

Fabrizio Tucci, Valeria Cecafozzo,

Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura, Sapienza, Università di Roma, Italia

fabrizio.tucci@uniroma1.it

valeria.cecafozzo@uniroma1.it

Abstract. La comunità scientifica ha da tempo maturato la consapevolezza che per incidere efficacemente sulla qualità ambientale ed ecosistemica della città sia necessario intervenire non per sommatoria di interventi puntuali, come lo sono stati per decenni quelli, seppur virtuosi, alla scala dell'efficientamento di singoli edifici, ma in maniera sistematica sul tessuto urbano e su parti significative di esso. È quanto rappresentato nella ricerca e nella relativa sperimentazione applicativa, frutto della combinazione di due finanziamenti, quello Conto Terzi di un importante Ente nazionale e quello di Ateneo vinto su bando selettivo, che mirano a sviluppare azioni di *retrofitting* di spazi pubblici applicate a un'area di Roma con insediamenti consolidati e degradati e, fondamentalmente, con l'idea di costruire un modello d'uso di “tipi” di interventi tecnologico-progettuali per la loro implementazione e applicazione futura ad altri contesti con caratteristiche analoghe, seppur con le imprescindibili adattività alle differenze, in modo da dare alla sperimentazione il ruolo e il carattere di una costante evoluzione in progress nell'approccio metodologico e nella definizione dei quadri strategici e operativi.

Parole chiave: *Retrofitting*; *Green building*; Spazio pubblico; Qualità ecosistemica; Durabilità; Benessere ambientale.

Inquadramento, oggetto e obiettivi della sperimentazione

Applicare strategie e azioni di *retrofitting* allo spazio pubblico urbano significa fornire oggi possibili soluzioni per immettere nella città nel suo complesso un più alto livello di qualità ambientale ed ecosistemica, di efficienza ecologica e bioclimatica e, più in generale, di sostenibilità negli articolati aspetti sotto cui è necessario leggerla, *in primis* sui due piani della *durability* e della *adaptivity*, per usare due parole-chiave che caratterizzano ormai la ricerca e la sperimentazione contemporanee e indirizzano fortemente il cosiddetto “*Green City Approach*” (UNEP, 2012; SGGE, 2017; GCN, 2018).

Il dibattito in corso, e le oggettive necessità di invertire la visione e l'approccio alle trasformazioni per un futuro più equilibrato e “desiderabile” dell'abitare, ha da tempo evidenziato la necessi-

Retrofitting public space for the environmental and ecosystem quality of “greener” cities

Abstract. The scientific community has for some time seen a growing awareness that to effectively impact the city's environmental and ecosystem quality, it is necessary to act not by the sum of point-by-point interventions (as those albeit virtuous ones on the scale of improving the efficiency of the individual buildings have been for decades), but systematically on the urban fabric and on significant parts of it. This is what is represented in the research and in the related applicative experimentation, the result of the combination of two financing operations - the third-party one of a major national body, and the university financing won in a selective competition. These financing operations aim to develop retrofitting actions for public spaces, applied to an area of Rome with established and decayed settlements. The essential idea is to build a use model of “types” of technological/design interventions for their implementation and future application to

– ormai potremmo dire l'imperativo categorico – di passare dall'indifferenziata espansione della città a una mirata e profonda serie di azioni di *retrofitting*, riqualificazione e rigenerazione di sue parti (distretti urbani, quartieri, aggregati edilizi, ecc.) nelle quali diventa elemento-chiave l'incremento della qualità ambientale ed ecosistemica dei contesti esistenti integrato col miglioramento degli aspetti funzionali e distributivi, l'innalzamento delle *performance* energetiche, di comportamento bioclimatico e di comfort, insieme a quello delle capacità di resilienza e adattamento ai cambiamenti climatici e alle emergenze ambientali che sempre più frequentemente ne derivano (Un Habitat, 2011; IPCC, 2013; ILO, 2016).

La sperimentazione oggetto del presente contributo è frutto della combinazione di due finanziamenti – uno di un importante ente nazionale in regime di “Ricerca Conto Terzi”, l'altro di Ateneo della categoria di “Ricerca di Grande Rilevanza Scientifica”, frutto di una “selezione tra pari”¹ – con l'obiettivo di produrre un modello (la ricerca “Conto Terzi”) e di testarlo con una sperimentazione (la ricerca di Ateneo), per supportare scientificamente lo sviluppo progettuale delle azioni di *retrofitting* di spazi pubblici da realizzare nelle città italiane per incrementarne la qualità ecosistemica, le prestazioni ambientali e l'adattività bioclimatica (EEA, 2016; GCN, 2019) in occasione di interventi su reti pubbliche infrastrutturali urbane e ambientali in un'ottica di “*Green City Approach*”, con particolare riferimento agli aspetti di adattamento climatico nei confronti dei rischi, vulnerabilità e impatti dannosi derivanti dai fenomeni di ondate di calore e isole di calore urbano (OECD, 2016; Tucci, 2018).

Campo specifico di applicazione della sperimentazione è stato il quartiere romano di Primavalle, alla periferia della Capitale

other settings with similar characteristics, albeit with the essential adaptivities to differences, in such a way as to give the experimentation the role and character of a constant development in progress in methodological approach and in defining strategic and operative frameworks.

Keywords: *Retrofitting*; *Green building*; Public space; Ecosystem quality (durability); Environmental well-being.

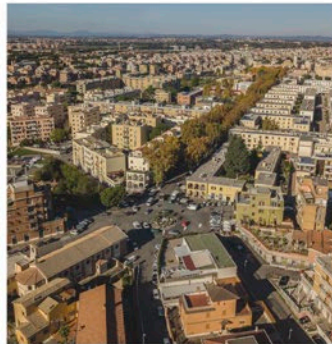
Purpose and objectives of the experimentation

Applying retrofitting strategies and actions to urban public space means providing, today, possible solutions for introducing into the city as a whole a higher level of environmental and ecosystem quality, of ecological and bioclimatic efficiency, and, more generally, of sustainability in the complex aspects

under which it must be understood. This is done first of all on the two planes of durability and of adaptivity, to use two keywords now characterizing contemporary research and experimentation and strongly guiding the so-called “*Green City Approach*” (UNEP, 2012; SGGE, 2017; GCN, 2018).

The current debate, and the objective needs of inverting the vision and the approach to transformations for a more balanced and “desirable” future of living, has for some time underscored the need – which we might call the categorical imperative – to transition from the city's undifferentiated expansion to a deep and targeted series of actions of retrofitting, requalification, and regeneration of its parts (urban districts, neighbourhoods, building developments, etc.). A key element in these actions is the increased environmental and ecosystem quality of

ZONA URBANISTICA I9B - PRIMAVALLE



the existing settings, integrated with improved functional and distribution aspects; higher performance in terms of energy, bioclimatic behaviour, and comfort; and a heightened capacity for resilience and adaptation to climate changes and to the environmental emergencies these changes are bringing with increasing frequency (Un Habitat, 2011; ILO, 2016). The experimentation that is the object of this paper is the result of the combination of two financing operations -

one from major "third-party research" body ("Conto Terzi"), and the other from the University in the category of "Research of Major Scientific Importance," the result of a "selection among peers" with the aim of producing a model (the "Conto Terzi" research) and of testing it with experimentation (the University research) in order to provide scientific support to the design development of actions for retrofitting of public spaces. These are to be carried out in Italian cities to increase

ecosystem quality, environmental performance, and bioclimatic adaptivity (EEA, 2016; GCN, 2019) on the occasion of interventions on public urban and environmental infrastructure networks with a view to the "Green City Approach", with particular reference to the aspects of climate adaptation to risks, vulnerability, and harmful impacts derived from phenomena of heat waves and of urban heat islands (OECD, 2016; Tucci, 2018). A specific field of application of the ex-

perimentation was the Roman neighbourhood of Primavalle, on the Capital's periphery, large portions of which are in decay or have been altogether abandoned, have fallen into disuse, or are at any rate underused. Here, much attention was given to the relationship between the specific urban setting that is the object of the study and of the intervention hypothesis, and the city as a whole. In this setting, the project calls for retrofitting the open spaces with refunc-

con all'interno ampie parti in degrado o addirittura in stato di abbandono, in disuso o comunque sottoutilizzate, dove un'attenzione molto forte è stata prestata alla relazione tra lo specifico ambito urbano oggetto dello studio e dell'ipotesi di intervento e la città nel suo complesso.

In tale contesto il progetto prevede il *retrofitting* degli spazi aperti pubblici con una loro rifunzionalizzazione, una valorizzazione del sistema del verde, un miglioramento della mobilità in chiave sostenibile; e il *retrofitting* morfologico, funzionale e tecnologico-ambientale degli edifici residenziali pubblici e degli spazi esterni di pertinenza, prevalentemente ancora appartenenti alla originaria categoria dell'ERP (Edilizia Residenziale Pubblica).

La sperimentazione mira ad incrementare la qualità fruitivo-ambientale degli spazi pubblici oggetto di intervento; a migliorare le condizioni socio-economiche degli abitanti in relazione al miglioramento dei fattori di *comfort*, fruibilità, vivibilità e adattabilità; a costituire occasione di confronto culturale all'interno della comunità scientifica sulla proposta di un modello d'intervento di qualificazione ambientale ed ecosistemica *in progress*.

Gli obiettivi specifici della sperimentazione possono essere ricondotti all'innalzamento della qualità e del benessere ambientali e al potenziamento delle capacità di resilienza e adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici (in primis a quelli di isola di calore e di ondate di calore), nello sfondo della complessiva tensione verso la riduzione dell'impronta ecologica del quartiere, dei consumi energetici e idrici, delle emissioni di CO₂, e possono essere rapportati alle seguenti due linee di indirizzo che verranno recepite dalla metodologia adottata (illustrata nel paragrafo successivo):

tionalization, a valorized green system, improved mobility with a view to sustainability, and the morphological, functional, and technological/environmental retrofitting of the residential buildings and of the exterior appurtenant spaces, mainly still belonging to the original category of public residential construction (Edilizia Residenziale Pubblica - ERP).

The experimentation aims to increase the quality, environmentally and in terms of exploitation, of the public spaces that are the object of intervention; to improve the inhabitants' socioeconomic conditions in relation to improvement of the factors of comfort, usability, livability, and adaptability; to be an opportunity for cultural dialogue within the scientific community on the proposal of an intervention model for environmental and ecosystem qualification in progress.

The specific objectives of the experimentation may be ascribed to the improved environmental quality and well-being, and to the strengthened capacity of resilience and adaptation to the effects of climate change (above all, heat islands and heat waves), against the background of an overall tendency towards reducing the neighbourhood's ecological footprint, energy and water consumption, and CO₂ emissions. These objectives may be related to the following two guidelines that will be included in the adopted methodology (illustrated in the following paragraph):

- first guiding and then assessing the improvement in the environmental comfort of the spaces subject to the design intervention;
- building a solid and reliable knowledge base of the current state, and assessing/predicting the project's

- indirizzare prima e valutare dopo il miglioramento del *comfort* ambientale degli spazi oggetto dell'intervento progettuale;
- costruire una base conoscitiva solida e affidabile sia dello stato di fatto che valutativo-predittiva dello stato di progetto, per poter effettuare successive valutazioni per eventuali implementazioni, ovvero come base metodologica anche per altri futuri progetti e sperimentazioni.

Metodologia adottata

L'approccio metodologico è fondato, a partire dal confronto con la letteratura scientifica, sui seguenti *step*, che possiamo sintetizzare con l'espressione "*input modelling - simulation - output modelling*":

- costruzione di un quadro di riferimento (*modelling di input*) e individuazione dei sistemi tecnologici oggetto della sperimentazione;
- definizione degli scenari di intervento e sviluppo di analisi alternative ad essi applicate con strumenti innovativi (*simulation*);
- focalizzazione delle soluzioni più appropriate in relazione ai risultati simulativi dinamici (*post-simulation*);
- formulazione del modello di intervento adattivo efficace in quel determinato contesto (*modelling di output*).

La sperimentazione si è sviluppata nelle fasi che vengono di seguito sinteticamente illustrate.

Prima Fase: Analisi dello stato di fatto dell'area studiata e del suo contesto, che si è sviluppata attraverso i seguenti punti:

- 1.1. Caratterizzazione del sistema ambientale di contesto attraverso i relativi dati climatici e i principali fattori ambientali rilevabili da dati ufficiali o da sistemi di *Big Data*.

status, in order to be able to carry out subsequent assessments for possible implementations, or as a methodological basis for future projects and experimentation efforts as well.

Adopted methodology

Starting from comparison with the scientific literature, the methodological approach is based on the following steps, which may be summed up with the expression "*input modelling - simulation - output modelling*":

- constructing a framework of reference (input modelling) and identifying the technological systems that are the object of the experimentation;
- defining the scenarios of intervention and development of analyses alternative to them, applied with innovative tools (simulation);
- focusing on the solutions most ap-

propriate for the dynamic simulation results (post-simulation);

- formulating the adaptive intervention model effective in that given context (output modelling).

Experimentation developed in the phases as outlined below.

Phase one: Analysis of the actual state of the studied area and of its context, developed through the following points:

- 1.1. Characterization of the context's environmental system through the related climatic data and the main environmental factors obtainable from official data or from Big Data systems.
- 1.2. Data acquisition for the construction of the model to be submitted for dynamic four-dimensional simulations, of which one variable is the time for studying the variations in key schedules and days.
- 1.3. Performance of dynamic simula-

- 1.2. Acquisizione dei dati per la costruzione del modello da sottoporre a simulazioni dinamiche quadrimensionali di cui una variabile è il tempo per studiare le variazioni in giorni e orari-chiave.
- 1.3. Esecuzione delle simulazioni dinamiche dei comportamenti microclimatico-ambientali dell'area urbana che sarà oggetto dell'intervento, applicando tali simulazioni ad un'area allargata con un'ulteriore fascia intorno ad essa, per calcolare con più affidabilità gli effetti all'interno di quella specifica area di intervento. Attraverso il programma *Envi-met* vengono effettuate le elaborazioni sulle condizioni *ante operam* di ventilazione naturale, igrometriche, di soleggiamento e ombreggiamento, di illuminazione naturale e - molto importanti - sulle condizioni termiche, articolate in quelle della

temperatura dell'aria (AT - *Air Temperature*), della temperatura media radiante (MRT - *Mean Radiant Temperature*) e della temperatura fisiologica (PET - *Physiological Equivalent Temperature*).

- 1.4. Rilevazioni in loco con strumenti diagnostici e/o sensori quali termoflussimetro, termocamera, centralina, dei parametri ambientali per la messa a sistema delle simulazioni e per la formazione del quadro analitico definitivo dei comportamenti microclimatici.
- 1.5. Elaborazione delle seguenti tipologie di parametri per rendere noti i differenti gradi di *discomfort* e la percentuale di persone insoddisfatte con il calcolo degli indici PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*).

INDIRIZZI, STRATEGIE E AZIONI

MACRO-QUESTIONI DI RIFERIMENTO	INDIRIZZI	STRATEGIE	AZIONI PIU RICORRENTI NELLE PRATICHE INTERNAZIONALI
1. RISCALDAMENTO GLOBALE E IN GENERALE MUTAMENTI CLIMATICO-AMBIENTALI	1. AFFRONTARE LA SFIDA CLIMATICA CON MISURE DI ADATTAMENTO E DI MITIGAZIONE CENTRATE SULLA RIQUALIFICAZIONE BIOCLIMATICA ED ENERGETICA	1.1. ADATTAMENTO E INNALZAMENTO DELLE CAPACITA' DI RESILIENZA AI MUTAMENTI AMBIENTALI	M1.1.1 Adattamento ai fenomeni di isola di calore e incremento della resilienza ai fenomeni di ondate di calore M1.1.2 Adattamento ai fenomeni di precipitazione intensa, tempeste, Pluvial flooding M1.1.3 Adattamento ai fenomeni di intensificazione della ventosità M1.1.4 Incremento della resilienza e adattamento ai fenomeni di siccità M1.1.5 Sviluppo di piani e/o programmi per lo sviluppo di resilienza e adattamento ai cambiamenti climatici
		1.2. MITIGAZIONE DELLE CAUSE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI	M1.2.1 Accelerazione dei processi di Deep Energy Renovation volti ad abbattimento delle emissioni di gas serra M1.2.2 Adozione dei metodi di progettazione "performance-based" volti ad abbattimento delle emissioni M1.2.3 Valorizzazione del rapporto tra verde (nelle sue diverse scale) e sottrazione di CO2 M1.2.4 Valorizzazione del rapporto tra mobilità urbana sostenibile e diminuzione delle emissioni di gas serra M1.2.5 Contabilizzazione emissioni di gas serra e valutazione di ricadute economiche ambientali e sociali della loro riduzione
2. PROGRESSIVA DIFFUSIONE DEL DEGRADO E DEL CONSUMO DI SUOLO NELLE CITTÀ	2. PROMUOVERE LA RIGENERAZIONE URBANA E LA RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO ESISTENTE	2.1. PROMOZIONE DEI PROCESSI DI RIGENERAZIONE URBANA E DI TUTELA DEL SUOLO	M2.1.1 Rigenerazione urbana con riferimento alla limitazione del consumo di suolo M2.1.2 Identificazione dei tessuti urbani oggetto di intervento, e di lavoro sui "vuoti" e sui "non-luoghi" urbani M2.1.3 "fondazioni" di aree multifunzionali con l'inserimento di mix funzionale e di mix di attività e di usi M2.1.4 Rigenerazione degli spazi urbani residenziali e non, in degrado o dismissione, nella loro trasformazione fisica e d'uso M2.1.5 Rigenerazione delle infrastrutture urbane in degrado o dismissione, nella loro trasformazione fisica e d'uso M2.1.6 Prevenzione dei rischi idrologici con miglioramento di permeabilità superficiale, reti di drenaggio urbano, scaricatori di piene, ecc.
		2.2. PROMOZIONE DELLA RIQUALIFICAZIONE, RECUPERO, MANUTENZIONE DEL PATRIMONIO ESISTENTE	M2.2.1 Programmazione della più diffusa e continua riqualificazione del patrimonio edilizio pubblico e privato M2.2.2 Programmazione della manutenzione del patrimonio edilizio esistente per aumentarne durata e qualità M2.2.3 Prevenzione dei rischi sismici del patrimonio edilizio anche, ad es., con agevolazioni procedurali e autorizzative M2.2.4 Riqualificazione e riuso del patrimonio edilizio costruito per rispondere ai nuovi fabbisogni residenziali, in primis sociali M2.2.5 Riqualificazione e riuso del patrimonio costruito per rispondere ai nuovi fabbisogni di servizi e attività economiche
3. COMPLESSIVA INSOSTENIBILITÀ DEI PROCESSI IN ATTO NELLE CITTÀ	3. QUALIFICARE GLI SPAZI PUBBLICI CON PROGETTI INNOVATIVI COME MODELLO PER LA DIFFUSIONE DELL'APPROCCIO DEL CICLO DI VITA E DELLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE NEI PROCESSI DECISIONALI	3.1. ADOZIONE SISTEMATICA DELLA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E DELL'APPROCCIO DEL CICLO DI VITA NEI PROCESSI DECISIONALI	M3.1.1 Sviluppo di strumenti politico-normativi locali tesi a incentivare la valutazione ambientale e il Life Cycle M3.1.2 Sviluppo di strumenti progettuali di clima, valutazione e certificazione ambientale ex ante i processi trasformativi M3.1.3 Sviluppo di strumenti di monitoraggio ambientale ex post i processi trasformativi M3.1.4 Promozione di approcci benchmark, target e data base centrati sulle specifiche esigenze del territorio M3.1.5 Adozione e applicazione locale di programmi di organizzazione circolare di produzione-uso-produzione
		3.2. PROMOZIONE DI PROGETTI E INTERVENTI INNOVATIVI DI QUALIFICAZIONE DEGLI SPAZI PUBBLICI QUALE VOLANO DI SOSTENIBILITÀ	M3.2.1 Applicazione politico-normativa del Green Public Procurement nei processi di qualificazione degli spazi pubblici M3.2.2 Applicazione di criteri ecologici avanzati e criteri ambientali mirati in ogni tipo di intervento negli spazi pubblici M3.2.3 Promozione del passaggio dalle Smart Public Building alla Smart City e viceversa, con processi virtuosi di feedback M3.2.4 Incentivazione e facilitazione dell'applicazione delle norme e dei Correttivi dei Codici dei Contratti Pubblici
4. IMPOVERIMENTO DELLE RISORSE BIOFISICHE, DEL VERDE E AUMENTO DELL'INQUINAMENTO	4. FARE DELLA TUTELA DEL CAPITALE NATURALE E DELLA QUALITÀ ECOLOGICA DEI SISTEMI URBANI LE CHIAVI DEL RILANCIO DELL'ARCHITETTURA E DELL'URBANISTICA	4.1. PROMOZIONE DEL CAPITALE NATURALE, DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEI SERVIZI ECOSISTEMICI	M4.1.1 Promozione/valorizzazione delle infrastrutture verdi, della loro multi-funzionalità e della loro multi-funzionalità M4.1.2 Promozione/valorizzazione di parchi e giardini, alberature, involucri verdi, in relazione ai caratteri di contesto M4.1.3 Promozione/valorizzazione di parchi e giardini, alberature, involucri verdi, in relazione ai caratteri di contesto M4.1.5 Programmazione della manutenzione/gestione del verde M4.1.6 Abbattimento delle emissioni inquinanti dell'aria nella gestione e riorganizzazione delle attività del sistema urbano M4.1.7 Azioni di accostamento delle condizioni ambientali presenti nell'atmosfera nell'ambito del sistema territorio-città-edificio
		4.2. AUMENTO DELLA QUALITÀ ECOLOGICA DEI SISTEMI DI MOBILITÀ	M4.2.1 Limitazione della circolazione delle auto private in città M4.2.2 Promozione della circolazione tramite mezzi pubblici M4.2.3 Incremento delle reti di percorsi ciclabili e pedonali tramite infrastrutture lineari esistenti o nuove M4.2.4 Implementazione delle aree di sosta dei mezzi privati nello spazio pubblico M4.2.5 Promozione della sharing mobility in un'ottica di avanzamento tecnologico, anche con sistemi ITS M4.2.6 Incentivazione dell'uso di auto elettriche, ibride e a biometano
5. DEPAUPERAMENTO DI QUALITÀ E BELLEZZA DEI LUOGHI DELL'ABITARE URBANO	5. TUTELARE E INCREMENTARE IL CAPITALE CULTURALE, LA QUALITÀ E L'IDENTITÀ DEI TERRITORI, DEI PAESAGGI, DELLE CITTÀ E DEI CENTRI MINORI	5.1. VALORIZZAZIONE DEL CAPITALE CULTURALE	M5.1.1 Riconoscimento, tutela e valorizzazione del patrimonio culturale M5.1.2 Valorizzazione degli ecosistemi antropoculturali delle aree urbane M5.1.3 Promozione di un'economia della cultura
		5.2. TUTELA, VALORIZZAZIONE E INCREMENTO DELLA QUALITÀ E DELL'IDENTITÀ DI TERRITORI, PAESAGGI, CITTÀ E CENTRI MINORI	M5.2.1 Riconoscimento, tutela e valorizzazione dell'identità dei luoghi M5.2.2 Definizione di indirizzi, criteri, standard per accrescere la qualità architettonica e urbanistica dell'ambiente costruito M5.2.3 Promozione di un certo livello di omogeneità ed equità nella distribuzione della qualità in ambito urbano
6. INEFFICIENZA, INEFFICACIA E NON CIRCOLARITÀ DEI PROCESSI DI COSTRUZIONE E TRASFORMAZIONE	6. VALORIZZARE IL CAPITALE TECNOLOGICO PER INCREMENTARE LA QUALITÀ, L'EFFICIENZA E L'EFFICACIA NELL'USO DELLE RISORSE	6.1. PROMOZIONE DELL'EFFICIENZA ENERGETICA, BIOCLIMATICA E DELLE FONTI RINNOVABILI	M6.1.1 Efficienza/efficientamento energetico e di riduzione dei consumi degli edifici e degli aggregati edifici sia pubblici che privati M6.1.2 Uso di soluzioni bioclimatiche passive con sistemi di ventilazione, raffrescamento, riscaldamento, illuminazione naturali M6.1.3 Adozione dei sistemi smart di automazione, domotica e building management, per supportare performance energetiche M6.1.4 Adozione dei metodi di progettazione basati sui processi di Simulation e Modeling dei caratteri ambientali M6.1.5 Utilizzo delle tecnologie di produzione energetica da fonti rinnovabili, solari, eoliche, geotermiche, da biomassa, a idrogeno, ecc. M6.1.6 Utilizzo della Smart Grid o Dynamic Smart Grid per la distribuzione diffusa e adattiva dell'energia prodotta da rinnovabili
		6.2. AUMENTO DELLA QUALITÀ ECOLOGICA DEL CAPITALE TECNOLOGICO E DELL'EFFICACIA NELL'USO CIRCOLARE DELLE RISORSE	M6.2.1 Impiego progettuali di materiali ecocompatibili, nature based, recycled based, ambientalmente performanti M6.2.2 Prevenzione e riduzione della produzione di scarti e rifiuti derivanti dai processi dell'Abitare e dall'Edilizia M6.2.3 Organizzazione circolare dei processi di produzione-uso-produzione M6.2.4 Raccolta differenziata e riutilizzo dei rifiuti derivanti dai processi dell'Abitare M6.2.5 Raccolta differenziata e riutilizzo degli scarti da attività di costruzione e demolizione edilizia M6.2.6 Raccolta e riutilizzo delle risorse idriche grigie e piovane negli edifici e negli spazi aperti M6.2.7 Limitazione del consumo idrico e di un suo uso efficace ed efficiente negli edifici e negli spazi aperti M6.2.8 Utilizzo di reti di depuratori con elevata qualità degli effluenti depurati e trattamento-recupero dei fanghi generati
7. DEGRADO SOCIALE, INGIUSTIZIA, IMPOVERIMENTO, INSICUREZZA, DISCRIMINAZIONE NELLE CITTÀ	7. SALVAGUARDARE IL CAPITALE SOCIALE E PROGETTARE UN FUTURO DESIDERABILE PER LE CITTÀ	7.1. SALVAGUARDIA DEL CAPITALE SOCIALE E INCENTIVAZIONE DEI PROCESSI DI PARTECIPAZIONE, CONDIVISIONE E INCLUSIONE	M7.1.1 Partecipazione, condivisione, inclusione, elevazione di livelli e azioni delle trasformazioni degli spazi aperti e confinati M7.1.2 Riposta sistemica alle emergenze sociali e abitative, con organizzazione di modelli d'intervento anche temporaneo M7.1.3 Uso dell'innovazione tecnologico-digitale - ICT, IoT, ecc. - come strumento di supporto alla riduzione delle disegualtanze sociali
		7.2. PROMOZIONE DELLA QUALITÀ DELLE CITTÀ VERSO MODELLI CHE NE AUMENTINO VIVIBILITÀ E BENESSERE IN STRETTA RELAZIONE COL TERRITORIO	M7.2.1 Aumento della sicurezza quale base imprescindibile della vivibilità delle città M7.2.2 Incremento dell'accessibilità ai servizi e attività, anche facilitando l'impiego delle tecnologie digitali appropriate a questo fine M7.2.3 Miglioramento del benessere e comfort ambientale nella rete di spazi aperti strutturante il sistema urbano

STRATEGIE	MISURE	AZIONI	LIVELLI D'INTERVENTO	LIVELLO PREFERENZIALE
1.1. ADATTAMENTO E INNALZAMENTO DELLE CAPACITÀ DI RESILIENZA AI MUTAMENTI CLIMATICI	M1.1. Adattamento ai rischi di isole di calore e di ondate di calore, associati alle minacce di siccità, caldo estremo e temperature elevate.	1 Controllo della radiazione solare-ombreggiamento, orientamento e morfologia degli edifici sia nel complesso della forma urbana, che nelle risadate sugli spazi aperti e interni, che nei caratteri del singolo edificio.		
		2 Aumento della ventilazione naturale attraverso l'orientamento e la morfologia urbana.		
		3 Aumento del raffrescamento per evaporazione ed evapotraspirazione.		
		4 Impiego e potenziamento di infrastrutture verdi per effetti bioclimatici adattivi alle diverse scale.		
		5 Aumento del raffrescamento mediante lo sfruttamento di falde freatiche e di corpi idrici superficiali a carattere naturale.		
		6 Valorizzazione dell'uso di corpi d'acqua e di elementi contenenti acqua a carattere artificiale.		
		7 Adozione di Cool Paviers per gli spazi aperti e interni.		
		8 Impiego di accumulo termico, della massa termica e di materiali innovativi per il controllo bioclimatico della variazione delle temperature alle varie scale all'interno in estate.		
		9 Impiego di Cool materials e materiali riflettenti per coperture e facciate degli edifici.		
		10 Miglioramento dell'isolamento termico, della protezione solare, della ventilazione naturale e del raffrescamento passivo degli edifici.		
	M1.2. Adattamento ai rischi di difficoltà di gestione idrica e di approvvigionamento idrico, collegati alle minacce di precipitazioni intense, tempeste, pluvial flooding, alluvioni.	11 Deviazione e accumulo dei flussi alluvionali lontano dalle aree colpite urbane.		
		12 Mitigazione delle alluvioni e temporaneo accumulo idrico, servendosi anche di spazi verdi.		
		1 Controllo delle riserve idriche, ad esempio gestione del suolo (in dalle aree montane extraurbane).		
		2 Misure per l'arresto delle alluvioni, e in ultima istanza per difese permanenti e forti.		
		3 Riallineamento controllato dei percorsi di deflusso idrico.		
		4 Gestione dei percorsi delle alluvioni per fronteggiare eventi di precipitazioni a carattere eccezionale, bufere, tempeste.		
5 Sistemi di drenaggio urbano sostenibile.				
6 Efficientamento dei sistemi di gestione idrica urbana a fronte di alluvioni, in prima: allargamento degli scarichi per incrementarne la capacità di portata; impiego di sabbioni e di arena urbana.				
7 Aumento della quota delle pavimentazioni urbane permeabili.				
8 Aumento dei Tetti verdi per frenare il deflusso idrico dalle coperture.				
M1.3. Adattamento ai rischi di approvvigionamento idrico e alimentare associati alle minacce di siccità e aridità.	9 10a Impermeabilizzazione delle coperture e aggriti prioritari delle precipitazioni.			
	10b Impiego diffuso e sistematico di materiali resistenti alle alluvioni.			
	1 Realizzazione di bacini inondabili urbani per la raccolta su larga scala delle acque da periodi di pioggia alternati a quelli di siccità/aridità.			
	2 Realizzazione di canali inondabili per la raccolta su larga scala delle acque da periodi di pioggia alternati a quelli di siccità/aridità.			
	3 Modellazione morfologica dei suoli urbani per realizzare depressioni verdi atte a favorire accumuli superficiali delle acque da periodi di pioggia alternati a quelli di siccità/aridità.			
	4 Realizzazione di depressioni pavimentate artificialmente per realizzare al contempo sia raccolta delle acque, che più facile indottrinamento e confusione verso luoghi di raccolta (colorati, etc).			
	5 Realizzazione di sistemi di recupero dell'acqua piovana con carattere sistematico, anche collegati a sistemi di Rain Gardens, Dry Wells, Planter Box, ecc., a coprire programmaticamente e diffusamente intere aree di dimensioni urbane/di quartiere urbano. Utilizzo di vasche di raccolta dell'acqua dalle strade e dagli spazi esterni con stoccaggio e depurazione alla scala del quartiere/interno dell'edificio.			
	6 Impiego di biospecie e biologi urbani per determinare al contempo sia raccolta e stoccaggio delle acque piovane nei periodi di pioggia alternati a quelli di siccità/aridità, sia confusione e depurazione delle acque da uso interno negli edifici ed esterni negli spazi aperti.			
	7 Impiego di sistemi duali di recupero diretto dell'acqua dall'interno degli edifici, e sua depurazione e riutilizzo negli spazi confinati, intermedi e aperti di contesto degli edifici stessi.			
	8 Utilizzo sistematico, in tutti gli edifici, di soluzioni di risparmio idrico, ad es. con erogatori a getto controllato, contatori idrici intelligenti, forme di disinquinamento allo spruzzo d'acqua in prima negli edifici residenziali, pubblici, commerciali e di attività funzional-oggettiva.			
M1.4. Adattamento ai rischi associati alle minacce di ventosità estreme e di cicloni nelle forme di usanze e stormi.	9 Adozione di sistemi di confusione delle acque dagli involucri degli edifici, con stoccaggio e depurazione, quali "nervi d'acqua" sulla scala dell'edificio. Utilizzo di coperture tormente drenanti per il trattamento dell'acqua e il rallentamento dei deflussi nei periodi di pioggia alternati a quelli di siccità/aridità, per favorire la raccolta.			
	10 Promozione dell'impiego diffuso e sistematico di forme di urban farming negli spazi aperti urbani e di vertical farming negli edifici della città, per un approvvigionamento alimentare che ha origine dall'interno della città con ricorso all'uso di acqua raccolta e reoperata nei diversi ambiti e forme secondo le precedenti azioni, strategico nei periodi di siccità/aridità.			
	1 Realizzazione di barriere frangivento verdi nei punti urbani e periferici più opportuni.			
	2 Conferenziazione di corredi urbani di incanalamento dei venti con alberature e sistemi vegetali.			
	3 Impiego di urban green infrastrutture anche per assorbire o attenuare, nella loro multifunzionalità, l'impatto e la velocità dei movimenti d'aria nella città alle diverse scale.			
	4 Sistematica manutenzione e potatura, mirata e continua, dei sistemi vegetali, in particolare delle grandi alberature nelle loro chiome, fronde, ramificazioni.			
	5 Rafforzamento degli ancoraggi delle zolle delle alberature.			
	6 Realizzazione di barriere frangivento artificiali nei più opportuni punti urbani e periferici ad alto rischio da ventosità estreme e frangere da cicloni.			
	7 Attenuazione delle differenze di temperatura tra diversi luoghi dello stesso contesto urbano o territoriale, alle diverse scale (tra spazio aperto e spazio aperto, tra quartiere a quartiere, tra distretto a distretto, tra spazio urbano e spazio extraurbano), per attenuare la velocità dell'aria dovuta alle eccessive differenze di temperatura che vi si possono instaurare.			
	8 Dissaccolazione del tessuto urbano - limitando al massimo il consumo di suolo - strategico per numerosi altri obiettivi ma anche per attenuare con più efficacia l'impatto dei venti negli spazi aperti e interni.			
9 Impiego sistematico di interventi inqualificativi volti a rimbottire e migliorare la sicurezza degli edifici alle ventosità estreme, in prima la tenuta degli involucri edilizi a tali fenomeni.				
10 Rafforzamento sistematico degli ancoraggi al suolo di tutti gli elementi artificiali di arredo urbano per la loro messa in sicurezza a fronte del rischio di sradicamento da ventosità estreme e straordinarie.				

tions of the microclimatic-environmental behaviour of the urban area that will be the object of the intervention, applying these simulations to an area enlarged with an additional segment around it, in order to more reliably calculate the effects within that specific area of intervention. Through the *Envi-met* programme, processing operations are performed on the *ante operam* conditions of natu-

ral ventilation, humidity, sunlight and shade, natural lighting, and – highly important – on the thermal conditions, articulated into the conditions of air temperature (AT), mean radiant temperature (MRT), and physiological equivalent temperature (PET - Physiological Equivalent Temperature).

1.4. Onsite surveying with diagnostic instruments and/or sensors, such as heat flux meter, thermographic

camera, control unit, of the environmental parameters for systematizing the simulations and for forming the definitive analytical framework of the microclimatic behaviour.

1.5. Elaboration of the following types of parameters for making known the different degrees of discomfort and the percentage of dissatisfied persons, with the calculation of the PMV (Predicted Mean Vote)

and PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) indices.

1.6. Detailed study of the key points representing the entire area's bioclimatic-environmental behaviour.

1.7. Assessment of the analytical bioclimatic-environmental results on the actual *ante operam* state obtained on an annual basis, taking account of the calibrated results of the dynamic simulations described in the various passages.

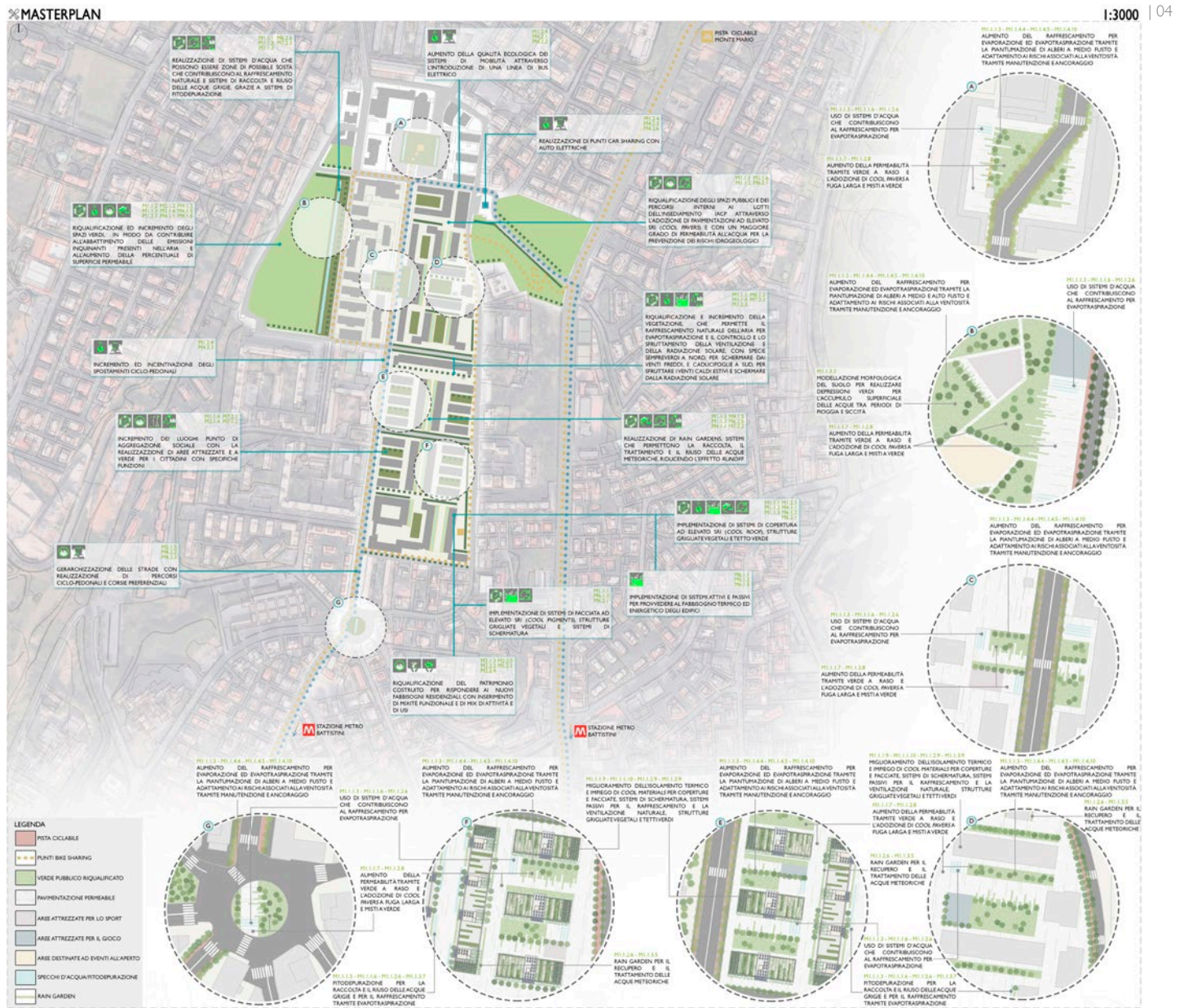
Masterplan of the former IACP neighbourhood of Primavalle, indicating the Strategies and Measures for intervention, and the specific Actions of retrofitting the public spaces that are the object of modelling and simulation

- 1.6. Studio di dettaglio dei punti-chiave rappresentativi del comportamento bioclimatico-ambientale dell'intera area.
- 1.7. Valutazione dei risultati analitici bioclimatico-ambientali sullo stato di fatto *ante operam* ottenuti su base annua, tenendo conto dei risultati tarati delle simulazioni dinamiche descritte nei vari passaggi.

Seconda Fase: Costruzione di un quadro-concept di riferimento e definizione dei sistemi progettuali tecnologici che caratteriz-

zeranno l'intervento di retrofitting, in coerenza con gli esiti della precedente fase analitico-conoscitiva-valutativa, e predittivo rispetto alle performance attese (che saranno valutate nella terza fase).

Parte essenziale di questa fase è stata la formulazione dello scenario di intervento e una prima valutazione sulla compatibilità del sistema d'intervento con gli obiettivi performativi del quadro-concept.



Terza Fase: Misurazione dinamica e valutazione delle *performance* bioclimatico-ambientali.

In questa fase di sperimentazione si è provveduto a ripercorrere i passaggi metodologici caratterizzanti la Prima Fase ma con simulazioni e valutazioni riferite alle condizioni ipotizzate progettualemente di *post operam*.

Strategie, azioni di intervento, risultati

L'approccio rappresentato dal quadro metodologico illustrato ha permesso di individuare con

maggiore consapevolezza gli assi strategici attraverso cui operare la scelta di appropriate tipologie di sistemi tecnologici e la loro integrazione rispetto al quadro dei requisiti da assolvere. Un ruolo determinante e strutturante è stato assegnato al sistema degli spazi aperti pubblici: dal grande spazio esterno articolato in un sistema di giardini, pavimentazioni e attrezzature di vario tipo, allo spazio intermedio caratterizzato dai percorsi interni ai lotti degli insediamenti IACP, fino alla serie di spazi interclusi che costituiscono espressione della diffusa relazionabilità tra dimensione "esterna" e "interna".

Gli assi strategici della riqualificazione degli spazi esterni attraverso l'uso della vegetazione (Akbari, 2009), di pavimentazioni permeabili e "cool" (Chatzidimitriou and Yannas, 2015), di arredo urbano in un'ottica bioclimatica (Erell *et al.*, 2011) e la funzionalizzazione di aree per lo svago e il tempo libero con un'impronta "green" (Makropoulou and Gospodini, 2016), rispondono non solo alle esigenze di complessivo miglioramento del comportamento bioclimatico ambientale con una positiva ricaduta sulla loro qualità e benessere ambientali (Santamouris and Kolokotsa, 2016), ma offrono riscontro anche all'asse strategico che vuole

elevare il loro grado di fruibilità e favorire l'aggregazione e la resilienza sociale, prestando attenzione alle diverse fasce di utenza che, dopo decenni di vita nel degrado, necessitano di attenzione e finalmente di "particolare cura".

Gli spazi verdi contribuiscono alla sottrazione delle emissioni inquinanti presenti nell'area e assicurano il raffrescamento naturale per evapotraspirazione. Risulta strategica la loro interazione con la ventilazione naturale, opportunamente studiata differenziandone gli apporti nei diversi punti del quartiere, favoriti d'estate e attenuati/schermati d'inverno dal rinnovato assetto morfologico che viene a configurarsi con l'inserimento delle nuove specie (Tucci, 2012). Altrettanto strategica è la relazione con la radiazione solare attraverso l'impiego, indirizzato e verificato nei suoi apporti tramite le simulazioni, di specie sempreverdi e caducifoglie secondo la valutazione delle opportunità di creare condizioni di contesto in grado di privilegiare la schermatura dall'irraggiamento solare d'estate oppure l'azione termica della radiazione durante l'inverno.

Lungo l'asse centrale dell'insediamento per connettere i lotti IACP sono stati concepiti *boulevard* pedonali con la presenza ai piani terra di negozi e servizi per attivare la vitalità urbana.

Per quanto attiene alle scelte dei materiali e alle definizioni cromatiche operate negli spazi aperti pubblici, sulle facciate e sulle coperture degli edifici, sono stati selezionati materiali e componenti appartenenti alle categorie dei *cool paver* e dei *cool material*, in modo da aumentare la quantità di energia riflessa col fine ultimo di far diminuire quella immagazzinata e ottenere una minore temperatura superficiale.

Sono previsti tetti verdi e involucri con colori chiari, a volte anche schermati con la vegetazione, per tutta l'area di intervento.

Phase two: Construction of a concept framework of reference and definition of the technological design systems that will characterize the retrofitting intervention, consistently with the outcomes of the prior analytic/fact-finding/assessment phase, and predictive of the expected performance (to be assessed in the third phase). An essential part of this phase was the formulation of the intervention scenario and an initial assessment on the intervention system's compatibility with the concept framework's performance objectives.

Phase three: Dynamic measurement and assessment of bioclimatic-environmental performance.

During this experimentation phase, the methodological steps characterizing Phase 1 were covered once again, but with simulations and assessments referring to the *post operam* conditions hypothesized in the design.

Strategies, action interventions, results

The approach represented by the described methodological framework made it possible to identify, with greater awareness, the strategic axes through which to make the choice of appropriate types of technological systems and their integration in the framework of requirements to be met. A decisive, structuring role was assigned to the system of public open spaces: from the large external space articulated in a system of gardens, pavements, and equipment of various kinds, to the intermediate space characterized by paths within the lots of the IACP settlements, and to the series of enclosed spaces expressing the widespread relatability between the "external" and "internal" dimensions.

The strategic axes of the requalification of external spaces through the use of

vegetation (Akbari, 2009), of permeable and "cool" pavement (Chatzidimitriou and Yannas, 2015), of street furniture with a view to bioclimate (Erell *et al.*, 2011) and the functionalization of green areas for free time and recreation (Makropoulou and Gospodini, 2016) do not respond solely to the needs for overall improvement of bioclimatic-environmental behaviour with a positive impact on their environmental well-being and quality (Santamouris and Kolokotsa, 2016); they also offer a response to the strategic axis that aims to raise their degree of usability and foster aggregation and social resilience, while focusing on the various user segments that, after decades of living in decay, require attention and, at long last, "special care".

The green areas contribute to removing the pollutants present in the area, and ensure natural cooling by evapo-

transpiration. Particularly strategic is their interaction with natural ventilation, appropriately studied by differentiating its contributions in different points of the neighbourhood, favoured in the summer and attenuated/screened in the winter by the renewed morphological arrangement configured with the introduction of new species (Tucci, 2012). Equally strategic is the relationship with solar radiation through the use - directed and verified in its contributions through simulations - of evergreen and deciduous species, depending on the assessment of the opportunities to create contextual conditions capable of privileging the screening of solar radiation in the summer, or the thermal action of radiation during the winter.

Along the central axis of the settlement, to connect the IACP lots, pedestrian boulevards were conceived, with



Le trasformazioni hanno riguardato, per quanto concerne gli assi carrabili, la riduzione della sezione stradale e delle aree parcheggio, sostituendo gran parte dell'asfalto con cemento poroso e prato, aumentando del 50% le superfici permeabili e inserendo alberature continue prevalentemente sempreverdi. I *boulevard* sono stati realizzati impiantando nuove alberature caducifoglie e attrezzati con pavimentazione in cemento. È stato previsto inoltre l'inserimento di superfici di acqua pari al 10% dell'area, con l'obiettivo di abbassare le temperature estive; alcune di queste superfici sono destinate alla fitodepurazione. Per gli spazi intermedi agli edifici è prevista la sostituzione della piastra pavimentata in cemento e basalto con zone verdi caratterizzate da prati, alberi caducifoglie e zampilli d'acqua per innescare fenomeni di evapotraspirazione.

Per quanto riguarda l'intervento di *retrofitting* degli edifici, dopo la fase di ricerca centrata sulle condizioni date, le principali strategie si sono tradotte attraverso azioni, frutto anche di una seria e concreta interlocuzione con l'ATER di Roma, mirate alla verifica della loro fattibilità nel tempo, che privilegiano l'impiego di dispositivi tecnologici passivi prevalentemente per *interagire* e per *integrarsi* nei sistemi d'involucro degli edifici ex IACP, in diretta coerenza con le scelte d'intervento sugli spazi aperti pubblici, intermedi o esterni, di diretta pertinenza o di più ampio contesto.

Protagonisti delle scelte di forte *interazione* con gli involucri sono innanzitutto i sistemi di torri di ventilazione per migliorare il comportamento termico e il *comfort* dei singoli alloggi, durante tutto l'anno e in maniera particolarmente significativa d'estate, assicurando i ricambi d'aria previsti dalla normativa; altrettanto importanti sono i sistemi di atrii bioclimatici interclusi

terra-cielo sulle facciate degli edifici, che d'inverno, grazie alla chiusura dei loro involucri vetrati e alla "attivazione" di masse interne, contribuiscono alla generazione e all'accumulo passivo di calore; mentre d'estate, quasi completamente aperti attraverso sistemi di lamelle vetrate orientabili, permettono una ventilazione naturale strategica in fase notturna per i ricambi d'aria e il raffrescamento passivo degli ambienti. Gli atrii danno inoltre un importante contributo in termini d'illuminazione naturale a tutti gli spazi collettivi dell'edificio durante l'intero anno.

Per ciò che riguarda la seconda prevalente linea strategica di *retrofitting* sugli edifici, quella che lavora sulla *integrazione* negli involucri, viene privilegiato l'uso di logge solari per ogni alloggio, che come l'atrio bioclimatico contribuiscono d'inverno all'accumulo termico passivo e d'estate all'innescare e accentuazione della ventilazione trasversale; di *brise-soleil* e *raster* metallici sulle aperture degli alloggi, realizzati da pannelli scorrevoli a libro costituiti da elementi schermanti fissi e adeguatamente inclinati per garantire in estate l'ombreggiamento delle aperture e d'inverno per sfruttare l'esposizione solare; di pareti verdi formate, a seconda dei punti di applicazione e della natura del supporto ospitante, da erbacee e rampicanti caducifoglie, con un significativo contributo sulle *performance* legate al raffrescamento naturale e alle ricadute sul microclima urbano di contesto, attenuando il fenomeno di isola di calore e riducendo le emissioni di CO₂; di pareti ventilate per migliorare le prestazioni termiche dell'involucro.

L'applicazione dell'approccio metodologico e delle linee strategiche delineate nel corso della sperimentazione permette – al termine di tutto il processo di *modeling* e *simulation* operato comparativamente sulle condizioni *ante* e *post operam* e alla luce

the presence of shops and services on the ground floors to activate urban vitality.

As regards the choices of materials and the chromatic definitions made in the public open spaces, on the façades and on the roofs of the buildings, materials and components belonging to the "cool paver" and "cool material" categories were selected, in order to increase the amount of reflected energy with the ultimate purpose of reducing the stored energy and of obtaining lower surface temperature.

Green roofs and light-coloured envelopes, at times screened with vegetation, are planned for the entire intervention area. As concerns the road axes, the transformations regarded reducing the road section and the parking areas, replacing much of the asphalt with porous cement and lawn, while increasing the permeable surfac-

es by 50% and introducing continuous, mostly evergreen trees. The boulevards were made by planting new deciduous trees, and are equipped with cement paving. Also planned is the introduction of water surfaces covering 10% of the area, with the objective of lowering summer temperatures; some of these surfaces are intended as constructed wetland. For the spaces between the buildings, the cement and basalt paved slab is to be replaced with green areas characterized by lawns, deciduous trees, and fountains to trigger evapotranspiration phenomena.

As for the intervention of retrofitting the buildings, after the research phase centred upon the given conditions, the main strategies were translated into actions, also the result of a serious and concrete dialogue with ATER in Rome, aimed at verifying their feasibility over time. These actions privilege

the employment of passive technology devices mainly to *interact with* and to *integrate into* the envelope systems of the former IACP buildings, in direct keeping with the intervention choices on the intermediate or external public open spaces, of direct appurtenance or of a broader context.

The leading actors in the choices of strong *interaction* with the envelopes are, above, the systems of ventilation towers to improve thermal behaviour and the comfort of the individual housing units, throughout the year and, in a particularly significant way, during the summer, ensuring the air exchange provided for by the regulations; equally important are the systems of enclosed earth-sky bioclimatic atria on the buildings' façades, which, during the winter, thanks to the closure of their glass envelopes and to the "activation" of internal masses,

contribute towards the generation and passive accumulation of heat; during the summer, almost completely open due to systems of orientable glass blades, they permit strategic natural ventilation at night for air exchange, and the passive cooling of the environments. The atria also make an important contribution in terms of natural lighting for all the building's collective spaces, year round.

The second prevalent strategic line of *retrofitting* on buildings, the one that works on *integration* into the envelopes, privileges the use of solar logges for each housing unit which, like the bioclimatic atrium, contribute towards passive heat accumulation in the winter and towards triggering and accentuating cross-ventilation in the summer; of metal sunshades and rasters on the windows of the housing units, made by sliding folding panels consti-

Layout of the Lot of the former IACP neighbourhood of Primavalle chosen for more in-depth simulations, highlighting the main Measures and Actions that are the object of the modelling-simulation process



di tutti i passaggi precedenti – di valutare gli impatti e gli effetti delle scelte progettuali in termini di *performance* bioclimatico-ambientali con particolare riferimento agli aspetti microclimatici di tipo fluidodinamico e termico, e con esplicito obiettivo il complessivo miglioramento delle condizioni di *comfort* ambientale e, indirettamente, la maggiore capacità di adattarsi ai mutamenti impressi dal *climate change* a tali condizioni.

I parametri bioclimatici considerati sono stati:

- la WS (*Wind Speed*), espressa in metri al secondo, dovuta ai venti prevalenti e alle caratteristiche microclimatiche locali;
- la AT (*Air Temperature*), espressa in °C, che dipende come noto dalla combinazione dell'inclinazione dei raggi solari insieme a numerosi altri fattori geografici. I suoi valori variano nel tempo e nello spazio;
- la MRT (*Mean Radiant Temperature*) espressa in °C, che indica la media delle temperature superficiali scambiate con l'ambiente circostante, influenzata sia dalle proprietà radiative (riflettanza, riflessione, assorbimento e albedo) che dalla emissività dei materiali della superficie;
- il PMW (*Predicted Mean Vote*), che rappresenta un indice sintetico per la valutazione del *comfort* ambientale ed è funzione di sei variabili indipendenti (temperatura, umidità relativa, velocità dell'aria, temperatura media radiante, isolamento termico del vestiario, livello di attività metabolica);
- il PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), che esprime la percentuale di persone insoddisfatte della condizione ambientale.

Le rilevazioni dei parametri sono state effettuate in punti-chiave selezionati in tre distinte zone dell'intervento, ritenute "tipiche" e rappresentative di tipologie di situazioni ricorrenti nell'ambito

della complessiva area urbana di studio. Sono punti, infatti che fanno capo rispettivamente a un asse di attraversamento carrabile (punto A), a un *boulevard* pedonale (punto B) e agli spazi intermedi interni agli insediamenti IACP (punto C).

Si tratta di punti rappresentativi dell'area di intervento in quanto la loro individuazione euristica è stata supportata dall'elaborazione di una griglia tipologica costruita in modo da minimizzare la dissimilarità delle caratteristiche interne a ciascuna zona attraverso l'associazione degli elementi omogenei, e di massimizzare quelle tra l'una e l'altra per assicurare la maggiore distanza fra gli elementi appartenenti ad esse. Per ciascuna zona "tipica" è stato scelto un punto pressoché baricentrico, nel quale è stata effettuata la rilevazione dei risultati simulativi e la comparazione tra *performance* nelle configurazioni *ante* e *post operam*.

In sintesi la differenza *ante/post* intervento consegna una migliore situazione per tutti i parametri e per tutte le situazioni studiate nel *post operam*, come può evincersi dallo schema illustrativo riportato nella figura 8.

I parametri in gioco, grazie agli interventi effettuati rispetto alla situazione originaria, fanno registrare in tutti i casi gli effetti progettualmente desiderati: la ventilazione naturale aumenta in estate e diminuisce in inverno; la temperatura dell'aria e la temperatura media radiante diminuiscono in estate e aumentano in inverno. Nello specifico – per comprendere l'incidenza degli interventi di tipo "passivo" e "naturale" ipotizzati nell'ambito di questa sperimentazione – si possono svolgere a titolo esemplificativo alcune considerazioni sulla valutazione comparativa di una selezione dei risultati della sperimentazione.

La ventilazione naturale in estate passa da 4 a 4,8 m/s sull'asse carrabile, da 0,5 a 1 m/s nel *boulevard* e da 2,5 a 3,3 m/s negli

tuted by fixed screening elements and appropriately inclined to guarantee shading of the windows in the summer, and to exploit exposure to the sun in the winter; of green walls formed, depending on the points of application and the nature of the housing support, by moss, herbaceous plants and deciduous climbing plants, with a significant contribution to the performance features connected to natural cooling and to the impacts on the surrounding urban microclimate, thus attenuating the heat island phenomenon and reducing CO₂ emissions; and of ventilated walls to improve the envelope's thermal performance.

The application of the methodological approach and of the strategic lines outlined during the experimentation makes it possible – after the entire modelling and simulation process carried out comparatively on the *ante*

and *post operam* conditions and in light of all the prior steps – to assess the impacts and the effects of the design choices, in terms of bioclimatic-environmental performance. This is done with particular reference to the fluid-dynamic and thermal microclimatic aspects, and with the explicit aim being the overall improvement of the conditions of environmental comfort and, indirectly, the increased capacity to adapt to the changes that climate change has brought to these conditions.

The considered bioclimatic parameters were:

- WS (*Wind Speed*), expressed in metres per second, due to prevailing winds and local microclimatic conditions;
- AT (*Air Temperature*), expressed in °C, which depends, as is known, on the combination of the angle of

the sun's rays along with numerous other geographical factors. Its values vary over time and space;

- MRT (*Mean Radiant Temperature*), expressed in °C, which indicates the mean of the surface temperatures exchanged with the surrounding environment, influenced both by the radiation properties (reflectance, reflection, absorption, and albedo) and by the emissivity of the surface's materials;
- PMW (*Predicted Mean Vote*), which is a synthetic index for assessing environmental comfort, and a function of six independent variables (temperature, relative humidity, airspeed, mean radiant temperature, thermal insulation of clothing, level of metabolic activity);
- PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), which expresses the percentage of persons dissatisfied with the

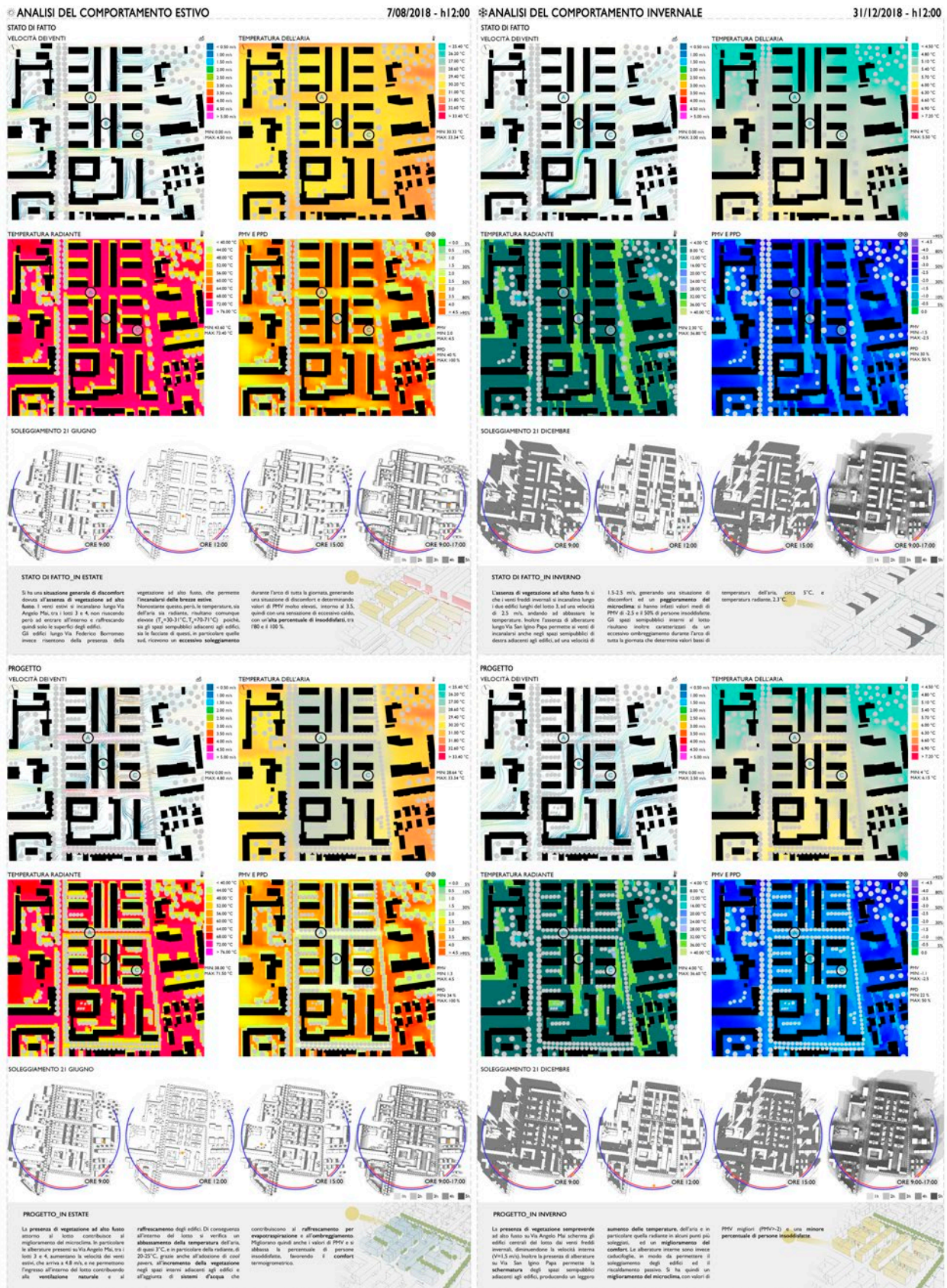
environmental condition.

The surveys of the parameters were carried out in selected key points in three distinct areas of intervention deemed "typical" and representatives of types of situations recurring in the overall urban area of study. There are in fact points that may be ascribed respectively to a road crossing axis (point A), to a pedestrian boulevard (point B), and the intermediate spaces inside the IACP settlements (point C).

These points are representative of the intervention area, since their heuristic identification was supported by the elaboration of a typological grid built in such a way as to minimize the dissimilarity of the characteristics within each zone, through the association of homogeneous elements, and to maximize those between one and the other in order to ensure the greatest distance between the elements belonging to

07 | Simulazione dei comportamenti fluidodinamici (Velocità dei venti) e termofisici (Temperatura dell'aria e Temperatura Media Radiante) nei valori estremi d'estate e d'inverno, nel confronto ante operam e post operam, e con valutazioni di sintesi secondo gli indici PMV (Predicted Mean Vote) e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)

Simulation of the fluid dynamic (Windspeed) and thermo-physical (Air Temperature and Mean Radiant Temperature) behaviour in the extreme winter and summer values, ante operam and post operam, and with summary assessments in accordance with the PMV (Predicted Mean Vote) and PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) indices



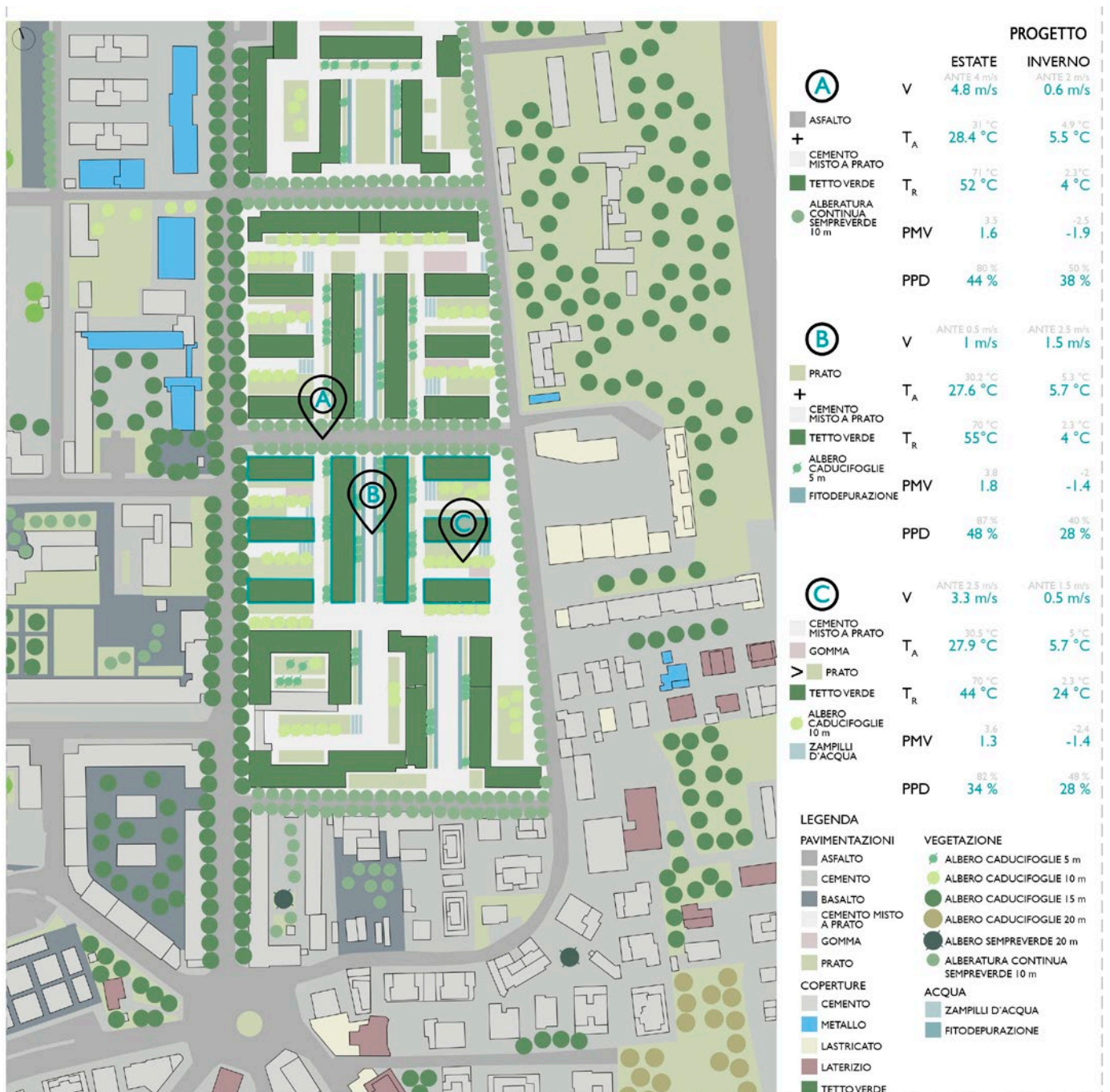
08 | Planimetria dell'area intervento con indicazione dei punti chiave di rilevazione dei parametri e relative risultanze delle rispettive simulazioni di comportamento ambientale con confronto ante operam e post operam in relazione alle performance fluidodinamiche (V - Velocità dei venti) e termofisiche (Ta - Temperatura dell'aria; Tr - Temperatura Media Radiante), e con valutazione di sintesi comparativa ante e post rispetto agli indici PMV (Predicted Mean Vote) e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied); asse carrabile (punto A), boulevard pedonale (punto B), spazi intermedi interni (punto C)

Layout of the intervention area indicating key points for surveying the parameters, and the results of the respective simulations of environmental behaviour with ante operam and post operam comparison with relation to the fluid dynamic (V - Windspeed) and thermo-physical (Ta - Air temperature; Tr - Mean Radiant Temperature) behaviour, and with summary comparative ante and post assessment for the PMV (Predicted Mean Vote) and PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) indices: the road axis (point A), pedestrian boulevard (point B), and internal intermediate spaces (point C)

spazi intermedi agli edifici. In inverno la riduzione è significativa: da 2 a 0,6 m/s sull'asse carrabile, da 2,5 a 1,5 m/s nel boulevard e da 1,5 a 0,5 m/s negli spazi interni agli edifici. La temperatura dell'aria diminuisce in estate di 2,6° in tutti i punti chiave prescelti - risultato particolarmente apprezzabile

laddove la letteratura scientifica definisce ottimale/eccellente una perdita estiva difficilmente superiore a 2-3°C - e aumenta in inverno rispettivamente di 0,6°, 0,4° e 0,7° sull'asse carrabile, nel boulevard e negli spazi interni agli edifici. Gli interventi adottati hanno consentito di ridurre la temperatura media radiante in

08 |



estate di 19° sull'asse carrabile, di 15° nel boulevard e di 26° negli spazi interni mentre è aumentata nei tre punti di 1,7° in inverno. Correlativamente ai tre parametri di base esaminati, l'impiego degli indici di *comfort* PMV e PPD fornisce i più importanti riscontri della sperimentazione. Tali indici, come noto, rappresentano la condizione di benessere psicofisico dell'individuo rispetto all'ambiente così come è definita dall'*American Society of Heating Refrigerating and Conditioning Engineers* (ASHRAE). Essi fanno registrare una valutazione *ex post* significativamente migliore di quella *ex ante*, sia in estate che in inverno. Il PMV mediamente scende di ben 2,1 punti in estate e sale di quasi 1 punto in inverno, posizionando l'indice in tutti e tre i punti sempre nella fascia di ottimalità della percezione del comfort tra -1,5 e +1,5, mentre la percentuale degli utenti-tipo classificati come "insoddisfatti" (PPD) scende in media da 83 a 42% in estate e da 46 a 31% in inverno; risultati, questi ultimi, che nel caso della presente sperimentazione traducono il netto miglioramento del grado di "soddisfazione attesa" dei fruitori e del "Predicted Mean Vote" nel migliore riconoscimento della piena appropriatezza ed efficacia delle scelte tecnologico-progettuali.

Conclusioni

I risultati ottenuti dalle simulazioni, verificati attraverso gli indici di benessere termo-igrometrico, confermano la reale rispondenza delle soluzioni tecnico-progettuali con gli obiettivi prefissati di *retrofitting* degli spazi pubblici per una valorizzazione dell'area oggetto di analisi orientata al miglioramento della qualità ambientale ed ecosistemica. Il *retrofitting* si conferma una metodologia d'intervento adeguata e coerente di riqualificazione degli spazi aperti e la strumentazione utilizzata ha consentito di cogliere i risultati attesi di ri-

them. For each "typical" zone, a virtually barycentric point was chosen, in which the simulation results were surveyed and the performances in the *ante* and *post operam* configurations were compared.

In brief, the difference before and after the intervention yields a better situation for all the parameters and for all the situations studied *post operam*, as shown by the illustrative diagram reported in figure 8.

The parameters in play, thanks to the interventions carried out with respect to the original situation, in all cases show the effects desired in the design: natural ventilation increases in the summer and diminishes in the winter; air temperature and mean radiant temperature fall in the summer and rise in the winter. In specific terms – to understand the incidence of the "passive" and "natural" type interventions

hypothesized in this experimentation – some considerations may be made by way of example in connection with the comparative assessment of a selection of results of the experimentation.

During the summer, natural ventilation grows from 4 to 4.8 m/s on the road axis, from 0.5 to 1 m/s on the boulevard, and from 2.5 to 3.3 m/s in the buildings' intermediate spaces. During the winter, the reduction is significant: from 2 to 0.6 m/s on the road axis, from 2.5 to 1.5 m/s on the boulevard, and from 1.5 to 0.5 m/s in the buildings' intermediate spaces.

During the summer, air temperature falls by 2.6° in all the chosen key points (a result that may be particularly appreciated where the scientific literature defines as optimal/excellent a summer loss that struggles to exceed 2-3°C) and increases in the winter by 0.6°, 0.4°, and 0.7° on the road axis, on

spondenza alle esigenze di adattamento, anche in una realistica previsione di aumenti di temperatura e di arrivo di ondate di calore dovuti ai cambiamenti climatici in atto, definendo spazi più resilienti e adattivi a tali effetti con caratteristiche e prestazioni definite.

L'aspetto innovativo della ricerca si fonda sul tentativo – *in progress* e dunque esso stesso adattivo rispetto ai futuri sviluppi delle sperimentazioni in atto – di costruire un modello d'uso di tipologie di interventi tecnologico-progettuali, valutati nelle loro ricadute prestazionali combinate, utile non solo in termini applicativi per uno specifico contesto, ma anche – ed è il dato più interessante – per l'impostazione di metodo di futuri progetti di intervento in contesti analoghi.

In auspicabili futuri *step*, sembra opportuno agire su due aspetti evolutivi della ricerca: approfondire la metodica di rilevazione dei comportamenti prestazionali dei fattori biofisici e microclimatici nelle fasi di analisi dello stato di fatto, aumentando l'attendibilità dei dati con rilevazioni, sensoristica usata a campione o in modo sistematico; proseguire nel costante necessario affinamento del quadro di indicatori tesi a fornire la parametrica di riferimento per supportare le scelte progettuali.

Si tratta di una ricerca e sperimentazione *in progress*, con la consapevolezza che progettare gli spazi aperti delle città in modo appropriato rispetto a quelle che saranno le esigenze odierne e future, pensare spazi pubblici capaci di fronteggiare, adattare e mitigare gli effetti del cambiamento climatico, permette anche di ripristinare gli spazi della socialità e del vivere comune, di rigenerare lo spazio per favorire l'integrazione sociale, di incoraggiare e supportare l'abitare insieme e, in definitiva, forse anche di credere in un futuro più desiderabile delle nostre città.

the boulevard, and in the buildings' intermediate spaces respectively. The adopted interventions made it possible to reduce the mean radiant temperature in the summer by 19° on the road axis, 15° on the boulevard, and 26° in the internal spaces, while it rose by 1.7° in the winter.

In correlation with the three basic parameters examined, the employment of the PMV and PPD comfort indices yields the most important experimentation responses. These indices, as is known, represent the psycho-physical conditions of the individual with respect to the environment, as defined by the American Society of Heating Refrigerating and Conditioning Engineers (ASHRAE). They record an *ex post* assessment significantly better than the *ex ante* one, in both summer and winter. The PMV falls on average by no less than 2.1 points in the sum-

mer and rises by nearly 1 point in the winter, thus placing the index – in all three points – at all times in the segment of optimal comfort perception, between -1.5 and +1.5, while the percentage of typical users classified as "dissatisfied" (PPD) falls on average from 83% to 42% in the summer and from 46% to 31% in the winter; in the case of this experimentation, these last results translate the net improvement of the degree of the users' "expected satisfaction" and of the "predicted mean vote" into better recognition of the full appropriateness and effectiveness of the design and technological choices.

Conclusions

The results obtained by the simulations, verified using the indices of heat/humidity comfort, confirm that the technical and design solutions

NOTE

¹ Credits | I risultati presentati in questo contributo sono il frutto della combinazione di due ricerche: una è la Ricerca Conto Terzi finanziata da Italferr Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane, dal titolo: “Attività di ricerca orientata al potenziamento dell’impiego dei fattori bioclimatici naturali e ibridi, e l’ottimizzazione delle loro ricadute sugli aspetti di comfort ed energetici, quale supporto allo sviluppo del progetto di infrastrutture e spazi pubblici nelle città” (2017-2018); l’altra è la Ricerca di Ateneo finanziata con “selezione tra pari” dalla Sapienza, dal titolo: “Resilient Design: indirizzi progettuali e strategie tecnico-attuative per il controllo della qualità microclimatica ed energetica dell’ambiente urbano in Italia” (2017-2019). Gruppo di lavoro: Prof. Fabrizio Tucci (Responsabile Scientifico), Ph.D. Valeria Cecafosso (Coordinamento Operativo), Ph.D. Alessia Caruso, Ph.D. Gaia Turchetti, Arch. Marco Giampaolletti. Collaboratori: Arch. Cristina Fiore, Arch. Margherita Fiorini, Arch. Giulia Sciarretti, Arch. Giuseppina Vespa.

REFERENCES

Antonini, E. and Tucci, F. (2017), *Architecture, City and Territory towards a Green Economy. Building a Manifesto of the Green Economy for the Architecture and the City of the Future*, Edizioni Ambiente, Milano.

Akbari, H. (2009), *Cooling our communities. A guidebook on tree planting and light-colored surfacing*, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley.

Chatzidimitriou, A. and Yannas, S. (2015), “Microclimate development in open urban spaces: the influence of form and materials”, *Energy and Buildings*, Vol. 108, pp. 156-174.

EEA (European Environmental Agency) (2016), *Urban Adaptation to Climate Change in Europe*, Office for Official Publications of the European Union, Luxembourg-Copenhagen.

truly meet the pre-established objectives of retrofitting public spaces for a valorization of the analysis area aimed at improving the environmental and ecosystem quality.

Retrofitting is confirmed as a suitable and consistent intervention for re-qualifying open spaces, and the instrumentation used has made it possible to obtain the expected results of responding to the needs of adaptation – even with a realistic forecast of increased temperatures and the arrival of heat waves due to the climate changes taking place – by defining spaces that are more resilient and adaptive to these effects, with defined characteristics and performance.

The innovative aspect of the research is founded upon the attempt – in progress and therefore on its own adaptive to the future developments of the experimentations in progress – to

construct a use model of typologies of technological and design interventions, assessed in their combined performance impacts. This is of use not only in terms of application for a specific context, but also – and this is the most interesting feature – for setting up a method of future intervention projects in similar settings.

In desirable future steps, it appears appropriate to act upon two aspects of evolution of the research: to more deeply examine the methods for surveying the performance behaviour of the biophysical and microclimatic factors during the phases of analysis of the actual state, by increasing the data’s reliability with surveys and sensing used by sampling or systematically; and to continue in the constant and necessary refinement of the framework of indicators aimed at providing the parameters of reference for sup-

porting the design choices.

Erell, E., Pearlmutter, D. and Williamson, T.J. (2011), *Urban microclimate: designing the spaces between buildings*, Earthscan, Washington.

GCN (Green City Network), Tucci, F. (2019), *Adattamento ai cambiamenti climatici di Architetture e Città ‘Green’ per migliorare la resilienza dell’Ambiente Costruito*, SUSDEF Pubblicazioni, Roma.

ILO (International Labour Organisation) (2016), *A just transition to climate-resilient economies and cities*, ILO Editions, Geneva.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2013), *Climate Change. The physical science basis summary for policymakers, technical summary and frequently asked questions*, Cambridge University Press, Massachusetts.

Makropoulou, M. and Gospodini, A. (2016), “Urban Form and Microclimatic Conditions in Public Open Spaces”, *Journal of Sustainable Development*, Vol. 9(1), p. 132.

OECD (2016), *Green Cities Programme Methodology*, ICLEI Local Governments for Sustainability, European Bank for Reconstruction and Development, EBRD Publishing, Londra, Parigi.

Santamouris, M. and Kolokotsa, D. (2016), *Urban Climate Mitigation Techniques*, Routledge, Londra.

SGGE (Stati Generali della Green Economy) (2017), *La Città Futura. Manifesto della Green Economy per l’architettura e l’urbanistica*, SUSDEF Pubblicazioni, Roma.

Tucci, F. (2012), *Atlas of technological systems for bioclimatic architecture. Natural building ventilation*, Alinea Editrice, Firenze.

Tucci, F. (2018), *Green Building and dwelling. Approaches, Strategies, experimentation for an environmental technological design*, Altralinea, Firenze.

Un Habitat (2011), *Saving Cities: Adaptation as part of development*, United Nations Human Settlements Programme Publishing.

UNEP (United Nations Environment Programme) (2012), *Green Economy Coalition*, UNEP Publishing, Bruxelles.

oriented towards strengthening the use

of natural and hybrid bioclimatic factors, and at optimizing their impacts on the aspects of comfort and energy use, as support for the development of the design of infrastructures and public spaces in cities” (2017-2018); the other is the University Research financed by the “selection among peers” at Sapienza University of Rome, entitled: “Resilient Design: design guidelines and technical/implementation strategies for microclimatic and energy quality control of the urban environment in Italy” (2017-2019). Working group: Prof. Fabrizio Tucci (Principal Investigator), Ph.D. Valeria Cecafosso (Operating Coordinator), Ph.D. Alessia Caruso, Ph.D. Gaia Turchetti, Arch. Marco Giampaolletti. Collaborators: Arch. Cristina Fiore, Arch. Margherita Fiorini, Arch. Giulia Sciarretti, Arch. Giuseppina Vespa.

NOTES

¹ Credits | The results presented in this paper are the product of the combination of two research efforts: one is the Conto Terzi Research financed by Italferr Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane, with title: “Research activity