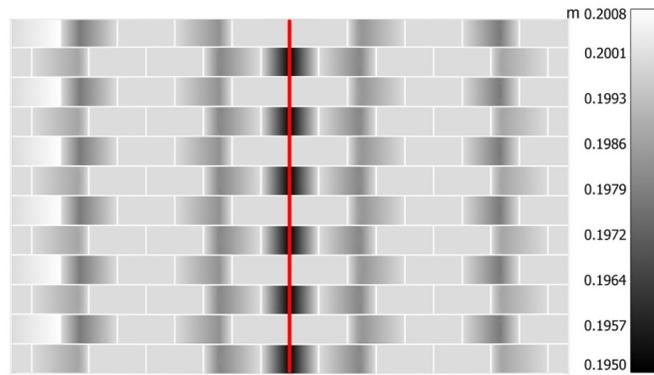
Fonte: Garilli E. et al. «Development of nomograms for the prediction of inherent geometric defects in stone block pavements». Automation in Construction, 2024.



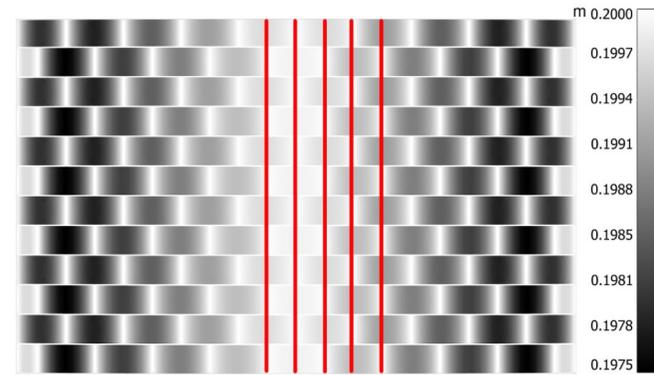
Prof. Ing. Felice Giuliani



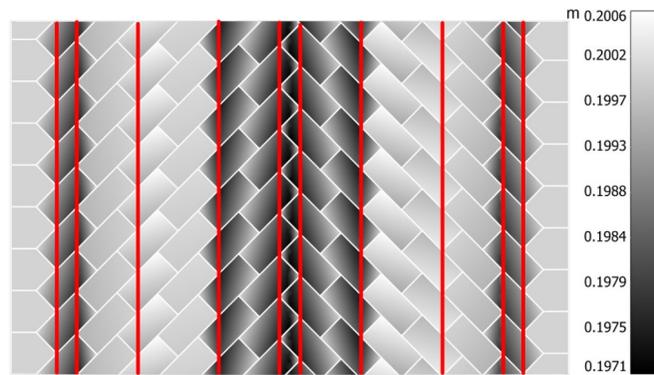
Fonte: Garilli E. et al.
 «Development of
 nomograms for the
 prediction of inherent
 geometric defects in
 stone block pavements».
 Automation in
 Construction, 2024.



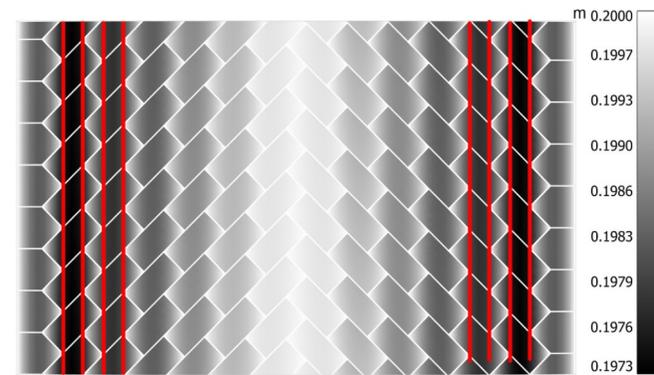
a)



b)



c)



d)

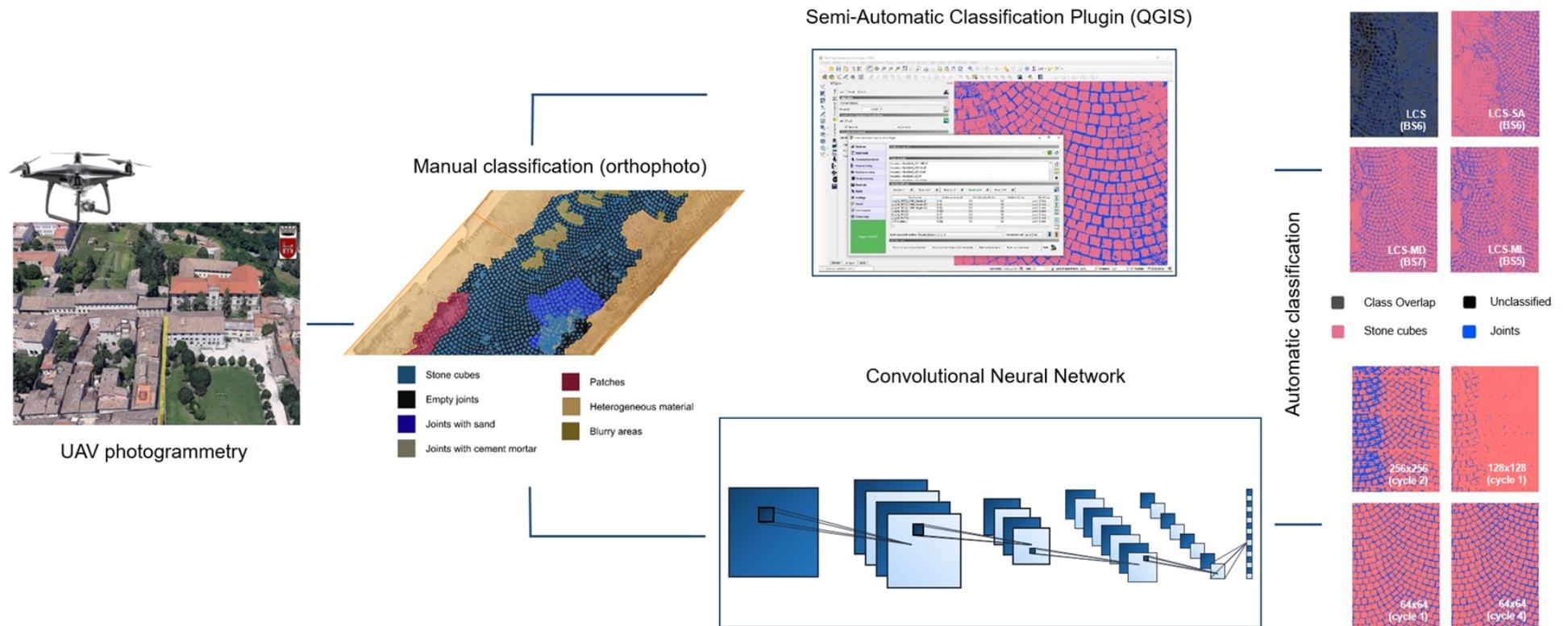
— Critical longitudinal section



Fonte: Garilli E. et al. «Development of nomograms for the prediction of inherent geometric defects in stone block pavements». Automation in Construction, 2024.

Prof. Ing. Felice Giuliani

GESTIONE E MANUTENZIONE NELLA SMART CITY



Fonte: Garilli E., et al. «Automatic detection of stone pavement's pattern based on UAV photogrammetry». Automation in Construction, 2021.



Prof. Ing. Felice Giuliani

Alcune riflessioni, a tecnologie spente, sulle pavimentazioni in pietra.

- Riflettere sui costi attuali generalizzati.
- Nobilitazione del progetto, dal calcolo (dimensionamento) allo studio delle caratteristiche funzionali e ambientali (target di prestazione).
- Considerare l'intrinseco valore assoluto dell'esistente e rimediare al gap culturale scaturito dalla perdita delle abilità costruttive.
- Fermarsi ad ammirarle.



I CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI



Grazie

felice.giuliani@unipr.it



Prof. Ing. Felice Giuliani

