

ARTICLE INFO

Received	20 March 2023
Revised	27 April 2023
Accepted	05 May 2023
Published	30 June 2023

ARCHITETTURA DELLE PAVIMENTAZIONI

Metodi multiscalari e digitali
per una transizione ecologica

ARCHITECTURE OF URBAN PAVEMENTS

Multi-scale and digital methods
for an ecological transition

Spartaco Paris, Elisa Pennacchia, Carlo Vannini

ABSTRACT

La gestione dell'infrastruttura viaria delle grandi città è sempre più complessa e richiede approcci e strumenti in continuo aggiornamento; questi sono orientati a supportare la governance per la definizione di soluzioni specifiche capaci di adattarsi alla varietà dei contesti urbani, a garantire prestazioni rinnovate e contribuire al perseguimento degli obiettivi di sostenibilità ambientale. L'obiettivo dell'articolo è proporre un approccio metodologico multiscalare e interdisciplinare basato sull'impiego di strumenti digitali, finalizzato a definire requisiti e strategie per promuovere una rigenerazione urbana diffusa della strada; tale approccio è stato applicato alla Città di Roma. Il risultato è uno strumento operativo per l'individuazione di soluzioni volte al miglioramento della qualità urbana delle pavimentazioni stradali carrabili, ciclabili e pedonali degli spazi pubblici.

The management of large cities' road infrastructure is increasingly complex, requiring tools and approaches continuously updated; these drive the governance to define specific solutions capable of being adapted to the variety of urban settings, guarantee renewed performance and contribute towards the pursuit of the objectives of environmental sustainability. This article aims to propose a multi-scale and interdisciplinary methodological approach based on digital tools aimed at defining requirements and strategies to promote widespread urban road regeneration. This approach has been applied to the city of Rome: the result is an operative tool to identify solutions to improve the urban quality of public spaces' vehicular, bicycle, and pedestrian street pavement.

KEYWORDS

sostenibilità, digitalizzazione, innovazione tecnologica, gestione dell'ambiente costruito, qualità urbana

sustainability, digitalisation, technological innovation, management of the built environment, urban quality

Spartaco Paris, Architect and PhD, is a Full Professor of Technology Design at the Department of Structural and Geotechnical Engineering, 'Sapienza' University of Roma (Italy). Among the research topics investigated in the field of Technological Design, he is an expert in the integration of design, technology and sustainability. Mob.: +39 331/29.09.310 | Email: spartaco.paris@uniroma1.it

Elisa Pennacchia, Architect and PhD, holds a Tenure Track Assistant Professorship at the Department of Architecture and Design, 'Sapienza' University of Roma (Italy). She conducts research activities mainly in the setting of technology design, efficient use of energy and environmental resources, and innovative transformation and maintenance techniques applied to the built environment. Mob.: +39 347/62.40.246 | Email: elisa.pennacchia@uniroma1.it

Carlo Vannini is an Architect and PhD Candidate in Architecture and Construction at the Department of Architecture and Design, 'Sapienza' University of Roma (Italy). He carries out research activities mainly in the area of technology design for the improvement of public residential buildings, urban quality, pavements, and public spaces. Mob.: +39 333/96.65.732 | Email: carlo.vannini@uniroma1.it



Il tema della qualità urbana dello spazio pubblico ha un rilievo centrale nelle strategie di gestione delle città, recentemente aggiornato nelle politiche internazionali dell'Agenda 2030 e degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (UN, 2015) e a livello europeo nelle strategie relative alla gestione degli spazi pubblici (Fioretti et alii, 2020). Negli ultimi anni la consapevolezza ambientale, il paesaggio urbano, l'accessibilità e la sicurezza hanno acquisito una crescente rilevanza nella definizione della qualità urbana; sono stati inseriti all'interno di vari Programmi e Strategie urbane¹ e richiedono una crescente attenzione nel necessario e continuo aggiornamento degli elementi che compongono lo spazio pubblico urbano (Andaloro, de Waal and Suurenbroek, 2022). Queste rinnovate istanze determinano modifiche nelle caratteristiche fisiche e materiali degli elementi urbani e della modalità di fruizione da parte dei cittadini degli spazi pubblici della città.

La forte sovrapposizione tra i molti elementi urbani con diverse funzioni (dalla comunicazione alla sicurezza, tra le varie) ci suggerisce di considerare l'architettura della strada con criteri sempre aggiornati e sensibili nella definizione di elementi di qualità degli spazi pubblici; questi ultimi hanno una funzione cruciale per la vita dei cittadini (Magnago Lampugnani, 2021) e riguardano una molteplicità di aspetti, tra i quali il tema delle pavimentazioni urbane, cui il contributo è dedicato. Il testo presenta infatti gli esiti di una ricerca universitaria finanziata da Roma Capitale il cui compito è stato di definire linee guida e strumenti operativi per il miglioramento della qualità delle pavimentazioni urbane². Attraverso l'analisi di alcune buone pratiche e un estratto della sperimentazione sul caso di studio romano, si propone una metodologia e una sperimentazione applicata, finalizzata alla definizione di possibili strategie e strumenti operativi per il miglioramento della qualità complessiva.

Il tema della qualità delle pavimentazioni urbane si inquadra all'interno del più ampio tema della qualità delle città (Secchi and Bochicchio, 2020); poiché crediamo che 'la strada è l'anima della città' (Piacentini, 1916), è indubbio che attraverso una sua pur parziale lettura per livelli stratigrafici, lo 'strato' costituito dalla pavimentazione urbana – strade, marciapiedi, piazze – abbia una funzione essenziale per contribuire alla qualità della vita urbana. Tale elemento è il supporto del decoro e dell'arredo urbano e intreccia la componente fisico costitutiva con la componente funzionale e di uso della città in continua trasformazione. Rispetto a questo secondo aspetto è indubbio che le strategie e politiche urbane sulla mobilità più evolute da tempo indicano nello sviluppo del trasporto pubblico e della mobilità dolce le principali strategie per città più sostenibili, orientate alla riduzione delle emissioni e vivibili, parallelamente a concrete azioni di disincentivazione dell'utilizzo dell'automobile privata come mezzo prioritario per il trasporto urbano (City of Copenhagen, 2020).

Studi recenti tra i più autorevoli sulle politiche di pianificazione urbana (Gehl and Svarre, 2013), mettendo in discussione i presupposti negli strumenti e metodi della pianificazione 'moderna', pongono le persone al centro dei processi di pianificazione e progettazione urbana, definendo nuovi bisogni ed esigenze per la vita urbana. In tale direzione il tema generale dello spazio della mobilità

all'interno delle città si apre ad approcci che possano rinnovare le pratiche in uso (Zardini, 2003); a fianco del complesso sistema di pianificazioni di settore legate alla trasformazione della mobilità urbana, un contributo significativo alla qualità della città può essere dato da strategie e azioni per il miglioramento delle pavimentazioni, tassello di un sistema ampio di molteplici componenti (come il trasporto ecocompatibile e la centralità dell'informazione).

Stato dell'arte e buone pratiche | L'aspetto innovativo e originale che contraddistingue lo studio in oggetto consiste nella messa a sistema di diversi strumenti digitali per fornire un supporto alle governance del territorio e perseguire gli obiettivi legati alla transizione ambientale e allo sviluppo sostenibile, in linea con le due principali direttive del PNRR (Ministero dello Sviluppo Economico, 2021), sostenibilità ambientale e digitalizzazione. La ricerca svolta permette di definire un sistema dinamico e aggiornabile in modo continuo della classificazione delle strade, partendo dall'elaborazione e dall'aggiornamento di mappature di tipo digitale in forma aperta, fino alla scala di dettaglio tecnologico – attraverso il passaggio one-click alla visione e alla logica BIM (Bocconcino and Vozzola, 2022) – per approfondire il dettaglio informativo a una scala architettonica di arredi e componenti infrastrutturali.

Sono state per questo analizzate alcune delle migliori esperienze a livello europeo, in particolare i casi di Amsterdam e Barcellona, e a livello nazionale i casi di Milano e Bologna. La selezione è stata fatta su due criteri: il primo è relativo al periodo, tra il 2011 e il 2021, in cui le più avanzate misure sulla sostenibilità urbana sono state adottate da città europee; il secondo ha tenuto in considerazione casi in cui le politiche adottate hanno posto attenzione al grado di stratificazione dei tessuti urbani analizzati e in particolare al rapporto tra centro storico e città in espansione; queste condizioni variabili contribuiscono a determinare gli obiettivi di standardizzazione delle soluzioni.

Il caso di Barcellona è stato oggetto di una vera e propria missione al fine di toccare con mano il processo in atto nella capitale catalana. Un confronto avvenuto attraverso tre fasi, partendo dalla visita del quartiere Sant Antoni (Figg. 1-4) e proseguendo con un incontro informale con l'architetto Carme Fiol, che coordina il progetto per conto del Departament de Projectes Urbans, per terminare con un incontro ufficiale presso l'Ajuntament de Barcelona in cui i criteri progettuali per gli spazi pubblici e del progetto dei Superblock sono stati ampiamente presentati rispettivamente da Joan Delgado, architetto in capo al progetto e da Dani Alsina, coordinatore dell'ufficio tecnico (Ajuntament Barcelona, 2011a, 2011b). Ha suscitato particolare interesse l'incontro con BIT Habitat, una fondazione che promuove l'innovazione urbana per rispondere alle sfide sociali, economiche, tecnologiche e ambientali affinché Barcellona diventi più sostenibile, migliorando la qualità di vita delle persone che la abitano; in quella sede sono stati introdotti alcuni recenti progetti e i loro risultati (Gausa, 2022).

Tra questi, in collaborazione con Urban Ecology, proprio nel settore dell'innovazione dei materiali e dei componenti sono stati coinvolti esperti del settore per progettare un nuovo 'panot' (tipico

blocco utilizzato per le pavimentazioni di Barcellona) che, pur mantenendo il design attuale, fosse in linea con il modello di città verde e salutare promosso dall'Ajuntament. Dunque all'interno del Programma Superilles (Ajuntament Barcelona, 2021), diventato il modello per trasformare le strade dell'intera città, diventa essenziale trovare il nuovo 'panot per il XXI secolo' che preservi il suo valore di patrimonio immateriale e, allo stesso tempo, incorpori soluzioni e tecnologie innovative che lo rendano più sostenibile per il futuro (Lopez, Ortega and Pardo, 2020), una sostenibilità basata sulla composizione dei materiali e sui processi di fabbricazione, riutilizzo e riciclabilità. Il 'panot' infatti è un elemento del paesaggio urbano di Barcellona che, nel corso degli anni, si è trasformato in una pavimentazione iconica e che identifica e rappresenta la città stessa nel mondo. Mantenendo il design tradizionale è stato necessario adottare un nuovo blocco che incorpora soluzioni e tecnologie innovative per renderlo più sostenibile per il futuro, sia in relazione alla sua composizione sia al processo di produzione, promuovendone il riutilizzo e la riciclabilità.

Rimanendo in ambito europeo, ma facendo riferimento a un contesto dell'area 'continentale', tra le buone pratiche relative a città che da tempo hanno favorito lo sviluppo di sistemi a mobilità dolce va menzionato il caso di Amsterdam dove si è introdotto il cosiddetto 'metodo Puccini' come strumento di standardizzazione delle soluzioni per la progettazione dei suoi spazi pubblici: si tratta di un manuale, in uso dal 2021, attraverso il quale vengono progettate strade, piazze e giardini. Il metodo ha adottato una serie di standard di sostenibilità e qualsiasi progetto e conseguente appalto deve adottare almeno i criteri di sostenibilità del Piano. Questi standard rappresentano uno strumento per la definizione di elementi materiali di alta qualità dello spazio pubblico, attraverso un design facile da usare, accessibile, sicuro, gestibile, sostenibile, conveniente, coerente ed esteticamente bello.

La città di Amsterdam ha elaborato infatti uno specifico quadro normativo e due manuali tecnici. Il Policy Framework del 'metodo Puccini' si basa su 5 criteri guida: l'utente trae vantaggio dalla semplicità e dalla facilità; progettazione e realizzazione a ogni livello di scala; sostenibilità; buone pratiche e innovazione; collaborazione. Sulla base di questi criteri, sono stati sviluppati i principi con cui viene progettato lo spazio pubblico in tutta la città di Amsterdam. Inoltre questo insieme di politiche urbane contiene una mappatura delle pavimentazioni, una del sistema di illuminazione e una della struttura principale dei sistemi vegetazionali urbani; le linee guida di progettazione per il layout di Amsterdam sono indicate in due manuali che contengono i dettagli tecnici della politica urbana, inclusi disegni e l'elenco dei materiali impiegati: Handboek Groen (Gemeente Amsterdam, 2021) per la programmazione e gestione del verde e Handboek Rood (Gemeente Amsterdam, 2019) per la progettazione degli elementi urbani.

Nell'ambito della digitalizzazione una menzione particolare è da attribuire alla Città di Parigi che ha sviluppato un modello di mappatura digitale, a cura dell'Agenzia APUR, in uso dal 2022 presso l'Amministrazione per la gestione degli interventi sulla rete stradale e un Atlas du Mobilier Urbain Parisien finalizzato alla programmazione della ma-



Fig. 1-4 | Sant Antoni: images of the project carried out within the Superilles programme, Barcelona (credits: C. Vannini, 2022).

nutenzione³. La rilevanza del caso di Parigi è da ricondurre alla mappatura e all'attività di sistemizzazione realizzata su un'area vasta su cui si innescano strutture molto articolate, oltre alla generazione di una piattaforma online, gratuita e totalmente accessibile, evidenziando come questo tipo di operazione sia replicabile e trasferibile anche in contesti differenti.

In ambito nazionale il Manuale Spazio Pubblico – Linee Guida di Progettazione (Comune di Milano and AMAT, 2021) rappresenta uno strumento flessibile per l'impostazione della progettazione dello spazio pubblico, in quanto lo stesso andrà implementato utilizzando strategie di intervento pianificate e appropriate con approfondimenti specifici. Recentemente la Giunta comunale di Milano ha deliberato con Milano Città 30 il limite di velocità in ambito urbano a 30 km/h a partire dal 1° gennaio 2024 prevedendo, così come hanno fatto Parigi e Bruxelles, che dopo quella data su alcune strade a grande scorrimento possano essere previsti limiti a 50 km/h. Anche il Comune di Bologna (2011) ha avviato il percorso per diventare Città 30 e con un documento per la qualità urbana sono state definite le linee guida per la progettazione e la realizzazione degli spazi aperti a uso pubblico, come le nuove urbanizzazioni e interventi di riqualificazione, al fine di chiarire e meglio interpretare i termini qualità e beneficio pubblico, secondo quanto previsto dai regolamenti in uso.

Nella fase attuale, più che in passato, i costi gestionali imputabili alla manutenzione del patrimonio pubblico sono fonte di forte preoccupazione per le Amministrazioni; in questo senso la

ricerca della qualità nella realizzazione di opere pubbliche, a partire dalla fase di progettazione, costituisce l'unica strada percorribile per dotare la città di strutture che, per dimensioni e caratteristiche, corrispondano alle reali necessità dei vari settori urbani (incrementare la sicurezza per la fruibilità degli spazi pubblici; elevare la qualità percettiva del paesaggio urbano inteso come ambiente di vita e luogo di incontro; ridurre i livelli di inquinamento atmosferico e acustico; migliorare il microclima urbano attraverso la mitigazione dell'effetto dell'isola di calore; aumentare la sostenibilità degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria attraverso una scelta più consapevole che consideri l'intero ciclo di vita dei materiali) e rispondano a criteri di economicità della manutenzione e omogeneità delle tipologie costruttive.

Sulla base di queste premesse è necessario che tutti gli stakeholders, ferme restando le responsabilità derivanti dalla normativa vigente, elaborino progetti particolarmente dettagliati, in grado di assicurare una buona qualità delle opere. Da questa breve analisi emerge l'impossibilità di applicare e replicare in maniera automatica ognuna delle scelte progettuali sopra citate, senza tenere in considerazione che le condizioni climatiche, i differenti valori storico-culturali e identitari delle diverse pavimentazioni in contesti differenti giocano un ruolo fondamentale nella valutazione e nella scelta delle soluzioni.

Approccio metodologico | In questo quadro il saggio presenta la struttura metodologica della

ricerca descrivendo le fasi replicabili su qualsiasi realtà urbana e gli strumenti operativi prodotti per l'individuazione di soluzioni volte al miglioramento della qualità delle pavimentazioni degli spazi pubblici. Lo studio ha l'obiettivo di individuare condizioni 'ricorrenti' e condizioni 'invarianti' per la definizione di una serie di soluzioni per i materiali delle pavimentazioni urbane capaci di soddisfare esigenze necessarie all'aggiornamento delle prassi nella gestione degli interventi. Il perimetro della ricerca è stato circoscritto allo studio e alla definizione di un abaco di soluzioni riguardanti le pavimentazioni; tuttavia esistono altri elementi su cui è possibile estendere lo studio come la rete dei sottoservizi, componenti tecnici, di arredo e di segnaletica che occupano e contribuiscono a definire lo spazio e il carattere della città. Il percorso metodologico adottato è contraddistinto da un approccio multiscalare e interdisciplinare e prevede quattro fasi.

Il primo step è legato alla definizione di obiettivi e di linee di sviluppo strategiche sulla base dello studio dello stato dell'arte a livello internazionale e nazionale sopra esposto e sintetizzato in Tabella 1. Sono stati analizzati materiali, strumenti e linee guida sviluppati e adottati dalle città di Barcellona, Amsterdam, Parigi, Milano e Bologna; è stato svolto uno studio dei materiali più innovativi esaminando i più recenti report pubblicati dall'ENEA (Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) e articoli scientifici inerenti a pavimentazioni sostenibili, resilienti e innovative. Da tali studi emerge chiaramente l'importanza della definizione di soluzioni

standardizzate per la complessa gestione delle superfici pavimentali urbane che devono rispondere a molteplici esigenze come riduzione inquinamento atmosferico / acustico, drenaggio idrico, efficienza energetica e anche di carattere percettivo-paesaggistico e storico-iconografico, garantendo elevati livelli di sicurezza, benessere, fruibilità e vivibilità. Le principali finalità da perseguire per incrementare la qualità dei contesti urbani intervenendo sulle pavimentazioni, individuate sulla base dei dati di letteratura e degli strumenti di pianificazione urbana, sono pertanto la riduzione dell'inquinamento atmosferico, dell'inquinamento acustico e dell'isola di calore, l'incremento del drenaggio idrico, dell'efficienza energetica e della qualità percettiva (Peluso, Persichetti and Moretti, 2022).

Il secondo step è incentrato sull'analisi, la digitalizzazione e la codifica degli elementi costitutivi della piattaforma stradale esistenti e delle soluzioni individuate per perseguire gli obiettivi di sostenibilità e le linee di sviluppo strategiche. Per identificare le caratteristiche relative alle pavimentazioni dell'infrastruttura stradale esistente è stato condotto uno studio degli elaborati di gare di appalto e degli accordi quadro per la loro manutenzione. Data l'estensione e l'eterogeneità delle pavimentazioni urbane si è ritenuto utile realizzare una classificazione e una codifica univoca al fine di identificare le principali tipologie, i relativi materiali e i nodi tra gli elementi costitutivi della piattaforma stradale.

La codifica costituisce un punto di partenza per la modellazione degli oggetti in ambiente BIM, a cui è possibile associare specifiche tecniche: ad esempio stratigrafia, dimensioni, peso, colore dei materiali e i relativi interventi di posa e di manutenzione (Oreto et alii, 2021). I modelli informativi sono fondamentali per efficientare il sistema gestionale permettendo una maggiore condivisione delle informazioni tra tutte le parti interessate durante l'intero ciclo di vita del bene infrastrutturale.

Il terzo step riguarda la stima dei costi di costruzione parametrici per interventi di realizzazione e manutenzione delle infrastrutture stradali, per fornire un valido supporto alla Pubblica Amministrazione in fase di valutazione preliminare dei progetti da attuare per una efficace allocazione delle risorse disponibili, costituito da riferimenti economici sia per le diverse tipologie di intervento generalmente eseguite sia per quelle relative alle soluzioni innovative individuate. Il quarto step è incentrato sull'elaborazione di mappature urbane per l'individuazione delle esigenze e l'attribuzione di specifiche soluzioni. Quest'ultime possono essere georeferenziate attraverso un sistema informativo GIS (sul modello dello strumento studiato da APUR per Parigi) che consente una gestione orizzontale, multiscala e sistematica degli asset, integrando strumenti di analisi, interrogazione, tematizzazione e sviluppo in linea con obiettivi condivisi (Sottini et alii, 2021).

Il caso studio della Città di Roma | Roma, per la sua complessa topografia, per la sua morfologia urbana e per la pluralità dei caratteri che definiscono le sue parti, è un laboratorio in cui nel tempo, si sono succeduti e sviluppati molteplici strumenti di pianificazione e di gestione della città finalizzati al raggiungimento di una qualità urbana (Bello, 1951; Roma Capitale, 2015; Roma Capitale, 2019). Un importante margine di avanzamento si può iden-

tificare nella necessità di definizione di strumenti finalizzati alla guida dell'intervento sul costruito degli spazi aperti della città storica e contemporanea. La capitale oggi è attraversata da più di 8.000 Km di strade; di queste, 800 Km rientrano nelle competenze di gestione del Dipartimento CSIMU e co-

stituiscono un campione estremamente significativo che può orientare le scelte strategiche e le attività di programmazione e gestione operative degli interventi di competenza degli altri organi istituzionali coinvolti. La prima fase di ricerca relativa alle attività e agli studi preliminari ha permesso di de-

Case study	Target Strategies
Barcelona Pavements Guide	Paving solutions standardisation Sheets containing design recommendations Abacus of Urban Elements
Amsterdam Puccini Method	Paving solutions standardisation Zoning of the city according to urban pavement types
Paris Atlas of Parisian street furniture	Digital mapping model Typological classification nomenclature of street furniture components
Milan Public space Design guidelines	Sustainable Development Goals Project area
Bologna Guidelines for the design of interventions on roads squares and related infrastructures	Roads elements coding Graphic sheets of roads elements with construction details and material types

Tab. 1 | Main strategies of the analysed case studies (credit: Roma Capitale, 2023).

Solution	Requirements	Application
Sampietrini cobblestones with draining joints	Drainage	Street track Parking Cycle path Sidewalk Tram line
Draining sound-absorbing high solar reflectance bituminous conglomerate	Drainage Noise pollution reduction Heat island reduction	Street track Parking Cycle path Sidewalk Tram line
Polyolefin binder for conglomerates and asphalt	Heat island reduction	Cycle path Pedestrian paths in parks or bound areas
Pigmented photocatalytic draining cement conglomerate	Drainage Air pollution reduction Heat island reduction	Street track Cycle path
Draining eco-active self-locking wetcast	Drainage Air pollution reduction	Street track Parking Cycle path Sidewalk Tram line
Artificial stone slabs	Reducing raw material consumption	Street track (Environmental islands, zone 30)
Photoluminescent draining cement conglomerate	Drainage Energy efficiency	Cycle path
Precast reinforced concrete slabs	Efficiency for fast installation	Tram line

Tab. 2 | Selected solutions for urban pavement surfaces (credit: Roma Capitale, 2023).

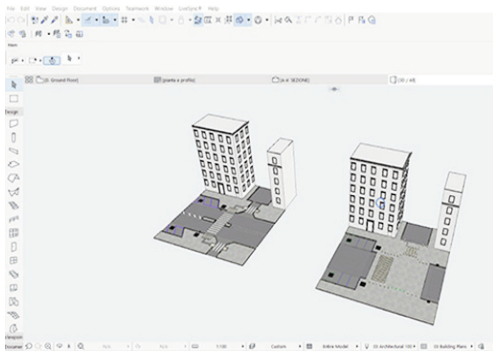


Fig. 5 | Extract of digitalisation in BIM environment, developed within the research project (credit: A. Landa, 2023).

finire: a) un quadro di riferimento condiviso relativo a modelli di gestione avanzata e innovativa della qualità delle strade e relative pertinenze attraverso l'analisi di un campione significativo di casi di studio di Amministrazioni nel panorama internazionale ed italiano; b) un quadro sintetico degli strumenti vigenti (piani, norme tecniche e di indirizzo) per la pianificazione e la gestione delle strade e pertinenze pubbliche; c) un inquadramento storico dell'evoluzione delle pavimentazioni urbane della città; d) le modalità in corso di utilizzo da parte dell'Amministrazione capitolina nella gestione delle attività di progettazione e realizzazione degli interventi di manutenzione straordinaria sulle strade di propria competenza.

Dallo studio delle buone pratiche sopra descritte sono stati identificati degli aspetti significativi adottati per redigere le linee guida (Tab. 1): sulla base degli obiettivi di sostenibilità sono state individuate soluzioni innovative (Tiza et alii, 2022) per le pavimentazioni carrabili, pedonali, ciclabili, tranviarie e per parcheggi (Tab. 2).

Sulla base del quadro strategico dei Piani vigenti è stata proposta una suddivisione della città in quattro principali ambiti d'intervento: 1) città storica dentro le mura; 2) città storica fuori le mura; 3) città consolidata; 4) città da ristrutturare-città della trasformazione. L'articolazione per tessuti della città Roma è una vera rivoluzione perché riconosce la pluralità e la complessità tipomorfologica delle diverse parti di cui è composta, che ha prodotto nella sua storia millenaria, contesti diversi tra di loro, il cui discernimento è essenziale se si vogliono valorizzare le sue molte identità e specificità.

Uno studio finalizzato alla valorizzazione e al miglioramento della qualità dello spazio stradale non poteva esimersi, pertanto, dal fare riferimento alla pluralità dell'articolazione tipo-morfologica del corpo della città, che significa, nel caso specifico, contribuire a dare 'forma' e 'qualità urbana' alle diversissime situazioni spaziali che la mappatura delle strade di Roma impone naturalmente. Data l'estensione delle pavimentazioni e l'eterogeneità degli elementi costitutivi della piattaforma stradale si è ritenuto utile realizzare una classificazione e una codifica univoca al fine di identificare le principali tipologie e i relativi materiali delle pavimentazioni urbane e i nodi in ambiente BIM (Fig. 5).

In ragione della significativa consistenza delle pavimentazioni urbane di Roma – oltre 120 milioni di metri quadrati di strade – sono stati effettuati diversi studi a scala vasta, orientati a una sovrapposizione critica di strumenti di pianificazione diffe-

renti che possono influenzare scelte di programmazione e gestione relative a caratteri delle pavimentazioni urbane. Ai tessuti del Piano Regolatore, che identificano parti di città omogenee, sono stati sovrapposti strumenti specifici: il sistema delle strade di competenza di CSIMU, il PGTU, il PUMS, il Piano sanpietrini, la suddivisione della città in parti omogenee di 'isole di calore'. Gli studi a scala urbana sono stati impostati su una base elaborata ad hoc, che esprime la connotazione della morfologia del sistema ambientale della città.

Gli studi alla scala urbana hanno avuto un duplice obiettivo: da un lato indirizzare la scelta di un set di strade-campione che, selezionate all'interno dei quattro tessuti urbani della città, potessero comprendere una casistica con condizioni eterogenee relative al rapporto tra tipi di mobilità in evoluzione (come 'isole ambientali' o 'zone 30') e contesti urbani differenti, dall'altro geolocalizzare le possibili soluzioni per i materiali delle pavimentazioni urbane capaci di soddisfare alcune esigenze necessarie all'aggiornamento delle prassi nella gestione degli interventi relativi alle pavimentazioni urbane.

Risultati | L'output dello studio consiste nello sviluppo di strumenti operativi utilizzabili in qualsiasi realtà urbana volto a supportare una progettazione e gestione più efficiente e sostenibile degli elementi urbani e tra questi: a) schede tecniche dello stato di fatto e delle esemplificazioni progettuali di 20 strade rappresentative del variegato sistema infrastrutturale per la definizione di soluzioni standardizzate (Figg. 6-8); b) costi di costruzione parametrici e determinazione dei differenziali economici; c) una nuova mappa delle pavimentazioni stradali che attribuisce, a ciascuna di esse, materiali qualità che produrranno, nel campo urbano complessivo, un effetto di riordino e di semplificazione generale (Fig. 9); d) una matrice delle soluzioni tipologiche e costruttive standardizzate e un quadro sinottico definiti per ambito di progetto (Fig. 10); e) un abaco che costituisce il tentativo di definire un ordinamento tassonomico elementare (e non esaustivo) di elementi caratteristici delle pavimentazioni urbane che ricorrono nella prassi consolidata e moodboard in contesti tipo (Figg. 11, 12).

Conclusioni e futuri sviluppi | L'aspetto innovativo e originale che contraddistingue lo studio proposto consiste nella messa a sistema di diversi strumenti digitali per fornire un supporto alle governance del territorio e perseguire gli obiettivi legati alla transizione ambientale e allo sviluppo sostenibile, in linea con le due principali direttive del PNRR, sostenibilità ambientale e digitalizzazione. Esso permette di definire un sistema dinamico e aggiornabile in modo continuo della classificazione delle strade, partendo dall'elaborazione e dall'aggiornamento di mappature di tipo digitale in forma aperta, fino alla scala di dettaglio tecnologico – attraverso il passaggio one-click alla visione e alla logica BIM – per approfondire il dettaglio informativo a una scala architettonica, di arredi e di componenti infrastrutturali.

Gli ambiti di possibile sviluppo delle attività per il miglioramento della qualità urbana possono riguardare ad esempio l'adozione di tecnologie sofisticate come l'Intelligenza Artificiale e l'Internet of Things (Arifuzzaman et alii, 2020; Ma et alii, 2021), che costituiscono un'ulteriore opportunità per promuovere l'attuazione della transizione eco-

logica e digitale come nuova forma di 'innovazione sostenibile'. Lo sviluppo delle tecnologie digitali offre infatti strumenti utili per efficientare la progettazione, l'esecuzione dei lavori e degli interventi di manutenzione, fondamentali per rendere le infrastrutture viarie più sicure e resilienti (Tucci and Carlo Ratti Associati, 2022). È possibile realizzare ad esempio un gemello digitale, ovvero una rappresentazione digitale di un reale asset fisico che include condizioni e dati storici rilevanti, volti a effettuare una manutenzione predittiva fondamentale per una maggiore sostenibilità ambientale, economica e sociale, in linea con gli obiettivi strategici delle politiche europee.

The topic of the urban quality of public space is of essential importance in the management strategies of cities and it has been recently updated in the international policies of the 2030 Agenda for SDGs (UN, 2015) and on the European level in the strategies relating to the management of public spaces (Fioretti et alii, 2020). In recent years environmental awareness, the urban landscape, accessibility and safety have acquired growing relevance in the definition of urban quality; they have been included in the various urban strategies and programmes¹ and require growing attention in the necessary and continuous updating of the elements composing the urban public space (Andaloro, de Waal and Surenbroek, 2022). These renewed demands change in the physical and material characteristics of the urban elements and the mode of use by citizens of the city's public spaces.

The strong overlapping among many urban elements with different functions (from communication to safety, among others) suggests considering road architecture with criteria that are constantly updated and sensitive in defining elements of quality of public spaces that have a crucial function for the life of citizens (Magnago Lampugnani, 2021) and relate to a multitude of aspects, including the issue of urban pavements, to which this paper is dedicated. This article presents the results of a university research effort financed by the Municipality of Rome (Roma Capitale), tasked with defining guidelines and operative tools for improving the quality of urban pavements². Through analysis of some best practices and with an extract of the trial in the Roman case study, a methodology is proposed, as well as an applied trial aimed at defining possible and operative tools for improving overall quality.

The issue of the quality of urban pavements is set within the broader one of the quality of cities (Secchi and Bochicchio, 2020); since we believe that 'the road is the soul of the city' (Piacentini, 1916), there can be no doubt that – through an albeit partial reading of the city by stratigraphic levels – the 'layer' consisting of urban pavement (roads, sidewalks, plazas) has an essential function for contributing to the quality of urban life. This element supports urban furniture and decoration and entwines the constitutive physical component with the component of function and use of the city in continuous transformation. As for this latter aspect, there is no doubt that the most highly evolved urban mobility policies and strategies see public transportation and soft mobility as the main strategies for more sustainable cities, liveable and ori-

ented towards reducing emissions, in parallel with concrete actions to disincentivise the use of private automobiles as a priority means of urban transport (City of Copenhagen, 2020).

Some of the most authoritative recent studies on urban planning policies (Gehl and Svarre, 2013), questioning the assumptions in the tools and methods of 'modern' planning, place people at the centre of the urban design and planning processes while defining new needs and requirements for urban life. In this direction, the general topic of the space for mobility within cities is opened to approaches that can renew the practices in use (Zardini, 2003); alongside the complex system of planning operations in the sector linked to the transformation of urban mobility, a significant contribution to the quality of the city may be made by strategies and actions to improve the pavements – one piece of a comprehensive system with multiple components (like eco-friendly transport and the centrality of information).

State-of-the-art and best practices | The innovative and original aspect that characterises the study in question consists of systematising various digital tools to provide support to the territory's governance and to pursue goals linked to environmental transition and sustainable development, in line with the two main directives of the national recovery and resilience plan (PNRR) – greening and digitalisation (Ministero dello Sviluppo Economico, 2021). The research that was done has allowed a dynamic, continuously updatable system of road classification to be defined, starting from the development and updating of open-form digital-type maps, down to the scale of technological detail, via one-click passage to BIM logic and viewing (Bocconcino and Vozzola, 2022) in order to more deeply examine the informative detail, at an architectural scale, of furniture and of infrastructural components.

Some of the best European experiences were then analysed – particularly the cases of Amsterdam and Barcelona – and Milan and Bologna on the national level. The selection was made on two criteria: the first relating to the period between 2011 and 2021 when European cities adopted the most advanced urban sustainability measures; the second considered cases in which the adopted policies focused attention on the degree of stratification of the analysed urban fabrics and in particular the relationship between the historic centre and the expanding city; these variable conditions, in fact, contribute towards determining the solution standardisation objectives.

The case of Barcelona was the object of a full-blown mission to experience the process taking place in the Catalan capital; this took place through three steps, starting from the visit to the Sant Antoni neighbourhood (Fig. 1-4) and continuing with an informal meeting with the architect Carme Fiol, who coordinates the project on behalf of Department de Projectes Urbans, then ending with an official meeting at Ajuntament de Barcelona, at which the design criteria for public spaces and the Superblock project were presented in great depth

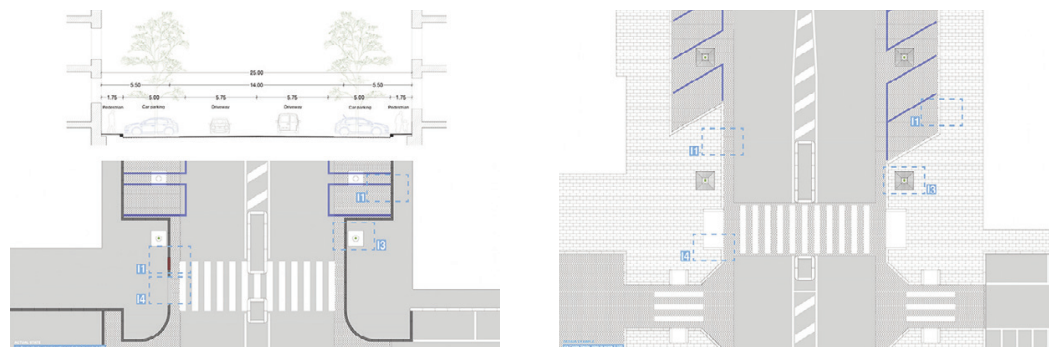
respectively by Joan Delgado, the project's chief architect, and Dani Alsina, coordinator of the technical office (Ajuntament Barcelona, 2011a, 2011b). Particular interest was then raised by the meeting with BIT Habitat – a foundation that promotes urban innovation to respond to social, economic, technological, and environmental challenges so that Barcelona might become more sustainable, improving the quality of life of its inhabitants – where certain recent projects and their results were introduced (Gausa, 2022).

Of these, in collaboration with Urban Ecology, precisely in the sector of the innovation of materials and components, experts from the sector were involved in planning a new 'panot' – a typical block used for Barcelona's pavements – that, while maintaining the current design, might be in line with the green and healthy city model promoted by the Ajuntament. Therefore, within the Superilles programme (Ajuntament Barcelona, 2021), which has become the model for transforming the roads for the entire city, it is now essential to find the new 'panot for the 21st century' that preserves its value as an intangible heritage and, at the same time, incorporates innovative technologies and solutions to make it more sustainable for the future (Lopez, Ortega and Pardo, 2020). It is a sustainability based on the composition of the materials and the processes of fabrication, reuse, and recyclability. The 'panot' is an element of Barcelona's

urban landscape that has, over the years, been transformed into an iconic pavement that identifies and represents the city itself in the world. In maintaining the traditional design, adopting a new block incorporating innovative solutions and technologies was necessary to make it more sustainable for the future, as it pertains to its composition and production process, thus promoting its reuse and recyclability.

Staying in the European setting but referring to a 'continental' area context, of the best practices relating to the city that for some time have fostered the development of soft mobility systems, mention is to be made of the case of Amsterdam, where the so-called Puccini method was introduced as a tool to standardise solutions for the design of its public spaces: this is a manual in use since 2021, with which streets, squares, and public gardens are designed. The method has adopted a set of sustainability standards, and any procurement should adopt at least the sustainability criteria. These standards are a tool for defining high-quality material elements of the public space through a design that is user-friendly, accessible, safe, manageable, sustainable, affordable, coherent, and beautiful.

The city of Amsterdam developed a specific regulatory framework and two technical manuals. The Puccini Method's Policy Framework is based on 5 guiding criteria: the user benefits from sim-



Design example for City centre within historic walls via Conte Verde

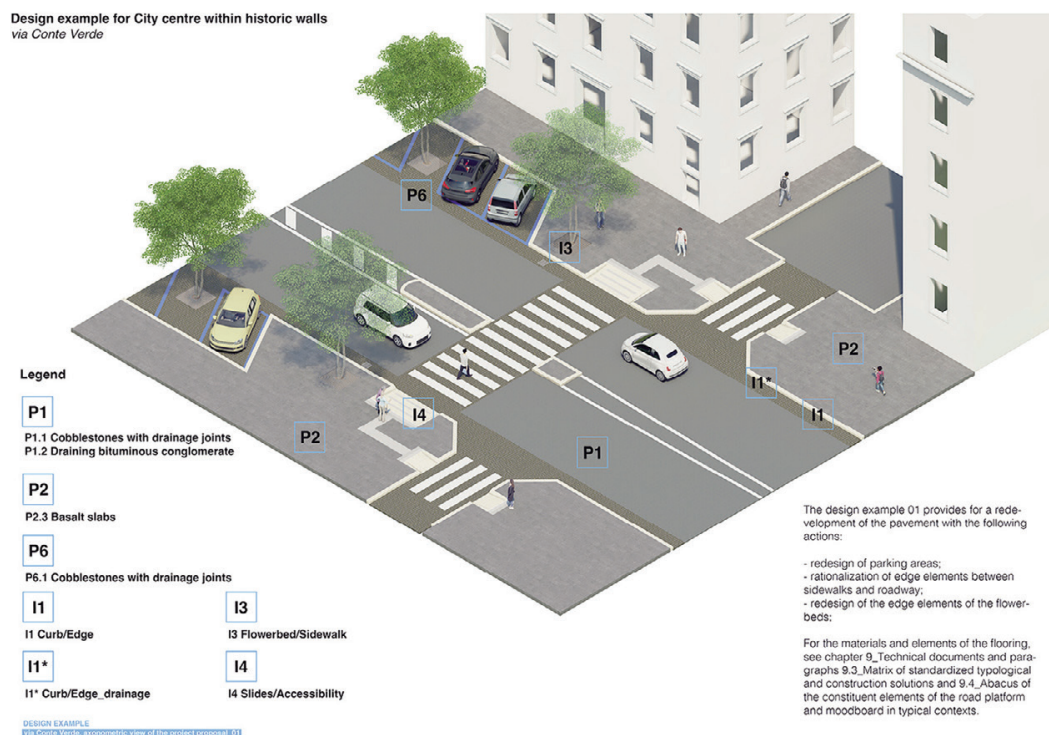
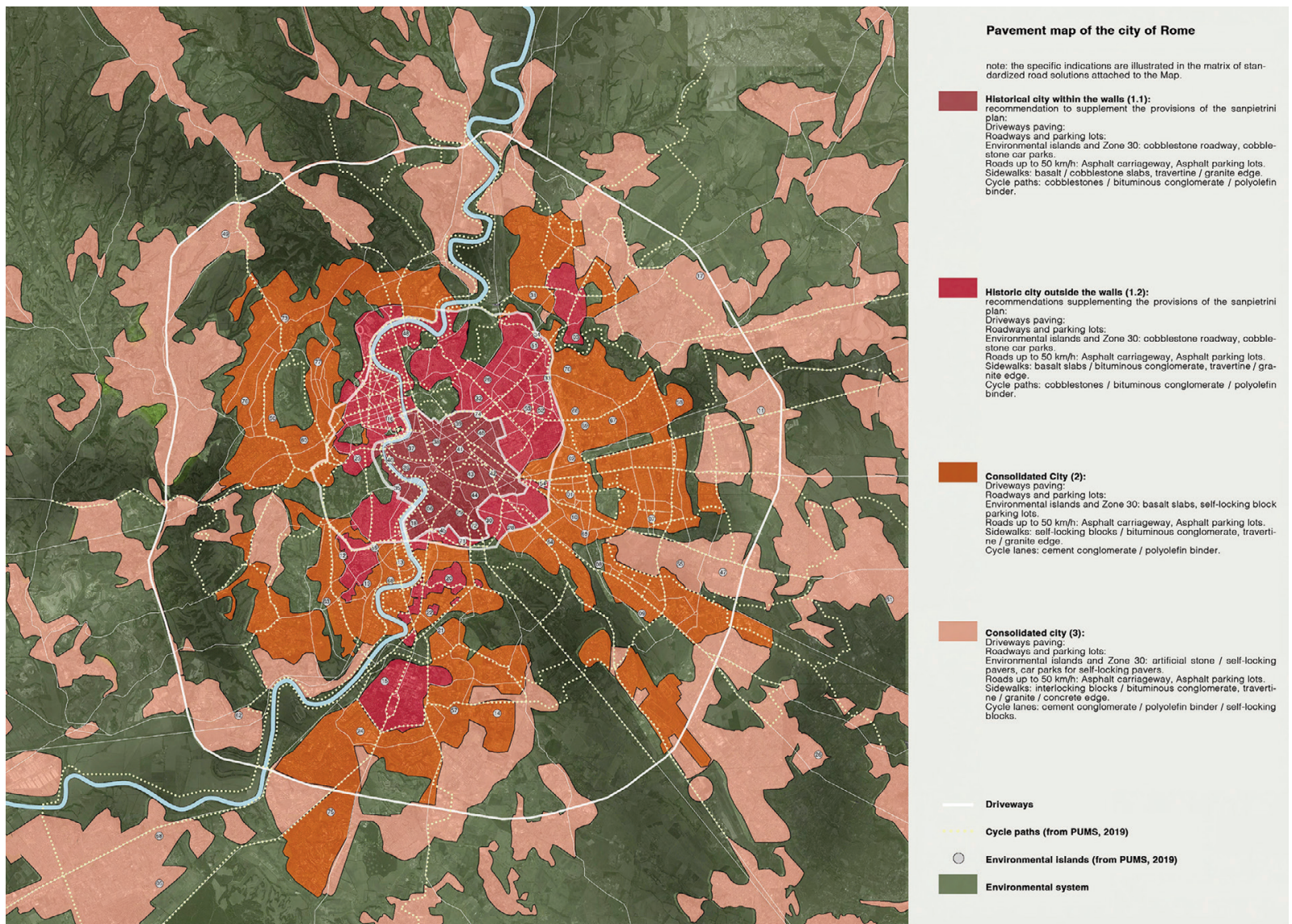


Fig. 6-8 | Examples of a technical data sheet of the current and design state for Via Conte Verde in Roma (credit: Roma Capitale, 2023).



licity and obviousness, craft at every scale level, durability, best practices and innovation, and collaboration.

The principles with which the public space was designed throughout Amsterdam were developed based on these criteria. Moreover, this set of urban policies contains a map of pavements, the lighting system, and the main structure of the urban vegetation systems. The political choices for Amsterdam's layout are stated in two manuals that contain the technical details of urban policy, including drawings and the list of the materials employed: *Handboek Rood* (Gemeente Amsterdam, 2019) for the design of the urban elements and *Handboek Groen* (Gemeente Amsterdam, 2021) for programming and managing greenery.

In the context of digitalisation, particular mention is to be made of the City of Paris, which has developed a digital mapping model supervised by the agency APUR, in use since 2022 at the Administration for the management of interventions on the road network, and an *Atlas du Mobilier Urbain Parisien* aimed at its maintenance programming³. The relevance of the case of Paris may be attributed to the mapping and to the systematisation activity carried out over a large area onto which highly articulated structures are grafted, in addition to the generation of an online platform, free of charge and wholly accessible, highlighting

how an operation of this kind is also replicable and transferable to different settings.

In a national setting, the manual *Spazio Pubblico – Linee Guida di Progettazione* (lit. Public Space – Design Guidelines; Comune di Milano and AMAT, 2021) is a flexible tool upon which to base the design of public space since it will be implemented using planned and appropriate intervention strategies with specific, more in-depth analysis. Recently, the Milan City Council approved Milan City 30, which sets a speed limit of 30 km/h in urban areas as of 1 January 2024. After that date, it allows 50 km/h limits on some high-speed roads, as Paris and Brussels have done. The Municipality of Bologna has also initiated the *Città 30* process and, with an urban quality document (Comune di Bologna, 2011), the guidelines were defined for designing and developing open spaces for public use, as well as the new urbanisations and requalification interventions, in order to clarify and better interpret the terms 'quality' and 'public benefit', by the provisions of the regulations in use.

In the current phase, more than in the past, the management costs attributable to maintaining public assets are a source of concern for Administrations. In this connection, the search for quality in the performance of public works, starting from the design phase, is the only road to travel in order to

endow the city with structures that, in their size and characteristics, correspond to the real needs of the various urban sectors (increasing safety for the usability of public spaces; raising the perceived quality of the urban landscape, understood as a living environment and gathering place; reducing air and noise pollution levels; improving the urban microclimate through mitigation of the heat island effect; increasing the sustainability of ordinary and extraordinary maintenance interventions through a more informed choice that considers the life cycle of materials), and meet criteria of affordable maintenance and uniformity of construction typologies. Based on these premises, it is necessary for all stakeholders – without prejudice to the responsibilities derived from the regulations in force – to develop particularly detailed designs able to ensure a good quality of the works.

Methodological approach | In this framework, this essay presents the methodological structure of the research, describing the phases replicable in any urban setting and the operative tools produced to identify solutions to improve the quality of the pavements of public spaces. This study aims to identify 'recurring' conditions and 'invariant' conditions for defining a set of solutions for the materials of urban pavements capable of meeting the requirements needed to update practices in

PROJECT AREA	REQUIREMENTS	DRIVABLE PAVINGS		CYCLE-PEDESTRIAN PAVINGS			TRAM LINES PAVINGS	ROADSIDES	LOGES				
		STREET TRACK	PARKING	CYCLE PATHS	SIDEWALK								
1. Historic town 1.1 Historic centre within the city walls		 Sampietrini cobblestones with draining joints	 Sampietrini cobblestones with draining joints	 Sampietrini Cobblestones with draining joints	 Draining bituminous conglomerate with suitable separation	 Polyolefin binder for conglomerates and asphalt	 Lava stone	 Sampietrini Cobblestones with draining joints	 Sampietrini Cobblestones with draining joints	 Light-coloured draining bitumen conglomerate	 Travertine	 Granite	 Stone or gray agglomerate cement elements 33 mm thick
		"Environmental islands" – Zone 30	"Environmental islands" – Zone 30			landscape constrains							

City centre within historic walls	 Main road traffic (≥ 50 km/h)				<ul style="list-style-type: none"> Goals: <ul style="list-style-type: none"> - improvement of water drainage; - noise pollution reduction; - reduction of atmospheric pollution; - reduction of consumption of raw materials; - heat island reduction. Solutions: <ul style="list-style-type: none"> - redesign of parking areas; - rationalization of edge elements between sidewalks and roadway; - redesign of the border elements of the flowerbeds.
	 Secondary roads ('Environmental island' and zone 30)				<ul style="list-style-type: none"> Goals: <ul style="list-style-type: none"> - improvement of water drainage; - noise pollution reduction; - reduction of atmospheric pollution; - reduction of consumption of raw materials; - heat island reduction. Solutions: <ul style="list-style-type: none"> - redesign of the parterre with the piano-woonerf system.

Fig. 10 | Extract of the matrix and the summary overview of typological and construction solutions standardised for the environment of the 'Città storica entro le mura' project (credit: Roma Capitale, 2023).

Previous page

Fig. 9 | Map of road pavements (credit: Roma Capitale, 2023).

managing the interventions. The research perimeter was limited to studying and defining an abacus of solutions relating to pavements; however, there are other elements to which the study may be extended, like the network of underground services, technical components, street furniture, and signage that occupy and help define the city's space and character. The adopted methodological path is marked by a multi-scale and interdisciplinary approach in four phases.

The first step is linked to defining objectives and strategic lines of development underlying the study of the state-of-the-art on the national and international level, as set out above and summarised in Table 1. Materials, tools and guidelines developed and adopted by the cities of Barcelona, Amsterdam, Paris, Milan, and Bologna were analysed; a study of the most innovative materials was done, examining the most recent reports published by ENEA (National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development) and scientific articles relating to the sustainable, resilient and innovative pavement.

These studies clearly show the importance of defining standardised solutions for the complex management of urban pavement surfaces that must meet multiple requirements like reducing air / noise pollution, water drainage, energy and efficiency, including those relating to perception / landscape

and history / iconography, thereby guaranteeing high levels of safety, well-being, usability, and livability. The primary purposes to be pursued in order to increase the quality of urban settings by intervening on pavements, as identified based on the data in the literature and the urban planning tools, are, therefore, to reduce air pollution, noise pollution, and heat islands, and to increase water drainage, energy efficiency, and perceived quality (Peluso, Persichetti and Moretti, 2022).

The second step focuses on analysing, digitalising, and codifying the existing elements constituting the road platform and the solutions identified to pursue sustainability objectives and strategic lines of development. In order to identify the characteristic relating to the pavements of the existing road infrastructure, a study was conducted of the tender documents and framework agreements for their maintenance. Given the extent and the heterogeneous nature of urban pavements, it was deemed useful to develop a classification and a univocal coding to identify the main typologies, the related materials, and the nodes between the elements constituting the road platform.

The coding is a starting point for the modelling of objects in BIM environment, which may be associated with specific techniques, such as stratigraphy, size, weight, the colour of the materials, and the related installation and maintenance interven-

tions (Oreto et alii, 2021). The information models are essential to make the urban management system efficient, thereby permitting greater information sharing among all interested parties throughout the infrastructural asset's life cycle.

The third step relates to the estimate of construction parametric costs for interventions to develop and maintain road infrastructures in order to provide proper support to Public Administration in the phase of the preliminary assessment of the projects to be implemented for an effective allocation of available resources, constituted by economic references both for the various types of intervention generally carried out, and for those relating to the identified innovative solutions. The fourth step focuses on developing the urban mappings for identifying needs and attributing specific solutions. The latter may be georeferenced through a GIS (on the model of the tool studied by APUR for Paris) that permits horizontal, multi-scale, and systematic management of assets, integrating tools of analysis, querying, thematisation, and development in line with shared objectives (Sottini et alii, 2021).

The City of Rome: the case study | For its complex topography, its urban morphology, and the multiple traits that define its parts, Rome is a laboratory in which multiple city management and plan-

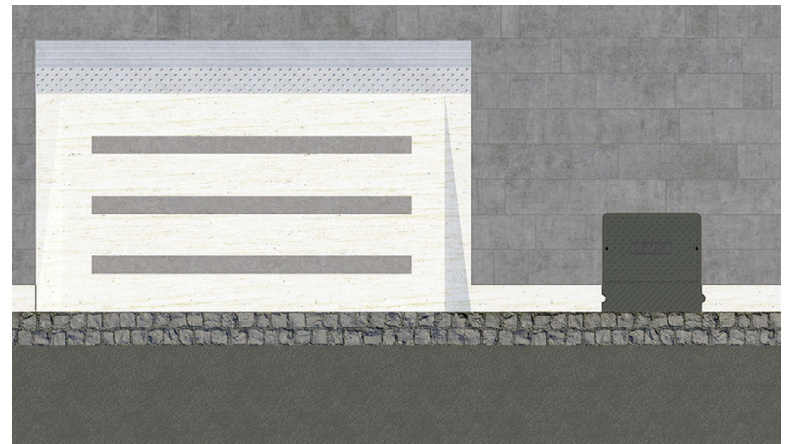
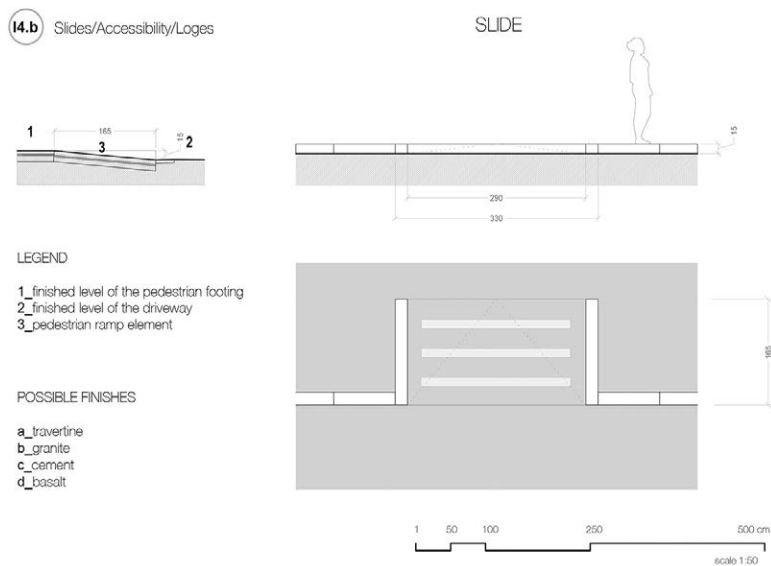


Fig. 11, 12 | Detail of the characteristic elements of urban pavements; Moodboard for the contexts of the historic and consolidated city (credits: Roma Capitale, 2023).

ning tools, aimed at achieving an urban quality (Bello, 1951; Roma Capitale, 2015; Roma Capitale, 2019), have succeeded one another and developed over time. A significant margin for progress may be found in the need to define tools guiding the intervention on the built area of the open spaces in the historic and contemporary city. The capital today is traversed by more than 8,000 km of roads. Of these, 800 km come under the management responsibility of the CSIMU (Coordinamento Sviluppo Infrastrutture e Manutenzione Urbana) Department and are an extremely significant sample that can guide the strategic choices and operative management and programming activities of the interventions handled by the other institutional bodies involved.

The first research phase relating to the preliminary studies and activities made it possible to define: 1) a shared framework of reference relating to advanced and innovative models for the quality of roads and their appurtenances through the analysis of a significant sample of case studies of administrations on the Italian and international landscape; 2) a brief outline of the instruments in force (plans, technical and guidance regulations) for the planning and management of roads and public appurtenances; 3) a historical framework of the evolution of the city's urban pavements; 4) the procedures in progress for use by the administration of the municipality of Rome, in managing the activities of designing and carrying out extraordinary maintenance interventions on roads under their responsibility. The study of the best practices described above identified the significant aspects adopted to draw up the guidelines (Tab. 1). Based on the sustainability objectives, innovative solutions were identified (Tiza et alii, 2022) for vehicular, pedestrian, bike, and tram pavements, and pavements for car parks (Tab. 2).

Based on the strategic framework of plans in force, a subdivision of the city into four main intervention settings was proposed: 1) historic city inside the walls; 2) historic city outside the walls; 3) consolidated city; 3) city to be restructured-city of transformation. The articulation of the city of Rome by fabrics is a genuine revolution because it recognises the plurality and typological/morphological complexity of the different parts it is composed of, which has produced, in its millennia of history, set-

tings differing from one another, whose discernment is essential if its many identities and specific features are to be valorised.

Therefore, a study aimed at enhancing and improving the quality of the road space could not avoid referring to the plurality of the typological / morphological articulation of the body of the city, which means, in this specific case, contributing towards giving shape and urban quality to the greatly differing spatial situations that the mapping of Rome's roads naturally requires. Given the extent of the pavements and the heterogeneous nature of the elements constituting the road platform, it was deemed useful to develop a classification and a univocal coding in order to identify the main typologies, the related materials of the urban pavements, and the nodes in the BIM environment (Fig. 5).

Given the significant size of Rome's urban pavements (more than 120 million square metres of roads), a set of large-scale studies was carried out, aimed at a critical overlapping of planning tools that can influence programming and management choices relating to traits of the urban pavements. The fabrics of the regulatory plan, which identify homogeneous parts of the city, were overlaid with specific tools: the system of roads under the responsibility of CSIMU, the PGTU (general urban traffic plan), the PUMS (sustainable urban mobility plan), the cobblestones plan, the subdivision of the city into homogenous parts of 'heat islands'. The urban-scale studies were framed upon a basis developed ad hoc to express the characteristics of the morphology of the city's environmental system.

The urban-scale studies had a twofold objective: on the one hand, to guide the choice of a set of sample streets that, selected within the city's four urban fabrics, might comprise a case history that could include heterogeneous conditions relating to the relationship between evolving types of mobility – like 'environmental islands' or '30 zones' – and different urban settings; on the other, to geolocate a set of solutions for the materials of urban pavements capable of meeting certain requirements necessary for updating practices in managing of the interventions relating to urban pavements.

Results | The output of the study consists of de-

veloping operative tools that can be used in any urban setting, aimed at supporting a more efficient and sustainable management and design of the urban elements: a) technical data sheets of the de facto state and the design examples of 20 representative roads of the varied infrastructural system for the definition of standardized solutions (Fig. 6-8); b) parametric construction costs and determination of the economic differentials; c) a new map of the road pavements, which attributes, to each of them, a set of materials and qualities that, in the overall urban field, will produce an effect of general simplification and reordering (Fig. 9); d) a matrix of standardized typological and construction solutions and a summary overview, defined for the project environment (Fig. 10); e) a detail constituting the attempt to define an elementary (and not comprehensive) taxonomic ordering of characteristic elements of the urban pavements that recur in established practice, and moodboard in typical contexts (Fig. 11, 12).

Conclusions and future developments | The innovative and original aspect that characterises the proposed study consists of systematising various digital tools to provide support to the territory's governance and to pursue goals linked to environmental transition and sustainable development, in line with the two main directives of the national recovery and resilience plan (PNRR) – greening and digitalisation. This makes it possible to define a dynamic, continuously updatable system of road classification, starting from the development and updating of open-form digital map types, down to the scale of technological detail, via a one-click passage to BIM logic and viewing in order to more deeply examine the informative detail, at an architectural scale, of furniture and of infrastructural components.

The areas of possible development of the activities to improve urban quality can regard, for example, the adoption of sophisticated technologies like Artificial Intelligence and the Internet of Things (Arifuzzaman et alii, 2020; Ma et alii, 2021), which presents an additional opportunity to promote the implementation of the ecological and digital transition as a new form of 'sustainable innovation'. The development of digital technologies offers valuable tools for efficient design, the per-

formance of works, and maintenance interventions fundamental for making road infrastructures safer and more resilient (Tucci and Carlo Ratti Associati, 2022). For example, a digital twin may be

developed: a digital representation of an actual physical asset that includes historical data and conditions of relevance in order to effect predictive maintenance essential for greater environ-

mental, economic, and social sustainability, in line with the strategic goals of European policies.

Acknowledgements

This paper springs from the Authors' shared reflections. However, the writing of the article and introductory paragraph are to be credited to S. Paris, the paragraph 'State-of-the-art and best practices' to C. Vannini, the paragraphs 'Methodological approach' and 'The City of Rome: the case study' to E. Pennacchia, and the paragraphs 'Results' and 'Conclusions and future developments' to E. Pennacchia and C. Vannini.

Notes

1) For more information on Programmes and Strategies in Paris, Amsterdam, Barcelona, Madrid, Boston, Denver, New York, and London (CAN), consult: apur.org/fr/amssterdam.nl/wonen-leefomgeving/puccinimethode/puccinimethode; ajuntament.barcelona.cat/superilles/en; tinyurl.com/2e9a3xh8; bostoncompletestreets.org; denvergov.org/files/assets/public/doti/documents/standards/doties-017_0_complete_streets_guidelines.pdf; nycstreetdesign.info and nyc.gov/site/planning/plans/active-design-sidewalk/active-design-sidewalk.page; london.ca/sites/default/files/2020-09/Complete%20Streets%20Design%20Manual.pdf [Accessed 10 May 2023].

2) Agreement between CSIMU (Coordinamento Sviluppo Infrastrutture e Manutenzione Urbana) of the Municipality of Rome (Roma Capitale) and C.I.T.E.R.A. (Centro Interdipartimentale Territorio Edilizia e Restauro Ambiente) of the 'Sapienza' University of Rome, for 'Study for the definition of guidelines and operative tools for improving the urban quality of the vehicular, bicycle, and pedestrian street pavement of the public spaces of the Municipality of Rome'.

3) For more in-depth analysis consult: apur.org/dataviz/atlas-mobilier-urbain-parisien/?page=Page [Accessed 10 May 2023].

References

- Ajuntament Barcelona (2021), *Superblock Barcelona – Towards the city we want*. [Online] Available at: ajuntament.barcelona.cat/superilles/sites/default/files/20210202_Superblock_Barcelona_web.pdf [Accessed 10 May 2023].
- Ajuntament Barcelona (2011a), *Guia de Paviments*. [Online] Available at: ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/Annex_C_Guia_de_Paviments.pdf [Accessed 10 May 2023].
- Ajuntament Barcelona (2011b), *Instrucció d'alcaldia, relativa als elements urbans de la Ciutat de Barcelona*. [Online] Available at: ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/InstruccioElementsUrbans.pdf [Accessed 10 May 2023].
- Andaloro, B., de Waal, M. and Suurenbroek, F. (2022), "Lo spazio pubblico adattivo – Esplorare la transizione digitale per il benessere sociale e ambientale | Adaptive public spaces – Exploring digital transition for social and environmental benefit", in *Agathòn | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 68-75. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1262022 [Accessed 10 May 2023].
- Arifuzzaman, M., Aniq Gul, M., Khan, K. and Hossain, S. M. Z. (2021), "Application of Artificial Intelligence (AI) for Sustainable Highway and Road System", in *Symmetry*, vol. 13, issue 1, article 60, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.3390/sym13010060 [Accessed 10 May 2023].
- Bello, B. (1951), *Le pavimentazioni delle strade di Roma*, Morara Editore, Roma.

Bocconcino, M. M. and Vozzola, M. (2022), "Repertorio aperti per istruire sistemi urbani ecologici – Strumenti grafici e transizione verde | Open repertoires for instructing ecological urban systems – Graphic tools and green transition", in *Agathòn | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 214-225. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/11192022 [Accessed 10 May 2023].

City of Copenhagen (2020), *CPH 2025 Climate Plan – Roadmap 2021-2025*. [Online] Available at: smartcity-atelier.eu/allgemein/copenhagen-roadmap-2021-2025-published/?cn-reloaded=1 [Accessed 10 May 2023].

Comune di Bologna – Settore Lavori Pubblici (2011), *Linee guida per la progettazione di interventi su strade, piazze ed infrastrutture ad esse connesse*. [Online] Available at: studiodeg.it/wp-content/uploads/2017/09/guida_progettuale_comune_BO.pdf [Accessed 10 May 2023].

Comune di Milano and AMAT – Agenzia Mobilità Ambiente e Territorio (2021), *Spazio pubblico – Linee guida di progettazione*. [Online] Available at: nuovabeic.concorrimi.it/allegati/5.2%20Spazio%20pubblico%20-%20Linee%20guida%20di%20progettazione.pdf [Accessed 10 May 2023].

Fioretti, C., Pertoldi, M., Busti, M. and Van Heerden, S. (eds) (2020), *Handbook of Sustainable Urban Development Strategies*, EUR 29990 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. [Online] Available at: doi.org/10.2760/32842 [Accessed 10 May 2023].

Gausa, M. (2022), "Topologie verdi e paesaggi oltre il paesaggio – 30 anni di ricerche avanzate sulla ibridizzazione del verde | Green topologies and landscapes beyond the land – A 30-years research on green hybridization", in *Agathòn | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 14-25. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1112022 [Accessed 10 May 2023].

Gehl, J. and Svarre, B. (2013), *How to study public life – Methods in urban design*, Island Press, Washington (DC).

Gemeente Amsterdam (2021), *Handboek Groen – Standaard voor het Amsterdamse straatbeeld – Onderdeel van de Puccinimethode*. [Online] Available at: openresearch.amsterdam.nl/page/55757/puccini-handboek-groen—standaard-voor-het-amsterdamse-sstraatbeeld [Accessed 10 May 2023].

Gemeente Amsterdam (2019), *Handboek Rood – Standaard voor het Amsterdamse straatbeeld – Onderdeel van de Puccinimethode*. [Online] Available at: openresearch.amsterdam/image/2019/11/25/handboek_rood.pdf [Accessed 10 May 2023].

Lopez, I., Ortega, J. and Pardo, M. (2020), "Mobility Infrastructures in Cities and Climate Change – An Analysis Through the Superblocks in Barcelona", in *Atmosphere*, vol. 11, issue 4, article 410, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.3390/atmos11040410 [Accessed 10 May 2023].

Ma, Z., Zhang, J., Philbin, S. P., Li, H., Yang, J., Feng, Y., Ballesteros-Pérez, P. and Skitmore, M. (2021), "Dynamic Quality Monitoring System to Assess the Quality of Asphalt Concrete Pavement", in *Buildings*, vol. 11, issue 12, article 577, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings11120577 [Accessed 10 May 2023].

Magnago Lampugnani, V. (2021), *Frammenti urbani – I piccoli oggetti che raccontano la città*, Bollati Boringhieri, Torino.

Ministero dello Sviluppo Economico (2021), *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*. [Online] Available at: governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf [Accessed 10 May 2023].

Oreto, C., Massotti, L., Biancardo, S. A., Veropalumbo, R., Viscione, N. and Russo, F. (2021), "BIM-Based Pave-

ment Management Tool for Scheduling Urban Road Maintenance", in *Infrastructures*, vol. 6, issue 11, article 148, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.3390/infrastructures6110148 [Accessed 10 May 2023].

Peluso, P., Persichetti, G. and Moretti, L. (2022), "Effectiveness of Road Cool Pavements, Greenery, and Canopies to Reduce the Urban Heat Island Effects", in *Sustainability*, vol. 14, issue 23, article 16027, pp. 1-17. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su142316027 [Accessed 10 May 2023].

Piacentini, M. (1916), *Sulla conservazione della bellezza di Roma e sullo sviluppo della città moderna*, Associazione artistica fra i cultori di Architettura, Roma.

Roma Capitale (2019), *Roma – Piano Urbano della Mobilità Sostenibile – Documento PUMS – Volume 1 – Quadro conoscitivo ed obiettivi*. [Online] Available at: comune.roma.it/web-resources/cms/documents/PUMS_roma_vol1.pdf [Accessed 10 May 2023].

Roma Capitale (2015), *Piano Generale del Traffico Urbano di Roma Capitale – Regolamento viario e classifica funzionale delle strade urbane di Roma Capitale*. [Online] Available at: comune.roma.it/web-resources/cms/documents/PGTU2015REGOLAMENTOVIARIO_CFDelAC21_2015.pdf [Accessed 10 May 2023].

Secchi, R. and Boichicchio, L. (2020), *L'architettura della strada – Forme Immagini Valori*, Quodlibet, Macerata.

Sottini, V. A., Barbierato, E., Capecchi, I., Borghini, T. and Saragosa, C. (2021), "Assessing the perception of urban visual quality – An approach integrating big data and geostatistical techniques", in *Aestimium*, vol. 79, pp. 75-102. [Online] Available at: doi.org/10.36253/aestimium-12093 [Accessed 10 May 2023].

Tiza, T. M., Mogbo, O., Singh, S. K., Shaik, N. and Shettar, M. P. (2022), "Bituminous pavement sustainability improvement strategies", in *Energy Nexus*, vol. 6, article 100065, pp. 1-7. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100065 [Accessed 10 May 2023].

Tucci, G. and Carlo Ratti Associati (2022), "La tecnologia come abilitatore di un nuovo ecosistema urbano responsivo – Intervista a Carlo Ratti (CRA Studio) | Technology as an enabler of a new ecosystem responsive urbanism – Interview with Carlo Ratti (CRA Studio)", in *Agathòn | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 12, pp. 190-201. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/12172022 [Accessed 10 May 2023].

UN – United Nations (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf [Accessed 10 May 2023].

Zardini, M. (2003), *Asfalto – Il carattere della città – Catalogo della mostra*, Mondadori Electa, Milano.