



**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.



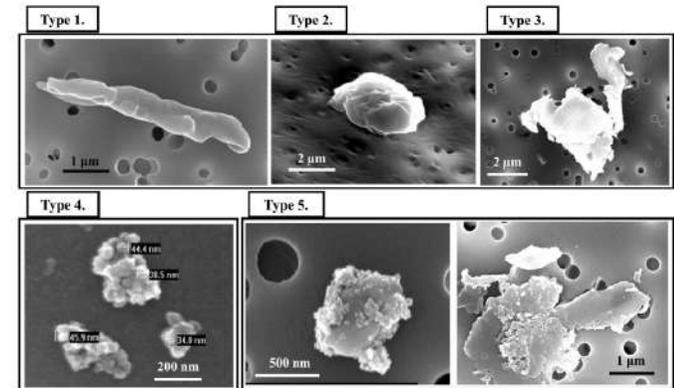
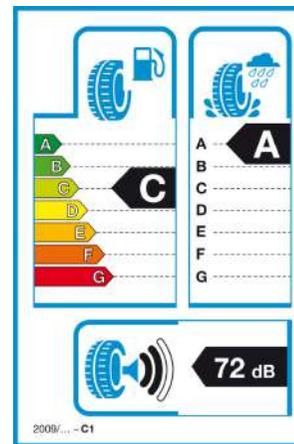
## Qual'è il ruolo del progettista delle infrastrutture viarie?

---

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.



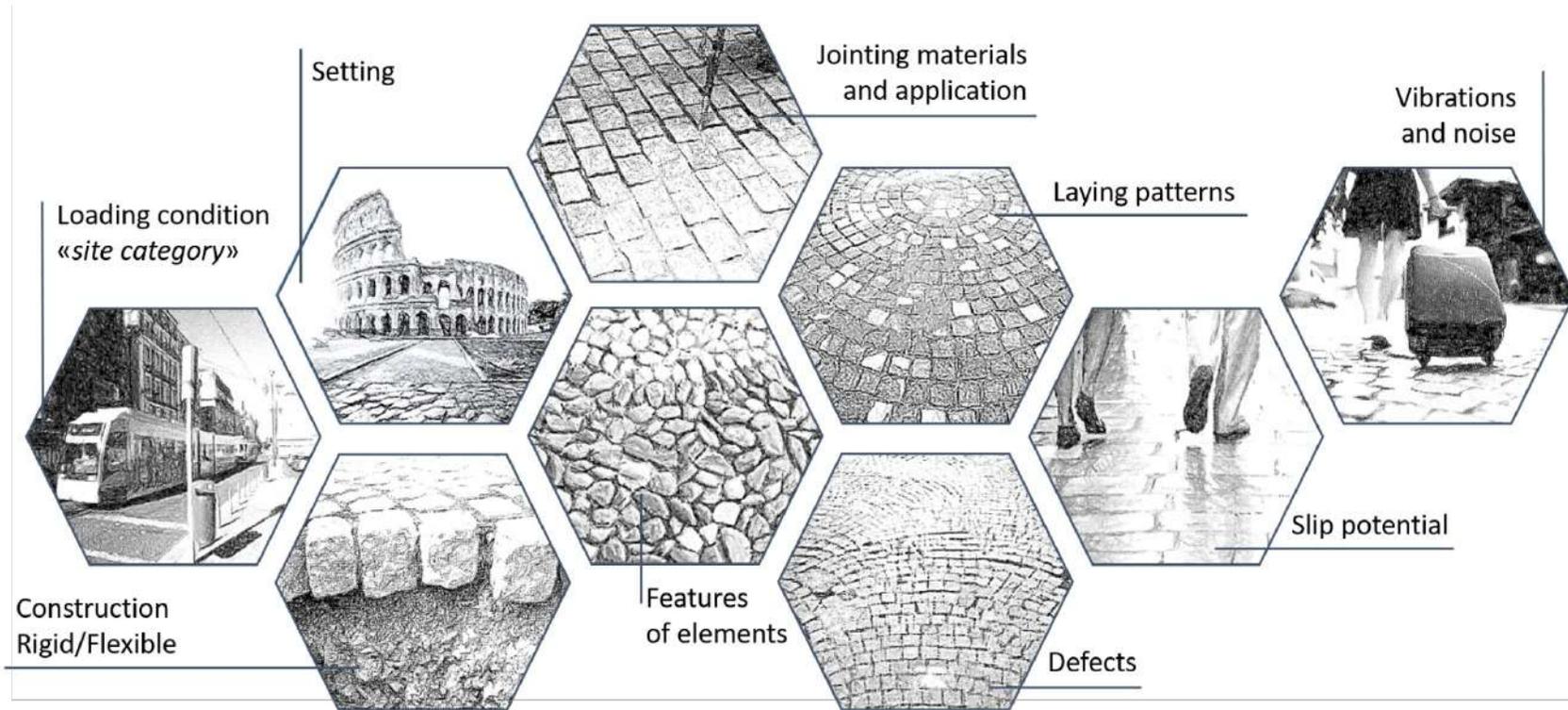
Il progetto manutentivo  
ed il progetto delle nuove realizzazioni



---

Prof. Ing. Felice Giuliani

Il progetto manutentivo  
ed il progetto delle nuove realizzazioni



# 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

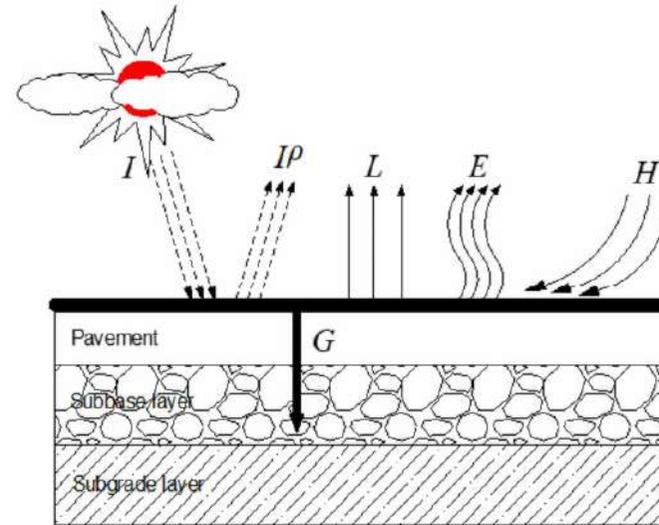
«Che le superfici pavimentate, i marciapiedi, le pavimentazioni di strade carrabili e di aree destinate a parcheggio o allo stazionamento dei veicoli abbiano un indice SRI  $\geq 29$ ».

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:

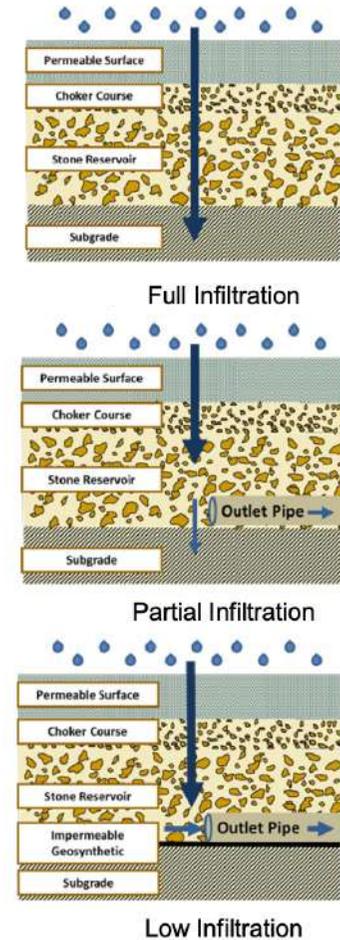
L'acqua meteorica raggiunge e permea il sottofondo. Non sono richiesti sistemi di raccolta per aree esclusivamente pedonali. Adatta in aree caratterizzate da sottofondi di terreni a matrice grossolana e di adeguato spessore.

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.



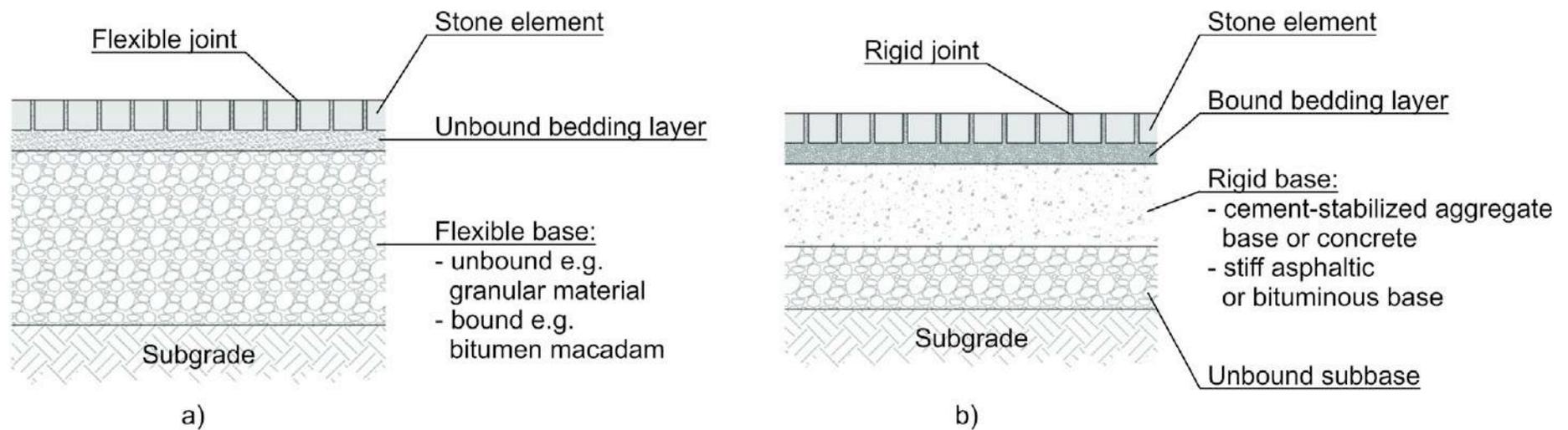
## CLASSIFICAZIONE DEGLI AMBIENTI DI DESTINAZIONE

| 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)

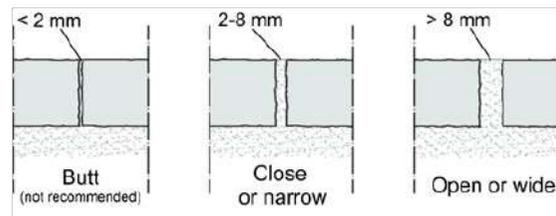
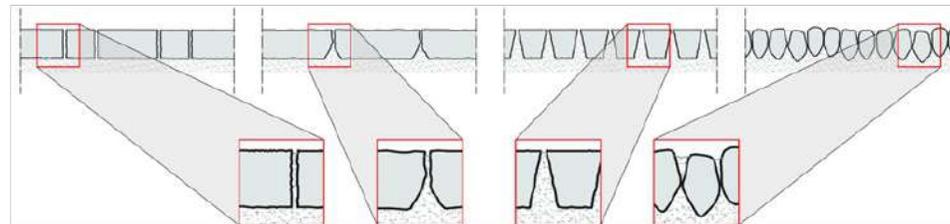


Fonte: Autelitano F. et al. "Criteria for the selection and design of joints for street pavements in natural stone".  
Construction and Building Materials, 2020.

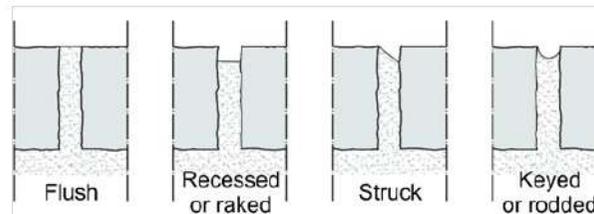


# PROGETTAZIONE DEL GIUNTO (MATERIALI E PRESTAZIONE ATTESA)

## 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<br>Viscous (80-160 °C)<br>Liquid (> 180°C) | None         | Black/dark grey                | Smooth               | Matte      |
|                        | Mastic          | Flexible          | Solid<br>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<br>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         |          |                    |           | High      |                                |   |
| 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)<br>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*)



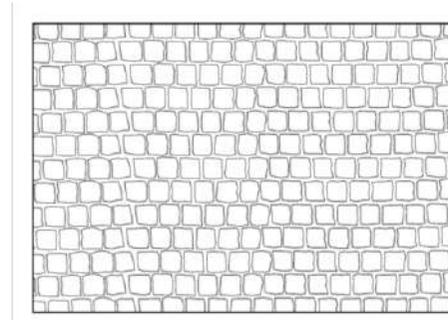
Lastre (*flagstones*)



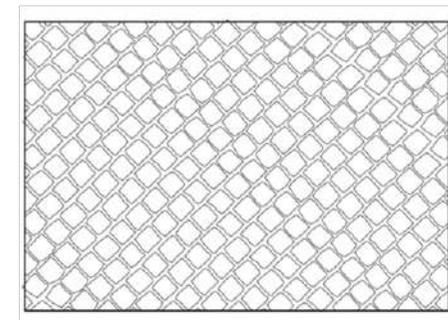
Lastrame (*polygonal flags*)



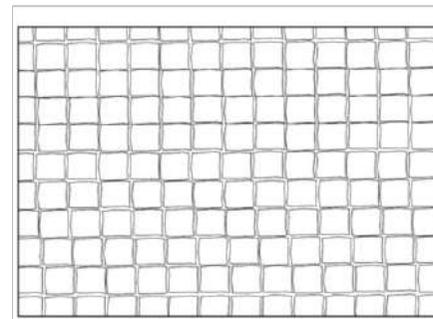
## APPARECCHIATURA E RELATIVE FUNZIONI



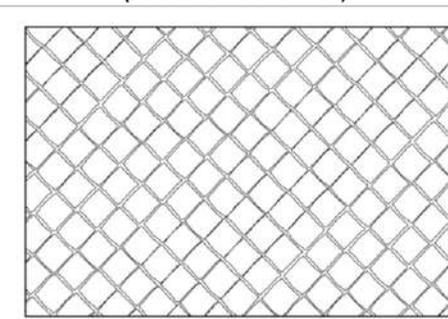
A file dritte (*stretcher bond*)



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



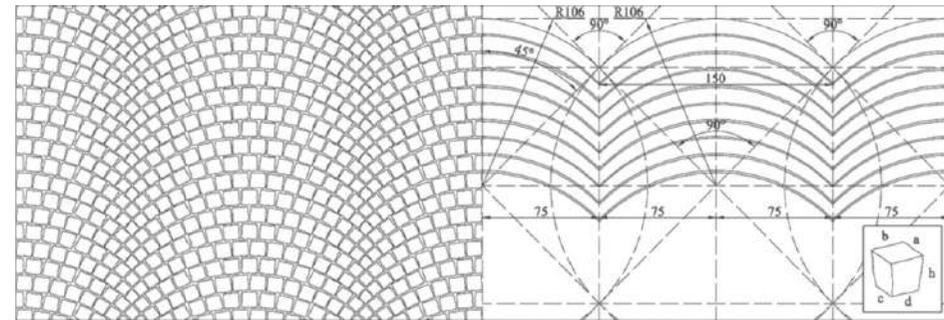
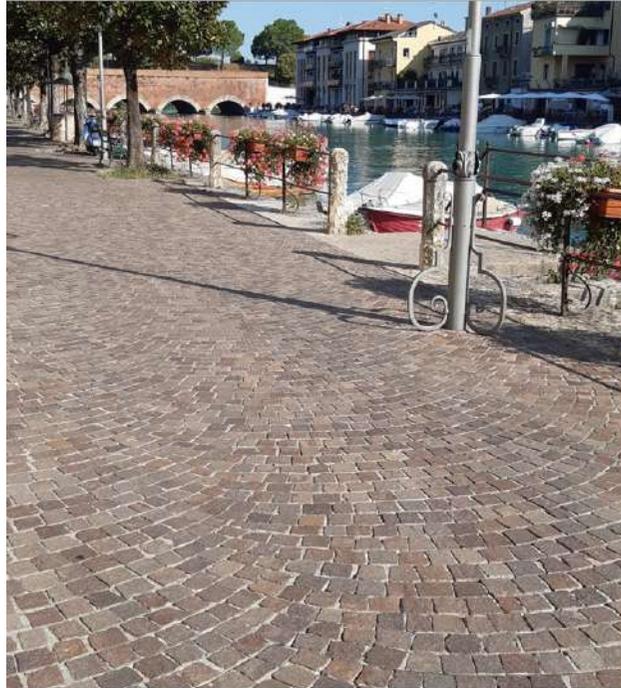
A file ortogonali (*stacked bond*)



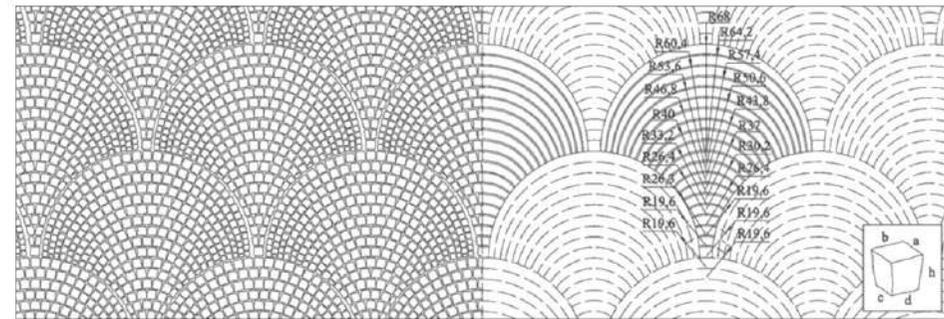
A file ortogonali con inclinazione 45° (*stacked bond 45°*)



## APPARECCHIATURA E RELATIVE FUNZIONI



Archi contrastanti (*overlapping arch*)



A ventaglio (*polycentric fan*)



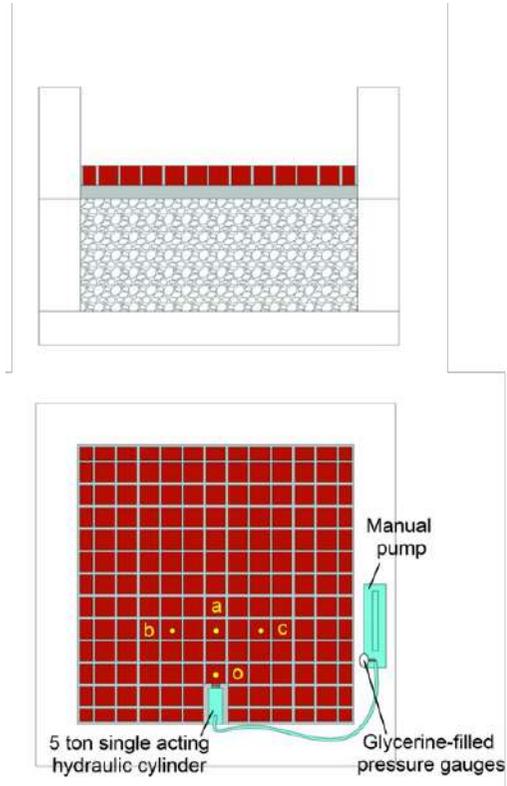
Fonte: Garilli E. et al. "Stone pavement materials and construction methods in Europe and North America between the 19th and 20th century". IJAH, 2019.

Prof. Ing. Felice Giuliani

## APPARECCHIATURA E RELATIVE FUNZIONI



## APPARECCHIATURA E RELATIVE FUNZIONI

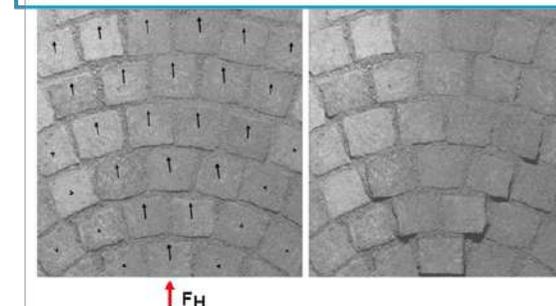
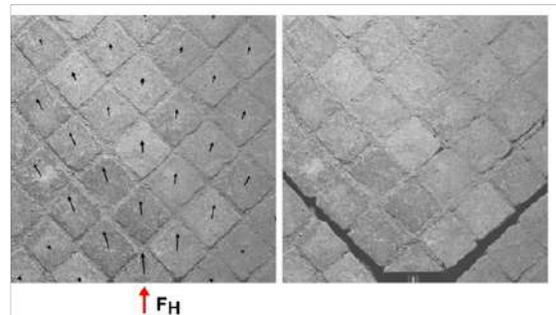
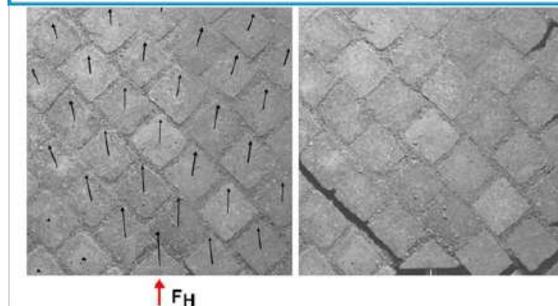
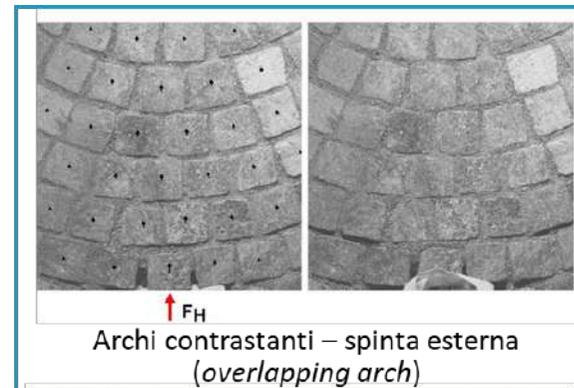
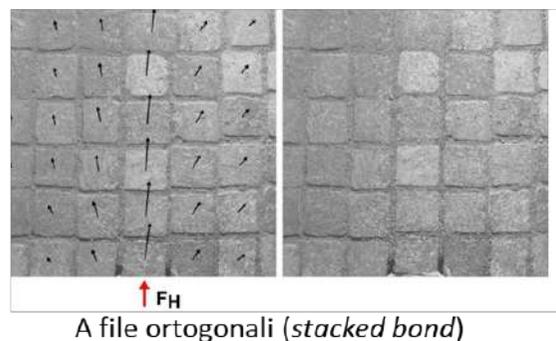
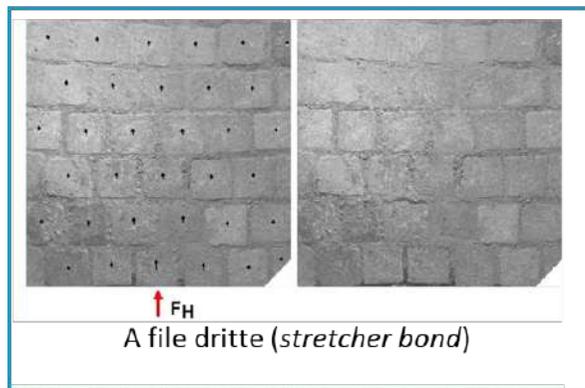


Fonte: Garilli E. et al. «The influence of laying patterns on the behaviour of historic stone pavements subjected to horizontal loads», Construction and Building Materials, 2020.



Prof. Ing. Felice Giuliani

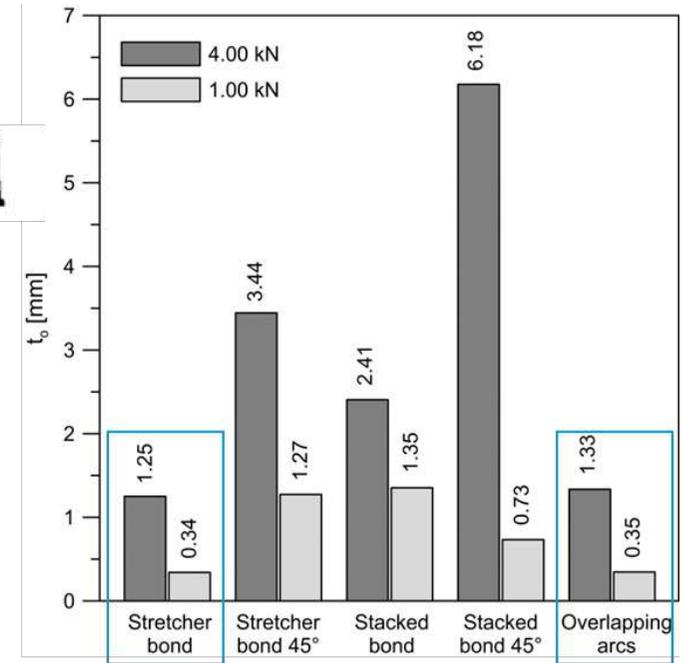
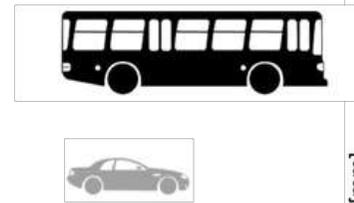
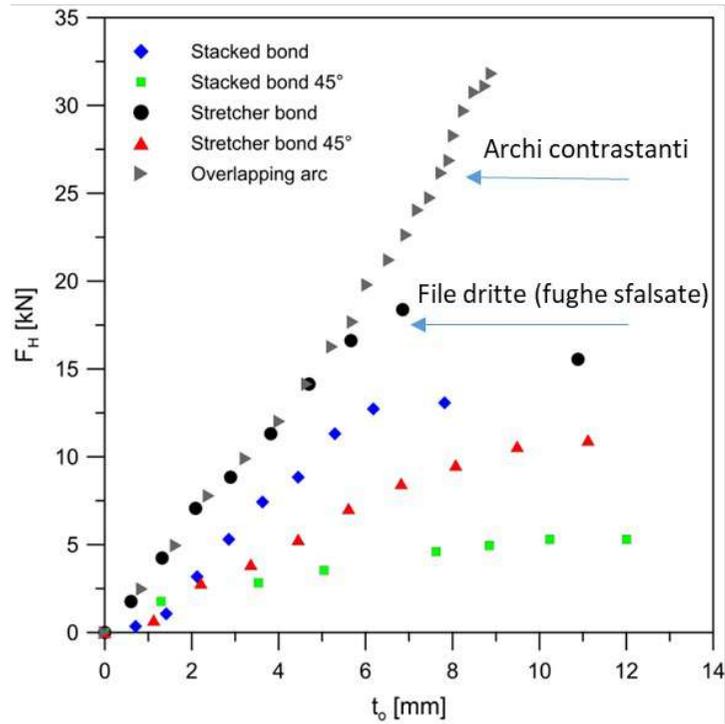
## APPARECCHIATURA E RELATIVE FUNZIONI



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      | Lusema stone          | 150 x 900                   |      | 10                        | 3                         | 1           |
| P02      | Lusema stone          | 100 x 750                   |      | 10                        | 3                         | 1           |
| P03      | Porphyry              | 200÷400 x 400÷1200          |      | 10                        | 6                         | 20          |
| P04      | Lusema stone          | 500 x 1000                  |      | 4                         | 3                         | < 1         |
| P05      | Quasso's red porphyry | 250÷400 x 250÷400           |     | 30                        | 5                         | > 50        |
| P06      | Granite               | 250÷400 x 250÷900           |    | 25                        | 10                        | > 50        |
| P07      | Marble                | Irregular                   |    | Thin and irregular        | 0.2                       | > 50        |
| P08      | Asphalt concrete      | Continuucus pavement        |    | No joints                 | No joints                 | < 1         |
| P09      | Porphyry              | 80÷120 x 80÷120             |    | 20                        | 5                         | 1           |
| P10      | Lusema 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           |

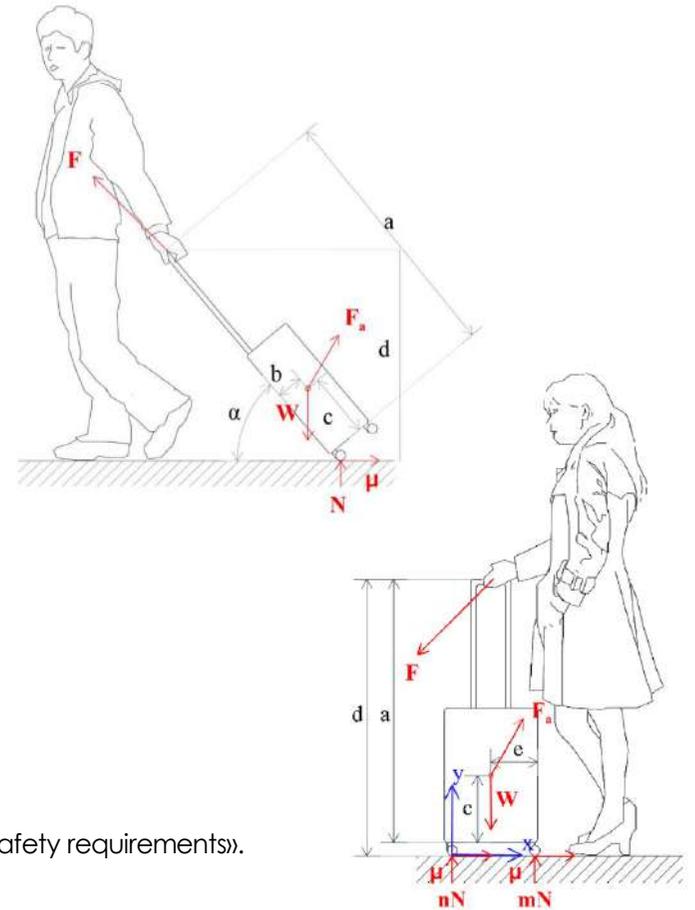
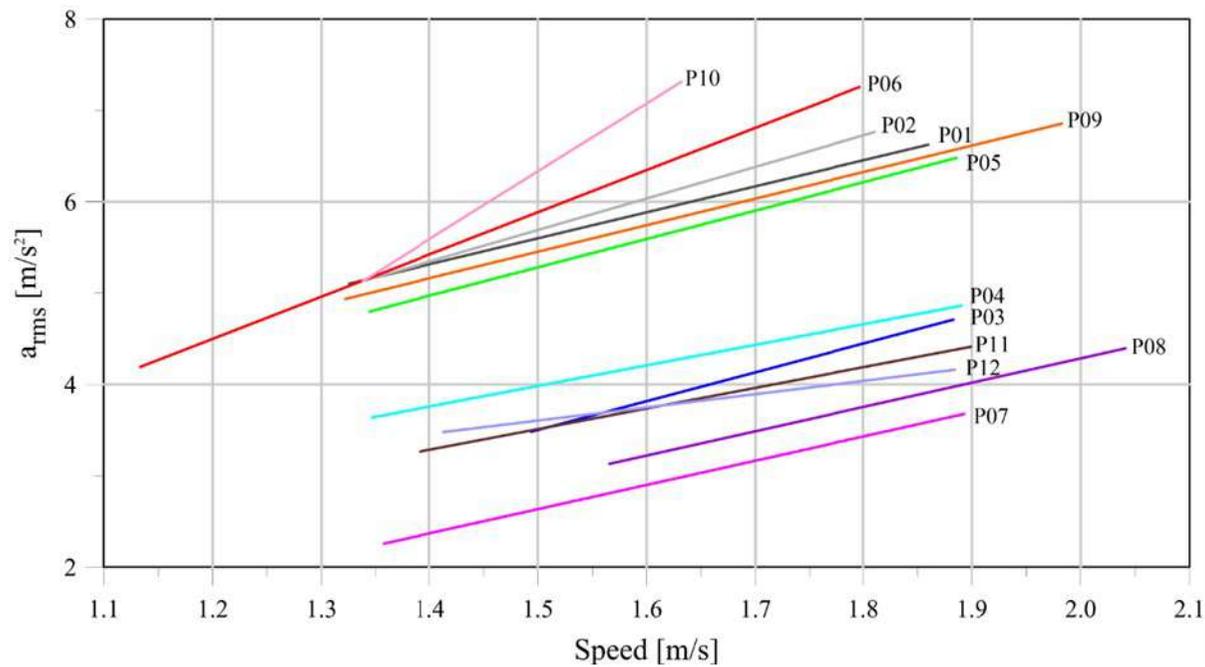


Fonte: Garilli E. et al. «Urban pedestrian stone pavements: measuring functional and safety requirements». International Journal of Pavement Engineering, 2021.

Prof. Ing. Felice Giuliani

# COMFORT DEL PEDONE PER PERCORSI CICLO-PEDONALI IN PIETRA

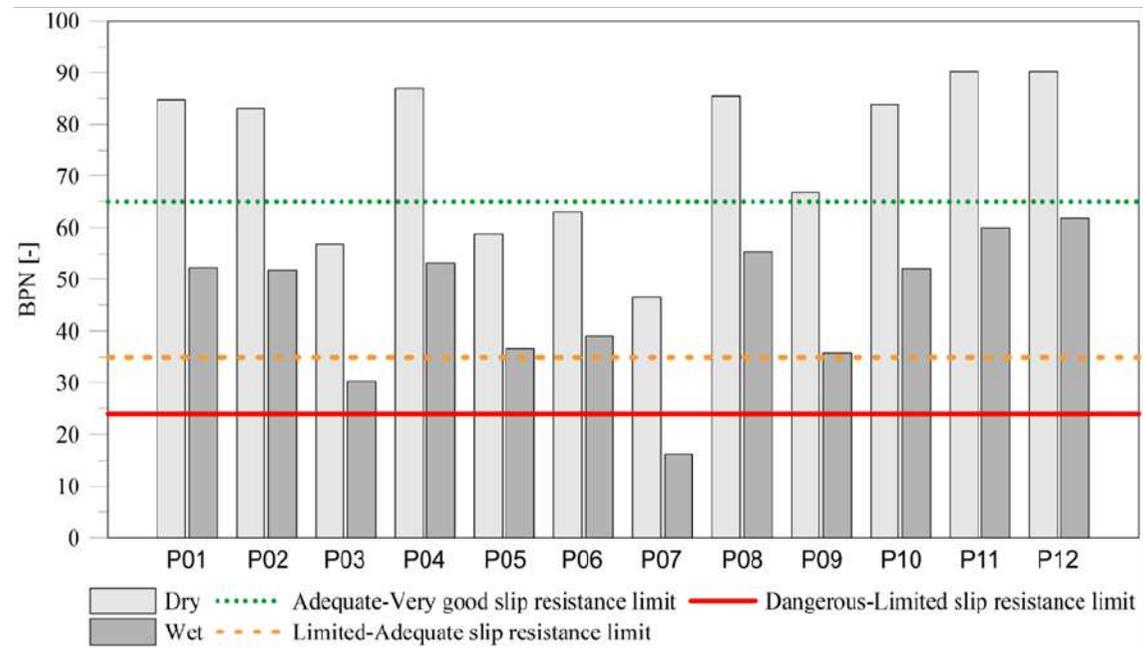
## Stone Pavement Suitcase Trolley Test (SPSTT)



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

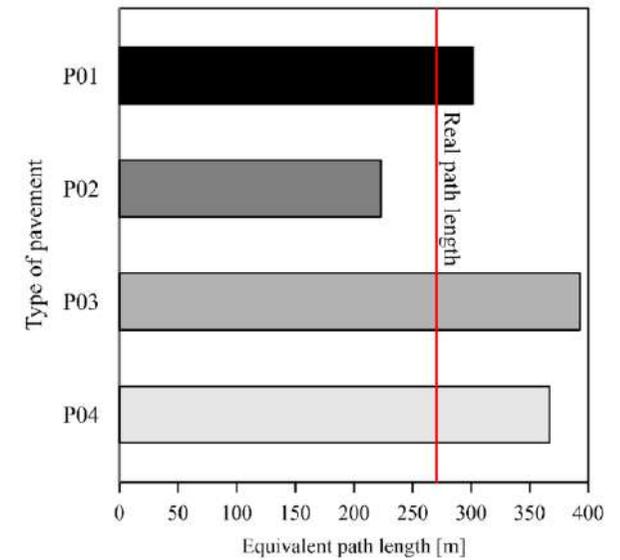
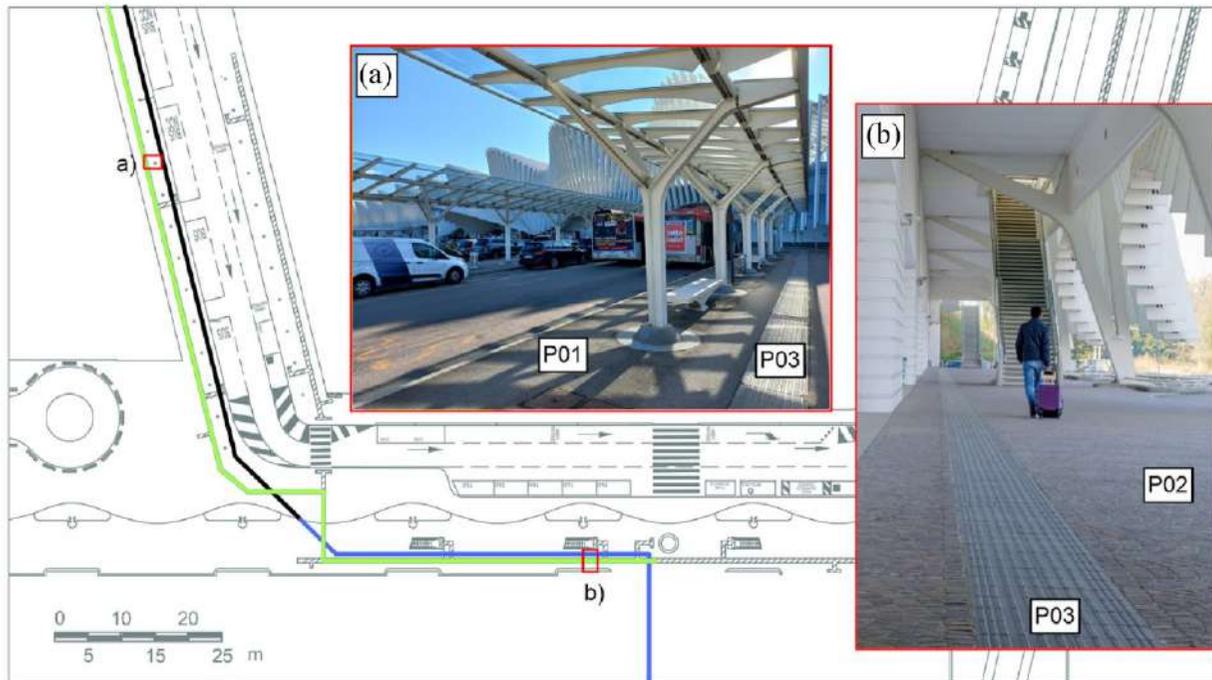
## Skid Resistance Test (BPN)



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



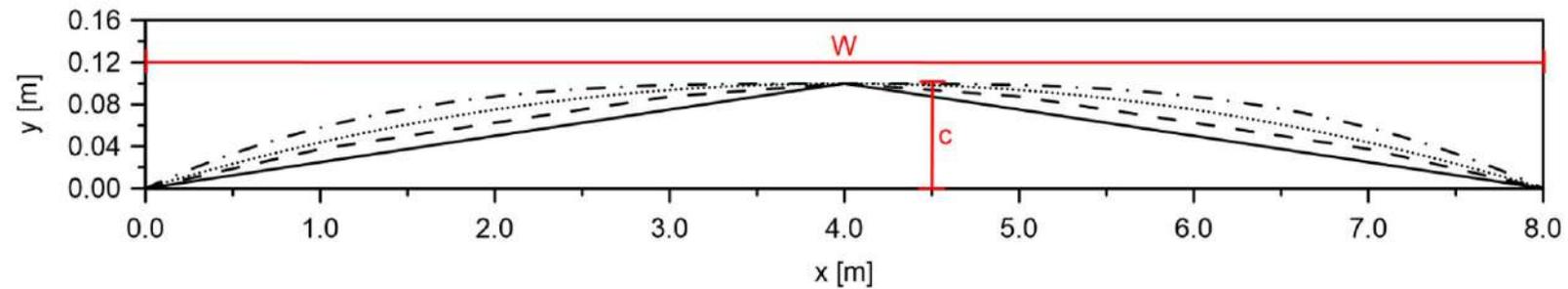
Fonte: Garilli E. et al. «Development of nomograms for the prediction of inherent geometric defects in stone block pavements». Automation in Construction, 2024.



Prof. Ing. Felice Giuliani

# PROFILO TRASVERSALE: RISPETTO DELLE QUOTE E TOLLERANZE COSTRUTTIVE

Pavimentazioni a lastre di pietra

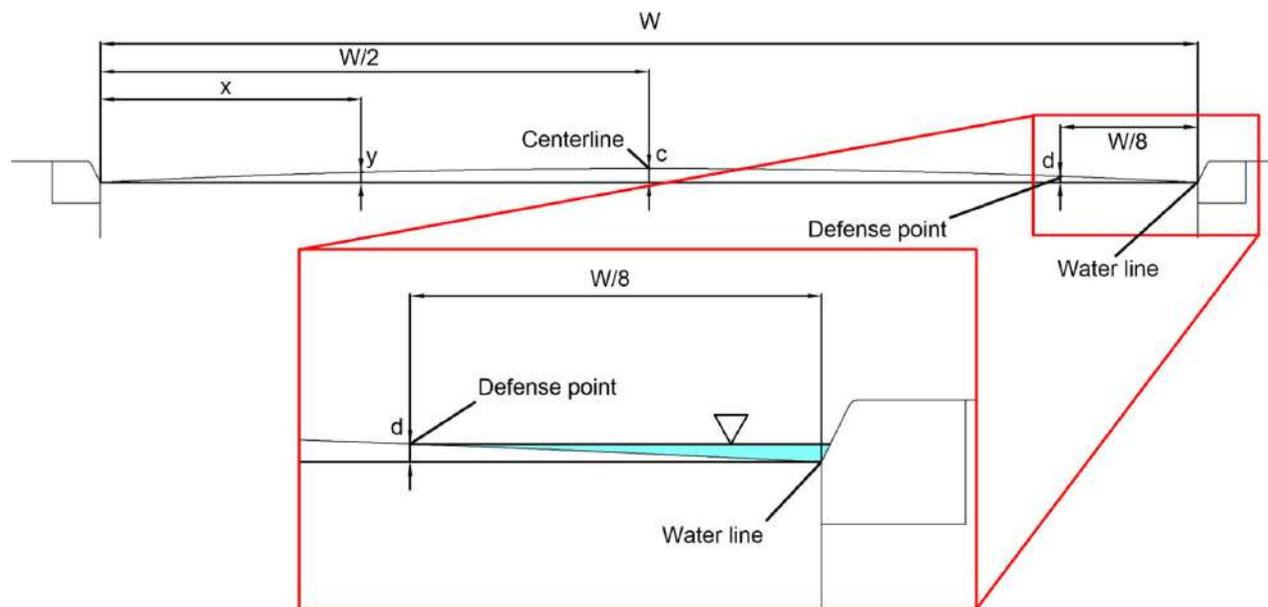


Fonte: Garilli E. et al. «Development of nomograms for the prediction of inherent geometric defects in stone block pavements». Automation in Construction, 2024.

Prof. Ing. Felice Giuliani

# PROFILO TRASVERSALE: RISPETTO DELLE QUOTE E TOLLERANZE COSTRUTTIVE

Pavimentazioni a lastre di pietra



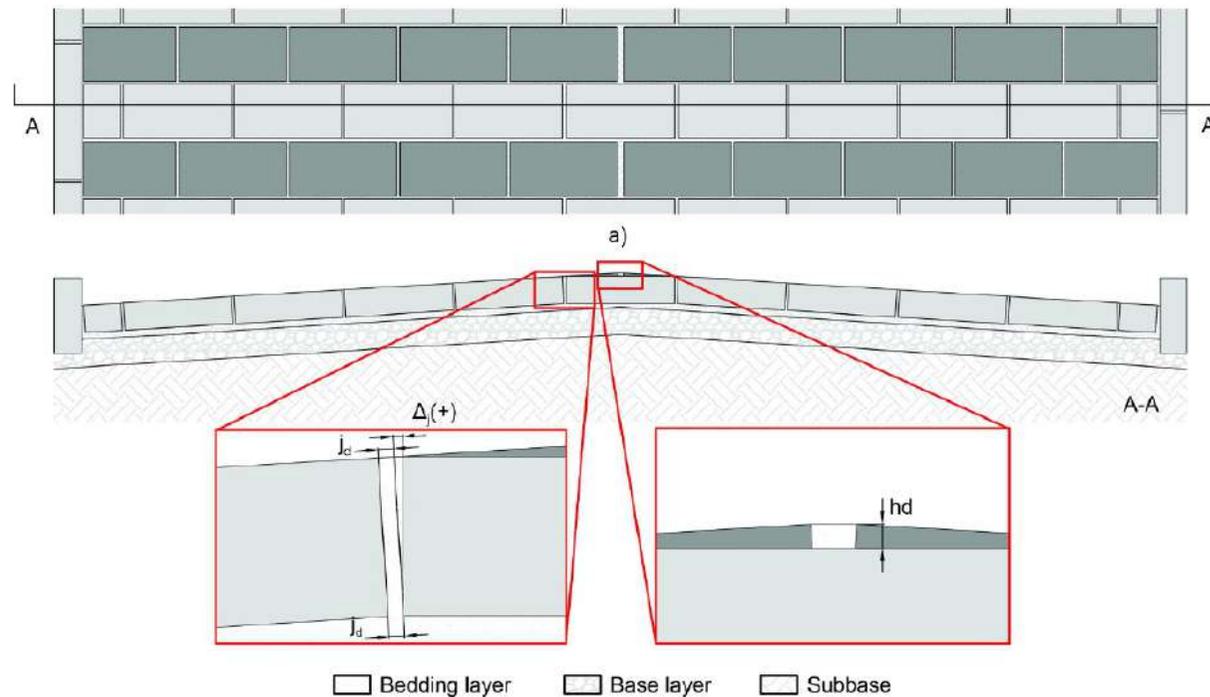
Fonte: Garilli E. et al. «Development of nomograms for the prediction of inherent geometric defects in stone block pavements». Automation in Construction, 2024.



Prof. Ing. Felice Giuliani

# PROFILO TRASVERSALE: RISPETTO DELLE QUOTE E TOLLERANZE COSTRUTTIVE

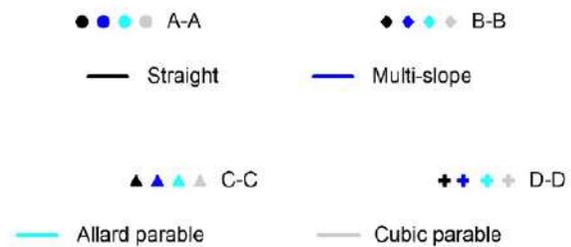
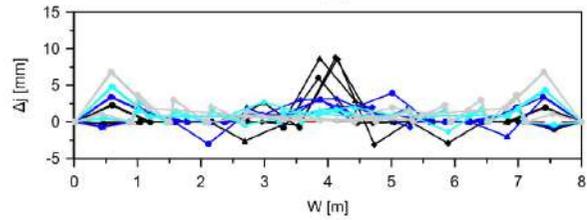
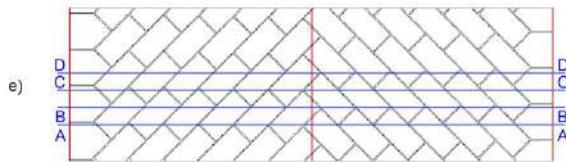
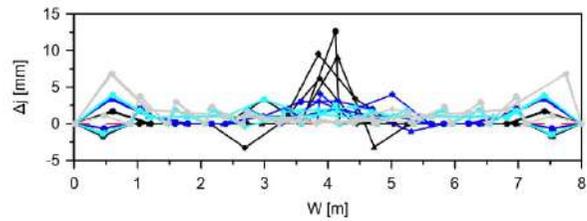
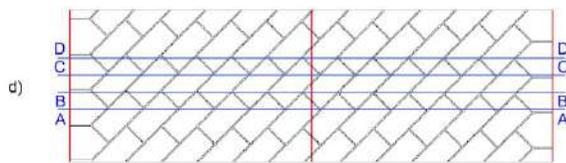
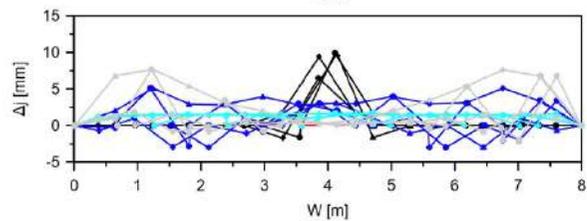
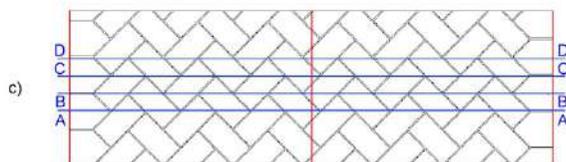
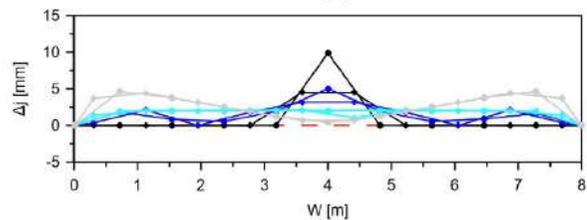
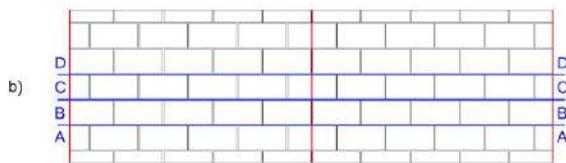
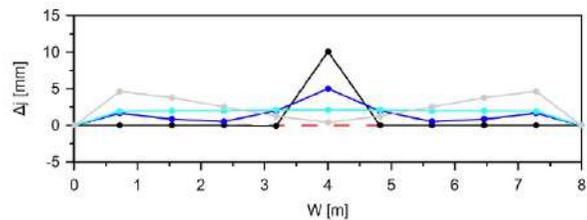
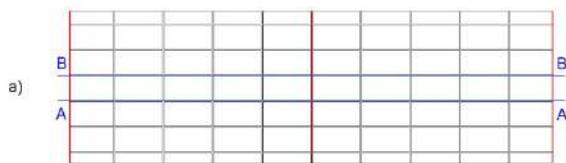
Pavimentazioni a lastre di pietra



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

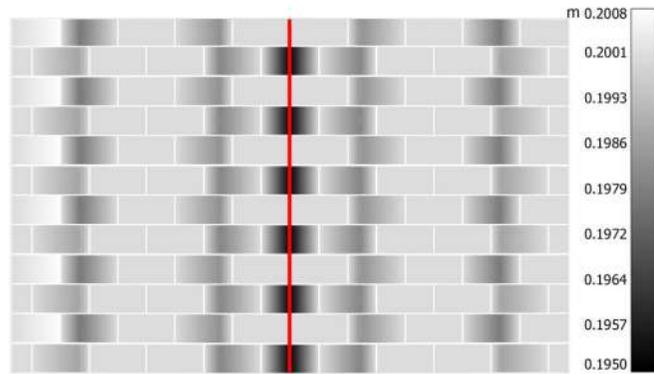


Prof. Ing. Felice Giuliani

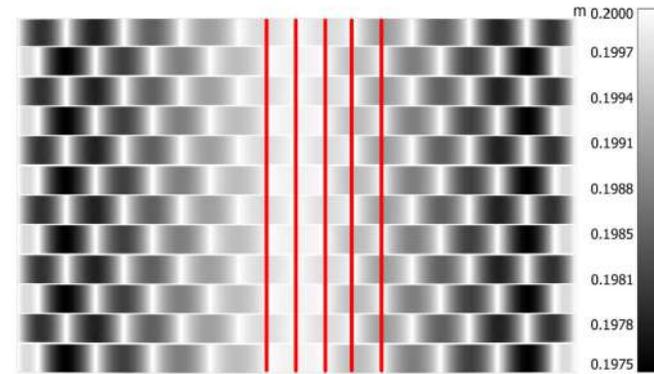


Fonte: Garilli E. et al.  
 «Development of  
 nomograms for the  
 prediction of inherent  
 geometric defects in  
 stone block pavements».  
 Automation in  
 Construction, 2024.

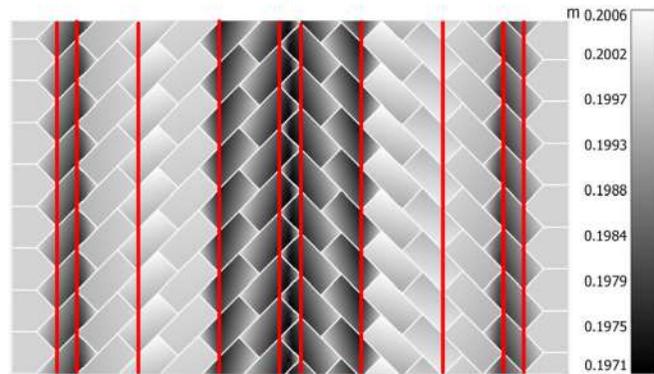




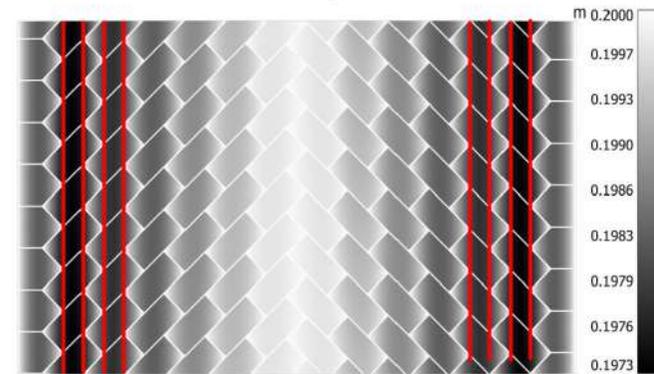
a)



b)



c)



d)

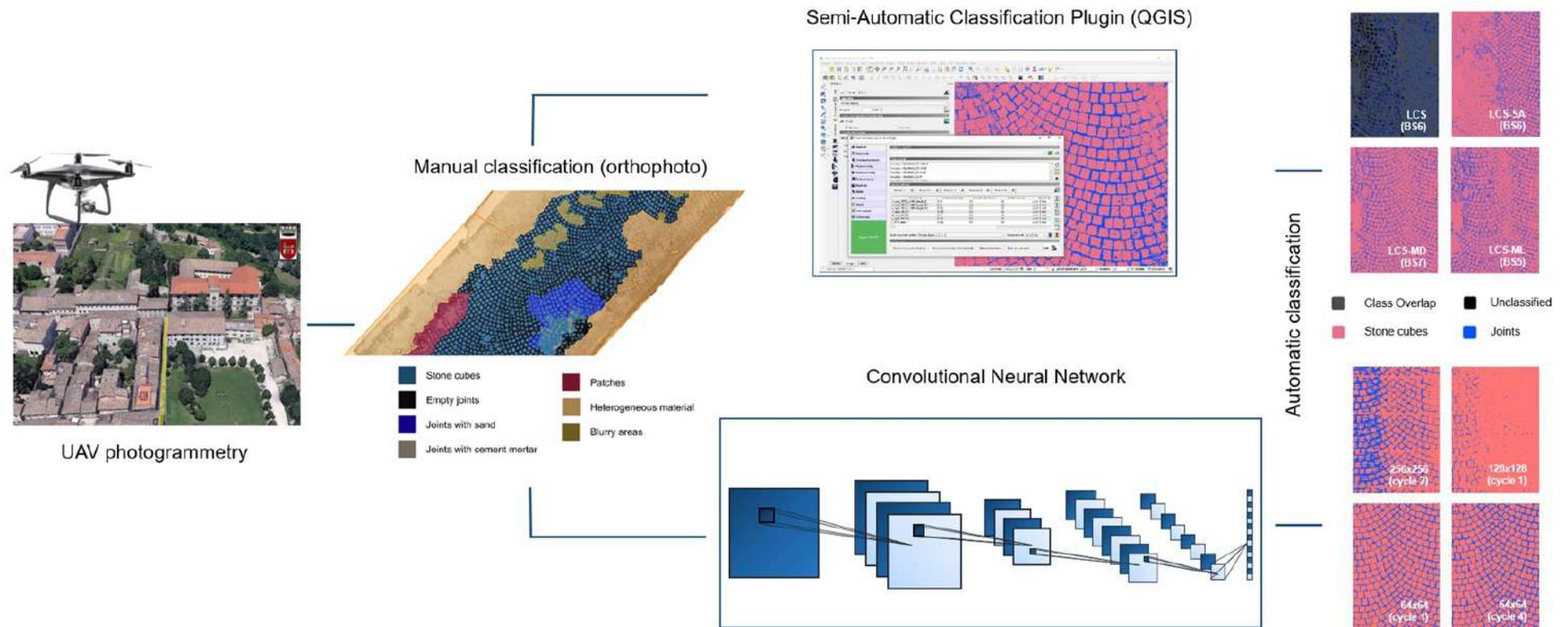
— Critical longitudinal section



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](mailto:felice.giuliani@unipr.it)



---

Prof. Ing. Felice Giuliani