

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II
Dipartimento di Architettura
Dottorato di Ricerca in Tecnologia dell'Architettura - XXVIII ciclo

The background of the page features a large, faint watermark of the seal of the University of Naples Federico II. The seal is circular and contains a central figure of a seated monarch, likely King Frederick II, wearing a crown and holding a scepter. The Latin inscription around the border of the seal reads "UNIVERSITAS NEAPOLITANA" at the top and "FREDERICVS SECVNDVS" at the bottom.

CLIMATE ADAPTIVE DESIGN STRATEGIES FOR THE BUILT ENVIRONMENT

Metodologia per il controllo tecnico-decisionale con strumenti IT
del progetto dell'esistente nel contesto napoletano

Dottorando: arch. Eduardo Bassolino

Tutor: prof. arch. Valeria D'Ambrosio

Il Coordinatore
prof. arch. Mario Losasso

INTRODUZIONE	6
1. IL PROGETTO EDILIZIO E URBANO IN REGIME DI CLIMATE CHANGE	8
1.1. GLI EFFETTI DEL CLIMATE CHANGE IN AMBIENTE URBANO	9
1.2. GLI OBIETTIVI DELL'UE PER LE POLITICHE SULL'ENERGIA E I CAMBIAMENTI CLIMATICI	12
1.3. LE CRITICITÀ TECNICO PRESTAZIONALI DELLO SPAZIO URBANO	13
1.4. LE CARATTERISTICHE DELLO SPAZIO URBANO E LA RELAZIONE CON IL CLIMA	21
1.5. LA RESILIENZA NELL'APPROCCIO SOSTENIBILE DEL PROGETTO	24
2. GLI STRUMENTI DI INFORMATION TECHNOLOGY COME SUPPORTO ALLE DECISIONI PROGETTUALI	28
2.1. GLI STRUMENTI IT PER IL SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE AMBIENTALE	29
2.2. LA STRATEGIA DELLE SIMULAZIONI: EDIFICI E SPAZI URBANI	35
2.3. IL RUOLO DELLA SPERIMENTAZIONE E L'UTILIZZO DI STRUMENTI IT PER LA VERIFICA DELLE PRESTAZIONI PROGETTUALI: ANALISI CRITICA	38
3. LA VIVIBILITÀ DELLO SPAZIO APERTO URBANO	41
3.1. LA PROGETTAZIONE AMBIENTALE E GLI SVILUPPI FUTURI	42
3.2. BUONE PRATICHE NAZIONALI E INTERNAZIONALI	43
3.3. SOLUZIONI PROGETTUALI E TECNOLOGIE INNOVATIVE PER IL SISTEMA EDIFICIO-AMBIENTE	60
3.4. PROGETTARE PER IL BENESSERE NELLO SPAZIO URBANO	66
3.4.1. INDICI DI COMFORT AMBIENTALE	67
3.4.2. INDICATORI PRESTAZIONALI DI COMFORT AMBIENTALE	69
3.4.3. PROTOCOLLI	71
3.5. STRATEGIE DI ADATTAMENTO E MITIGAZIONE PER IL PROGETTO AMBIENTALE	73

4. CASO APPLICATIVO: IL CENTRO STORICO E L'AREA EST DI NAPOLI	76
4.1. PROCEDURA SPERIMENTALE PER IL CONTROLLO TECNICO-PRESTAZIONALE DI INTERVENTI DI ADAPTIVE DESIGN	77
4.2. OBIETTIVI E DEFINIZIONE DELL'AMBITO DI STUDIO: IL CENTRO STORICO E L'AREA EST DI NAPOLI	82
4.3. APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA SPERIMENTALE	85
4.3.1. RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE AMBIENTALI	87
4.3.2. ANALISI AMBIENTALI SOFTWARE	93
4.3.3. CAMPIONATURA, CLASSIFICAZIONE E CONFRONTO DI ELEMENTI URBANI	100
4.3.4. VALUTAZIONE PRESTAZIONALE	104
4.3.5. VERIFICA METAPROGETTUALE	108
4.4. RISULTATI E CONSIDERAZIONI SUL CASO APPLICATIVO	118
5. STRATEGIE E STRUMENTI PER L'INDIRIZZO DEGLI INTERVENTI DI PROGETTAZIONE AMBIENTALE PER UNA CITTÀ RESILIENTE	121
5.1. STRATEGIE DI ADAPTIVE DESIGN ALLA SCALA LOCALE	122
5.2. LINEE DI INDIRIZZO PER IL PROCESSO DI RIGENERAZIONE AMBIENTALE RESILIENTE NELL'AREA NAPOLETANA	123
5.3. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE DI RICERCA	147
APPENDICE	149
BIBLIOGRAFIA	228
SITOGRAFIA	237
GLOSSARIO	239

In uno scenario in cui i cambiamenti climatici in atto sottopongono i centri urbani e le grandi città ad alti livelli di vulnerabilità e criticità ambientali, emerge la necessità di definire strumenti di supporto decisionale e operativi in grado di prefigurare e verificare l'efficacia di processi di trasformazione e rigenerazione urbana. L'aumento delle temperature medie globali, comporta inevitabili ripercussioni anche alla scala locale urbana, soprattutto durante il verificarsi di lunghi periodi di caldo anomalo (ondate di calore). Conseguenza dei cambiamenti climatici in atto sulle grandi città e i centri urbani, è il verificarsi dell'effetto isola di calore urbana (UHI), che fa affiorare l'incapacità delle città di saper fronteggiare i mutamenti del clima, rendendo gli spazi aperti delle città luoghi invivibili, non più l'habitat ideale allo svolgimento della vita quotidiana e gli scambi sociali.

Il lavoro di ricerca si propone di definire una procedura sperimentale per il controllo tecnico-decisionale negli interventi di *climate adaptive design* nel contesto napoletano, attraverso il supporto di strumenti di Information Technology – IT per la simulazione delle componenti ambientali dello spazio aperto urbano e la definizione di strumenti di supporto alla progettazione ambientale urbana e clima adattiva (sistema di indicatori, strategia di adattamento locale, linee guida, ecc.). Questa si focalizza sulla ricerca e l'efficacia di soluzioni tecniche e progettuali per il miglioramento del comfort termico negli spazi aperti. A fronte di una letteratura di riferimento e una sperimentazione sul tema, che non ancora in grado di calarsi nelle problematiche legate all'intera gestione dei processi edilizi urbani a livello locale, ci si pone l'obiettivo di determinare processi innovativi di progettazione ambientale-tecnologica con specifici apporti conoscitivi e sperimentali.

La ricerca si articola in tre fasi. Nella prima fase analitico-conoscitiva il lavoro di ricerca, dopo aver esaminato l'attuale scenario dell'impatto dei cambiamenti climatici sull'aumento delle temperature medie globali, inquadra le politiche e le misure di adattamento e mitigazione proposte da enti governativi e approfondisce i fenomeni e le problematiche che condizionano le prestazioni ambientali e il comfort negli spazi aperti (Isola di Calore Urbana e ondate di calore). Una rassegna dei principali strumenti IT per il controllo del progetto ambientale, definisce quali sono i software maggiormente evoluti e adatti al controllo ambientale-tecnologico per il progetto di *climate adaptive design*. Attraverso la selezione e l'analisi di best practice, sono individuati quei progetti, *adaptive design*

manual e protocolli (LEED, ITACA, ecc.), che affrontano il tema del clima in città da cui è possibile dedurre le strategie e i criteri progettuali per il progetto di adattamento al cambiamento climatico, focalizzando l'attenzione sulla gestione e il controllo dell'aumento delle temperature urbane.

Nella seconda fase viene proposta la definizione di una procedura sperimentale per il controllo tecnico prestazionale di interventi di climate adaptive design, un processo di fasi e azioni per la verifica prestazionale e la rispondenza delle soluzioni progettuali dedotte dalle best practice. La procedura che prevede una fase di conoscenza del sistema urbano e delle sue criticità tecnico-prestazionali, un'analisi delle performance ambientali attraverso l'uso di strumenti IT, una campionatura, classificazione e confronto di elementi urbani, una valutazione multicriterio e la definizione di un sistema di indicatori, e infine una fase di testing, metaprogettazione e decision making, viene applicata all'area del Centro Storico e l'area Est di Napoli, per verificare la risposta e l'incidenza delle soluzioni progettuali di adaptive design, oltre all'efficacia in termini di miglioramento delle condizioni ambientali e microclimatiche.

Nell'ultima fase vengono definite linee guida per gli interventi di climate adaptive design nei diversi contesti dell'area di studio. Attraverso l'apparato simulativo e la fase di valutazione, è possibile stabilire i livelli prestazionali delle soluzioni progettuali al cambiamento climatico, la rispondenza alla gestione e la manutenzione, e all'uso di risorse naturali, oltre che al grado di integrabilità nei contesti di analisi.

IL PROGETTO EDILIZIO E URBANO IN REGIME DI CLIMATE CHANGE

1.1. GLI EFFETTI DEL CLIMATE CHANGE IN AMBIENTE URBANO

Da qualche decennio gli effetti dei cambiamenti climatici sono avvertiti con sempre maggiore intensità e frequenza dalla popolazione mondiale. L'innalzamento delle temperature medie globali e il mutamento degli eventi piovosi sono i rischi che le aree urbane devono essere pronte a fronteggiare adesso e nei prossimi anni. L'alterazione delle condizioni ambientali delle grandi città e dei centri urbani determinerà un sostanziale ridisegno degli spazi urbani, seguendo criteri e strategie di azione per la mitigazione e l'adattamento climatico.

Il sistema città, definito da spazi aperti ed edifici, attualmente non è più adatto ad accogliere le profonde e repentine trasformazioni che caratterizzano il nostro tempo. Lo spazio in cui viviamo e che è definito dai luoghi che abbiamo costruito, subisce gli inarrestabili mutamenti del clima, con conseguenti modificazioni al microclima in città e sul comportamento delle persone.

Bill Gething nella sua conferenza del 2013, dal titolo *Design for the future Climate Change* presso la School of Architecture dell'Università di Sheffield, dice che "... il clima estivo della città di Londra nel 2080 sarà lo stesso di quello odierno di Marsiglia, con la sostanziale differenza che gli edifici, le strade e lo stile di vita sono stati costruiti, modificati e adattati nel corso dei decenni per quello specifico ambiente..." afferma inoltre che "... lo stile di vita e la forma urbana sono strettamente connessi; ecco perché nel prossimo futuro dovremmo adattare il nostro ambiente costruito ad un clima diverso, da condizioni di frequenti piogge e cielo grigio ad un clima considerevolmente più caldo".

Il fenomeno dei cambiamenti climatici modificherà non solo le nostre abitudini, ma avrà dirette conseguenze sulle modalità di intervenire e trasformare l'ambiente urbano e il patrimonio costruito. Sono le condizioni del benessere percepito degli utenti che determineranno il cambiamento maggiore sia nei comportamenti, che nelle modalità di svolgimento di attività quotidiane, come ad esempio la variazione degli orari di lavoro negli uffici, o di apertura e chiusura degli esercizi commerciali. Al verificarsi dell'aumento delle temperature estive, queste renderanno i luoghi di lavoro e gli spazi aperti spazi inaccessibili in orari prossimi ai picchi di radiazione solare, costringendo le persone a traslare lo svolgimento delle attività in orari in cui le temperature esterne siano maggiormente sopportabili.

È quanto mai necessario assumere coscienza degli effetti che i cambiamenti climatici stanno provocando sul nostro pianeta e su come questi influenzeranno il clima e il microclima a livello locale, oltre che comprendere i rischi che ne conseguono per la popolazione delle aree urbane. Il verificarsi di eventi eccezionali avvenuti nel recente passato, ad esempio l'ondata di calore dell'estate

del 2003¹ o le ripetute alluvioni dovute ad eventi piovosi improvvisi ad elevata intensità², hanno dimostrato quanto le nostre città sono del tutto incapaci di affrontare i cambiamenti in atto.

Nelle aree urbane i rischi per la popolazione legati al cambiamento climatico sono maggiormente amplificati. In Italia, e in particolare al Sud, il microclima delle città è proiettato verso un inasprimento delle temperature, un southward shift³ apparente, ovvero uno spostamento ideale delle temperature verso sud (Hiederer et al. 2009 in EEA 2009), che renderà gli spazi aperti delle città luoghi difficilmente vivibili durante i mesi più caldi, con l'esacerbazione delle alte temperature e l'aumento delle ondate di calore (cfr. Bulkeley 2013). Per le fasce deboli della popolazione, quali bambini, anziani e persone affette da gravi patologie, l'aumento delle temperature è causa di malesseri e di mortalità⁴, soprattutto durante il verificarsi delle ondate di calore⁵. Nonostante la certezza che il clima sia in continuo cambiamento,

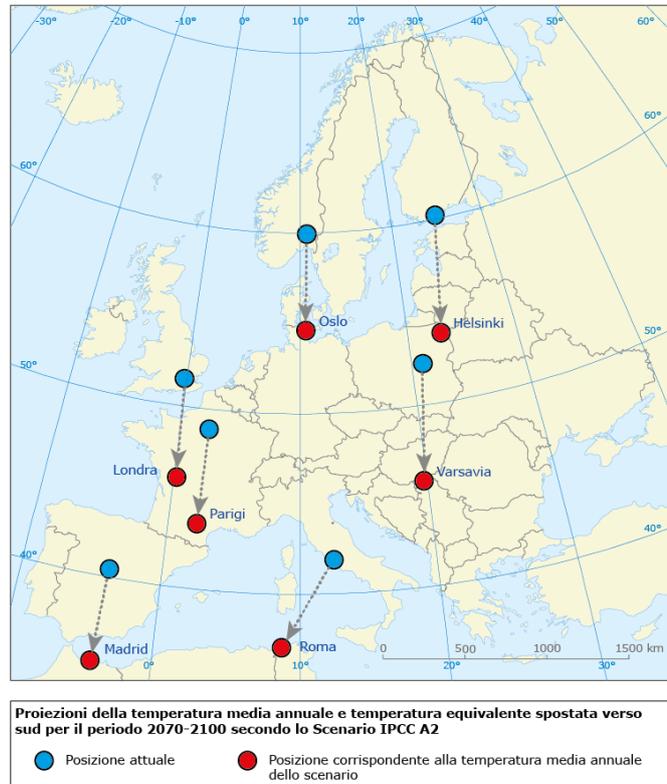


Fig.1 - Grafico sullo spostamento apparente delle temperature verso sud delle città europee. (fonte: Hiederer et al. (2009) in EEA (2009), Ensuring Quality of Life in Europe's Cities and Towns, EEA Report no.5/2009, EEA, Copenhagen)

¹ Durante l'estate del 2003 le condizioni climatiche sono state estreme e persistenti per un lungo periodo. In Italia sono state registrate le temperature più alte rispetto al secolo precedente. I valori di umidità relativa, temperature minime e massime rimasero costantemente elevati creando una situazione di discomfort termico persistente (cfr. Conti et al. 2004).

² Tra gli eventi fin ora registrati, nel luglio del 2011 la città di Copenhagen ha subito un'alluvione che ha fatto toccare il livello di 150mm d'acqua caduta in 2 ore su tutto il territorio comunale. In Italia i fenomeni alluvionali che hanno creato maggiori danni sono stata registrate a Genova nel 2011 e 2014 e in Sardegna nel 2013.

³ Il sud dell'Europa, e in particolare il sud dell'Italia, subiranno, verso la fine del XXI secolo, uno spostamento apparente delle temperature verso sud. Le città del sud Italia saranno idealmente ad una latitudine più prossima all'equatore, con una percezione delle temperature simile a quelle delle attuali le regioni africane del mediterraneo (Hiederer et al. (2009) in EEA 2009).

⁴ Uno studio condotto dall'Istituto Superiore della Sanità Italiana, che confrontato i dati di mortalità delle estati del 2002 e del 2003. Rispetto al 2002, vi è stato un aumento complessivo della mortalità di 3.134 unità (da 20.564 nel 2002 a 23.698 nel 2003) - aumento del 15,2%. L'incremento maggiore è considerato persone anziane: 2876 decessi (92%) si sono verificati tra le persone di età compresa tra 75 anni e più, che hanno registrato un aumento della mortalità del 21,3%, rispetto al 2002. A Napoli, i decessi sono aumentati del 15,1% considerando tutte le età, mentre è salito del 18,4% considerando le persone di età compresa tra 75 anni e più (cfr. Conti et al. 2004).

⁵ Un periodo di tempo insolitamente caldo con una durata di almeno due-tre giorni (cfr. WMO 2015).

un notevole grado di incertezza è legato alla magnitudo del fenomeno; differenti sono infatti gli scenari previsti e questi dipendono principalmente dal grado di riduzione delle emissioni clima alteranti nell'ambiente dovuta all'azione antropica. Se da un lato però azioni massive a livello globale potrebbero portare ad una sensibile riduzione delle emissioni climalteranti nell'atmosfera, dall'altro il processo innescato sembra essere irreversibile e non ridimensionabile nel breve periodo (cfr. MATTM 2014). Di fatti gli scenari previsionali sull'aumento delle temperature medie globali nei quali viene prevista una riduzione massiccia delle emissioni climalteranti, ci indicano che queste si potrebbero attestare intorno a 1,5-2 °C (scenario RCP2.6) nel trentennio 2080-2099 rispetto ai livelli rispetto i livelli pre-industriali, ovvero su livelli di temperature analoghi a quelli attuali; di contro, le previsioni prodotte per scenari in cui le emissioni di CO₂ non vengano ridotte, prevedono che l'aumento delle temperature medie globali possa aumentare fino a 5-6°C (scenario RCP8.5) nel trentennio 2080-2099 (cfr. IPCC 2014).

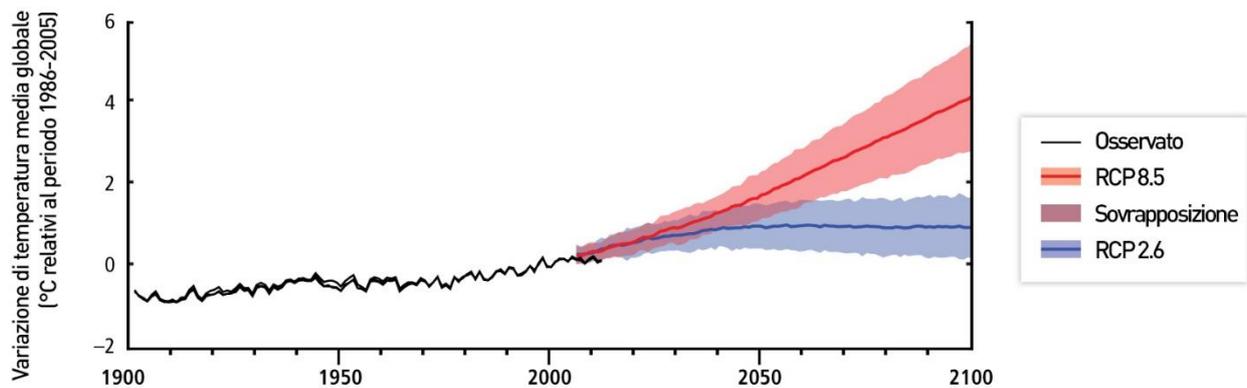


Fig.2 - Scenari di concentrazione rappresentativa RCP - Representative Concentration Pathways, mostrano le proiezioni del cambiamento della temperatura media globale a partire dai livelli pre-industriali. Lo scenario RCP2.6 prevede l'adozione a livello globale di azioni per la riduzione delle emissioni di CO₂, mentre l'RCP8.5 mostra ciò che accadrà se non verranno adottate misure di riduzione di gas climalteranti. (fonte: IPCC AR5-WG2 SPM)

A fronte delle attuali conoscenze sul clima futuro, ma soprattutto in relazione agli effetti del clima che stiamo attualmente subendo, risulta quanto mai necessario comprendere quali siano oggi gli aspetti e le condizioni che nelle aree urbane amplificano gli effetti del cambiamento climatico e che rappresentano già oggi rischi reali per la salute e la vita delle persone. A dover creare le condizioni adeguate per vivere in un ambiente urbano sempre più ostile, saranno i processi urbani che dovranno fare propri i presupposti della rigenerazione urbana intesa quale capacità di interpretare e fronteggiare il cambiamento, mirando ad un approccio che punti al miglioramento delle condizioni di comfort ambientale attraverso l'attuazione di soluzioni e strategie di adattamento e mitigazione dei cambiamenti climatici.

1.2. GLI OBIETTIVI DELL'UE PER LE POLITICHE SULL'ENERGIA E I CAMBIAMENTI CLIMATICI

L'UE ha da tempo delineato un percorso per il coinvolgimento degli stati membri nell'adozione di politiche e azioni condivise per preparare l'Europa ai futuri cambiamenti del clima. Con la pubblicazione del *Libro Verde* (2007) e poi del *Libro Bianco sull'adattamento* (2009), sono state delineate le strategie da adottare per rafforzare la capacità di resilienza dei territori. Dalla collaborazione tra gli stati membri, insieme ad obiettivi globalmente condivisi, è stata delineata la *Strategia Europea di Adattamento* del 2013, che definisce le linee programmatiche e la loro diffusione a livello locale, invitando gli stati membri a ricorrere a misure di adattamento e mitigazione. L'Italia, attualmente, è al lavoro sulla definizione di una strategia nazionale, i cui principi sono definiti all'interno del documento *Elementi per una Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici* (2013) e supportati dal *Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia* (2014). L'Europa, e in particolare l'area del Mediterraneo, sarà particolarmente vulnerabile agli impatti negativi dei cambiamenti climatici quali, l'innalzamento delle temperature medie e massime (in particolare a quelle estive), l'aumento della frequenza di eventi meteorologici estremi (ondate di calore, siccità ed episodi di precipitazioni piovose intense) e la riduzione delle precipitazioni annuali medie. Un elevato grado di vulnerabilità è atteso all'interno degli insediamenti urbani, aree a ridotta capacità adattiva, che in Italia ospitano il 90% della popolazione (cfr. censimento ISTAT 2011).

12

Il ruolo delle città nel contrastare gli effetti dal cambiamento climatico, è un aspetto centrale nelle politiche mondiali ed europee. I centri urbani e le grandi città, che ospitano il 50% della popolazione mondiale, che nel 2030 sarà il 70%⁶ (cfr. UN-Habitat 2011, Bulkeley 2013), sono deputate all'attuazione di strategie e azioni volte alla mitigazione e all'adattamento alle condizioni del clima nel prossimo futuro, accrescendo la capacità di fronteggiare e adattarsi ad un clima in mutamento.

Tra gli obiettivi fondamentali da perseguire, vi è la riduzione delle emissioni di gas serra nell'ambiente per mitigare sia gli effetti di ciò che è stato prodotto e di quello che stiamo producendo. Per fare questo l'UE si è imposta gli obiettivi presenti nel Pacchetto Clima-Energia 20-20-20: la riduzione delle emissioni di gas serra del 20% rispetto ai livelli raggiunti nel 1990; l'aumento della quota del consumo energetico dell'UE prodotta da fonti rinnovabili al 20%; il miglioramento del 20% dell'efficienza energetica dell'UE. Parallelamente alle strategie Europee, nel Dicembre 2015, alla conferenza sul clima di Parigi (COP21), 195 paesi hanno adottato il primo accordo universale e

⁶ Nel 2030 si prevede che almeno 5 miliardi di persone su 8 vivranno nelle città. Questa crescita di popolazione pone le città come parte del problema del cambiamento climatico, e luoghi di vulnerabili al clima (Bulkeley 2013).

legalmente vincolante sul clima globale, ponendosi l'obiettivo a lungo termine di mantenere l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto di 2 °C rispetto ai livelli pre-industriali, mirando a limitare l'aumento di soli 1,5 °C, rafforzando la capacità delle società di affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici (cfr. CE 2015).

“... Ma anche se a livello mondiale riuscissimo a limitare e poi a ridurre le emissioni di gas serra, ci vorrà del tempo prima che il pianeta riesca a recuperare rispetto ai livelli di gas serra già presenti in atmosfera; ciò significa che dovremo affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici per almeno i prossimi 50 anni. Dobbiamo dunque adottare delle misure per adattarci⁷.”

Le misure di cui servirsi per l'adattamento e la mitigazione del cambiamento sono il risultato dai programmi di ricerca e innovazione, che servono a definire nuovi strumenti operativi e colmare il gap di conoscenza. Per promuovere la ricerca e l'innovazione sul tema dei cambiamenti climatici, l'UE ha istituito il programma *Horizon 2020* per il periodo 2014-2020, attraverso investimenti diretti per la ricerca di eccellenze in ambito scientifico e la promozione di iniziative incentrate sulle ricadute sociali del cambiamento climatico.

Intervenire oggi sul patrimonio urbano ed edilizio significa progettare interventi le cui scelte dovranno necessariamente tener conto dalle numerose variabili derivanti dalle future condizioni del clima e delle interazioni che si andranno a generare in ambito urbano. Lo sviluppo di interventi *resilienti*, ovvero che siano capaci sia di adattarsi al cambiamento, sia di mitigarne gli effetti futuri, dovranno essere attuati attraverso azioni preventive che mirano ad agire sulla rigenerazione degli spazi urbani e sulla riduzione delle emissioni di CO₂. I futuri interventi sul patrimonio costruito, se concepiti in maniera tale da contribuire alla riduzione degli effetti dei cambiamenti climatici, potranno concorrere significativamente ad innescare il processo recessivo auspicato dall'UE. Con la riduzione dei gas climalteranti, ci si attende che anche l'aumento delle temperature in città possa invertire la tendenza, attestandosi su temperature simili a quelle attuali.

1.3. LE CRITICITÀ TECNICO PRESTAZIONALI DELLO SPAZIO URBANO

L'aumento della temperatura dovute ai cambiamenti climatici, e in particolare di quelle nella stagione estiva, è uno dei primi effetti di cui l'uomo ha percezione, indice dell'inesorabile mutamento del clima. La lettura dei dati climatici del recente passato ad oggi, indica che il modificarsi delle temperature ha avuto avvio in seguito al processo di globale industrializzazione iniziato durante la

⁷ Commissione delle Comunità Europee, Libro Bianco. L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europea, 2009.

Rivoluzione Industriale, con l'immissione di quantità sempre maggiori di inquinanti e particelle di CO₂ nell'ambiente; questo fenomeno è andato via via ad intensificarsi fino alla seconda metà del XX secolo e che in seguito ha visto il suo apice nel 2010, quando lo scarto dalla media di lungo termine delle temperature registrato su base globale ha raggiunto il massimo mai osservato⁸, con un aumento globale attualmente superiore in media di 0,8 °C⁹.

Tra i settori che producono il maggior inquinamento atmosferico in termini di emissioni gas serra, il comparto delle costruzioni, con ca. **4,6 Gt CO₂ Eq/anno** registrate nel 2010 tra emissioni dirette e indirette¹⁰, è uno di quelli che concorre in maniera significativa al riscaldamento globale¹¹.

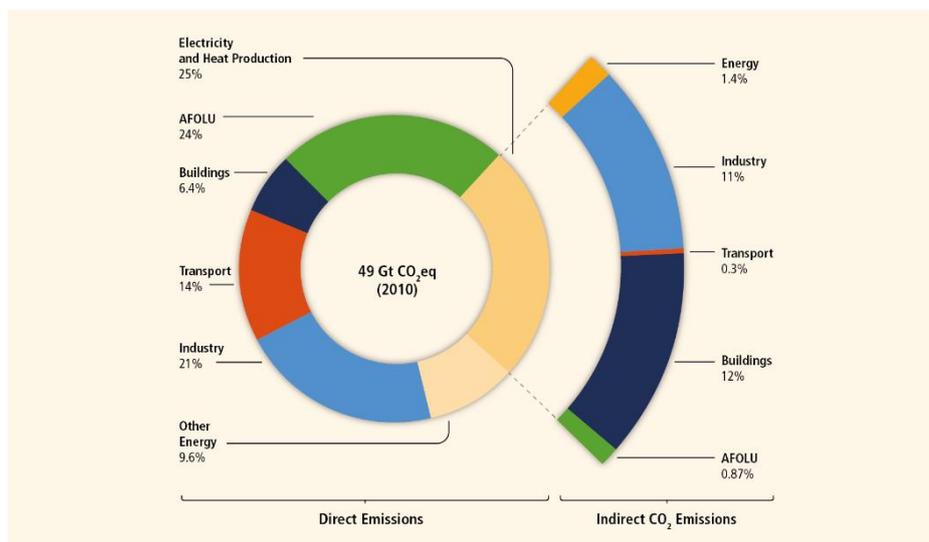


Fig.3 – Emissioni di gas serra (GtCO₂eq/anno) di natura antropogenica suddivise per settori economici registrate nel 2010; Il settore delle costruzioni indice con 3,13 GtCO₂eq/anno (6,4% delle emissioni totali) di emissioni dirette e 1,47 GtCO₂eq/anno con emissioni indirette (12% del 25% di emissioni totali). (fonte: IPCC AR5-WG2 SPM)

La quasi totalità del patrimonio edilizio delle nostre città è inadatto a fronteggiare, i cambiamenti del clima; le politiche promosse da enti governativi e sovra-governativi mondiali, prevedono azioni che portino ad una massiccia riduzione delle emissioni di gas serra degli edifici con azioni di retrofit energetico, che dovranno essere concepiti e realizzati per ridurre al minimo i consumi di energia primaria da fonti non rinnovabili, azzerando le emissioni di gas climalteranti. Il settore edilizio dagli anni '50 in poi e fino all'entrata in vigore della Legge 10/1991¹², ha rappresentato un momento nel quale "la globalizzazione del settore delle costruzioni e la delega totale del comfort all'impiantistica hanno determinato, nell'ultimo secolo, la realizzazione sempre più pervasiva di edifici omologati e

⁸ Le emissioni di gas serra di origine antropica nel 2010 hanno raggiunto i 49 ± 4.5 GtCO₂-eq/anno (IPCC 2014)

⁹ Relazione SEE n. 12/2012. *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012*

¹⁰ Climate Change 2014 - Mitigation of Climate Change, IPCC Working Group III 2014

¹¹ Nel 2010 gli edifici hanno raggiunto la quota del 32% delle emissioni totali globali per l'uso finale di energia, il 19% delle emissioni di gas clima alteranti relative all'uso di elettricità. I gas serra prodotti dal settore delle costruzioni sono raddoppiati dal 1970 fino a raggiungere le 9.18 GtCO₂eq nel 2010, di cui 6.02 Gt solo di emissioni indirette (IPCC 2014)

¹² In materia di uso razionale delle risorse, di risparmio energetico e fonti di energia rinnovabili

poco relazionati al loro contesto climatico, culturale, materiale” (Lavagna 2010). Un edilizia inefficiente energeticamente, condizionata da *una certa indifferenza* alle condizioni ambientali e insediative, dove *“hanno prevalso, in un certo senso, i motivi “rituali” e nuove concezioni locative”*, infatti *“oggi si sceglie il sito per il prestigio che il luogo può avere”* (Giacchetta et al. 2007), spesso all’interno di tessuti edilizi altamente densificati. La reciproca *influenza termica* tra gli edifici determina l’alterazione degli scambi termici, condizionandone le prestazioni energetiche, oltre a vanificare i principi progettuali, occorsi ed esempio per edifici del passato¹³, ormai incapaci di rispondere al clima per cui sono stati progettati.

Le mutate condizioni del clima, hanno dimostrato la reale inadeguatezza dell’intero parco edilizio di rispondere oggi in maniera efficiente, e in termini di prestazioni energetiche, alle condizioni dell’ambiente ad essi circostante. È al sempre più frequente uso degli impianti di climatizzazione e condizionamento delle temperature indoor, presenti ormai nella grande maggioranza degli edifici, che viene demandato il miglioramento delle condizioni di comfort, sia invernali, sia estive. Queste soluzioni di immediato effetto, come ad esempio l’utilizzo di impianti di tipo split, sono una delle cause delle modificazioni del clima, ma soprattutto del microclima interno alle città, e del verificarsi dell’effetto *isola di calore urbana* (Urban Heat Island - UHI). L’immissione nello spazio urbano di flussi d’aria calda provenienti dagli ambienti interni agli edifici, resi ancora più calda al passaggio dei motori di estrazione, provoca l’aumento delle temperature negli spazi aperti, anche nella stagione invernale (cft. Perini 2013). L’azione antropica, combinata alle carenze prestazionali dello spazio aperto, sia in riferimento alle caratterizzazione dalla morfologia urbana, sia alle caratteristiche fisiche e chimiche delle diverse superfici (cfr. Matzarakis 2015), determina l’alterazione delle condizioni di comfort percepite degli utenti, rendendo di fatto la popolazione maggiormente vulnerabile.

L’ambiente urbano costruito è oggi lo spazio entro il quale sono riscontrati gli effetti disastrosi dovuti ad eventi estremi legati al mutamento del clima. Conoscere le cause e gli effetti che questi provocano e in che modo influiscano sul comportamento *sistemico* delle città, risulta quanto mai sostanziale in un momento che potremmo definire di consapevolezza e di conoscenza. Ondate di calore (heatwaves)¹⁴, piogge improvvise e di forte intensità (flash floods)¹⁵, sono gli effetti rilevati in maggior

¹³ Secondo quanto afferma Banham, è possibile individuare due modalità di controllo ambientale attivate dalle costruzioni di tipo tradizionali: un *modello conservativo*, un edificio che per il modo in cui è realizzato (elevata massa termica dovuta alle murature spesse e massicce), si oppone alle condizioni esterne del clima, assumendo un comportamento *conservativo*; un *modello selettivo* per il quale l’edificio agisce da filtro alle condizioni ambientali esterne attraverso gli elementi tecnici e costruttivi (finestre, schermature, aggetti, ecc.), favorendo il raffrescamento passivo attraverso i moti convettivi generati dalle differenze di temperatura tra interno ed esterno, favorendo così la ventilazione naturale e impedendo il surriscaldamento interno.

¹⁴ vedi Glossario alla voce Heatwave

¹⁵ vedi Glossario alla voce Flash flood

misura negli ultimi decenni¹⁶. Seppure questi rappresentino eventi occasionali, la magnitudo del fenomeno è tale da rappresentare un reale aspetto di vulnerabilità per le persone residenti nelle aree urbane. In particolare, l'aumento nelle temperature medie globali è percepito con maggiore intensità all'interno di città e centri urbani, già contraddistinti da un differente comportamento ambientale e climatico rispetto alle aree meno urbanizzate ed esterne ai confini cittadini.

L'interazione tra fattori naturali e fattori antropici innesca la formazione di un differente microclima, se paragonato con le aree di natura rurale ed esterne al perimetro urbano; questa differenza è definita come effetto isola di calore urbana, ed è un fenomeno termico che si origina con l'accumulo del calore proveniente dalla radiazione solare incidente sul nostro pianeta, e che determina una differenza di temperatura tra aree della città con caratteristiche diverse (cfr. Matzarakis 2015). Il fenomeno è connesso ed amplificato dalle caratteristiche tecnico-costruttive, morfologiche e spaziali dell'ambiente costruito, quali (Oke 1987; Milošovičová 2010; Akbari 2001, Santamouris 2001 in Bouyer 2009):

- Perdita di evapotraspirazione dei terreni: dovuta alla riduzione di spazi verdi in città e la presenza di materiali impermeabili, porta ad un più maggiore accumulo di radiazioni solari;
- Albedo¹⁷ delle superfici: superfici con bassi valori di riflettanza solare assorbono più energia solare;
- Forma urbana: una maggiore rugosità¹⁸ della superficie urbana (edifici alti e compatti) intrappola e assorbe la radiazione solare (canyon urbano¹⁹), impedendo che i venti penetrino e raffreschino l'ambiente;

¹⁶vedi nota 1, 2

¹⁷vedi Glossario alla voce Albedo.

¹⁸La rugosità è definita dagli elementi che compongono la città, gli edifici. Maggiore è densa la città, più alto è il valore della rugosità. L'effetto si ripercuote sui flussi d'aria, quindi sulla penetrazione della ventilazione nell'ambiente urbano (cfr. Oke 1987).

¹⁹Il canyon urbano è l'elemento strutturale caratteristico dell'Urban Canopy Layer (vedi nota 21), viene definito quando una strada è fiancheggiata da edifici su entrambi i lati, creando un ambiente simile a canyon, all'interno dei quali si possono sviluppare vortici trasversali rispetto all'asse, mentre le condizioni termiche nei canyon dipendono dalla frazione di cielo visibile (vedi nota 31); Il più importante dettaglio geometrico per descrivere un canyon urbano è il rapporto tra l'altezza canyon (H) di larghezza canyon (W), H/W, che è definito come il rapporto forma: canyon regolare ≈ 1 ; strada canyon $\leftarrow 0.5$; canyon profonda ≈ 2 .

- Ritenzione del calore: le proprietà dei materiali²⁰ e la densità edilizia diminuiscono la perdita di radiazione infrarossa²¹ durante le ore notturne;
- Azione antropica: il calore prodotto dall'uomo attraverso il traffico veicolare, l'uso di condizionatori d'aria²² e elettrodomestici (computer, frigoriferi, ecc.);

A queste va aggiunto che *“le caratteristiche dell'involucro e della geometria degli edifici in città giocano un importante ruolo – nella generazione – del fenomeno isola di calore urbana. Questo fattore può avere impatto sui consumi degli edifici, a causa dell'aumento delle temperature dell'aria e delle superfici”* (Bouyer 2009).

L'effetto che l'isola di calore urbana ha sulle temperature in città, è una diretta conseguenza del cambiamento climatico alla scala locale (su cui indice l'influenza del cambiamento climatico globale), conseguenza dell'aumento dell'intensità delle radiazioni solari e dei gas serra nell'atmosfera. La combinazione dei due effetti, può portare ad un'apparente modificazione della durata delle stagioni, in particolare quella estiva (cfr. EPA 2009).

²⁰ Molti materiali artificiali, come pavimentazione, possono accumulare più calore dei materiali naturali, come il terreno asciutto e la sabbia. Di conseguenza, le aree costruite in genere immagazzinano durante il giorno più dell'energia del sole — a volte due volte in più rispetto l'ambiente rurale circostante. La maggiore capacità termica dei materiali urbani convenzionali contribuisce all'isola di calore durante la notte, quando i materiali nelle aree urbane rilasciano il calore immagazzinato (EPA 2009).

²¹ La geometria urbana può impedire il rilascio di radiazione ad onde lunghe, o infrarossa, nell'atmosfera. Quando gli edifici o altri oggetti assorbono la radiazione ad onde corte in entrata, possono re-irradiare l'energia sotto forma di energia ad onde lunghe, o di calore. Tuttavia, durante la notte, a causa delle infrastrutture densa, in alcune aree sviluppate che hanno un basso fattore di SVF, le aree urbane non possono facilmente rilasciare radiazione ad onda lunga verso il cielo aperto più fresco, e questo calore intrappolato contribuisce alla isola di calore urbana (EPA 2009).

²² L'uso e il funzionamento dei condizionatori, attraverso l'immissione di calore nell'ambiente esterno, sono tra le cause antropogeniche che contribuiscono al verificarsi del fenomeno isola di calore urbana e del surriscaldamento dell'atmosfera, con conseguente effetto serra (Bouyer 2009, Perini 2013).

Isola di calore urbana (UHI)

Generalmente le aree urbane, sub urbane all'interno delle città e i centri urbani fanno rilevare temperature più alte rispetto alle aree rurali limitrofe. Questa differenza di temperatura è quello che costituisce l'isola di calore urbana. La temperatura media dell'aria di una città di un milione di abitanti o più, può essere di 1 – 3°C più calda dell'area intorno alla città, e di notte la differenza di temperatura può essere di circa 12°C. Anche piccole città a piccoli centri possono produrre l'isola di calore, la cui intensità diminuisce a seconda delle dimensioni.

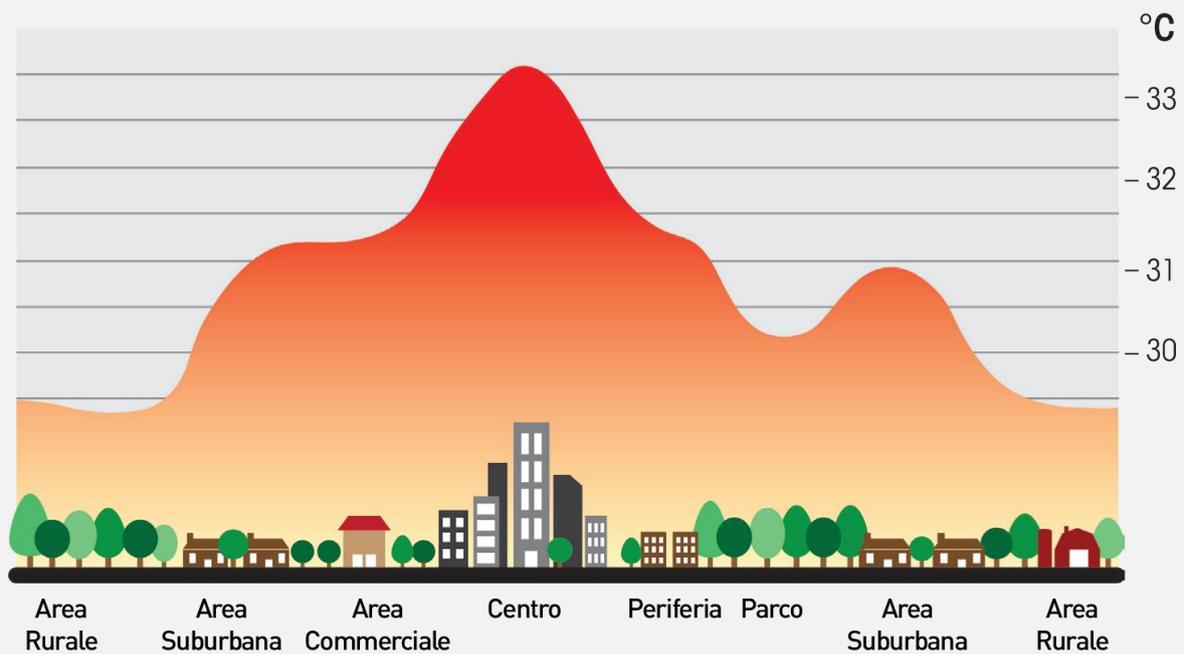


Fig.4 – Rappresentazione dell'effetto isola di calore urbana (fonte: www.cleanairpartnership.org)

Il fenomeno è causato dallo sviluppo e dai cambiamenti delle proprietà radiative e termiche delle infrastrutture urbane, come l'impatto di edifici alti sul microclima locale, che rallentano il raffrescamento delle città di notte. Inoltre, la localizzazione geografica, l'andamento e l'intensità climatica locale, contribuiscono a definirne l'intensità. Di fatto *“l'UHI si manifesta nelle aree urbane dove vi è una maggiore concentrazione di edifici (canyon urbani) e dove il processo di un design urbano tradizionale - e le caratteristiche fisiche dei materiali utilizzati per la definizione dello spazio urbano - non sono sufficienti per le città del XXI Secolo”* (Reven 2010).

La temperatura superficiale ha un'influenza indiretta ma significativa sulla temperatura dell'aria, specialmente nell'urban canopy layer che è più vicino alla superficie; questa relazione però non è costante, e la temperatura dell'aria varia in minore misura di quella superficiale.

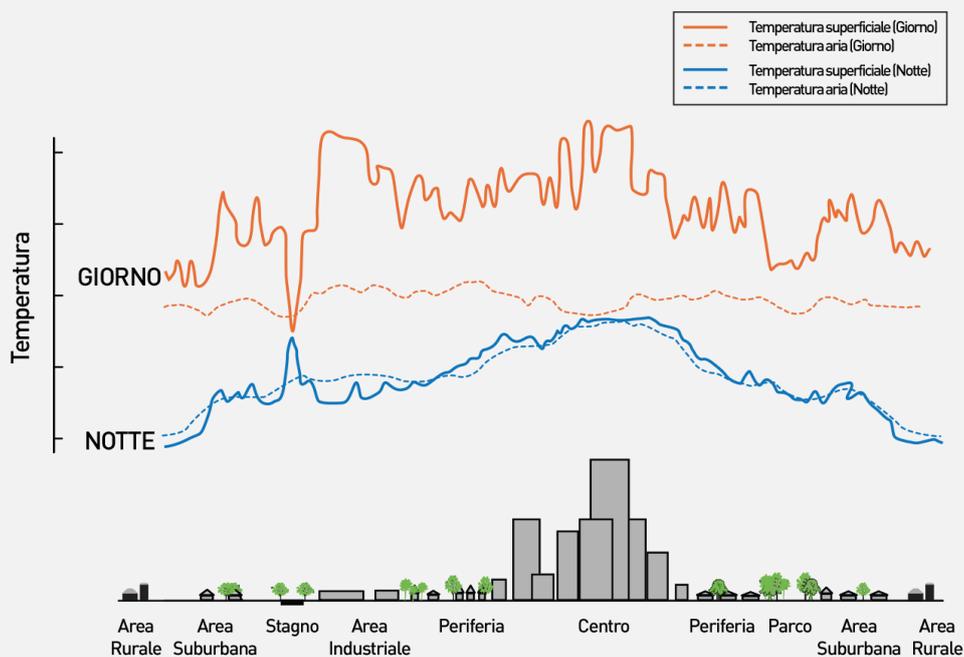


Fig.5 – Variazioni di temperature superficiali e atmosferiche. Le temperature non rappresentano valori di temperatura assoluti o una particolare misurazione di un'isola di calore. Le temperature oscillano in base a fattori come le stagioni, le condizioni atmosferiche, l'intensità del sole, e la copertura del suolo (fonte: EPA 2009)

L'effetto isola di calore può dividersi in due fenomeni, l'isola di calore atmosferica (AUHI – Atmospheric Urban Heat Island) e l'isola di calore superficiale (SUHI - Superficial Urban Heat Island).

SUHI - Superficial Urban Heat Island

L'isola di calore atmosferica descrive la variazione di temperatura superficiale esistente tra aree urbane e rurali - ΔT_{u-r} - che avvengono nello strato superficiale della struttura urbana (Urban Surface Layer). Tali variazioni sono quantificate dall'indicatore intensità dell'isola di calore urbana superficiale (SUHI).

AUHI – Atmospheric Urban Heat Island

L'isola di calore atmosferica descrive la variazione di temperatura dell'aria esistente tra aree urbane e rurali - ΔT_{u-r} - che avvengono nello strato atmosferico più vicino alla struttura urbana

(Urban Canopy Layer²³ e Urban Boundary Layer²⁴). Il fenomeno risulta più debole durante il giorno, mentre si intensifica dopo il tramonto quando le strutture e le superfici urbane rilasciano calore. L'intensità del fenomeno dipendono dalle proprietà delle superfici urbane e rurali, dalla stagione e dalle condizioni climatiche.

Caratteristica	SUHI	AUHI
Sviluppo nel tempo	<ul style="list-style-type: none"> • Presente a tutte le ore del giorno e della notte • Più intense durante il giorno e in estate 	<ul style="list-style-type: none"> • Potrebbe essere ridotto o nullo durante il giorno • Più intense di notte o prima dell'alba e in inverno
Intensità di picco (Condizione di UHI più intensa)	<ul style="list-style-type: none"> • Maggiori variazioni spaziali e temporali: <ul style="list-style-type: none"> - Giorno: da 10 a 15°C (da 18 a 27°F) - Notte: da 5 a 10°C (da 9 a 18°F) 	<ul style="list-style-type: none"> • Minori variazioni: <ul style="list-style-type: none"> - Giorno: da -1 a 3°C (da -1.8 a 5.4°F) - Notte: da 7 a 12°C (da 12.6 a 21.6°F)
Identificazione tipica Metodo	<ul style="list-style-type: none"> • Misurazione indiretta: <ul style="list-style-type: none"> - Telerilevamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Misurazione diretta: <ul style="list-style-type: none"> - Stazioni climatiche fisse - Sensori in movimento
Raffigurazione tipica	<ul style="list-style-type: none"> • Termografia 	<ul style="list-style-type: none"> • Mappa delle isoterme • Grafico delle temperature

tab.1 - Caratteristiche di base dell'isola di calore superficiale e atmosferica (fonte: EPA 2009)

Fonte: EPA 2009, Oke 1987

²³ L'Urban Canopy Layer (UCL) è lo strato dell'atmosfera al di sotto dell'livello dei tetti degli edifici, che è prodotto da processi alla micro-scala operanti nelle strade (canyon) tra gli edifici. (Oke 1987) L'isola di Calore a livello dell'UCL si verifica nello strato d'aria dove vivono le persone, dal terreno al di sotto le cime degli alberi e tetti (EPA 2009).

²⁴ L'Urban Boundary Layer (UBL) è lo strato dell'atmosfera che, a livello locale, si pone al di sopra degli edifici fino alla mesoscala le cui caratteristiche sono influenzate dalla configurazione della superficie urbana (Oke 1987). L'isola di calore urbana a livello dell'UBL, parte dai tetti e dalla cime degli alberi e si estende fino al punto dove il paesaggio urbano non influenza più l'atmosfera. L'area si estende tipicamente non più di 1.5 Km dalla superficie (EPA 2009).

1.4. LE CARATTERISTICHE DELLO SPAZIO URBANO E LA RELAZIONE CON IL CLIMA

Ad incidere sul microclima urbano, e sulla determinazione dell'isola di calore urbana, è il contemporaneo verificarsi di diversi aspetti connessi all'alterazione delle caratteristiche dei suoli e dell'ambiente. La perdita di vegetazione nelle aree urbane e l'impermeabilizzazione delle superfici, determinano una riduzione nelle concentrazioni di acqua nei suoli e l'assenza di fenomeni di evaporazione dai terreni e di evapotraspirazione²⁵ delle vegetazioni, che permettono di abbassare il calore latente²⁶ immagazzinato nelle superfici, impedendo che questo venga reimmesso nell'aria.

Della radiazione solare che incide al suolo²⁷ in città, circa il 9% è riflesso nell'atmosfera, il 54,6% viene reimmesso come radiazione termica, il 36,4% viene assorbita da suoli, di quest'ultimo il 93,7% ritorna nell'ambiente sotto forma di calore percepito, mentre solo il 6,3% è la componente di evapotraspirazione del terreno (fig. 5).

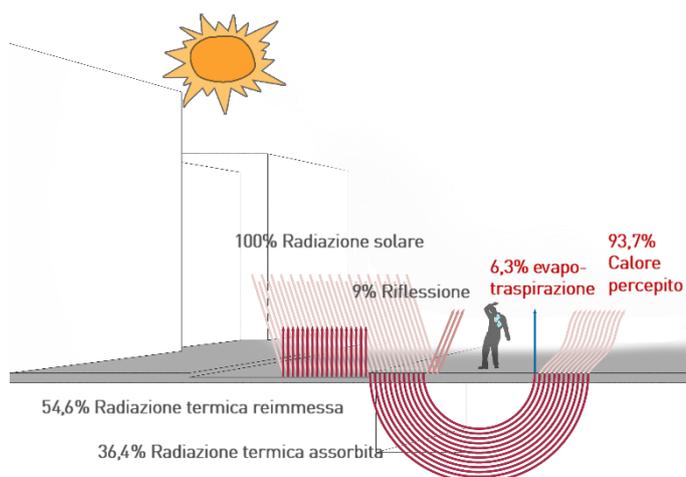


Fig.6 - Bilancio energetico della radiazione solare in ambiente urbano (elaborazione da Schmidt 2010)

Le aree sottoposte ad un maggiore carico termico dovuto alla carenza di ombre portate dalle chiome degli alberi, e quando risulta una minore concentrazione di umidità nell'aria, dovuta alla mancanza di acqua derivante dal runoff²⁸ delle superfici impermeabili (fig. 6), non permettono all'ambiente urbano di raffrescarsi per mezzo dell'evaporazione dell'acqua, contribuendo ad aumentare le temperature superficiali e dell'aria.

Il bilancio energetico delle superfici urbane è condizionato anche dalle caratteristiche di riflessione e assorbimento dell'energia solare dei materiali che compongono lo spazio. L'albedo, o coefficiente di riflessione, è quella proprietà del materiale che incide sulla capacità dello stesso di assorbire la

²⁵ L'evapotraspirazione è la combinazione della traspirazione e l'evaporazione delle piante, queste che prendono acqua dal terreno attraverso le radici la riemettono attraverso le loro foglie, mentre l'acqua può anche evaporare dalla superficie dell'albero, come il gambo, o il terreno circostante (EPA 2009).

²⁶ Il calore latente è il calore immagazzinato nei materiali ed è espresso dal calore specifico (EPA 2009).

²⁷ Circa 1,100 kWh/m² per anno in climi moderati (Milošovičová 2010).

²⁸ Il runoff è il deflusso superficiale delle acque piovane creato da urbanizzazione. Le aree urbane altamente sviluppate si caratterizzano per il 75%-100% di superfici impermeabili, riducendo la quantità di umidità superficiale disponibile per evapotraspirazione rispetto ai terreni naturali, caratterizzati da meno del 10% di copertura impermeabile. Questa caratteristica contribuisce ad elevare le temperature superficiali e dell'aria nelle aree urbane (EPA 2009).

radiazione solare; più alto è l'albedo, minore è la radiazione solare assorbita, quindi la superficie tende ad essere più fredda, al contrario un albedo basso permette di immagazzinare maggiore radiazione (cfr. Rossi et al. 2007). Vanno inoltre considerate le altre caratteristiche dei materiali quali l'emissività²⁹, la rugosità³⁰ e il calore specifico³¹ che, insieme all'albedo, ne costituiscono le proprietà fisiche e termiche, che concorrono a determinarne le prestazioni. L'albedo delle superfici "è uno dei fattori che influenzano la temperatura superficiale locale e non può essere omissa quando si decide

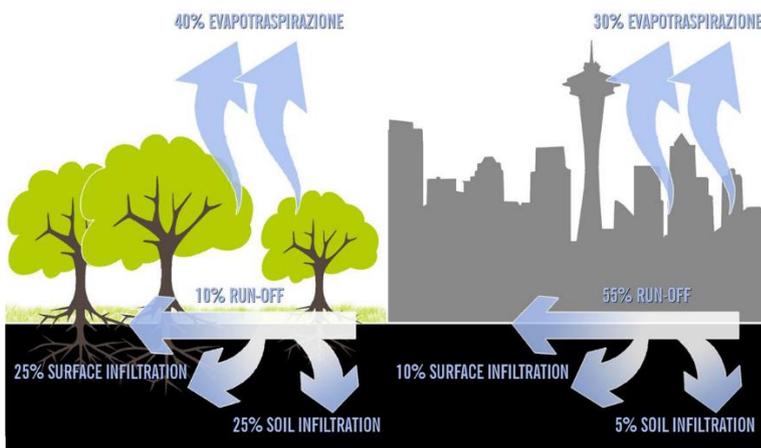


Fig.7 - Relazione tra superfici impermeabili e deflusso superficiale (fonte: REBUS® REnovation of public Buildings and Urban Spaces)

sulle caratteristiche dei materiali da costruzioni, anche se questi vanno coperte con la vegetazione" (Givoni 1998). In città, il 60% delle superfici urbane sono coperte da tetti e pavimenti, di questi il 20-25% sono tetti, mentre dal 30 al 45% sono pavimentazioni. Dato che queste superfici sono per lo più di colore scuro e assorbono l'80% della radiazione solare, che viene poi

convertita in calore, l'ambiente costruito esaspera l'effetto di surriscaldamento dovuto dal cambiamento climatico (cfr. EPA 2009).

Nelle aree urbane, altri fattori quali la forma e la geometria urbana giocano un ruolo decisivo nel determinare il clima urbano, in particolare influenzando l'assorbimento della radiazione solare attraverso la forma urbana e modificazione della circolazione dell'aria.

La caratterizzazione della forma urbana deriva dalle relazioni spaziali che intercorrono tra edifici e spazi aperti. Queste relazioni sono infatti definite da rapporti e parametri che permettono di analizzare il comportamento degli spazi aperti in relazione a quello che vi è intorno e ai fattori ambientali. La forma urbana può condizionare l'accesso della luce solare negli spazi aperti e modificare l'andamento dei venti; più la città è rugosa³², minore è la quantità di vento che penetra al di sotto dell'urban canopy layer. Quando una strada è fiancheggiata su entrambi i lati da edifici alti,

²⁹ L'emissività termica è una misura della capacità di una superficie di disperdere il calore, o di emettere onde lunghe di radiazione (raggi infrarossi). Le superfici con valori elevati di emissività della luce rimarranno più fresche, a causa della capacità di rilasciare il calore più facilmente (cfr. EPA 2009).

³⁰ Bassi fattori di rugosità (superfici lisce), garantiscono minori capacità di assorbimento della radiazione solare (cfr. EPA 2009).

³¹ Un importante proprietà che influenza lo sviluppo dell'isola di calore è la capacità termica dei materiali, ovvero la sua capacità di accumulare calore. Il calore specifico, è la capacità termica per unità di massa di un materiale (cfr. EPA 2009).

³² vedi nota 18, glossario alla voce Rugosità.

si viene a creare il *canyon urbano* (Oke 1987). A descrivere questo rapporto è la relazione H/W, dove H è l'altezza degli edifici e W è la larghezza della strada; maggiore è il rapporto, più profondo sarà il canyon urbano che viene descritto. All'interno di canyon molto profondi ($H/W \geq 2$), la radiazione solare che raggiunge il suolo è inferiore rispetto a canyon urbani con rapporto inferiore, comportando che una area maggiore risulti ombreggiata durante il giorno. Un canyon molto profondo di contro, contribuisce a far generare maggiori riflessioni della radiazione solare, intrappolandola al suo interno, di fatti *"una gran parte dei raggi riflessi colpiscono i muri degli edifici circostanti, e solo una piccola parte della radiazione solare che impatta su muri e le strade è riflessa verso il cielo; la maggior parte delle radiazione viene assorbita dai muri degli edifici, indipendentemente dal colore, per poi essere immagazzinati come calore e rilasciato nell'atmosfera successivamente"* (Givoni 1998, p. 269). Brown (2001) definisce poi il *directional space ratio* (H/W_1 , H/W_2 , ecc) per descrivere le relazioni spaziali all'interno di spazi chiusi (ad es. di corti) attraverso il rapporto direzionale tra H/W, il vento e la radiazione solare incidente. Un indice che può descrivere le condizioni termiche dei canyon urbani è lo sky view factor - SVF³³ (compreso tra 0 e 1), ovvero la porzione di cielo visibile da un punto all'interno dello spazio urbano. *"Lo sky view factor, rappresenta un buon metodo di misurazione per l'ampiezza della forma urbana, ed è spesso associato, insieme ad altri indicatori, con l'aumento di temperatura nei contesti urbani comparati con l'area rurale circostante"* (Ratti 2003). Condizioni favorevoli per la riduzione del calore, possono derivare dall'orientamento della strada o dello spazio aperto urbano. Se orientato in direzione dei venti prevalenti estivi, all'interno di uno spazio possono penetrare con maggiore facilità venti e brezze (anche se con velocità ridotta dagli ostacoli rappresentati dagli edifici), che permettono di dissipare maggiormente il calore accumulato dalle superfici urbane. L'orientamento indice inoltre sul *daylight factor*³⁴, ovvero della percentuale di radiazione che può colpire la superficie urbana e sulla densità delle ombre portate (cfr. Ratti 2003). *"Inoltre, la città stessa è fonte di produzione di energia, che si va a sommare a quella della radiazione solare incidente, a causa delle attività antropiche principalmente legate al riscaldamento, o più in generale condizionamento della temperatura indoor, e trasporti. In complesso dunque la città è più ricca d'energia rispetto alla campagna e tale squilibrio si acuisce ulteriormente in virtù delle citate fonti di calore primarie"* (Rossi et al. 2007).

³³ Lo Sky View Factor - SVF è la quantità della porzione di cielo visibile da un punto nello spazio urbano. Se il cielo è completamente visibile, il valore è uguale a 1, l'esposizione alla radiazione solare diretta è massima. Lo SVF è la stima precisa dell'illuminazione di un'area urbana. Quando lo SVF è uguale a 0, allora il cielo non è in alcun modo visibile da quel punto. Lo SVF si rivela essere un parametro utile per descrivere gli scambi di radiazione termica. Quest'indice può spiegare alcuni meccanismi legati alla generazione dell'isola di calore urbana (Watson et al. 1987).

³⁴ In architettura, il fattore di luce diurna è il rapporto tra il livello di luce all'interno di una struttura per il livello di luce all'esterno della struttura. Per lo spazio aperto è la quantità di radiazione solare che colpisce la superficie urbana.

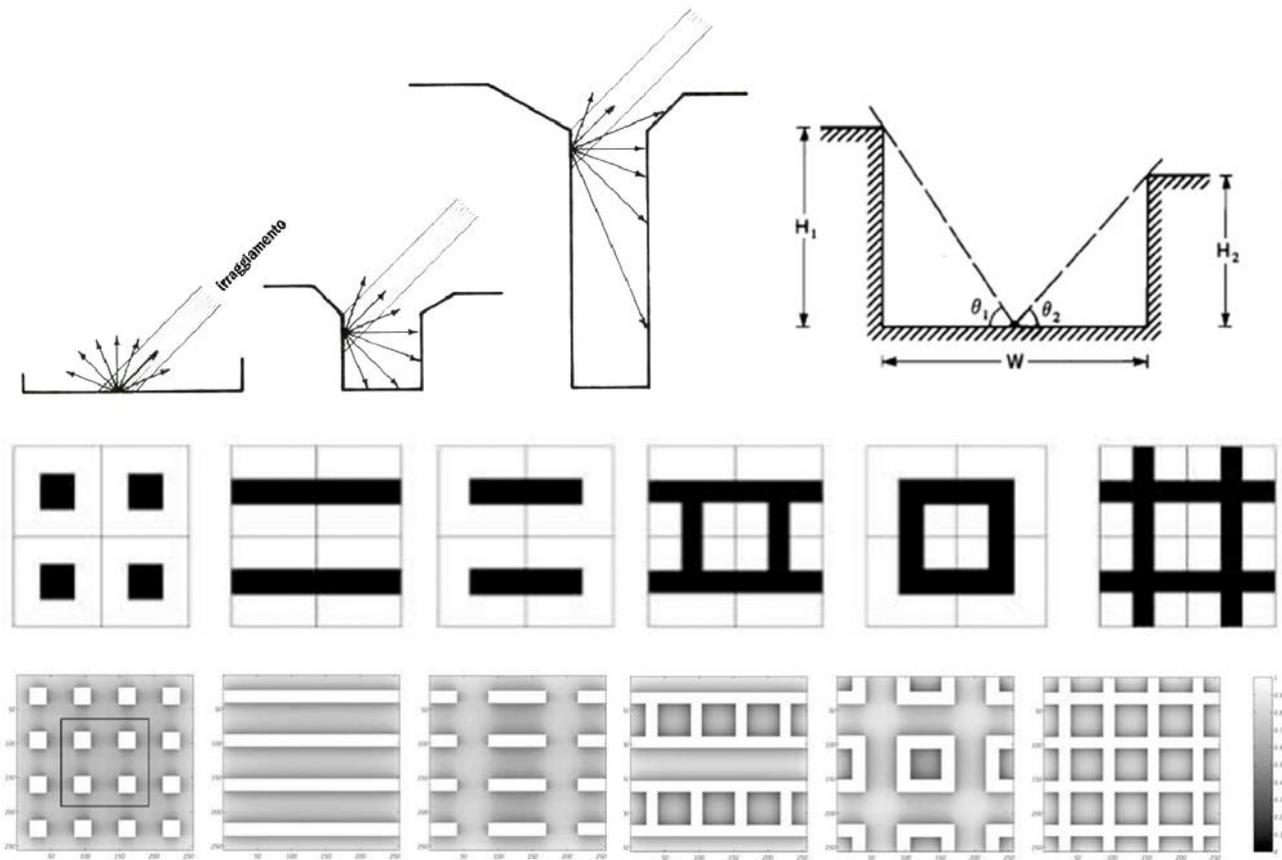


Fig.8 – A destra differenti tipologie di canyon urbani con differenti possibilità di 'restituire' la radiazione solare all'ambiente; (fonte: Dessi 2015); a sinistra la rappresentazione del canyon urbano e del calcolo dello Sky View Factor (fonte: Oke 1987); in basso gli studi di Carlo Ratti sulle forme urbane e dell'influenza sullo SVF. (fonte: Ratti 2013)

Altri fattori che possono incidere sulla formazione dell'isola di calore urbana e l'aumento di temperature sono le condizioni climatiche, la posizione geografica e la topografia (cfr. Giacchetta et al. 2007). Le prime possono incidere in termini di ventilazione e copertura del cielo dalle nuvole, infatti durante le giornate in cui il vento è caldo e il cielo aperto, l'effetto isola di calore è massimo, vista la quantità di energia solare che raggiunge la superficie urbana e la mancanza dell'azione attiva del vento che potrebbe portare via il calore. Inoltre la presenza e l'azione mitigativa di corpi d'acqua (mare, fiume, ecc.) può consentire di abbassare le temperature e far generare venti che aiutano a dissipare il calore accumulato delle superfici di edifici e spazi aperti (cfr. EPA 2009).

1.5. LA RESILIENZA NELL'APPROCCIO SOSTENIBILE DEL PROGETTO

Gli effetti che i cambiamenti climatici stanno apportando sul clima e in particolare nell'ambiente urbano, sono percepiti sotto forma di aumento delle temperature (in Europa l'aumento delle temperature si aggira sui 1.3 °C di media rispetto ai livelli pre-industriali³⁵), e di scarsità di piogge

³⁵ Climate Change 2014 - Mitigation of Climate Change, IPCC Working Group III 2014.

durante tutto l'anno con l'aumento di fenomeni straordinari (bombe d'acqua e fenomeni alluvionali). Questi fenomeni, paralizzando la vita quotidiana della popolazione delle città, ci portano a riflettere su come sia necessario oggi ri-progettare le nostre città. L'esigenza è quella di definire azioni progettuali di sostenibilità ambientale e interventi capaci di aumentare la *resilienza*³⁶ *urbana*. Da un lato il bisogno di ridurre l'impatto sull'ambiente del settore delle costruzioni, limitando l'impronta ambientale in termini di emissioni di CO2 durante tutto il ciclo di vita (dalla realizzazione alla dismissione di un'opera edilizia) e dall'altro l'esigenza di avere edifici e spazi urbani che siano pensati, progettati o *ri*-progettati per resistere ai sempre più frequenti fenomeni straordinari legati al mutamento del clima, ma anche capaci di limitarne gli effetti che stiamo determinando oggi e che avranno ripercussioni in futuro sui sistemi urbani³⁷.

Progettare per il cambiamento climatico significa quindi saper prevedere ciò che potrebbe verificarsi in futuro, in che modo i cambiamenti climatici altereranno il nostro ambiente e in che modo questi modificheranno il nostro stile di vita, determinando nuovi bisogni ed esigenze. Anticipare il cambiamento vuol dire stabilire nuove strategie e il ricorso a soluzioni progettuali innovative, capaci di rendere le nostre città resistenti ai mutamenti ambientali e quanto meno idonee ad adattarsi e dare risposte alle trasformazioni del clima in atto, definendo luoghi, spazi ed edifici al fine di agire quali mitigatori ambientali.

Sarà in queste condizioni che, per innescare processi rigenerativi, e allo stesso tempo adattivi, le città potranno essere considerate dei laboratori per testare approcci innovativi (cfr. UN-Habitat 2011), applicando nuove soluzioni che le rendano maggiormente "resistenti" e sostenibili, quindi resilienti. Intervenire con azioni strategiche sulla capacità di superare, resistere e adattarsi al cambiamento in atto, pone lo spazio urbano al centro di sperimentazioni progettuali che abbiano la capacità di agire come mitigatori ambientali. Lo scopo è quello di aggiungere contemporaneamente qualità ambientali e architettoniche a quegli spazi che prima non ne avevano, agendo parallelamente sulla percezione del benessere con influenze positive anche sugli edifici. Da una parte dunque, misure che portano ad una riduzione dell'isola di calore urbana e degli effetti dei cambiamenti climatici, e dall'altra, come conseguenza diretta, al miglioramento delle condizioni di benessere termico (cfr. Dessì 2015) e della vivibilità degli spazi urbani.

A dover creare le condizioni adeguate per vivere in un ambiente urbano sempre più difficile, saranno le scelte e le azioni congiunte degli attori dei processi edilizio. Se da un lato gli enti di governo

³⁶ Vedi Glossario alla voce Resilienza.

³⁷ "... l'impatto dei cambiamenti climatici è destinato ad aumentare nei prossimi decenni a causa degli effetti differiti nel tempo delle emissioni di gas passate e presenti", in Commissione Europea, *Strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici* 2013.

nazionali, ma soprattutto locali, dovranno dotarsi di *climate resiliency study*³⁸, strumenti indispensabili per formulare strategie, priorità, piani di azione tarati sulle reali necessità di ciascun insediamento (cfr. MATTM 2014). Saranno i progettisti a dover proporre concrete soluzioni tecniche e progettuali di mitigazione e adattamento per rendere le nostre città più adattive e con una migliore qualità della vita.

La questione del confort ambientale in città, declinata secondo l'interazione tra interno ed esterno che con maggiore enfasi e preoccupazione ci poniamo oggi che gli effetti dei cambiamenti climatici sono evidenti, è stata oggetto di numerose riflessioni nel recente passato. Nel suo libro "Progettare con il Clima", Olgay nel 1958, individua nella bioclimatica il fondamento sul quale viene definito un approccio di tipo processuale per la determinazione di tipologie edilizie e forme di tessuti urbani differenziati nelle varie aree climatiche del pianeta, proponendo così un regionalismo rinnovato, slegato dalle morfologie tradizionali e legato ai caratteri linguistici del Movimento Moderno. L'architettura modernista però, come afferma Banham nel libro "The Architecture of the Well-Tempered Environment", fonda la propria ricerca di leggerezza e trasparenza sulla disponibilità di energia primaria, che agendo artificialmente sul comfort percepito, poneva in secondo piano le prestazioni dell'involucro, dato che a quell'epoca vi fu una crescita esponenziale nell'utilizzo di impianti di condizionamento climatico. L'indipendenza dal contesto climatico, ha così portato allo slegarsi dell'edificio dal luogo in cui esso sorgeva, portando ad una globalizzazione delle modalità e delle tecniche costruttive. È Eduardo Vittoria nei suoi scritti³⁹ ad evidenziare in modo chiaro che è il processo tecnologico a dover "organizzare le relazioni con la natura dando spessore ad una immagine trasparente del paesaggio architettonico". Questo pensiero, che è in funzione di *tecnologie devianti*, quali le tecnologie dell'aria, dell'acqua, della luce e del suono, pongono il manufatto architettonico al centro di un *meccanismo combinatorio* in cui esterno e interno si incontrano e trapassano l'un l'altro. Per lui è la tecnologia che, da strumento applicativo, diventa un modo per inventare lo spazio fisico e restituire all'uomo tutti i benefici della natura. È attraverso la modificazione delle forme ideate dall'uomo secondo gli elementi naturali (aria, luce, suoni, colori, ecc.), che è possibile creare nuove relazioni tra l'uomo e il suo habitat, così da dare ad esso un ambiente rinnovato attraverso il *disvelamento* degli elementi naturali nascosti. Sarà l'uomo, che attraverso la tecnologia, dovrà essere capace di modificare la natura e l'ambiente che ha costruito, rendendoli sempre più adatti alla propria sopravvivenza. È attraverso una lettura della sua contemporaneità, in una sorta di anticipazione ciò che sarebbe avvenuto in futuro, che Vittoria afferma che il *dibattito* dovrà incentrarsi sullo "stabilire i fini da perseguire in questa continua

³⁸ Strumento indispensabile per formulare strategie, priorità, piani di azione tarati sulle reali necessità di ciascun insediamento e determinarne gli impatti attesi e gli elementi di vulnerabilità (cfr. MATTM 2014).

³⁹ cfr. Guazzo G., *Il punto su... Eduardo Vittoria: L'utopia come laboratorio sperimentale*, Gangemi Editore, Roma, 1995

modificazione dell'abitabilità della natura, prima che essa porti a un'alterazione sconvolgente dell'ambiente nel suo complesso". È attraverso un'attenta analisi della sua contemporaneità che Vittoria aveva già individuato quelle problematiche che circa un trentennio dopo si sarebbero verificate; un conto che il nostro pianeta ci sta presentando e che ci mette di fronte all'unica scelta possibile, quella di ripensare al nostro modo di vivere, ridefinendo l'habitat dell'uomo, quindi ripensando la *città*.

È a fronte delle attuali conoscenze sul quello che potrebbe verificarsi rispetto al clima futuro, oltre agli effetti del clima attuale, che risulta quanto mai necessario comprendere quali siano oggi le condizioni che nelle aree urbane enfatizzano e contribuiscono al cambiamento del clima. Identificare questi fattori, rappresenta un imperativo per lo sviluppo di processi di rigenerazione urbana adattiva in aree che sono già vulnerabili ai rischi del clima (cfr. Shaw et al. 2007); questo può risultare utile per determinare quando e come intervenire con azioni di adattamento, quali, tra le possibili soluzioni tecniche e di progetto, risultino le più adatte al contesto sulla base alle prestazioni offerte. Azioni di controllo e verifica preventiva sono di fondamentale importanza, vista la complessità e la molteplicità degli aspetti di cui tener conto nell'analisi ambientale alla scala urbana. Analizzare queste variabili, che agiscono alterando la percezione del benessere nello spazio urbano, permetterà di definire quanto prima quelle risposte adattive che permettano di far fronte alle sollecitazioni dell'ambiente esterno in continuo cambiamento; azioni di valutazione e verifica di processi iterativi aperti, dove il continuo aggiornamento di dati e proiezioni climatiche, permetterà di costruire città e spazi ad elevate capacità di *resilienza* climatica.

GLI STRUMENTI DI INFORMATION TECHNOLOGY COME SUPPORTO ALLE
DECISIONI PROGETTUALI

2.1. GLI STRUMENTI IT PER IL SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE AMBIENTALE

Nonostante il notevole avanzamento nel settore dello sviluppo di strumenti di information technology - IT per il progetto di architettura e per la valutazione delle risposte in termini prestazionali degli edifici, non molti, e spesso non più supportati dagli sviluppatori, sono invece i software e i tool utili al controllo ambientale e microclimatico del progetto dello spazio aperto urbano. Se da un lato l'attenzione per le performance dell'edificio (calore, luce, suono e consumi energetici) dovuta alla sempre più frequente adozione di misure di restrizione normative riguardanti la riduzione delle emissioni di CO₂, ha permesso di sviluppare software migliori e raffinati, dall'altro la carenza di chiare normative e indirizzi precisi sulla progettazione ambientale dello spazio aperto, non ha attirato l'attenzione delle grandi softwarehouse nello sviluppo di strumenti informatici specialistici (cfr. Ratti et al. 2003_b). La necessità di condurre analisi complesse sulla forma urbana e le caratteristiche che modificano la percezione dello spazio, che necessariamente richiedevano l'uso di strumenti informatici, sono state oggetto degli studi di Carlo Ratti ed Eugenio Morello e del lavoro svolto nel Sensible Lab dell'MIT. Negli anni in cui il settore era ancora meno sviluppato di adesso, entrambi hanno svolto ricerche sulla *"delicata relazione che esiste tra la valutazione del tessuto urbano e la progettazione degli spazi aperti, definite dalla qualità ambientale ed esprime la qualità della città"*⁴⁰, definendo tecniche e metodologie per la realizzazione di analisi ambientali. L'uso di processi di *digital image processing*⁴¹(DIP), di DEM - Digital Elevation Model e di algoritmi processati con l'uso di software per il calcolo numerico⁴², hanno permesso di individuare tecniche di indagine simultanea su differenti aspetti ambientali in relazione al tessuto urbano, quali il soleggiamento, la ventilazione, i consumi di energia, ecc. (cfr. Ratti 2003, Morello et al. 2007).

29

Il compito di realizzare software dedicati al progetto ambientale in ambiente urbano e alle sue performance, è stato così assolto da istituti di ricerca, e in particolare delle Università, che hanno promosso lo sviluppo di software e tool capaci di offrire risposte a specifiche necessità.

Esempio di questo tipo è ENVI-met⁴³, software di simulazione microclimatica tridimensionale dello spazio aperto. Questo software consente di effettuare simultaneamente numerose analisi attraverso la simulazione dell'interazione tra superfici, piante e aria all'interno dell'ambiente urbano. I settori tipici di applicazione sono l'architettura, la progettazione ambientale e l'architettura del paesaggio. ENVI-met è basato sulle leggi della fluidodinamica e delle termodinamica e può restituire simulazioni di tipo:

⁴⁰ cfr. www.eugeniomorello.eu

⁴¹ Tecniche basate sull'uso di modelli urbani 2.5D (cfr. www.eugeniomorello.eu/imageprocessing.html)

⁴² Ad esempio il software Matlab che permette il calcolo numerico e l'analisi statistica

⁴³ Software di simulazione microclimatica sviluppato da Michael Bruse e il suo team all'Università di Mainz

- Flussi attorno e tra gli edifici
- Processi di scambio al suolo e sulle superfici degli edifici
- Fisica degli edifici
- Impatto della vegetazione sul microclima locale
- Bioclimatologia
- Dispersioni inquinanti

Il software consente di simulare il microclima urbano come un unico sistema interattivo, tenendo conto delle interazioni dinamiche dell'atmosfera, della fisica del suolo e della risposta della vegetazione, replicando il comportamento reale del sistema ambientale. Attraverso la ricostruzione tridimensionale dello spazio urbano, e dopo aver inputato le caratteristiche dei materiali delle superfici orizzontali e verticali, della vegetazione presente, i dati climatici, e impostato i dati per la ricerca del comfort termico di una persona (velocità di camminamento in m/s, scambio termico e vestiario – clothing CLO), è possibile valutare le caratteristiche ambientali e le prestazioni dello spazio urbano, attraverso la lettura e l'interpretazione dei dati quali la temperatura potenziale, l'umidità relativa, la velocità e la direzione del vento, la temperatura superficiale, l'SVF, l'MRT⁴⁴ e il PMV⁴⁵. Gli output del programma possono essere visualizzati graficamente all'interno del tool Leonardo oppure essere esportati in formato di foglio elettronico.

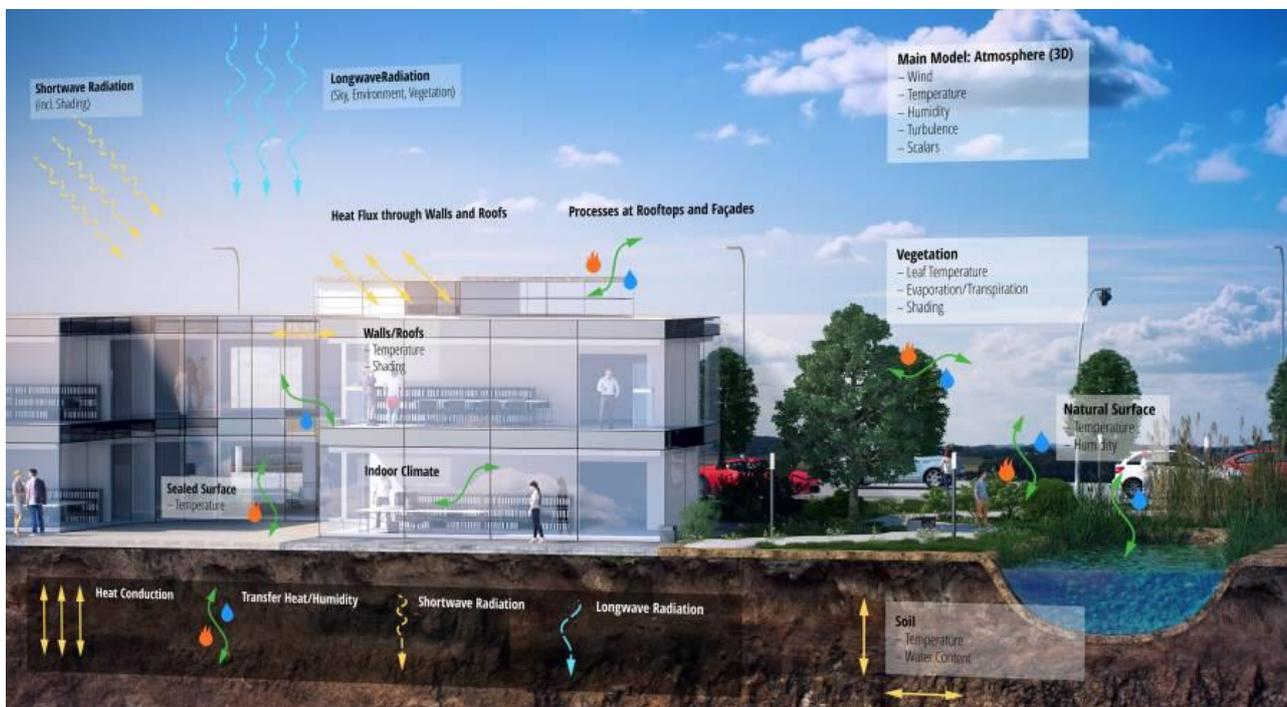


Fig.9 – Schema del modello olistico di simulazione microclimatica di ENVI-met. (fonte: www.model.envi-met.com)

⁴⁴ Vedi Glossario alla voce MRT

⁴⁵ Vedi Glossario alla voce PMV

RAYMAN⁴⁶ è un tool che permette il calcolo degli indici di benessere all'interno dello spazio urbano, attraverso il bilancio energetico del corpo umano⁴⁷. A cominciare dall'individuazione geografica e da dati microclimatici, quali la temperatura dell'aria, l'umidità relativa e la velocità del vento, la ricostruzione dell'ambiente tridimensionale, e l'immissione di dati sulla persona (età, altezza, peso, sesso, vestiario e attività espressa in Watt), permette di calcolare lo SVF e gli indici di comfort quali l'MRT, il PMV, il PET⁴⁸, l'UTCI⁴⁹ e il PT⁵⁰. La negata possibilità di inserire dati sulle caratteristiche delle superfici che compongono lo spazio urbano, denotano una minore attendibilità del dato.

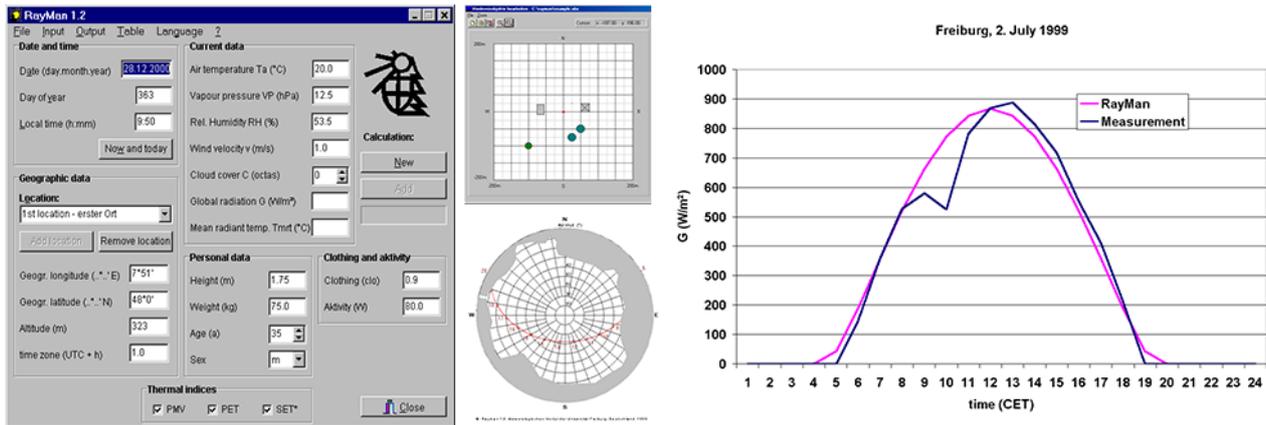


Fig.10 – Screenshot del software RAYMAN e confronto tra la misurazione reale di radiazione globale e quella misurata in Rayman per il 2 Luglio 1999 a Friburgo. (fonte: www.urbanclimate.net/rayman)

SOLWEIG⁵¹ (Solar Long Wave Environmental Irradiance Geometry model) simula le variazioni spaziali di temperatura media radiante e i flussi tridimensionali di onde lunghe e la radiazione ad onde corte. Il modello richiede un numero limitato di input, come la radiazione diretta, diffusa e globale onde corte, temperatura dell'aria, umidità relativa, geometria urbana e informazioni geografiche quali latitudine, longitudine e altitudine. Si tratta un modello non-stazionario basato su immagini raster (DEM) che, grazie al supporto di MATLAB⁵², è in grado di calcolare le variazioni spaziali dei flussi di radiazione e l'MRT su modelli a vasta scala e su diverse scale temporali.

⁴⁶ Sviluppato dal Dr. Andreas Matzarakis dell'Università di Friburgo

⁴⁷ Il bilancio energetico del corpo umano è espresso attraverso la relativa equazione, che permette di definire il benessere termoigrometrico delle persone all'interno di uno spazio, indoor o outdoor. Sul bilancio energetico del corpo umano incidono variabili quali quelle dell'ambiente fisico, la fisiologia del corpo umano e il comportamento del soggetto umano (fonte: UNI EN ISO 7730).

⁴⁸ vedi Glossario alla voce PET

⁴⁹ vedi Glossario alla voce UTCI

⁵⁰ vedi Glossario alla voce PT

⁵¹ Sviluppato dal Dipartimento di scienze della terra dell'Università di Gothenburg

⁵² vedi nota 42

SOLENE⁵³, tool per la valutazione e la progettazione climatica di progetti urbanistici e architettonici, permette all'utente di indagare sul microclima e sulla forma di edifici e di altre forme urbane, a partire dallo studio solare. Nello specifico il software permette lo studio delle ombre, della radiazione solare diretta e diffusa, lo SVF, delle riflessioni solari multiple, della luce naturale, il problema della trasmissione luminosa all'interno degli edifici e quello della radiazione termica nel contesto urbano attraverso la stima della temperatura superficiale per valutare i livelli di comfort all'esterno.

OTC MODEL⁵⁴ (Outdoor Thermal Comfort Model) è un tool di analisi urbana bioclimatica, sviluppato per valutare le condizioni di comfort esterne dello spazio urbano. Il tool permette di valutare la radiazione solare, l'ombreggiamento e gli indici di comfort quali l'UTCI e il PET. Questi indici sono calcolati per valutare la relazione tra le variabili meteorologiche, ambientali e personali, e anche studiare come questo rapporto influenza la salute e le attività umane.

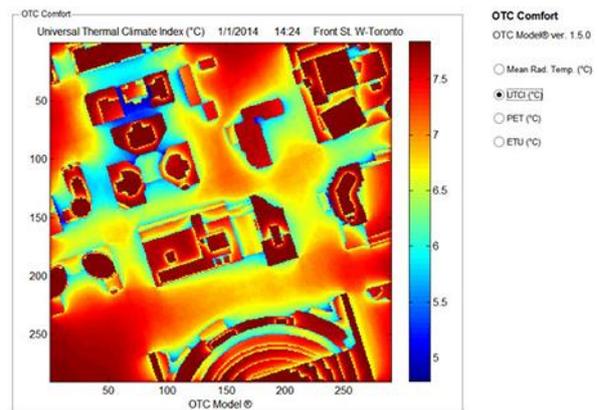


Fig.11 – Analisi di comfort ambientale (UTCI) in OTC Model. (fonte: otcmodel.com)

Come si è potuto osservare, a meno di ENVI-met e OTC model, la maggior parte di questi software sono stati sviluppati per la risoluzione di specifiche problematiche, non riuscendo a gestire la simulazione dello spazio aperto in maniera esaustiva. Infatti la carenza nella gestione dei materiali che compongono lo spazio aperto e le relative proprietà, e l'inevitabile approssimazione, limita notevolmente la precisione dei dati in output.

All'interno di questo panorama, alcuni software per l'architettura e per la valutazione delle prestazioni energetiche dell'edificio invece, possono essere utilizzati, anche se in modo limitato, per effettuare analisi ambientali dello spazio aperto. È questo il caso di Autodesk® Ecotect® Analysis che oltre alle sue specifiche caratteristiche per la valutazione delle performance sull'edificio, permette numerose analisi di valutazione dello spazio outdoor. A partire dall'importazione o dalla realizzazione di un modello tridimensionale e dall'inserimento di dati climatici in formato .WEA⁵⁵, è

⁵³ Sviluppato dal laboratorio CERMA - Centre for Methodological Research in Architecture and urban ambient Environment, Francia

⁵⁴ Sviluppato da Comfable - Consulting Engineers & Scientists

⁵⁵ Questo tipo di file, leggibile all'interno di Ecotect, è un file climatico che al suo interno contiene informazioni rilevate dalle stazioni meteorologiche. Questo è ottenibile dalla conversione di file in formato EPW (EnergyPlus Weather Data), che riporta le informazioni climatiche formato ASCII (American Standard Code for Information Interchange). Una raccolta di dati climatici è disponibile sul sito: <http://apps1.eere.energy.gov>

possibile eseguire lo studio solare e delle ombre portate nelle diverse ore del giorno e durante i giorni dell'anno, oltre al guadagno solare. Il software inoltre permette di calcolare i livelli di luce naturale e di ombre portate, la radiazione solare incidente, lo SVF e grazie al plug-in esterno WinAIR, garantisce lo studio della ventilazione naturale CFD - Computational Fluid Dynamics. Vista la sua specificità, Ecotect permette di valutare gli indici di comfort termico MRT e PMV solo all'interno dell'edificio e non all'esterno.

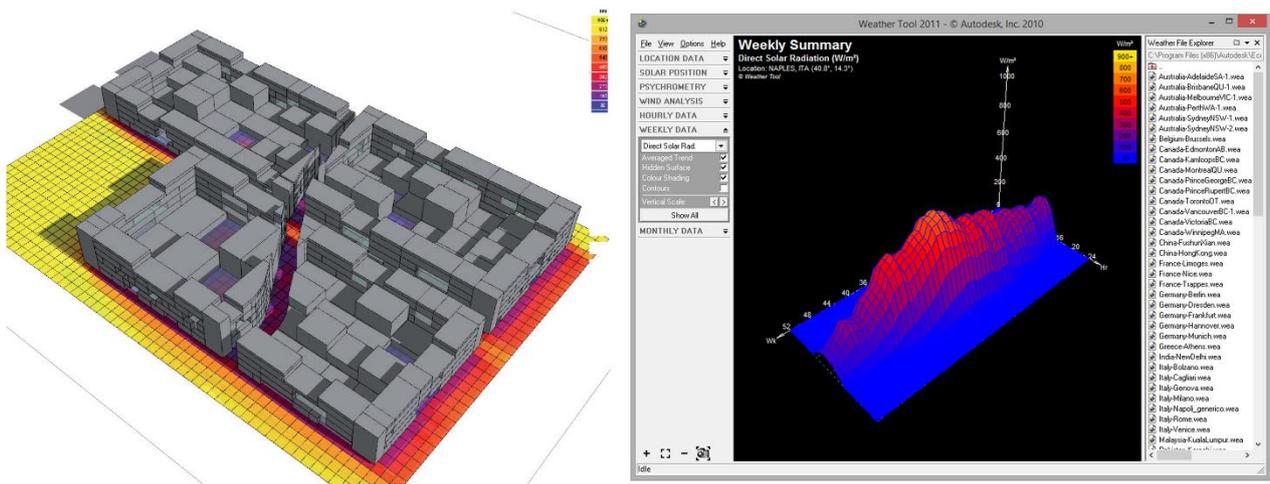


Fig.12 – Screenshot del software Ecotect Analsis: Insolation analysis, numero di ore totali di soleggiamento (fonte: www.ia.arch.ethz.ch); Weather tool: Grafico della radiazione solare diretta per ogni settimana dell'anno.

SOLARCHVISION⁵⁶ è un software che propone un modello di valutazione delle caratteristiche ambientali basato su un database di dati climatici in costante aggiornato. Il software, attraverso un modello tridimensionale, valuta contemporaneamente il contributo della radiazione solare, il comfort dovuto alla ventilazione, il contributo della temperatura dell'aria e quello delle precipitazioni proponendo all'utente una lettura simultanea delle singole componenti, al fine di definire le più adeguate scelte progettuali.

Le valutazioni sul soleggiamento e sulle ombre portate, però, possono essere ormai eseguite all'interno in un qualsiasi software di modellazione tridimensionale che consenta di associare ad un modello tridimensionale, un luogo geografico specifico e riprodurre l'andamento dell'arco solare durante il singolo giorno e i giorni dell'anno. Lo sviluppo di plug-in interni ad altri software, permette di sviluppare e integrare nuove caratteristiche non previste in origine. Un cosa emblematico è lo sviluppo del plug-in Grasshopper⁵⁷ per la progettazione parametrica all'interno del software per la

⁵⁶ Sviluppato da R.M.M. Solarch Studio.

⁵⁷ Grasshopper è un linguaggio di programmazione visual sviluppato da David Rutten at Robert McNeel & Associates. Grasshopper funziona all'interno del software CAD Rhinoceros 3D. Le definizioni di Grasshopper sono caratterizzate dalla visualizzazione di diagrammi di flusso.

progettazione tridimensionale Rhinoceros⁵⁸, questo, che consente a sua volta di essere integrato da add-on e plug-in, permette di aggiungere nuove caratteristiche e accrescere le potenzialità del software. Ladybug + Honeybee⁵⁹ sono add-on il cui uso simultaneo, permette di svolgere numerose verifiche ambientali dello spazio aperto, di gestire le informazioni a livello parametrico e di connettere altri software quali Ecotect, EnergyPlus, Radiance, ecc. per ottenere simulazioni sulle performance degli edifici. Dragonfly⁶⁰, permette inoltre di importare immagini satellitari e di generare file climatici basati su dati satellitari, parametri di morfologia urbana, ma anche in base agli scenari di futuro cambiamento climatico. Analogamente UMI⁶¹ (Urban Modeling Interface) è un add-on di Grasshopper sviluppato per la progettazione delle performance ambientali di quartieri e città che integra la valutazione dell'energia in esercizio e incorporata dagli edifici attraverso l'integrazione di EnergyPlus, il potenziale proveniente dalla luce solare e il comfort termico integrando il modulo Daysim, l'accessibilità e la fruizione dello spazio aperto.

Questo approccio fondato sull'interoperabilità tra i diversi software, ovvero una piattaforma di *data exchange*, tenta di raccogliere simulazioni, analisi e risultati all'interno di un unico ambiente software. Ogni variazione apportata del progettista al progetto all'interno del software di modellazione Rhinoceros, rende possibile aggiornare semi-automaticamente i risultati, senza dover eseguire operazioni di esportazione e importazione. La possibilità di operare verifiche istantanee e attuare controlli prestazionali in un unico ambiente, in risposta alle indicazioni da diversi software, consente di ottenere una chiara e univoca lettura dei risultati che il progettista potrà poi decodificare per ottenere utili indicazioni al fine di operare scelte progettuali maggiormente rispondenti alle condizioni ambientali.

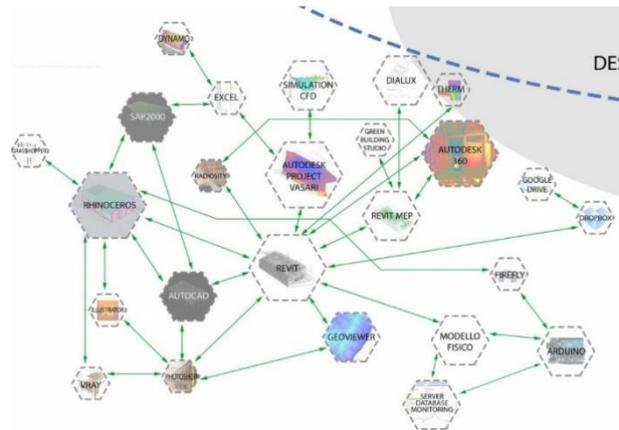


Fig.13 – Processo di exchanging data per la progettazione di una scuola ad alta efficienza energetica a Messina. (fonte: sustainabilityworkshop.autodesk.com/project-gallery/messina-schoolhouse-high-efficiency-mediterranean-architecture)

⁵⁸ Rhinoceros 3D è un software applicativo commerciale per la modellazione 3D di superfici sculturate (free form) realizzato da Robert McNeel & Associates.

⁵⁹ Honeybee e Ladybug sono plugin open source per Grasshopper che aiutano il designer a concepire il design di architetture attente ai fattori ambientali esterni.

⁶⁰ Dragonfly crea diverse variabili climatiche su larga scala leggibili dall'interfaccia di visiva di Grasshopper, così come l'interfaccia di visualizzazione 3D di Rhino.

⁶¹ Il progetto del plug-in per Grasshopper UMI, è stato sviluppato dall'Sustainable Design Lab dell'MIT.

2.2. LA STRATEGIA DELLE SIMULAZIONI: EDIFICI E SPAZI URBANI

L'inasprimento di aspetti di criticità dovuti alla variazione delle condizioni climatiche, che ormai si verificano con sempre maggiore frequenza e magnitudo all'interno dello spazio urbano costruito, traccia la necessità di valutare il fenomeno nella sua complessità. Come detto in precedenza, all'interno delle città e soprattutto durante le stagioni calde, la percezione delle condizioni ambientali, e quindi del microclima, può essere alterata dalla consistenza (compattezza e densità) della città e dalla sua forma. La densità di edifici, i materiali e gli elementi che compongono lo spazio aperto, contribuiscono all'inasprimento delle già alterate condizioni climatiche (UHI).

Una valida strategia è quella di avvalersi del contributo di strumenti software per la simulazione delle prestazioni dello spazio aperto urbano e nel rapporto con l'edificato, consentendo di ampliare la conoscenza dei fenomeni che contribuiscono ad alterare in maniera negativa l'ambiente in cui viviamo. Attraverso i calcoli e le operazioni di simulazioni ottenute dai software per il controllo ambientale dello spazio urbano costruito, è di fatti possibile eseguire numerose e specifiche analisi. Come visto nel paragrafo precedente, alcuni dei software di simulazione più completi, consentono di ottenere risultati molto vicini alla realtà⁶². Di fatti l'alta risoluzione ottenibile delle simulazioni⁶³, la possibilità di inserire dati climatici, di dettagliare il modello di simulazione con i materiali che definiscono lo spazio aperto e gli edifici, di inserire elementi di vegetazione ed elementi quali specchi d'acqua e fontane, garantisce che il modello possa restituire il reale comportamento microclimatico dello spazio urbano analizzato.

La simulazione del comportamento di edifici e spazi aperti, permette di ottenere una lettura sull'interazione che vi si verifica. L'influenza reciproca tra l'ambiente esterno e quello interno agli edifici, condiziona notevolmente il comportamento degli utenti. Di fatto, quando l'ambiente urbano esterno reagisce all'aumento delle temperature durante la stagione estiva (con il conseguente verificarsi dell'effetto isola di calore urbana), anche l'edificato viene aggredito dalla componente termica esterna. Questo fa sì che all'interno degli edifici, gli utenti cerchino conforto attraverso l'uso di impianti di climatizzazione, che a loro volta, oltre a contribuire all'aumento della produzione di gas climalteranti, estraggono l'aria calda dall'interno che viene così dispersa all'esterno, aumentando la condizione di malessere outdoor. Il ruolo che le simulazioni software possono svolgere, deve essere quello di definire quali strategie e soluzioni tecniche è indispensabile adottare per ottenere un ambiente urbano maggiormente adattivo alle modificazioni del clima in atto.

⁶² Questo dipende dalla possibilità di inserire un numero maggiore di dati e caratteristiche di input, provenienti da misurazioni dirette.

⁶³ ENVI-met può effettuare simulazioni ad una risoluzione di fino a 0.5m nello spazio e 1-5 sec nel tempo.

Il gruppo di ricerca dell'Università di Sheffield formato da Chengzhi Peng e Amr F. Elwan, ha sviluppato un *workflow* denominato Climate Change Conscious Urban Neighborhood Design (C3UND), che sviluppa e coniuga simulazioni software di spazi aperti ed edifici, per ottenere dati sull'interazione e l'influenza reciproca tra i due ambienti. Oggetto delle simulazioni, è il campus dell'Università di Sheffield, analizzato secondo le condizioni ambientali nei trentenni 1990-2020 e 2021-2050. In questo caso il gruppo ha scelto di utilizzare i software ENVI-met ed Ecotect, rispettivamente per la simulazione di spazi aperti ed edifici. L'area del campus è stata dapprima simulata in ENVI-met, utilizzando dati climatici attuali e di proiezioni future provenienti dalla stazione meteo di Finningley (UK); quest'ultimi sono stati generati attraverso il tool Climate Change Weather File Generator for UK Weather Data⁶⁴. L'uso di ricettori⁶⁵ disposti perimetralmente agli edifici del campus, ha consentito di generare poi file climatici caratteristici, ovvero di definire il comportamento microclimatico che si verifica nelle immediate vicinanze degli edifici.

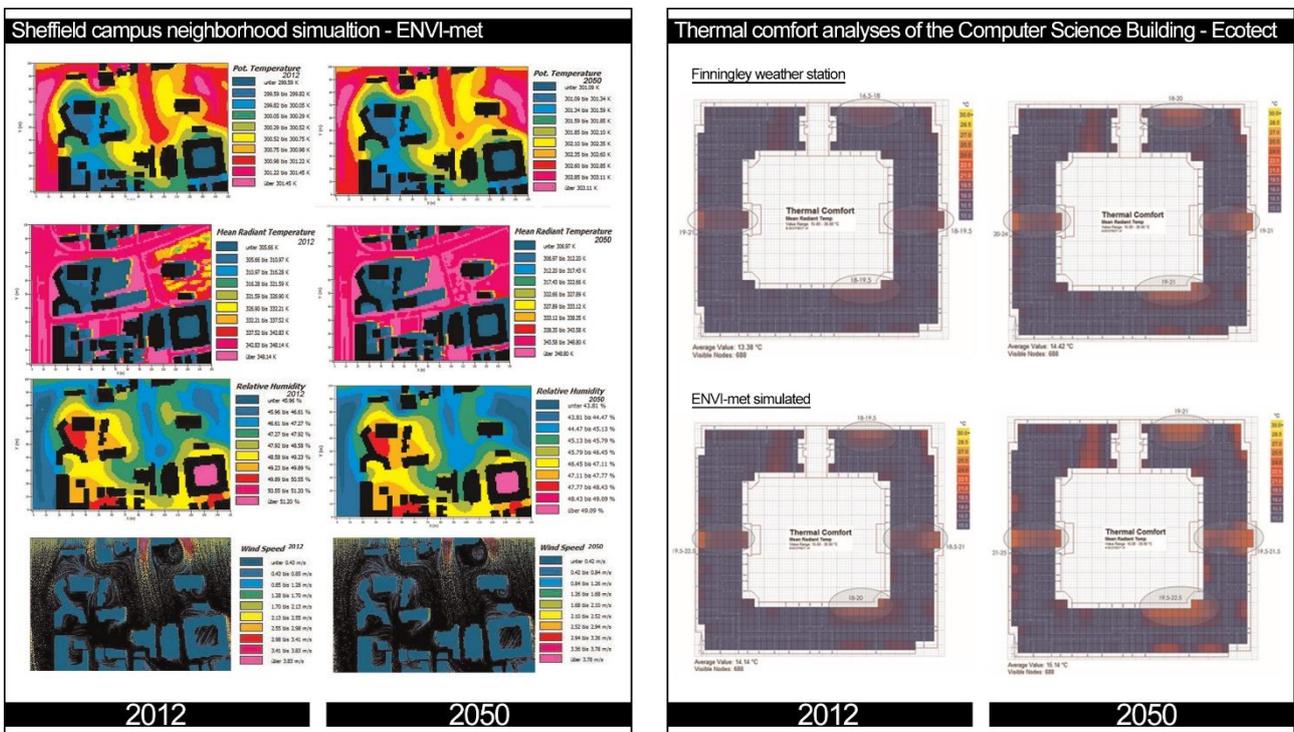


Fig.14 – Progetto C3UND: a sinistra le analisi microclimatiche al 2012 e al 2050 in ENVI-met dell'area del campus dell'University of Sheffield; a destra le simulazioni delle temperature interne del Computer Science Building al 2012 e 2050 con set di dati climatici differenti, in alto della stazione climatica di Finningley e in basso quelli ricavati dalle simulazioni in ENVI-met. (fonte Peng et Elwan 2013).

⁶⁴ Climate Change Weather File Generator for UK Weather Data permette di generare file climatici di cambiamento climatico per località geografiche del Regno Unito, pronti per essere usati all'interno di software di simulazione delle performance di edifici. Questo tool è stato sviluppato dal Sustainable Energy Research Group dell'Università di Southampton.

⁶⁵ In ENVI-met i ricettori sono punti scelti all'interno dell'area del modello, in cui i processi nell'atmosfera e del terreno sono monitorati in dettaglio. Questi possono consentire di ottenere informazioni sul comportamento ambientale dello spazio aperto in aree adiacenti gli edifici.

I risultati ottenuti a seguito delle simulazioni in ENVI-met, sono così stati utilizzati in Ecotect per la simulazione delle prestazioni e del comfort percepito all'interno degli edifici del Social Sciences Building e il Computer Science Building. Analoghe simulazioni sono state effettuate con di dati climatici della stazione di Finningly. È stato poi effettuato un raffronto fra i risultati ottenuti dalle variazioni di temperatura negli scenari climatici e le differenze fra i risultati ottenuti con i differenti dati climatici in input. I risultati mostrano che le temperature interne dell'aria risultano più alte quando vengono simulate generando file climatici caratteristici (in ENVI-met); questa variazione, di ca. 1°C, è attribuita dal gruppo di ricerca all'effetto isola di calore urbana.

Questa esperienza suggerisce che l'uso di differenti strumenti, ognuno dedicato a specifiche verifiche, non può garantire di ottenere un unico output di lettura. L'integrazione fra gli strumenti informatici è ottenuta attraverso l'interazione di processi di simulazione ricorsivi, nei quali i dati ottenuti a seguito di processi di analisi, vengono utilizzati come input all'interno di altri strumenti e così via, fino ad ottenere l'optimum prestazionale ricercato mediante l'integrazione tra le soluzioni tecniche adottate, sia per gli edifici, sia per lo spazio aperto. In questo caso, il gruppo ha ottenuto la lettura simultanea dei risultati, tramite piattaforme di visualizzazione di tipo webGIS, o X3D, come quella uCampus sviluppata per l'Università of Sheffield, che consente a progettisti e studenti di studiare il comportamento ambientale del campus universitario e di sovrapporre i propri modelli tridimensionali, e le relative analisi, per verificarne la rispondenza al cambiamento climatico (cfr. Peng et Elwan 2013).

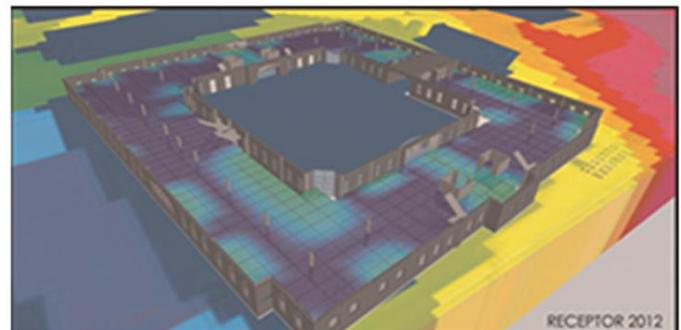
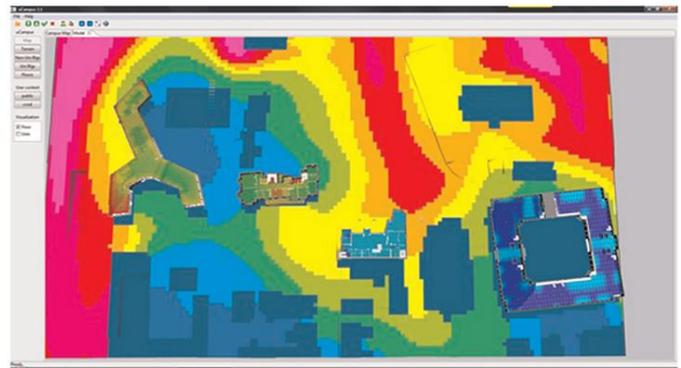


Fig.15 – Le simulazioni di Ecotect Analisis ed ENVI-met inserite all'interno della piattaforma uCampus dell'University of Sheffield. (Fonte: Peng et Elwan 2013)

L'esperienza dei ricercatori del Dipartimento di Architettura e Paesaggio dell'Università di Sheffield, ha definito il punto di partenza per la ricerca di esperienze simili nell'uso di software nella valutazione della rispondenza agli obiettivi di adattamento e mitigazione ai cambiamenti climatici e alla definizione e valutazione di interventi di progettazione, strategie e soluzioni tecniche.

2.3. IL RUOLO DELLA SPERIMENTAZIONE E L'UTILIZZO DI STRUMENTI IT PER LA VERIFICA DELLE PRESTAZIONI PROGETTUALI: ANALISI CRITICA

Gli strumenti informati di information technology IT per la simulazione dell'ambiente urbano costruito, oltre a garantire un utile e quanto ormai necessario supporto del processo analitico-conoscitivo, costituiscono un valido apparato per la conoscenza dei fenomeni ambientali dello spazio urbano costruito. A supporto dei processi di simulazione, è necessaria l'acquisizione di dati e informazioni che siano utili alla riproducibilità e rispondenza a condizioni reali. Operazioni e fasi di rilievo della forma urbana e di dati geometrici, sui materiali, sulla vegetazione presente nel contesto da riprodurre, e in particolare nel reperimento diretto e indiretto di dati climatici, risultano informazioni necessarie per chi deve gestire processi di simulazione e calcolo. Azioni di monitoraggio ambientale sono utili non solo per definire andamenti climatici e microclimatici dell'ambiente urbano, ma anche alla costruzione di database di informazioni per indagare su quei fenomeni che influenzano il clima in città (UHI, heatwaves, cambiamento climatico), oltre che ad eseguire una sorta di *taratura* degli strumenti informatici. La simulazione dello stato dei luoghi permette in questo modo di generare all'interno dell'ambiente virtuale condizioni microclimatiche *attendibili* e di far emergere quali sono le criticità tecnico-prestazionali dell'ambiente urbano simulato, quindi di quelle reali.

In tal senso, il ruolo dei software risulta fondamentale per la sperimentazione e la definizione di strategie e soluzioni adattive, flessibili e resilienti. Di fatto, la possibilità di eseguire simulazioni dell'ambiente urbano costruito, permette di testare, controllare e definire le strategie e le soluzioni che maggiormente possano garantire risposte adeguate per l'adattamento al cambiamento climatico. Fasi di applicazione e di verifica si attuano mediante processi ricorsivi di testing e verifica prestazionale, suggerendo all'*operatore-progettista* quali interventi riescono ad ottenere e garantire migliori benefici in termini prestazionali. Inoltre, indicazioni sui livelli di benessere termico raggiunti a valle delle simulazioni, definiscono utili benchmark sull'effettivo miglioramento del microclima urbano, sulla riduzione delle temperature e sull'effettiva riduzione dell'effetto isola di calore urbana.

La specificità delle funzioni e dei risultati ottenibili dai software di simulazione per il controllo ambientale e microclimatico urbano, può rendere necessario l'utilizzo contemporaneo di più software contemporaneamente. Questo aspetto definisce una continua relazione tra gli strumenti, rendendo di fatto necessario esportare, importare, estrarre e confrontare file e risultati. I dati ottenuti servono quindi alla verifica preventiva sulle scelte da operare, per poi ripetere le operazioni fino alla definizione della migliore soluzione. I risultati ottenuti all'interno di software differenti costituiscono una robusta impalcatura di conoscenze e di risultati; di fatto, ogni output è un tassello, una sintesi che l'operatore deve organizzare per definire strategie coerenti e adeguate al contesto in cui interviene.

Allo stato attuale dello sviluppo di strumenti informatici per la progettazione ambientale dello spazio urbano costruito, è sempre di più la capacità, l'esperienza e il lavoro di ricercatori e progettisti a definire i più innovativi usi, le connessioni, gli scambi di dati (exchanging data) e le procedure da attuare tra i diversi software a disposizione; "esperienze avanzate di interoperabilità, o di collaborative design, prefigurano infinite potenzialità di *integrazione* tra molteplici apporti di operatori coinvolti nei processi ideativi, operativi e decisionali del progetto, che porta verso comportamenti da "essere collettivo" (e ben oltre ottimizzazioni di assunti consuetudinari di team-work)" (Giallocosta 2011).

Nuove figure professionali stanno emergendo in questo scenario, dove i progettisti specializzati nell'uso di strumenti IT sono in grado di arricchire le competenze e le capacità professionali dei gruppi di progettazione, inserendosi in un processo multidisciplinare sempre più ampio e specialistico, al quale poter offrire supporto e sperimentazione alla definizione e al governo del progetto mediante l'uso di processi di digital design. La digitalizzazione dei processi dell'architettura quindi, di concerto con i notevoli progressi nello sviluppo di software dedicati, sta determinando continue riorganizzazioni all'interno degli studi di progettazione e delle grandi società di ingegneria come ad es. Zaha Hadid Architects, Mario Cucinella Architects, BIG - Bjarke Ingels Group, ARUP, ecc.; questi sono infatti alla continua ricerca di nuove figure professionali che possano supportare il processo digitale del progetto e la continua sperimentazione mediante l'uso innovativo di strumenti informatici per l'architettura. I nuovi strumenti digitali sono così chiamati a dover garantire sempre maggiori livelli di affidabilità e di rispondenza alla realtà dei processi simulativi, di offrire funzionalità nuove e sempre migliorate, restando inoltre al passo con il lavoro di sperimentazione scientifica permettendo ai progettisti di operare le migliori scelte tecniche e progettuali.

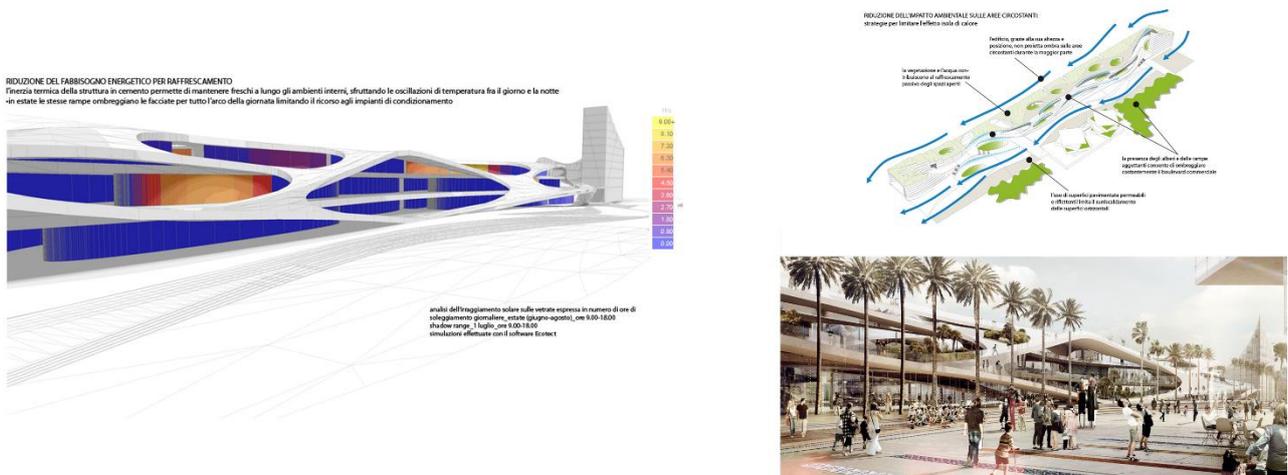


Fig. 16 – Uso di software IT per il controllo delle prestazioni energetiche e ambientali per il masterplan dell'area di San Berillo di Catania. (fonte: www.mcarchitects.it)

La sperimentazione nell'uso e nella creazione di software e tool, e in particolare di quelli dedicati al progetto ambientale, può consentire di aprire nuovi scenari per lo studio e l'interazione nel rapporto edifici-spazi aperti, definendo vere e proprie operazioni di simulazione di monitoraggio ambientale in ambiente virtuale, e determinare la reale influenza e il beneficio biunivoco nell'uso di specifiche soluzioni tecniche. L'interconnessione e lo scambio di dati tra diversi software, può inoltre suggerisce di eseguire operazioni di osservazione e valutazione delle condizioni ambientali e microclimatiche rispetto alle condizioni future del clima, grazie al supporto di tool per il morfing⁶⁶ di dati climatici basati sulle proiezioni future del clima⁶⁷. Queste operazioni sperimentali, diventano utili qualora si voglia controllare il grado di adattabilità e di resilienza di strategie d'intervento per la progettazione ambientale in ambito urbano e di come queste potranno dare allo stesso tempo risposte prestazionali adeguate in scenari di cambiamento climatico simulato.

La carenza di apparati normativi, di regole e linee guida univoche e condivise sulla progettazione ambientale, e forse anche lo scarso appeal delle softwarehouse, non permette lo sviluppo di strumenti informatici dedicati, che allo stesso tempo risultino completi e semplici (user-friendly). In egual misura, la definizione di regole e metodi di valutazione sintetica (tipo BAF, RIE, ecc.) e regole codificate di indici prestazionali misurabili, potrebbe dare il là per lo sviluppo di strumenti informatici utili (anche open source), che possano mettere in relazione l'interazione dinamica che avviene tra lo spazio outdoor e quello indoor.

⁶⁶ CCWorldWeatherGen permette di generare file climatici di cambiamento climatico per località geografiche in tutto il mondo pronti per essere usati all'interno di software di simulazione delle performance di edifici. CCWorldWeatherGen è stato creato dal Sustainable Energy Research Group dell'Università di Southampton.

⁶⁷ Questo tool permette di eseguire un morfing dei file climatici in base al modello di proiezione HadCM3 A2 di cambiamento climatico del Terzo Rapporto di Valutazione dell'IPCC, ottenendo un file analogo al precedente, ma proiettato ai trentenni 2010-2039 (2020), 2040-2069 (2050) e 2070-2099 (2080).

3.1. LA PROGETTAZIONE AMBIENTALE E GLI SCENARI FUTURI

La progettazione ambientale, come espresso da Giuffrè nella sua *lectio magistralis* "Progettazione Ambientale, una disciplina umanistica, non un mestiere tecnico" nell'ambito del corso di Dottorato di ricerca in Architettura del DiARC, è un'azione atta a definire un "sistema adattivo complesso, *autoevolventesi* per effetto delle sopravvenienze esterne, che inutilmente chiamiamo *rischio*, invece che improvide previsioni". È così che il *progetto dell'ambiente*, ricordando l'insegnamento di Eduardo Vittoria, assume il ruolo di istituire leggi di relazione tra gli oggetti (gli edifici) e lo spazio urbano, lasciando che quest'ultimo vi circoli intorno, capovolgendo il rapporto tra gli oggetti edilizi, il fruitore e l'ambiente nel suo complesso, per recuperare quell'"intervallo perduto tra le cose" e cioè quello spazio tra gli edifici attraverso il quale garantire le necessarie condizioni benessere: ariosità, luminosità, trasparenze, indispensabili alla formazione del suo *habitat*⁶⁸. "*Rendere abitabile la natura, - in - un succedersi di oggetti, sia naturali, sia artificiali, modellati, e di vuoti collegati, articolati, snodati. Non la strada corridoio tra edifici ad alta densità, ma la strada parco*"⁶⁹.

È in questo senso che il progetto ambientale deve consentire all'uomo di riappropriarsi degli spazi aperti della città, garantendo le migliori condizioni di benessere. Il progetto ambientale, in quanto risultato di una conoscenza preliminare di aspetti di criticità, si pone l'obiettivo di indagarne le cause e di definire adeguate soluzioni di progetto. Ci si domanda allora: "*qual è la reazione ambientale agli interventi dell'uomo sul paesaggio - urbano, - e quali sono le tecniche pertinenti ad un determinato contesto?*" (Caterina 1978). Potremmo rispondere, in accordo con Sigfried Giedion⁷⁰: "*L'architetto moderno - come quello contemporaneo -, prima ancora di passare al progetto, deve studiare con rispetto religioso le abitudini di vita e il clima*". Questo approccio alle conoscenze sociali e ambientali, è ancora oggi di estrema attualità, esteso grazie all'avanzamento scientifico, che ci consente non solo di avere a disposizione dati e informazioni del presente e del passato, ma anche utili strumenti per ipotizzare ciò che accadrà nel prossimo futuro, definendo possibili proiezioni di scenari climatici e di prevederne le ricadute sull'uomo e sui suoi comportamenti. L'obiettivo è quello di progettare gli spazi e gli edifici delle città odierne in modo tale che queste possano essere in grado di fronteggiare e resistere al clima futuro, creando un ambiente adattivo e resiliente, un habitat confortevole per l'uomo, univoco per ogni luogo, quartiere e città.

⁶⁸ cfr. Vittoria E., "Le «Tecnologie Devianti» per la Progettazione Ambientale", in Gangemi V. e Ranzo P. (a cura di), *Il governo del progetto*, Edizioni Luigi Parma, Bologna, 1978.

⁶⁹ ibidem

⁷⁰ cfr. Giedion S, *Architecture, You and Me: The Diary of a Development*, Harvard University Press, 1958.

3.2. BUONE PRATICHE NAZIONALI E INTERNAZIONALI

La recente realizzazione di interventi di rigenerazione ambientale e la definizione di innovative proposte progettuali sul tema del comfort dello spazio aperto, hanno mirato alla definizione di nuove qualità ambientali e di interazione sociale dei luoghi del vivere collettivo. Attraverso la ridefinizione di nuovi spazi si è puntato soprattutto ad apportare nuovi livelli prestazionali e a definire nuove relazioni con il contesto e l'ambiente. All'interno di strategie integrate, sono state definite azioni progettuali che possano creare le condizioni per fronteggiare gli effetti del clima che sta cambiando. Attraverso azioni che permettano oggi di abbassare le temperature dell'ambiente urbano durante le stagioni calde, questi spazi avranno la capacità di resistere nel tempo, attuando azioni di difesa e bilanciamento alle mutate condizioni ambientali dovute ai cambiamenti del clima.

Numerose esperienze progettuali, proposte progettuali e linee guida alla progettazione (design manual), identificano specifiche soluzioni adeguate per realizzare strategie di adattamento al clima futuro, capaci di contrastare adesso l'effetto isola di calore urbana e ridurre nel tempo le emissioni climalteranti nell'ambiente (tab. 2).

Tipologia*	Titolo del progetto	Anno	Luogo	Classificazione Climatica KG
DM	Sustainable Urban Site Design Manual	2008	New York	Cfa
DM	LID - Low Impact Development	2010	USA	Dfa-Dfb-Csa-Csb
DM	Green Streets Design Manual	2014	Philadelphia	Dfa
BPI	ONE STEP BEYON	2013-14	Atene	Csa
BPI	Passeig De St Joan	2011	Barcellona	Csa
BPI	Place de la Republique	2013	Parigi	Cfb
BPI	Saint Kjeld's Kvarter	2012-16	Copenhagen	Cfb
BPI	Masterplan Campus Sheffield's University	2014	Sheffield	Cfb
BPI	MADRID+NATURAL	2015	Madrid	Csa
BPN	REBUS	2014-15	Parma	Cfa
BPN	REBUS	2014-15	Modena	Cfa
BPN	REBUS	2014-15	Modena 2	Cfa

* DM: Design manual; BPI: Buone pratiche internazionali; BPN: Buone pratiche nazionali

tab.2 - Linee guida alla progettazione e buona pratiche nazionali e internazionali che prevedono strategie per il controllo ambientale microclimatico e di riduzioni dei rischi per le persone all'aumento delle temperature medie globali.

Verranno esaminate casi studio nazionali e internazionali e strumenti di regolamentazione della progettazione urbana, al fine di confrontare le differenti esperienze maturate nell'applicazione di buone pratiche e strategie di adattamento. Manuali e interventi progettuali saranno analizzati allo scopo di ottenere una lettura critica sulle strategie adottate per l'adattamento all'aumento delle temperature in ambiente urbano, individuando le soluzioni progettuali (vegetazione, materiali, ecc.)

maggiormente adottate per le differenti condizioni climatiche e ambientali⁷¹. Particolare attenzione sarà posta qualora per la definizione delle strategie progettuali, sia stato previsto l'uso di procedure di verificare sul benessere termico percepito attraverso indici comfort termico e mediante l'uso di strumenti informatici di simulazione.

Linee guida alla progettazione

Tra i manuali per la progettazione dello spazio pubblico disponibili e che propongono soluzioni per il design degli spazi aperti urbani, sono stati individuati alcuni tra quelli più interessanti ai fini di questa ricerca, introducendo e proponendo azioni di adattamento al cambiamento climatico. Il manuale per la progettazione sostenibile curato dal *Department of Design & Construction Office of Sustainable Design* di New York, definisce strategie per fronteggiare gli impatti del cambiamento climatico e di riduzione delle temperature in città. A New York, l'aumento delle temperature dell'aria di 6-8 °C, può essere un fattore innescante problemi per la salute pubblica. Attraverso un abaco delle tipologie di spazi aperti pubblici e privati, vengono suggerite le azioni utili per rendere gli spazi maggiormente sostenibili e resilienti. Soluzioni integrate per la gestione delle acque piovane e la riduzione dell'effetto isola di calore, sono descritte quali elementi per attuare una strategia di adattamento, che prevede di:

- adottare pavimenti per esterni e tetti di colore chiaro (albedo alto);
- massimizzazione della vegetazione con alberi e pavimentazioni a giunto aperto;
- realizzare tetti verdi;
- garantire ombreggiamento attraverso alberi, schermature verdi e localizzare le aree pavimentate all'ombra degli edifici, sotto coperture e pensiline, ecc.;
- minimizzare l'accumulo di calore attraverso l'uso di pavimentazioni permeabili

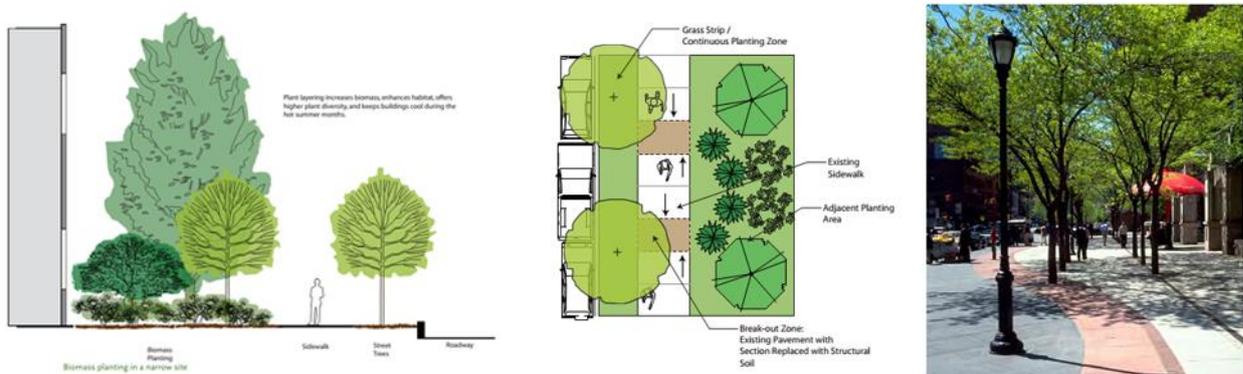


Fig.17 – Esempio di linea guida per la realizzazione di marciapiedi a ridotto carico solare. (fonte: S.U.S. Design Manual New York)

⁷¹ Secondo la classificazione climatica mondiale Koppen-Geiger (1936), che suddivide il globo terrestre in sei gruppi principali secondo valori prestabiliti di temperatura e di precipitazioni, calcolati conformemente alle medie annue o di singoli mesi.

L'attuazione di queste soluzioni, che affrontano trasversalmente la gestione dei problemi legati all'acqua e alle alte temperature, permetterà di migliorare le condizioni di vivibilità e benessere dello spazio pubblico aperto adesso e di in futuro.

Indirizzi per orientare le scelte progettuali:

- Tetti con una riflessività minima di 0.65 (tetti piani) e 0.25 (tetti inclinati)*; almeno il 75% dei tetti con un SRI ≥ 78 (tetti piani) e SRI ≥ 29 (tetti inclinati)**
- Almeno il 50% di pavimentazioni di strade, marciapiedi, cortili e parcheggi deve avere un valore di SRI > 29 **
- Alberature per ridurre le temperature lungo i marciapiedi, sul perimetro degli edifici e all'interno dei cortili
- Tetti verdi ≥ 50 % della superficie totale**
- Alberi per ombreggiatura superfici spazi urbani pavimentati, in particolare i parcheggi, piazze, marciapiedi e strade; alberature per il 50% del sito (esclusi gli edifici)**
- Ridurre le pavimentazioni impermeabili per aumentare la concentrazione di acqua negli strati sottostanti e ridurre le temperature dell'aria per evaporazione

*Energy Star®; ** LEED NC v.2.2

Diversamente, nel manuale per la progettazione LID - Low Impact Development (2010) e nel Green Streets Design Manual della Città di Philadelphia (2014), il tema dell'impatto dei cambiamenti climatici è affrontato trasversalmente alla definizione di soluzioni per la gestione delle acque piovane. Pavimentazioni permeabili, l'uso di sistemi di drenaggio verdi (tipo rain garden), l'aumento degli alberi e l'adozione di soluzioni di tetti verdi per le abitazioni, oltre ad aumentare la resilienza degli spazi pubblici nella gestione delle acque piovane durante fenomeni estremi, sono utili altresì per mitigare l'effetto isola di calore urbana e contrastare l'aumento delle temperature estive.



Fig.18 – Esempio di linea guida per la realizzazione di pavimentazioni permeabili. (fonte: LID; Green Streets Design Manual)

Indirizzi per orientare le scelte progettuali:

- Pavimentazioni permeabili con percentuale di spazi vuoti $\geq 15\%$ (fino al 90%) e con alti valori di albedo
- Le buche degli alberi devono avere una dimensione minima di 1,5 x 3m
- La larghezza dei marciapiedi che consente l'uso di rain garden deve essere di 1,8m per le strade strette e di 2,5m per quelle larghe
- Ridurre al minimo la carreggiata stradale
- Utilizzo di alberature per la regolazione climatica
- Aree a parcheggio trattate con superfici permeabili

Buone pratiche internazionali

Seppur il problema legato ai cambiamenti climatici è discusso già da qualche decennio e accertato dall'evidenza scientifica e dagli eventi verificatisi, non molte sono state le esperienze fatte nella realizzazione di progetti di rigenerazione urbana che siano capaci di contrastare gli effetti dei cambiamenti climatici. La spinta ad affrontare il problema è sempre stata l'emergenza e il verificarsi di eventi estremi che hanno provocato danni a cose e persone⁷².

46

In risposta a questi eventi, e per evitare peggiori conseguenze in un prossimo futuro, molte sono state le iniziative intraprese da parte di istituzioni di governo del territorio a livello locale. Ad esempio il Comune di Atene ha lanciato il concorso internazionale di progettazione "Re-Think Athens", vinto dallo studio olandese OKRA Landschapsarchitecten con il progetto ONE STEP BEYON. Questa proposta si prefigge anche l'intento di proporre idee contemporanee per il controllo climatico in città. Attraverso la creazione di spazi pubblici fruibili dagli abitanti di Atene e ad una rete di verde urbano, si propone di realizzare una città resiliente, capace di fronteggiare le ondate di calore e ridurre gli effetti negativi provocati dall'effetto isola di calore urbana. La strategia proposta, immagina che con la creazione di una spina verde centrale sulla strada Panepistimiou e la creazione di zone d'ombra e di riparo, si possa raggiungere l'obiettivo di ridurre l'isola di calore urbana e migliorare il comfort termico. La strada diventerà così un grande boulevard, dove la vegetazione definirà spazi coperti per la sosta e la socialità, percorsi pedonali riparati e confortevoli. Il verde diffuso avrà l'intento di connettere le aree verdi già presenti in città. Aree a prato, aiuole e pavimentazioni permeabili, creeranno le condizioni per il miglioramento delle condizioni di benessere negli spazi pubblici. Inoltre una linea tramviaria, una pista ciclabile e la definizione di una carreggiata esclusivamente dedicata

⁷² vedi nota 1, 2

ai taxi e al trasporto di merci, ridurranno drasticamente l'inquinamento e la produzione di CO2 nell'ambiente.



Fig. 19 - Descrizione del comportamento ambientale prima e dopo l'intervento: abbassamento della temperatura medie dell'aria registrate di -3.0°C (rispetto a 34°); temperatura superficiale -29%, PET -28%. (fonte: OKRA Landschaftsarchitekten)

Alla strategia del verde è legata quella dell'acqua al fine mantenere buone condizioni della vegetazione per contribuire alla riduzione del calore. Sebbene ci troviamo in un clima mediterraneo arido, i progettisti prevedono che attraverso un sistema di recupero dell'acqua piovana, questo sia in grado di garantire l'apporto di acqua necessario al mantenimento e la cura della vegetazione. All'interno delle piazze Omonia e Dikaiosynis, grandi specchi d'acqua contribuiranno a mantenere basse le temperature durante la stagione calda. Tende, coperture e chioschi, garantiranno zone d'ombra. Un protocollo di strategie di mitigazione del calore è stato adottato per la definizione delle scelte progettuali: rinverdimento, materiali cool e acqua sono le misure scelte e da diffondere per la riduzione dell'effetto isola di calore urbana.

47

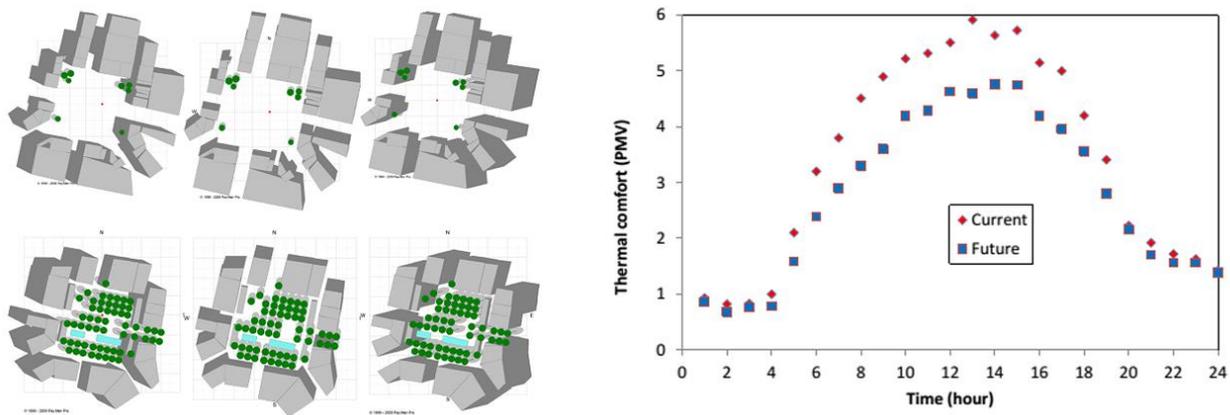


Fig.20 - Simulazione dei livelli di comfort (PMV) per Piazza Omonia prima e dopo l'intervento (fonte: OKRA Landschaftsarchitekten)

Gli interventi si concentrano così sulla definizione di soluzione per lo spazio aperto e sulla superficie degli edifici. Per la Piazza Omonia, è stata inoltre effettuata una verifica delle condizioni di comfort

termico dell'uomo con l'indice di PMV⁷³ (Predicted Mean Vote) all'interno del software di simulazione Rayman⁷⁴: a confronto i risultati espressi secondo l'indice di PMV simulato nel giorno del 16 Luglio 2012 tra la piazza allo stato attuale dei luoghi e quella di progetto. Dai risultati emersi, l'uso di vasche d'acqua e l'aumento delle alberature fino al 50 % della superficie totale (cfr. Nouri 2015), permettono di ottenere una riduzione dei valori nelle ore di picco (dalle 12.00 alle 16.00) intorno ai 2 punti.

Indirizzi per orientare le scelte progettuali:

- Aumentare l'area coperta dagli alberi dal 7.8% al 50%
- Aumentare l'albedo dei muri degli edifici da 0.4 a 0.7 con colori chiari
- Ridurre l'area per il traffico veicolare del 50%
- Materiali cool con elevata riflettività, alta emissività e bassa luminosità
- Aumento della permeabilità > 50%
- Pensiline, chioschi e coperture occupano il 10% dell'aria totale e sono disposte alle estremità delle piazze
- Inserimento di superfici d'acqua per abbassare le temperature estive
- Uso di software per il controllo ambientale

Con condizioni climatiche simili a quelle italiane, il progetto del Passeig De St Joan di Barcellona sviluppato dall'architetto Lola Domènech, si propone l'obiettivo di creare un nuovo spazio urbano verde proseguendo quello già presente in città connettendolo al parco della Ciutadella. Il grande boulevard largo 50 m, prima del progetto accoglieva due filari di alberi lungo i marciapiedi laterali larghi all'incirca 6 m, mentre il resto della sezione stradale era destinato al traffico veicolare. La strategia proposta attraverso la realizzazione della proposta progettuale è quella di aumentare lo spazio per il pedone, creando intervalli di relazione e per il vivere comune, zone di sosta riparate dalla vegetazione e aree per il gioco dei bambini. La nuova strada pedonale, che si aggiunge di 11 m ai 6 m precedenti, per un totale di 17 m, accoglie ora due filari di alberi su entrambi i lati e, dove necessario, una terza fila è posta al centro tra i due; questo intervento permette di garantire l'ombra necessaria per mitigare le alte temperature che si raggiungono in città e rendere gli spazi vivibili. Una pavimentazione chiara e permeabile a giunto aperto inerbato, contribuiscono a ridurre le temperature percepite attivando processi di evapotraspirazione. Infine al centro della carreggiata una pista ciclabile di 4 m, con sponde laterali realizzate a giunto aperto inerbato, contribuiscono a ridurre la carreggiata veicolare con l'obiettivo intrinseco di ridurre il traffico e le emissioni di CO₂.

⁷³ Vedi Glossario alla voce PMV

⁷⁴ Vedi nota 46



Fig.21 - Passeig De St Joan di Barcellona durante nelle ore di maggior carico termico.

Indirizzi per orientare le scelte progettuali:

- Aumento della superficie permeabile del 50%
- Aumento del 50 % delle alberature presenti
- Incremento delle zone d'ombra per la sosta e la socialità
- Riduzione della strada carrabile e inserimento di percorsi di mobilità alternativa

La Place de la Republique di Parigi, è stata riprogettata dal gruppo TVK_architectes con lo scopo di affrontare il tema del comfort urbano nella più ampia piazza pedonale parigina (120 m x 280 m). Semplici misure sono state implementate per prevenire che la piazza diventi un'isola di calore: 1) aumentare gli alberi per creare un effetto di massa (2000 m²) e ombreggiare gli spazi; 2) permettere al sole di penetrare nelle zone per il camminamento; 3) avvantaggiarsi delle brezze estive che sono raffrescate dalle zone a presenza di acqua come la fontana e lo specchio d'acqua a raso; 4) l'uso di uno schema di materiali per ridurre l'effetto delle temperature superficiali. Proprio lo schema delle pavimentazioni diviene l'elemento guida della piazza, infatti sono stati utilizzati differenti colori per differenziare i diversi usi: le aree maggiormente ombreggiate, hanno una pavimentazione più scura per prevenire il discomfort termico derivante da un ambiente troppo fresco, mentre per i camminamenti sono state previste pavimentazioni di colore chiaro. Il materiale utilizzato è un cemento prefabbricato che garantisce buone prestazioni in tutte le stagioni. L'acqua presente è distribuita in due punti, nella vasca profonda 3m che circonda la statua al centro della piazza, e su di una lama d'acqua che allaga una superficie di 270 m² (23 x 12m), che posta in direzione dei venti estivi, permette il raffrescamento passivo durante le ore più calde del giorno.

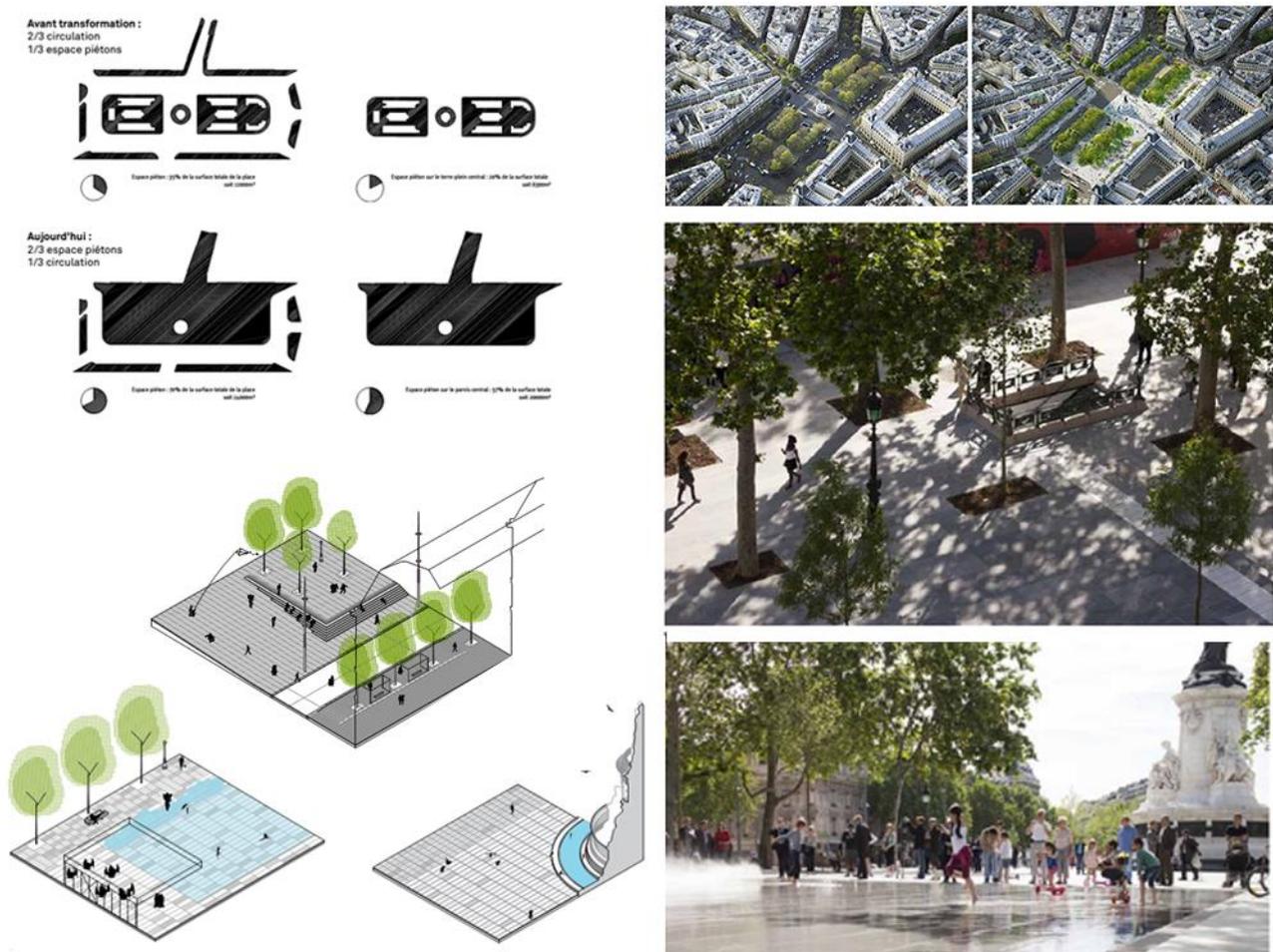


Fig.22 - Gli schemi progettuali e la realizzazione di Place de la République di Parigi. (fonte: TVK_architectes)

Indirizzi per orientare le scelte progettuali:

- Aumentare l'area perdonale dal 35% al 70%
- Aumentare del 10% le alberature già presenti per massimizzare l'area ombreggiata
- Sostituire la pavimentazione con materiali ad alto albedo lungo i camminamenti
- Materiali più scuri nelle aree ombreggiate per scongiurare discomfot termico
- Inserimento di superfici d'acqua per abbassare le temperature estive

Il progetto per il Saint Kjeld's Kvarter di Copenhagen, dello studio Tredje Natur, rappresenta un esempio di quartiere clima adattivo. Questo progetto rappresenta uno dei primi passi per la città di Copanhenagen verso una realizzazione di una città più resiliente e adattiva a seguito dell'alluvione che l'ha colpita nel 2011. Il progetto, che segue le linee guida stabilite del "Copenhagen Climate Adaptation Plan" del 2012, rappresenta una sperimentazione per dimostrare l'efficacia della strategia integrata per contrastare l'aumento delle temperature e per la gestione degli eventi di precipitazioni intense. Il masterplan prevede che nell'area possano essere inserite aree verdi (corridoi

verdi, alberi, rain garden, ecc.) per un totale di 50.000 m² a fronte dei 270.000 m² di strade attuali, e ridurre di un ulteriore 20% le aree asfaltate a favore di aree a maggiore permeabilità. I progettisti si sono focalizzati sulle piazze di Saint Kjeld's, Bryggervangen e Tåsinge, dove la strategia prevede che l'aumento delle alberature e di spazi verdi, il raddoppio delle aree pedonali, ma anche l'uso di acqua nebulizzata, garantirà migliori condizioni di comfort nelle giornate estive più calde. Inoltre tetti verdi, facciate verdi e rain garden sono previsti lungo le strade e integrati sugli edifici del quartiere per migliorare il microclima urbano e migliorare la gestione delle acque piovane. Le grandi corti all'interno degli isolati urbani del quartiere saranno invece ridefinite con la stessa strategia per mitigare le temperature e fungere da punti di raccolta per l'acqua piovana in eccesso.



Fig.23 - Immagini del progetto per il Saint Kjeld's Kvarter di Copenhagen: a sinistra lo schema per la riduzione delle pavimentazioni carrabili a favore delle aree pedonali e verdi, a destra il render della Tåsinge-Plads. (fonte: Tredje Natur)

Indirizzi per orientare le scelte progettuali:

- Adibire il 20% delle area totale a spazi verdi
- 20% dell'area totale destinata a pavimentazioni permeabili
- L'uso di acqua nebulizzata per abbattere le temperature
- Suggestire l'adozione di tetti verdi e facciate verdi lungo le strade principali per mitigare le alte temperature

Il masterplan per l'area del Campus dell'Università di Sheffield, è il frutto di un processo che ha visto coinvolti molti docenti e ricercatori interni all'università. Questo progetto tende a migliorare le condizioni ambientali all'interno del campus. Mediante la massimizzazione delle aree verdi a sfavore di quelle asfaltate, si cerca di migliorare l'impronta ambientale del campus. L'uso di verde, di alberature e di pavimentazioni permeabili, permetterà di definire aree di buffer microclimatico, che nelle vicinanze degli edifici universitari, aiuteranno a ridurre i consumi di energia dell'intero campus, con una riduzione nelle emissioni di CO₂ prevista: del 43% al 2020 e dell'83% al 2050 (a partire dal

2005). Una verifica al progetto è stata effettuata attraverso l'uso di software per il controllo ambientale, mediante la simulazione della relazione tra l'intervento sugli spazi aperti e gli edifici universitari, che ne ha verificato la rispondenza agli obiettivi prefissati in fase di progetto⁷⁵.

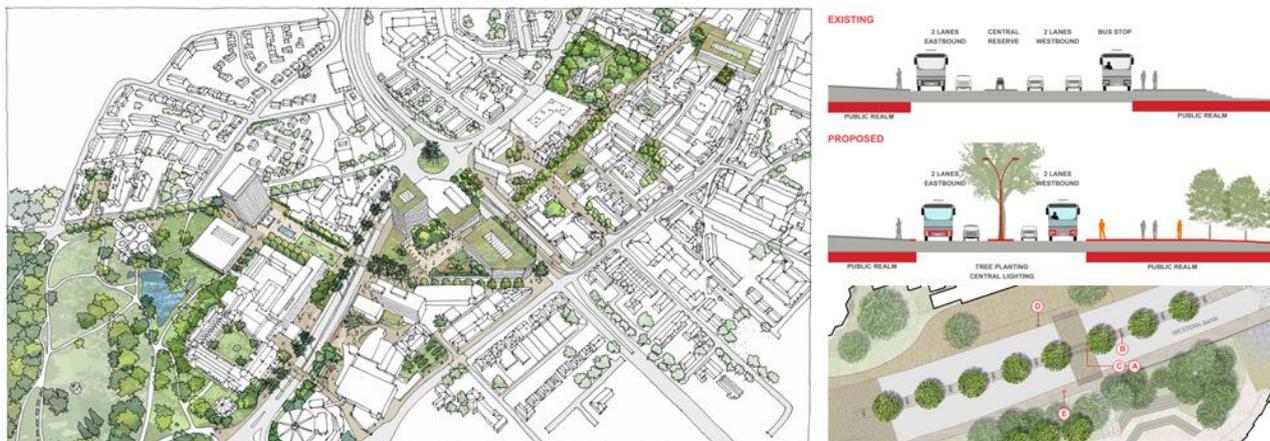


Fig.24 - Immagini del progetto per il Campus dell'Università di Sheffield. (fonte: University of Sheffield)

Indirizzi per orientare le scelte progettuali:

- Aumento della superficie permeabile del 50%, diminuzione della strada carrabile
- Aree a parcheggio ridotte e con superfici permeabili
- Aumento del 50 % delle alberature presenti e delle aree ombreggiate
- Uso di software per il controllo ambientale del progetto del progetto

Il piano MADRID+NATURAL redatto da ARUP, pone la naturalizzazione degli spazi urbani come mezzo per raggiungere finalità di adattamento all'aumento delle temperature estive. I parchi della città verranno estesi e ridefiniti, mentre verranno creati ventidue nuovi giardini urbani. Spazi pubblici non ancora definiti verranno liberati per creare nuovi giardini comuni. Inoltre l'uso di tetti e pareti verdi, tetti cool, pavimentazioni permeabili, sistemi di ombreggiamento stagionale e l'uso di fontane, acqua nebulizzata e corsi d'acqua, definiscono una strategia integrata, che quando tutto verrà attuato, renderanno Madrid più fresca, pulita e maggiormente vivibile. L'adozione di questa visione strategica è quanto mai necessaria visto che la città sta soffrendo e subirà in futuro di un costante inaridimento dei suoli; nei prossimi 30 anni è previsto un aumento del 20% delle numero di giornate estive con temperature anomale⁷⁶, prevedendo che le alte temperature possano arrivare fino ai +4° C rispetto alle condizioni odierne. Inoltre attraverso il coinvolgimento di imprese e istituzioni locali, si crede possibile sviluppare interessi comuni sulla redazione di linee guida per la creazione di quartieri

⁷⁵ Vedi par. 2.2. LA STRATEGIA DELLE SIMULAZIONI: EDIFICI E SPAZI URBANI

⁷⁶ Progetto Europeo ENSAMBLES

salutari attraverso lo sviluppo di spazi verdi e la rigenerazione dell'esistente. Un semplice sistema di valutazione (basso, medio, alto), valuta ogni soluzione del piano strategico in base all'efficacia rispetto all'aumento delle temperature, il pluvial flooding, la gestione della risorsa acqua, l'attitudine alla biodiversità e alla riduzione dell'inquinamento atmosferico.



Fig.25 - Immagini delle soluzioni di controllo microclimatico degli spazio aperti del progetto Madrid+Natural. (fonte: ARUP)

Indirizzi per orientare le scelte progettuali:

- Pareti verdi per aumentare la qualità dell'aria e proteggere gli edifici dagli shock termici
- Tetti Verdi per ridurre le temperature ambientali
- Tetti cool con pitture riflettenti o ghiaie di colore chiaro
- L'aumento di spazi verdi e coperti da alberi per aumentare le zone ombreggiate e ridurre l'inquinamento delle strade
- Pavimentazioni permeabili per aiutare la città ad affrontare gli eventi estremi
- Foreste urbane per fornire zone fresche e ombreggiate
- Sistemi di ombreggiamento per la sola stagione estiva per rendere gli spazi pubblici accessibili nelle ore calde del giorno
- Fonti di acqua possono essere attrezzati come aree gioco o spazi per lo svago per i residenti

Buone pratiche nazionali

A livello nazionale, il progetto REBUS - REnovation of public Buildings and Urban Spaces, promosso dalla regione Emilia Romagna all'interno del progetto Europeo REPULIC-MED⁷⁷, ha l'obiettivo di indagare sulla sostenibilità dell'ambiente urbano attraverso la riqualificazione degli spazi aperti per mitigare gli effetti dell'isola di calore urbana. Il progetto si propone di elaborare e sperimentare nuove idee, di rafforzare e migliorare le attuali metodologie attraverso la sperimentazione progettuale su progetti pilota attuando strategie di rigenerazione urbana in grado di migliorare il comfort microclimatico dello spazio pubblico. Le aree coinvolte sono l'area del Mercato Storico di Rimini, il comparto Pasubio e il quartiere San Leonardo di Parma e l'area del villaggio Artigiano di Modena. I progetti elaborati durante un workshop, sono l'esito di una sperimentazione metodologica sviluppata dal progetto REPUBLIC MED, che consente di definire indirizzi per il progetto del comfort degli edifici e degli spazi pubblici. I progetti hanno definito soluzioni e strategie per rendere i quartieri pilota più sostenibili, sia rispetto ai cambiamenti climatici e ai fattori che generano inquinamento e ondate di calore, sia al fabbisogno di energia e alla qualità urbana (cfr. REPUBLIC-MED 2015).

Il progetto di rigenerazione urbana "Riprendiamoci la strada!" del comparto Pasubio nel quartiere San Leonardo di Parma, ha l'obiettivo di riportare gli abitanti alla socialità della strada, attraverso lo sviluppo di una rete di mobilità lenta, la realizzazione di spazi aperti accoglienti e il miglioramento del comfort microclimatico di strade e piazze. Quest'ultimo obiettivo è perseguito attraverso l'uso del verde per la realizzazione di: 1) una strada vegetale, ovvero un parco lineare sulla via Pasubio, che collega via Trento e il Parco di Mulini Bassi, con l'uso di specie differenti, aree di sosta e di ricreazione; 2) un giardino urbano, l'Eden Pasubio, costituito da una sequenza di piazza e aree verdi; 3) l'uso di una parete verde addossata alla massicciata ferroviaria, in un'area che viene pedonalizzata e che dalla via Palermo accompagna il pedone fino al complesso Ex Manzini; 4) una passeggiata commerciale con aree verdi e spazi pedonali e di socialità. Inoltre la presenza di un PRU all'interno del lotto ha permesso di fare ulteriori ragionamenti sull'area che andrà edificata, confermando la capacità edificatoria, ma prevedendo l'obiettivo di migliorare le condizioni di comfort urbano e la qualità degli spazi attraverso la salvaguardia del sistema del verde sia pubblico che privato. Per l'individuazione delle proposte progettuali è stato utilizzato il software ENVI-met, per svolgere le

⁷⁷ Retrofitting Public Spaces in Intelligent Mediterranean Cities, progetto è co-finanziato dal Programma MED, Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale Partecipano alle attività 10 enti da 5 paesi europei Budget totale del progetto: €1.906.262 Durata: gennaio 2013 – giugno 2015, Il Lead Partner è il Centre for Renewable Energy Sources and Saving, Pikerimi, Attiki, Grecia. Oltre alla Regione Emilia-Romagna, partecipano: Fondazione Democenter-Sipe, Modena (I), Municipality of Piraeus (GR), Agence des Villes et Territoires Méditerranéens Durables, Marsiglia e Metropole Nice Cote d'Azur, Nizza (FR), Valencia Institute of Building Foundation ed Energy Agency of Ribera, Sueca, La Ribera (ES), Energy Institute Hrvoje Pozar, Zagabria e Zadar County Development Agency, Zara (HR).

analisi dei fattori ambientali e di comfort termico (PMV) dell'area di studio e poi il confronto con le proposte progettuali, simulando il giorno del 23 Luglio 2013 alle ore 11.00. La strategia prevede soluzioni che puntino ad identificare le aree maggiormente critiche e a intervenire con soluzioni specifiche, quali: l'introduzione di aree a prato e di alberature lì dove vi sia un carico termico eccessivo durante il giorno, l'uso di materiali idonei e la riduzione delle carreggiate stradali a favore della pedonalità e la ciclopedità. I risultati ottenuti dalla simulazione software mostrano una riduzione di valori di PMV di circa 1 punto nelle aree sottoposte ad intervento con aree verdi e alberate, passando da sensazioni di "caldo estremo" (valori $\geq +3$) a sensazioni di "caldo" e "leggermente caldo" (valori $\leq +2$).

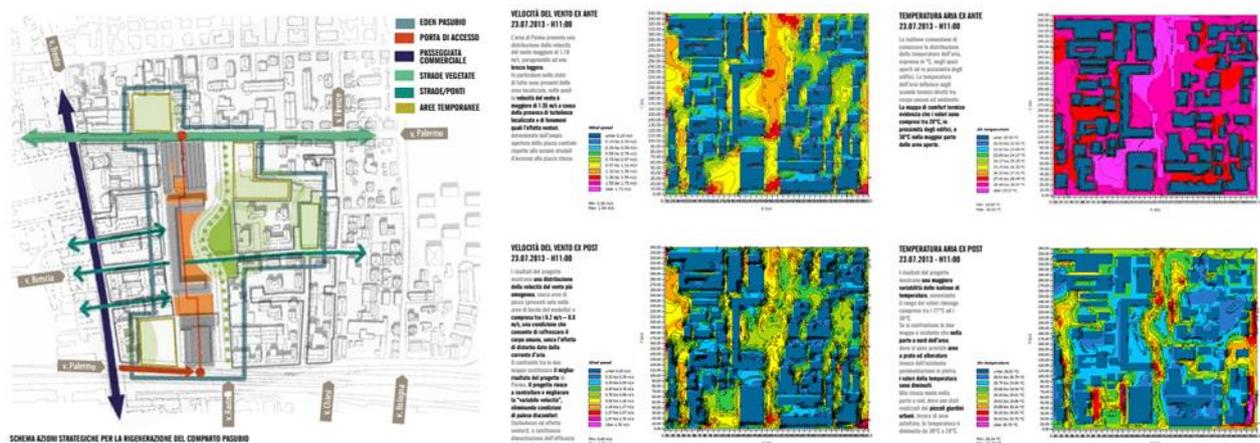


Fig.26 - Progetto "Riprendiamoci la strada!" per la rigenerazione urbana del comparto Pasubio nel quartiere San Leonardo di Parma e verifica prestazionale di ventilazione e temperatura dell'aria dopo l'intervento. (fonte: Regione Emilia Romagna - REBUS)

Indirizzi per orientare le scelte progettuali:

- Aumento del verde pubblico e privato
- Creazione di una infrastruttura verde continua e contigua, con filari di alberi, giardini pubblici e parchi di ampie dimensioni
- Realizzazione di spazi permeabili e giardini
- Recupero di spazio per l'inserimento di alberi lungo le strade maggiormente soleggiate
- Azioni di desealing e di depaving a bordo strada e nei parcheggi
- Trasformazione delle coperture piane in tappeti verdi e/o giardini pensili e/o in coperture grigie con valori di albedo più alti
- Aumento degli spazi aperti interni ai lotti privati più alberati e ombreggiati-
- Utilizzo di specie vegetali performanti rispetto al comfort e in grado di trattenere le polveri sottili (fitorimedi) per ridurre l'inquinamento

Il progetto "Il nuovo lascia il segno" per il Villaggio Artigiano della città di Modena, prevede soluzioni progettuali che mirano al miglioramento del comfort urbano e del microclima, attraverso: 1) l'utilizzo di coperture e pareti verticali cool e verdi; 2) l'utilizzo di pavimentazioni permeabili alternate a rain garden; 3) la realizzazione di una cintura verde sul perimetro dell'area a parcheggio di via Nobili, rain garden per aumentare la permeabilità dell'arare; 4) la ridefinizione dell'area parco su via Emilio Po con la realizzazione di un chioso, pergolati, giochi d'acqua, l'uso di materiali naturali e permeabili, rain garden e arbusti. Per validare le azioni progettuali per il miglioramento delle condizioni di comfort termico, è stato utilizzato il software ENVI-met per la simulazione dell'area di studio allo stato attuale dei luoghi e il confronto con le proposte progettuali nel giorno del 23 Luglio 2013 alle ore 11.00. La simulazione del progetto ha verificato il contributo delle soluzioni adottate, facendo registrare un miglioramento nei due grandi spazi aperti del quartiere, mentre sulle strade e sugli edifici privati, si sono avuti risultati più modesti. I valori di PMV mediamente maggiori di +3.2 nelle aree maggiormente critiche allo stato di fatto, sono stati ridotti attraverso le azioni di progetto a valori di +2.2 - +2.4, passando da una sensazione di "molto caldo" ad una di "caldo".



Fig.27 - Progetto "Il nuovo lascia il segno" per la rigenerazione urbana del Villaggio Artigiano di Modena e verifica prestazionale di comfort percepito (PMV). (fonte: Regione Emilia Romagna - REBUS)

Indirizzi per orientare le scelte progettuali:

- Aumento del verde pubblico e privato
- Interventi sulla morfologia urbana, con l'aumento di aree verdi
- Alberature lungo le strade maggiormente soleggiate
- Recupero di spazio per l'inserimento di alberi lungo le strade maggiormente soleggiate
- Continuità di ombra tra gli assi viari creando una struttura verde urbana connessa ai giardini e parchi di maggiore dimensione (giardini, parchi)
- Azioni di desealing e di depaving a bordo strada e nei parcheggi
- Rendere gli spazi aperti interni ai lotti privati più alberati e ombreggiati
- Trasformare le coperture dei capannoni privati in tappeti verdi e/o giardini pensili e/o in coperture grigie con valori di albedo più alti
- Specie vegetali performanti rispetto al comfort
- Parteti verdi sugli edifici lungo le strade

Il secondo progetto sull'area del Villaggio Artigiano di Modena dal titolo "Villaggio Artigiano, Villaggio Vivo!", prevede la trasformazione di alcuni assi viari a doppio senso di circolazione in sensi unici, con la sostituzione dell'asfalto attuale con un asfalto drenante, favorire l'inserimento di alberature in filari, oltre che l'utilizzo di rain garden per aumentare la permeabilità lungo l'asse di via Emilio Po; nelle piazza viene invece previsto l'uso di corpi d'acqua come elemento di raffrescamento estivo, con fontane nebulizzanti e punti a spruzzo su lamine d'acqua. La simulazione in ENVI-met nel giorno del 23 Luglio 2013, ha evidenziato un leggero miglioramento delle condizioni di comfort nella aree libere e nelle strade dove sono previste nuove alberature.



Fig.28 - Progetto "Villaggio Artigiano, Villaggio Vivo!" per la rigenerazione urbana del Villaggio Artigiano di Modena e verifica prestazionale di comfort percepito (PMV). (fonte: Regione Emilia Romagna - REBUS)

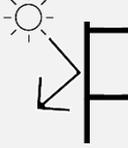
Indirizzi per orientare le scelte progettuali:

- Aumento del verde pubblico e privato
- Interventi sulla morfologia urbana, con l'aumento di aree verdi
- Recupero di spazio per l'inserimento di alberi lungo le strade maggiormente soleggiate
- Continuità di ombra tra gli assi viari creando una struttura verde urbana connessa ai giardini e parchi di maggiore dimensione (giardini, parchi)
- Azioni di desealing e di depaving a bordo strada e nei parcheggi
- Rendere gli spazi aperti interni ai lotti privati più alberati e ombreggiati
- Trasformare le coperture dei capannoni privati in tappeti verdi e/o giardini pensili e/o in coperture grigie con valori di albedo più alti
- Specie vegetali performanti rispetto al comfort
- L'utilizzo di corpi d'acqua come elemento di raffrescamento estivo, con fontane nebulizzanti e punti a spruzzo su lamine d'acqua

I risultati derivanti da queste sperimentazioni di progettazione adattiva nelle aree di Parma e di Modena, serviranno ad elaborate linee guida e raccomandazioni per le politiche di pianificazione finalizzate alla riduzione dell'isola di calore urbana, oltre che la stesura di indirizzi di carattere tecnico per gli amministratori locali e i professionisti del settore che saranno chiamati ad intervenire in quelle aree, favorendo inoltre azioni volte al potenziamento della socialità, della mixité, della sicurezza e dell'attrattività territoriale della aree.

Quanto emerso dai casi studio e dall'analisi delle soluzioni progettuali per l'adattamento all'aumento delle temperature negli spazi urbani, fa emergere l'ambivalenza che molte di queste hanno anche nella gestione delle acque meteoriche e di fenomeni intensi e improvvisi che possono causare allagamenti. Di fatti, la combinazione di soluzioni adatte anche in risposta ai fenomeni legati alla gestione dell'acqua, è di fondamentale importanza per il corretto funzionamento di strategie che prevedono l'incremento della vegetazione e della permeabilità dei terreni. La concentrazione di acqua e umidità dei terreni innesca fenomeni evapotraspirativi con il conseguente abbattimento delle temperature, *“al contrario se i suoli naturali non sono irrigati, durante le ondate di calore il loro effetto è grossomodo lo stesso dell'asfalto”* (Huttner et al. 2009).

Di seguito è proposto un elenco degli indirizzi progettuali che, dedotti dalle buone pratiche analizzate, meglio si adattano ai contesti e al clima italiano e locale (tab. 3).

Indicazione progettuale	
Pavimentazioni permeabili almeno per il 50% della superficie	
Almeno il 50% di pavimentazioni di strade, marciapiedi, cortili e parcheggi deve avere albedo alto (SRI > 29)	
Aumentare l' albedo dei muri degli edifici almeno da 0.40 a 0.70 con colori chiari	
Tetti con albedo minimo di 0.65	
Alberature per il 50% del sito (esclusi gli edifici)	
Tetti verdi $\geq 50\%$ della superficie totale	
Pareti verdi per aumentare la qualità dell'aria e proteggere gli edifici dagli shock termici	
Pensiline, chioschi e coperture per il 10% dell'aria totale disposte alle estremità degli spazi	
Inserimento di superfici d' acqua per abbassare le temperature estive	
Aree a parcheggio ridotte e con superfici permeabili	
Ridurre al minimo la carreggiata stradale	
Uso di software per il controllo prestazionale del progetto del progetto	

tab.3 - Indicazioni progettuali per gli spazi aperti finalizzate all'adattamento al cambiamento climatico nei climi temperati delle medie latitudini (Csa, Cfa).

3.3. SOLUZIONI POGETTUALI E TECNOLOGIE INNOVIATIVE PER IL SISTMEMA EDIFICIO-AMBIENTE

L'aumento delle temperature in ambiente urbano, è dovuto principalmente all'inadeguatezza dell'ambiente costruito di adattarsi ai cambiamenti climatici in atto; a questo va aggiunto che l'elevata densità edilizia, la mancanza di aree verdi all'interno dei centri urbani e la prevalenza di *"materiali scuri (e rugosi), materiali caldi"* (Dessi 2014) con inadeguate capacità termiche, favoriscono il verificarsi dell'aumento delle temperature durante tutto l'anno, e in particolare durante il periodo estivo (UHI). Di conseguenza, all'interno degli edifici, vi è un aumento nell'uso di impianti di condizionamento, mentre all'esterno viene amplificato l'inquinamento dovuto principalmente al trasporto veicolare, moltiplicando le concentrazioni di CO₂ nell'ambiente.

Divise in quattro categorie di interventi, materiali, vegetazione, sistemi di ombreggiamento, corpi d'acqua, sono presentate le soluzioni progettuali che maggiormente possono garantire più alti livelli di mitigazione all'aumento delle temperature e che possono rendere l'ambiente urbano costruito maggiormente adattivo.

Materiali cool

L'abbattimento delle temperature attraverso l'uso di materiali "cool", ovvero materiali con elevati livelli di riflessività (albedo) e di emissività termica, è tra le strategie più efficacemente adottate per la riduzione dell'effetto isola di calore urbana. Questi materiali sono generalmente di colore chiaro e con un basso fattore di rugosità (superfici lisce), garantendo minori capacità di assorbimento della radiazione solare; *"un'alta emissività inoltre determina un più favorevole rilascio termico in fase notturna del calore immagazzinato durante le ore diurne"* (Zinzi et al. 2013).

Di fatto l'impatto delle pavimentazioni nel bilancio termico all'interno dell'ambiente urbano, ha effetti considerevoli sulla determinazione dell'effetto isola di calore urbana. Pavimentazioni con bassi fattori di riflessività ed emissività, contribuiscono ad aumentare le temperature superficiali e di conseguenza dell'aria, con effetti negativi sul comfort all'interno dell'ambiente urbano. Incidono sul bilancio termico delle pavimentazioni: 1) l'assorbimento della radiazione solare, 2) l'emissione della radiazione, 3) trasmissione del calore per convezione in atmosfera, 4) accumulo termico dalla massa del materiale, 5) conduzione del calore al terreno, 6) evaporazione o condensa (cfr. EPA 2008). L'assorbimento di radiazione solare, lo stoccaggio di energia termica all'interno dei materiali e il successivo rilascio nel tempo, determinano l'aumento delle temperature dell'aria e il rilascio di calore durante le ore notturne (cfr. Santamouris 2013, Nouri 2015). Lo spessore e la conducibilità termica di una pavimentazione definiscono la sua capacità di contrastare l'effetto isola di calore. Pavimentazioni più sottili si riscaldano più velocemente durante il giorno ma in compenso si

raffreddano più velocemente durante la notte. Una pavimentazione che conduce più rapidamente il calore dalla superficie ad una base più fresca (il sottostrato), tratterrà meno calore.

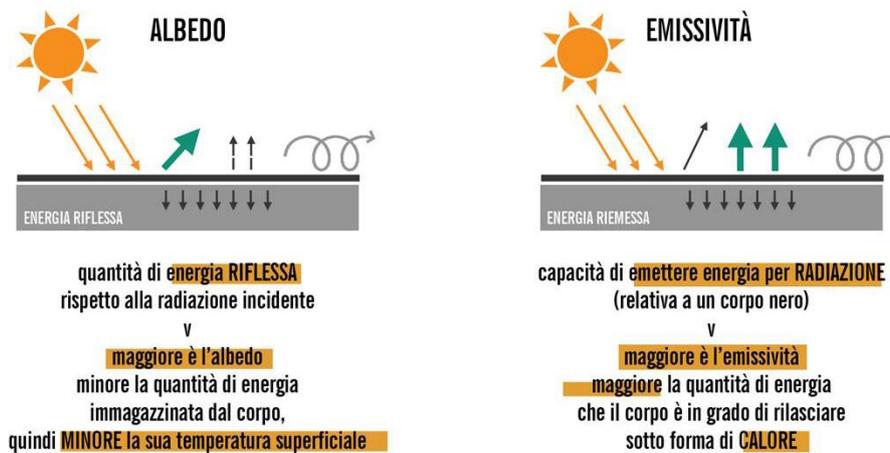


Fig.29 - Proprietà fisiche superficiali dei materiali; descrizione dei benefici dell'aumento dei valori di albedo ed emissività nell'applicazione alle superfici urbane. (fonte: Regione Emilia Romagna - REBUS)

Risulta evidente come l'uso di pavimentazioni "cool" in ambiente urbano, determina la riduzione delle temperature superficiali e ambientali allo scopo di attuare un miglioramento delle condizioni di comfort durante i periodi più caldi, sia di giorno che di notte.

Tuttavia l'uso di materiali cool di colore bianco per le pavimentazioni in ambiente urbano può generare discomfort termico dagli utenti, infatti la radiazione solare immediatamente riflessa, oltre a provocare fenomeni di abbagliamento, ritorna nell'ambiente e viene percepita dagli utenti (cfr. Dessì, 2014). La sola strategia dei cool materials, deve quindi essere integrata con "altre strategie passive quali, ombreggiamento e controllo del fattore solare, aumento della vegetazione e limitazione del traffico" (Nouri, 2015). "Superfici scure non vegetate (albedo basso) possono essere sostituite con superfici chiare e riflettenti (albedo alto) così da impedire che minore luce solare venga assorbita. Per evitare l'abbagliamento, altri colori chiari possono essere usati al posto del bianco" (Givoni 1998).

Sviluppi recenti di ricercatori e aziende del settore, hanno prodotto i *cool coloured materials*, "materiali che utilizzano pigmenti caratterizzati da una elevata riflettanza nella porzione infrarossa dello spettro solare" (Zinzi et. al, 2014), con alti valori di riflettanza comparati con materiali convenzionali con lo stesso colore, mentre più attuale è "il processo di colorazione dei materiali con colori chiari che aumentano la riflessione solare di superfici come l'asfalto" (EPA, 2008).

Analogamente, l'applicazione sulle coperture e le facciate degli edifici di materiali cool e di cool coloured materials, può essere applicata come strategia per ridurre le temperature interne degli edifici, in particolare quelli delle aree meridionali d'Italia e delle latitudini prossime all'equatore (cfr. Zinzi et. al 2014), con conseguente riduzione dei consumi di energia durante le stagioni calde dovute

all'uso di condizionatori e riduzione delle emissioni CO₂ nell'ambiente. A questo va aggiunto che il contributo di materiali cool applicati agli edifici, contribuisce a ridurre le temperature in ambiente urbano, attraverso la riflessione e il mancato accumulo della componente solare, riducendo l'UHI (cfr. Global Cool Cities Alliance, 2012), contribuendo a mitigare il cambiamento climatico globale.



Fig.30 – Effetti dell'albedo sulle temperature superficiali. L'effetto dell'albedo può influenzare in modo significativo la temperatura superficiale, la striscia bianca sul muro di mattoni è circa 5-10 ° C più fredda rispetto alle circostanti che sono più scure (fonte: EPA - US Environmental Protection Agency)

Un elevato contributo alla riduzione dell'effetto isola di calore urbana, può essere garantito dalla combinazione di materiali cool e allo stesso tempo permeabili (cfr. Li 2015), che, oltre a poter offrire le stesse caratteristiche dei cool materials, permettono all'aria, l'acqua e al vapore acqueo di penetrare nelle fessure del pavimento e nei giunti tra gli elementi, rendendo il materiale fresco e umido. Quando bagnati, questi pavimenti possono abbassare le temperature dell'aria attraverso il raffrescamento per evaporazione, comportamento simile alle superfici verdi; in alcuni casi, il flusso d'aria convettivo attraverso i vuoti, raffredda gli strati di sottofondo e il terreno sottostante. Tra le tecnologie disponibili troviamo gli asfalti porosi, calcestruzzi drenanti e pavimentazioni a giunti aperto, con quest'ultime ce possono essere realizzate anche con il giunto inerbito. A fare la differenza nella scelta di pavimentazioni cool sono le proprietà termiche del materiale (convezione, conducibilità termica, capacità termica), oltre che lo spessore e la relazione con la geometria urbana del contesto (cfr. EPA, 2008).

È interessante notare come la riduzione delle temperature superficiali derivi dall'applicazione di materiali riflettenti (valori di picco fino a oltre 6°C), di fatti si verifica una riduzione di calore liberato verso l'ambiente urbano per convezione e un minore stress termico sul materiale (cfr. Zinzi et. Al 2014).

Ridurre l'isola di calore attraverso l'uso di materiali riflettenti, comporta la diminuzione dei decessi nelle fasce deboli per il caldo, una migliore durabilità dei materiali, una miglior qualità dell'acqua, una minore necessità di illuminazione lungo le strade, con un minor consumo di elettricità e la

riduzione delle emissioni di CO₂, oltre che il miglioramento della qualità dell'aria. Ulteriore vantaggio è rappresentato dalla *convenienza dell'investimento, infatti il pay back è tipicamente di un anno, e aiuta le città a mitigare e adattarsi al cambiamento climatico, rendendo nel frattempo più desiderabili e confortevoli i luoghi da vivere* (Global Cool Cities Alliance 2012).

Vegetazione e permeabilità

L'uso della vegetazione all'interno delle città è una delle soluzioni maggiormente adottate, e globalmente condivise dalla comunità scientifica per il contributo che queste possono garantire al miglioramento del microclima urbano attraverso la riduzione delle temperature dell'aria, l'ombreggiamento diretto e l'evapotraspirazione delle superfici naturali. Nello specifico, questi processi inducono alla *"diminuzione delle temperature radianti delle superfici, influenzano la direzione e la velocità dei venti, innescano la rigenerazione dell'aria (con l'assorbimento di CO₂), e filtrano particelle e rumori"* (Nouri, 2015).

La VEGETAZIONE

può essere estesa o aumentata

in molti spazi urbani:

- > AREE NON EDIFICATE (parchi, giardini, aree gioco, cortili, etc.);
- > lungo i BORDI e tra le corsie di strade e ferrovie;
- > lungo i PERIMETRI di edifici e aree costruite



Fig.31 – L'aumento della vegetazione all'interno della città, può determinare un aumento della qualità degli spazi, benessere psicologico e un aumento delle grado di comfort percepito dagli utenti nello spazio urbano. (fonte: Regione Emilia Romagna - REBUS)

Nello specifico l'uso di alberature all'interno di piazze e lungo le strade, offrono zone d'ombra che, attraverso le foglie e i rami, riducono il carico di radiazioni solari che raggiungono l'area al di sotto delle chiome. Durante i periodi estivi, questa riduzione si aggira al 70-90% a seconda del tipo di albero e di grandezza della chioma, mentre la restante parte viene assorbita dalle foglie e riflessa in atmosfera. Ulteriore beneficio è garantito per il raffrescamento delle superfici verticali degli edifici (cfr. EPA, 2008). D'estate, alberature adeguatamente disposte, possono incanalare e aumentare la velocità delle brezze, mentre d'inverno, l'uso di alberature spoglianti, permette alla radiazione solare

di colpire il suolo, mentre alberi sempreverdi, disposti in direzione dei venti prevalenti, fungono da schermatura per i venti freddi.

“In termini stagionali, c'è da considerare: 1) come i percorsi delle ombre definiscono la posizione e l'uso delle alberature durante il periodo estivo; 2) come e quando garantire la penetrazione dei raggi solari durante l'inverno; 3) quali tipi di alberature garantiscono gli effetti desiderati durante l'intero periodo dell'anno” (Nouri, 2015).

Per innescare il verificarsi di fenomeni evapotraspirativi⁷⁸, con conseguente raffrescamento dell'ambiente⁷⁹, oltre all'uso di alberature per garantire ombra, è necessario aumentare le superfici naturali. Diffondere le aree a verde, quali prati e aiuole, aumentare la dimensione delle buche degli alberi e l'uso di sistemi di greening per le aree a parcheggio, oltre a pavimentazioni permeabili a giunto aperto inerbite, permette alle foglie di rilasciare nell'ambiente l'acqua che vi è penetrata. Ad esempio, i rain garden, utilizzati principalmente per assorbire l'acqua in eccesso durante eventi piovosi straordinari di precipitazioni eccezionali ed evitare allagamenti, coniugano alla funzione primaria quella di ridurre le temperature dell'ambiente, attraverso il rilascio nell'ambiente dell'acqua accumulata sotto forma di vapore acqueo.

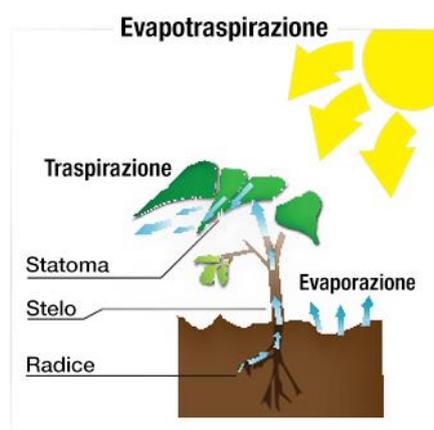


Fig.32 – Le piante prendendo acqua dal terreno attraverso le radici, la reimmettono nell'aria attraverso le foglie mediante la traspirazione. L'acqua invece evapora dalla superficie del gambo o dal terreno intorno alla pianta. La combinazione di questi due fenomeni dà luogo all'evapotraspirazione. (fonte: EPA - US Environmental Protection Agency)

L'uso di vegetazione per ridurre le temperature dell'ambiente costruito, può essere implementato anche sugli edifici. Superfici vegetate sui tetti e sulle pareti verticali degli edifici, oltre a garantire migliori prestazioni dell'involucro attraverso il contenimento delle radiazioni solari incidenti e l'isolamento termico, aiutano a mitigare l'UHI attraverso il raffrescamento passivo dell'ambiente urbano circostante, innescando fenomeni evapotraspirativi. I tetti verdi però, che non hanno la stessa capacità riflessiva dei tetti trattati con materiali cool, non garantisce gli stessi benefici sulle temperature globali (cfr. Global Cool Cities Alliance 2012).

⁷⁸ vedi nota 23

⁷⁹ L'evapotraspirazione, da sola o in combinazione con l'ombreggiatura, può aiutare a ridurre i picchi di temperatura dell'aria in estate: nelle aree suburbane con alberi maturi sono da 2 a 3 ° C più fresche dei nuovi quartieri senza alberi; ad esempio le temperature rilevate di campi sportivi in erba sono da 1 a 2 ° C più fresche rispetto sulle aree confinanti (EPA 2009).

Ad aumentare le condizioni di comfort urbano, possono essere adottate pavimentazioni permeabili. Queste permettono all'acqua, all'aria e al vapore acqueo di filtrare attraverso i vuoti creati dalla posa (giunto aperto) o della pavimentazione stessa. Esempi di questo tipo sono l'asfalto e il cemento permeabile, pavimenti posati a giunto aperto, grigliati, ghiaie e aggregati naturali e terreni stabilizzati (compattati). Quando bagnati questi pavimenti possono abbassare le temperature attraverso l'evaporazione. Alcuni di questi tipi di pavimentazioni possono contenere vegetazione (tipo il green parking) o essere disposti in modo che il giunto si inerbisca. Ampi vuoti tra le pavimentazioni possono limitare il trasferimento del calore al terreno sottostante, conservandolo al livello superficiale e riducendo il rilascio nelle ore notturne (cfr. EPA 2009).

Sistemi di ombreggiamento

Il controllo della radiazione solare è essenziale per il raggiungimento del comfort urbano durante la stagione estiva. Oltre che l'uso di alberature per garantire zone d'ombra e impedire la penetrazione dei raggi solari, una strategia efficace può rilevarsi l'impiego di sistemi di schermatura orizzontale. Pergole, tensostrutture, ecc., possono garantire ombra durante molte ore al giorno, diventando utili percorsi di camminamento, soprattutto quando disposti all'interno di aree perdonali (cfr. C.R.E.S., 2004). La temperatura dell'aria al di sotto dei sistemi di ombreggiamento è direttamente influenzata dall'esposizione solare dello spazio, ma anche dalla forma e dai materiali che compongono la struttura, oltre che alla presenza di ventilazione naturale (cfr. Nouri, 2015).



Fig.33 – Proposta per un sistema di schermatura del percorso pedonale della strade Karaoli e Dimitriu di Thermi in Gracia, all'interno dei progetti dimostratori del progetto di ricerca RUROS (fonte: C.R.E.S.)

Un attenta disposizione degli elementi di ombreggiamento deve quindi tener conto del percorso solare, delle ombre portate da altri elementi (vegetazione ed edifici) e dalla direzione dei venti; questi aspetti garantiscono il corretto e utile comportamento all'interno dello spazio urbano, garantendo più alti livelli di benessere all'interno dello spazio urbano.

Corpi d'acqua

L'acqua, quando viene utilizzata in ambiente urbano attraverso specchi d'acqua, fontane e cascate, può raffrescare sensibilmente la temperatura ambientale senza alterare i livelli di umidità dell'ambiente (cfr. Nouri, 2015). Questa, attraverso la sua capacità di mantenere la temperatura superficiale inferiore a quella dell'aria e degli altri materiali, oltre che ad una bassa riflettanza che non supera il 3% nelle ore di massima radiazione, mantiene una temperatura superficiale quasi costante; infatti attraverso l'evaporazione la superficie si raffresca e il calore accumulato per irraggiamento solare viene accumulato dalla massa termica dell'acqua e dissipato di notte. Ad aumentare la capacità di raffrescamento dell'ambiente, fontane e getti d'acqua (anche nebulizzatori), aumentano la superficie di contatto aria/acqua⁸⁰ (cfr. Dessi, 2014). Altre soluzioni che aumentano il beneficio proveniente dalla presenza di acqua nell'ambiente urbano, derivano dalle soluzioni adottate per la gestione delle acque meteoriche e del pluvial flooding, quali bacini di ritenzione, raingardens, bioswales, ecc.⁸¹, che oltre a prevenire gli allagamenti superficiali negli spazi aperti urbani, aumentano le concentrazioni di acqua nei terreni con il conseguente contributo al raffrescamento dell'ambiente circostante.

3.4. PROGETTARE PER IL BENESSERE NELLO SPAZIO URBANO

66

Migliorare le condizioni di benessere termico ambientale degli spazi aperti tramite l'adozione di misure strategiche e azioni progettuali di adattamento alle future condizioni del clima, richiede necessariamente una fase di verifica e di controllo attraverso indici e benchmark prestazionali. La conoscenza delle condizioni ambientali e delle caratteristiche degli elementi che compongono lo spazio urbano, è fondamentale per definire e attuare adeguate misure progettuali che siano in grado di agire sul microclima urbano⁸² e definire una nuova qualità della vita all'interno dello spazio pubblico.

⁸⁰ All'aumentare dell'inerzia dell'acqua (profondità, quindi massa) vi è una diminuzione delle temperature a causa del verificarsi dell'attenuazione e dello sfasamento dell'onda termica che riducono l'oscillazione giornaliera della temperatura dell'acqua tra i 3 °C del solo specchio d'acqua, mentre fino a 6°C con gli zampilli e i getti d'acqua in funzione.

⁸¹ SUDS, o sistemi di drenaggio urbano sostenibili sono un insieme di pratiche e infrastrutture destinate al drenaggio e la gestione delle acque di superficie. Queste garantiscono un approccio più sostenibile di quella che è stata la pratica convenzionale di convogliamento del run-off delle acque attraverso la tradizionale rete idrica. (fonte: sepa.org.uk).

⁸² Tra i fattori che determinano il microclima locale sono: la temperatura dell'aria, precipitazioni, pressione atmosferica, umidità relativa, stato del cielo, radiazione solare, morfologia del territorio, orientamento, tipo di suolo e albedo, regime dei venti (cfr. Giacchetta et al. 2007).

Da più livelli e secondo diversi aspetti, è possibile valutare il contributo che interventi progettuali possano garantire per il miglioramento delle prestazioni ambientali dello spazio aperto, oltre a quale sia il reale contributo in termini di beneficio ambientale che interventi di adattamento garantiscono sull'ambiente costruito. Questi possono essere suddivisi in tre categorie: 1) indici di comfort, 2) indicatori prestazionali e 3) protocolli di valutazione.

3.4.1. INDICI DI COMFORT AMBIENTALE

La rispondenza alle attuali e future condizioni climatiche e ambientali dello spazio pubblico, può avvenire tramite la ricerca di indici che esprimono il comfort ambientale⁸³ attraverso la rispondenza alle esigenze di benessere termoigrometrico⁸⁴ in uno spazio. I parametri che caratterizzano l'ambiente dal punto di vista termico sono: 1) la temperatura dell'aria, sistema di controllo delle condizioni ambientali (visto che il calore corporeo dipende dalla convezione nell'ambiente), 2) la temperatura media radiante, che dipende dalla temperatura delle superfici dell'ambiente, 3) la velocità dell'aria, che agisce sulla regolazione del calore corporeo, 4) l'umidità relativa dell'aria, per i processi di evaporazione del corpo umano (cfr. Giacchetta et al. 2007). Come definito da Olgay (1962) il comfort termico è il bilanciamento tra i diversi stimoli termici del microclima urbano, e può essere descritto mediante indici di comfort. Tra i più diffusi e utilizzati in ambito scientifico, vi sono:

- l'MRT – Mean Radiant Temperature, non è un indice di benessere, ma esprime come la temperatura uniforme di un ambiente immaginario circoscritto, risulterebbe in perdita di calore per irraggiamento dalla persona come per lo spazio stesso (UNI-EN-ISO 7726:1998). Viene calcolato come media delle temperature delle superfici riflesse dall'ambiente, che esso

PET	Thermal sensation	PMV
< 4 °C	Very cold	< -4
< 8 °C	Cold	< -3
< 13 °C	Cool	< -2
< 18 °C	Slightly cool	< -1
18 - 23 °C	Comfortable	-1 / 1
> 23 °C	Slightly warm	> 1
> 29 °C	Warm	> 2
> 35 °C	Hot	> 3
> 41 °C	Very hot	> 4

Fig.34 – Sensazioni di comfort percepito associato ai valori presenti nelle scale degli indici di PET e PMV. (fonte: Fanger 1972; Höppe 1987)

⁸³Si definisce comfort ambientale quella particolare condizione di benessere determinata, in funzione delle percezioni sensoriali di un individuo inserito in un ambiente, da temperatura, umidità dell'aria e livello di rumorosità e luminosità rilevati all'interno dell'ambiente.

⁸⁴Il benessere termoigrometrico o thermal comfort è definito come quel particolare stato della mente che esprime soddisfazione con l'ambiente circostante (American Society of Heating Ventilation and Air-conditioning Engineers - ASHRAE). Il benessere si raggiunge a seconda delle relazioni che si instaurano tra le variabili soggettive e le variabili ambientali (Fanger 1982)

sia indoor o outdoor. L'MRT, è importante per la sua forte influenza su indici di benessere termoigrometrico quali PMV e PET.

- il PMV – Predicted Mean Vote, valuta lo stato di benessere di un individuo e tiene conto delle variabili soggettive (attività che l'individuo svolge all'interno dell'ambiente, vestiario, ecc.) e di variabili ambientali (temperatura dell'aria, umidità relativa dell'aria, velocità dell'aria, temperatura media radiante); risultato è un valore numerico con range -4 (indice di sensazione di troppo freddo) a +4 (indice di sensazione di troppo caldo), dove valori compresi tra -1 e +1, ovvero prossimi allo 0, rappresentano lo stato di benessere termico (cfr. Fangers 1972; UNI-EN-ISO 7730:1996). Il range di valori di PMV, può risultare maggiore dei limiti appena definiti⁸⁵, e dipendere dalla zona climatica. Associato in forma lineare al PMV vi è il PDD – Predicted Percentage of Dissatisfied, che esprime la percentuale di persone insoddisfatte con le condizioni climatiche ricercate.
- il PET – Physiologically Equivalent Temperature, basato sul bilancio termico del corpo umano, è definito come la temperatura in gradi dell'aria alla quale, in un ambiente interno (senza vento e radiazione solare), il bilancio termico del corpo umano tra la temperatura interna e quella della pelle è equilibrato alle condizioni assegnate (cfr. Mayer, Höpfe 1987; Höpfe 1999; Matzarakis et al.1999). La scala di temperature esprime un giudizio sul grado di soddisfazione, che va da temperature \leq di 4 °C, estremamente freddo, a temperature \geq di 43 °C, estremamente caldo. Anche per il PET sono stati riscontrati valori e sensazioni differenti a seconda della localizzazione geografica⁸⁶.
- l'UTCI – Universal Thermal Comfort Index, è basato su di una funzione di regressione polinomiale del 6° ordine, che valuta l'indice in funzione della velocità del vento, della temperatura dell'aria, dell'MRT e della pressione di vapore dell'aria (EU COST Action 730).

Tali indici esprimono la qualità e i livelli di comfort percepito dagli utenti all'interno di uno spazio urbano attraverso formule che tengono conto di variabili soggettive e ambientali o metodologie ricavate di calcolo basate sull'esperienza umana. La maggior parte di questi indici esprimono anche un giudizio sulla sensazione di benessere, questo varia al variare del luogo geografico e dell'abitudine fisiologica

⁸⁵ Applicando l'equazione PMV alle condizioni esterne in situazioni di stress di calore estivo, si può facilmente produrre valori PMV alto sopra +4 (+8 e più). Mentre questo risultato è numericamente corretto, viola la gamma del sistema originale PMV. Il PMV nella sua versione per lo spazio esterno è in grado riassumere gli effetti della temperatura dell'aria, della radiazione solare, dell'umidità e del vento sul bilancio energetico sull'uomo (http://www.model.envi-met.com/hg2e/doku.php?id=apps:biomet_pmv).

⁸⁶ cfr. Lin T.P., Matzarakis A., Hwang R.L. "Shading effect on long-term outdoor thermal comfort", in *Building and Environment*, n. 45, pp. 213-211, [2010]

degli utenti a determinate condizioni di comfort, infatti alcuni studi hanno proposto una regionalizzazione degli indici di comfort termico⁸⁷.

L'attenzione verso le condizioni ambientali e microclimatiche dello spazio urbano costruito, legate al comfort ambientale percepito, ha condotto verso lo sviluppo di software per il controllo ambientale urbano che permettono di calcolare gli indici di comfort citati, e effettuare verifiche prestazionali dello spazio aperto urbano.

3.4.2. INDICATORI PRESTAZIONALI DI COMFORT AMBIENTALE

Numerose sono le esperienze sviluppate nella creazione di procedure e indici di controllo prestazionali per il miglioramento del comfort ambientale. Sviluppati come strumenti di supporto e di controllo di aspetti ambientali all'interno di regolamenti edilizi, rappresentano delle vere e proprie linee guida alla progettazione. Di fatto, la necessità di raggiungere determinati target e obiettivi, impone al progettista di adottare le azioni maggiormente premianti, ovvero quelle che hanno i maggiori benefici ambientali. Il B.A.F (Biotope Area Factor), sviluppato per la città di Berlino, è una tra le prime esperienze di questo tipo. Il B.A.F. esprime l'indice ecologico effettivo di un'area espresso rispetto al totale dell'area considerata. Obiettivo di questo strumento è il miglioramento del microclima urbano, l'incremento del livello vegetativo dei suoli, della permeabilità e della gestione delle acque, il miglioramento degli spazi e della loro fruizione.

69

Il B.A.F. può essere applicato a tutte le forme urbane di tipo commerciale, residenziale, e infrastrutturale, attraverso dei target da raggiungere a seconda che si tratti di una nuova edificazione o di una rigenerazione (cfr. Santi 2008). Mediante l'adozione di soluzioni che tendono ad aumentare il livello di vegetazione all'interno della città, sono premiati maggiormente gli interventi che prevedono l'adozione di coperture e facciate verdi, pavimentazioni permeabili e l'aumento delle aree a verde.

Il R.I.E. (Riduzione dell'Impatto Edilizio), è un indice di qualità ambientale che serve per la certificazione della qualità dell'intervento edilizio rispetto alla permeabilità del suolo e del verde. Attualmente viene utilizzato sia nel Comune di Bolzano, sia nel Comune di Bologna e intende promuovere la realizzazione di progetti maggiormente sostenibili e attenti alla qualità ambientale, attraverso la realizzazione di interventi che prevedano *l'applicazione integrata delle tecnologie di gestione e recupero delle acque meteoriche, le tecnologie per il verde pensile, le tecnologie di*

⁸⁷ Ad esempio per la città di Taiwan (Lin et al 2010), la città di Thera (Monam 2011), per la città Friburgo (Matzarakis et al. 2009).

ingegneria naturalistica e le tecnologie di verde tradizionale laddove le condizioni lo rendano ancora possibile (Santi 2008).

Derivato dall'esperienza del B.A.F. di Berlino, l'indice Green Factor, viene utilizzato per valutare il fattore ecologico di interventi di rigenerazione ambientale nella Città di Malmö e nella Città di Seattle. A differenza del B.A.F., il Green Factor oltre ad assumere coefficienti differenti nella valutazione degli interventi, presenta coefficienti diversi anche nelle due versioni, per Malmö basati sulla spesa dell'intervento (cfr. Santi 2008) e per Seattle dovuti alle raccomandazioni della locale Urban Forestry Commission⁸⁸.



Fig.34 – Sintesi dell'approccio metodologico dell'indice RATE. (fonte: POC MOW – Comune di Modena)

Il R.A.T.E. - Reduction in the Absorption of Thermal Energy, sviluppato sul caso pilota per il Piano di Riqualificazione del Villaggio Artigiano di Modena, nell'ambito del progetto UHI⁸⁹, è uno strumento che si propone di valutare l'efficienza ambientale, attraverso la valutazione dell'effetto isola di calore (fuori dall'edificio) e del risparmio energetico (dentro l'edificio) a seguito della realizzazione

di interventi di riqualificazione. Il modello si basa su un sistema di indicatori, quali l'energia termica assorbita dalle superfici di cortile, pareti e tetti (UHI) e di risparmio energetico, che evidenzia quanta radiazione solare viene trattenuta dal lotto. Dal confronto tra l'energia termica totale assorbita da tutte le superfici interne all'ambito di intervento (kWh/anno) dello stato di fatto e di progetto e il rapporto tra la superficie fondiaria e l'edificato, viene espresso l'indice di prestazione e la qualità dell'intervento.

Diverse classi di prestazione energetica in output, esprimono il numero di classi ridotte tra lo scenario iniziale e quello di progetto evidenziando il miglioramento ottenuto, mentre la riduzione totale di energia termica assorbita evidenzia il miglioramento rispetto la dimensione del lotto.

⁸⁸ <http://www.seattle.gov/dpd/greenfactor/>

⁸⁹ <http://eu-uhi.eu/>

3.4.3. PROTOCOLLI

Strumenti e sistemi complessi per la valutazione della qualità ambientale di progetti di architettura e interventi di rigenerazione urbana, quali il LEED⁹⁰ e il Protocollo ITACA⁹¹, propongono l'applicazione di numerose azioni e la rispondenza a numerosi requisiti al fine di raggiungere gli obiettivi minimi per ottenere la certificazione. Azioni per il miglioramento delle condizioni ambientali sono proposte in entrambi i protocolli, ponendo attenzione sia per l'edificio e il suo involucro, sia per gli spazi aperti.

La certificazione GBC Quartieri, proposta per il rating della sostenibilità per interventi di progettazione di intere aree e quartieri, promuove altresì la trasformazione e il completamento di quartieri preesistenti in quartieri sostenibili. Attraverso un approccio integrato alla qualità della vita, alla salute pubblica e al rispetto per l'ambiente, si incoraggiano le migliori pratiche orientate all'analisi del territorio, ponendo attenzione a generare un mix funzionale e sociale. Il protocollo è in sostanza un insieme di linee guida per la riqualificazione sostenibile del territorio urbano.



Tra i requisiti prestazionali e qualitativi introdotti nella certificazione GBC Quartieri, viene individuata l'esigenza di garantire migliori prestazioni all'ambiente costruito attraverso misure finalizzate alla riduzione dell'isola di calore urbana:

- Viali alberati e strade ombreggiate
- Riduzione dell'effetto isola di calore

Queste azioni sono finalizzate a ridurre l'uso di mezzi privati per gli spostamenti, riducendo contemporaneamente le emissioni di CO₂ nell'ambiente e mitigando l'effetto isola di calore urbano per migliorare la qualità dell'aria e aumentare l'evapotraspirazione, riducendo i carichi di raffreddamento negli edifici, per creare un ambiente maggiormente fruibile per la sosta e gli spostamenti. A questa strategia sono connessi interventi che prevedono: 1) l'incremento della vegetazione, 2) l'aumento di superfici permeabili, 3) l'uso di materiali con alti fattori di riflessione solare, 4) l'aumento delle ombre portate sulle strade con alberature e sistemi di schermatura, 5) l'uso di tetti verdi sulle coperture degli edifici.

⁹⁰ Il sistema statunitense di classificazione dell'efficienza energetica e dell'impronta ecologica degli edifici LEED (acronimo di The Leadership in Energy and Environmental Design), sviluppato dallo U.S. Green Building Council (USGBC), fornisce un insieme di standard di misura per valutare le costruzioni ambientalmente sostenibili (cfr. Green Building By the Numbers, USGBC 2009).

⁹¹ Il protocollo ITACA è uno strumento di valutazione del livello di sostenibilità energetica e ambientale degli edifici (<http://www.itaca.org/>).

Il Protocollo ITACA, è una guida che aiuta ad introdurre la sostenibilità ambientale e orientare le scelte progettuali virtuose sul risparmio di risorse naturali e migliorare la qualità abitativa di progetti di architettura. L'ultimo aggiornamento, ha stabilito che il protocollo diventasse una nuova Prassi di Riferimento, UNI/PdR 13:2015 "Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità". Analogamente alle linee guida di GBC Quartieri, anche ITACA definisce azioni che consentono di migliorare le condizioni microclimatiche nelle aree di pertinenza dell'edificio oggetto di riqualificazione, contribuendo a mitigare il clima mediante la ridurre le emissioni di CO₂ legate alle prestazioni del sistema edilizio:



- Permeabilità del suolo
- Effetto isola di calore

Queste azioni per il miglioramento delle condizioni ambientali e microclimatiche, attuando soluzioni che prevedono: 1) l'incremento delle superfici verdi esterne, 2) l'incremento delle superfici permeabili, 3) l'uso di pavimentazioni con alti fattori di riflessione solare, 4) il controllo delle ombre portate, 5) l'uso di materiali per l'involucro con altri fattori di riflessione solare e 6) l'uso di tetti verdi.

		Protocollo ITACA	GBC Quartieri	RATE Modena	BAF Berlino	RIE Bolzano	RIE Bologna	Green Factor Malmo	Green Factor Seattle
OUTDOOR	Incremento delle superfici verdi esterne	●		●	●	●	●	●	●
	Incremento della vegetazione		●	●	●		●	●	●
	Superfici esterne permeabili	●	●	●	●	●	●	●	●
	Superfici esterne semi-permeabili			●	●	●	●	●	●
	Superfici esterne con materiali cool	●	●	●					
	Superfici d'acqua					●	●	●	
	Superfici ombreggiate (ore 12:00, 21 Giugno)	●							
	Superfici ombreggiate con alberature		●	●	●		●	●	●
	Superfici ombreggiate con sistemi schermanti		●						
	Materiali cool chiusure orizzontali	●		●					
EDIFICIO	Materiali cool chiusure verticali	●		●					
	Tetti verdi	●	●	●	●	●		●	●
	Pareti verdi			●	●			●	●

tab.4 – Confronto tra le best practice indicate all'interno dei protocolli: la frequenza di distribuzione indica che le strategie più utili al controllo del microclima urbano sono l'uso di superfici permeabili e l'incremento della vegetazione e delle superfici verdi.

Nella tabella 4, viene proposto un confronto tra i diversi indici e protocolli di qualità e sostenibilità ambientale, dal quale è possibile far emergere quali sono i fattori da considerare per il miglioramento delle condizioni ambientali e microclimatiche. Tra le best practice elencate, quelle maggiormente diffuse sono: 1) l'incremento della vegetazione con alberature, 2) l'incremento delle superfici verdi, 3) l'uso di tetti verdi. Emerge inoltre che l'uso del verde in ambiente urbano insieme all'aumento delle superfici permeabili, sono tra le soluzioni che possono garantire le migliori prestazioni per il controllo del microclima e la riduzione delle alte temperature per mitigare l'effetto isola di calore urbana. L'uso del verde in città in previsione dei cambiamenti climatici, dovrà non solo prevedere l'uso di essenze adatte a temperature più alte, ma dovrà soprattutto confrontarsi con l'esigenza futura di dotarsi di adeguati sottoservizi, ad esempio per il recupero e lo stoccaggio delle acque meteoriche, utili alla cura e la manutenzione del verde.

3.5. STRATEGIE DI ADATTAMENTO E MITIGAZIONE PER IL PROGETTO AMBIENTALE

Le strategie di adattamento e mitigazione proposte dai governi e da istituti di ricerca, definiscono azioni ad un livello territoriale molto esteso, demandando così il compito di proporre linee guida e di intervento a livello locale. A livello nazionale, come abbiamo visto, il documento che definirà la Strategia di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (MATTM 2014), e che dovrà innescare processi per la definizione di azioni strategiche a livello locale, è in corso di pubblicazione. Fino a quel momento, istituzioni ed enti locali, potranno predisporre le basi per l'attuazione di azioni strategiche locali, e anche la realizzazione di interventi di tipo sperimentale.

Come detto, nelle città e centri urbani, risiede la maggior parte della popolazione mondiale, e molte più persone in futuro si sposteranno verso i grandi centri. Questa tendenza, farà aumentare la densità edilizia e abitativa delle aree urbane e sottoporrà la popolazione a sempre maggiori rischi per la salute⁹². Saranno gli effetti del cambiamento climatico che contribuiranno a rendere la popolazione che vive in città maggiormente vulnerabile. Uno tra i fattori di rischio maggiori, è legato al costante aumento delle temperature. Ondate di calore e l'assenza di fenomeni piovosi, faranno aumentare in maniera esponenziale le temperature in città, già affette dal fenomeno dell'isola di calore urbana.

Uno degli imperativi strategici per combattere gli effetti dei cambiamenti climatici, è la necessità di adottare soluzioni che possano aiutare a *mitigare* gli effetti prodotti dall'UHI, un fenomeno che si manifesta in maniera diffusa e che contribuisce al riscaldamento globale. Soluzioni per abbattere le temperature estive all'interno delle città, garantiranno minori consumi energetici, minori emissioni di gas clima alteranti nell'ambiente e conseguenti miglioramenti nella percezione del benessere,

⁹²vedi nota 1,2

indoor e outdoor, rendendo l'ambiente urbano costruito più *adattivo* e capace di resistere ai mutamenti del clima.

Quest'obiettivo può essere tradotto in un approccio di tipo esigenziale-prestazionale, ovvero nel raggiungimento di obiettivi di tipo performativo all'interno dell'ambiente urbano costruito. Con riferimento alla norma "UNI 11277 - Esigenze e requisiti di ecocompatibilità dei progetti di edifici residenziali e assimilabili, uffici e assimilabili, di nuova edificazione e ristrutturazione", le esigenze da ricercare, introdurre e soddisfare all'interno di un ambiente, quello urbano, che diventerà sempre più ostile, sono quelle del *Benessere termico negli spazi esterni*. Infatti, azioni strategiche per l'adattamento dello spazio aperto urbano finalizzate alla riduzione delle temperature, dovranno necessariamente rispondere ai requisiti di *riduzione di scambi termici radiativi tra persona e superfici circostanti in periodi di sovrariscaldamento* e di *controllo degli effetti del vento dominante estivo*.

Risulta evidente come gli effetti dei cambiamenti climatici abbiano già, e avranno in futuro, una grande influenza sulle abitudini e sul modo in cui vivere gli spazi aperti delle nostre città, e su come dovranno interagire i nostri edifici con un ambiente esterno in mutamento. Diviene necessario definire quali misure, azioni e soluzioni tecniche di adattamento e mitigazione per la gestione del rischio climatico, sia necessario adottare per il progetto di edifici e spazi aperti:

- Azioni No-regrets – quelle che daranno benefici nell'immediato, rispetto alle condizioni climatiche odierne;
- Azioni Low-regrets – politiche e misure a basso costo che hanno potenzialmente grandi vantaggi. Queste dovranno essere individuate il prima possibile nel processo di progettazione, per massimizzare le opportunità e minimizzare i costi;
- Azioni Win-wins – politiche e misure che aiutano a gestire diversi rischi climatici in una sola volta, o che portano anche altri vantaggi, come la riduzione complementare di emissioni di gas serra;
- Politiche e misure adattabili, flessibili e resistenti - interventi su quegli spazi che possano essere adattati a un clima in continuo cambiamento. (cfr. Shaw et al. 2007)

Allo stesso tempo, è essenziale evitare soluzioni che rendano maggiormente difficile fronteggiare i rischi e che possano invece garantire un'elevata efficacia prestazionale nel tempo, ovvero che possano essere adeguate sia oggi che nei prossimi anni. Il vantaggio che abbiamo oggi, è quello di poter prevedere, seppur in maniera previsionale, i possibili scenari climatici futuri e di simulare non solo l'efficacia di soluzioni e strategie di adattamento, ma anche di determinare la resistenza e il grado di adattabilità che questa potrà garantire in futuro, operando così scelte che possano essere le migliori sia oggi, sia in futuro. Inoltre periodiche revisioni e miglioramenti alle strategie di adattamento, potranno essere effettuate in qualsiasi momento, anche a fronte di dati sempre più

precisi provenienti da migliori modelli di calcolo e dagli aggiornamenti sugli scenari di cambiamento climatico.

Di seguito sarà definita una procedura sperimentale per il controllo tecnico prestazionale di interventi di climate adaptive design, un processo suddiviso in fasi e azioni per la verifica prestazionale e la rispondenza al contesto di studio delle soluzioni progettuali dedotte dalle best practice. Il processo proverà a determinare quali azioni sono le più utili a soddisfare le esigenze di benessere termico negli spazi aperti nelle aree climatiche italiane, e in particolare nel contesto napoletano, e quali indici e benchmark sono i più adatti a descrivere un processo di verifica e la valutazione prestazionale ai requisiti stabiliti. La procedura, prevede una fase di conoscenza del sistema urbano e delle sue criticità tecnico-prestazionali, un'analisi delle performance ambientali attraverso l'uso di strumenti IT, una campionatura, classificazione e confronto di elementi urbani, una valutazione multicriterio e la definizione di un sistema di indicatori, e infine una fase di testing, metaprogettazione⁹³ e decision making. Questa procedura verrà applicata per la verifica e la valutazione prestazionale ad un'area ricadente nel tessuto urbano della città di Napoli, per l'individuazione di soluzioni progettuali site-specific efficaci in termini di miglioramento delle condizioni ambientali e microclimatiche in regime di climate change.

⁹³ cfr. Magnaghi A, *L'organizzazione del metaprogetto: applicazione esemplificata alla formazione di un sistema di requisiti spaziali per le attività della scuola dell'obbligo*, Franco Angeli, Milano, 1978; UNI 10723, Processo edilizio - Classificazione e definizione delle fasi processuali degli interventi edilizi di nuova costruzione.

CASO APPLICATIVO: IL CENTRO STORICO E L'AREA EST DI NAPOLI

4.1 PROCEDURA SPERIMENTALE PER IL CONTROLLO TECNICO-PRESTAZIONALE DI INTERVENTI DI ADAPTIVE DESIGN

Attualmente strumenti IT e software dedicati all'indagine dei fattori e delle soluzioni che contribuiscano alla variazione del microclima urbano, possono concorrere alla definizione di azioni strategiche per il miglioramento delle condizioni di benessere degli spazi aperti delle nostre città, anche in previsione dei cambiamenti climatici. Dallo studio della letteratura scientifica di riferimento, dalla lettura e analisi delle buone pratiche, e come anche dalle esperienze di ricerca svolte presso il DiARC, è stato possibile dedurre e strutturare una sequenza metodologica di fasi e azioni utili al controllo tecnico-prestazionale per la definizione di interventi di rigenerazione urbana che possano dare risposte adeguate all'aumento delle temperature e dell'adattamento al cambiamento climatico:

- Conoscenza del sistema urbano e delle criticità tecnico-prestazionali
- Analisi delle performance ambientali attraverso l'uso di software
- Campionatura, classificazione e confronto di elementi urbani
- Valutazione multicriterio
- Verifica progettuale (testing, metaprogetto e decision making)

Questo approccio metodologico consente di acquisire i dati e gli elementi necessari alla valutazione delle condizioni di contesto, climatiche, ambientali e morfologiche, al fine di intraprendere un processo analitico-conoscitivo che, attraverso l'utilizzo di strumenti IT, permetta di valutare le prestazioni e le risposte ambientali di spazi urbani sottoposti ad analisi ambientali sia allo scenario attuale, sia previsionale di cambiamento climatico. L'esecuzione dell'intero processo consente di individuare gli elementi che rendono maggiormente critica la fruizione degli spazi aperti durante la stagione estiva e successivamente di determinare una strategia d'intervento maggiormente adatta alle condizioni del contesto analizzato, e che al contempo possa introdurre nuove caratteristiche e soluzioni tecniche per assicurare migliori prestazioni in termini di comfort ambientale.

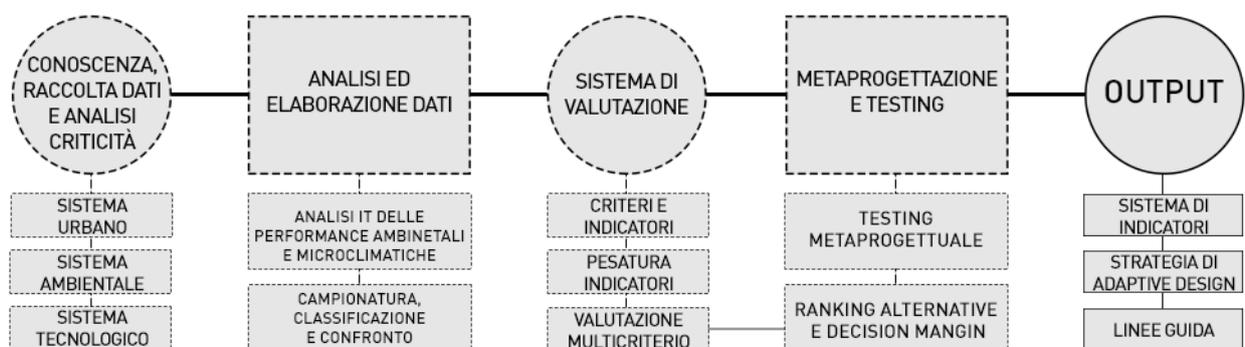


Fig.35 – Flowchart della procedura sperimentale per il controllo tecnico-prestazionale di interventi di adaptive design.

La sequenza di fasi e analisi, con la verifica attraverso il caso applicativo, ha permesso di definire uno strumento per la valutazione dell'attuale capacità di rispondere alle sollecitazioni climatiche dovute

all'aumento delle temperature di spazi aperti urbani e in seguito di interventi di *climate adaptive design*. Per comprendere più agevolmente il processo metodologico sviluppato, di seguito sono descritte le fasi e le azioni che hanno consentito lo sviluppo di una procedura per la valutazione del benessere percepito outdoor in condizioni di temperature estive esterne:

- Conoscenza del sistema urbano e delle criticità tecnico-prestazionali

Per definire azioni di progetto capaci di innescare processi di rigenerazione urbana clima adattiva, in primo luogo è necessario strutturare una fase dedicata allo sviluppo di fasi di analisi e di conoscenza degli spazi urbani. Queste fasi, che avvengono attraverso l'acquisizione di dati per mezzo di operazioni di rilievo diretto e indiretto, consentono di sviluppare un approfondito livello di conoscenza del sistema urbano e degli elementi che lo costituiscono, delle relazioni e dinamiche ambientali che vi si originano. Le operazioni prevedono:

- la definizione delle caratteristiche spaziali, anche attraverso l'uso di cartografie aerofotogrammetriche e immagini satellitari;
- l'analisi tecnologica dei materiali delle superfici orizzontali che definiscono lo spazio urbano e una classificazione secondo le caratteristiche fisiche e termiche, in particolare l'albedo, l'emissività, la rugosità e la conducibilità termica;
- l'analisi tecnologica delle caratteristiche fisiche delle superfici orizzontali e verticali degli edifici nel contesto (albedo);
- il rilievo degli elementi vegetali: aree a verde, alberature, ecc.;
- l'acquisizione dei dati sulle prestazioni tecnologiche ambientali con rilievo strumentale;
- l'acquisizione di dati climatici da stazioni meteorologiche in sito.

La fase di rilievo dei fattori ambientali è stata prevista allo scopo di rilevare il comportamento microclimatico degli spazi urbani durante le giornate più calde dell'anno o al verificarsi delle ondate di calore. Durante il rilievo è previsto che vengano acquistati dati in sito quali la temperatura dell'aria, la velocità del vento, le temperature superficiali, ecc., a seconda della strumentazione in dotazione. Le operazioni di rilievo possono essere ripetute sia con cadenza annuale, al fine di effettuare dei confronti sulle variazioni del clima durante lo stesso periodo, sia ad intervalli regolari durante la stagione estiva, per consentire di stabilire dei *range* di variazione microclimatiche nei diversi spot analizzati.

- Analisi delle performance ambientali attraverso l'uso di software

Gli strumenti informatici di analisi ambientale, consentono di sviluppare una migliore conoscenza degli ambiti di intervento. Il loro utilizzo concorre ad ottenere numerose, diffuse

e dettagliate informazioni sia delle comportamenti ambientali, sia dei fattori che concorrono alla modificazione del microclima interno allo spazio urbano. L'uso di strumenti software consente di ottenere:

- o l'analisi dei fattori ambientali di ventilazione, radiazione solare e zone ombreggiate, e dello Sky View Factor (SVF), componenti che sono strettamente dipendenti dalle caratteristiche morfologiche del contesto;
- o l'analisi delle performance e delle condizioni di confort percepito nell'ambiente rispetto ai valori di temperature dell'aria, umidità relativa, temperature superficiali ecc. e agli indici sintetici di valutazione del grado di percezione PET, PMV, MRT, UTCI, SET⁹⁴, PT⁹⁵, ecc.
- o l'analisi delle performance e delle condizioni di confort percepito nell'ambiente agli scenari previsionali di proiezioni climatiche future rispetto ai trentenni 2021-2050, 2051-2080, 2081-2099⁹⁶.

La fase precedente di conoscenza del sistema urbano, deve necessariamente essere orientata all'acquisizione dei dati di input utili alla corretta elaborazione da parte dei software utilizzati. I risultati ottenuti dalle simulazioni aiuteranno ad individuare le aree, gli elementi e i fattori di criticità dello spazio urbano (ambientale, morfologica, tecnologica, ecc.), che contribuiscono al peggioramento delle condizioni di benessere nello spazio aperto urbano.

- **Campionatura, classificazione e confronto di elementi urbani**

Alla lettura e interpretazione del territorio e delle sue peculiari caratteristiche insediative, è subordinata una fase di definizione dei tessuti urbani omogenei e degli elementi urbani ricorrenti (strade, piazze, larghi, ecc.). I rapporti dimensionali degli elementi urbani e la caratterizzazione dello spazio aperto (superficie aree pavimentate, superficie aree permeabili, SVF, riflettanza/albedo dei materiali, ecc.), sono i criteri utili per la loro classificazione:

- o Definizione di tessuti urbani omogenei;

⁹⁴ La Standard Effective Temperature (SET), è un modello di risposta umana dell'ambiente termico. Sviluppato da A.P. Gagge e accettato dall'ASHRAE nel 1986. L'ASHRAE 55-2010 definisce la SET come "la temperatura di un ambiente immaginario al 50% di umidità relativa, <0,1 m/s di velocità media dell'aria e temperatura media radiante pari alla temperatura media, in cui la totale perdita di calore dalla pelle di un immaginario occupante con un livello di attività metabolica di 1,0 *met* e un livello di abbigliamento di 0,6 *clo* è la stessa di quella di una persona in ambiente reale, con veri vestiti e un reale livello di attività metabolica".

⁹⁵ La Perceived Temperature (PT), espressa in ° C è la temperatura dell'aria di un ambiente di riferimento in cui la percezione di calore e/o freddo sarebbe corrispondente alle condizioni reali. Nell'ambiente di riferimento la velocità del vento viene ridotta ad una leggera brezza, e la temperatura media radiante è uguale alla temperatura dell'aria (ad esempio, una vasta foresta).

⁹⁶ Secondo la classificazione dell'IPCC degli GCM Climate Change Scenarios, i periodi climatici sono suddivisi in trentenni. Gli scenari futuri sono divisi nei trentenni, 2010-2039, 2040-2069, 2070-2099 e rispettivamente sono abbreviati in 2020s, 2050s, 2080s (fonte: http://www.ipcc-data.org/sres/hadcm3_download.html).

- Classificazione degli elementi urbani ricorrenti: spazio pubblico (strade, piazze e larghi), spazio collettivo e di pertinenza (corti, cortili, spazi di pertinenza);
- Campionatura di tipologie di elementi urbani ricorrenti (spazi aperti e spazi collettivi e di pertinenza);
- Confronto delle prestazioni di benessere termico;
- Selezione delle aree di test e simulazione software.

Dopo aver definito i tessuti urbani che presentano differenti caratteristiche morfologiche e di aggregazione urbana, sono esaminati e classificati una parte significativa e morfologicamente ricorrente di spazi aperti urbani seguendo la classificazione tra spazi aperti e spazi collettivi e di pertinenza. Gli elementi scelti per la campionatura secondo la classificazione proposta, devono risultare rappresentativi delle innumerevoli variabili di cui sono costituiti i tessuti urbani. I parametri e gli elementi di confronto sono definiti sulla base dei fattori che maggiormente influenzano e possono descrivere le prestazioni microclimatiche dell'ambiente urbano costruito (superficie aree pavimentate, superficie aree permeabili, SVF, riflettanza/albedo dei materiali, ecc.). La lettura dei parametri individuati consente di effettuare un confronto con i dati sulle prestazioni di benessere termico estratte dalle simulazioni effettuate nei software, al fine di identificare quali aspetti e caratteristiche possono influire maggiormente sul comfort nello spazio urbano. L'esito e le considerazioni che emergono da questa fase di confronto, sono di fondamentale importanza per lo step successivo.

▪ Valutazione e parametrizzazione

Questa fase propone la definizione di un sistema di indicatori che possano descrivere l'incidenza delle caratteristiche morfologiche e fisiche dello spazio aperto sul comfort ambientale, basandosi sulla messa a sistema dei parametri e le caratteristiche per la classificazione degli spazi urbani. Il processo è suddiviso in due sotto fasi, la prima che analizza le condizioni ambientali, microclimatiche e di contesto allo stato attuale dei luoghi, prevede:

- la definizione di criteri e indicatori per la valutazione del grado di rispondenza ambientale del contesto all'aumento delle temperature;
- l'analisi multicriterio delle aree campione rispetto alle caratteristiche tecnologiche morfologiche degli spazi aperti;
- la definizione dei pesi da attribuire ai criteri di analisi;

successivamente, anticipando ciò che avviene nella fase di testing, attraverso un approccio metaprogettuale, viene prevista:

- o la simulazione delle singole soluzioni di climate adaptive design nelle aree scelte come campione rappresentativo del comportamento ambientale degli elementi ricorrenti nei tessuti urbani;
- o un ranking delle soluzioni provate nelle aree test.

Questa fase consente di definire un metodo per la valutazione della risposta prestazionale di comfort microclimatico di uno spazio aperto urbano durante la stagione estiva attuale e futura. L'approccio scelto si avvale delle potenzialità di metodi di analisi multicriteriale, al fine di definire la reale significatività delle caratteristiche che agiscono sulla determinazione del microclima urbano. Il sistema di indicatori è così definito sulla base delle conoscenze e le caratteristiche dello spazio urbano che maggiormente alterano la percezione del benessere outdoor e che trovano corrispondenza nel confronto con i risultati ottenuti e espressi mediante indici di confort microclimatico ottenuti dalle simulazioni con strumenti IT.

- Verifica progettuale (testing, metaprogetto e decision making)

Al termine della prima fase di valutazione, ci si pone l'obiettivo di determinare l'incidenza e il contributo che ogni soluzione d'intervento dedotta dalle best practice, possa garantire al miglioramento del comfort outdoor nei diversi tessuti e aree di intervento. Per eseguire questo step, è preliminarmente necessario selezionare le aree dove eseguire simulazioni test. In base al campione precedentemente analizzato, possono essere scelte le aree che, a seconda della tipologia di spazio pubblico, privato e semi-privato, abbiano fatto registrare un comportamento e dei valori di comfort mediamente elevate; queste aree di fatto dovranno essere selezionate allo scopo di poter stabilire quali soluzioni di climate adaptive design scegliere per poi essere diffuse all'interno dei tessuti urbani corrispondenti. Le fasi si sviluppano nella:

- o definizione dei test sulle aree scelte, attraverso l'applicazione metaprogettuale e la simulazione delle singole soluzioni di climate adaptive design;
- o lettura e valutazione dei risultati ottenuti (vedi Valutazione e parametrizzazione)
- o definizione delle migliori soluzioni progettuali, a seconda dei differenti tessuti urbani, che risultano maggiormente adattive per gli scenari di cambiamento climatico nel contesto analizzato

Il processo fin qui descritto consente di definire il grado di adattività e la rispondenza *ex-ante* di quelle soluzioni tecniche e strategie di climate adaptive design che sono oggi maggiormente diffuse e che

possano garantire le migliori prestazioni in termini di benessere termico percepito nei diversi tessuti urbani delle città. Il sistema di indicatori sviluppato, risultato di questo processo di sperimentazione e analisi, consente di valutare il grado prestazionale raggiungibile attraverso azioni progettuali per il miglioramento delle condizioni di comfort dello spazio urbano, un sistema di supporto alle decisioni che permette a progettisti e decision maker di definire le strategie progettuali da metter in campo per garantire i migliori benefici prestazionali, progettando luoghi, anzi habitat, maggiormente adatti alle condizioni di vita dell'uomo oggi e nel prossimo futuro.

Nei paragrafi successivi verrà esplicitata attraverso un caso applicativo l'applicazione della procedura appena descritta, grazie alla quale è stato possibile valutare il livello di benessere rispetto alle variazioni del clima e del microclima degli spazi urbani all'interno del territorio comunale di Napoli e del contributo adattivo al clima futuro di interventi progettuali di climate adaptive design.

4.2 OBIETTIVI E DEFINIZIONE DELL'AMBITO DI STUDIO

Dopo aver descritto le fasi che concorrono alla definizione della procedura sperimentale per la verifica delle prestazioni ambientali degli spazi aperti urbani, si è scelto di applicare questa metodologia sperimentale sulla base di due esperienze di ricerca condotte durante il corso di dottorato, Il Grande Progetto "Centro Storico di Napoli, valorizzazione del sito UNESCO" e il "Progetto Metropolis – Metodologie e Tecnologie integrate e sostenibili Per l'adattamento e La sicurezza di Sistemi urbani". Entrambe le ricerche sono volte alla definizione di strategie e soluzioni progettuali che possano garantire migliori prestazioni ambientali dello spazio aperto urbano, allo scopo di innescare processi di rigenerazione urbana, con influenza su aspetti sociali e il miglioramento della qualità della vita.

Il Grande Progetto per la valorizzazione del Centro Storico di Napoli, ha come obiettivo la riqualificazione e la gestione sostenibile degli spazi pubblici degradati attraverso la proposta di soluzioni progettuali per il miglioramento delle qualità ambientali, della vivibilità e delle qualità sociali. Il DiARC ha affiancato l'amministrazione Comunale, e in particolare l'Ufficio Grande Progetto Centro Storico, in qualità di consulente tecnico-scientifico per la redazione di proposte progettuali finalizzate alla rigenerazione ambientale degli spazi pubblici (cfr. Losasso, D'Ambrosio 2014).

Dal rapporto sull'andamento dello stato di conservazione dell'UNESCO (fig. 36), emerge l'inizio di un trend negativo dal 2013, con un forte calo nel 2015. Proprio questo trend è giustificato dalla necessità di realizzare interventi volti a valorizzare il Centro Storico in termini di qualità ambientale e architettonica.

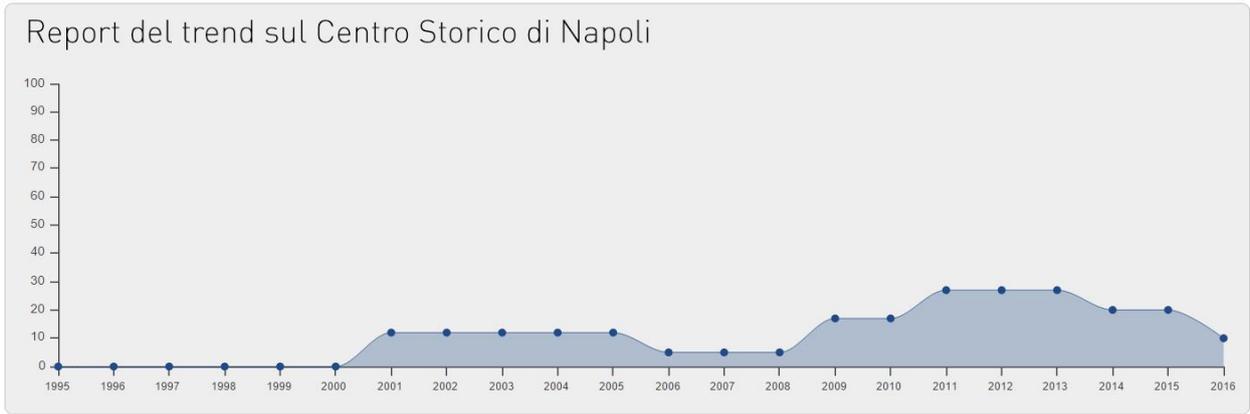


Fig.36 - Rapporto sullo Stato di Conservazione. Basato sulla frequenza alla quale il World Heritage Committee ha deliberato sulle sue priorità negli ultimi 15 anni. 0 = report minimo, 100 = report massimo. (fonte: UNESCO - World Heritage Centre)

L'obiettivo della riqualificazione degli spazi pubblici determina la selezione di ambiti di analisi omogenei per definire la complessità del Centro Storico di Napoli. Questa suddivisione, attuata dall' "Ufficio Grande Progetto Centro Storico" e ridefinita poi dal gruppo del DiARC valutando anche aspetti storico-culturali (cfr. Losasso, D'Amborsio 2014), prevede: ambiti urbani omogenei, definiti come AUC - *Aree Urbane Complesse* e assi urbani di rilievo, denominati AT - *Assi Tematici*.



Fig.37 - Perimetrazione dell'area del Centro Storico di Napoli per il Grande Progetto "Centro Storico di Napoli, valorizzazione del sito UNESCO".

Il Progetto Metropolis prevede che attraverso lo sviluppo di strategie innovative, possa essere sviluppato un ambiente urbano resiliente, stabilendo linee di indirizzo per la rigenerazione urbana, basata sulla valutazione e mitigazione dei rischi naturali e antropici. L'approccio interdisciplinare e

multiscalare delle ricerche, fa sì che numerose informazioni possano concorrere ad acquisire dati e informazioni alla valutazione delle criticità del sistema edificio e spazio aperto rispetto ai rischi derivanti da pluvial flood e ondate di calore (cfr. D'Ambrosio, Leone 2015).

L'area scelta per l'analisi è quella dell'area orientale di Napoli, comprende ambiti urbani tipizzati di: 1) città strica, 2) città consolidata, 3) città contemporanea, 4) sprawl urbano, 5) aree dismesse.

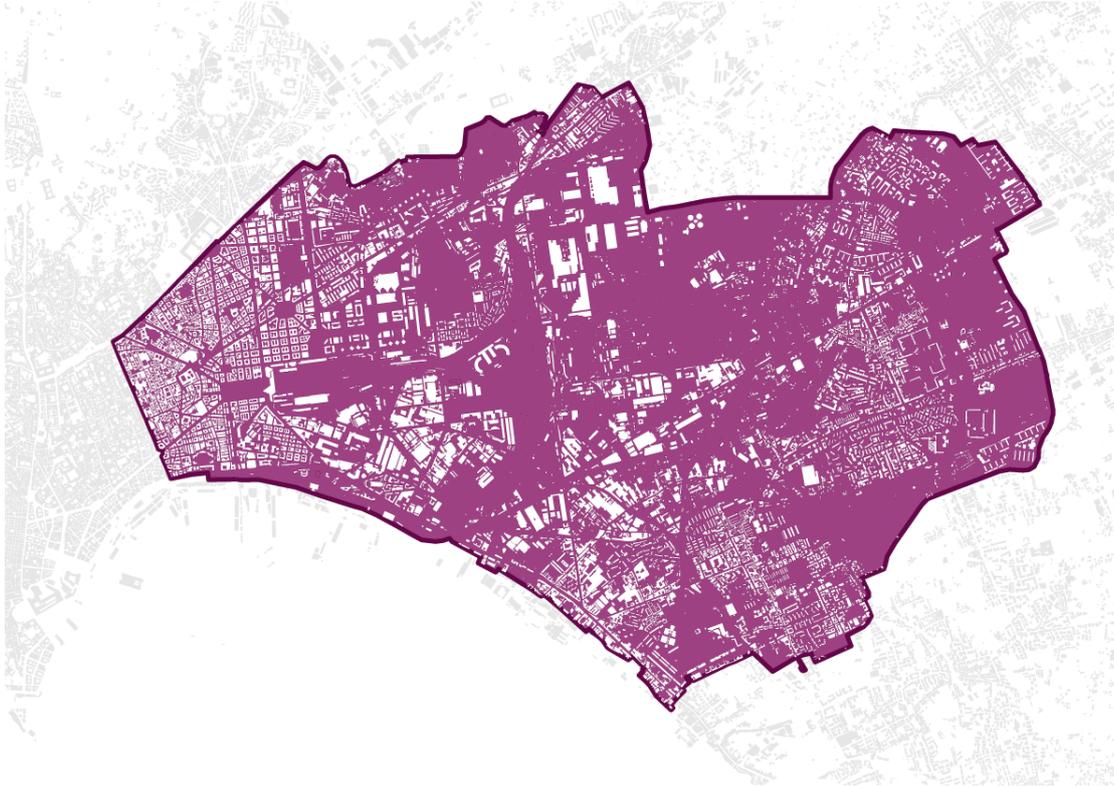


Fig.38 – Perimetrazione dell'area di Napoli Est del progetto Metropolis.

Questa definizione permette, attraverso l'analisi prestazionali e ambientali, di individuare differenti livelli di rispondenza ai fenomeni estremi e di criticità tra le diverse zone.

L'esperienza maturata su ambedue le ricerche, ha così permesso di definire un'ambito di studio unico, ovvero quello definito dall'unione dei due progetti di ricerca. L'operazione è stata facilitata dalla presenza di un'area comune ad entrambe le perimetrazioni, che permettesse di sviluppare diversi punti di contatto tra i due lavori, sia in termini di approfondimento e di conoscenza del territorio, sia rispetto all'avanzamento metodologico sviluppato. La finalità è quella di ottenere un risultato coerente nella valutazione e nella definizione di soluzioni tecniche mediante la definizione di un'ampia e completa casistica di tipologie di spazi aperti urbani analizzati e ricadenti all'interno del territorio comunale di Napoli. La varietà e la complessità dei tessuti urbani presenti all'interno dell'ambito di studio possono considerarsi esemplificativi della varietà morfologica del territorio. Questa scelta ha determinato la possibilità di ottenere una più vasta classificazione delle forme urbane di spazi aperti, distinti tra strade, piazze, slarghi, corti, cortili e spazi di pertinenza.



Fig.39 – Perimetrazione dell'area di studio.

La fase sperimentale e di verifica del metodo sviluppato, attinge al patrimonio di conoscenze e di esperienze acquisite durante lo sviluppo dei processi di ricerca. Lo studio delle aree di interesse, attraverso il rilievo e la definizione delle caratteristiche funzionali-spaziali⁹⁷, delle prestazioni tecnologiche e ambientali e fasi di sviluppo di analisi ambientali, rappresentano il livello di conoscenze essenziale nello sviluppo di un sistema semplificato per la valutazione del grado di rispondenza degli spazi aperti urbani della città di Napoli all'aumento delle temperature estive.

4.3 APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA SPERIMENTALE

La fase di applicazione ha preso avvio sulla base della considerazione che l'area di studio ha una dimensione di ca. 24,45 km² e che la casistica e la varietà di spazi urbani che vi si sono originati è estremamente ampia. Partendo dai presupposti e dalle analoghe necessità emerse per il Progetto Metropolis, per l'ambito di studio è emersa l'analoga necessità di una classificazione per tessuti urbani morfologicamente omogenei (Fig. 40), che ha permesso di effettuare una prima e fondamentale suddivisione del territorio, in:

⁹⁷ Attraverso l'analisi della struttura urbana, dei sistemi di edifici specialisti e le relazioni con i tracciati urbani e gli assi viari, vengono indagate le relazioni tra gli attrattori, le attività economiche e gli elementi di connessione, definendo polarità e punti di interesse finalizzati all'innescare di ipotesi di rigenerazione urbana (cfr. Losasso, D'Amborsio 2014).

- tessuto pre-ottocentesco, che include un parte consistente del Centro Antico di Napoli ed è caratterizzata da edifici costruiti prevalentemente fino alla fine del XVIII secolo e una maglia composta da strade strette, piccole piazze e slarghi;
- tessuto ottocentesco, che include un parte a nord del Centro Storico di Napoli, è caratterizzata da edifici costruiti prevalentemente nel XIX secolo, le cui strade e le piazze sono hanno una dimensione più ampia di quelle del Centro Antico;
- tessuto novecentesco, che include un parte a sud e a est del Centro Storico di Napoli, è caratterizzata da edifici costruiti prevalentemente nel XIX e nel XX secolo, le cui strade e piazze hanno dimensioni pari e maggiori di quelle del tessuto ottocentesco;
- tessuto moderno, che include gli interventi edilizi fino alla metà del XX secolo, che include aree dei quartieri di Barra, San Giovanni a Teduccio e Ponticelli, ed è caratterizzato dalla presenza di strade di medie dimensioni, spazi privati e limitati spazi collettivi;
- tessuto contemporaneo che include gli interventi edilizi dalla metà del XX secolo ad oggi, che include l'area del Centro Direzionale, l'edilizia residenziale dei quartieri di Poggioreale, Gianturco, Barra, San Giovanni a Teduccio e Ponticelli, con prevalenza di strade e spazi collettivi ampi.

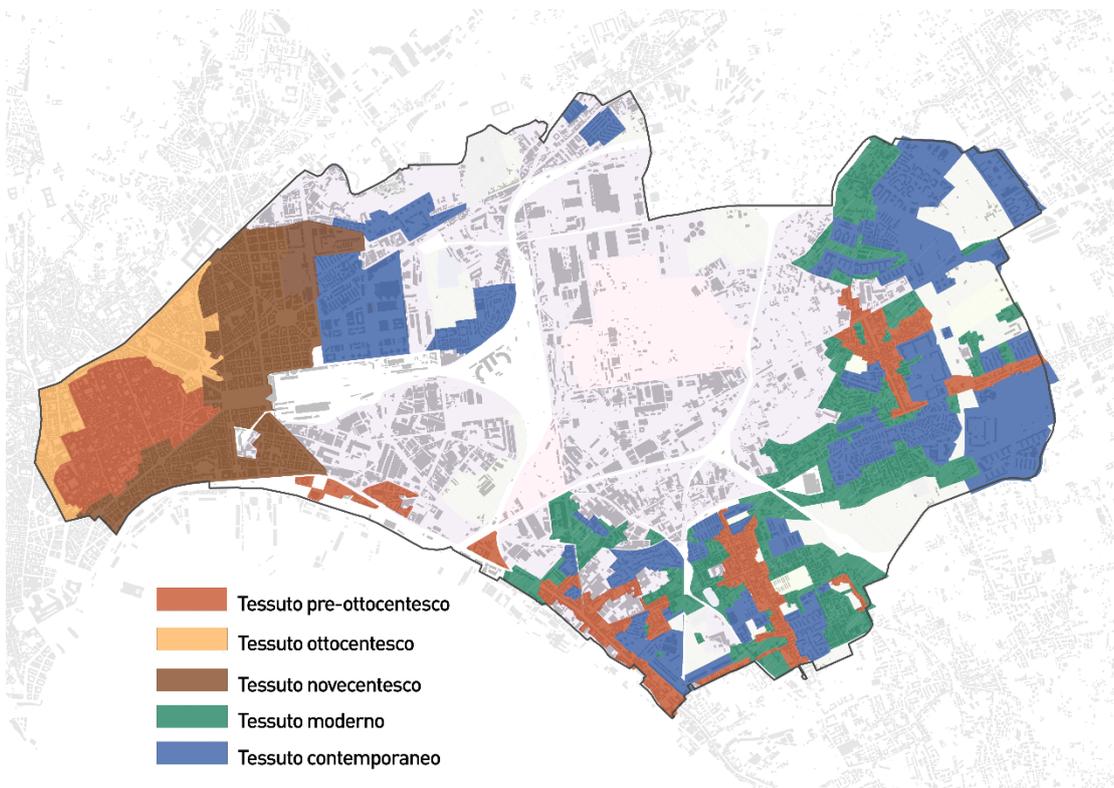


Fig.40 – Classificazione per tessuti urbani morfologicamente omogenei dell'area di studio.

Da questa classificazione sono state escluse le aree della città a carattere terziario e produttivo, focalizzando l'attenzione sui tessuti della città a prevalente uso residenziale, questo allo scopo di concentrarsi sulla determinazione di uno strumento che potesse dare concrete risposte nelle aree

maggiormente popolate, dove la vita e la fruizione dello spazio pubblico nella stagione estiva, ora e in futuro, debbano essere potenziate. I tessuti scelti sono contraddistinti da differenti caratteristiche morfologiche, ambientali e tecnologiche, sia dello spazio aperto, sia degli edifici, oltre che restituire differenti prestazioni in termini di risposta all'aumento delle temperature e alla formazione dell'isola di calore urbana. I differenti rapporti dimensionali e spaziali tra gli edifici, la risposta alle caratteristiche ambientali e del clima, oltre che alle prestazioni offerte di materiali e dai pacchetti tecnologici per l'edificato e gli spazi aperti, determinano differenti e specifiche performance microclimatiche.

Il processo di analisi e verifica prestazionale all'aumento delle temperature in regime di climate change è stato condotto con il supporto di quegli strumenti IT che potessero dare la possibilità di svolgere simulazioni di scenari climatici futuri, oltre che di restituire quali output le prestazioni offerte in termini di comfort percepito. La scelta è ricaduta sul software Envi-MET 3.1 per la simulazione microclimatica tridimensionale e per la definizione delle condizioni di benessere termico ambientale e su Autodesk®, Ecotect® Analsys 2011 per la valutazione delle componenti di ombreggiamento, ventilazione e radiazione solare incidente. L'eterogeneità degli output dei diversi software permette di effettuare numerose e multifocali valutazioni sugli aspetti critici del costruito.

Tale approccio ha permesso di poter determinare quali sono gli aspetti di maggiore criticità ambientale all'interno dell'ambito di studio, e successivamente di poter testare, valutare e validare le soluzioni progettuali che garantissero migliori livelli di adattabilità e di mitigazione dei fattori climalteranti per il progetto, sia alle condizioni attuali che di proiezioni climatiche future nel trentennio 2040-2069 (2050s)⁹⁸.

4.3.1 RILIEVO DELLE CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Le differenti configurazioni morfologiche e spaziali di relazione tra gli elementi urbani, la presenza di vegetazione e le caratteristiche dei materiali che definiscono lo spazio urbano svolgono un ruolo fondamentale nella variazione del microclima urbano (oltre che l'uso massiccio di sistemi di condizionamento nei mesi estivi per le carenze prestazionali degli involucri edilizi). L'interazione che si genera tra gli edifici e lo spazio aperto ad essi circostante è un aspetto di fondamentale importanza

⁹⁸Il trentennio 2040-2069 può ancora considerarsi una fase intermedia per eseguire le analisi previsionali di comfort microclimatico; infatti come si è visto nel grafico in fig. 2 -cap.1, le linee di andamento e le aree di sovrapposizione dei due scenari rappresentativi di proiezione climatica proposti dall'IPCC, RPC 8.5 e RPC 2.6, tendono ancora a sovrapporsi e poi a divergere definitivamente solo tra il 2060 e il 2070.

quando si effettuano indagini e campagne di rilevamento, sia dirette, sia indirette delle condizioni ambientali di spazi aperti. In questo modo è possibile effettuare una prima *diagnosi* e la verifica di quegli aspetti che risultano essere critici, e di come questi possono influire sulle condizioni microclimatiche nel contesto urbanizzato.

A tale scopo, si è scelto di analizzare il comportamento microclimatico di parti di tessuti omogenei dell'area di studio. Una fase preliminare è stata necessaria per acquisire le informazioni utili alla corretta elaborazione delle analisi software per il confronto dei fattori che interagiscono con il microclima urbano. La fase di rilievo e acquisizione dei dati è stata svolta in diverse fasi, che a seguito dell'acquisizione di cartografia di base (CTR Regione Campania 2011, 1:5000) e del confronto con lo stato reale dei luoghi (rilievo fotografico, viste satellitari), ha consentito di ottenere una base cartografica che restituisse la situazione reale.

La successiva operazione è consistita nel rilevamento delle condizioni ambientali delle aree di studio, e nell'ottenere dati sulle proprietà e prestazioni fisiche e termiche dei materiali che rivestono le superfici orizzontali e verticali degli spazi aperti della città. Questa operazione è stata effettuata mediante l'uso della strumentazione in rilievo quale una termocamera FLIR E40 BX, che ha permesso di rilevare le temperature superficiali riflesse, un termoanemometro EXTECH AN200, per il rilievo della velocità del vento e un igrometro con termometro IR FLIR MR77, per il rilievo della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa, oltre ad aver consentito di acquisire dati sull'emissività dei materiali. Per queste fasi, si è scelto che si svolgessero durante giorni particolarmente caldi della stagione estiva, definiti a seguito di una valutazione del trend dei picchi di temperature dei giorni precedenti.

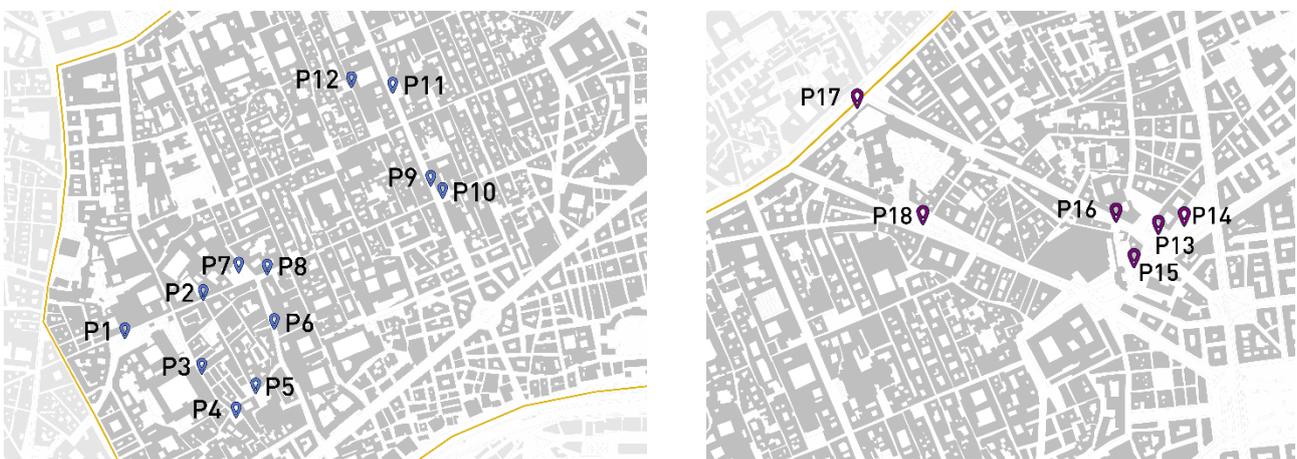


Fig. 41 – Localizzazione dei punti rilevati durante il rilievo delle condizioni ambientali del Centro Storico di Napoli: a sinistra il giorno 5 Agosto 2014; a destra il giorno 6 Agosto 2014.

Per l'area del centro storico di Napoli, è stata effettuata una campagna di rilievo nel giorno del 5 agosto 2014, e nel giorno successivo il 6 agosto 2014 per l'area della città ottocentesca. I giorni dell'anno durante i quali eseguire i rilievi sono stati accuratamente scelti in base ad un'analisi storica dei dati climatici, avendo cura di selezionare i periodi che in passato avevano fatto registrare temperature estreme e per le quali ci si è atteso dunque, il ripetersi di picchi stagionali. I punti rilevati (fig. 41) sono stati scelti sulla base di una lettura del territorio che identificasse quelle aree che presentassero differenti caratteristiche dal punto di vista della morfologia, dei differenti materiali utilizzati e dalla presenza vegetazione. I dati raccolti presenti nelle tab. 5 e 6, mostrano come all'interno del centro storico, dove è presente una variazione di materiali molto ridotta, la prestazione degli spazi è influenzata principalmente dalle caratteristiche dimensionali dei rapporti tra la larghezza della strada e l'altezza degli edifici (H/W), quindi dallo SVF e dall'orientamento.

	ID	OR.	H/W	MATERIALE	T. SUP. °C	T. SUP. IN OMBRA °C	T. ARIA °C	T. ARIA IN OMBRA °C	UMIDITÀ RELATIVA %	VELCITÀ VENTO m/S
5 AGOSTO 2014 - ORE 13.00 - 15.00	P1	E-NE	0,6	CUBETTI DI PORFIDO	52.5	30.0	30.0	29.5	63	1,2
	P2	E-NE	4	BASOLI DI PIETRA LAVICA	-	25.5	-	31.1	60	0,5
	P3	S-SE	8,3	BASOLI DI PIETRA LAVICA	-	28.8	-	31.0	61.5	0,5
	P4	NE	1	LASTRE DI PIETRA LAVICA	58.5	41.3	31.0	31.0	61	0,8
	P5	NE	1,25	BASOLI DI PIETRA LAVICA	56.0	30.3	32.7	31.4	56	0,8
	P6	S-SE	2,5	BASOLI DI PIETRA LAVICA	43.8	37.4	33.4	30.3	59	1,5
	P7	E-NE	0,6	BASOLI DI PIETRA LAVICA	50.5	27.6	34.3	30.3	59	2,0
	P8	E-NE	2	BASOLI DI PIETRA LAVICA	59.4	34.0	32.0	31.1	59	1,0
				LASTRE DI PIETRA LAVICA	62.5	48.3				
	P9	S-SE	2	CUBETTI DI PIETRA LAVICA	42.2	36.2	29.4	28.0	65	1,0
	P10	E-NE	1,5	LASTRE DI PIETRA LAVICA	42.2	36.2	29.4	28.0	70	1,5
	P11	S-SE	2,5	LASTRE DI PIETRA LAVICA	55.0	38.4	31.0	30.0	65	1,2
P12	S-SE	12,5	BASOLI DI PIETRA LAVICA	-	26.9	-	29.3	68	0,5	

tab.5 - Dati di rilievo diretto delle temperature dell'aria, delle temperature superficiali dei materiali, dell'umidità relativa e della ventilazione naturali all'interno dell'area del Centro Storico di Napoli nella data del 5 Agosto 2014.

	ID	OR.	H/W	MATERIALE	T. SUP. °C	T. SUP. IN OMBRA °C	T. ARIA °C	T. ARIA IN OMBRA °C	UMIDITÀ RELATIVA %	VELCITÀ VENTO m/S
6 AGOSTO 14 - ORE 13.00 - 15.00	P13	E-SE	1,2	BASOLI DI PIETRA LAVICA	57.6	34.8	30.0	31.0	48	0,5
	P14	NE	0,6	CUBETTI DI PIETRA LAVICA	57.1	38.6	32.0	28.0	48	1,2
	P15	NE	1,2	BASOLI DI PIETRA LAVICA	54.8	34.1	32.0	28.0	48	0,6
	P16	E-SE	2	BASOLI DI PIETRA LAVICA	48.0	-	31.0	-	48	0,5
				ASFALTO	46.5	30.2				
	P17	NE	1	LASTRE IN PIETRA LAVICA	63.1	29.0	-	34.0	48	0,8
				PRATO	36.0	25.1				
	P18	E-SE	2	BASOLI DI PIETRA LAVICA	56.5	36.5	31.0	31.0	51	0,5

tab.6 - Dati di rilievo diretto delle temperature dell'aria, delle temperature superficiali dei materiali, dell'umidità relativa e della ventilazione naturali all'interno dell'area del Centro Storico di Napoli nella data del 6 Agosto 2014.

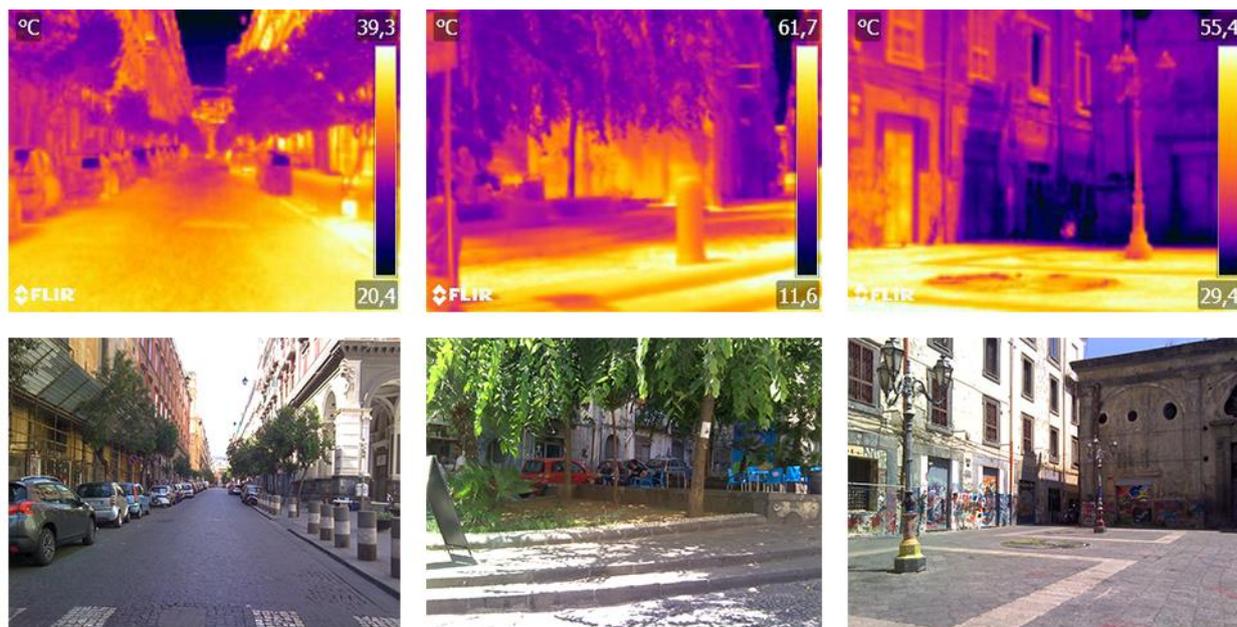


Fig.42 – Rilievi termografici del 5 Agosto 2014: a sinistra Via Duomo (P9), al centro Largo San Giovanni Maggiore (P5), a destra Piazza Banchi Nuovi (P4).



Fig.43 – Rilievi termografici del 6 Agosto 2014: a sinistra Piazza San Francesco di Paola (P13), al centro Via Foria (P17), a destra Largo Porta Capuana (P15).

Una fase successiva è stata svolta durante il giorno del 3 Luglio 2015 nell'area di Napoli Est, e nello specifico nel quartiere di Ponticelli, caratterizzato da un'ampia varietà morfologica, edilizia e funzionale-spaziale. I punti identificati per il rilievo, sono stati scelti per ragioni analoghe all'area del Centro Storico; differente morfologia, orientamento, ampiezza degli spazi, ecc., hanno indirizzato la scelta. I dati rilevati sono sintetizzati nella tab. 7, e offrono una lettura delle condizioni microclimatiche rilevate all'interno degli spazi urbani rilevati e delle prestazioni offerte dai materiali delle superfici orizzontali.

In spazi maggiormente dilatati, dove i rapporti dimensionali tra l'altezza e la larghezza degli spazi o delle strade sono adeguati, la presenza di alberi e zone d'ombra ridotte unite all'uso di superfici impermeabili e scarsamente riflettenti la radiazione solare, implica condizioni di comfort urbano scarse. Il solo contributo della ventilazione naturale (con punte di 3-3,5 m/s), la scarsa concentrazione di umidità relativa, unite ad una bassa qualità architettonica, ha determinato che gli spazi aperti rilevati non fossero fruiti e fruibili dagli utenti.



Fig. 44 – Localizzazione dei punti rilevati durante il rilievo delle condizioni ambientali del quartiere di Ponticelli il giorno 3 Luglio 2015



Fig.45 – Rilievi termografici del 3 Luglio 2015: a sinistra Lotto PSER di Viale Fratelli Grimm (P19), al centro Piazza Vincenzo Aprea (P29), a destra Viale Margherita (P31).

ID	OR.	H/W	MATERIALE	T. SUP. °C	T. SUP. IN OMBRA °C	T. ARIA °C	T. ARIA IN OMBRA °C	UMIDITÀ RELATIVA %	VELOCITÀ VENTO m/S
P19	SW	0.38	MASSELLI AUTOBLOCCANTI GRIGIO	58.8	-	32.0	-	37	2.0-2.5
			MASSELLI AUTOBLOCCANTI ROSSO	56.1	-				
			PAVIMENTO IN COTTO	59.5	37.0				
P20	SW	-	GRANIGLIATO PER ESTERNI	49.5	-	35.0	-	37	0.5
			PRATO INCOLTO	40.4	-				
P21	SW	0.44	MASSELLI AUTOBLOCCANTI GRIGIO	-	24.7	34.0	-	37	1.5
P22	SW	0.42	GRANIGLIATO PER ESTERNI	-	24.4	31.8	-	40	3.5
			PRATO INCOLTO	40.0	31.5				
			PAVIMENTAZIONE IN CLS	56.6	-				
P23	S-SE	-	ASFALTO	55.7	-	35.0	-	35	0.4-1.5
			ZANELLA CLS	50.0	-				
			ASFALTO	51.6	27.1				
P24	S	0.53	GUAINA	59.4	-	35.0	-	37	0.5
			PRATO	57.1	30.7				
			ASFALTO	54.0	-				
P25	S-SE	0.47	ASFALTO	54.0	-	34.0	-	34	0.5-1.5
P26	S-SE	-	GUAINA TETTO	62.0	-	35.0	-	30	0.5
			ASFALTO	58.6	-				
			TERRENO BRUNO	60.0	-				
P27	S-SE	0.15	TERRENO CON STERPA	46.7	-	35.5	-	32	1.5-2.0
			ASFALTO	59.0	-				
P28	E-NE	0.6	ASFALTO	59.0	-	36.0	-	31	-
P29	S-SE	0.54	PORFIDO	48.0	32.0	35.0	-	34	1.5-2.0
			PIETRA LAVICA RUVIDA	55.7	-				
			PIETRA LAVICA LISCIA	54.2	-				
			ASFALTO	59.7	-				
			PIETRA LAVICA / PIPERNO	52.2	-				
P30	S-SE	2	PORFIDO	60.0	-	35.0	-	34	1.5-2.0
			PIETRA LAVICA	61.8	40.0				
P31	S-SE	0.56	ASFALTO	64.7	-	37.0	-	28	1.0
			PIETRA LAVICA	57.3	-				
			PIETRA LAVICA	62.7	51.0				

3 LUGLIO 2015 - ORE 11.00 - 14.00

tab.7 - Dati di rilievo diretto delle temperature dell'aria, delle temperature superficiali dei materiali, dell'umidità relativa e della ventilazione naturali all'interno del quartiere Ponticelli nella data del 3 Luglio 2015.

Quanto rilevato, ha permesso di eseguire una rassegna dei materiali che sono maggiormente utilizzati per il rivestimento delle superfici orizzontali presenti all'interno delle aree oggetto di studio; sono state raccolti dati sulle proprietà fisiche e termiche, quali l'albedo, l'emissività, la rugosità e la conducibilità termica (tab. 1A in appendice), e di identificare le tecniche e quindi le stratigrafie dei

pacchetti tecnologici che costituiscono le pavimentazioni esterne della città di Napoli (tab. 2A in appendice). Il database di informazioni e proprietà dei materiali, congiuntamente al rilievo dei fattori microclimatici, costituiranno le informazioni utili ad eseguire una sorta di *taratura* dei software, per ottenere analisi maggiormente rispondenti alle condizioni reali rilevate.

Tutti i dati raccolti costituiscono un prezioso database delle condizioni ambientali di piazze, strade, slarghi, corti e spazi pertinenziali, un campione significativo della complessità urbana napoletana, che propone una prima caratterizzazione di relazione tra i fattori di contesto e delle caratteristiche delle superfici degli spazi urbani. Le aree scelte per la fase di simulazione, sono state definite per rappresentare un campione vasto e significativo per descrivere la complessità del territorio dell'area di Napoli che si estende dal Centro Storico al quartiere di Ponticelli (fig. 46).

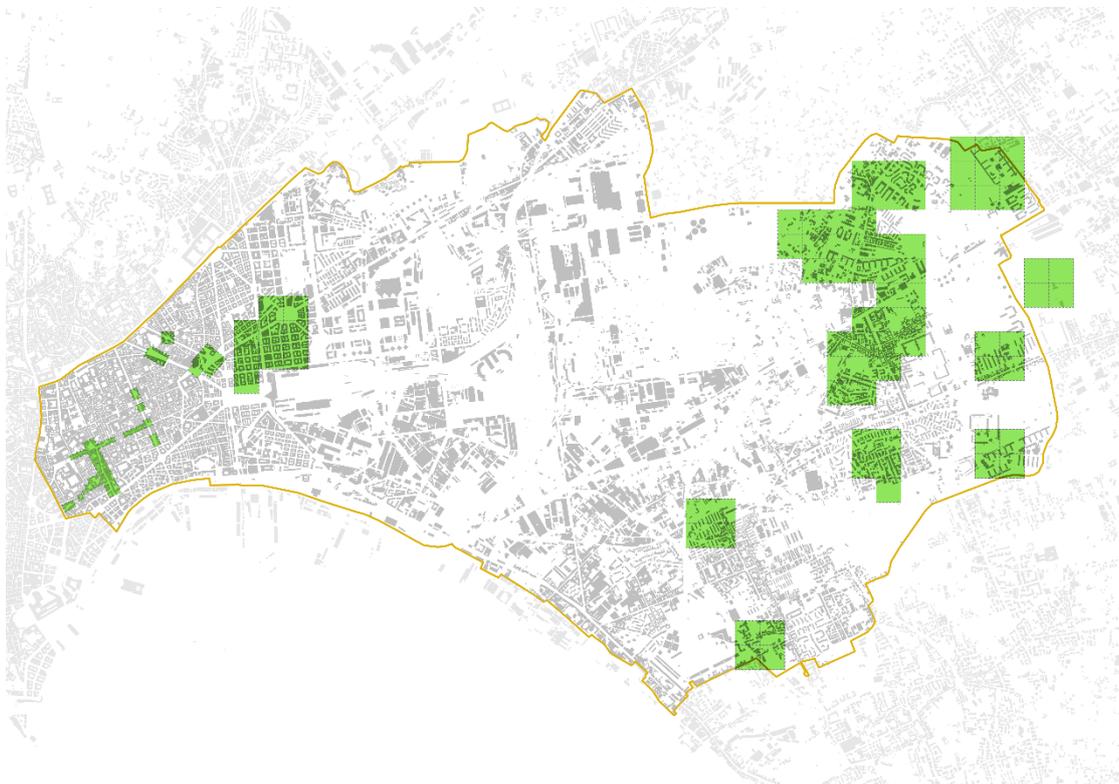


Fig.46 – Perimetrazione delle aree scelte per l'analisi microclimatica nel software ENVI-met alla data del 3 Luglio 2015 e 2050s.

4.3.2 ANALISI AMBIENTALI SOFTWARE

La fase di conoscenza degli ambiti di studio ha permesso di raccogliere le informazioni necessarie allo svolgimento delle simulazioni software sulle condizioni ambientali e microclimatiche, in modo che queste risultassero maggiormente rispondenti alle condizioni reali. Dati climatici e microclimatici, dati geometrici degli edifici, la presenza di vegetazione e le tipologie di materiali dello spazio aperto urbano costituiscono il bagaglio di informazioni necessarie affinché i software siano in grado di restituire dati affidabili.

La complementarità dei software scelti, Envi-MET ed Ecotect, ha suggerito lo sviluppo di un *workflow* operativo che permettesse di esplicitare in forma esecutiva, un processo di fasi per la ricerca e la definizione delle criticità dello spazio urbano costruito che prevedesse:

- la modellazione tridimensionale dell'area di studio (edifici, pavimentazioni, vegetazione, ecc.)
- la configurazione dei software (dati climatici, caratteristiche dell'edificio, ecc.)
- l'esecuzione delle simulazioni (stato attuale e previsionale al 2050s)
- lettura ed estrazione dei risultati (temperatura dell'aria, temperatura superficiale, umidità relativa, ventilazione, MRT, PMV)

Lo sviluppo del workflow ha permesso di organizzare le fasi delle simulazioni e di ottenere risultati confrontabili fra le aree di studio, che saranno utilizzati per la fase di valutazione del grado di adattabilità al cambiamento climatico.

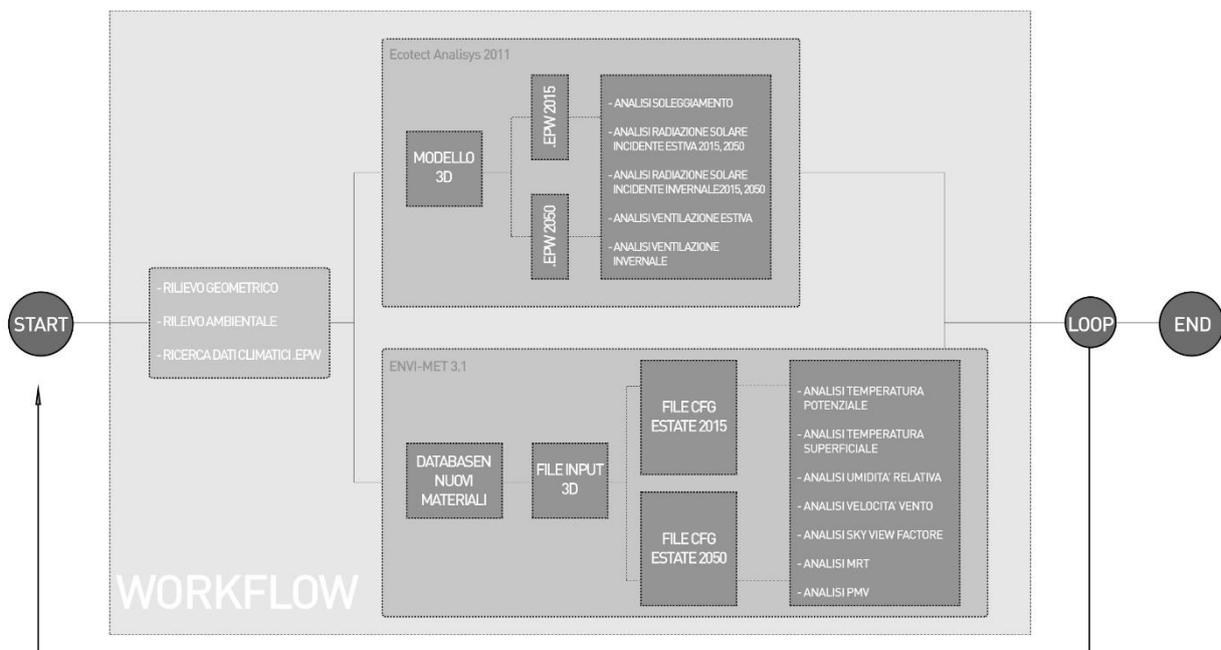


fig.47 – Schema grafico del workflow che descrive il processo di analisi e verifica mediante software di simulazione ambientale per la verifica microclimatica e prestazionale alle alte temperature estive, sia allo stato attuale, sia negli scenari previsionali di cambiamento climatico.

ANALISI AMBIENTALI IN ECOTECT ANALISYS

L'analisi dei fattori ambientali all'interno del software Ecotect Analysis, prevede una prima fase di modellazione tridimensionale dello spazio oggetto della simulazione; le volumetrie degli edifici e le alberature presenti nell'area devono essere parte essenziale del modello. Ulteriore fase preliminare è quella del reperimento di file climatici in formato .EPW⁹⁹ disponibili per la stazione meteo più vicina

⁹⁹ EnergyPlus Weather Data: riporta tali informazioni nel formato ASCII (American Standard Code for Information Interchange) esso è disponibile sul sito: apps1.eere.energy.gov.

all'area di studio; il file climatico deve essere convertito nel formato .WEA, all'interno del Weather Tool 2011, fornito all'interno di Ecotect.

Dopo aver inserito il file climatico, possiamo eseguire lo studio delle ombre portate; questa operazione viene eseguita simulando la posizione del sole nel solstizio d'estate (21 giugno), giorno in cui vi è la declinazione massima, alle ore 9.00, 12.00 e 15.00. L'analisi può anche essere sintetizzata attraverso lo *Shadow Cast Range*, che sovrappone in un'unica immagine le ombre portate ad intervalli definiti, così da fornire una chiara lettura delle aree che sono maggiormente ombreggiate durante il giorno. Successivamente per raffinare la lettura dello spazio aperto analizzato e definire le aree che subiscono il maggiore carico termico, si effettuano analisi sui livelli di soleggiamento: 1) l'analisi della *radiazione solare incidente* al suolo, espressa in kWh/m², che viene calcolata per l'intero periodo estivo nelle ore di luce, così da determinare la quantità di radiazione solare a cui vengono sottoposte le aree di studio e individuare le zone soggette a eccessivo carico termico durante la stagione estiva; 2) l'analisi della percentuale delle aree ombreggiate.



SUMMER SOLSTICE

Fig.48 - Analisi dell'ombreggiamento con la tecnica dello Shadow Cast Range nel solstizio d'estate per la Piazza del Duomo di Napoli.

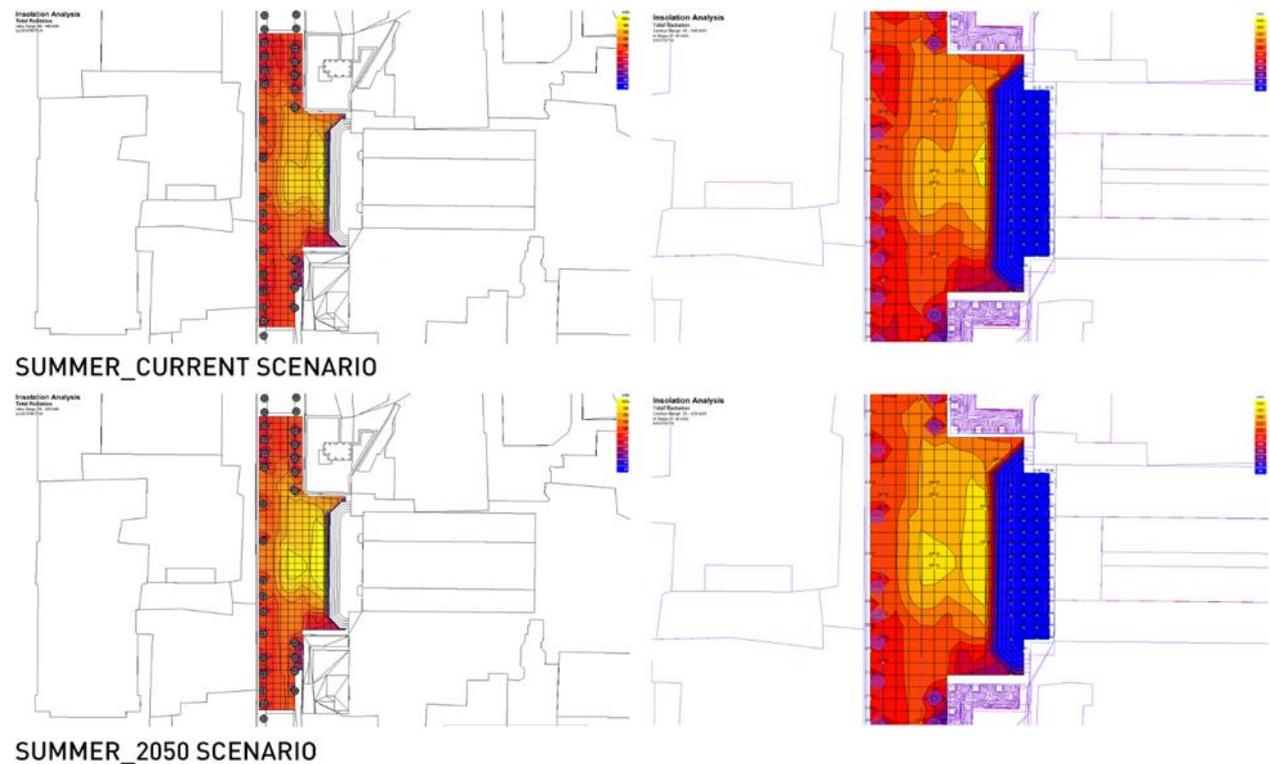


Fig.49 - Analisi della radiazione solare incidente cumulativa nel periodo estivo per la Piazza del Duomo di Napoli, sia nello scenario attuale, sia nello scenario previsionale al 2050s. Allo scenario attuale, nel punto di massima radiazione, si registrano 386,48 kWh/m², nello stesso punto nello scenario previsionale, si registrano 405,09 kWh/m², con un aumento percentuale del 4,50 %.

Analoghe simulazioni sono state generate per le condizioni climatiche future nel trentennio 2021-2050. Attraverso il tool di generazione di file climatici "CCWorldWeatherGen"¹⁰⁰, che permette di eseguire un morphing dei file climatici in base al modello di proiezione HadCM3 A2 di cambiamento climatico del Terzo Rapporto di Valutazione dell'IPCC, si ottiene un file analogo al precedente, ma proiettate ai trentenni 2010-2039, 2040-2069, 2070-2099 (che per semplicità indicheremo rispettivamente 2020s, 2050s e 2080s); sono state quindi simulate le condizioni climatiche al 2050s rispetto alle future condizioni delle temperature. Si è potuto osservare all'interno delle simulazioni come nelle aree maggiormente esposte, l'aumento della radiazione solare incidente nel periodo estivo sia cresciuto in media di ca. il 4%, osservando che l'operazione di morphing climatico ha generato un aumento di ca. 2 °C delle temperature diurne.

Stazione meteorologica	Mesi estivi	Temp. Aria max °C	Temp. Aria min °C	Temp. Aria media °C	Umidità relativa media %
Napoli Capodichino 1990s*	Maggio	27.2	7.6	18.1	50
	Giugno	32.2	12.7	22.1	53
	Luglio	31.9	16.1	25.0	57
	Agosto	32.4	18.9	25.5	53
Napoli Capodichino 2020s**	Maggio	27.7	8.1	18.6	50
	Giugno	32.8	13.3	22.7	54
	Luglio	32.8	16.9	25.8	57
	Agosto	33.5	19.9	26.6	54
Napoli Capodichino 2050s**	Maggio	28.5	9.0	19.4	50
	Giugno	33.9	14.2	23.8	54
	Luglio	34.3	18.5	27.4	57
	Agosto	35.1	21.5	28.2	54
Napoli Capodichino 2080s**	Maggio	29.9	10.3	20.8	51
	Giugno	35.6	15.8	25.5	53
	Luglio	36.3	20.6	29.4	55
	Agosto	37.3	23.7	30.4	53

* Dati climatici acquisiti da energyplus.net; ** Dati climatici ottenuti dal morphing in CCWorldWeatherGen.

tab.8 – Dati climatici estivi per Napoli relativi ai trentenni 1980-2009, 2010-2039, 2040-2069, 2070-2099

ANALISI MICROCLIMATICHE IN ENVI-MET

La raccolta di file e dati climatici, il rilievo ambientale diretto, il rilievo degli elementi costruiti e di quelli naturali, oltre alla schedatura delle proprietà dei materiali e dei pacchetti tecnologici che definiscono le aree di studio, sono informazioni utili all'esecuzione delle simulazioni all'interno del

¹⁰⁰ vedi nota 66

software Envi-MET 3.1, che ci consentirà di estrarre i dati necessari alla classificazione degli spazi aperti dell'area di studio e alla determinazione delle comfort percepito.

Prima di eseguire le simulazioni, e ancora prima di eseguire la modellazione delle aree, è stato necessario *customizzare* il software, personalizzare le *librerie* del software con i materiali e i pacchetti tecnologici caratteristici della città di Napoli (fig. 49). Inoltre sono stati inseriti nuovi tipi di elementi vegetali: alberi da 3, 5, 7 e 12 m e un prato di altezza di 6 cm, non presenti nel programma, ma che erano stati rilevati.

NOME	ID	Layer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Z ₀	a	em
		da	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	1,5	rugosità	albedo	emissività
		a	0,005	0,015	0,025	0,035	0,05	0,07	0,09	0,15	0,25	0,35	0,45	0,75	1,25	1,75	m		
Pietra Lavica in lastre	pl		ba	ba	ba	ba	ba	ba	ba	ba	sd	sd	sd	le	le	le	0.010	0.32	0.72
			pietra lavica			sabbia			terreno										

Fig.50 – Schematizzazione della personalizzazione dei materiali all'interno del software ENVI-met: elaborazione da scheda CEC4 del progetto Green Urban System. (fonte: www.greenurbansystems.eu)

Le aree oggetto della simulazione (fig. 46), sono state ricostruite all'interno del software, prestando particolare attenzione a riportare:

- l'altezza degli edifici e la presenza di portali e sottopassi
- la forma e dimensione degli edifici
- l'orientamento degli edifici
- i materiali degli spazi aperti
- la dimensione, il tipo e la posizione della vegetazione degli spazi aperti
- gli elementi di schermatura (pensiline, schermature fisse e mobili, tende, ecc.)
- i corpi d'acqua (vasche, fontane, getti d'acqua, ecc.)

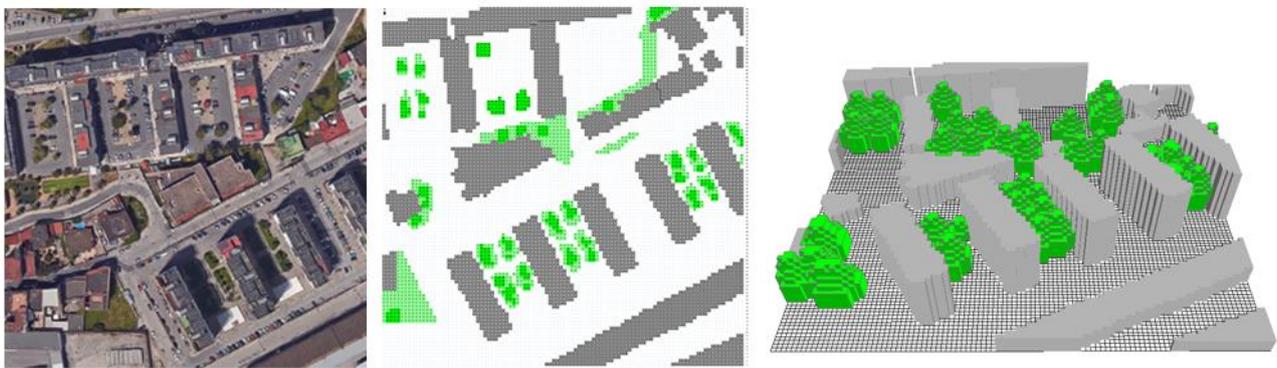


Fig.51 – Costruzione di modello tridimensionale all'interno di ENVI-met: a sinistra l'immagine satellitare dell'area scelta per la simulazione; al centro il modello di input; a destra il modello tridimensionale.

Al termine della modellazione, è stato necessario configurare il software per generare le analisi, inserendo i dati su:

- velocità del vento [m/s]
- direzione del vento [gradi 0:N 90:E 180:S 270:W]
- temperatura dell'aria [K]
- umidità relativa a 2m [%]
- umidità specifica a 2500 m [g Water/kg air]
- trasmittanza termica U delle partizioni verticali esterne media degli edifici all'interno dell'area [W/m²K]
- trasmittanza termica U delle partizioni orizzontali esterne media degli edifici all'interno dell'area [W/m²K]
- fattore di albedo dei muri
- fattore di albedo dei tetti
- rugosità dell'ambiente costruito¹⁰¹
- temperatura all'interno degli edifici

Per uniformare i dati delle diverse aree della città, si è scelto di effettuare tutte le simulazioni nel giorno del 3 Luglio 2015, non solo perché è un giorno rappresentativo dell'andamento estivo delle temperature, ma anche perché rispetto al 2014, il periodo estivo del 2015 è stato il più caldo di sempre¹⁰². Il software è stato così configurando in modo da simulare il comportamento dell'intero ciclo giornaliero, a partire dalle ore 6 del mattino, fino all'orario desiderato, nel nostro caso le ore 12.00. Per questo è stato necessario raccogliere i dati climatici di temperatura, umidità relativa e di direzione e velocità del vento delle 24 ore precedenti all'inizio della simulazione ed eseguire una media:

- velocità del vento = 2 m/s
- direzione del vento = 247
- temperatura dell'aria = 300 K (26,85 °C)
- umidità relativa a 2m = 47.15 %
- umidità specifica a 2500m¹⁰³ = 2.8731 g/kg

¹⁰¹ La Roughness Length, è la lunghezza di rugosità della superficie in m. Ad ogni contesto urbano è associato un valore: 0,1 per il centro città; 0,01 per la periferia; 0,001 per le aree rurali.

¹⁰² Luglio 2015 è stato un mese estremamente caldo, facendo segnare un'anomalia di circa +3,6°C sopra la media del periodo di riferimento (1971-2000) e risultando pertanto il luglio più caldo dal 1800 ad oggi, superando di circa un grado quella del luglio 2003, che si fermò a +2.6°C (fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration degli Stati Uniti).

¹⁰³ Il convertitore per l'umidità di aria del sito Cactus2000 (<http://www.cactus2000.de/uk/unit/masshum.shtml>), consente di eseguire la conversione dell'umidità relativa in umidità specifica alla quota di 2500m, partendo dalla temperatura dell'aria in °C e dalla pressione in hPa.

I dati così inseriti sono stati verificati in modo tale che il software potesse restituire valori che si avvicinassero a quelli reali con uno scarto accettabile¹⁰⁴, ottenuti a seguito del rilievo strumentale (temperatura dell'aria, umidità relativa, velocità e direzione del vento, temperature superficiale). Inoltre sono stati attribuiti valori di temperatura iniziale e di umidità relativa ai diversi livelli di profondità della superfici orizzontali, ipotizzando valori medi di:

- 303 K (29,85 °C) per la temperatura e del 30% di umidità relativa per le superfici da 0 a 20 cm;
- 298 K (24,85°C) per la temperatura e del 40% di umidità relativa per le superfici da 0-50 cm;
- 295 K (21,85 °C) per la temperatura e del 40% di umidità relativa per le superfici al di sotto dei 50 cm.

La configurazione dei fattori ambientali e climatici è stata completata inserendo i dati sulle trasmittanze termiche medie¹⁰⁵ degli edifici e dell'albedo medio di facciate e tetti¹⁰⁶.

Infine per determinare il grado di comfort ambientale, espresso attraverso l'indice di comfort del PMV¹⁰⁷, si è tenuto conto delle variabili soggettive, ovvero dell'attività svolta da un individuo, nonché del tipo di vestiario, in relazione al bilancio energetico del corpo umano della persona esposta al clima corrispondente. Nel nostro caso è stato ipotizzato che una persona generica, di altezza e corporatura media che stesse camminando ad una velocità di 0.83 m/s, che avesse un attività di scambio di energia¹⁰⁸ con l'ambiente di 116 W/m² e un vestiario corrispondente ad un fattore di clotting¹⁰⁹ di 0.5.

UOMO ADULTO

Altezza: **1.75 m**

Peso: **75 kg**

Età: **35**



Fig.52 - Caratteristiche fisiche dell'individuo tipico scelto per la simulazione dell'indice di comfort PMV.

¹⁰⁴ Nei primi test che hanno portato alla definizione del file di configurazione definitivo, sono stati confrontati i dati di temperatura superficiale e di temperatura dell'aria giornaliera e nelle ore notturne, fino ad ottenere uno scarto accettabile del 5%.

¹⁰⁵ I valori di trasmittanza termica media sono stati calcolati con l'ausilio del software gratuito Termus G.

¹⁰⁶ Può essere calcolato all'interno dell'editor dei materiali di Ecotect, che permette di ricavare il dato di riflettanza termica attraverso il codice RGB del colore delle superfici.

¹⁰⁷ Sul PMV agiscono sia variabili meteorologiche quali la temperature dell'aria T_a , la temperature media radiante T_{mrt} , la pressione al vapore e , la ventilazione locale u , sia variabili soggettive quali l'isolamento dovuto al vestiario clo , l'energia meccanica prodotta dal corpo umano M , il fattore di lavoro meccanico η , (fonte: http://www.model.envi-met.com/hg2e/doku.php?id=apps:biomet_pmv).

¹⁰⁸ Lo scambio di energia all'interno del corpo umano è una combinazione tra il tasso metabolico e lo scambio di energia a causa di lavoro meccanico. Il modello di PMV utilizza valori medi costanti per le diverse attività. A seconda delle condizioni personali (età, peso, ecc.) questi valori possono variare in un ampio intervallo (fonte: www.envi-met.com/documents/onlinehelpv3/hs150.htm).

¹⁰⁹ Il bilancio termico del corpo umano dipende dai vestiti che si indossano. La resistenza termica del vestiario è misurata in clo dove $1\ clo = 0.155\ KW^2/W$ (fonte: www.envi-met.com/documents/onlinehelpv3/hs150.htm).

Analogo procedimento è stato utilizzato per le simulazioni al 2050, per le quali sono stati modificati i soli valori di temperatura dell'aria, di umidità relativa e di umidità specifica a 2500m. I dati sono stati estratti da i file climatici proiettati al 2050, e si riferiscono alla media dei valori delle 24 ore precedenti alle 6 del mattino del 3 luglio:

- temperatura dell'aria = 302,4 K (29,25 °C)
- umidità relativa a 2m = 47.15 %
- umidità specifica a 2500m = 3.3272 g/kg

Al termine delle simulazioni il programma ha generato file in formato .EDI, che possono essere estratti sia in formato grafico all'interno del tool Leonardo, sia in formato di testo nel tool Xtract. I dati estratti, relativi ai valori di PMV, ci consentono di effettuare una prima analisi dei comportamenti rispetto ai differenti elementi urbani all'interno dei tessuti analizzati e di ottenere una lettura dei livelli prestazionali attualmente raggiunti in condizioni di stress termico dovuto alle alte temperature in città e all'effetto isola di calore.

4.3.3 CAMPIONATURA, CLASSIFICAZIONE E CONFRONTO DI ELEMENTI URBANI

Al termine delle fasi di simulazione e di analisi ambientale e microclimatica, i dati ottenuti consentono di determinare il grado di benessere termico all'interno delle aree simulate, mediante la lettura dei valori di PMV al 2015 e al 2050s. Come detto nei capitolo precedente, il PMV, valutando lo stato di benessere di un individuo all'interno di uno spazio (outdoor o indoor), può ritenersi un indice sintetico che permette di valutare le prestazioni di comfort percepito, tenendo conto di variabili soggettive e di variabili ambientali. Va ribadito che, per le simulazioni è stato calcolato il valore di PMV nelle aree di analisi tenendo conto del bilancio termico basato su di un individuo generico e un suo comportamento standard (vedi par. 4.3.2). Il voto espresso dal PMV nelle differenti aree di analisi, permette di effettuare un confronto (e successivamente una valutazione), dei fattori che maggiormente influiscono sul benessere percepito e sul comportamento prestazionale degli elementi che definiscono lo spazio urbano.

Allo scopo di definire una tipizzazione del comportamento degli spazi aperti presenti nei tessuti urbani dell'area di studio, sono stati individuati un numero rappresentativo di spazi aperti urbani, suddivisi in spazi pubblici e spazi collettivi e di pertinenza, al fine di circoscrivere un campione che descrivesse il comportamento tipico in termini di percezione e di comfort dei diversi tessuti dell'area di Napoli Est e del Centro Storico. All'interno di questa prima suddivisione, le aree sono state classificate a seconda della funzione primaria in: 1) strade, 2) piazze e larghi, 3) corti, cortili e spazi di pertinenza (fig. 53). Le aree così suddivise, permettono di impostare una classificazione tipologica,

che tenga conto del comportamento e delle prestazioni offerte in condizioni di temperature estive elevate.



Fig.53 – Individuazione delle aree campione e classificazione secondo la funzione primaria in: 1) strade, 2) piazze e larghi, 3) corti, cortili e spazi di pertinenza

Per ogni area, è stato estratto un valore medio di PMV al 2015 e al 2050s, che potesse esprimere un giudizio in termini di percezione del benessere e della rispondenza all'aumento delle temperature. Le differenze che sono state riscontrate nei valori di PMV rilevati per le aree simulate (tab. 3A in appendice), sono da attribuirsi alle differenti caratterizzazioni degli spazi, alle diverse risposte prestazionali e all'interazione che avviene tra le caratteristiche morfologiche e l'influenza di queste con l'ambiente. A tale scopo sono stati presi in considerazione i criteri che da letteratura scientifica, dalla lettura critica delle best practice e parallelamente dedotti e riscontrati nell'impostazione e configurazione dei software, permettessero di valutare gli scambi termici e il comportamento prestazione di uno spazio aperto urbano:

- l'area totale espressa in m^2 ;
- l'orientamento dello spazio urbano, rispetto alla direzione dei venti prevalenti nella stagione estiva. L'interazione tra il vento e la forma della città, può influenzare il verificarsi di condizioni favorevoli per la riduzione delle temperature in città (cfr. Ratti 2003). Se uno spazio, strada o piazza è rivolto in direzione parallela a quella dei venti prevalenti, questo avrà maggiore possibilità di subire l'azione favorevole dei venti estivi e di dissipare il calore;
- il valore medio di SVF dello spazio urbano analizzato. Questo determina la porzione di cielo osservabile da un punto. La scala che va da 0 (cielo ostruito) a 1 (cielo aperto), ci indica che più si è vicini allo 0, minore è la capacità dello spazio di raffreddarsi nelle ore notturne. Di contro un valore di spazio aperto vicino a 1 è altrettanto sfavorevole per la quantità di

radiazione solare incidente. Per lo spazio urbano è possibile considerare che valori intermedi possono indicare un equilibrio tra l'accumulo e dissipazione della radiazione solare;

- la tipologia e la percentuale dei materiali per le superfici pavimentate. Analizzando i tipi di pavimentazione e la presenza in forma percentuale, si possono definire altre proprietà dello spazio quali:
 - l'albedo medio delle superfici pavimentate, che indica la proprietà di uno spazio di riflettere la radiazione solare o di contro accumulare calore. Maggiore è la riflessione, minore è la quantità di radiazione accumulata. Alti valori di riflessione possono generare fenomeni di discomfort sia termico¹¹⁰ che visivo. Valori medi di albedo possono ridurre gli effetti negativi sulla percezione del benessere;
 - il rapporto tra superfici impermeabili-permeabili. Una maggiore percentuale di superfici permeabili, permette di aumentare la concentrazione di acqua nei suoli e di far attivare fenomeni di evaporazione che consentono di abbassare le temperature;
 - la percentuale di acqua nell'ambiente. La presenza di fonti di acqua (anche nebulizzata) consente di abbassare le temperature nello spazio circostante;
- l'albedo medio delle parti delle facciate degli edifici circostanti. Analogamente per le pavimentazioni, valori intermedi di albedo delle facciate degli edifici possono creare un ambiente urbano maggiormente confortevole, favorendo il dissiparsi dell'energia solare incidente;
- l'albedo medio dei tetti degli edifici circostanti. I tetti con un albedo alto invece, non accumulano la radiazione solare e la riflettono immediatamente nell'atmosfera;
- la percentuale di alberature rispetto alla superficie totale dell'area. Aumentare la percentuale di alberature negli spazi urbani, impedisce alla radiazione solare di colpire il terreno. Di conseguenza aumentando le zone d'ombra si verificano fenomeni di evapotraspirazione;
- la percentuale di corpi d'acqua rispetto l'area totale. Inserendo corpi d'acqua in quiete o in movimento, oltre a ridurre la superficie irraggiata, si immette nell'aria vapore acqueo che permette di abbassare la temperatura dell'aria;

¹¹⁰La somma di radiazione solare ad onda corta e radiazione ad onda lunga emessa è la radiosità, l'energia totale sensibile rilasciata dalla superficie. Materiali con alti valori di albedo, riflettono maggiore radiazione solare e producono una minore temperatura; questo implica l'aumento della radiazione solare ad onda corta, aumentando la radiosità, che può colpire le altre superfici dell'ambiente urbano e ridurre il comfort termico (cfr. Li 2015). Infatti sul comfort termico fisiologico espresso dal PMV o dal PET, quindi sul bilancio termico, influisce l'MRT (Mean Radiant Temperature) che risponde ai flussi radiativi di onde corte e onde lunghe (Mayer 1993, Höpfe 1993).

- la percentuale di sistemi di ombreggiatura rispetto alla superficie totale dell'area. Aumentare le zone d'ombra, impedendo che la radiazione solare colpisca i suoli, favorisce il migliorando il benessere termico dell'area

ID	AREA	GRAFICO	ORIENTAMENTO	MATERIALI SUPERFICIALI	PERCENTUALE ALBERATURE	SVF MEDIO	SUP. PERMEABILI	ALBEDO MEDIO FACCIATE	ALBEDO MEDIO TETTI	ALBEDO MEDIO PAVIMENTAZIONI	PERCENTUALE ACQUA	ELEMENTI DI OMBREGGIAMENTO	PMV MEDIO ESTIVO	PMV MEDIO ESTIVO 2050	
CS-7	940 m ²		S-SE	BASOLI DI PIETRA LAVICA	940 m ² - 100 %	0	0,35	0	0,45	0,40	0,32	0%	0%	5,4	5,83
CS-8	2573 m ²		S-SE	BASOLI DI PIETRA LAVICA	2573 m ² - 100 %	0	0,44	0	0,35	0,50	0,32	0%	0%	5,6	6,05
MU-2	5813 m ²		S-SE	PIETRA LAVICA IN C/PETTI	3726 m ² - 64 %	19,40%	0,61	24%	0,45	0,40	0,21	0%	0%	4,79	5,17
				PIETRA LAVICA IN LASTRE	645 m ² - 11 %										
				PRATO	1412 m ² - 24 %										
MU-3	3036 m ²		SE	BASOLI DI PIETRA LAVICA	119 m ² - 3,9 %	9%	0,66	0%	0,45	0,40	0,33	0%	0%	6,05	6,53
				PIETRA LAVICA IN LASTRE	2919 m ² - 94,1 %										
				PIETRA LAVICA IN CUSCILI	3075 m ² - 82 %										
MU-4	4708 m ²		SW	BASOLI DI PIETRA LAVICA	645 m ² - 14 %	0%	0,86	0%	0,60	0,40	0,14	0%	0%	6,68	7,21
				ASFALTO	188 m ² - 4 %										
MU-5	4420 m ²		S-SE	BASOLI DI PIETRA LAVICA	4118 m ² - 93 %	10%	0,70	0%	0,45	0,40	0,30	0%	0%	5,72	6,18
				ASFALTO	302 m ² - 7 %										

Fig. 54 – Estratto della matrice delle conoscenze tecnologiche e morfologiche degli elementi urbani campione (tab. 3A in appendice)

Ad ogni elemento campione è stato assegnato un codice univoco, utile a riconoscere l'area della città all'interno del quale essa si colloca. C'è da aggiungere che i parametri climatici sono stati considerati come invariati, infatti per il processo di simulazione, anche se effettuato in aree con caratteristiche differenti ma rientranti nella stessa area di influenza climatica, si è stabilito che le condizioni di partenza fossero le stesse, così da fotografare un istante significativo per un periodo di stress climatico estivo.

Il contributo delle simulazioni permette di valutare il comportamento microclimatico delle varie zone della città a partire da dati climatici complessivi per l'area di studio, un vero e proprio downscaling, che aiuta ad identificare le aree a maggiore criticità e vulnerabili all'aumento delle temperature previsto.

I risultati delle aree campione sono così stati suddivisi a seconda del tessuto di appartenenza, e in seguito è stata effettuata un'ulteriore separazione a seconda della tipologia di spazio aperto (strade; piazze e larghi; corti, cortili e spazi di pertinenza). Dal confronto e la lettura dei risultati delle prestazioni di benessere termico estivo (PMV) nella stagione estiva al 2015 e al 2050 sono emerse le evidenti differenze e similitudini del comportamento degli spazi dei diversi tessuti, ed è stato possibile creare dei *cluster* che raggruppavano le aree con il comportamento ambientale simile:

- cluster dei tessuti post '900, composto dal tessuto contemporaneo e dal tessuto moderno;
- cluster dei tessuti '800-'900, composto dal tessuto novecentesco e dal tessuto ottocentesco;
- cluster dei tessuti pre '800, composto dai tessuti pre-ottocenteschi del Centro Storico, del quartiere Barra, del quartiere Ponticelli e del quartiere di San Giovanni a Teduccio.

Questo confronto ha inoltre permesso di stabilire quindi, quali sono le tipologie di elementi urbani e di tessuti su cui occorre intervenire per migliorare le condizioni di comfort termico ambientale.

4.3.4 VALUTAZIONE MULTICRITERIO

A seguito della suddivisione in cluster dei tessuti e delle aree campionate, è necessario provare a valutare quali sono i fattori che maggiormente influenzano il grado di percezione del benessere negli spazi aperti dell'area est di Napoli. Attraverso la costruzione di un sistema di indicatori, è possibile effettuare un'analisi multicriterio, che possa consentirci di attuare un processo decisionale di confronto tra le tipologie di aree omogenee per comprenderne sia il comportamento prestazionale, sia di quali interventi siano necessari per fronteggiare all'aumento delle temperature estive; a tal fine sono stati considerati quei criteri per la classificazione degli elementi urbani che maggiormente garantissero un controllo e una variazione all'interno dei software di simulazione nelle fasi di metaprogettazione degli interventi (tab.9).

Criteri	Indicatori	Descrizione	UM	Verso
CONTESTO	ORIENTAMENTO (rispetto ai venti prevalenti)	L'orientamento di uno spazio aperto nell'area di Napoli Est è da considerarsi ottimale quanto è rivolto in direzione dei venti prevalenti estivi, S-O / N-E. Al contrario un orientamento sfavorevole è quello N-O / S-E: veramente alto a S-O / N-E; alto a S-SO / N-NE e O-SO / E-NE; medio a S-N / E-O; basso a S-SE / N-NW e O-NO / E-SE; veramente basso a S-E / N-O	V. BASSO BASSO MEDIO ALTO V. ALTO	^
	SVF MEDIO	Lo Sky View Factor è la porzione di cielo osservabile da un punto. La scala va da 0 (cielo ostruito) a 1 (cielo aperto). Più ci si è vicini allo 0, minore è la capacità dello spazio di raffreddarsi nelle ore notturne. Di contro un valore di spazio aperto vicino a 1 è altrettanto sfavorevole per la quantità di radiazione solare incidente. Valori medi intorno a 0,50 sono da preferire.	0-1	~ = (0,50)
MATERIALI	SUPERFICI PERMEABILI	Le superfici impermeabili impediscono all'acqua di penetrare nei terreni, impedendo che vi si verifichino fenomeni di evaporazione ed evapotraspirazione che aumenterebbero il grado di umidità nell'aria riducendo le temperature. <i>Maggiore</i> è la superficie permeabile, maggiore sarà il beneficio.	%	^
	ALBEDO MEDIO DELLE FACCIATE DEGLI EDIFICI	L'albedo delle superfici influisce sulla capacità di riflettere la radiazione solare per non consentire che questa venga immagazzinata dai materiali per poi essere rilasciata lentamente sotto forma di calore. Maggiore è la riflessione, minore è la quantità di radiazione accumulata. Di contro un'alta riflessione può essere generare fenomeni di discomfort sia termico che visivo.	0-1	^ (0,28)
	ALBEDO MEDIO DEI TETTI DEGLI EDIFICI	L'albedo delle superfici influisce sulla capacità di riflettere la radiazione solare per non consentire che questa venga immagazzinata dai materiali per poi essere rilasciata lentamente sotto forma di calore. Maggiore è la riflessione, minore è la quantità di radiazione accumulata. Di contro un'alta riflessione può essere generare fenomeni di discomfort sia termico che visivo.	0-1	^ (0,68)
	ALBEDO MEDIO DELLE SUPERFICI PAVIMENTATE	L'albedo delle superfici influisce sulla capacità di riflettere la radiazione solare per non consentire che questa venga immagazzinata dai materiali per poi essere rilasciata lentamente sotto forma di calore. Maggiore è la riflessione, minore è la quantità di radiazione accumulata. Di contro un'alta riflessione può essere generare fenomeni di discomfort sia termico che visivo.	0-1	^ (0,28)
	PERCENTUALE DI CORPI D'ACQUA	La presenza di acqua contribuisce al raffreddamento dell'aria. <i>Maggiore</i> è la quantità di corpi d'acqua, migliori saranno i benefici per il comfort termico estivo.	%	^
ELEMENTI DI OMBREGGIATURA	PERCENTUALE DI ALBERATURE	Le alberature forniscono zone di ombra e innescano fenomeni evapotraspirativi. <i>Maggiore</i> è la presenza di alberature, migliore è il comfort estivo percepito (almeno il 50% dell'area deve essere coperta dalla chioma degli alberi).	%	^
	PERCENTUALE DI SISTEMI DI SCHERMATURA	I sistemi di schermatura forniscono zone d'ombra dove non vi è possibilità di inserire alberature. <i>Maggiore</i> è la quantità di ombra fornita, minore sarà la radiazione solare incidente al suolo	%	^

*calcolato riferendosi al valore di SRI ≥ 28 (prot. LEED), assumendo emissività = 0,90;

** calcolato riferendosi al valore di SRI ≥ 78 (prot. LEED), assumendo emissività = 0,90.

tab.9 – Definizione del sistema di indicatori per la valutazione dei fattori che influiscono sul microclima dello spazio aperto urbano.

Il sistema di indicatori è definito da tre macro categorie, ovvero i *criteri*:

- *Contesto*, che raccoglie gli indicatori dell'*orientamento* rispetto ai venti prevalenti (OR) e del valore medio di *Sky View Factor* (SVF);
- *Materiali*, che raccoglie gli indicatori delle *superfici permeabili* (SP), l'*albedo* delle *facciate degli edifici* (AF), dei *tetti degli edifici* (AT), delle *pavimentazioni* degli spazi aperti (AP), della *percentuale di corpi d'acqua* (AQ);
- *Elementi di ombreggiatura*, che raccoglie gli indicatori della *percentuale di alberature* (AL) e della *percentuale di sistemi di schermatura* (SS).

L'operazione successiva è stata quella di suddividere le aree campione all'interno dei rispettivi cluster e classificarle rispetto la funzione primaria dell'elemento urbano, inserendole poi all'interno delle "Matrici delle conoscenze tecnologiche e morfologiche delle aree campione dei cluster di tessuti" (tab. 4A, 5A, 6A in appendice). I dati sono quindi stati imputati all'interno del software Definite 2.0¹¹¹ allo scopo di eseguire un'analisi multicriterio ed effettuare un confronto tra le tipologie di aree omogenee per determinare le criticità e le carenze prestazionali dello spazio urbano. Sono state così costruite nove matrici, suddivise secondo i cluster di tessuti urbani e alle tipologie di elementi urbani (strade, piazze e larghi, spazi privati e di pertinenza).

	C/B	Unit	PO-1	PO-2	PO-3	PO-4	PO-5	PO-6	PO-7	BA-1	BA-2	BA-3	PO-11
Contesto													
Orientamento		0/++++	++	++	+	+	++++	++++	++++	++	++	++	++
SVF		0-1	53,00	55,00	40,00	50,00	45,00	62,00	48,00	38,00	55,00	27,00	59,00
Materiali													
Superfici permeabili		%	1,00	3,00	32,50	0,00	10,60	7,30	11,30	57,00	4,40	30,00	26,00
Albedo facciate		0-1	0,60	0,60	0,60	0,60	0,65	0,65	0,65	0,78	0,78	0,78	0,45
Albedo tetti		0-1	0,40	0,40	0,40	0,40	0,35	0,35	0,35	0,40	0,40	0,40	0,40
Albedo pavimenti		0-1	0,18	0,19	0,15	0,13	0,21	0,21	0,24	0,24	0,31	0,19	0,28
Acqua		%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ombreggiatura													
Alberature		%	7,00	6,50	7,00	0,00	12,40	5,30	14,00	15,30	14,00	21,00	8,20
Schermature		%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

fig. 55 – Screenshot del software Definite 2.0: esempio dell'inserimento dei dati all'interno del software per la costruzione delle matrici delle conoscenze tecnologiche e morfologiche delle aree campione dei cluster di tessuti.

Al termine di queste fasi è possibile eseguire l'analisi multicriterio. Il metodo scelto per l'intero processo di valutazione è l'ELECTRE II¹¹², che consente di strutturare di un sistema di confronto a coppie tra opzioni alternative, per determinare la preferibilità di un'opzione rispetto ad un'altra.

¹¹¹ Il software Definite 2.0, sviluppato dallo SPINlab - Spatial Information Laboratory della Vrije Universiteit di Amsterdam, è uno strumento informatico di supporto alle decisioni che è stato sviluppato per migliorare la qualità del processo decisionale in materia ambientale.

¹¹² Il metodo ELECTRE - ELimination Et Choix Traduisant la REalité, è stato sviluppato da Bernard Roy nel 1985, ed è attualmente disponibile in quattro differenti versioni principali (ELECTRE I, II, III, IV) e in altre due note come ELECTRE IS ed ELECTRE TRI.

Definita la standardizzazione dei singoli indicatori attraverso la determinazione del tipo di funzione, è necessario che venga definito per ogni cluster di tessuto urbano un grado di ordinamento dei criteri e degli indicatori che consenta di attribuire pesi differenti. Una prima operazione è stata quella di porre sullo stesso piano sia i criteri, sia gli indicatori, al fine di osservare quali aree rispondono positivamente agli elementi di analisi individuati.

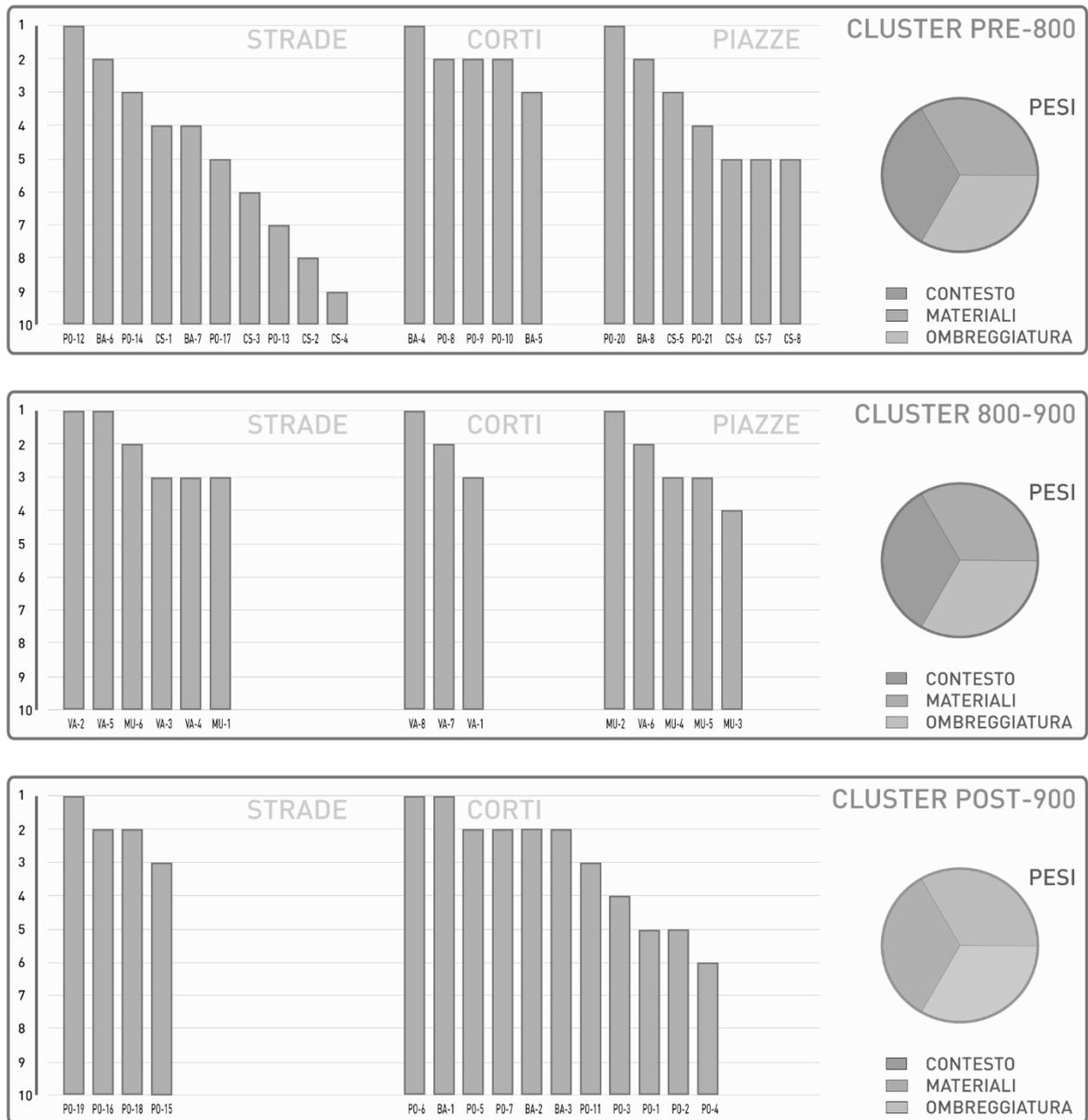


fig. 56 - Risultato dell'analisi multicriterio con equalizzazione dei pesi attribuiti ai criteri e agli indicatori.

Dai risultati ottenuti, le aree nelle ultime posizioni risultano essere quelle che, a parità di peso dei criteri e gli indicatori scelti, presentano maggiori criticità.

A seguito di questa prima lettura, si è scelto di assegnare una differente gerarchia e pesi diversi ai criteri e agli indicatori a seconda della lettura delle caratteristiche morfologiche e ambientali dei

tessuti analizzati (tab. 10). Questo vuol dire che a ciascun criterio e indicatore viene assegnata una preferenza che ne esprima la sua preferibilità relativa.

CRITERI	CONTESTO			MATERIALI				ELEMENTI DI OMBREGGIATURA		
	INDICATORI	SVF	OR	SP	AF	AT	AP	AQ	AL	SS
CLUSTER PRE-800		1	2	5	4	6	3	7	8	9
CLUSTER 800-900		8	9	4	5	6	3	7	1	2
CLUSTER POST-900		1	2	5	7	8	6	9	3	4

tab.10 - Ordine di preferibilità e pesatura dei criteri e degli indicatori rispetto ai cluster di tessuti analizzati.

È stato necessario ripetere l'analisi multicriterio ed estrarre nuovamente i risultati (Fig. 57).

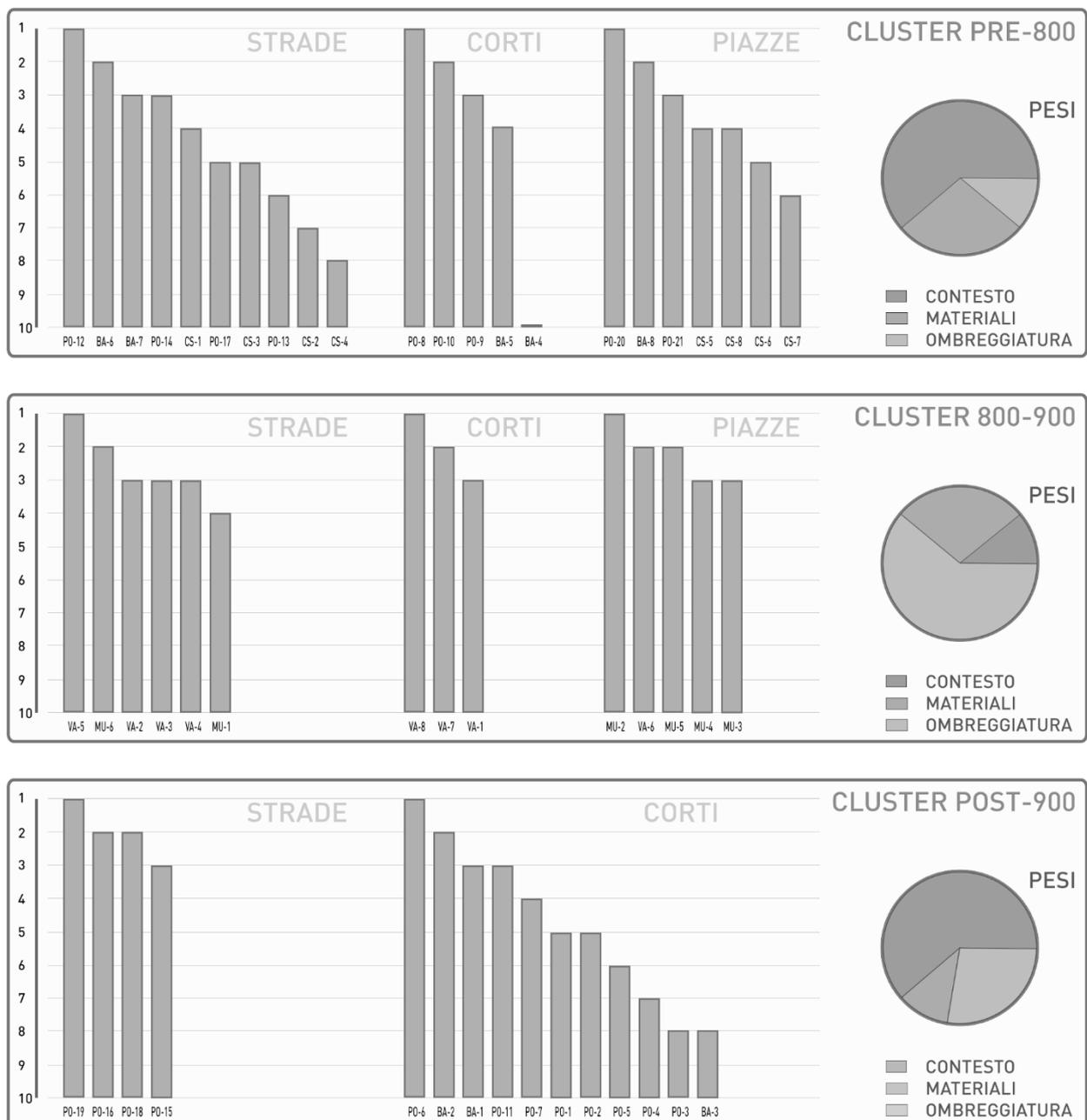


fig. 57 - Risultato dell'analisi multicriterio con pesatura dei criteri e indicatori.

Dai risultati notiamo che differenziando l'attribuzione dei pesi, l'andamento delle preferenze, seppur modificatosi, mantiene lo stesso andamento; le aree che dall'analisi multicriterio con pesi equalizzati risultavano maggiormente critiche, lo si dimostrano anche nella seconda fase di analisi, validando la corretta attribuzione dei pesi ai criteri e agli indicatori.

Infine, attraverso l'analisi di sensitività¹¹³ all'interno del software, che restituisce una lettura grafica dell'ipotesi in cui venisse impostato un grado di preferenza differente ad ogni criterio, si ottiene una chiara lettura dell'influenza che ogni gruppo di indicatori considerati ha sulle differenti aree, consentendoci di ottenere un quadro complessivo sulla rispondenza ai criteri selezionati (Fig. 1A, 2A, 3A, 4A in appendice). Questo processo, ci permette così di identificare non solo le aree sulle quali risulta necessario intervenire, ma soprattutto orientare delle strategie di intervento specifiche per ogni tessuto e ogni categoria di elementi urbani.

4.3.5 VERIFICA METAPROGETTUALE

Dopo aver eseguito la valutazione multicriterio delle caratteristiche urbane che maggiormente influenzano il microclima urbano, è stato necessario identificare un numero ristretto di aree tra quelle esaminate da sottoporre ad una valutazione più dettagliata attraverso una verifica metaprogettuale. In particolare si è scelto di verificare quelle aree che all'interno dei cluster, avessero fatto registrare sia una prestazione del comfort termico percepito su valori intermedi di PMV, sia escludendo le aree che hanno fatto registrare valori agli estremi negativi e positivi. Dall'analisi multicriterio si è potuto valutare il comportamento delle aree con caratteristiche omogenee all'interno dei tessuti e di quali azioni avessero quindi maggiore necessità per fronteggiare l'aumento delle temperature estive. Questa lettura ha permesso di individuare quelle aree urbane maggiormente significative per descrivere il comportamento microclimatico interno ai differenti cluster dei tessuti (fig. 58). Inoltre sono state escluse quelle categorie di spazi il cui campione non risultasse significativamente rilevante.

¹¹³Questa analisi consiste nel valutare gli effetti sui risultati forniti da un modello (ossia dalla funzione che lo descrive analiticamente) indotti da modifiche nei valori delle variabili di ingresso. Si parla in genere di analisi per scenari (futuri), laddove uno scenario rappresenta una tra le possibili combinazioni di valori assunti dalle variabili indipendenti, o di analisi *what if*, in quanto si va a valutare *cosa* cambia *se* cambiano i valori assunti dai parametri decisionali. cfr. Scarso E., *La valutazione economica dei progetti di R&D Richiami alla teoria e ai più recenti metodi in uso*, Cap. 3, Università di Padova, Mimeo, 2000.



Fig.58 – Individuazione delle aree per il testing simulativo dell'incidenza sul benessere microclimatico di soluzioni progettuali per lo spazio aperto.

Le aree test scelte (identificate con la lettera T), sono: 1) l'area CS-1 come strada rappresentativa del tessuto pre '800, ora identificata con il codice TP8S; 2) l'area CS-7 come piazza rappresentativa del tessuto pre '800, ora identificata con il codice TP8P; 3) l'area MU-3 come strada rappresentativa del tessuto '800 - '900, ora identificata con il codice T89S; 4) l'area VA-5 come piazza rappresentativa del tessuto '800 - '900, ora identificata con il codice T89P; 5) l'area PO-15 come strada rappresentativa del tessuto post '900, ora identificata con il codice TP9S; 6) le aree PO-5 e PO-6 come spazi collettivi rappresentativi del tessuto post '900, ora identificate con il codice TP9C.

METAPROGETTO

Il metaprogetto, come definito da Magnaghi (1978), è "inteso come *invariante strutturale* del sistema di soluzioni progettuali contemplato, presenta un grado di complessità proporzionale al *numero* di fattori di cui si ammetta la variabilità in ogni intervento specifico e al *grado di variabilità* ammesso per ogni fattore". Il metaprogetto è quindi una fase che va anch'essa progettata, e i suoi elementi mutano al variare degli obiettivi e delle esigenze.

La norma "UNI 10723 - Processo edilizio - Classificazione e definizione delle fasi processuali degli interventi edilizi di nuova costruzione", definisce il metaprogetto, o fase metaprogettuale, come quella fase all'interno del processo decisionale di un intervento edilizio, che esplicita l'insieme delle fasi che concorrono alla raccolta e alla correlazione degli obiettivi, degli strumenti a disposizione e delle condizioni specifiche del contesto in cui si interviene, fisiche e normative, allo scopo di predisporre la successiva fase di progettazione, esecuzione e gestione del processo edilizio. Le fasi del metaprogetto definite dalla UNI 10723 sono:

- l'individuazione dell'intervento;
- la metaprogettazione delle unità ambientali*;
- la metaprogettazione degli elementi spaziali*;
- la metaprogettazione delle unità tecnologiche*;
- la metaprogettazione degli elementi tecnici*;
- la metaprogettazione economica dell'intervento.

* UNI 7867 Parte IV, UNI 8290.

Per valutare l'incidenza sul miglioramento delle condizioni di benessere che potrebbero restituire le soluzioni e strategie di climate adaptive design dedotte dalle best practice (tab. 3), ogni area è stata sottoposta ad un processo di simulazione mediante il software ENVI-met, sia alle condizioni attuali che al 2050s. Agendo sulla modificazione dei parametri di configurazione o sul disegno dell'area da testare, è stata eseguito un processo ricorsivo di test e verifica di azioni metaprogettuali di adaptive design. Sfruttando le potenzialità del software, sono stata individuate quelle azioni di adaptive design che, attraverso il software, fosse possibile testare, effettuando simulazioni di quelle aree che sono state ritenute rappresentative del comportamento microclimatico dei cluster di tessuti urbani individuati:

- AF 0.28 - Albedo delle facciate degli edifici = 0.28, non agendo sulla trasmittanza termica dei muri;
- AF 0.40 - Albedo delle facciate degli edifici = 0.40, non agendo sulla trasmittanza termica dei muri;
- AF 0.50 - Albedo delle facciate degli edifici = 0.50, non agendo sulla trasmittanza termica dei muri;
- AT 0.68 - Albedo dei tetti degli edifici = 0.68, non agendo sulla trasmittanza termica dei tetti;
- AT 0.90 - Albedo dei tetti degli edifici = 0.90, non agendo sulla trasmittanza termica dei tetti;
- TV - Inserimento di tetti verdi sugli edifici, non agendo sulla trasmittanza termica dei tetti;
- AP 0.28 - Albedo delle pavimentazioni esterne = 0.28, non modificando la conducibilità termica del materiale;
- AP 0.40 - Albedo delle pavimentazioni esterne = 0.40, non modificando la conducibilità termica dei materiali;
- AP 0.50 - Albedo delle pavimentazioni esterne = 0.50, non modificando la conducibilità termica dei materiali;

- PP - Aumento della superficie permeabile, non modificando la conducibilità termica dei materiali;
- AQ - Inserimento di specchi d'acqua in quantità differenti nei differenti tessuti;
- AL - Aumento della presenza di alberature in quantità differenti nei differenti tessuti;
- OM - Inserimento di sistemi di ombreggiamento in quantità differenti nei differenti tessuti.

L'albedo delle facciate, dei tetti degli edifici e delle pavimentazioni esterne sono stati simulati con differenti valori di riflettanza termica al fine di comprendere in che direzione, negativa o positiva, avvenisse l'incremento prestazionale. Per ogni tessuto ed elemento urbano, sono stati adottati differenti percentuali di applicazione metaprogettuale delle soluzioni, ipotizzando un differente grado di accoglienza e di reale fattibilità degli interventi (tetto verde, alberature, corpi d'acqua e sistemi di ombreggiamento). Inoltre per le aree è stata impostata un differente rugosità dell'edificato, che consente al software di identificare il contesto, centro città o periferia, nel quale queste ricadono. Nella tab. 11, sono indicate le soluzioni simulate e in che percentuale sono state applicate alle differenti configurazioni metaprogettuali nei sei ambiti di intervento.

	TP8S	TP8P	T89S	T89P	TP9S	TP9C
AF 0.28	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %
AF 0.40	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %
AF 0.50	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %
AT 0.68	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %
AT 0.90	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %
TV	● 100 %	● 81 %	● 96 %	● 86 %	● 96 %	● 98 %
AP 0.28	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %
AP 0.40	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %
AP 0.50	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %
PP	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %	● 100 %
AL	● 41 %	● 26 %	● 41 %	● 60 %	● 50 %	● 60 %
AQ	○ -	● 14 %	○ -	● 12 %	○ -	● 15 %
OM	● 20 %	● 11 %	● 32 %	● 17 %	● 19 %	● 32 %

tab. 11 - Soluzioni simulate e in di applicazione alle configurazioni metaprogettuali negli ambiti di testing d'intervento.

Le differenti percentuali nell'applicazione di alcune soluzioni come ad esempio le alberature, o le quantità di tetti verdi, rispondono alla capacità del tessuto di accogliere la soluzione; questo dipende in primo luogo dalla morfologia del tessuto, ad esempio una strada che abbia una sezione stradale ridotta, non sarà in grado di accogliere più di una certa percentuale di alberature, oppure non tutti i tetti possono essere trasformati in tetti verdi, se si pensa a quelli di chiese e complessi monumentali. Inoltre la presenza di tessuti storici, impone il rispetto sia di indirizzi provenienti da soggetti portatori di interessi, sia da istanze storiche al fine di ottenere una coerente trasformazione degli spazi pubblici. Al termine del processo di simulazione sono stati estratti i risultati delle analisi. Di seguito

sono riportati in tabelle i dati ottenuti a seguito delle simulazioni metaprogettuali e il confrontato con i dati riguardanti l'analisi sullo stato attuale dei luoghi (i grafici di output relativi alle simulazioni sono riportati in appendice).

		PMV MED.	PMV MIN.	PMV MAX.	Ta MED. °C	Ta MIN. °C	Ta MAX. °C
TP8S 2015	SDF	4,42	2,00	6,14	31,13	29,64	32,43
	AF 0.28	4,66	2,23	6,35	31,28	29,75	32,61
	AF 0.40	5,02	2,52	6,66	31,51	29,93	32,87
	AF 0.50	5,31	2,75	6,91	31,70	30,08	33,08
	AT 0.68	4,37	2,00	6,04	30,96	29,55	32,12
	AT 0.90	4,35	2,00	6,01	30,88	29,33	32,01
	TV	4,42	2,00	6,14	31,13	29,62	32,44
	AP 0.28	4,48	2,01	5,71	30,62	29,64	31,41
	AP 0.40	4,58	2,01	5,91	30,45	29,64	31,09
	AP 0.50	4,66	2,00	6,06	30,31	29,63	30,83
	PP	3,74	1,82	4,71	29,16	28,75	29,43
	AL	2,67	1,39	4,59	27,90	26,94	29,06
	AQ	-	-	-	-	-	-
	OM	4,03	1,87	5,80	30,23	28,83	31,44

tab.12 - Risultati delle simulazioni metaprogettuali e il confrontato con lo stato di fatto per l'area test TP8S: valori di PMV e di temperatura dell'aria (Ta) massimi, minimi e medi al 2015. In blu le soluzioni maggiormente efficaci.

		PMV MED.	PMV MIN.	PMV MAX.	Ta MED. °C	Ta MIN. °C	Ta MAX. °C
TP8S 2050s	SDF	4,78	2,16	6,63	33,62	32,01	35,02
	AF 0.28	5,04	2,41	6,86	33,78	32,13	35,22
	AF 0.40	5,42	2,72	7,19	34,03	32,32	35,50
	AF 0.50	5,73	2,97	7,46	34,24	32,49	35,73
	AT 0.68	4,72	2,16	6,52	33,43	31,91	34,69
	AT 0.90	4,70	2,16	6,49	33,35	31,68	34,57
	TV	4,77	2,16	6,63	33,62	31,99	35,04
	AP 0.28	4,84	2,17	6,17	33,07	32,01	33,92
	AP 0.40	4,94	2,17	6,38	32,88	32,01	33,58
	AP 0.50	5,04	2,16	6,54	32,73	32,00	33,30
	PP	4,04	1,97	5,09	31,49	31,05	31,78
	AL	2,89	1,50	4,96	30,13	29,10	31,38
	AQ	-	-	-	-	-	-
	OM	4,36	2,02	6,26	32,65	31,14	33,96

tab.13 - Risultati delle simulazioni metaprogettuali e il confrontato con lo stato di fatto per l'area test TP8S: valori di PMV e di temperatura dell'aria (Ta) massimi, minimi e medi al 2050s. In blu le soluzioni maggiormente efficaci.

		PMV MED.	PMV MIN.	PMV MAX.	Ta MED. °C	Ta MIN. °C	Ta MAX. °C
TP8P 2015	SDF	4,37	1,96	5,82	30,60	29,14	31,29
	AF 0.28	4,67	2,26	6,08	30,79	29,27	31,48
	AF 0.40	5,11	2,65	6,47	31,06	29,48	31,78
	AF 0.50	5,47	3,00	6,78	31,30	29,66	32,02
	AT 0.68	4,31	1,96	5,75	30,39	29,14	31,00
	AT 0.90	4,28	1,96	5,73	30,30	29,14	30,90
	TV	4,35	1,96	5,80	30,56	29,13	31,22
	AP 0.28	4,25	1,96	5,63	30,49	29,15	31,12
	AP 0.40	4,32	1,96	5,81	30,24	29,14	30,76
	AP 0.50	4,38	1,96	5,95	30,04	29,13	30,46
	PP	3,49	1,80	4,52	28,93	28,43	29,17
	AL	2,91	1,36	4,83	27,61	26,69	28,15
	AQ	3,89	1,82	5,51	29,59	28,45	30,12
	OM	4,02	1,82	5,56	29,82	28,42	30,47

tab.14 - Risultati delle simulazioni metaprogettuali e il confrontato con lo stato di fatto per l'area test TP8P: valori di PMV e di temperatura dell'aria (Ta) massimi, minimi e medi al 2015.

		PMV MED.	PMV MIN.	PMV MAX.	Ta MED. °C	Ta MIN. °C	Ta MAX. °C
TP8P 2050s	SDF	4,72	2,12	6,29	33,05	31,47	33,79
	AF 0.28	5,04	2,44	6,57	33,25	31,61	34,00
	AF 0.40	5,52	2,86	6,99	33,55	31,84	34,32
	AF 0.50	5,91	3,24	7,32	33,80	32,03	34,58
	AT 0.68	4,65	2,12	6,21	32,82	31,47	33,48
	AT 0.90	4,63	2,12	6,19	32,73	31,47	33,37
	TV	4,70	2,12	6,26	33,00	31,46	33,72
	AP 0.28	4,59	2,12	6,08	32,93	31,48	33,61
	AP 0.40	4,67	2,12	6,27	32,66	31,47	33,22
	AP 0.50	4,73	2,12	6,43	32,44	31,46	32,90
	PP	3,77	1,94	4,88	31,24	30,70	31,50
	AL	3,14	1,47	5,22	29,82	28,83	30,40
	AQ	4,20	1,97	5,95	31,96	30,73	32,53
	OM	4,34	1,97	6,00	32,21	30,69	32,91

tab.15 - Risultati delle simulazioni metaprogettuali e il confrontato con lo stato di fatto per l'area test TP8P: valori di PMV e di temperatura dell'aria (Ta) massimi, minimi e medi al 2050s. In blu le soluzioni maggiormente efficaci.

		PMV MED.	PMV MIN.	PMV MAX.	Ta MED. °C	Ta MIN. °C	Ta MAX. °C
T89S 2015	SDF	5,03	2,21	6,09	31,58	30,62	32,64
	AF 0.28	5,24	2,40	6,29	31,69	30,72	32,85
	AF 0.40	5,53	2,69	6,60	31,85	30,83	33,13
	AF 0.50	5,77	2,92	6,95	31,99	30,92	33,37
	AT 0.68	5,00	2,21	6,05	31,46	30,63	32,17
	AT 0.90	4,98	2,21	6,04	31,38	30,61	32,01
	TV	5,00	2,21	6,08	31,51	30,61	32,38
	AP 0.28	4,98	2,13	5,82	31,02	30,61	31,61
	AP 0.40	5,15	2,11	6,04	30,86	30,47	31,36
	AP 0.50	5,29	2,09	6,21	30,73	30,44	31,20
	PP	4,04	1,75	4,75	29,38	29,14	30,00
	AL	3,47	1,39	5,24	28,78	27,45	30,70
	AQ	-	-	-	-	-	-
	OM	4,70	1,96	5,74	30,51	29,32	31,67

tab.16 - Risultati delle simulazioni metaprogettuali e il confrontato con lo stato di fatto per l'area test T89S: valori di PMV e di temperatura dell'aria (Ta) massimi, minimi e medi al 2015. In blu le soluzioni maggiormente efficaci.

		PMV MED.	PMV MIN.	PMV MAX.	Ta MED. °C	Ta MIN. °C	Ta MAX. °C
T89S 2050s	SDF	5,44	2,39	6,58	34,11	33,07	35,25
	AF 0.28	5,65	2,59	6,79	34,23	33,18	35,48
	AF 0.40	5,97	2,91	7,13	34,40	33,30	35,78
	AF 0.50	6,23	3,15	7,51	34,54	33,39	36,04
	AT 0.68	5,40	2,39	6,53	33,97	33,08	34,74
	AT 0.90	5,38	2,39	6,52	33,89	33,06	34,57
	TV	5,40	2,39	6,57	34,03	33,06	34,97
	AP 0.28	5,38	2,30	6,29	33,50	33,06	34,14
	AP 0.40	5,56	2,28	6,52	33,33	32,91	33,87
	AP 0.50	5,71	2,26	6,71	33,19	32,88	33,70
	PP	4,36	1,89	5,13	31,74	31,47	32,40
	AL	3,75	1,50	5,66	31,08	29,65	33,16
	AQ	-	-	-	-	-	-
	OM	5,08	2,12	6,20	32,95	31,67	34,20

tab.17 - Risultati delle simulazioni metaprogettuali e il confrontato con lo stato di fatto per l'area test T89S: valori di PMV e di temperatura dell'aria (Ta) massimi, minimi e medi al 2050s. In blu le soluzioni maggiormente efficaci.

		PMV MED.	PMV MIN.	PMV MAX.	Ta MED. °C	Ta MIN. °C	Ta MAX. °C
T89P 2015	SDF	6,39	2,43	7,61	34,17	31,73	39,22
	AF 0.28	6,46	2,59	7,72	34,25	31,33	39,33
	AF 0.40	6,58	2,82	7,87	34,39	32,05	39,49
	AF 0.50	6,69	3,01	8,04	34,52	32,24	39,63
	AT 0.68	6,32	2,43	7,51	33,97	31,44	39,01
	AT 0.90	6,30	2,42	7,47	33,89	31,10	38,93
	TV	6,33	2,42	7,49	33,98	31,68	38,73
	AP 0.28	6,16	2,41	7,28	33,80	31,68	38,78
	AP 0.40	6,30	2,36	7,39	33,26	31,54	38,20
	AP 0.50	6,39	2,32	7,46	32,81	31,40	37,71
	PP	4,65	1,77	5,16	30,33	29,58	30,85
	AL	2,69	1,05	5,38	28,03	26,47	31,16
	AQ	5,68	2,06	6,93	32,36	30,01	37,19
	OM	5,94	2,04	7,15	32,70	30,00	37,89

tab.18 - Risultati delle simulazioni metaprogettuali e il confrontato con lo stato di fatto per l'area test T89P: valori di PMV e di temperatura dell'aria (Ta) massimi, minimi e medi al 2015. In blu le soluzioni maggiormente efficaci.

		PMV MED.	PMV MIN.	PMV MAX.	Ta MED. °C	Ta MIN. °C	Ta MAX. °C
T89P 2050s	SDF	6,90	2,62	8,22	36,91	34,27	42,36
	AF 0.28	6,98	2,80	8,34	36,99	33,84	42,48
	AF 0.40	7,11	3,05	8,50	37,14	34,61	42,65
	AF 0.50	7,22	3,25	8,68	37,29	34,82	42,80
	AT 0.68	6,83	2,62	8,11	36,69	33,96	42,13
	AT 0.90	6,81	2,61	8,07	36,60	33,59	42,04
	TV	6,83	2,61	8,09	36,70	34,21	41,83
	AP 0.28	6,65	2,60	7,86	36,51	34,21	41,88
	AP 0.40	6,80	2,55	7,98	35,92	34,06	41,26
	AP 0.50	6,91	2,51	8,06	35,43	33,91	40,73
	PP	5,02	1,91	5,57	32,76	31,95	33,32
	AL	2,91	1,13	5,81	30,28	28,59	33,65
	AQ	6,13	2,22	7,48	34,95	32,41	40,21
	OM	6,42	2,20	7,72	35,31	32,40	40,92

tab.19 - Risultati delle simulazioni metaprogettuali e il confrontato con lo stato di fatto per l'area test T89P: valori di PMV e di temperatura dell'aria (Ta) massimi, minimi e medi al 2050s. In blu le soluzioni maggiormente efficaci.

		PMV MED.	PMV MIN.	PMV MAX.	Ta MED. °C	Ta MIN. °C	Ta MAX. °C
TP9S 2015	SDF	4,86	1,90	5,99	31,45	30,13	32,50
	AF 0.28	4,99	1,93	6,17	31,51	30,16	32,59
	AF 0.40	5,17	1,97	6,45	31,61	30,20	32,72
	AF 0.50	5,32	2,00	6,67	31,69	30,23	32,84
	AT 0.68	4,78	1,90	5,87	31,17	30,12	32,06
	AT 0.90	4,75	1,90	5,83	31,07	30,11	31,92
	TV	4,83	1,90	5,97	31,39	30,12	32,40
	AP 0.28	4,88	1,90	5,90	30,97	30,12	31,61
	AP 0.40	5,02	1,90	6,08	30,85	30,12	31,49
	AP 0.50	5,12	1,90	6,28	30,75	30,11	31,40
	PP	4,07	1,73	5,53	29,51	28,98	30,30
	AL	3,22	1,14	5,08	28,49	26,94	30,03
	AQ	-	-	-	-	-	-
	OM	4,52	1,72	5,68	30,43	28,99	31,60

tab.20 - Risultati delle simulazioni metaprogettuali e il confrontato con lo stato di fatto per l'area test TP9S: valori di PMV e di temperatura dell'aria (Ta) massimi, minimi e medi al 2015. In blu le soluzioni maggiormente efficaci.

		PMV MEDIO	PMV MIN.	PMV MAX.	T.ARIA MEDIA °C	T.ARIA MIN. °C	T.ARIA MAX. °C
TP9S 2050s	SDF	5,25	2,05	6,47	33,97	32,54	35,10
	AF 0.28	5,39	2,08	6,66	34,04	32,57	35,20
	AF 0.40	5,59	2,13	6,97	34,14	32,62	35,34
	AF 0.50	5,75	2,16	7,20	34,22	32,65	35,47
	AT 0.68	5,16	2,05	6,34	33,67	32,53	34,62
	AT 0.90	5,13	2,05	6,30	33,55	32,52	34,47
	TV	5,22	2,05	6,45	33,90	32,53	34,99
	AP 0.28	5,27	2,05	6,37	33,45	32,53	34,14
	AP 0.40	5,42	2,05	6,57	33,31	32,53	34,01
	AP 0.50	5,53	2,05	6,78	33,21	32,52	33,91
	PP	4,40	1,87	5,97	31,87	31,30	32,72
	AL	3,48	1,23	5,49	30,76	29,10	32,43
	AQ	-	-	-	-	-	-
	OM	4,88	1,86	6,13	32,87	31,31	34,13

tab.21 - Risultati delle simulazioni metaprogettuali e il confrontato con lo stato di fatto per l'area test TP9S: valori di PMV e di temperatura dell'aria (Ta) massimi, minimi e medi al 2050s. In blu le soluzioni maggiormente efficaci.

		PMV MED.	PMV MIN.	PMV MAX.	Ta MED. °C	Ta MIN. °C	Ta MAX. °C
TP9C 2015	SDF	5,32	2,11	6,36	31,76	30,73	32,42
	AF 0.28	5,43	2,32	6,54	31,82	30,77	32,49
	AF 0.40	5,58	2,63	6,79	31,91	30,82	32,60
	AF 0.50	5,71	2,73	7,00	31,99	30,87	32,70
	AT 0.68	5,27	2,10	6,28	31,60	30,73	32,21
	AT 0.90	5,26	2,10	6,25	31,54	30,73	32,14
	TV	5,31	2,10	6,34	31,73	30,71	32,35
	AP 0.28	5,23	2,03	5,90	31,21	30,69	31,68
	AP 0.40	5,41	2,01	6,12	31,06	30,68	31,49
	AP 0.50	5,55	2,00	6,28	30,93	30,59	31,34
	PP	4,25	1,68	4,78	29,51	29,24	29,98
	AL	2,49	1,08	5,27	27,56	26,41	29,83
	AQ	4,75	1,93	5,90	30,37	29,38	31,07
OM	4,96	1,95	5,97	30,69	29,53	31,33	

tab.22 - Risultati delle simulazioni metaprogettuali e il confrontato con lo stato di fatto per l'area test TP9C: valori di PMV e di temperatura dell'aria (Ta) massimi, minimi e medi al 2015. In blu le soluzioni maggiormente efficaci.

		PMV MED.	PMV MIN.	PMV MAX.	Ta MED. °C	Ta MIN. °C	Ta MAX. °C
TP9C 2050s	SDF	5,75	2,28	6,87	34,30	33,19	35,01
	AF 0.28	5,86	2,51	7,05	34,36	33,23	35,09
	AF 0.40	6,03	2,84	7,33	34,47	33,29	35,21
	AF 0.50	6,17	2,95	7,56	34,55	33,34	35,32
	AT 0.68	5,70	2,27	6,78	34,13	33,19	34,79
	AT 0.90	5,68	2,27	6,75	34,07	33,19	34,71
	TV	5,73	2,27	6,85	34,27	33,17	34,94
	AP 0.28	5,65	2,19	6,37	33,71	33,15	34,21
	AP 0.40	5,84	2,17	6,61	33,54	33,13	34,01
	AP 0.50	5,99	2,16	6,78	33,41	33,04	33,85
	PP	4,59	1,81	5,16	31,87	31,58	32,38
	AL	2,69	1,17	5,69	29,76	28,52	32,22
	AQ	5,14	2,08	6,37	32,79	31,73	33,56
OM	5,36	2,11	6,45	33,14	31,89	33,84	

tab.23 - Risultati delle simulazioni metaprogettuali e il confrontato con lo stato di fatto per l'area test TP9C: valori di PMV e di temperatura dell'aria (Ta) massimi, minimi e medi al 2050s. In blu le soluzioni maggiormente efficaci.

Quanto emerge dalle simulazioni conferma l'efficacia di soluzioni quali: l'incremento delle percentuali di alberature, l'uso di pavimentazioni permeabili, l'applicazione di sistemi di ombreggiatura, anche solo stagionali, l'aumento dell'albedo dei tetti, l'inserimento di corpi d'acqua; la soluzione dell'aumento dell'albedo delle facciate, risulta essere una strategia negativa, determinata dall'aumento dei livelli di riflettenza delle facciate degli edifici, che facendo aumentare

la temperatura media radiante (T_{mrt}), ha un effetto negativo sulla percezione del benessere nello spazio aperto. L'uso di pavimentazioni con albedo più alto e valori di conducibilità termica di materiali tradizionali, consente sì di abbassare le temperature dell'aria, ma allo stesso tempo, seguendo un andamento inverso a queste, favorisce fenomeni che peggiorano la condizione di benessere termico nell'ambiente.

4.4 RISULTATI E CONSIDERAZIONI SUL CASO APPLICATIVO

Le verifiche effettuate sulle aree di test ci permettono di stabilire in che misura può essere ottenuto un miglioramento dei livelli di performance microclimatica nelle aree analizzate e quali soluzioni di climate adaptive design è preferibile adottare all'interno dei diversi cluster di tessuti allo scopo di definire strategie *site-specific* di adattamento. Di seguito è riportata una tabella che descrive il ranking di preferibilità delle soluzioni adottate nelle aree test, che esprime in maniera percentuale l'incremento positivo o negativo dei valori di comfort termico (PMV).

	TP8S		TP8P		T89S		T89P		TP9S		TP9C	
AF 0.28	-	+ 5,46%	-	+ 6,95%	-	+ 4,02%	-	+ 1,16%	-	+ 2,61%	-	+ 1,99%
AF 0.40	-	+ 13,51%	-	+ 17,10%	-	+ 9,87%	-	+ 3,04%	-	+ 6,43%	-	+ 4,96%
AF 0.50	-	+ 19,98%	-	+ 25,27%	-	+ 14,68%	-	+ 4,69%	-	+ 9,55%	-	+ 7,39%
AT 0.68	5	- 1,11%	7	- 1,37%	6	- 0,63%	8	- 0,96%	5	- 1,60%	7	- 0,88%
AT 0.90	4	- 1,55%	6	- 1,89%	5	- 1,09%	7	- 1,31%	4	- 2,20%	6	- 1,21%
TV	6	- 0,06%	9	- 0,41%	7	- 0,62%	9	- 0,92%	6	- 0,54%	8	- 0,24%
AP 0.28	-	+ 1,30%	5	- 2,74%	4	- 1,10%	5	- 3,52%	-	+ 0,38%	5	- 1,61%
AP 0.40	-	+ 3,46%	8	- 1,03%	-	+ 2,36%	6	- 1,36%	-	+ 3,20%	-	+ 1,71%
AP 0.50	-	+ 5,46%	-	+ 0,21%	-	+ 5,08%	-	+ 0,12%	-	+ 5,39%	-	+ 4,30%
PP	2	- 15,45%	2	- 20,01%	2	- 19,75%	2	- 27,15%	2	- 16,18%	2	- 20,14%
AL	1	- 39,55%	1	- 33,35%	1	- 30,99%	1	- 57,86%	1	- 33,76%	1	- 53,20%
AQ	-	-	3	- 11,01%	-	-	3	- 11,07%	-	-	3	- 10,63%
OM	3	- 8,81%	4	- 7,98%	3	- 6,57%	4	- 6,94%	3	- 6,97%	4	- 6,70%

tab. 24 – Ranking di preferibilità sui dati di miglioramento delle prestazioni di comfort PMV nelle aree test.

Il ranking ottenuto, consente di valutare quali azioni di climate adaptive design permettono di ottenere migliori risultati alla riduzione delle alte temperatura in città e di quantificare il miglioramento in termini di benessere microclimatico percepito ottenibile. Dall'osservazione dei dati, i risultati migliori sono ottenuti in tutte le aree test dall'inserimento di alberature e dall'uso di pavimentazioni permeabili che, grazie all'aumento delle zone d'ombra e l'innescò di fenomeni evaporativi ed evapotraspirativi, consente in alcuni casi di migliorare drasticamente la percezione del comfort termico; aumentare l'albedo delle pavimentazioni non risulta una strategia veramente

efficace, in alcuni casi ha restituito risultati negativi, associando un andamento che vede l'aumentare della sensazione di discomfort termico con l'aumentare del fattore di albedo. L'uso di corpi e specchi d'acqua, se pur in quantità limitate (tra il 10% e il 15% della superficie totale delle arre di test), può garantire un buon miglioramento delle condizioni di comfort; all'interno di spazi molto ampi infatti, le quantità di specchi d'acqua integrabili possono essere inserite con percentuali maggiori, allo scopo di abbassare maggiormente le temperature. L'applicazione di strutture di ombreggiamento temporanee, ad esempio tensostrutture, chioschi e tende lungo le pareti degli edifici, o di elementi fissi come i pergolati, hanno un effetto indiscutibilmente positivo, infatti riducendo la porzione di superficie irraggiata, aumentano le zone di ombra, creando zone in cui le temperature più basse hanno influenza diretta sul benessere percepito. Gli interventi sulle coperture degli edifici, come ad esempio l'uso di materiali cool o di tetti verdi, garantiscono un ridotto beneficio sullo spazio aperto; in questa categoria di soluzioni, l'uso di materiali con valori di albedo che si avvicinano ad 1 risultano maggiormente efficaci. Una risposta negativa è invece emersa dall'applicazioni di soluzioni che puntano all'aumento dei valori di albedo per le facciate degli edifici, infatti più alto è il valore di riflessione, maggiore è la sensazione di discomfort percepita, oltre ad un conseguente aumento delle temperature dell'aria; questo fenomeno può essere spiegato dal fatto che l'aumento della capacità riflettente di elementi verticali, crea numerose fenomeni di riflessione che intrappolano le radiazioni termiche, aumentando la quantità di energia termica assorbita dai materiali dello spazio aperto e che poi viene restituita nell'ambiente sotto forma di temperatura radiante.

La procedura sperimentale sviluppata e applicata all'area di studio, ha permesso di ottenere informazioni e dati utili per comprendere quali sono le caratteristiche dello spazio aperto che influenzano maggiormente la percezione del comfort nell'area napoletana e di quali azioni strategiche di adattamento servirsi per ridurre le temperature all'interno dei tessuti urbani analizzati, incrementando il livello di comfort percepito.

L'applicazione di una strategia di intervento diffusa sull'intero ambito di studio, che preveda l'uso combinato delle soluzioni progettuali che maggiormente possano assicurare benefici microclimatici nello spazio aperto, può garantire un miglioramento diffuso, anche lì dove non è possibile intervenire. Infatti le aree in cui possono essere raggiunti livelli di comfort migliori, avranno un'influenza positiva sia sugli edifici, sia sulle altre aree immediatamente vicine¹¹⁴.

¹¹⁴cfr. Doick K., Hutchings T., *Air temperature regulation by urban trees and green infrastructure*, Forestry Commission, Farnham, UK, 2013. Nello studio viene fatta una rassegna degli studi che hanno evidenziato un miglioramento delle condizioni di raffrescamento dell'aria nelle aree in prossimità di aree verdi, infatti la temperatura della superficie in uno spazio verde può essere 15-20 °C inferiore a quella dell'area urbana circostante, dando luogo a temperature dell'aria più fredde di 2-8 °C, con un effetto di raffreddamento che si estende per l'area circostante. Ad esempio, l'impatto di raffreddamento del grande Chapultepec Park (500 ha) in Messico ha raggiunto una distanza di circa 2 km, approssimativamente equivalente alla larghezza del parco secondo gli studi di Jauregui (1990-1991). Ca, Asaeda e Abu (1998) affermano che con una dimensione

L'area orientale e il Centro Storico di Napoli, seppur in maniera discretizzata, rappresentano tessuti urbani rappresentativi della morfologia e del comportamento microclimatico dell'intero territorio napoletano. Le soluzioni proposte e le verifiche effettuate ci consentono di predisporre azioni strategiche di adattamento al cambiamento climatico tarate sulle esigenze specifiche dei differenti tessuti urbani; queste, potranno essere applicate agli elementi urbani dello spazio aperto che presentano caratteristiche morfologiche e di prestazioni di comfort outdoor analoghe, per garantire un miglioramento diffuso che consentirà di massimizzare la riduzione delle temperature in città. Lo scopo è quello di creare luoghi ad elevata resilienza al cambiamento climatico, assicurando l'innescò di un processo autoregolatore alla scala locale che abbia un riverbero sul miglioramento della qualità della vita, il potenziamento della socialità e dell'economia nell'intero territorio comunale.

di 60 ettari, un parco è in grado di ridurre la temperatura dell'aria mezzogiorno fino a 1,5 ° C per un massimo di 1 km di distanza, con una brezza sottovento. Giovanni nel 1998 sostiene che anche per i parchi di dimensioni più piccole, è stato riscontrato un raffrescamento nelle aree limitrofe. Il gradiente di temperatura al di fuori dei 0,5 ettari del Benjamin Park di Haifa, in Israele, era di circa 1,5 ° C ed estesa fino a 150 m. Allo stesso modo gli studi di Saito (1990-1991), dimostrano che un'area buffer di raffreddamento di 1-2 ° C è estesa di circa 20 metri intorno a un piccolo spazio verde (60 m da 40 m; 0,24 ettari) nella città di Kumamoto, Giappone. Sulla base di modelli matematici, di Honjo e Takakura (1990-1991) hanno suggerito che uno spazio verde di 100 m può raffrescare l'aria ad una distanza di 300 metri e una verde più ampia, di 400 m raffresca fino ad una distanza di 400 m. Inoltre hanno raccomandato che gli spazi verdi dovrebbero essere non più di 300 metri di distanza per un raffreddamento ottimale all'interno di un quartiere.

STRATEGIE E STRUMENTI PER L'INDIRIZZO DEGLI INTERVENTI DI
PROGETTAZIONE AMBIENTALE PER UNA CITTÀ RESILIENTE

5.1 STRATEGIE DI ADAPTIVE DESIGN ALLA SCALA LOCALE

Lo sviluppo che ha guidato la definizione di uno strumento utile alla valutazione del grado di efficacia nell'applicazione di soluzioni di adaptive design di tipo climatico, può condurre alla definizione di un processo che interviene alla determinazione di una strategia di adattamento alla scala locale. Le azioni, le fasi e le operazioni sperimentali applicate al caso dell'area del Centro Storico e dell'area Est di Napoli, hanno messo in luce le potenzialità offerte dalla simulazione e gestione ex-ante di processi decisionali complessi. L'approfondimento sostenuto nella gestione dei processi mediante un approccio tecnologico, che si propone di effettuare verifiche e scelte preventive, fornisce le basi per la definizione di uno strumento strategico che fornisca raccomandazioni e linee guida per *costruire* la capacità adattiva locale in maniera efficiente, con ricadute positive sulla vita delle persone, sia in termini di benessere ambientali, sia economici e sociali.

Lo studio affrontato e la definizione di uno strumento operativo, può essere considerato quale strumento indispensabile per la formulazione di una strategia di adattamento alle condizioni future del clima. L'aumento delle temperature estive e il verificarsi del fenomeno isola di calore urbana, seppur non essendo le uniche conseguenze derivante dal cambiamento climatico in atto, focalizza l'attenzione su una problematica che sottopone la popolazione ad alti livelli di vulnerabilità. Non solo gli effetti sulla salute fisica e sull'economia locale, ma soprattutto la mancata fruizione dello spazio pubblico e di quello privato, implica una negazione alle condizioni di benessere all'interno di un habitat che non accoglie, ma che anzi rifiuta l'uomo.

Al fine di proporre una strategia di adattamento a livello locale, in particolare per l'area di sperimentazione e di applicazione, ci si è posti diversi obiettivi:

- migliorare le conoscenze sui cambiamenti climatici alla scala locale;
- indagare sulle variazioni microclimatiche attraverso lo studio degli aspetti morfologici, tecnologici e ambientali;
- avvalersi di strumenti avanzati per valutare le condizioni di benessere negli spazi aperti;
- fornire uno strumento di valutazione che possa indirizzare alla progettazione consapevole di interventi di climate adaptive design dello spazio aperto;
- identificare le migliori soluzioni di adattamento attraverso linee guida *site specific* per il miglioramento del comfort nello spazio aperto.

Questo processo, che può essere definito un vero e proprio climate resiliency study¹¹⁵, ha tentato di definire i possibili impatti, gli aspetti ed elementi di vulnerabilità locali che scaturiscono dall'aumento globale delle temperature e che hanno ripercussioni a livello locale, fornendo strumenti e indicando le azioni di cui servirsi per fronteggiare le conseguenze previste dai cambiamenti climatici in atto.

La strategia di adattamento climatico all'aumento delle temperature all'interno dell'area del Centro Storico e dell'area orientale di Napoli, prevede la definizione di linee guida alla progettazione che possa indirizzare le scelte di stakeholders e decision makers attraverso:

- la definizione di soluzioni progettuali di climate adaptive design;
- la determinazione dei livelli prestazionali raggiungibili in termini di benessere¹¹⁶ microclimatico, uso razionale delle risorse¹¹⁷ e nella manutenibilità della soluzione¹¹⁸;
- la definizione del grado di integrabilità nel contesto.

Questi indirizzi alla progettazione degli spazi aperti, diventano uno strumento indispensabile, l'impalcatura che descrive la strategia di adattamento definita a livello locale, definendo priorità e azioni progettuali che sono tarate e individuate sulle reali necessità di ciascuna porzione del tessuto urbano, determinando gli impatti attesi e gli elementi di vulnerabilità.

5.2 LINEE DI INDIRIZZO PER IL PROCESSO DI RIGENERAZIONE AMBIENTALE RESILIENTE NELL'AREA NAPOLETANA

A conclusione di questo studio, sono definite delle linee di indirizzo per la rigenerazione ambientale resiliente agli effetti sulle temperature del cambiamento climatico e valide per la città di Napoli. Queste racchiudono sotto forma di schede, le soluzioni progettuali di climate adaptive design che migliorano le condizioni di comfort e rendono lo spazio aperto maggiormente resiliente al progressivo aumento delle temperature a livello locale. Le azioni progettuali che hanno un impatto positivo sull'area urbana orientale napoletana e del Centro Storico e che saranno in grado di apportare i migliori benefici in termini prestazionali per l'abbassamento delle temperatura estive

¹¹⁵ cfr. MATTM - Ministero dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del Mare, *Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità e adattamento ai cambiamenti climatici in Italia*, Roma, 2014.

¹¹⁶ cfr. UNI-11277 alla classe di esigenze "Benessere, igiene e salute dell'utente"

¹¹⁷ cfr. UNI-11277 alla classe di esigenze "Uso razionale delle risorse".

¹¹⁸ cfr. UNI-11277 alla classe di esigenze "Salvaguardia dell'ambiente"; UNI-8290 alla voce di requisito "Manutenibilità".

outdoor, e diffondibili sull'intero territorio comunale, possono essere raggruppate in categorie d'intervento quali:

- Urban Greening (UG): il rinverdimento dello spazio pubblico, degli spazi collettivi e di pertinenza;
- Permeable Pavers (PP): l'incremento della permeabilità delle superfici urbane;
- Cool Pavers (CP): l'uso di materiali cool per le pavimentazioni;
- Active Roof (AR): l'applicazione di materiali cool o di tetti verdi sulle coperture degli edifici;
- Shading Elements (SE): l'adozione di elementi di ombreggiamento stagionali o di strutture permanenti leggere;
- Water Bodies (WB): l'uso di corpi d'acqua come elemento di raffrescamento estivo.

Quanto osservato dalle applicazioni di tipo simulativo-valutativo nelle diverse aree della città, non solo restituisce una lettura dei differenti comportamenti microclimatici, ma attraverso la fase di simulazione di azioni di tipo metaprogettuale si è potuto osservare in che modo le soluzioni di climate adaptive design possono essere accolte diversamente dai diversi tessuti dell'area di Napoli studiata. Le differenze osservate sono in prevalenza una conseguenza diretta dalle caratteristiche morfologiche dei diversi tessuti della città, restituendo differenti risposte prestazionali delle soluzioni testate, oltre che la necessità di seguire e confrontarsi con istanze di tipo storico e conservativo¹¹⁹. Attraverso la combinazione di questi aspetti è stato possibile determinare il grado di accoglienza di un tessuto della città alle soluzioni progettuali proposte, la cui azione combinata determina la migliore strategia per l'adattamento nei differenti tessuti della città di Napoli e allo stesso tempo capace di contrastare l'effetto isola di calore urbana.

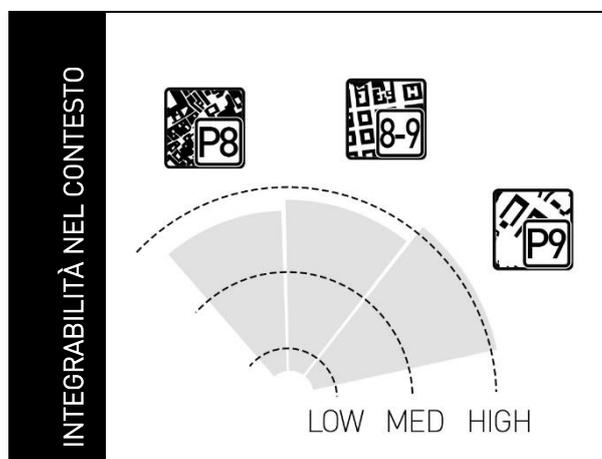
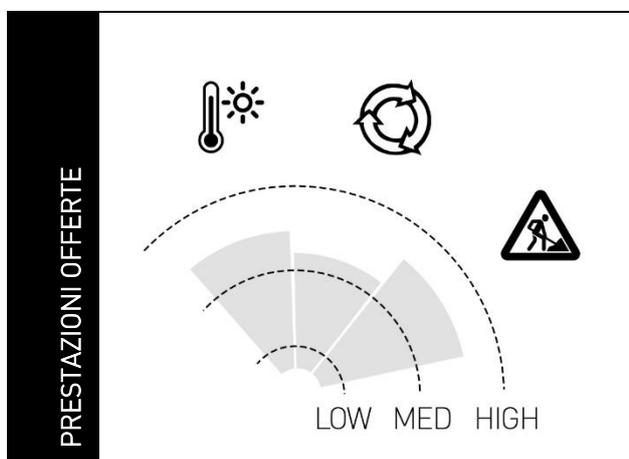
Di seguito è proposta una schedatura delle soluzioni progettuali utili al miglioramento del comfort ambientale nell'area orientale e del Centro Storico di Napoli, suddivise secondo le categorie d'intervento individuate. La schedatura prevede una prima scheda con una descrizione delle categorie d'intervento, corredate da immagini tipo; di seguito sono state realizzate delle schede di dettaglio delle soluzioni progettuali, che individuano e specificano i livelli prestazionali offerti dalle soluzioni in termini di benessere microclimatico, uso razionale delle risorse e manutenibilità della soluzione all'interno dell'area napoletana oggetto di approfondimento; un'altra sezione infine definisce il grado di integrabilità nel contesto, rispetto ai tessuti urbani analizzati durante la fase di verifica metaprogettuale e testing:

¹¹⁹Come definito dal parere della Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici per Napoli e provincia dell'agosto 2013 in merito alla riqualificazione degli spazi urbani in oggetto al Grande Progetto Centro Storico di Napoli, sono state dettate specifiche raccomandazioni, in particolare sulla scelta dei materiali da utilizzare per le superfici urbane del Centro Storico di Napoli, per le tessiture da non alterare, e la limitazione della messa a dimora di alberature solo nelle strade non facenti parte dell'impianto pre-ottocentesco.

PRESTAZIONI OFFERTE		INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO	
 <i>Benessere microclimatico</i>	Migliori prestazioni se il livello di benessere raggiungibile è più alto	 <i>Tessuto pre '800</i>	Migliore livello raggiungibile se la soluzione è maggiormente integrabile nel tessuto urbano
 <i>Uso razionale delle risorse</i>	Migliori prestazioni se sono utilizzate meno risorse nell'intero ciclo di vita della soluzione	 <i>Tessuto 800-900</i>	
 <i>Manutenzione</i>	Migliori prestazioni se la soluzione ha un minore livello di manutenzione	 <i>Tessuto post '900</i>	

Legenda per la lettura ed interpretazione dei grafici presenti all'interno delle schede.

Il grado di prestazione ed integrabilità nel contesto sono espressi una scala che va da "LOW", basso, a "HIGH", alto, passando per "MED", medio. Mediante un elemento grafico, sono sintetizzati i livelli raggiunti, fornendo una chiara ed immediata lettura.



UG_URBAN GREENING

Il rinverdimento dello spazio pubblico delle città, oltre a migliorare la qualità dell'aria, assorbire l'acqua in eccesso (pluvial flooding) e stabilizzare i terreni, offre notevoli vantaggi per quanto riguarda il miglioramento del microclima urbano, quali:

- la riduzione delle temperature dell'aria;
- l'aumento delle superfici ombreggiate;
- l'evapotraspirazione delle superfici naturali;
- il controllo della ventilazione naturale;
- la riduzione dell'uso di energia per il raffrescamento estivo degli edifici.

L'uso di vegetazione per la creazione di strade e spazi verdi, può avere effetti positivi sia sull'economia, sia sulla qualità sociali all'interno delle città, incoraggiando le persone allo stare all'aria aperta e alla socialità, contribuendo inoltre a modificare le abitudini nell'uso dei trasporti e dello stile di vita. Di contro, l'aumento delle temperature e la diminuzione dei fenomeni piovosi dovute ai cambiamenti climatici, oltre che la già ridotta quantità di acqua piovana media annuale per la città di Napoli, rappresentano una criticità qualora non si prevedessero essenze vegetali e prative che comportano una bassa manutenzione, soprattutto per l'uso e la gestione della risorsa acqua, comportando anche la necessità di realizzare sotto servizi e sistemi per lo stoccaggio delle acque piovane.

Per evitare che le specie arboree e vegetali non resistano nel tempo ai cambiamenti climatici, è necessario scegliere essenze autoctone o maggiormente resistenti alle alte temperature, oltre che l'uso di graminacee per le aiuole o di pacciamature vegetali.



UG01_Alberature

La messa a dimora di alberi lungo le strade, nelle piazze e negli spazi collettivi delle città, ha un notevole beneficio sul microclima urbano, garantendo maggiori zone d'ombra sui marciapiedi o nella creazione di spazi per la sosta, riducendo le temperature dell'aria grazie all'evapotraspirazione, diminuendo il carico termico sulle superfici pavimentate e le facciate degli edifici, agendo sul controllo positivo delle brezze estive per la formazione di venti termici.



PRESTAZIONI OFFERTE

Benessere microclimatico:

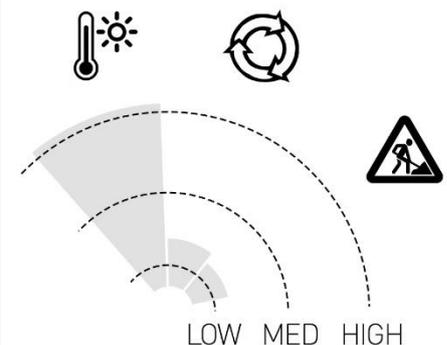
gli alberi rappresentano la soluzione più efficace al miglioramento del microclima urbano, sia in termini di riduzione delle temperature, sia per il comfort degli spazi aperti.

Uso razionale delle risorse:

le alberature per sopravvivere in città necessitano di acqua, che se non di natura atmosferica, vi deve essere somministrata.

Manutenzione:

la messa a dimora di alberature comporta alti livelli manutentivi, sia per la regolazione delle chiome, sia per la caduta di foglie e l'irrigazione.



127

INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO

Le alberature rappresentano una soluzione altamente integrabile nel territorio napoletano, ad eccezione del tessuto storico, dove la caratteristica morfologica del tessuto, non ne consente l'utilizzo all'interno delle strade più strette.

Tessuto pre '800:

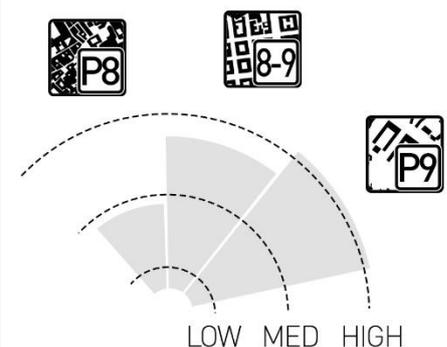
in percentuale fino ad un massimo del **30%** per le piazze e i larghi, del **40%** lungo le strade di ampie dimensioni, mentre non è possibile inserirle all'interno di strade strette (<7 m).

Tessuto 800-900:

in percentuali $\geq 50\%$ per strade e piazze.

Tessuto post '900:

in percentuali $\geq 50\%$ lungo le strade, nelle corti urbane e negli spazi di pertinenza.



UG02_Rain garden/street planter

L'inserimento di aiuole lungo le strade, nelle piazze e negli spazi collettivi delle città oltre ad avere un impatto elevato sul controllo del microclima urbano, attraverso l'abbassamento delle temperature per evapotraspirazione e diminuire il carico termico sulle superfici pavimentate, hanno la duplice funzione di raccogliere l'acqua piovana in eccesso durante le piogge intense, accumulando acqua per i periodi di piogge meno frequenti.



PRESTAZIONI OFFERTE

Benessere microclimatico:

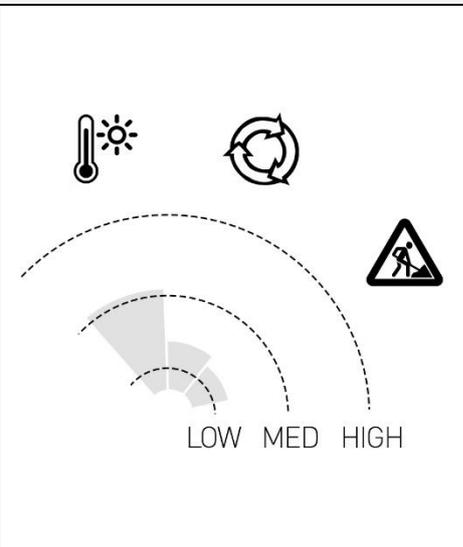
l'inserimento di rain garden e di aiuole nel tessuto urbano, aumenta la superficie verde che, attraverso l'evaporazione dai terreni e la traspirazione dell'acqua dalle foglie, riduce le temperature dell'aria in estate con impatti positivi sulla percezione del calore.

Uso razionale delle risorse:

mantenere il verde in salute necessita di acqua, che se non di natura atmosferica, deve essere somministrata.

Manutenzione:

la soluzione ha bisogno di un alto livello di manutenzione per l'irrigazione, la potatura e il taglio della vegetazione.



128

INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO

Le aiuole possono essere integrate facilmente nel tessuto napoletano lì dove sono presenti marciapiedi e strade di ampie dimensioni, non precludendo la pedonalità.

Tessuto pre '800:

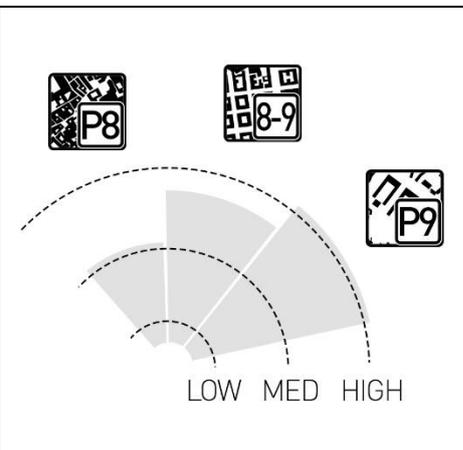
in percentuale $\leq 50\%$ per le piazze, i larghi e lungo le strade di ampie dimensioni, mentre non è possibile inserirle all'interno di strade strette (<7 m).

Tessuto 800-900:

in percentuali $\geq 50\%$ per strade e piazze.

Tessuto post '900:

in percentuali $\geq 50\%$ lungo le strade, nelle corti urbane e negli spazi di pertinenza.



UG03_Superfici verdi

Prevedere ampie superfici verdi permette di ottenere notevoli benefici nella riduzione delle alte temperature dell'aria in estate. La capacità evapotraspirativa delle superfici a prato, che attraverso le foglie rilasciano nell'ambiente l'acqua assorbita, riduce notevolmente l'accumulo di calore e ha benefici su tutta l'area circostante, riducendo il consumo di energia degli edifici nella stagione estiva.



PRESTAZIONI OFFERTE

Benessere microclimatico:

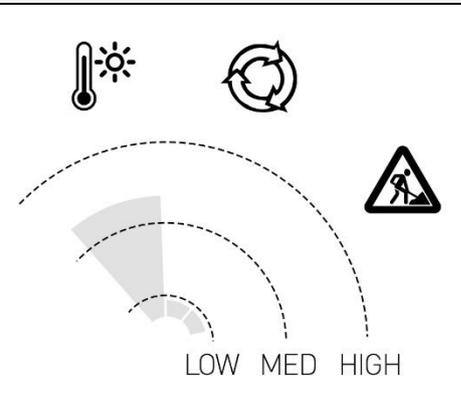
rappresenta un buona soluzione per il comfort termico in città, aumentano la quantità di superficie evapotraspirante.

Uso razionale delle risorse:

le superfici a prato necessitano di grandi quantità di acqua.

Manutenzione:

le superfici a prato necessitano di un'alta manutenzione sia il taglio, sia per l'irrigazione.



129

INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO

Le superfici verdi possono essere integrate all'interno di tutto il territorio napoletano, ma con percentuali e modalità differenti, ad esempio per le buche degli alberi, aiuole all'interno delle piazze e degli spazi di pertinenza delle corti o per le corsie dei tram.

Tessuto pre '800:

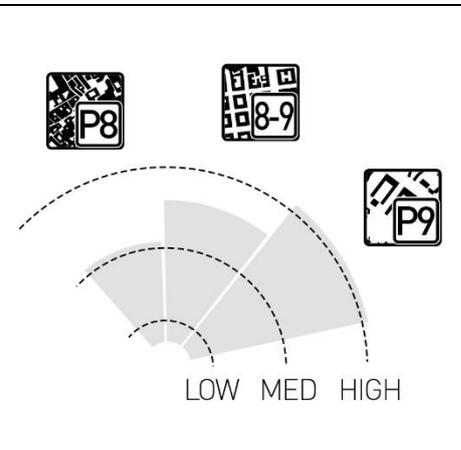
in percentuale fino ad un massimo del **30%** per le piazze e i larghi, del **40%** lungo le strade di ampie dimensioni, mentre non è possibile inserirle all'interno di strade strette (<7 m).

Tessuto 800-900:

in percentuali $\geq 50\%$ per strade e piazze

Tessuto post '900:

in percentuali $\geq 50\%$ lungo le strade, nelle corti urbane e negli spazi di pertinenza.



PP_PERMEABLE PAVERS

Le pavimentazioni permeabili rappresentano una delle migliori strategie per migliorare in comfort urbano quali:

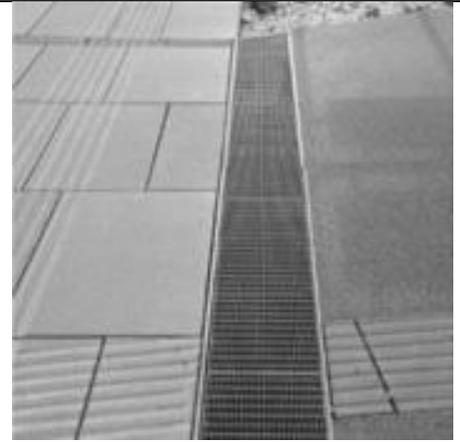
- la riduzione delle temperature dell'aria;
- l'evapotraspirazione delle superfici naturali;
- l'aumento della concentrazione di acqua nei terreni e nelle falde;
- riduzione dell'accumulo termico delle superfici;
- la riduzione dell'uso di energia per il raffrescamento estivo degli edifici.

Queste infatti permettendo all'acqua, all'aria e al vapore acqueo di filtrare attraverso i vuoti creati dalla posa a giunto aperto o della pavimentazione stessa, mantengono gli strati di sottofondo e il terreno sottostante a temperature inferiori e con alti livelli di umidità. Attraverso il rilascio nel tempo di acqua per evaporazione nell'ambiente, è possibile abbassare le temperature dell'aria. Esempi di questo tipo sono l'asfalto e il cemento permeabile, pavimenti posati a giunto aperto, grigliati, ghiaie, aggregati naturali e terreni stabilizzati (compattati). Alcuni di questi tipi di pavimentazioni possono contenere vegetazione (tipo il green parking) o essere disposti in modo che il giunto si inerbisca. Ampi vuoti tra le pavimentazioni possono limitare il trasferimento del calore al terreno sottostante, conservandolo al livello superficiale e riducendo il rilascio nelle ore notturne, innescando la riduzione delle temperature dell'aria.



PP01_Pavimentazioni a giunto aperto

L'uso di pavimentazioni a giunto aperto può garantire notevoli benefici nella riduzione delle temperature dell'aria e delle superfici, costituendo un'ottima strategia per il miglioramento del comfort urbano. Grazie alla presenza di sottostrati naturali a diverse granulometrie, l'acqua che penetra nel terreno viene trattenuta, per poi essere rilasciata nell'atmosfera sotto forma di vapore.



PRESTAZIONI OFFERTE

Benessere microclimatico:

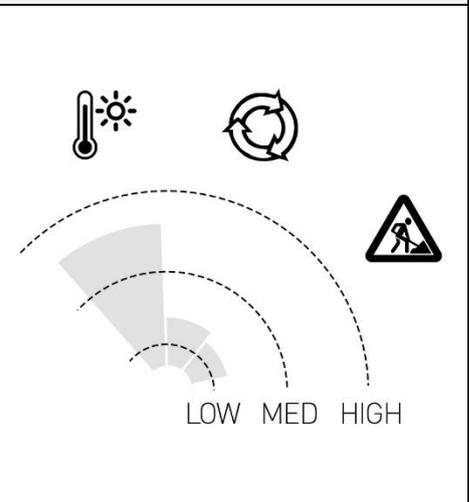
L'uso di pavimentazioni a giunto aperto contribuiscono a migliorare le condizioni di comfort urbano, aumentando le superfici evaporative.

Uso razionale delle risorse:

è da privilegiare l'uso di materiali locali che possano essere smontati e riutilizzati altrove.

Manutenzione:

la presenza di un sottostrato morbido, comporta un'alta manutenzione nel caso di rottura degli elementi di pavimentazione o di dissesto del sottostrato.



131

INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO

L'utilizzo di pavimentazioni permeabili può essere adottato indistintamente all'interno dei diversi tessuti dell'area di Napoli.

Tessuto pre '800:

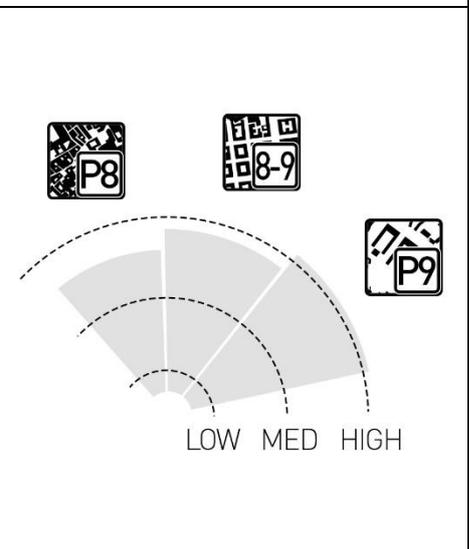
in percentuale del $\geq 80\%$ delle pavimentazioni di strade strette (< 7 m) in percentuale $\geq 50\%$ e in combinazione con altre soluzioni per raggiungere percentuali $\geq 80\%$ di superficie permeabile.

Tessuto 800-900:

in percentuale $\geq 50\%$ delle pavimentazioni presenti e in combinazione con altre soluzioni per raggiungere percentuali $\geq 80\%$ di superficie permeabile.

Tessuto post '900:

in percentuale $\geq 50\%$ delle pavimentazioni presenti e in combinazione con altre soluzioni per raggiungere il **100%** di superficie permeabile.



PP02_Pavimentazioni a giunto aperto inerbito

L'uso di pavimentazioni a giunto aperto inerbito garantiscono benefici nella riduzione delle temperature dell'aria e delle superfici. A differenza delle pavimentazioni a giunto aperto, il giunto inerbito aggiunge alla superficie la capacità evapotraspirativa del prato, riducendo l'accumulo di calore grazie alla riduzione delle percentuali di pavimentazione o attraverso strutture alveolari. L'uso prevalente che se ne fa è per le aree a parcheggio e percorsi carrabili.

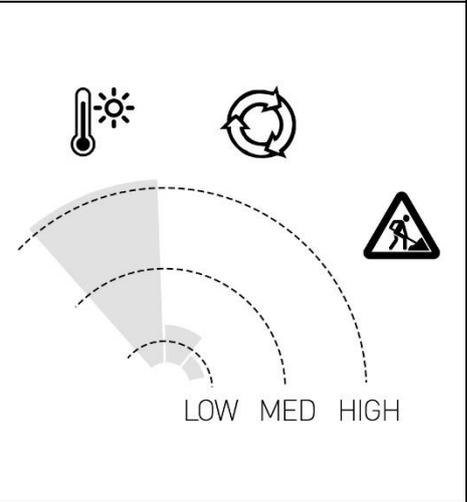


PRESTAZIONI OFFERTE

Benessere microclimatico:
l'uso di pavimentazioni a giunto aperto inerbito contribuiscono a migliorare notevolmente le condizioni di comfort urbano attraverso l'evapotraspirazione.

Uso razionale delle risorse:
analogamente ad un prato è necessario curare il verde attraverso l'irrigazione.

Manutenzione:
per la manutenzione bisogna prevedere la cura del prato attraverso il taglio e l'irrigazione.



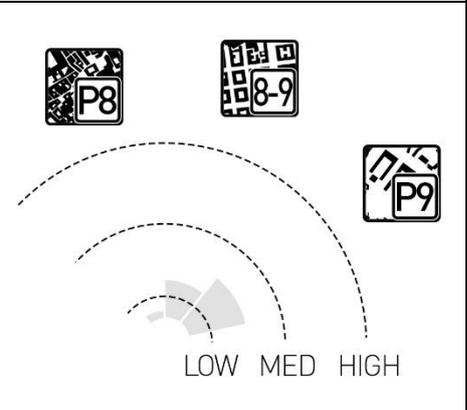
INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO

L'utilizzo di pavimentazioni permeabili a giunto aperto inerbito può essere previsto principalmente nella città moderna e contemporanea, limitandone l'uso ad aree di parcheggio e di viabilità ridotta.

Tessuto pre '800:
il tessuto non può accogliere la soluzione.

Tessuto 800-900:
può essere utilizzato all'interno di corti o spazi di pertinenza.

Tessuto post '900:
può essere utilizzato all'interno di corti o spazi di pertinenza per aree a parcheggio o di viabilità interna.



PP03_Superfici porose

Le superfici porose come l'asfalto permeabile e il cemento permeabile permettono all'acqua di penetrare al di sotto della superficie, al contrario delle soluzioni tradizionali. Nonostante questa caratteristica il loro contributo nella riduzione delle alte temperature e del miglioramento del comfort dipende dalle caratteristiche fisiche e dal trattamento superficiale. Rappresenta invece una buona soluzione alla riduzione degli allagamenti.



PRESTAZIONI OFFERTE

<p><i>Benessere microclimatico:</i> l'azione sul microclima può essere bassa o moderata a seconda del materiale usato.</p>	
<p><i>Uso razionale delle risorse:</i> l'impatto sull'uso di risorse è elevato.</p>	
<p><i>Manutenzione:</i> la manutenzione implica la riparazione di guasti quali ad esempio al formazione di buchi.</p>	

INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO

<p>L'utilizzo di pavimentazioni porose deve essere limitato ai tessuti della città moderni e contemporanei.</p>	
<p><i>Tessuto pre '800:</i> il tessuto non può accogliere la soluzione.</p>	
<p><i>Tessuto 800-900:</i> può essere utilizzato in alternativa alle superfici carrabili attuali, in combinazione con la riduzione delle carreggiate e in percentuali $\leq 20\%$ della superficie totale.</p>	
<p><i>Tessuto post '900:</i> può essere utilizzato in alternativa alle superfici carrabili attuali, in combinazione con la riduzione delle carreggiate e in percentuali $\leq 20\%$ della superficie totale.</p>	

PP04_Aggregati naturali

Le superfici realizzate con aggregati naturali e bene compattati all'interno di strutture alveolari, permette di realizzare percorsi e camminamenti che contribuiscono alla mitigazione delle alte temperature. Infatti attraverso la porosità della superficie e le proprietà del materiale, l'acqua presente nei terreni sottostanti viene reimpressa in atmosfera e contribuisce alla riduzione delle alte temperature.



PRESTAZIONI OFFERTE

Benessere microclimatico:
ha un buon impatto sul miglioramento del microclima, dipendendo però dalle caratteristiche fisiche del materiale utilizzato.

Uso razionale delle risorse:
ha un basso impatto se previsto con materiali locali e di riciclo.

Manutenzione:
la soluzione ha una bassa manutenzione, infatti qualora vi fossero guasti, sarebbe necessario aggiungere materiale.

INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO

La realizzazione di superfici naturali è estremamente ridotta all'interno dei tessuti storici, mentre può essere una valida alternativa alla realizzazione di percorsi perdonali nella città contemporanea.

Tessuto pre '800:
l'uso può essere limitato all'interno dei corti, giardini e spazi privati.

Tessuto 800-900:
l'uso può essere limitato all'interno dei corti, giardini, spazi privati o di piazze.

Tessuto post '900:
può essere utilizzata in alternativa per la realizzazione di percorsi perdonali sui marciapiedi, nei parchi, nei giardini, nelle aree private o di pertinenza all'interno dei corti urbane.

CP_COOL PAVERS

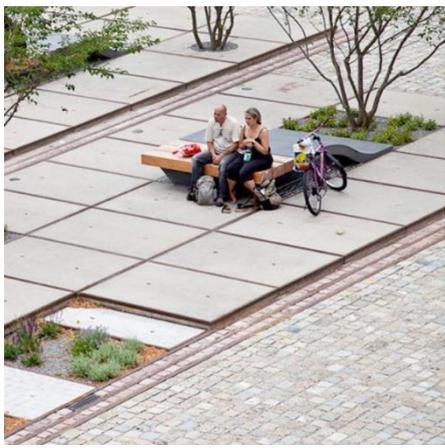
L'uso di materiali di pavimentazioni cool, ovvero materiali con elevati livelli di riflessività (albedo) e di emissività termica, è tra le strategie più adottate per la riduzione delle temperature urbane. Questi materiali sono generalmente di colore chiaro e con un basso fattore di rugosità (superfici lisce), garantendo minori capacità di assorbimento della radiazione solare. Tuttavia, l'uso di materiali cool (bianchi) per le pavimentazioni in ambiente urbano può generare discomfort termico dagli utenti, infatti la radiazione solare immediatamente riflessa, insieme all'aumento della temperatura media radiante dalle superfici, oltre a provocare fenomeni di abbagliamento, ritorna nell'ambiente e viene percepita dagli utenti. I materiali di pavimentazione con bassa conducibilità termica, ridotta capacità termica (accumulazione del calore e successivo rilascio) e una maggiore rugosità delle superfici (l'aumento della superficie disperdente) consentono alla superficie di riscaldarsi, ma allo stesso tempo non permettono il trasferimento rapido di calore al sottostrato della pavimentazione così come i materiali con alta conduttività. Inoltre materiali con una ridotta capacità termica accumulano minori quantità di calore, che non verrà rilasciato nel tempo. Materiali con queste caratteristiche consentono di:

- riduzione dell'accumulo termico delle superfici;
- la riduzione delle temperature dell'aria;
- la riduzione dell'uso di energia per il raffrescamento estivo degli edifici.



CP01_Pavimenti cool

L'utilizzo di materiali cool per le pavimentazioni esterne, ovvero a ridotta conducibilità termica e capacità termica, permettono di ottenere buoni benefici per il miglioramento delle condizioni di benessere urbano e di contribuire alla riduzione della temperatura dell'aria. L'aumento del fattore di albedo, permette invece di ridurre maggiormente la temperatura dell'aria, ma allo stesso tempo ha effetti negativi sulla percezione del calore.



PRESTAZIONI OFFERTE	
<p><i>Benessere microclimatico:</i></p> <p>ha un discreto impatto sul miglioramento del microclima, dipendendo però dalle caratteristiche fisiche del materiale utilizzato.</p>	
<p><i>Uso razionale delle risorse:</i></p> <p>ha un basso impatto se previsto con materiali locali e di riciclo.</p>	
<p><i>Manutenzione:</i></p> <p>la soluzione ha una bassa manutenzione, infatti qualora vi fossero guasti, sarebbe necessario sostituire l'elemento danneggiato.</p>	

INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO	
<p>La realizzazione di superfici con pavimentazioni cool può essere integrata all'interno dell'intero tessuto della città, anche all'interno del centro storico dove l'aspetto dei materiali utilizzati deve essere conforme ai criteri di vincolo presenti.</p>	
<p><i>Tessuto pre '800:</i></p> <p>il tessuto può accogliere totalmente la soluzione.</p>	
<p><i>Tessuto 800-900:</i></p> <p>il tessuto può accogliere totalmente la soluzione.</p>	
<p><i>Tessuto post '900:</i></p> <p>il tessuto può accogliere totalmente la soluzione.</p>	

CP02_Pitture cool per pavimentazioni

L'applicazione di pitture cool per modificare le proprietà superficiali delle superfici esistenti ha un buon impatto sulla riduzione delle temperature dell'aria, consentendo l'abbassamento da 10 a 30 °C delle temperature superficiali. Di contro il solo aumento del fattore di riflettanza solare, che non ha effetto sulle proprietà fisiche del materiale, ha un effetto negativo sulla percezione del calore.



PRESTAZIONI OFFERTE	
<p><i>Benessere microclimatico:</i> ha un effetto negativo sul miglioramento del benessere percepito.</p>	
<p><i>Uso razionale delle risorse:</i> ha un basso impatto sull'uso di risorse</p>	
<p><i>Manutenzione:</i> se effettuato con pitturazioni, è necessario provvedere ad una manutenzione ad intervalli regolari.</p>	

INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO	
<p>L'applicazione di pitture cool sulle superfici pavimentate non è integrabile all'interno dei tessuti storici, a meno che all'interno di spazi di pertinenza privati, mentre può essere una soluzione accettata per le aree a parcheggio di spazi collettivi pubblici e privati.</p>	
<p><i>Tessuto pre '800:</i> il tessuto non può accogliere la soluzione.</p>	
<p><i>Tessuto 800-900:</i> il tessuto può accogliere parzialmente la soluzione, ad esempio nelle aree a parcheggio all'interno di spazi collettivi.</p>	
<p><i>Tessuto post '900:</i> il tessuto può accogliere parzialmente la soluzione, ad esempio nelle aree a parcheggio all'interno di spazi collettivi.</p>	

AR_ACTIVE ROOF

L'attuazione di strategie di adaptive design sulle coperture degli edifici prevede differenti soluzioni, quali l'applicazione di materiali cool e di cool coloured materials, ovvero materiali con valori di riflettanza (albedo) elevati, e la realizzazione di tetti verdi. Queste soluzioni, hanno, se pure discreto, un impatto positivo sulla mitigazione delle alte temperature estive a livello urbano e sui livelli di comfort percepito. L'impatto maggiore deriva sul miglioramento delle condizioni di comfort all'interno degli edifici, comportando una riduzione dei consumi energetici e la riduzione delle emissioni di CO₂ nell'ambiente.

L'applicazione di una strategia che comporti l'uso di active roof, può garantire:

- la riduzione delle temperature dell'aria;
- la riduzione dell'uso di energia per il raffrescamento estivo degli edifici.
- il raffrescamento passivo per evapotraspirazione delle superfici naturali.



AR01_Tetto cool

L'applicazione di tetti con colorazioni o ghiaie di colore chiaro, può rappresentare un'utile strategia per ridurre contemporaneamente sia le temperature urbane, sia le temperature interne degli edifici. La duplice azione consente sia di ridurre i consumi di energia durante le stagioni calde dovute all'uso di condizionatori, sia di determinare un'azione di miglioramento delle condizioni di benessere percepito all'interno dello spazio urbano.



PRESTAZIONI OFFERTE

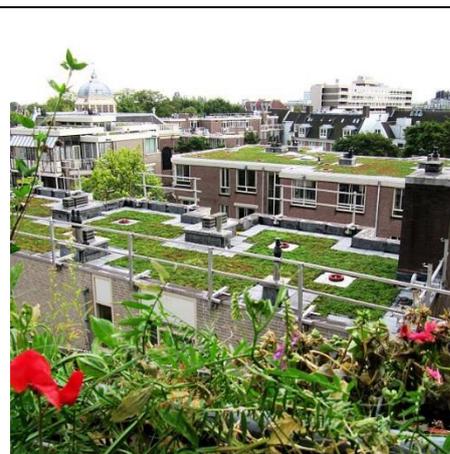
<p><i>Benessere microclimatico:</i> ha un discreto impatto sul miglioramento del microclima: più alto è il valore di albedo, maggiori saranno i benefici.</p>	
<p><i>Uso razionale delle risorse:</i> ha un basso impatto sull'uso di risorse.</p>	
<p><i>Manutenzione:</i> se effettuato con pitturazioni, è necessario provvedere ad una manutenzione ad intervalli regolari.</p>	

INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO

<p>L'uso di tetti cool può essere integrato all'interno di tutti i tessuti urbani della città di Napoli, ad esclusione degli edifici specialistici del tessuto storico, quali chiese e monumenti.</p>	
<p><i>Tessuto pre '800:</i> la soluzione è totalmente integrabile ad esclusione degli edifici specialistici a carattere monumentale.</p>	
<p><i>Tessuto 800-900:</i> la soluzione è totalmente integrabile ad esclusione degli edifici specialistici a carattere monumentale.</p>	
<p><i>Tessuto post '900:</i> la soluzione è totalmente integrabile.</p>	

AR02_Tetto verde

L'applicazione di superfici vegetate sui tetti degli edifici, oltre a garantire migliori prestazioni dell'involucro, attraverso il contenimento delle radiazioni solari incidenti e l'isolamento termico, aiutano a mitigare le temperature attraverso il raffrescamento passivo dell'ambiente urbano circostante attraverso fenomeni evapotraspirativi, oltre che apportare notevoli benefici alle temperature interne degli edifici.



PRESTAZIONI OFFERTE

Benessere microclimatico:

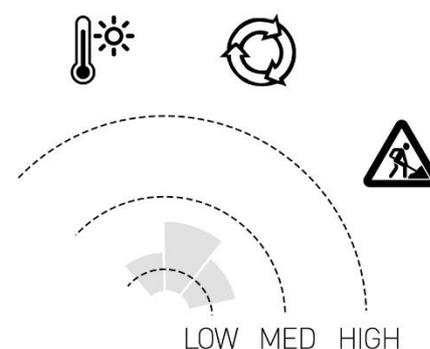
ha un discreto impatto sul miglioramento del microclima.

Uso razionale delle risorse:

ha un alto impatto sull'uso di acqua.

Manutenzione:

per la manutenzione bisogna prevedere la cura delle essenze vegetali presenti, attraverso il tagli e l'irrigazione.



140

INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO

L'uso di tetti verdi può essere integrato all'interno di tutti i tessuti urbani della città di Napoli, ad esclusione degli edifici specialistici del tessuto storico, quali chiese e monumenti.

Tessuto pre '800:

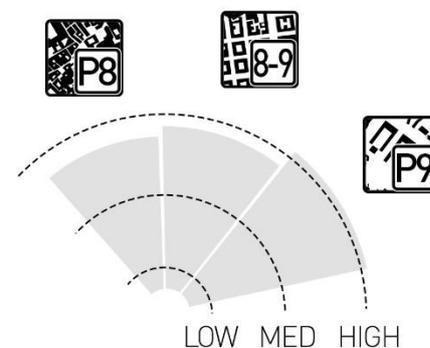
la soluzione è totalmente integrabile ad esclusione degli edifici specialistici a carattere monumentale.

Tessuto 800-900:

la soluzione è totalmente integrabile ad esclusione degli edifici specialistici a carattere monumentale.

Tessuto post '900:

la soluzione è totalmente integrabile.



SE_SHADING ELEMENTS

L'applicazione di elementi di copertura opachi impediscono il passaggio di radiazione solare al suolo, strategia utile al raggiungimento del comfort urbano. Infatti aumentano la superficie ombreggiata, si riduce il carico termico sulle pavimentazioni.

A seconda delle caratteristiche sia fisiche, sia dimensionali degli elementi di ombreggiatura, è possibile ottenere risultati differenti in termini di benessere percepito. Le coperture devono essere di colore chiaro e lisce, in modo da presentare alti valori di riflettanza solare sulla faccia superiore oltre ad elevati valori di emissività. Inoltre è necessario dimensionare l'altezza alla dimensione della superficie coperta, per permettere la dissipazione del calore.

L'inserimento di elementi di ombreggiatura lungo le strade, sulle facciate degli edifici e all'interno di ampi spazi aperti, consente di:

- ridurre il carico termico delle superfici
- abbassare le temperature dell'aria;
- la riduzione dell'uso di energia per il raffrescamento estivo degli edifici.



SE01_Coperture fisse

Gli elementi di copertura fissa come ad esempio le pergole e gli elementi di copertura piana, risultano soluzioni utili sia nella stagione estiva per fornire ombra lungo i camminamenti di strade o piazze, sia nella stagione invernale come percorsi coperti al riparo della intemperie. Queste rappresentano una soluzione ottimale al miglioramento del comfort urbano lì dove non è possibile agire con l'ombreggiamento con elementi vegetali.



PRESTAZIONI OFFERTE	
<p><i>Benessere microclimatico:</i> ha un buono impatto sul miglioramento del microclima.</p>	
<p><i>Uso razionale delle risorse:</i> ha un basso impatto se realizzato con sistemi a secco e con materiali riciclabili.</p>	
<p><i>Manutenzione:</i> la manutenzione è bassa, ma dipende dal tipo di materiali utilizzati.</p>	

INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO	
<p>Le coperture fisse hanno un grosso impatto visivo, il che le rende poco integrabili nei tessuti storici. Al contrario sono maggiormente integrabili nei tessuti contemporanei.</p>	
<p><i>Tessuto pre '800:</i> il tessuto non può accogliere la soluzione.</p>	
<p><i>Tessuto 800-900:</i> la soluzione è parzialmente integrabile all'interno di piazze.</p>	
<p><i>Tessuto post '900:</i> la soluzione è totalmente integrabile lungo i camminamenti pedonali degli spazi di pertinenza pubblici e privati.</p>	

SE02_Coperture removibili

Gli elementi di copertura removibili quali ad esempio tensostrutture, vele, tende, ecc., sono soluzioni efficaci durante la stagione estiva per fornire ombra negli spazi aperti maggiormente soleggiati. Queste rappresentano una soluzione ottimale al miglioramento del comfort urbano lì dove non è possibile agire con l'ombreggiamento con elementi vegetali, migliorare le condizioni di comfort microclimatico e favorendo la socialità.



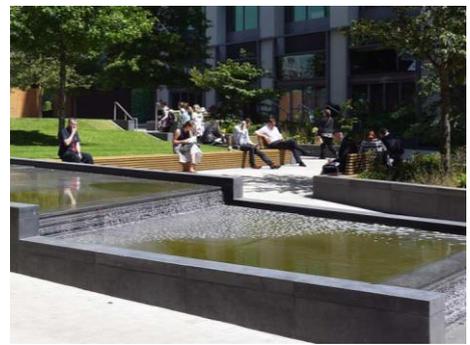
PRESTAZIONI OFFERTE	
<p><i>Benessere microclimatico:</i> ha un buono impatto sul miglioramento del microclima.</p>	
<p><i>Uso razionale delle risorse:</i> ha un impatto basso sull'uso di risorse, considerando anche l'uso temporaneo e il riuso nel tempo.</p>	
<p><i>Manutenzione:</i> la manutenzione è bassa, ma dipende dal tipo di materiali utilizzati.</p>	

INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO	
<p>Le coperture mobili possono essere integrate all'interno di tutti i tessuti urbani dell'area di Napoli.</p>	
<p><i>Tessuto pre '800:</i> il tessuto può accogliere la soluzione sia lungo le strade addossandole agli edifici, sia all'interno di piazze e larghi.</p>	
<p><i>Tessuto 800-900:</i> il tessuto può accogliere la soluzione sia lungo le strade o addossate agli edifici, che all'interno di piazze e larghi.</p>	
<p><i>Tessuto post '900:</i> la soluzione integrabile all'interno degli spazi di pertinenza pubblici e privati.</p>	

L'utilizzo di acqua in ambiente urbano attraverso l'inserimento di specchi d'acqua, fontane, cascate e acqua nebulizzata può rappresentare un utile strategia per abbassare le temperature estive e aumentare la sensazione di comfort nello spazio urbano. L'acqua può infatti raffrescare sensibilmente la temperatura ambientale senza alterare i livelli di umidità dell'ambiente. L'uso combinato di acqua statica in quantità elevate e di acqua in movimento aumenta i benefici microclimatici, soprattutto nei luoghi dedicati alla sosta delle persone.

I vantaggi microclimatici che ne derivano, sono:

- l'abbassamento delle temperature dell'aria;
- la riduzione del carico termico delle superfici derivante dalla riduzione delle superfici pavimentate;
- la riduzione dell'uso di energia per il raffrescamento estivo degli edifici.



WB01_Vasche, fontane e superfici di acqua

La presenza di corpi d'acqua in percentuali elevate, ovvero di elevate masse termiche, favorisce il miglioramento microclimatico attraverso la capacità dell'acqua di mantenere la temperatura superficiale inferiore a quella dell'aria e degli altri materiali, conservando una temperatura superficiale quasi costante. Attraverso l'evaporazione, la superficie si raffresca e il calore accumulato per irraggiamento solare viene accumulato dalla massa termica e dissipato di notte.



PRESTAZIONI OFFERTE	
<p><i>Benessere microclimatico:</i> ha un buono impatto sul miglioramento del microclima.</p>	
<p><i>Uso razionale delle risorse:</i> ha un alto impatto sull'uso e il consumo di acqua.</p>	
<p><i>Manutenzione:</i> la manutenzione è alta, per assicurare salubrità e il corretto funzionamento dei sottoservizi soggetti a corrosione e ostruzione.</p>	

INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO	
<p>L'utilizzo di corpi d'acqua di elevate dimensioni, è parzialmente integrabile all'interno dei tessuti dell'area di Napoli, infatti questo è proporzionale alla dimensione dello spazio nel quale va inserito.</p>	
<p><i>Tessuto pre '800:</i> il tessuto può accogliere la soluzione solo all'interno delle piazze, fino ad una percentuale del $\leq 15\%$.</p>	
<p><i>Tessuto 800-900:</i> il tessuto può accogliere la soluzione solo all'interno delle piazze, fino ad una percentuale del $\leq 15\%$.</p>	
<p><i>Tessuto post '900:</i> il tessuto può accogliere la soluzione solo all'interno degli spazi collettivi di corti urbane, fino ad una percentuale del $\leq 20\%$.</p>	

WB02_Getti, cascate e acqua nebulizzata

La presenza di acqua in movimento con getti, cascate, lame d'acqua e acqua nebulizzata, favorisce il miglioramento microclimatico attraverso la presenza di particelle di acqua nell'aria che consentono di mantenere una temperatura più bassa. Attraverso la maggiore quantità di superfici di scambio termico tra l'acqua e l'uomo, quest'ultimo trarrà maggiori benefici rispetto all'acqua in fase statica.



PRESTAZIONI OFFERTE	
<p><i>Benessere microclimatico:</i> ha un buono impatto sul miglioramento del microclima.</p>	
<p><i>Uso razionale delle risorse:</i> ha un alto impatto sull'uso e il consumo di acqua.</p>	
<p><i>Manutenzione:</i> la manutenzione è alta, per assicurare salubrità e il corretto funzionamento dei sottoservizi soggetti a corrosione e ostruzione.</p>	

INTEGRABILITÀ NEL CONTESTO	
<p>L'utilizzo di acqua in movimento, può essere maggiormente integrabile all'interno dei tessuti dell'area di Napoli rispetto a vasche d'acqua, infatti a seconda della soluzione può essere integrato all'interno delle varie tipologie di elementi urbani.</p>	
<p><i>Tessuto pre '800:</i> il tessuto può accogliere la soluzione sia lungo le strade (nebulizzazione), sia all'interno delle piazze.</p>	
<p><i>Tessuto 800-900:</i> il tessuto può accogliere la soluzione sia lungo le strade (nebulizzazione), sia all'interno delle piazze.</p>	
<p><i>Tessuto post '900:</i> il tessuto può accogliere la soluzione sia lungo le strade e negli spazi privati (nebulizzazione), sia all'interno degli spazi collettivi di corti urbane.</p>	

5.3 CONCLUSIONI E PROSPETTIVE DI RICERCA

La maggiore consapevolezza acquisita a livello globale sugli effetti che i cambiamenti climatici hanno sul nostro piante, sulle nostre città e sulla l'aumento della vulnerabilità a cui saranno sottoposte le persone, ci fa comprendere quanto ormai sia assolutamente necessario affrontare la questione in maniera concreta. Gli scenari di cambiamento delineati dagli studi specialistici e gli indirizzi strategici definiti a livello sovragovernativo, devono spingere le amministrazioni locali ad attuare misure concrete per l'adattamento e la mitigazione dei rischi provenienti dai cambiamenti climatici. Viene chiesto che vi sia una totale sinergia programmatica nella definizione di misure sperimentali e di nuove tecnologie per ribilanciare gli equilibri ambientali e microclimatici nelle città, che abbiano ricadute positive sull'intero ecosistema.

Dall'accordo universale sul clima globale della Conferenza di Parigi sui cambiamenti climatici, COP 21, si evince quanto sia necessario invertire la tendenza all'aumento delle temperature, riducendo drasticamente le emissioni di CO₂ nell'ambiente. È all'Europa e ai paesi più industrializzati che viene affidato il compito di porre un freno maggiore all'immissione in atmosfera di gas climalteranti.

Un ruolo chiave può essere svolto dal settore delle costruzioni, ponendo rimedio all'inadeguatezza prestazionale di edifici e spazi aperti, già solo evitando l'adozione di tecniche e pratiche progettuali obsolete, che non apportano alcun beneficio alla riduzione delle emissioni di CO₂. Se però è già da tempo che a livello globale, comunitario e nazionale sono state predisposte misure e regolamentazioni per il contenimento energetico degli edifici, queste, non solo non prevedono l'adozione di approccio che possa permettere di garantire una maggiore efficacia nel tempo attraverso una progettazione orientata al possibile cambiamento, progettare per il clima futuro, ma in più c'è, e c'è stata, una totale mancanza nella definizione di strumenti e indirizzi che potessero guidare alla definizione di regolamenti tecnici per la progettazione dello spazio aperto. Si può affermare che attualmente gli strumenti per la regolamentazione delle opere edili, puntino ad attuare azioni di mitigazione, non considerando che, se qualora gli obiettivi per il mantenimento dell'aumento delle temperature non venissero raggiunti, gli edifici progettati o quelli riqualificati per il clima attuale, non sapranno garantire le stesse prestazioni in risposta al clima futuro. In più, qualora non verranno progettati spazi aperti che possano restituire migliori condizioni microclimatiche mediante l'attuazione di strategie e azioni di adattamento, c'è il rischio che si innescheranno comportamenti ambientali maggiormente dannosi per il clima e per le persone.

In assenza ed in attesa di strumenti di regolamentazione, è l'architettura che, mediante la capacità di progettisti e di ricercatori del settore, deve proporre soluzioni e processi progettuali innovativi, capaci di contrastare gli effetti di ciò che sta cambiando intorno a noi. La sfida dell'architettura diviene quella di anticipare il cambiamento, di (ri-)innovare e migliorare in nostro habitat, avvalendosi

di qualsiasi strumento e informazione, dell'avanzamento scientifico, dell'innovazione del settore dell'industria delle costruzioni. In futuro e quanto mai adesso, sarà necessario sviluppare connessioni, strumenti e tecniche per prevedere gli impatti dei cambiamenti in atto e contrastarne gli effetti. Il processo di innovazione in atto nel campo degli strumenti informatici per l'architettura, grazie anche allo sviluppo di risorse open-source¹²⁰, sta sviluppando approcci innovativi, in particolare per lo scambio di dati tra i diversi software. Strumenti GIS - Geographic information system¹²¹, BIM - Building Information Modelling¹²² e parametrici (Grasshopper, Dynamo, ecc.), sono oggi utilizzati come piattaforma di connessione tra diversi software, consentendo l'automatizzazione controllata e programmata dei processi di interazione ricorsiva per la simulazione di edifici e spazi aperti a diverse scale. In questo modo, si stanno sviluppando prassi che prevedono l'utilizzo simultaneo di diversi software, sfruttandone le potenzialità e le peculiarità. L'obiettivo futuro sarà quello di sviluppare processi che possano risultare utili al controllo prestazionale dei processi dinamici d'interazione ambientale in interventi progettuali, attraverso lo scambio dinamico di dati; uno scambio questo, che è la rappresentazione virtuale dei processi ambientali che avvengono tra lo spazio aperto e l'edificato, allo scopo di ottenere utili apparati simulativi che possano supportare gli attori dei processi edilizi nell'operare, *ex-ante*, le migliori scelte e valutazioni preventive degli effetti che il progetto edilizio e urbano potranno avere sul microclima e sull'ambiente, oggi e in futuro.

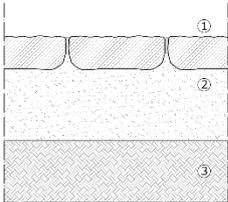
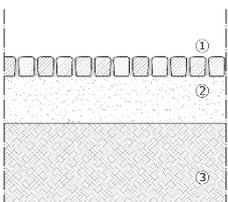
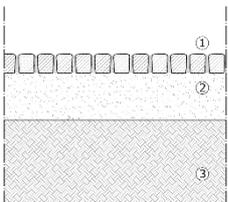
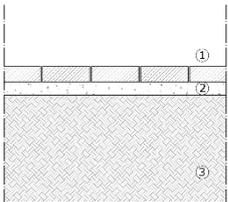
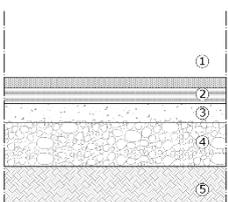
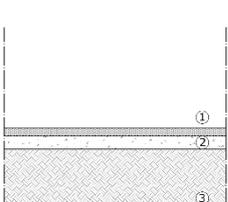
¹²⁰Il termine open-source indica un software di cui gli autori (più precisamente i detentori dei diritti) rendono pubblico il codice sorgente, favorendone il libero studio e permettendo a programmatori indipendenti di apportarvi modifiche ed estensioni.

¹²¹Il GIS è un sistema informativo computerizzato che permette l'acquisizione, la registrazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni derivanti da dati geografici (geo-riferiti). Il GIS si sviluppa attraverso un ambiente software che permette l'elaborazione e manipolazione dei dati geometrici georeferenziati, i quali sono memorizzati in strutture dati del tipo DBMS (Database management system) che gestiscono anche la spazialità, o in singoli file

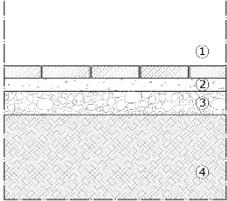
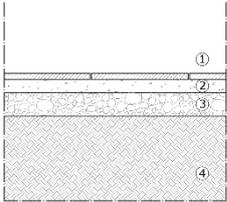
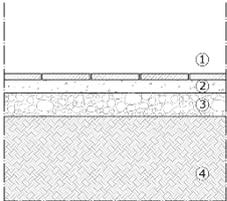
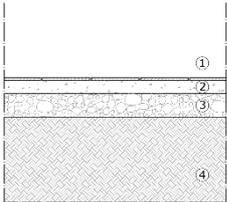
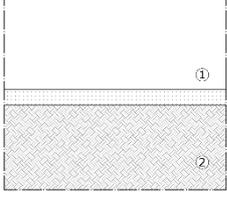
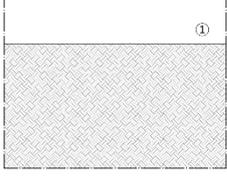
¹²²Il BIM è un metodo per generare e gestire le informazioni sugli edifici durante tutto il loro ciclo di vita: basato su una tecnologia di modellazione parametrica dell'edificio, il BIM utilizza un database relazionale unito a un modello comportamentale per elaborare e rappresentare informazioni sull'edificio in modo dinamico.

Immagine	Materiale	Conducibilità termica λ	Albedo a	Emissività ε	Rugosità r
	Basoli di Pietra Lavica	2.38	0.32	0.72	0.010
	Cubetti di Porfido	2.90	0.10	0.72	0.015
	Cubetti Pietra Lavica	2.38	0.11	0.72	0.015
	Lastre di Pietra Lavica	2.38	0.50	0.80	0.030
	Asfalto	0.70	0.15	0.93	0.016
	Cemento	0.90	0.30	0.63	0.015
	Graniglia per esterni	0.90	0.10	0.28	0.023
	Pavimento in cotto	0.90	0.33	0.90	0.014
	Masselli Autobloccanti Grigio	0.12	0.20	0.63	0.012
	Aggregati Naturali	0.50	0.83	0.58	0.023
	Prato	-	0.20	0.80	0.030
	Terreno	2.00	0.30	0.98	0.015

tab.1A - Proprietà fisiche e termiche dei materiali rilevati nell'area di studio: albedo, emissività, rugosità e conducibilità termica

Pacchetto	Sezione tipo	Stratigrafia	Spessore cm	Conducibilità termica λ	Albedo Superficiale a
Pavimentazione a giunto chiuso in basoli di pietra lavica		1. Basoli in pietra lavica 30x60/40x80 2. Sabbione misto a malta ordinaria 3. Terreno	20 45 25-100	2.38 0.35 2.00	0.32
Pavimentazione a giunto chiuso in cubetti di pietra lavica		1. Cubetti in pietra lavica 10x12 2. Sabbione misto a malta ordinaria 3. Terreno	12 25 25-100	2.38 0.35 2.00	0.11
Pavimentazione a giunto chiuso in cubetti di porfido		1. Cubetti in porfido 10x12 2. Sabbione misto a malta ordinaria 3. Terreno	12 25 25-100	2.90 0.35 2.00	0.10
Pavimentazione a giunto chiuso in lastre di pietra lavica		1. Lastre in pietra lavica 2. Massetto pendenze 3. Terreno	10 6 25-100	3.50 0.58 2.00	0.50
Pavimentazione carrabile in asfalto		1. Manto di asfalto 2. Binder 3. Misto Stabilizzato 4. Misto Cementato 5. Terreno	4 10 10 40 25-100	1.84 1.84 1.20 1.75 2.00	0.15
Pavimentazione pedonale in asfalto		1. Manto di asfalto 2. Massetto pendenza 3. Pietrame a secco 4. Terreno	3 8 10/15 25-100	1.84 0.58 0.40 2.00	0.15

tab.2A – Stratigrafie e proprietà fisiche dei pacchetti tecnologici per le pavimentazioni nell'area di studio.

Pacchetto	Sezione tipo	Stratigrafia	Spessore cm	Conducibilità termica λ	Albedo Superficiale a
Pavimentazione a giunto chiuso con masselli autobloccanti		1. Masselli autobloccanti 2. Massetto pendenza 3. Pietrame a secco 4. Terreno	8 6 10/15 25-100	2.08 0.58 0.40 2.00	0.20
Pavimentazione a giunto chiuso di cemento		1. Lastre di cemento 2. Massetto pendenza 3. Pietrame a secco 4. Terreno	3 6 10/15 25-100	1.44 0.58 0.40 2.00	0.30
Pavimentazione a giunto chiuso in graniglia per esterni		1. Lastre di granigliato 2. Massetto pendenza 3. Pietrame a secco 4. Terreno	3 6 10/15 25-100	2.36 0.58 0.40 2.00	0.10
Pavimentazione a giunto chiuso in cotto		1. Mattonelle in cotto 2. Massetto pendenza 3. Pietrame a secco 4. Terreno	1 6 10/15 25-100	2.00 0.58 0.40 2.00	0.33
Prato		1. Prato 2. Terreno	6-50 25-150	- 2.00	0.20
Terreno bruno		1. Terreno	200	2.00	0.30

tab. 2A - Stratigrafie e proprietà fisiche dei pacchetti tecnologici per le pavimentazioni nell'area di studio.

ID	AREA	GRAFICO	ORIENTAMENTO	MATERIALI SUPERFICIALI	PERCENTUALE ALBERATURE	SVF MEDIO	SUP. PERMEABILI	ALBEDO MEDIO FACCIATE	ALBEDO MEDIO TETTI	ALBEDO MEDIO PAVIMENTAZIONI	PERCENTUALE ACQUA	ELEMENTI DI OMBREGGIAMENTO	PMV MEDIO ESTIVO	PMV MEDIO ESTIVO 2050
P0-1	1897 m²		S-SE	ASFALTO	1153 m² - 61%	7%	1%	0.60	0.40	0.18	0%	0%	5,62	6,07
				CEMENTO	439 m² - 23%									
				GRANIGLIA	287,5 m² - 15%									
P0-2	1897 m²		S-SE	PRATO	22,5 m² - 1%	6,50%	3%	0.60	0.40	0.19	0%	0%	5,48	5,92
				ASFALTO	1024 m² - 54%									
				CEMENTO	557 m² - 29%									
P0-3	1352 m²		SE	GRANIGLIA	287 m² - 15%	7%	32,3%	0.60	0.40	0.15	0%	0%	5,21	5,63
				PRATO	27 m² - 3%									
				GRANIGLIA	746 m² - 55,5%									
P0-4	1235 m²		SE	CEMENTO	439,5 m² - 32,5%	0%	0%	0.60	0.40	0.13	0%	0%	5,52	5,96
				ASFALTO	144,5 m² - 11%									
				GRANIGLIA	762 m² - 61,7%									
P0-5	2281 m²		S-SO	CEMENTO	437 m² - 39,3%	12,40%	10,6%	0.65	0.35	0.21	0%	0%	5,45	5,89
				PRATO	240 m² - 10,6%									
				MASSELLI	1064 m² - 46,6%									
P0-6	2484 m²		S-SO	CEMENTO	977 m² - 42,8%	5,30%	7,3%	0.65	0.35	0.21	0%	0%	5,49	5,93
				PRATO	182 m² - 7,3%									
				MASSELLI	2159 m² - 87%									
P0-7	2827 m²		S-SO	PRATO	143 m² - 5,7%	14%	11,3%	0.65	0.35	0.24	0%	0%	5,55	5,99
				CEMENTO	1018 m² - 36%									
				PRATO	1491 m² - 52,7%									
P0-8	905 m²		S-SE	CUBETTI DI PIETRA LAVICA	905 m² - 100%	3,50%	0%	0.60	0.40	0.11	0%	0%	5,26	5,68
				PRATO	318 m² - 11,3%									
P0-9	402 m²		S-SW	CUBETTI DI PIETRA LAVICA	402 m² - 100%	2%	0%	0.60	0.40	0.11	0%	0%	5,5	5,94
				PRATO	488 m² - 26%									
P0-10	449 m²		S-SW	CUBETTI DI PIETRA LAVICA	449 m² - 100%	2,90%	0%	0.60	0.40	0.11	0%	0%	5,18	5,59
				PRATO	418 m² - 43%									
P0-11	1921 m²		S-SE	COTTO	671 m² - 36%	8,20%	26%	0.45	0.40	0.28	0%	0%	5,24	5,66
				CEMENTO	713 m² - 38%									
BA-1	981 m²		S-SE	PRATO	488 m² - 26%	15,30%	57%	0.78	0.40	0.24	0%	0%	5,2	5,62
				CEMENTO	418 m² - 43%									
BA-2	1183 m²		S-SE	COTTO	583 m² - 57%	14%	4,40%	0.78	0.40	0.31	0%	0%	5,3	5,72
				PRATO	1085 m² - 90%									
BA-3	1210 m²		S-SE	COPERTURE METALLICHE	52 m² - 4,4%	21%	30%	0.78	0.40	0.19	0%	0%	5,15	5,56
				PRATO	66 m² - 5,6%									
				ASFALTO	653 m² - 54%									
				PRATO	385 m² - 30%									
				CEMENTO	192 m² - 16%									

tab.3A- Matrice delle conoscenze tecnologiche e morfologiche degli elementi urbani campione.

ID	AREA	GRAFICO	ORIENTAMENTO	MATERIALI SUPERFICIALI	PERCENTUALE ALBERATURE	SVF MEDIO	SUP. PERMEABILI	ALBEDO MEDIO FACCIATE	ALBEDO MEDIO TETTI	ALBEDO MEDIO PAVIMENTAZIONI	PERCENTUALE ACQUA	ELEMENTI DI OMBREGGIAMENTO	PMV MEDIO ESTIVO	PMV MEDIO ESTIVO 2050
BA-5	293 m²		S-SE	ASFALTO 293 m² - 100 %	0%	0,36	0%	0,75	0,40	0,15	0%	0%	5,4	5,83
VA-1	494 m²		S	ASFALTO 497 m² - 100%	0%	0,15	0%	0,65	0,40	0,15	0%	0%	6,33	6,84
VA-7	2023 m²		0-SO	MASSELLI 560 m² - 28% ASFALTO 1463 m² - 72%	0%	0,53	0%	0,60	0,40	0,18	0%	0%	6,31	6,81
VA-8	878 m²		S	ASFALTO 568 m² - 65% BASOLI DI PIETRA LAVICA 310 m² - 35%	4%	0,5	0%	0,61	0,41	0,2	0%	0%	6,25	6,75
PO-12	7210 m²		S-SE	ASFALTO 3025 m² - 42 % LASTRE DI PIETRA LAVICA 4182 m² - 58 %	10,40%	0,63	0%	0,60	0,40	0,35	0%	0%	5,52	5,96
PO-13	833 m²		S-SE	BASOLI DI PIETRA LAVICA 833 m² - 100 %	0%	0,39	0%	0,60	0,40	0,32	0%	0%	5,7	6,16
PO-14	3641 m²		0-SO	ASFALTO 1930 m² - 54% CEMENTO 1391 m² - 39 % PRATO 311 m² - 9 %	0%	0,62	0%	0,60	0,40	0,21	0%	0%	5,86	6,33
PO-15	3125 m²		S-SE	ASFALTO 3125 m²	0%	0,68	0%	0,45	0,40	0,15	0%	0%	5,5	5,94
PO-16	4492 m²		0-SO	ASFALTO 4492 m² - 100 %	0%	0,69	0%	0,45	0,40	0,15	0%	0%	5,55	5,99
PO-17	1505 m²		0-NO	BASOLI DI PIETRA LAVICA 1505 m² - 100 %	0%	0,40	0%	0,60	0,40	0,32	0%	0%	4,8	5,18
PO-18	9714 m²		NO	MASSELLI 3572 m² - 37 % ASFALTO 4304 m² - 44 % CEMENTO 1588 m² - 16,5 % PRATO 250 m² - 2,5 %	4,50%	0,56	2,50%	0,65	0,40	0,19	0%	0%	5,39	5,82
PO-19	2966 m²		SO	MASSELLI 400 m² - 13,5 % ASFALTO 1651 m² - 55,5 % CEMENTO 140 m² - 5 % PRATO 775 m² - 26 %	9,70%	0,63	26%	0,65	0,40	0,18	0%	0%	5,19	5,61
BA-6	2236 m²		S-SE	ASFALTO 1370 m² - 61 % PIETRA LAVICA IN CUBETTI 866 m² - 39 %	6%	0,52	0%	0,75	0,40	0,13	0%	0%	5,86	6,33
BA-7	2942 m²		E-O	ASFALTO 1571 m² - 53 % PIETRA LAVICA IN CUBETTI 1371 m² - 47 %	0%	0,53	0%	0,75	0,40	0,13	0%	0%	5,56	6,00
				ASFALTO 1093 m² - 45 %										

tab.3A- Matrice delle conoscenze tecnologiche e morfologiche degli elementi urbani campione.

ID	AREA	GRAFICO	ORIENTAMENTO	MATERIALI SUPERFICIALI		PERCENTUALE ALBERATURE	SVF MEDIO	SUP. PERMEABILI	ALBEDO MEDIO FACCIATE	ALBEDO MEDIO TETTI	ALBEDO MEDIO PAVIMENTAZIONI	PERCENTUALE ACQUA	ELEMENTI DI OMBREGGIAMENTO	PMV MEDIO ESTIVO	PMV MEDIO ESTIVO 2050
				MATERIALE	PERCENTUALE										
VA-3	816 m²		S	ASFALTO	604 m² - 74 %	0%	0.40	0%	0.65	0.40	0.19	0%	0%	6,73	7,27
				BASOLI DI PIETRA LAVICA	212 m² - 26 %										
VA-4	834 m²		E-O	ASFALTO	564 m² - 68 %	0%	0.32	0%	0.65	0.40	0.20	0%	0%	5,6	6,05
				BASOLI DI PIETRA LAVICA	270 m² - 32 %										
VA-5	1560 m²		S	ASFALTO	1180 m² - 76 %	13%	0.46	0%	0.65	0.40	0.23	0%	0%	6,19	6,69
				PIETRA LAVICA IN LASTRE	380 m² - 24 %										
MU-1	9934 m²		S-E	BASOLI DI PIETRA LAVICA	9934 m² - 100 %	0%	0.66	0%	0.40	0.45	0.32	0%	0%	6,6	7,13
MU-6	7716 m²		S-E	BASOLI DI PIETRA LAVICA	1837 m² - 24 %	12%	0.47	100%	0.41	0.46	0.16	100%	100%	5,08	5,49
				PIETRA LAVICA IN CUBETTI	5880 m² - 76 %										
CS-1	2743 m²		S-SE	PIETRA LAVICA IN LASTRE	1256 m² - 47 %	11.5 %	0.33	0%	0.40	0.40	0.29	0%	0%	4,9	5,29
				PIETRA LAVICA IN CUBETTI	1487 m² - 53 %										
CS-2	2456 m²		S-SE	BASOLI DI PIETRA LAVICA	2456 m² - 100 %	0%	0.28	0%	0.35	0.50	0.32	0%	0%	5,1	5,51
CS-3	849 m²		N-E	BASOLI DI PIETRA LAVICA	849 m² - 100 %	0%	0.08	0%	0.35	0.50	0.32	0%	0%	2,3	2,48
CS-4	1726 m²		S-SE	BASOLI DI PIETRA LAVICA	1726 m² - 100 %	0%	0.25	0%	0.40	0.50	0.32	0%	0%	3,7	4,00
BA-8	883 m²		O-SO	ASFALTO	356 m² - 40 %	2%	0.54	0%	0.60	0.40	0.12	0%	0%	5,78	6,24
				PIETRA LAVICA IN CUBETTI	527 m² - 60 %										
PO-20	2169 m²		S-SE	PIETRA LAVICA IN LASTRE	349 m² - 16 %	20,40%	0.54	17%	0.60	0.40	0.21	0%	0%	5,17	5,58
				ASFALTO	1271 m² - 59 %										
				CUBETTI DI PORFIDO PRATO	375 m² - 17 %										
PO-21	1027 m²		O-NO	ASFALTO	854 m² - 83 %	0,00%	0.63	3%	0.60	0.40	0.15	0%	0%	5,25	5,67
				CUBETTI DI PIETRA LAVICA	141 m² - 14%										
				TERRENO	32 m² - 3%										
VA-6	22278 m²		E-O	ASFALTO	9373 m² - 42 %	3,50%	0.68	21%	0.65	0.40	0.28	0%	0%	6,6	7,13
				PIETRA LAVICA IN LASTRE	7552 m² - 34 %										
				BASOLI DI PIETRA LAVICA PRATO	4990 m² - 22 %										
CS-5	2176 m²		S-SE	BASOLI DI PIETRA LAVICA	1958 m² - 90 %	18%	0.20	10%	0.45	0.10	0.30	0%	0%	4,33	4,68
				PRATO	218 m² - 10 %										
				PIETRA LAVICA IN LASTRE	352 m² - 22,5 %										

tab.3A- Matrice delle conoscenze tecnologiche e morfologiche degli elementi urbani campione.

ID	AREA	GRAFICO	ORIENTAMENTO	MATERIALI SUPERFICIALI	PERCENTUALE ALBERATURE	SVF MEDIO	SUP. PERMEABILI	ALBEDO MEDIO FACCIATE	ALBEDO MEDIO TETTI	ALBEDO MEDIO PAVIMENTAZIONI	PERCENTUALE ACQUA	ELEMENTI DI OMBREGGIAMENTO	PMV MEDIO ESTIVO	PMV MEDIO ESTIVO 2050
CS-7	940 m ²		S-SE	BASOLI DI PIETRA LAVICA 940 m ² - 100 %	0%	0.35	0%	0.45	0.40	0.32	0%	0%	5,4	5,83
CS-8	2573 m ²		S-SE	BASOLI DI PIETRA LAVICA 2573 m ² - 100 %	0%	0.44	0%	0.35	0.50	0.32	0%	0%	5,6	6,05
MU-2	5813 m ²		S-SE	PIETRA LAVICA IN CUBETTI PIETRA LAVICA IN LASTRE PRATO 3736 m ² - 65 % 665 m ² - 11 % 1412 m ² - 24 %	19,40%	0.61	24%	0.45	0.40	0.21	0%	0%	4,79	5,17
MU-3	3036 m ²		SE	BASOLI DI PIETRA LAVICA PIETRA LAVICA IN LASTRE 118 m ² - 5,9 % 2918 m ² - 94,1 %	9%	0.66	0%	0.45	0.40	0.33	0%	0%	6,05	6,53
MU-4	4708 m ²		SW	PIETRA LAVICA IN CUBETTI BASOLI DI PIETRA LAVICA ASFALTO 3875 m ² - 82 % 645 m ² - 14 % 188 m ² - 4 %	0%	0.86	0%	0.60	0.40	0.14	0%	0%	6,68	7,21
MU-5	4420 m ²		S-SE	BASOLI DI PIETRA LAVICA ASFALTO 4118 m ² - 93 % 302 m ² - 7 %	10%	0.70	0%	0.45	0.40	0.30	0%	0%	5,72	6,18

tab.3A- Matrice delle conoscenze tecnologiche e morfologiche degli elementi urbani campione.

CRITERI	INDICATORI	UNITÀ DI MISURA	VERSO	Piazze e larghi						Spazio collettivo e di pertinenza						Steade		
				MU-4	VA-6	MU-2	S-SE	SE	MU-3	MU-5	VA-2	VA-3	VA-4	VA-5	MU-1	MU-6	VA-1	VA-7
CONTESTO	ORIENTAMENTO (RISPETTO AI VENTI PREVALENTI)	V. BASSO BASSO MEDIO ALTO V. ALTO	^	S-0	E-0	S-SE	SE	S-SE	S-50	S	E-0	S	S-E	S-E	S	0-50	S	
	SVF MEDIO	N.[0-1]	^ [0,50]	0,86	0,68	0,61	0,66	0,7	0,52	0,4	0,32	0,46	0,66	0,47	0,15	0,53	0,5	
MATERIALI	SUPERFICI PERMEABILI	%	^	0	21	24	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	
	ALBEDO MEDIO DELLE FACCIATE DEGLI EDIFICI	0-1	^ [0,28]	0,6	0,45	0,45	0,45	0,45	0,65	0,65	0,65	0,65	0,4	0,4	0,65	0,65	0,65	
	ALBEDO MEDIO DEI TETTI DEGLI EDIFICI	0-1	^ [0,68]	0,4	0,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45	0,45	0,4	0,4	0,4	
	ALBEDO MEDIO DELLE SUPERFICI PAVIMENTATE	0-1	^ [0,28]	0,14	0,3	0,21	0,33	0,3	0,21	0,19	0,2	0,23	0,31	0,16	0,15	0,18	0,2	
ELEMENTI DI OMBREGGIATURA	PERCENTUALE DI CORPI D'ACQUA	%	^	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	PERCENTUALE DI ALBERATURE	%	^	0	3,5	19,4	9	10	0	0	0	13	0	12	0	0	4	
	PERCENTUALE DI SISTEMI DI SCHERMATURA	%	^	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2015	PMV	0-7	v	6,68	6,60	4,79	6,05	5,72	6,52	6,73	5,60	6,19	6,60	5,08	6,33	6,31	6,25	
2050	PMV	0-7	v	7,21	7,13	5,17	6,53	6,18	7,04	7,27	6,05	6,69	7,13	5,49	6,84	6,81	6,75	

tab.5A- Matrice delle conoscenze tecnologiche e morfologiche delle aree campione del cluster di tessuti 800-900 rispetto ai criteri, gli indicatori e alla sensazione di comfort termico percepito (PMV).

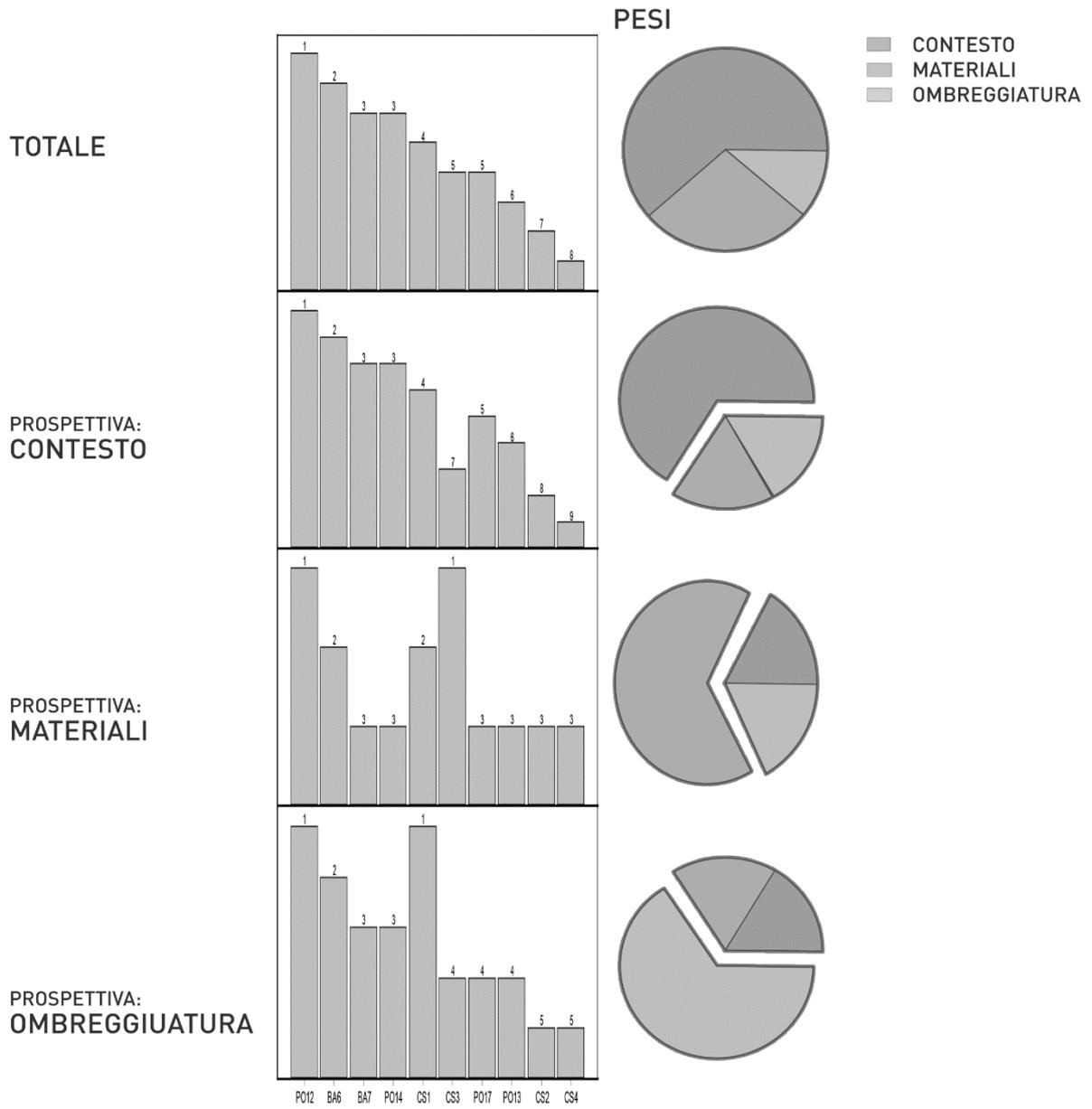


fig. 1A – Analisi di sensitività delle strade del cluster di tessuti pre-800.

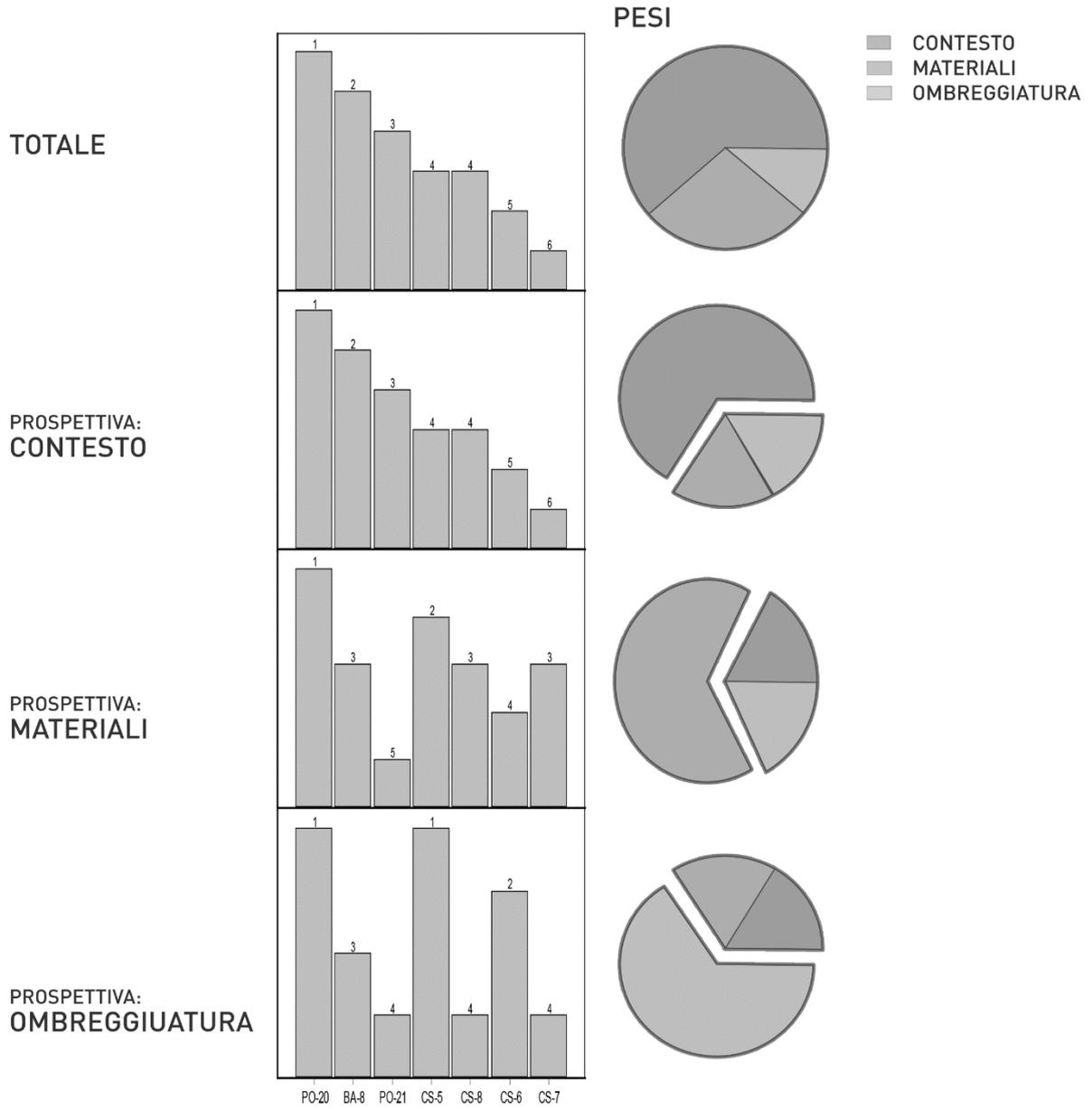


fig. 2A – Analisi di sensitività delle piazze del cluster di tessuti pre-800.

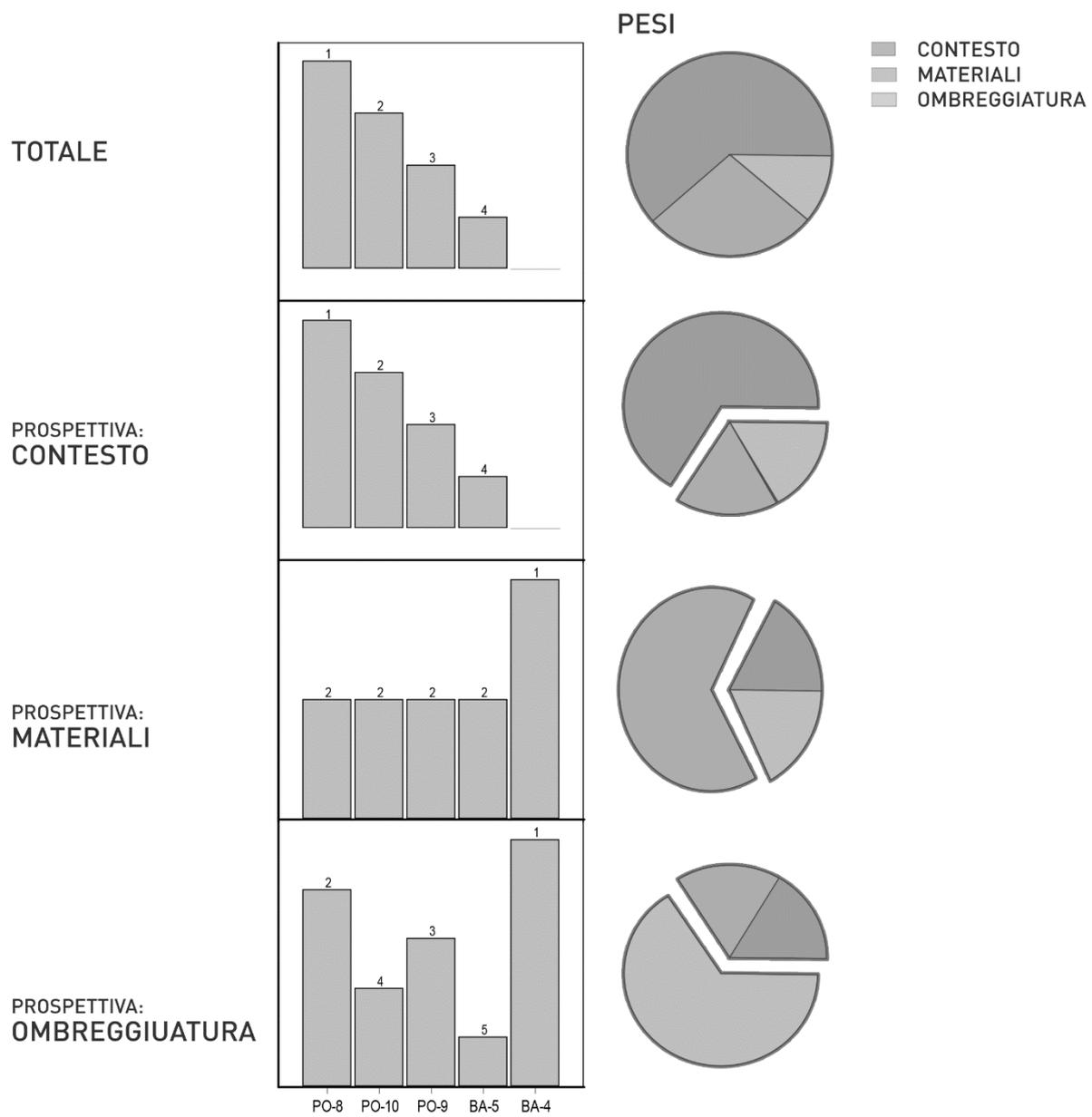


fig. 3A – Analisi di sensitività degli spazi collettivi e di pertinenza del cluster di tessuti pre-800.

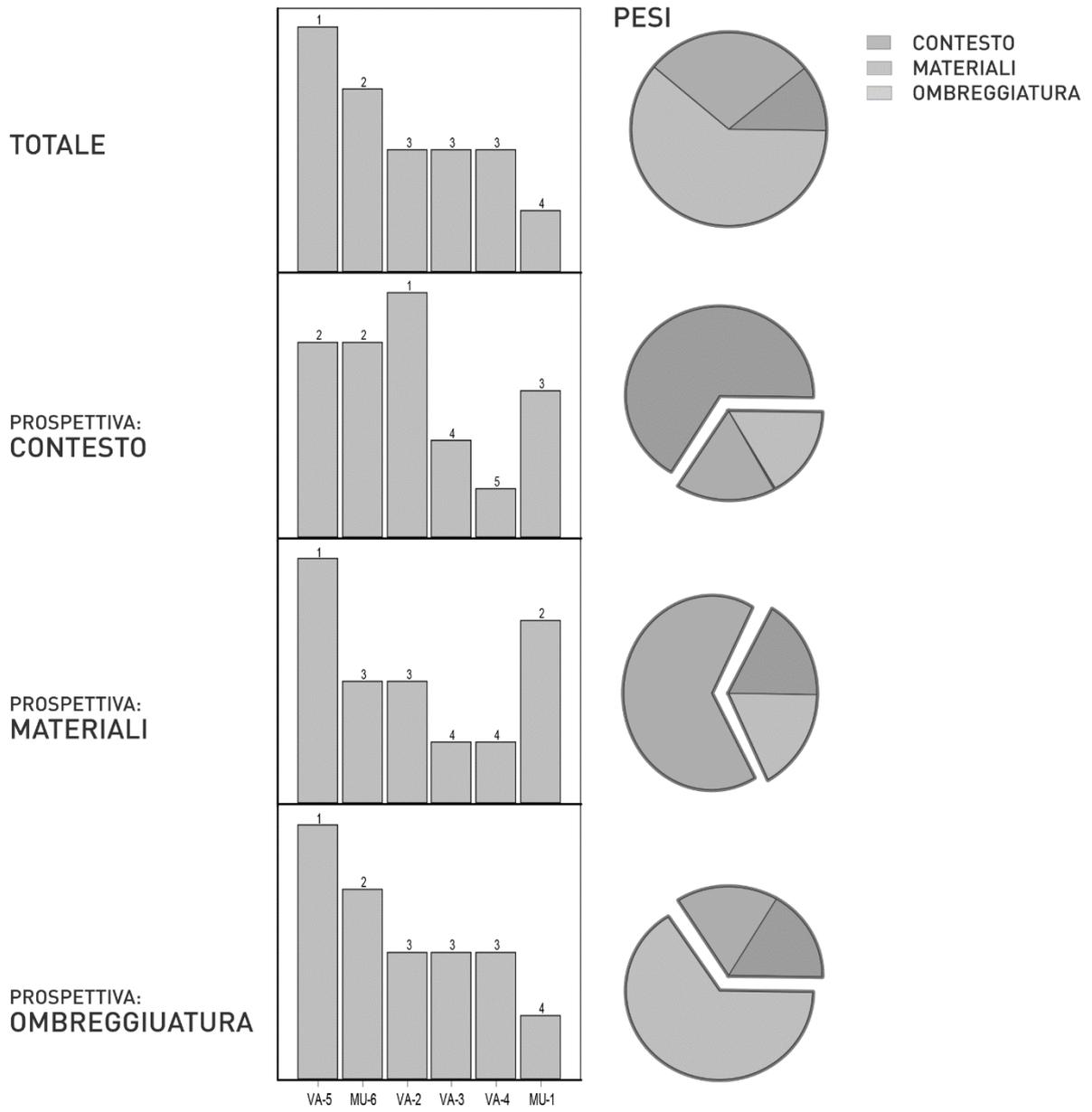


fig. 4A – Analisi di sensitività delle strade del cluster di tessuti 800-900.

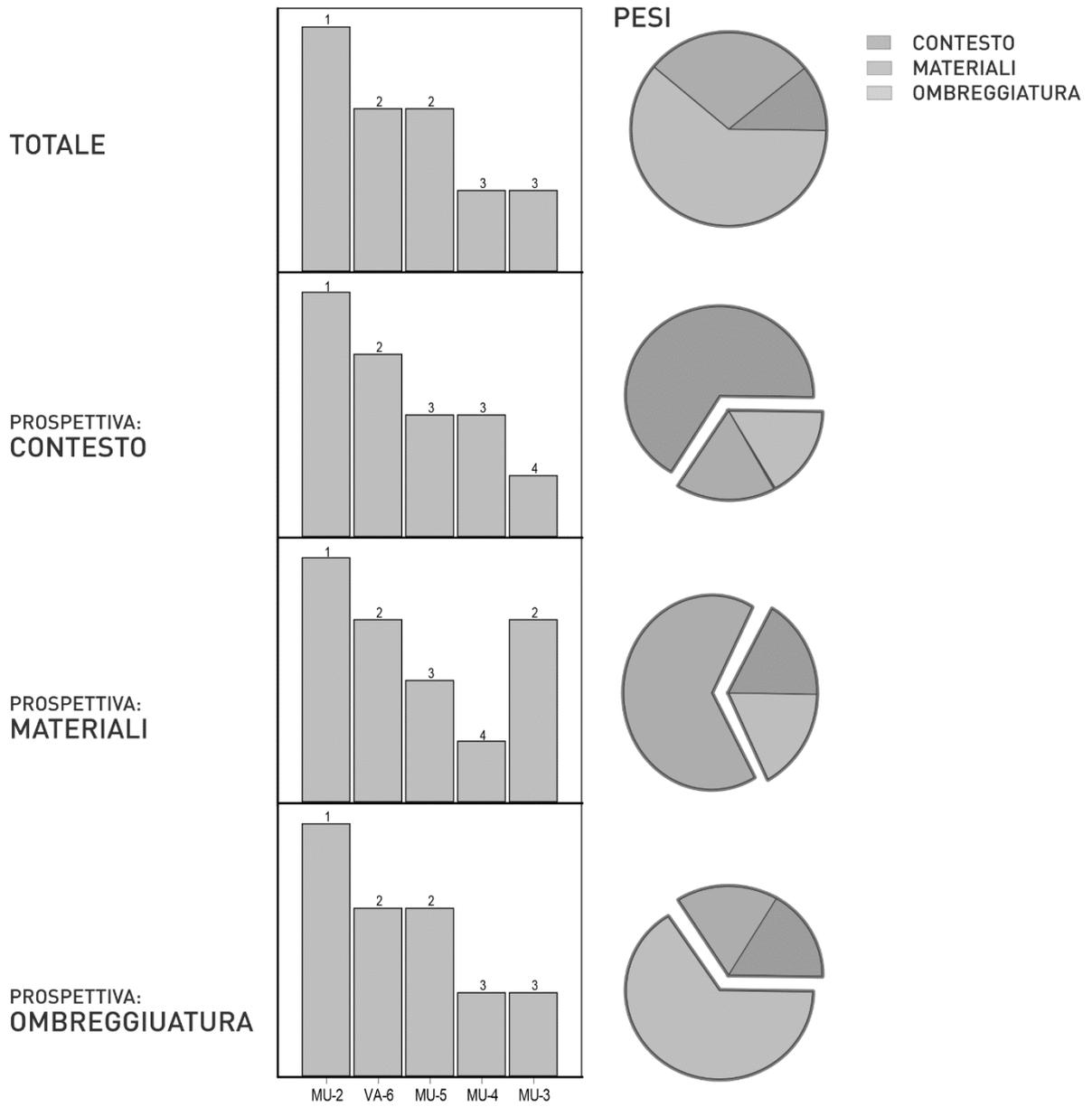


fig. 5A – Analisi di sensitività delle piazze del cluster di tessuti 800-900.

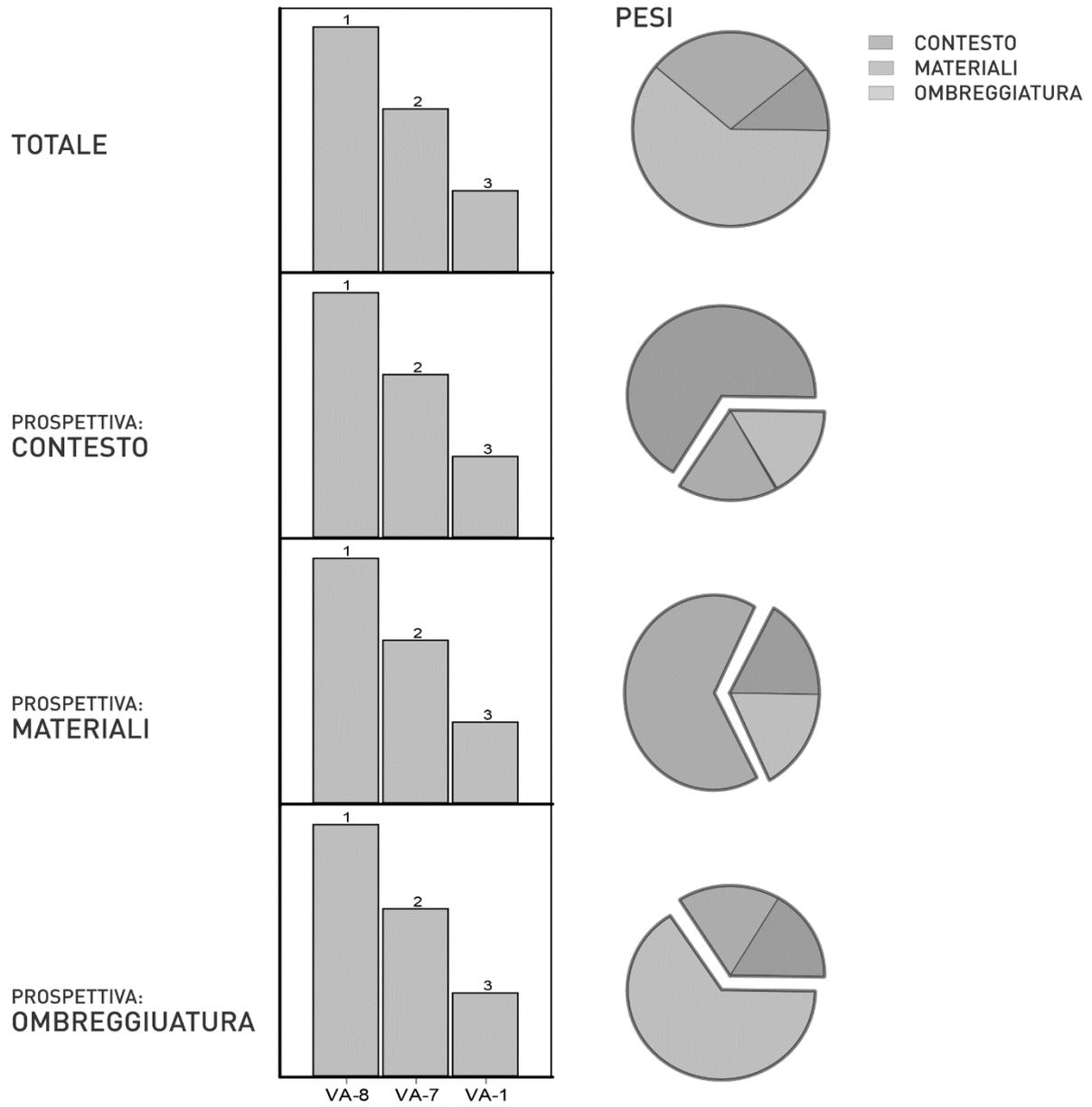


fig. 6A – Analisi di sensitività degli spazi collettivi e di pertinenza del cluster di tessuti 800-900.

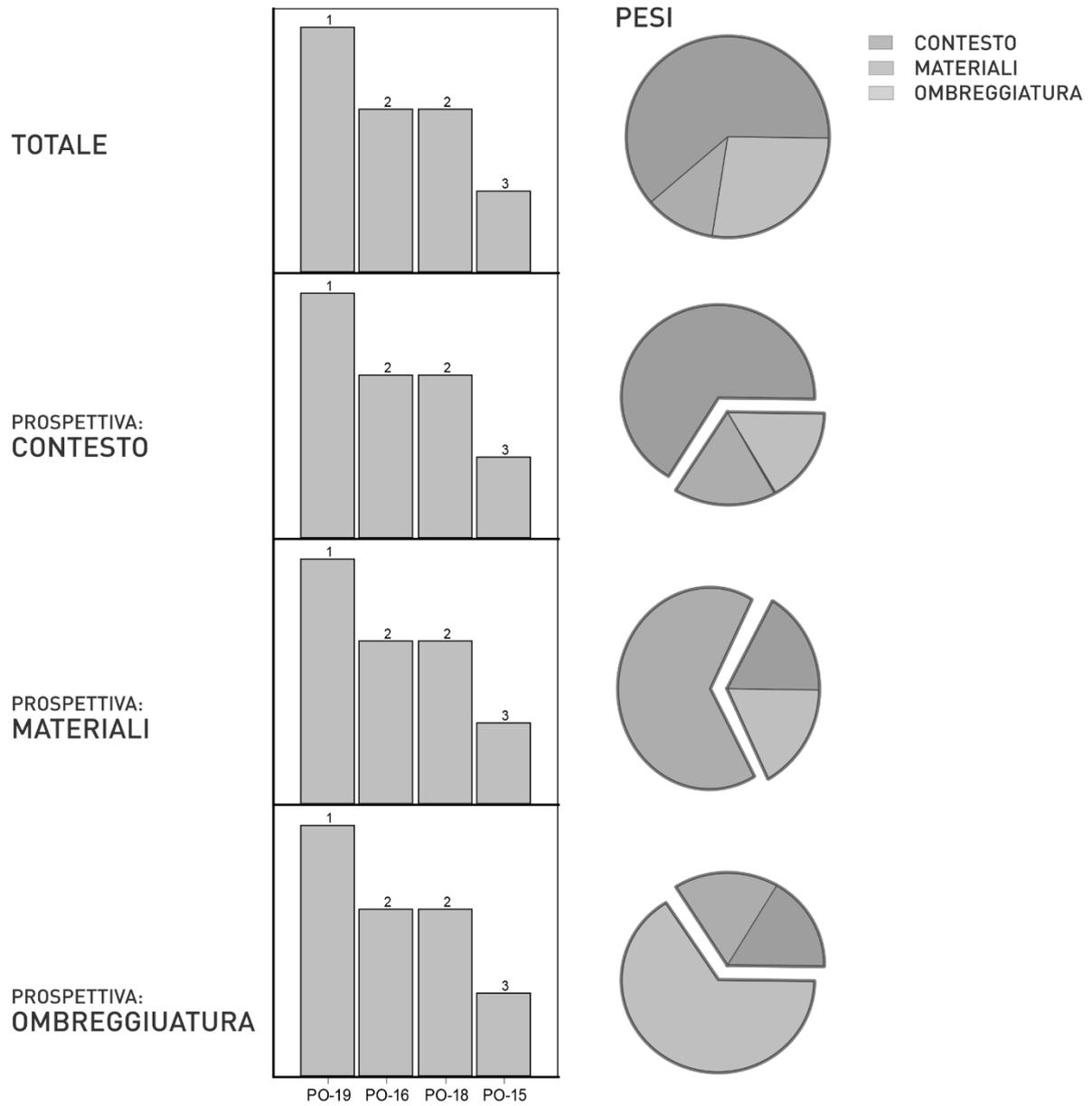


fig. 7A - Analisi di sensitività delle strade del cluster di tessuti post-900.

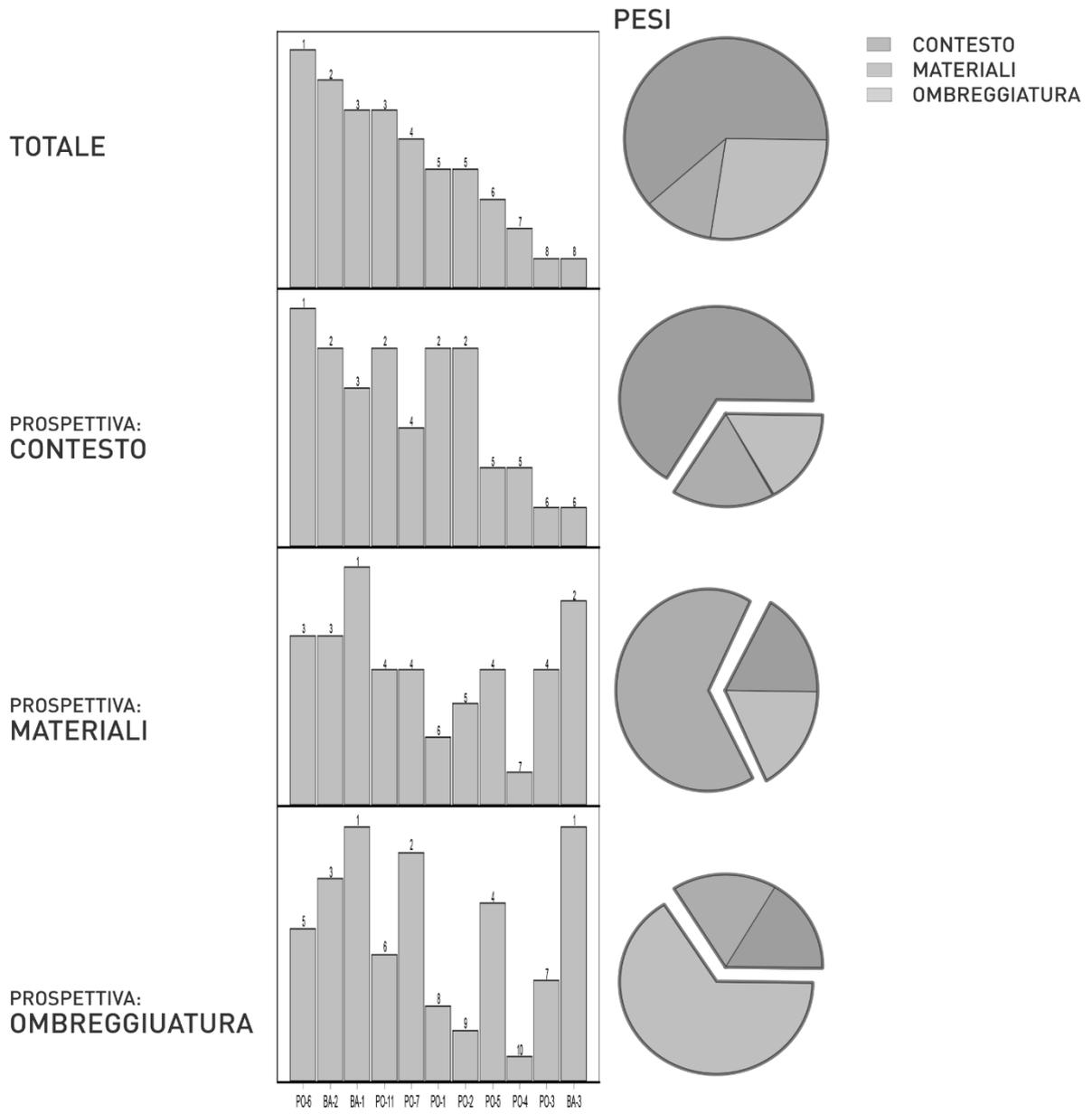
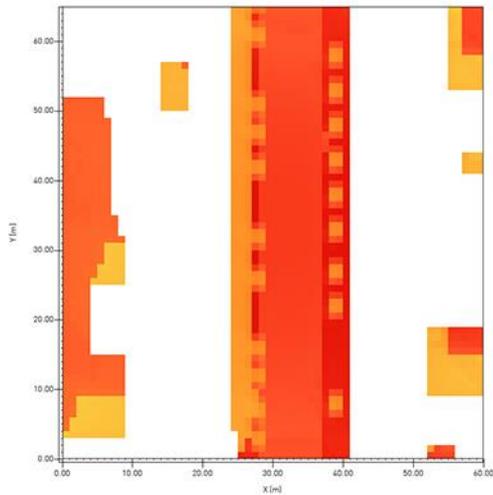
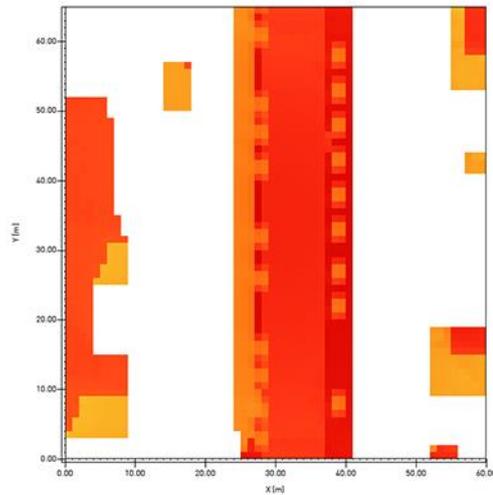


fig. 8A – Analisi di sensitività degli spazi collettivi e di pertinenza del cluster di tessuti post-900.

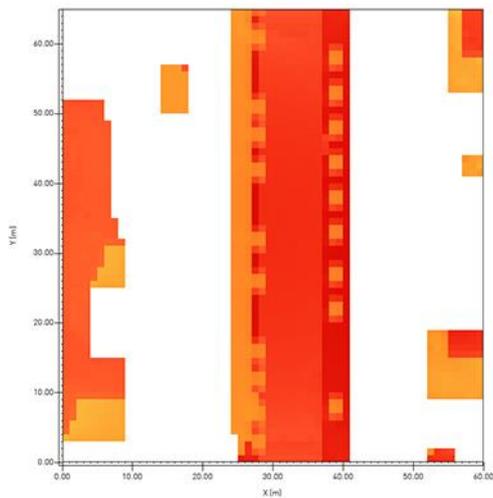
Area TP8S: risultati grafici dei test metaprogettuali per l'analisi dei valori di **PMV** al 2015 e 2050s per le soluzioni adottate.



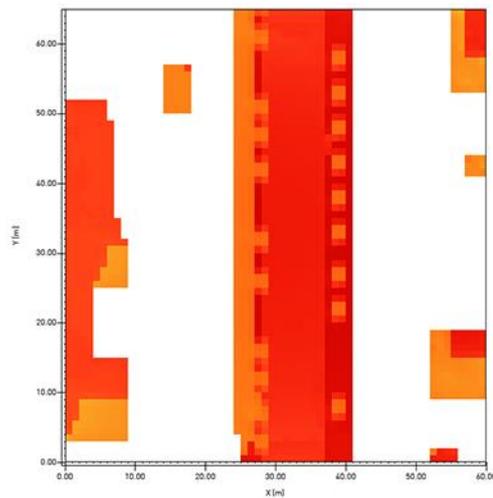
SDF 2015_min: 2.00; max: 6.14



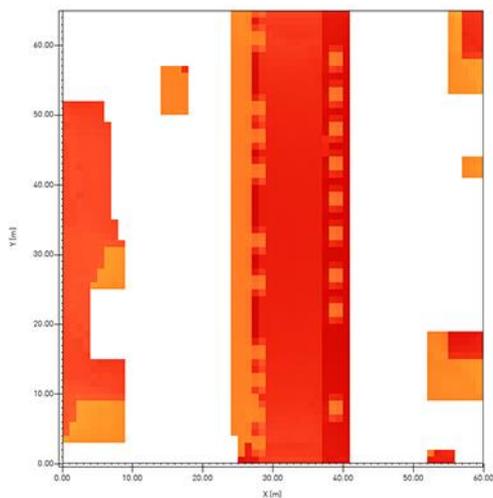
SDF 2050_min: 2.16; max: 6.63



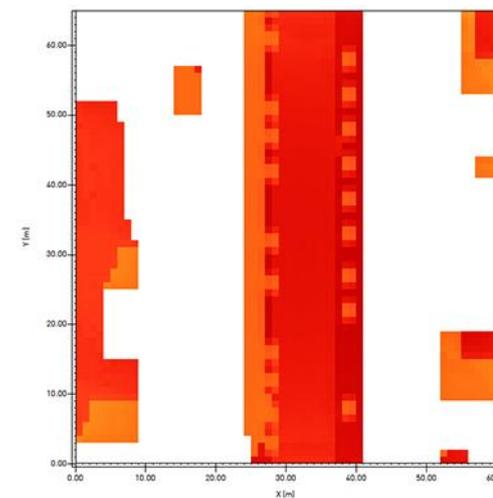
AF 0.28 2015_min: 2.23; max: 6.35



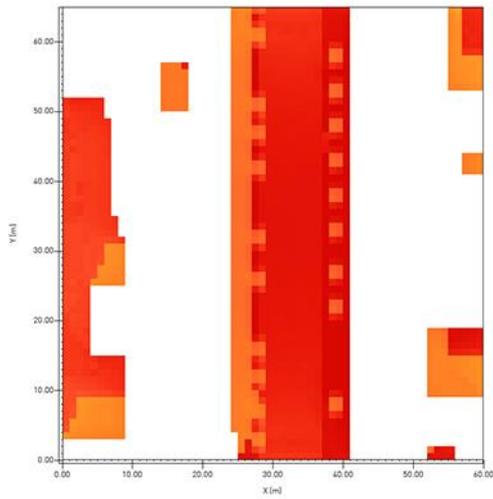
AF 0.28 2050_min: 2.41; max: 6.86



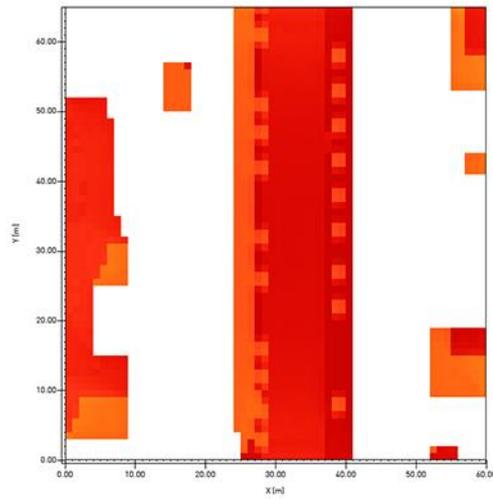
AF 0.40_min: 2.52; max: 6.66



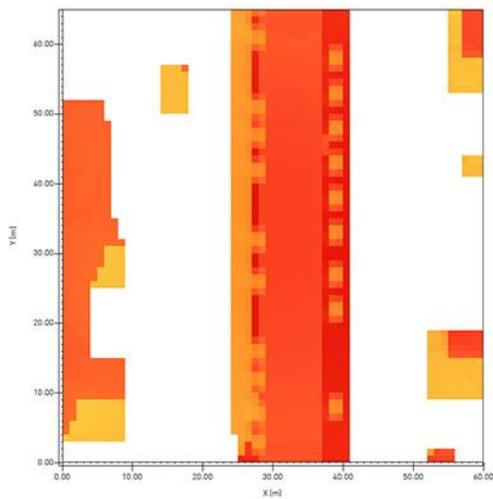
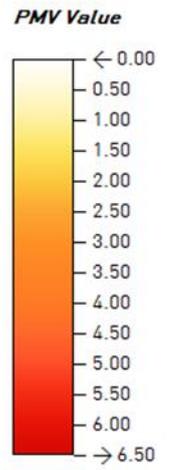
AF 0.40 2050_min: 2.72; max: 7.19



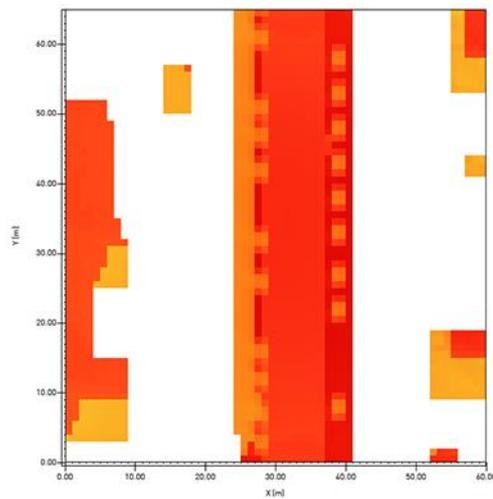
AF 0.50 2015_min: 2.75; max: 6.91



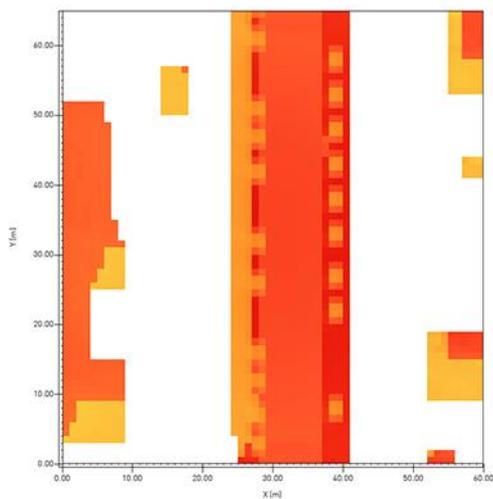
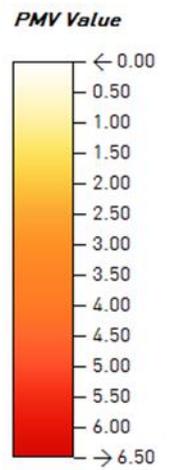
AF 0.50 2050_min: 2.97; max: 7.46



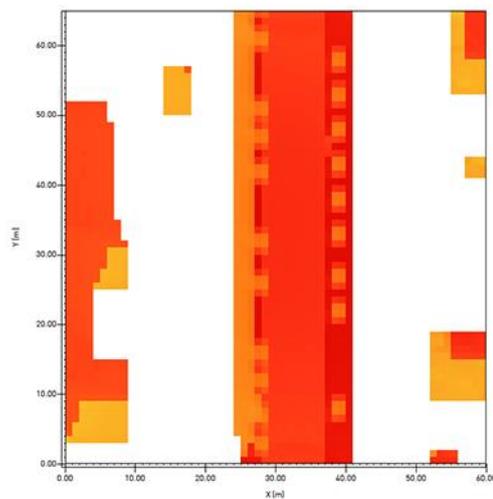
AT 0.68 2015_min: 2.00; max: 6.04



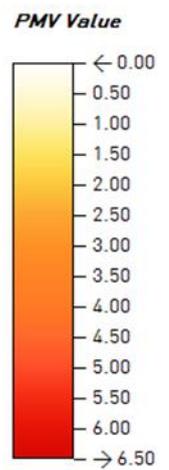
AT 0.68 2050_min: 2.16; max: 6.52

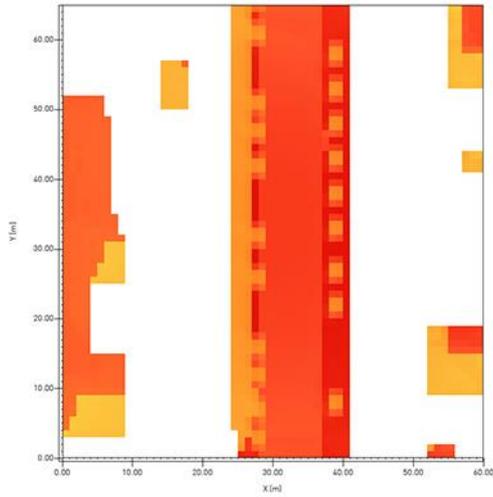


AT 0.90 2015_min: 2.00; max: 6.01

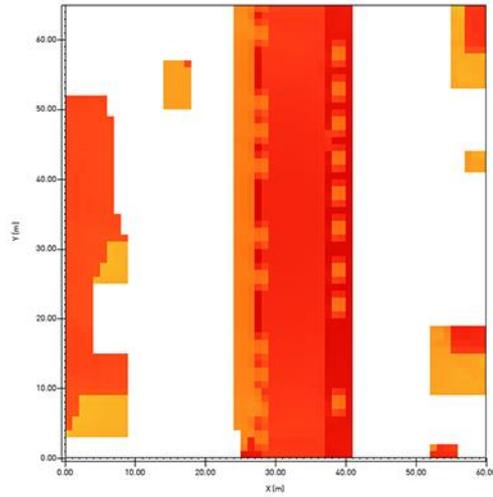


AT 0.90 2050_min: 2.16; max: 6.49

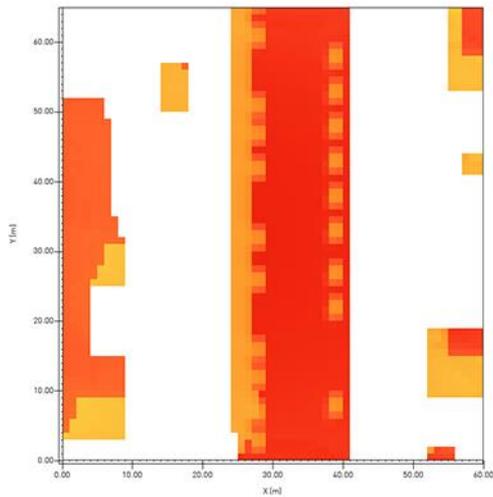
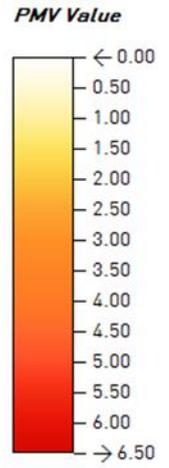




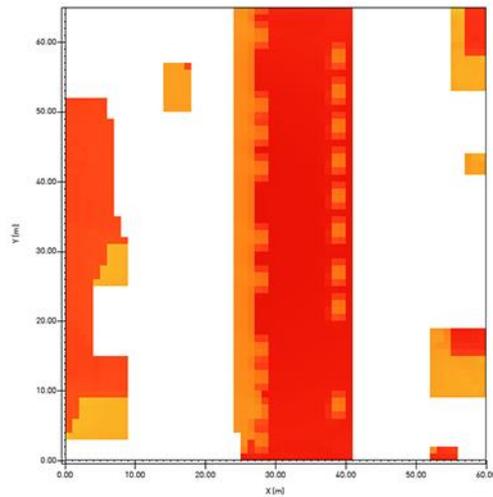
TV 2015_min: 2.00; max: 6.14



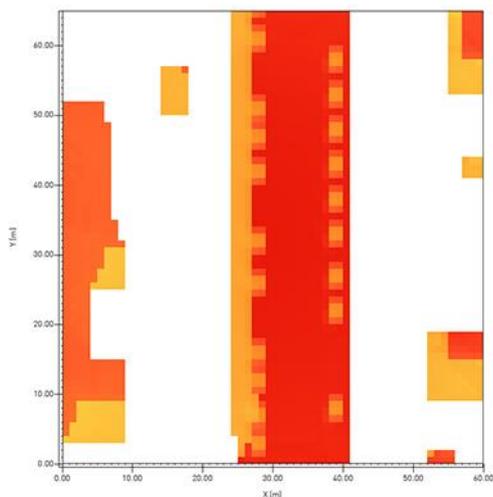
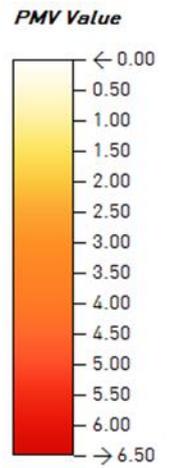
TV 2050_min: 2.16; max: 6.63



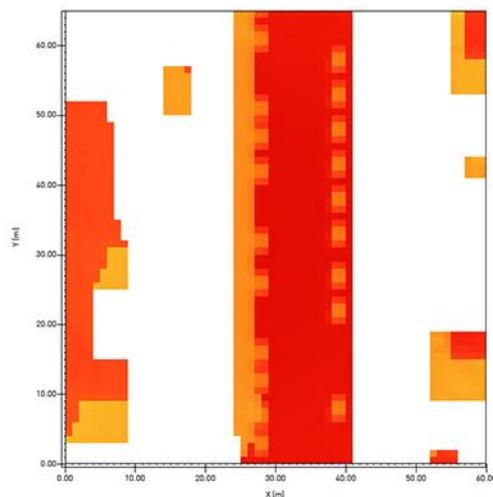
AP 0.28 2015_min: 2.01; max: 5.71



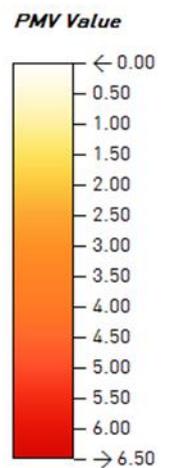
AP 0.28 2050_min: 2.17; max: 6.17

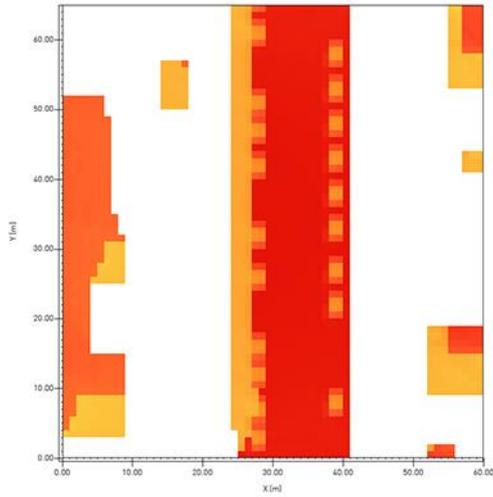


AP 0.40 2015_min: 2.01; max: 5.91

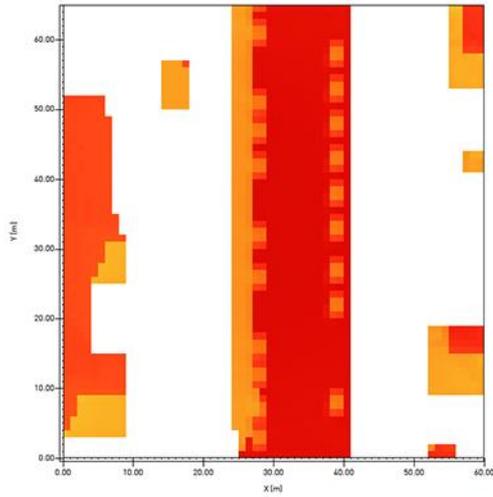


AP 0.40 2050_min: 2.17; max: 6.38

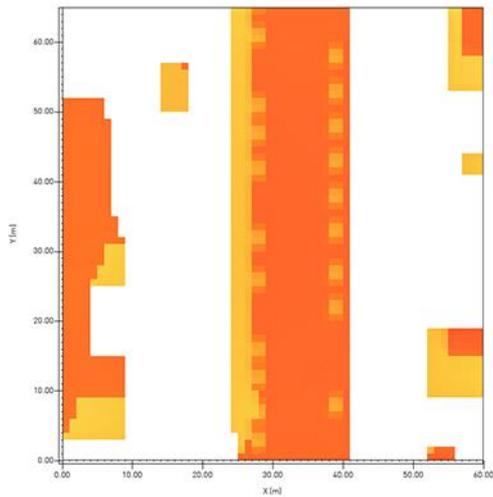
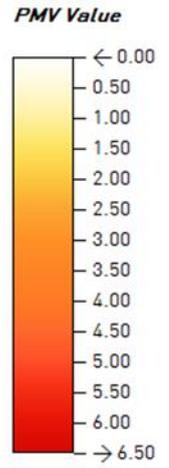




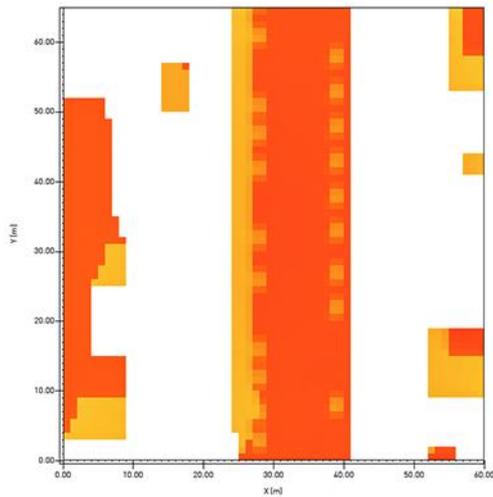
AP 0.50 2015_min: 2.00; max: 6.06



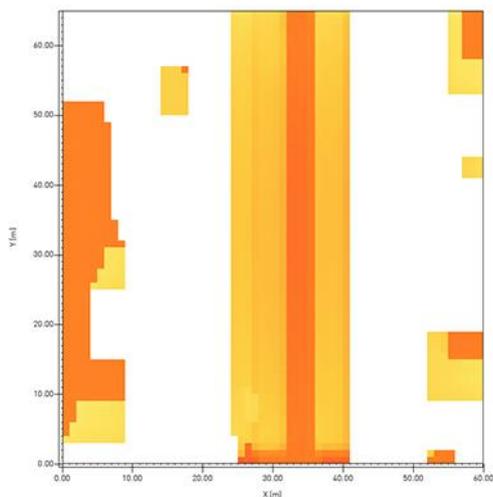
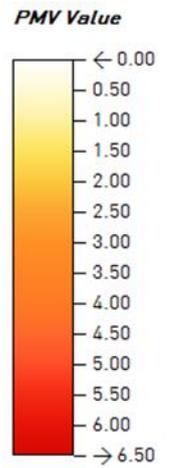
AP 0.50 2050_min: 2.16; max: 6.54



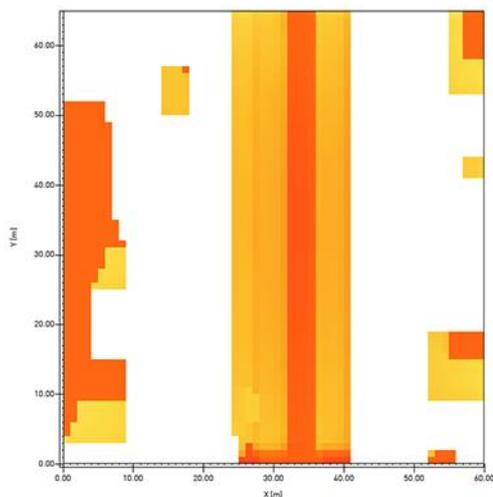
PP 2015_min: 1.82; max: 4.71



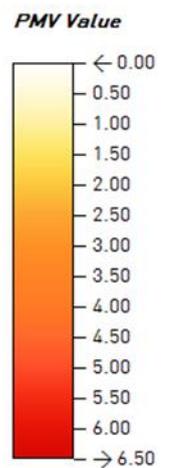
PP 2050_min: 1.97; max: 5.09

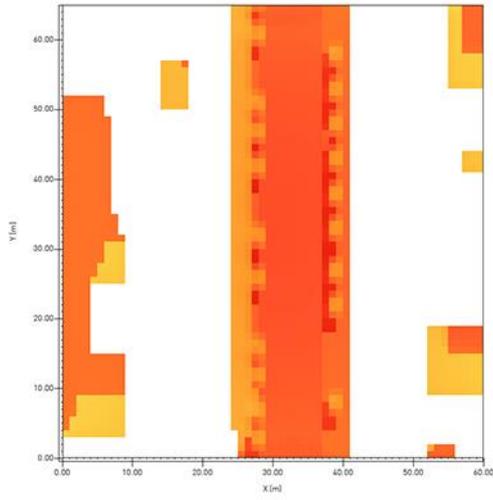


AL 2015_min: 1.39; max: 4.59

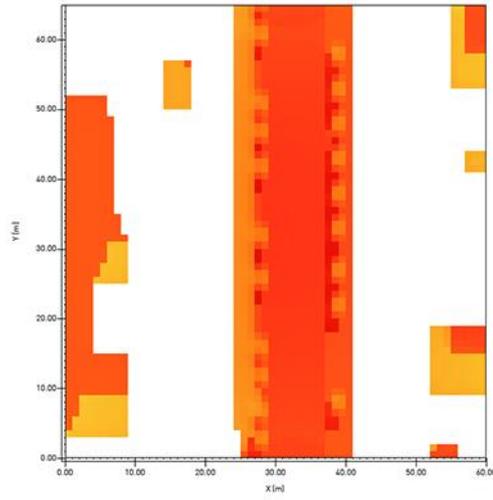


AL 2050_min: 1.50; max: 4.96

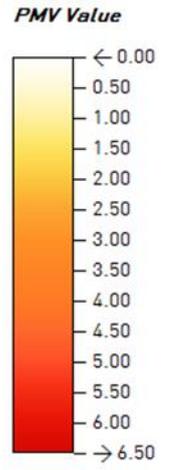




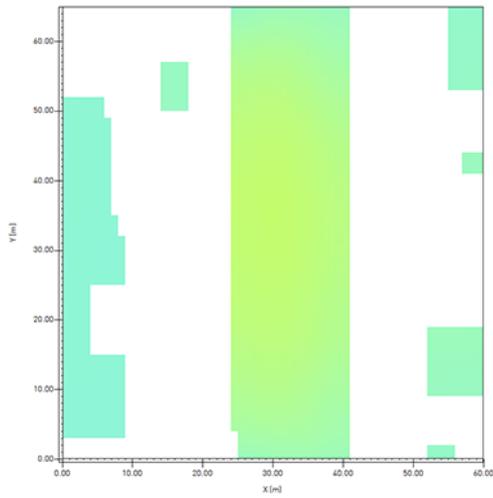
OM 2015_min: 1.87; max: 5.80



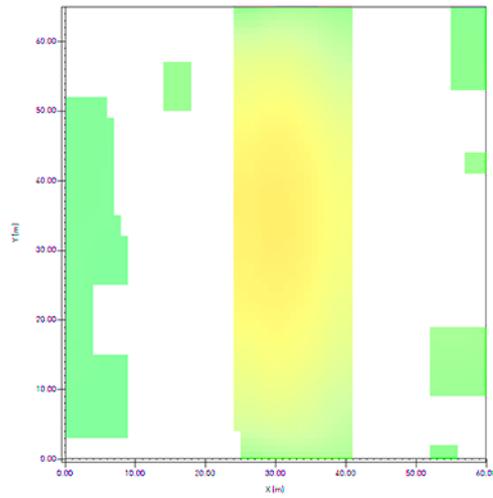
OM 2050_min: 2.02; max: 6.26



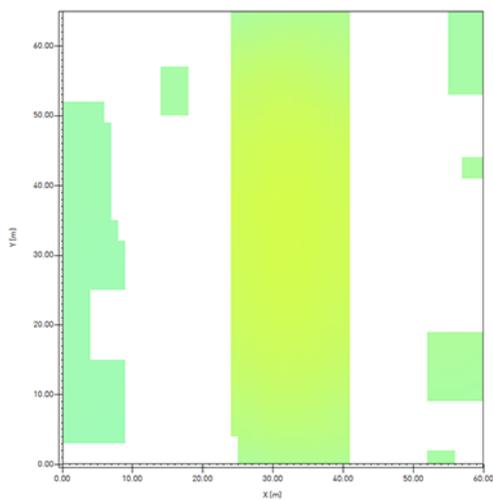
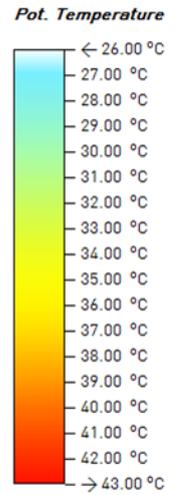
Area TP8S: risultati grafici dei test metaprogettuali per l'analisi dei valori di temperatura dell'aria_Ta al 2015 e 2050s per le soluzioni adottate.



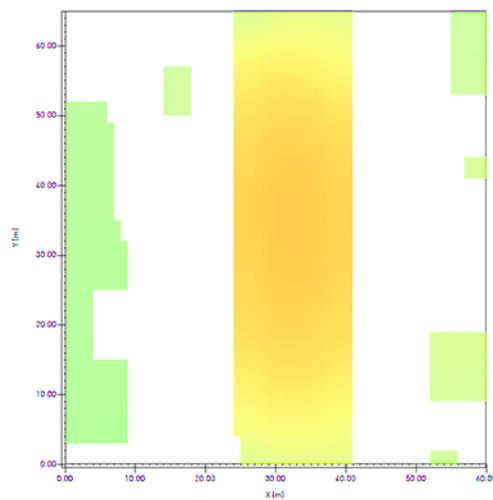
SDF 2015_min: 29.64; max: 32.43



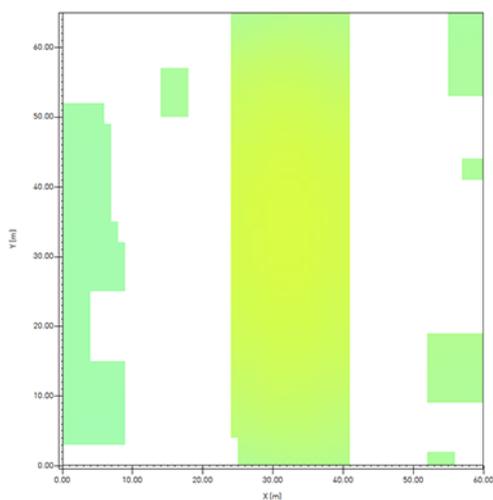
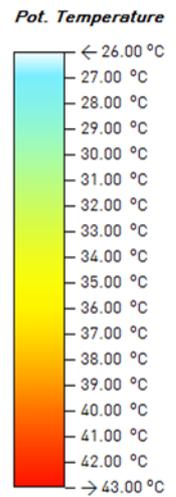
SDF 2050_min: 32.01; max: 35.02



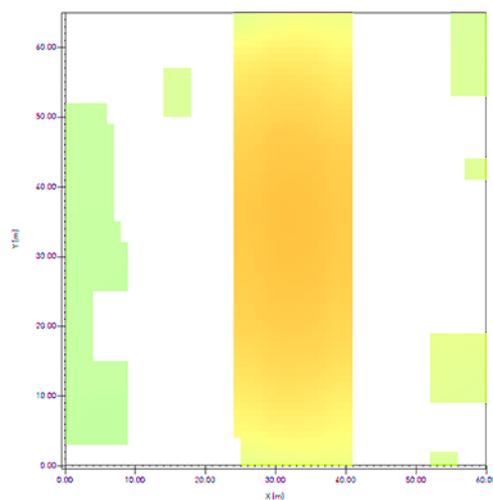
AF 0.28 2015_min: 29.75; max: 32.61



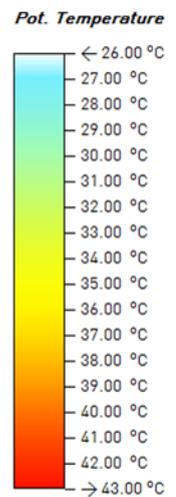
AF 0.28 2050_min: 32.13; max: 35.22

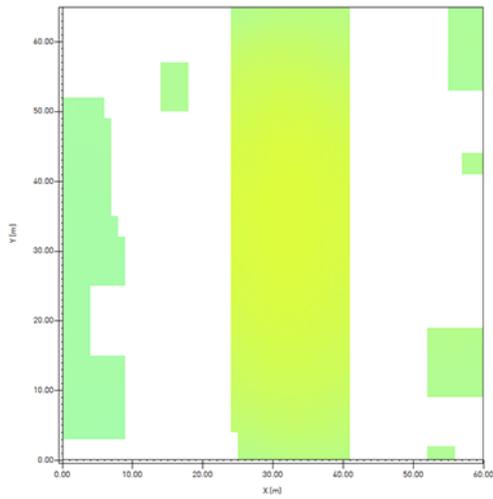


AF 0.40_min: 29.93; max: 32.87

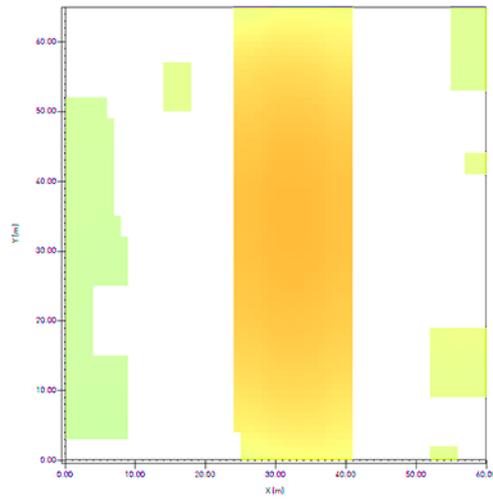


AF 0.40 2050_min: 32.32; max: 35.50

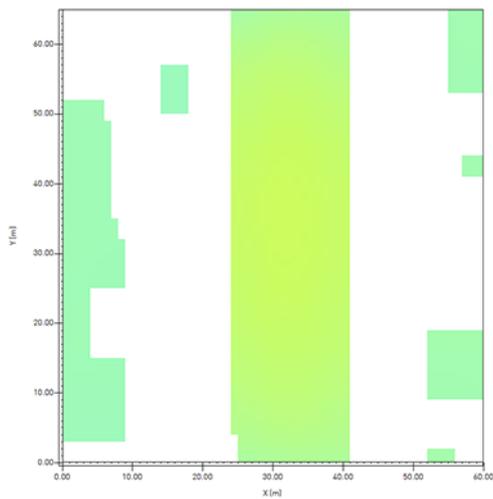
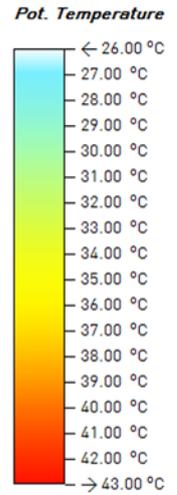




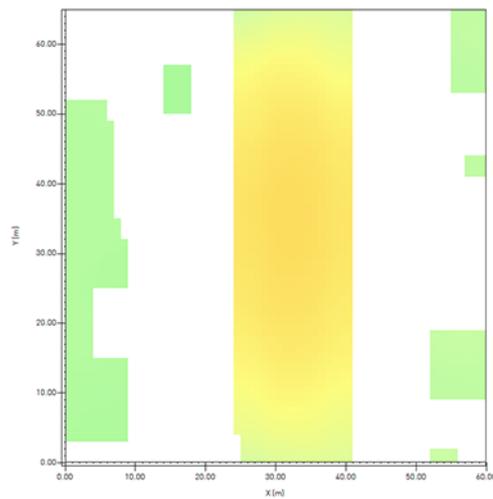
AF 0.50 2015_min: 30.08; max: 33.08



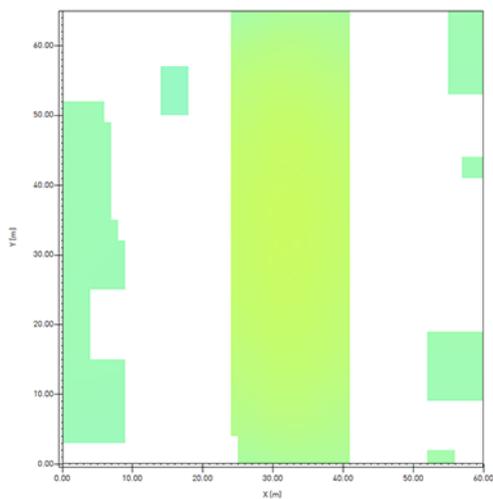
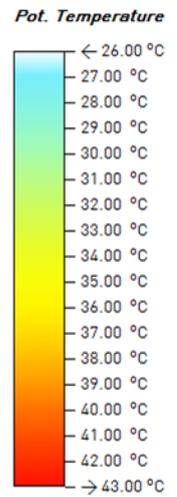
AF 0.50 2050_min: 32.49; max: 35.73



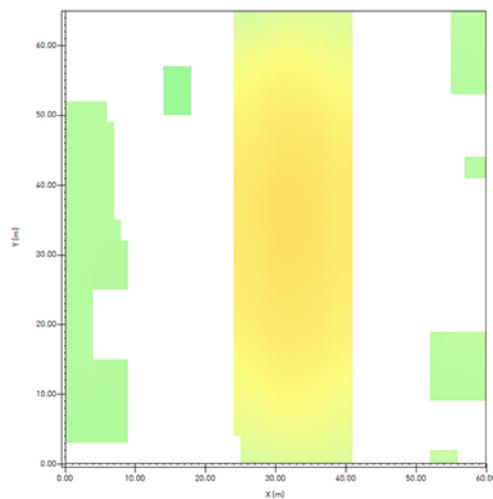
AT 0.68 2015_min: 29.55; max: 31.12



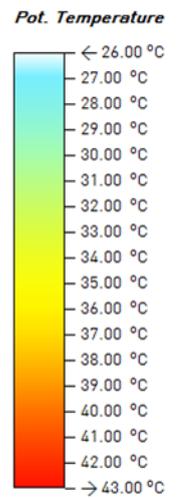
AT 0.68 2050_min: 31.91; max: 34.69

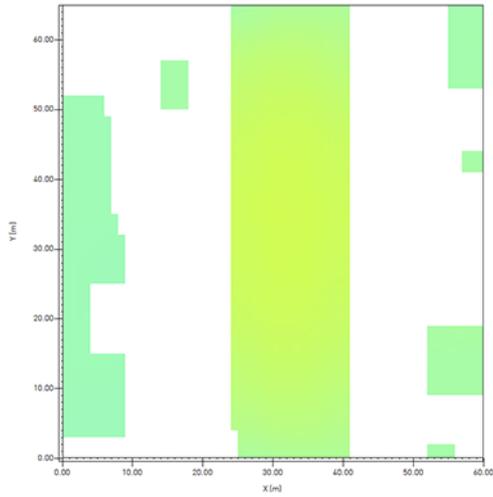


AT 0.90 2015_min: 29.33; max: 32.01

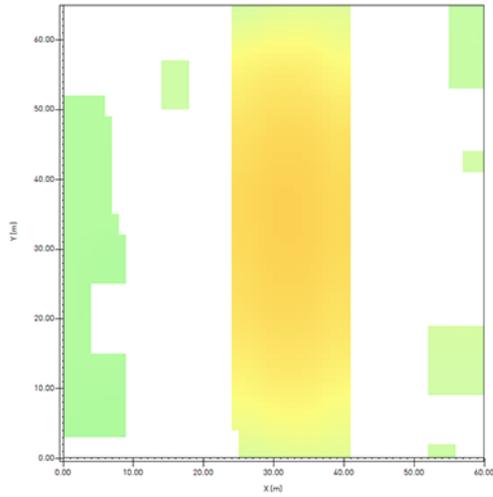


AT 0.90 2050_min: 31.68; max: 34.57



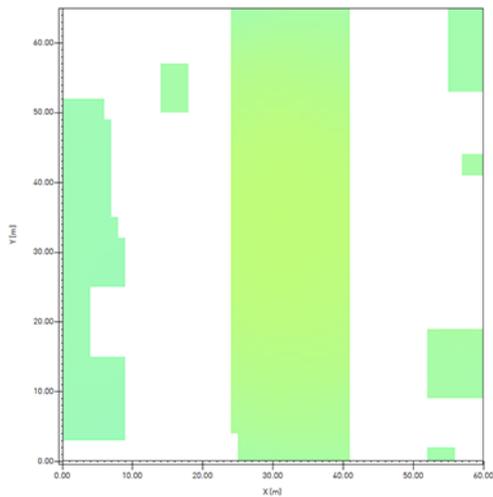
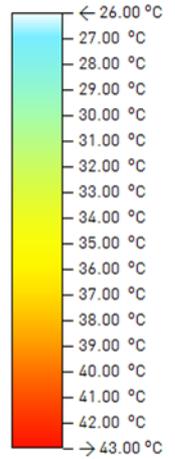


TV 2015_min: 29.62; max: 32.44

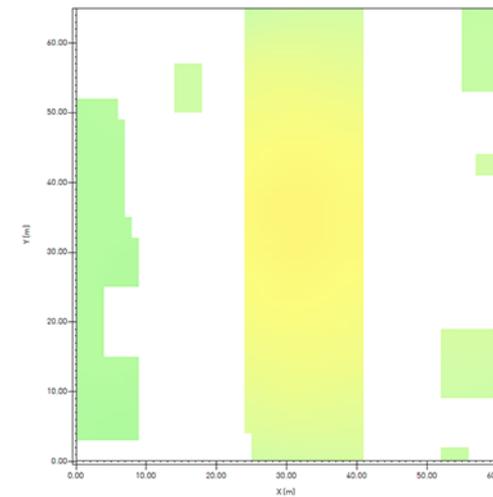


TV 2050_min: 31.99; max: 35.04

Pot. Temperature

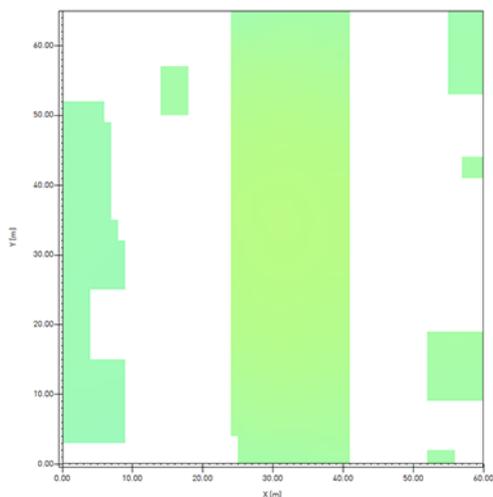
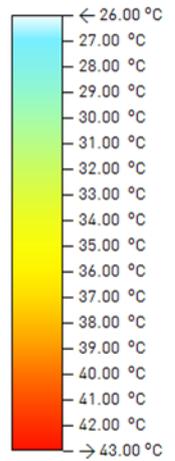


AP 0.28 2015_min: 29.64; max: 31.41

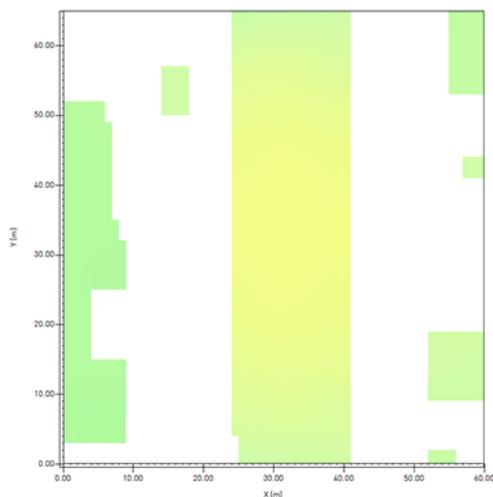


AP 0.28 2050_min: 32.01; max: 33.92

Pot. Temperature

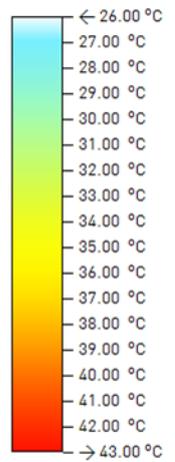


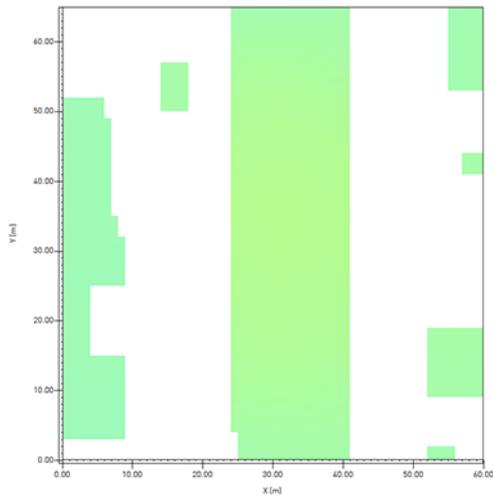
AP 0.40 2015_min: 29.64; max: 31.09



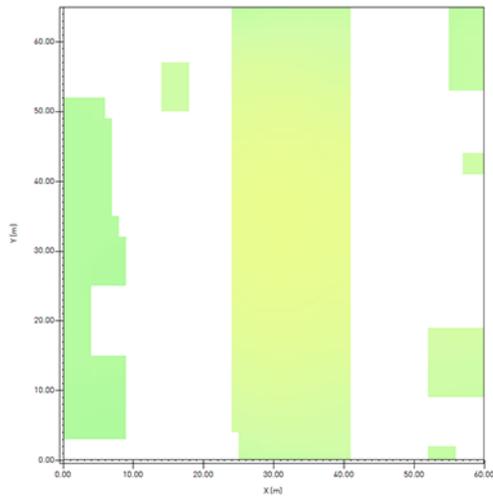
AP 0.40 2050_min: 32.01; max: 33.58

Pot. Temperature

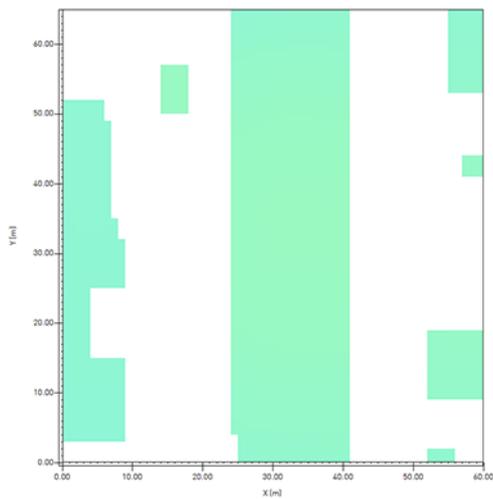
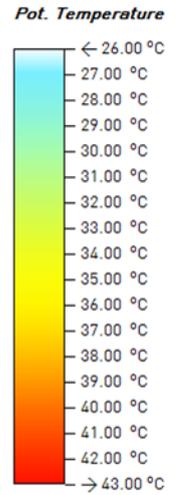




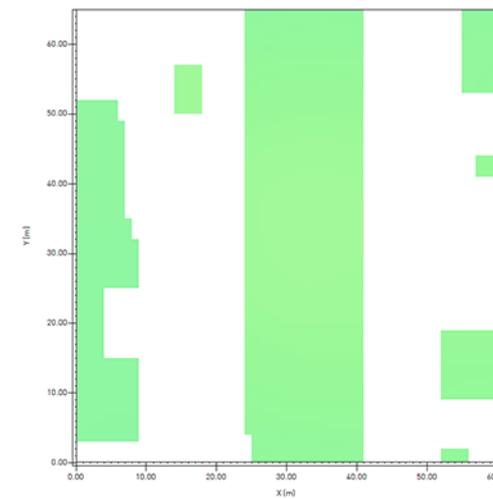
AP 0.50 2015_min: 29.63; max: 30.83



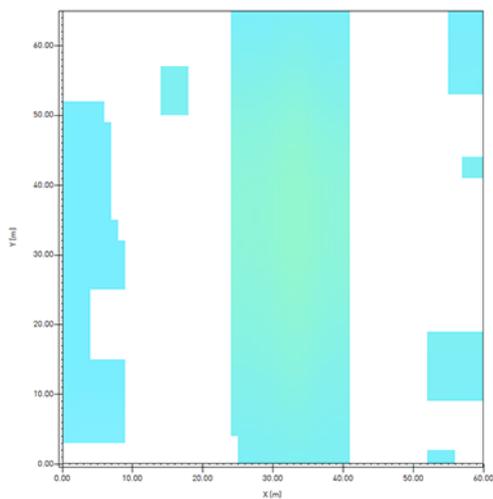
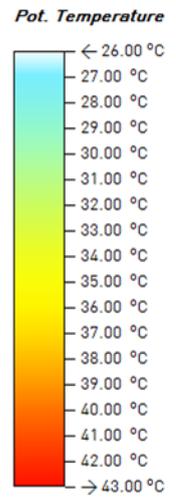
AP 0.50 2050_min: 32.00; max: 33.30



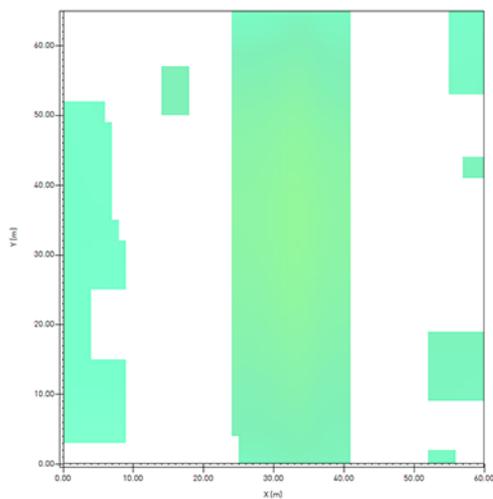
PP 2015_min: 28.75; max: 29.43



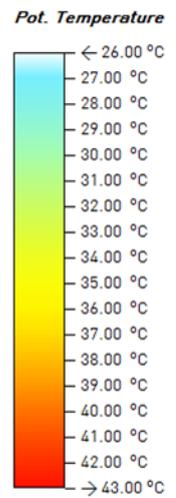
PP 2050_min: 31.05; max: 31.78

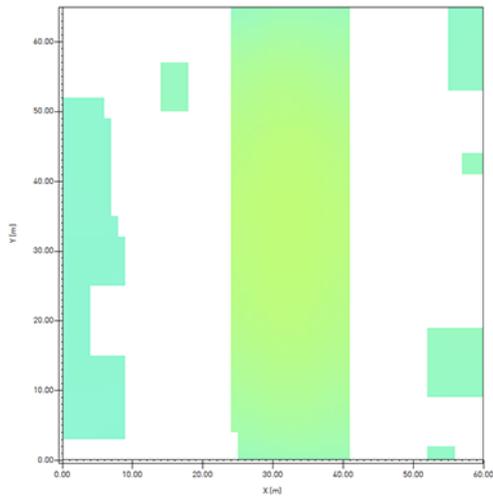


AL 2015_min: 26.94; max: 29.06

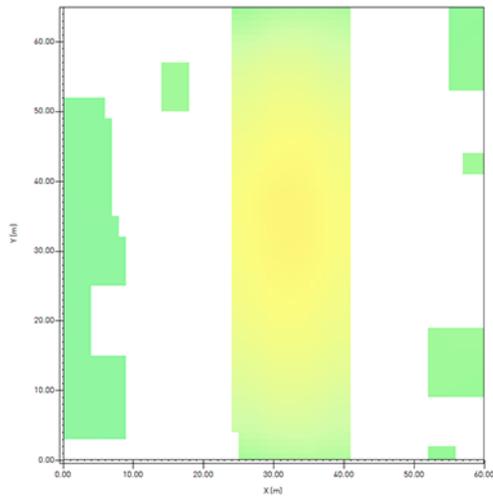


AL 2050_min: 29.10; max: 31.38

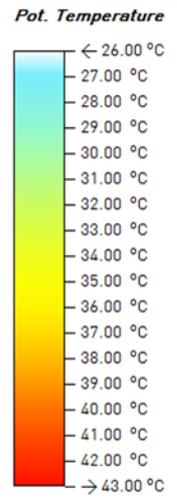




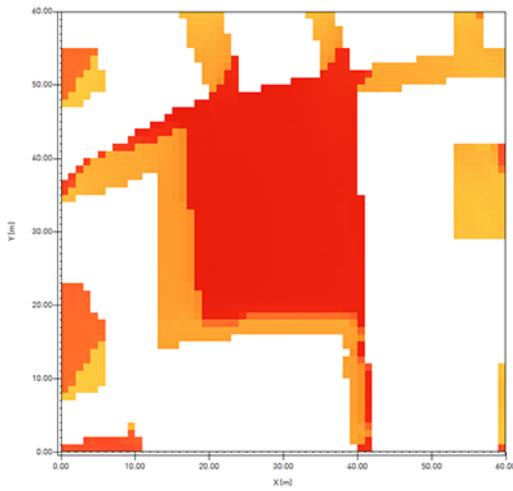
OM 2015_min: 29.83; max: 31.44



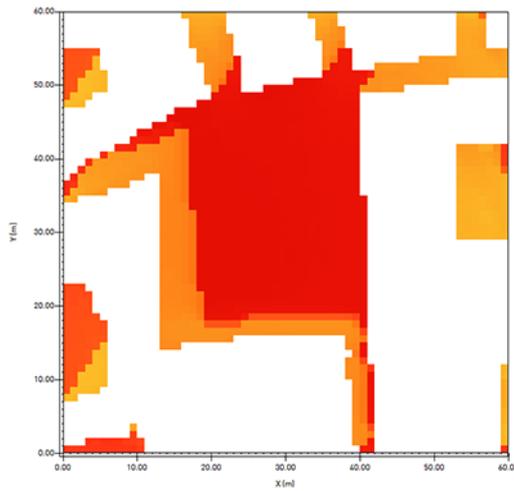
OM 2050_min: 31.14; max: 33.96



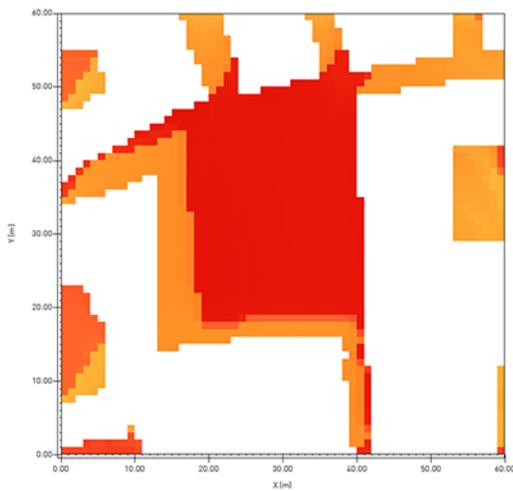
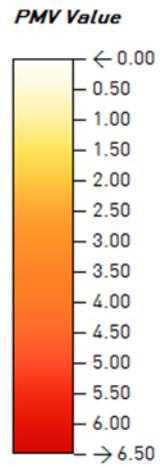
Area TP8P: risultati grafici dei test metaprogettuali per l'analisi dei valori di PMV al 2015 e 2050s per le soluzioni adottate.



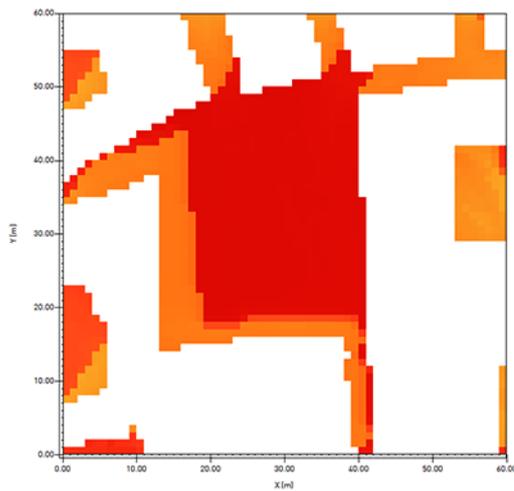
SDF 2015_min: 1.96; max: 5.82



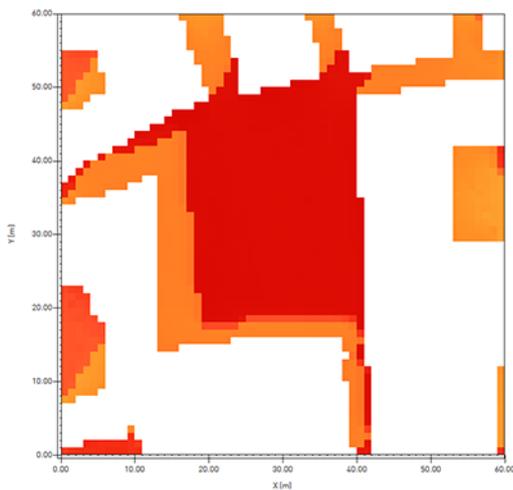
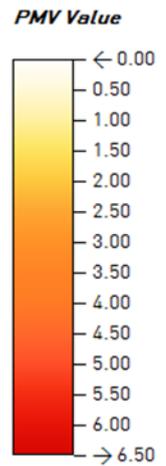
SDF 2050_min: 2.12; max: 6.29



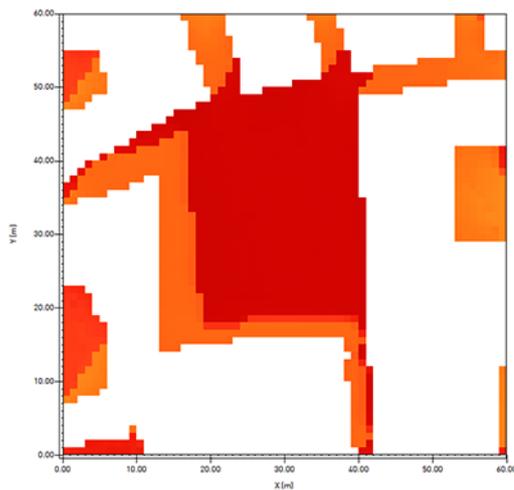
AF 0.28 2015_min: 2.26; max: 6.08



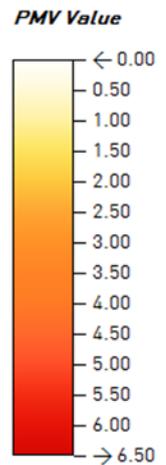
AF 0.28 2050_min: 2.44; max: 6.57

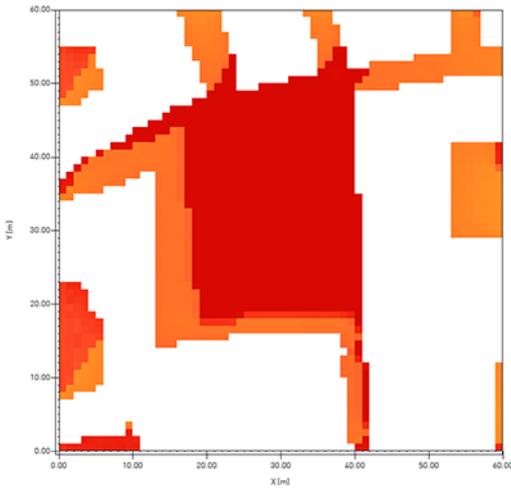


AF 0.40_min: 2.65; max: 6.47

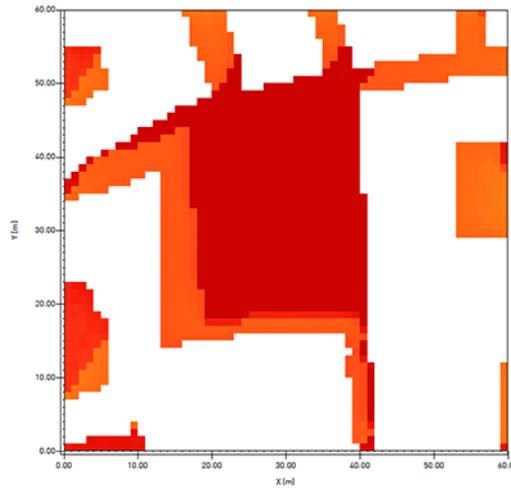


AF 0.40 2050_min: 2.86; max: 6.99

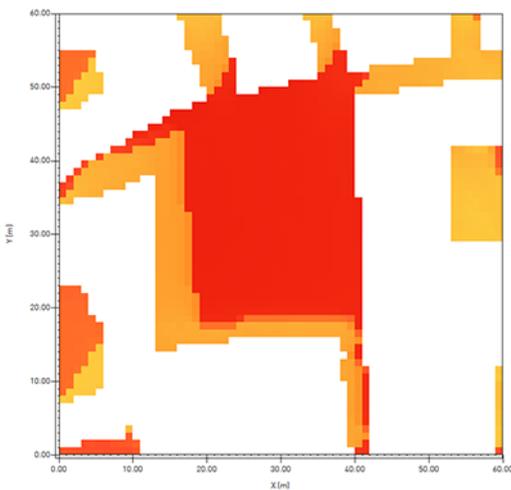
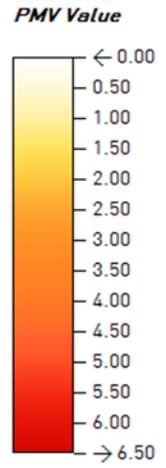




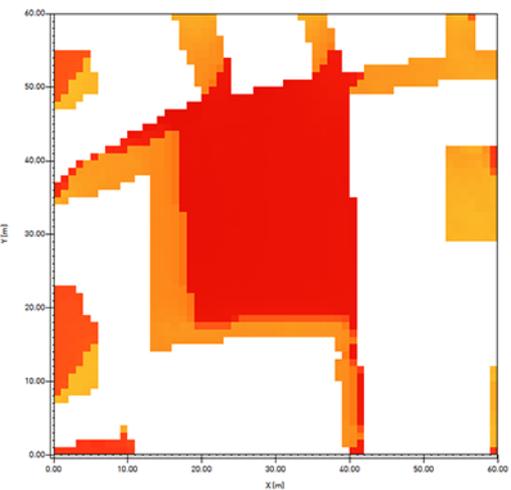
AF 0.50 2015_min: 3.00; max: 6.78



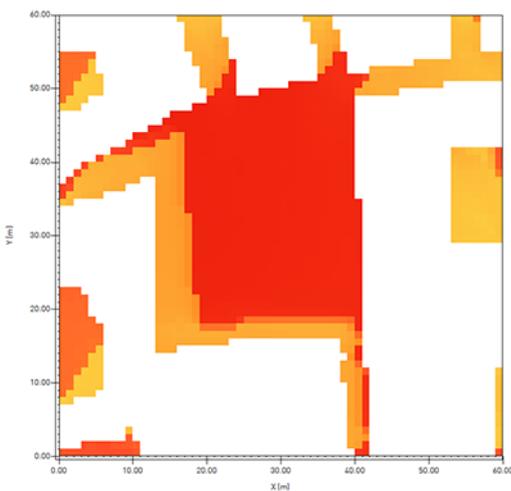
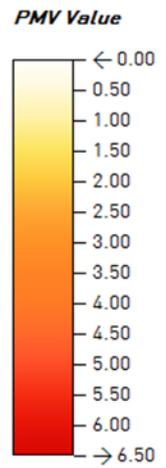
AF 0.50 2050_min: 3.24; max: 7.32



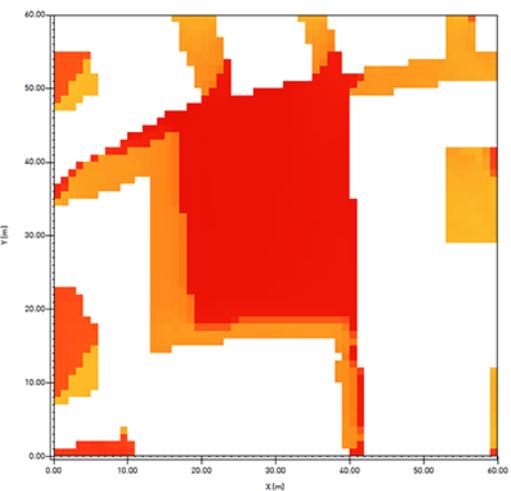
AT 0.68 2015_min: 1.96; max: 5.75



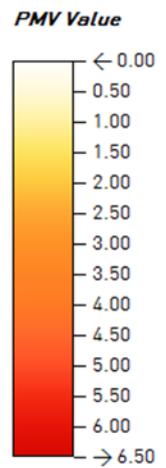
AT 0.68 2050_min: 2.12; max: 6.21

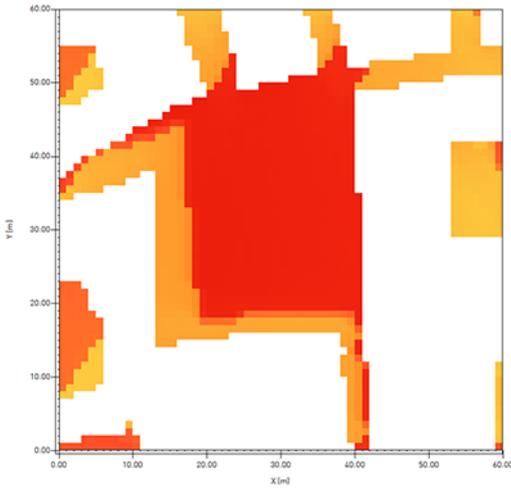


AT 0.90 2015_min: 1.96; max: 5.73

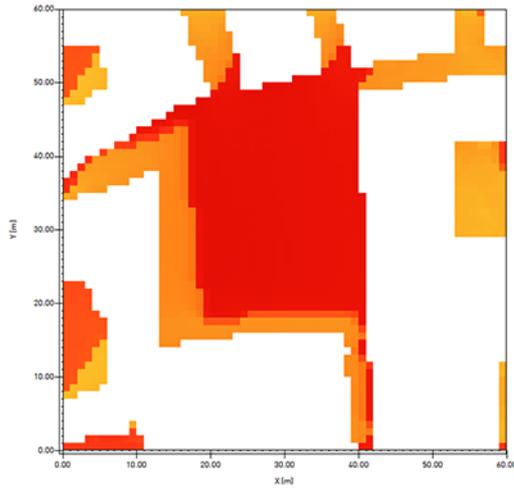


AT 0.90 2050_min: 2.12; max: 6.19

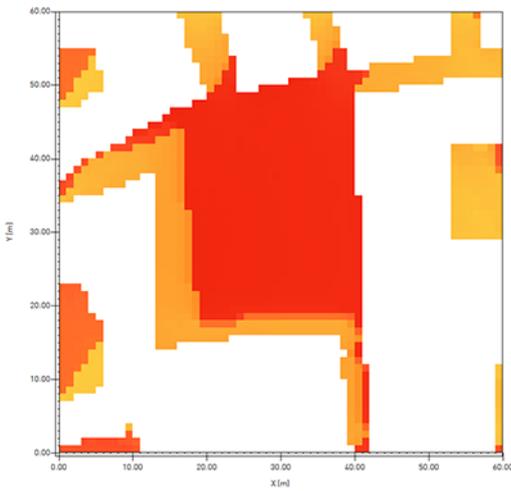
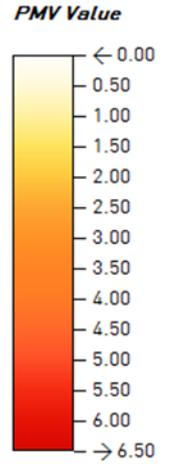




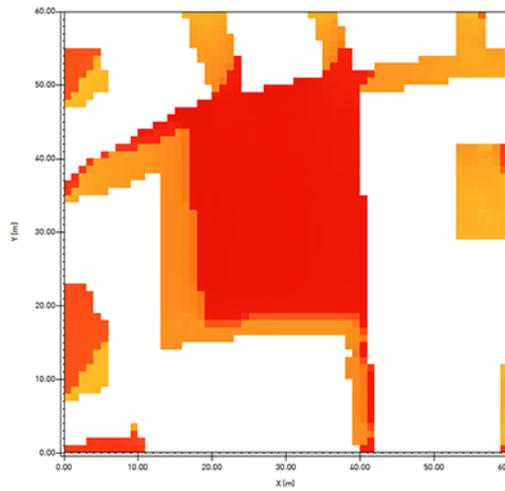
TV 2015_min: 1.96; max: 5.80



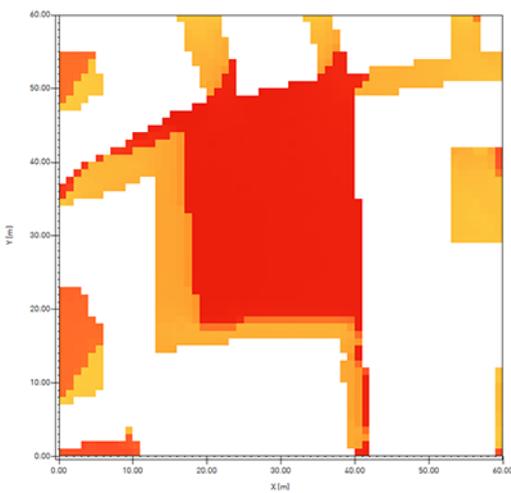
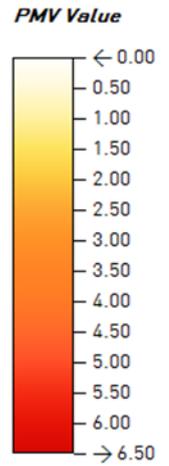
TV 2050_min: 2.12; max: 6.26



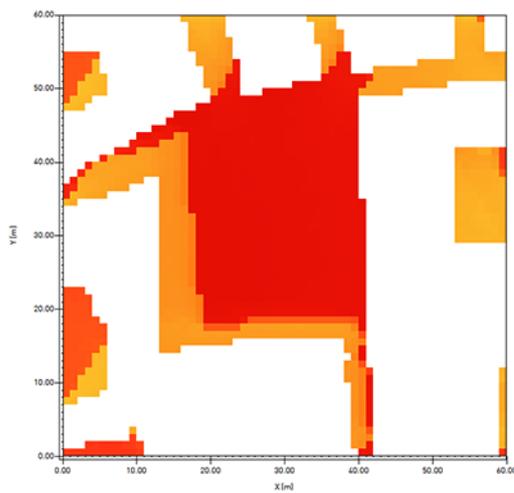
AP 0.28 2015_min: 1.96; max: 5.63



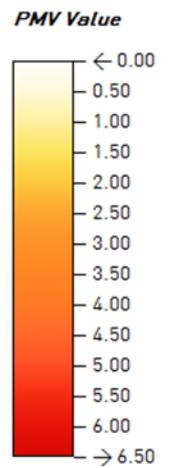
AP 0.28 2050_min: 2.12; max: 6.08

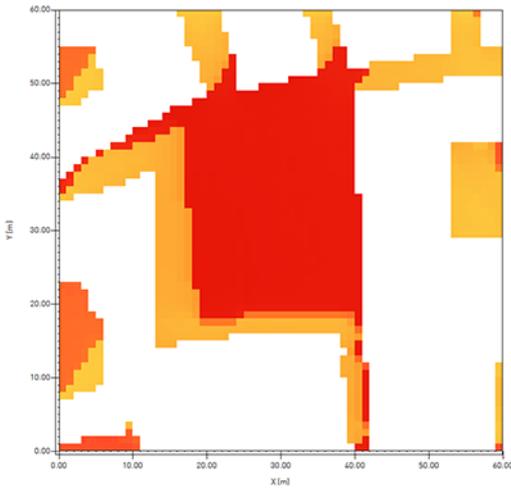


AP 0.40 2015_min: 1.96; max: 5.81

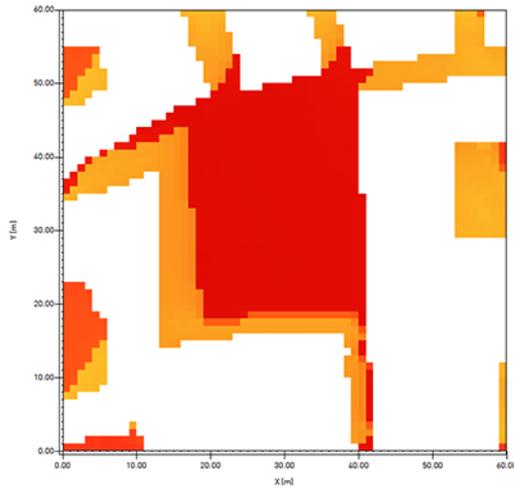


AP 0.40 2050_min: 2.12; max: 6.27

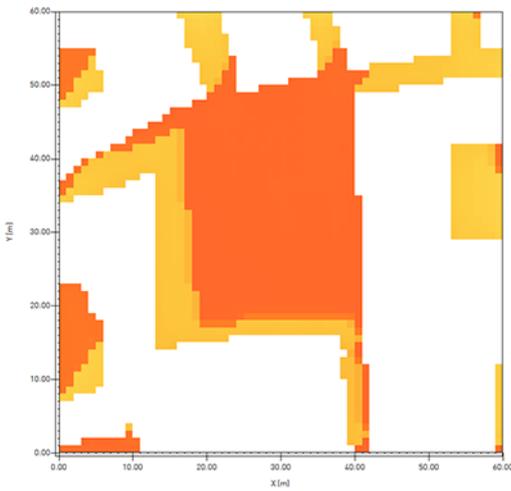
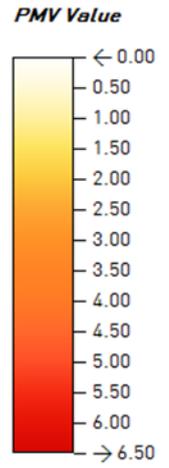




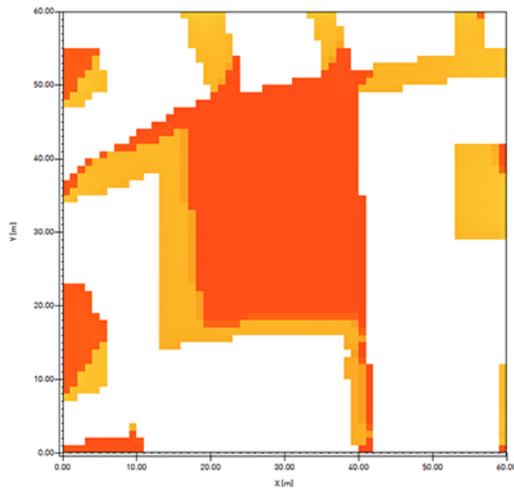
AP 0.50 2015_min: 1.96; max: 5.95



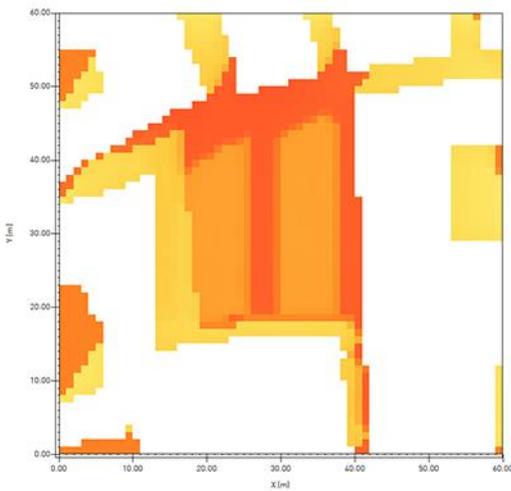
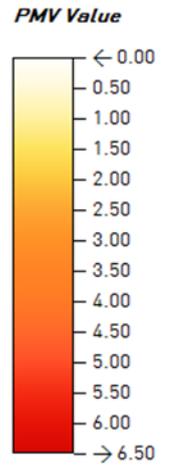
AP 0.50 2050_min: 2.12; max: 6.43



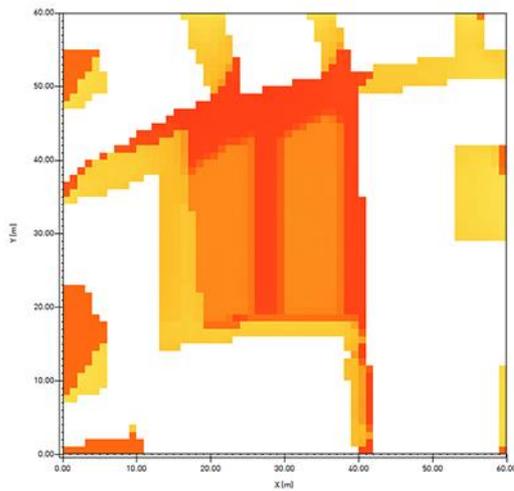
PP 2015_min: 1.80; max: 4.52



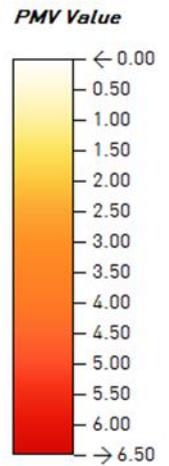
PP 2050_min: 1.94; max: 4.88

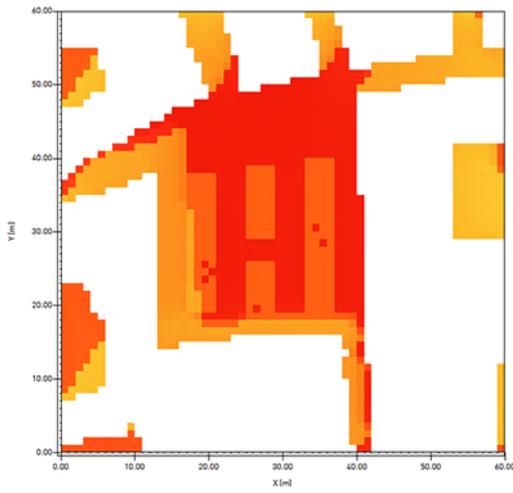


AL 2015_min: 1.36; max: 4.83

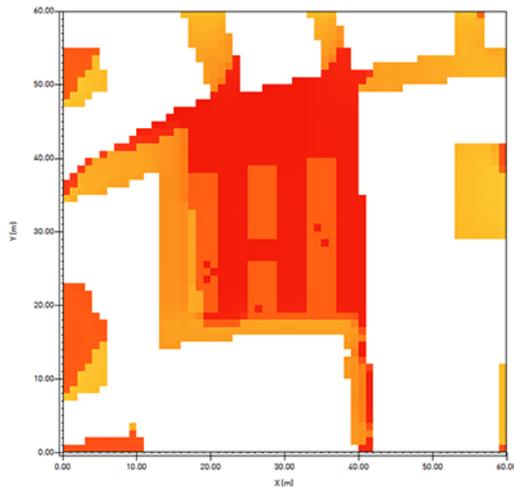


AL 2050_min: 1.47; max: 5.22

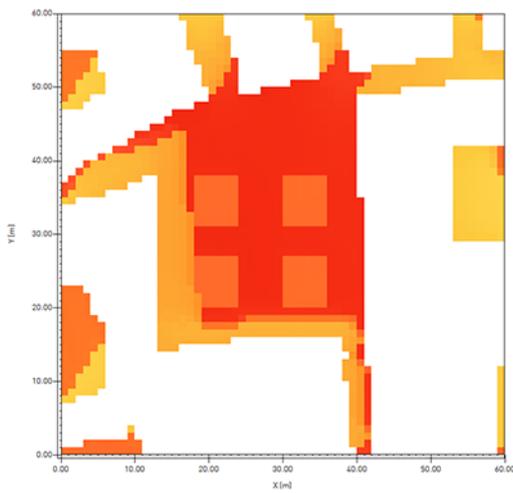
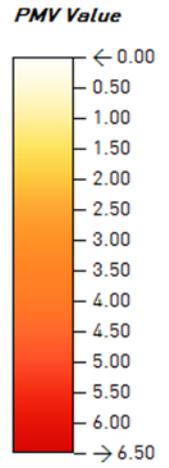




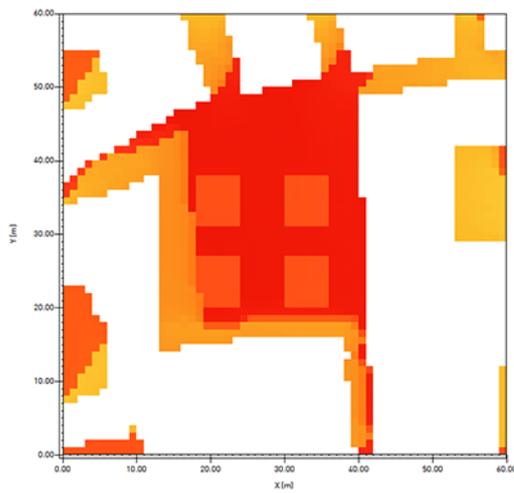
AQ 2015_min: 1.82; max: 5.51



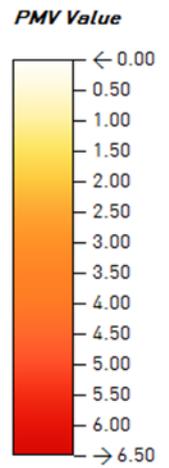
AQ 2050_min: 1.97; max: 5.95



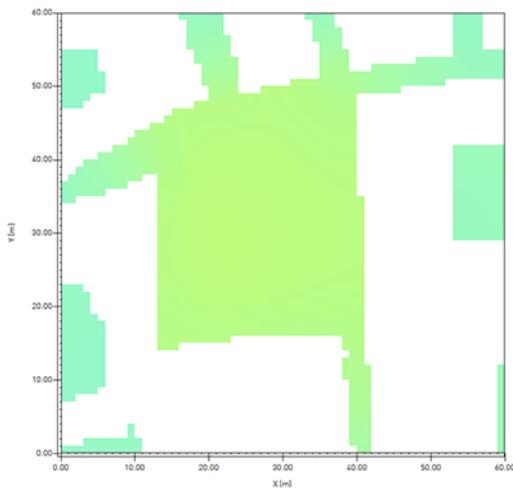
OM 2015_min: 1.82; max: 5.56



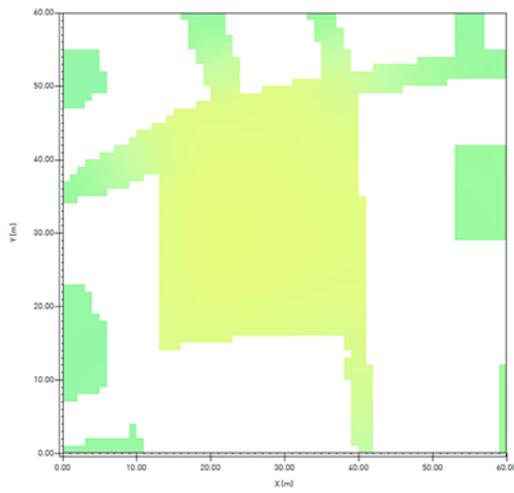
OM 2050_min: 1.97; max: 6.00



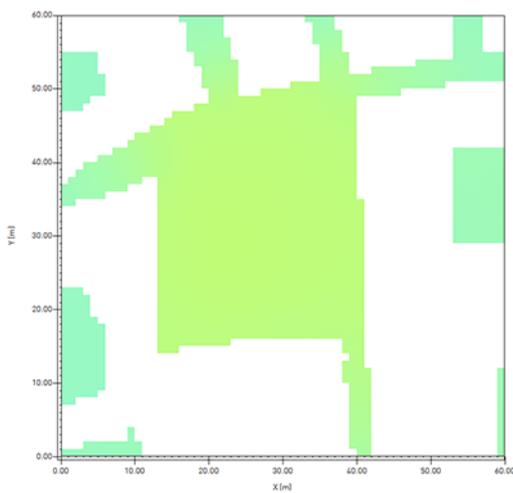
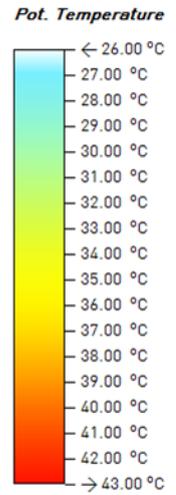
Area TP8P: risultati grafici dei test metaprogettuali per l'analisi dei valori di temperatura dell'aria_Ta al 2015 e 2050s per le soluzioni adottate.



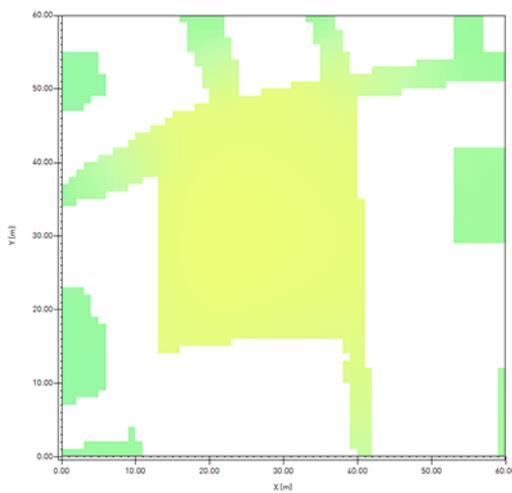
SDF 2015_min: 29.14; max: 31.29



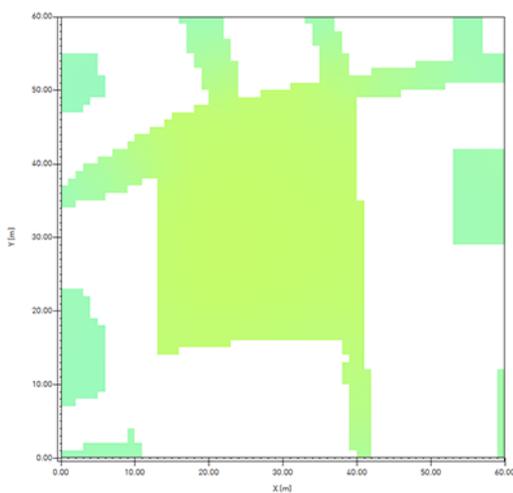
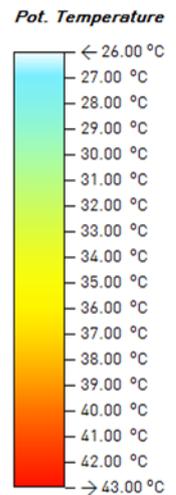
SDF 2050_min: 31.47; max: 33.79



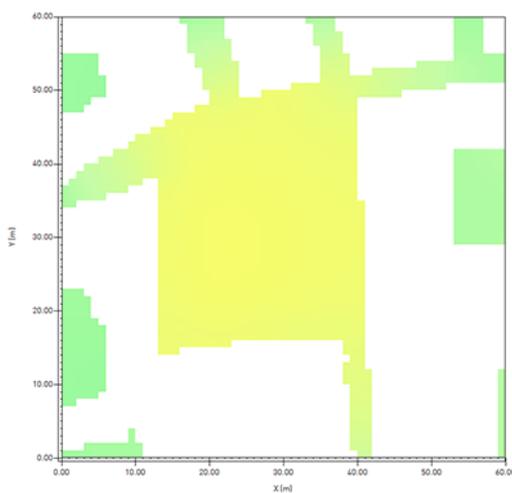
AF 0.28 2015_min: 29.27; max: 31.48



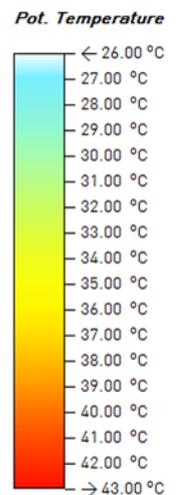
AF 0.28 2050_min: 31.61; max: 34.00

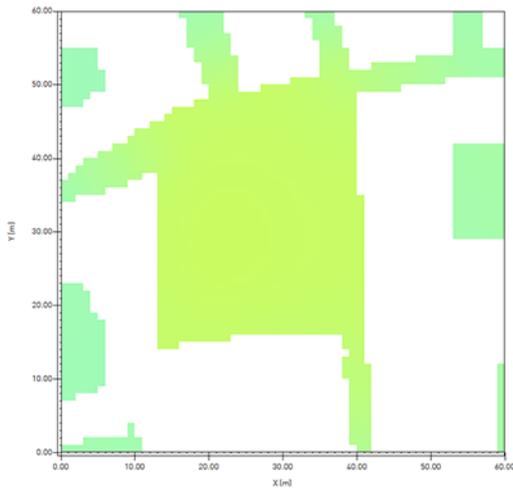


AF 0.40_min: 29.48; max: 31.78

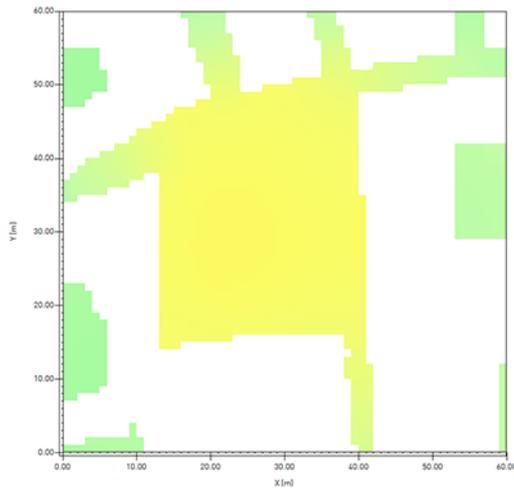


AF 0.40 2050_min: 31.84; max: 34.32

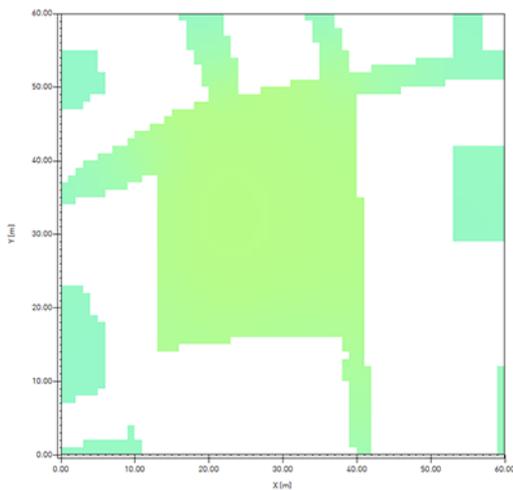
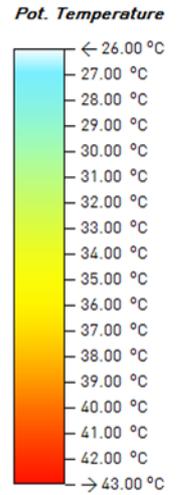




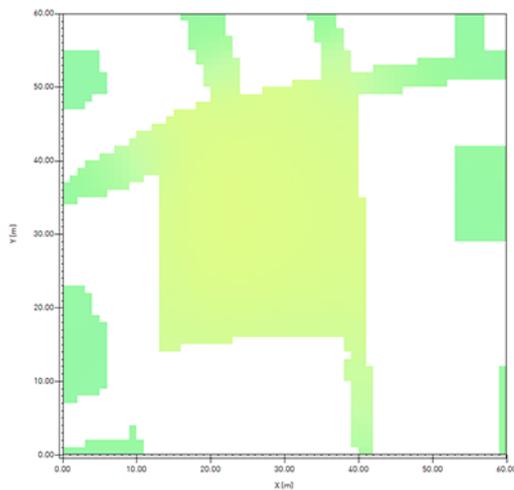
AF 0.50 2015_min: 29.66; max: 32.02



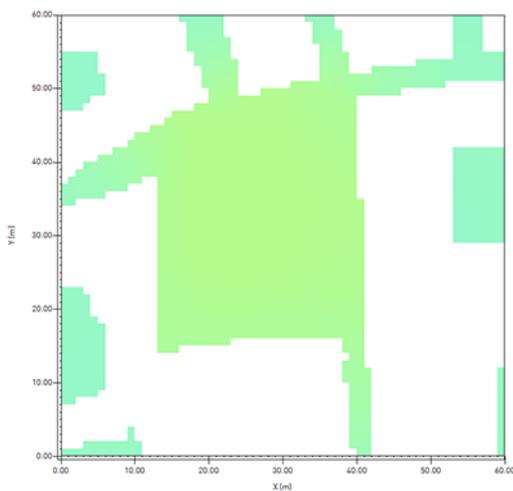
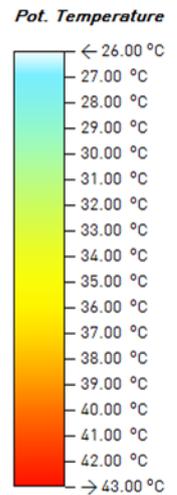
AF 0.50 2050_min: 32.03; max: 34.58



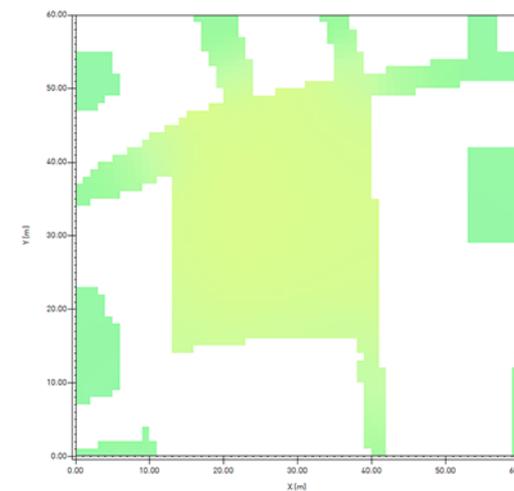
AT 0.68 2015_min: 29.14; max: 31.00



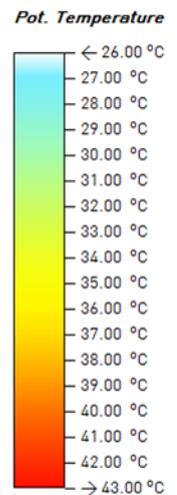
AT 0.68 2050_min: 31.47; max: 33.48

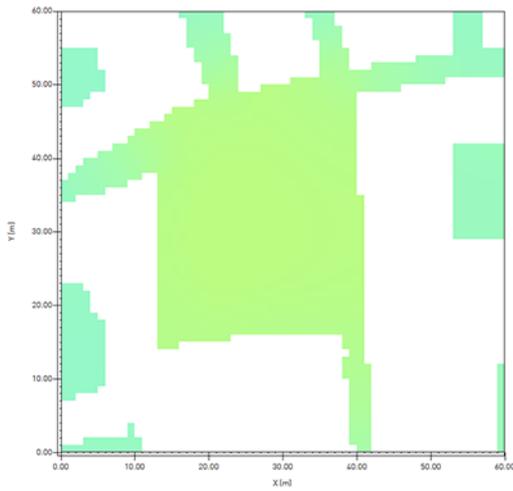


AT 0.90 2015_min: 29.14; max: 30.90

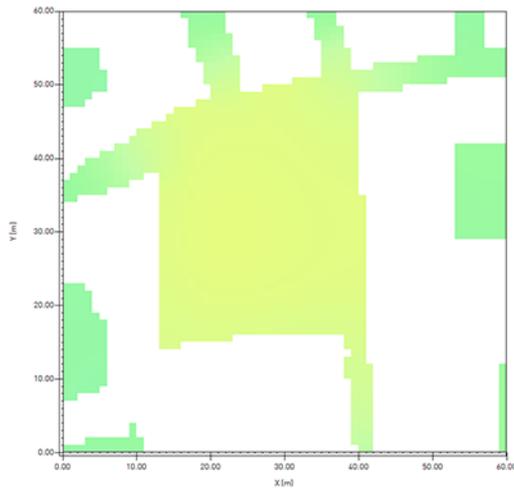


AT 0.90 2050_min: 31.47; max: 33.37

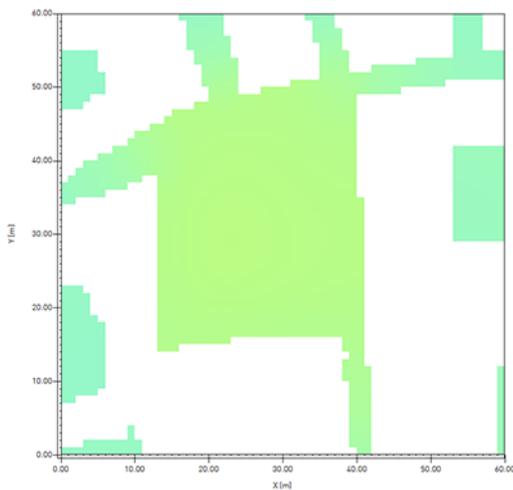
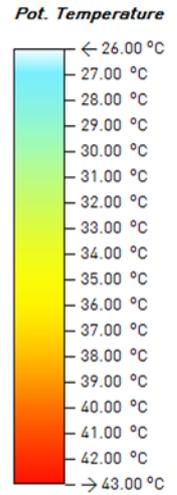




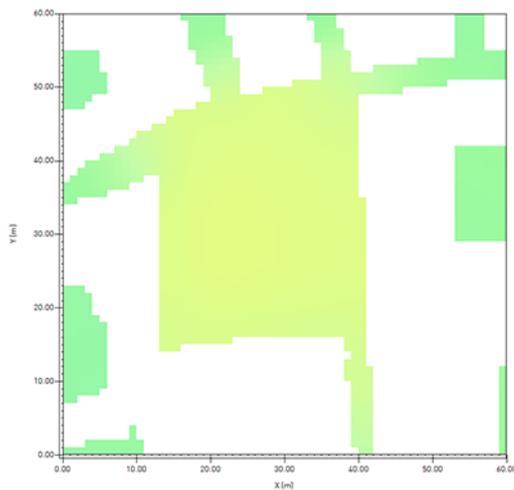
TV 2015_min: 29.13; max: 31.22



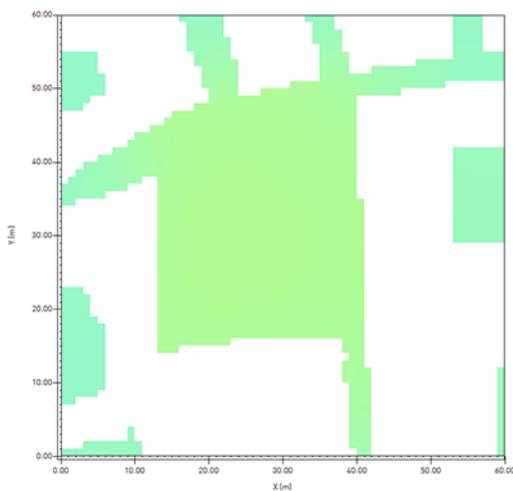
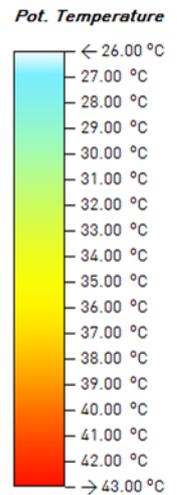
TV 2050_min: 31.46; max: 33.72



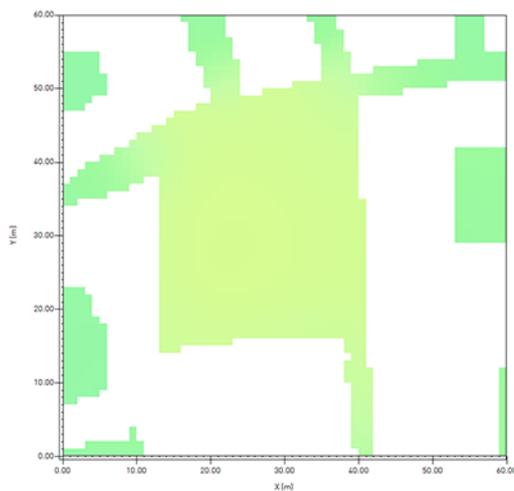
AP 0.28 2015_min: 29.15; max: 31.12



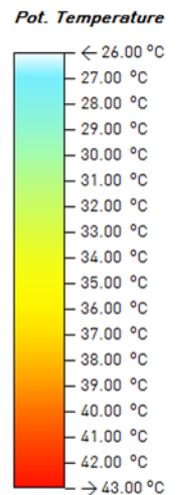
AP 0.28 2050_min: 31.48; max: 33.61

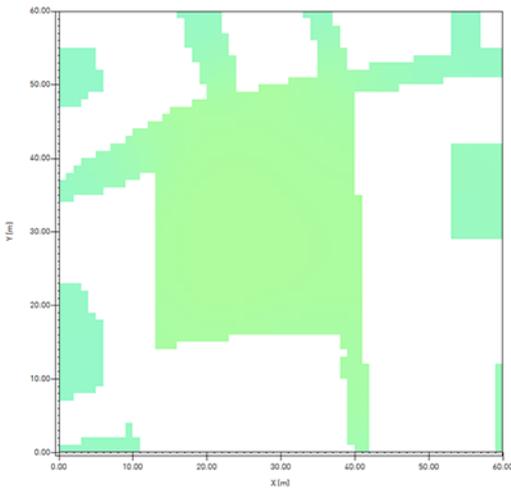


AP 0.40 2015_min: 29.14; max: 30.76

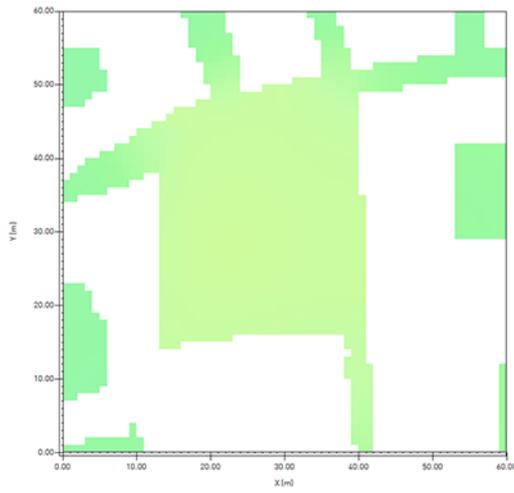


AP 0.40 2050_min: 31.47; max: 33.22

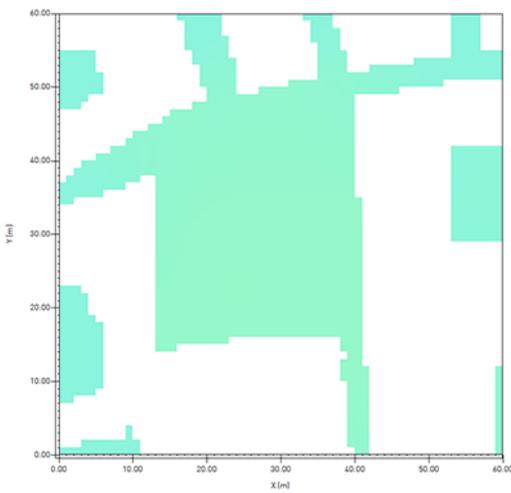
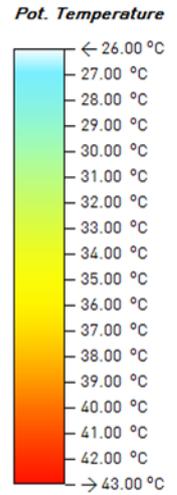




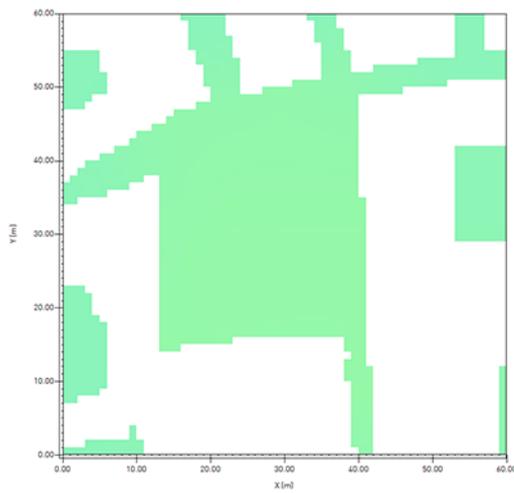
AP 0.50 2015_min: 29.13; max: 30.46



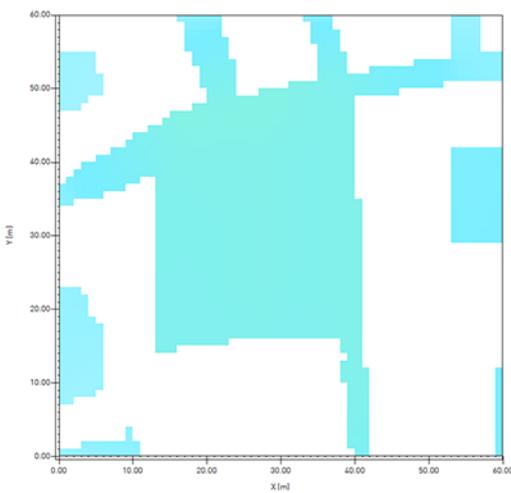
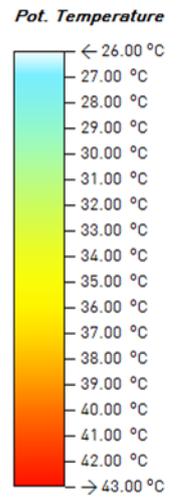
AP 0.50 2050_min: 31.46; max: 32.90



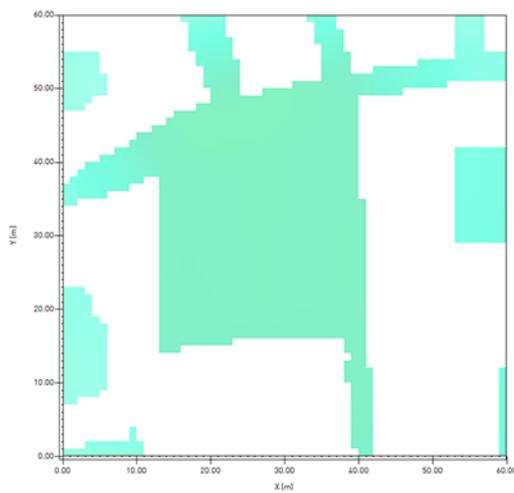
PP 2015_min: 28.43; max: 29.17



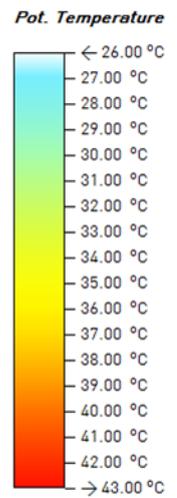
PP 2050_min: 30.70; max: 31.50

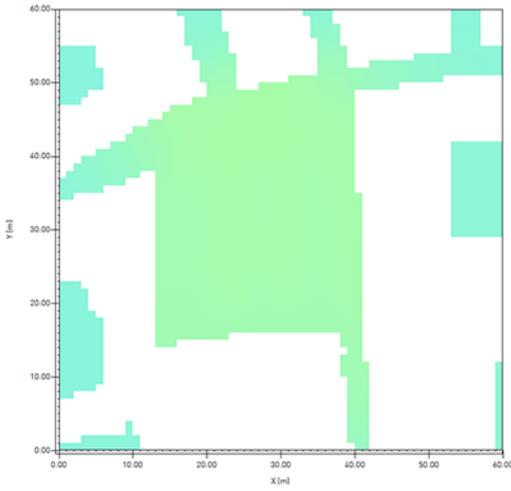


AL 2015_min: 26.69; max: 28.15

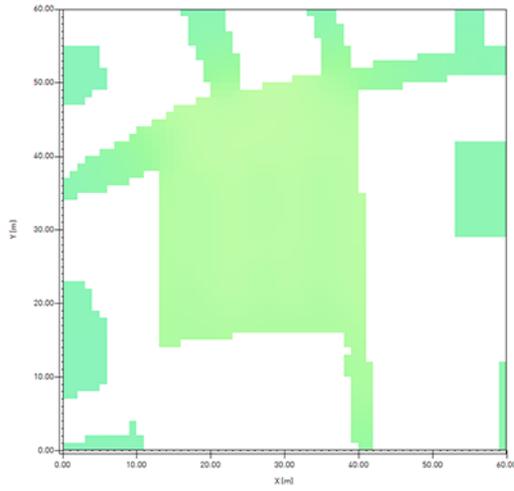


AL 2050_min: 28.83; max: 30.40



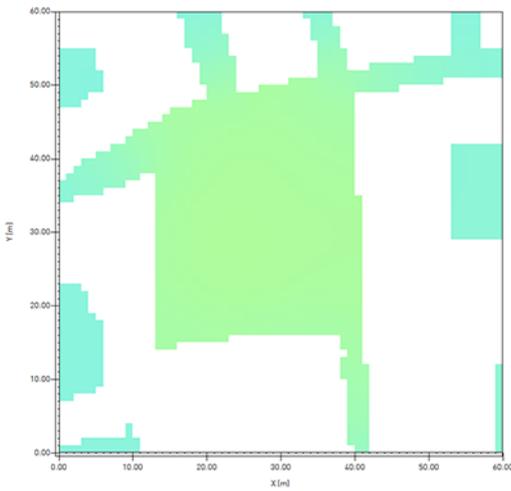
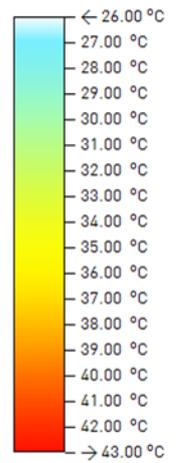


AQ 2015_min: 28.45; max: 30.12

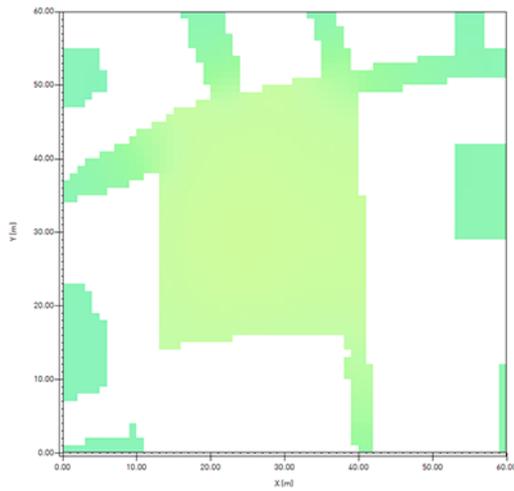


AQ 2050_min: 30.73; max: 32.53

Pot. Temperature

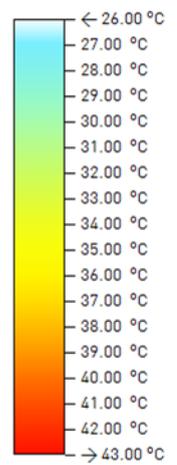


OM 2015_min: 28.42; max: 30.47

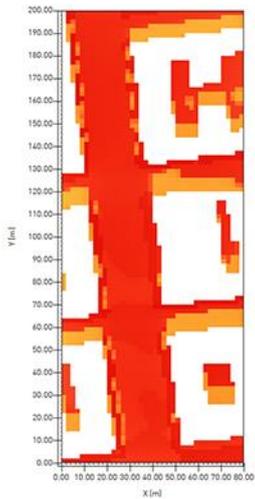


OM 2050_min: 30.69; max: 32.91

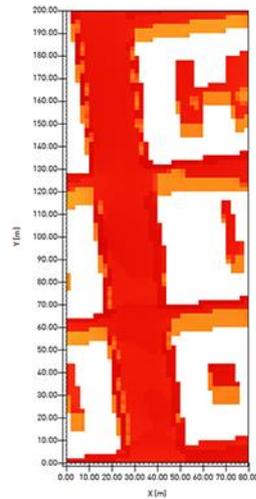
Pot. Temperature



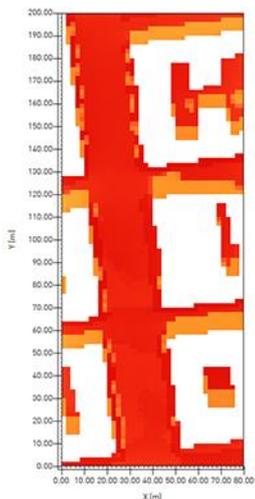
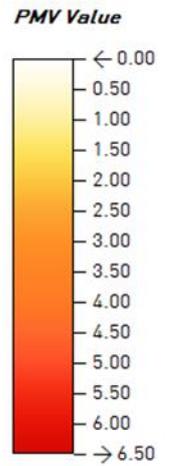
Area T89S: risultati grafici dei test metaprogettuali per l'analisi dei valori di PMV al 2015 e 2050s per le soluzioni adottate.



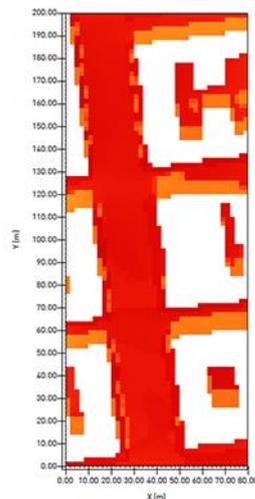
SDF 2015_min: 2.21; max: 6.09



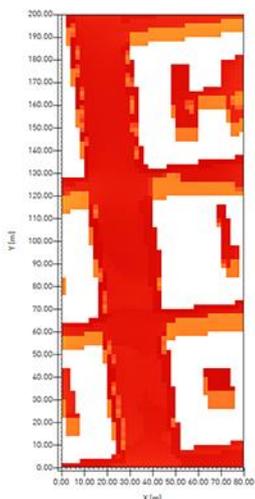
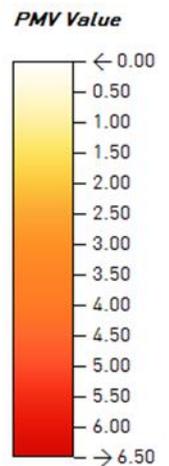
SDF 2050_min: 2.39; max: 6.58



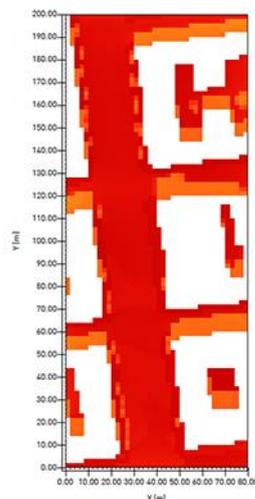
AF 0.28 2015_min: 2.40; max: 6.29



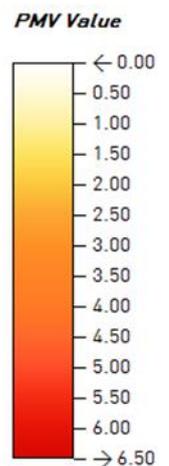
AF 0.28 2050_min: 2.59; max: 6.79

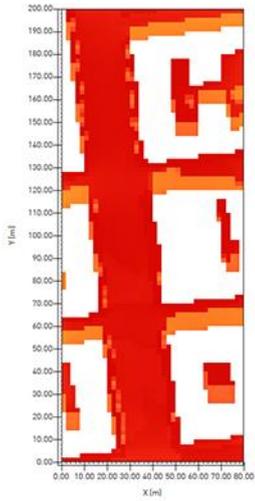


AF 0.40_min: 2.69; max: 6.60

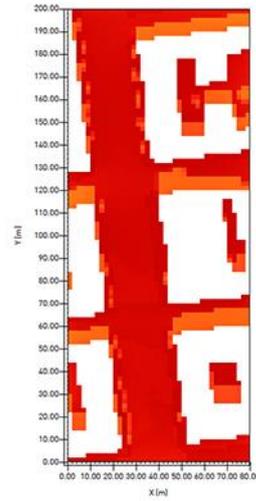


AF 0.40 2050_min: 2.91; max: 7.13

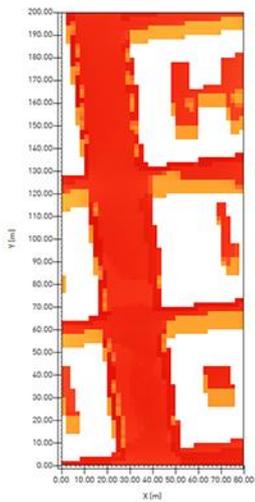
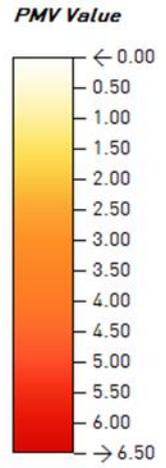




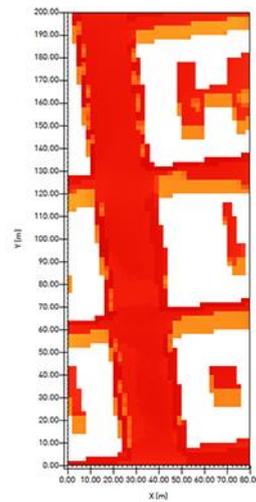
AF 0.50 2015_min: 2.92; max: 6.95



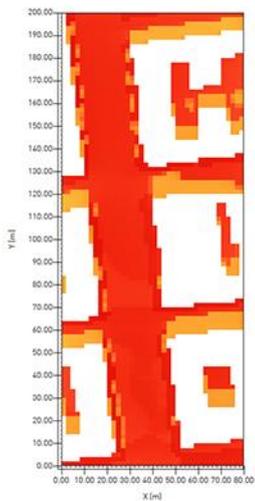
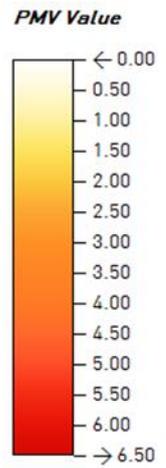
AF 0.50 2050_min: 3.15; max: 7.51



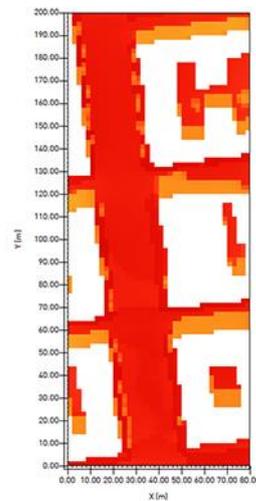
AT 0.68 2015_min: 2.21; max: 6.05



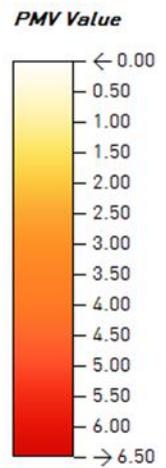
AT 0.68 2050_min: 2.39; max: 6.53

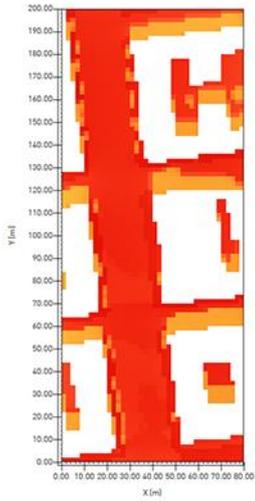


AT 0.90 2015_min: 2.21; max: 6.04

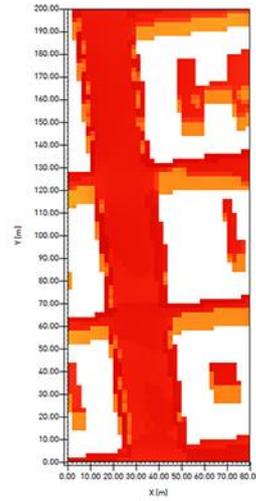


AT 0.90 2050_min: 2.39; max: 6.52

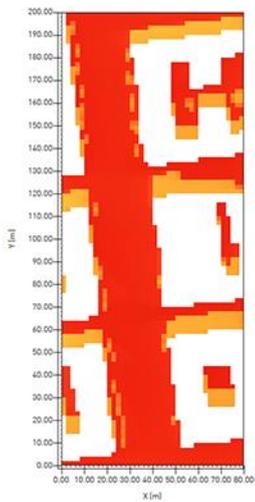
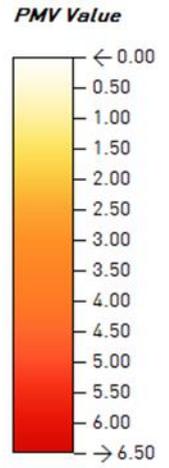




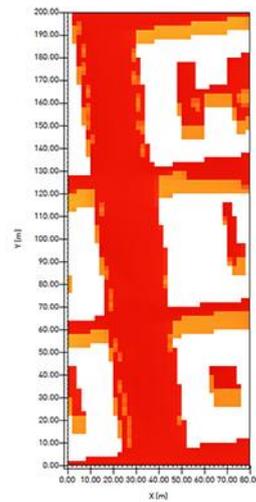
TV 2015_min: 2.21; max: 6.08



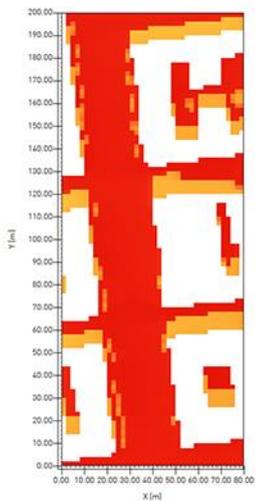
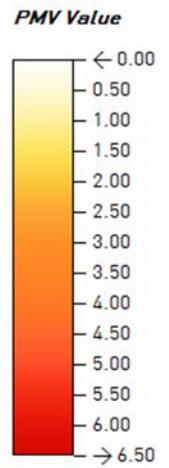
TV 2050_min: 2.39; max: 6.57



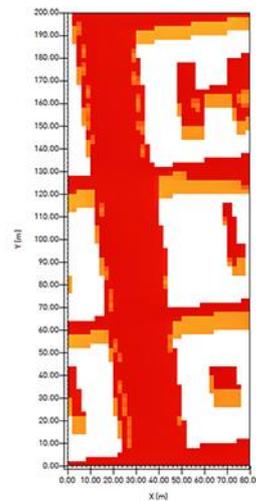
AP 0.28 2015_min: 2.13; max: 5.82



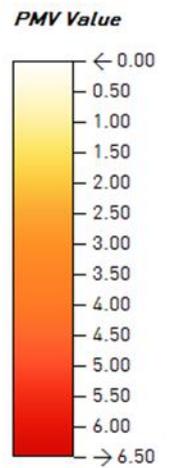
AP 0.28 2050_min: 2.30; max: 6.29

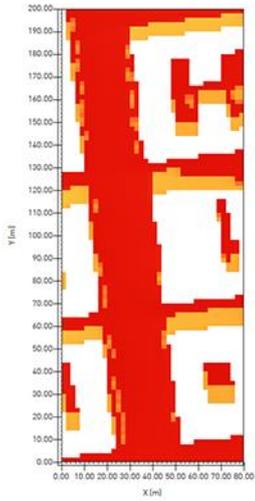


AP 0.40 2015_min: 2.11; max: 6.04

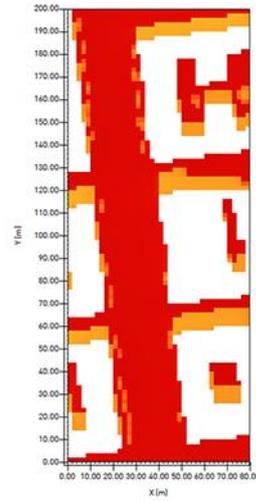


AP 0.40 2050_min: 2.28; max: 6.52

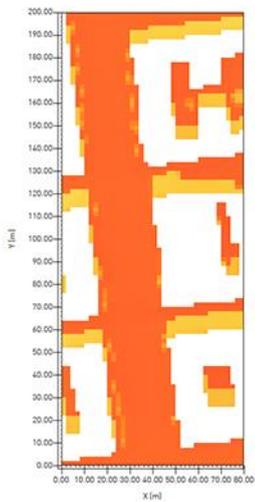
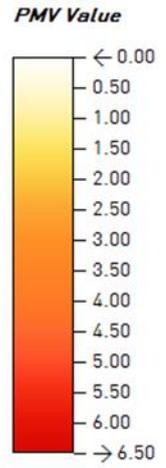




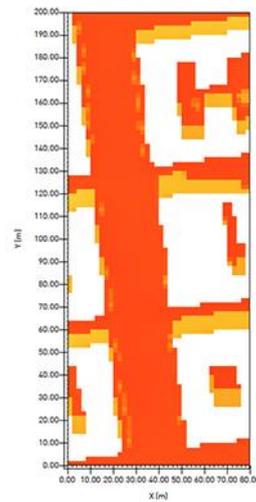
AP 0.50 2015_min: 2.09; max: 6.21



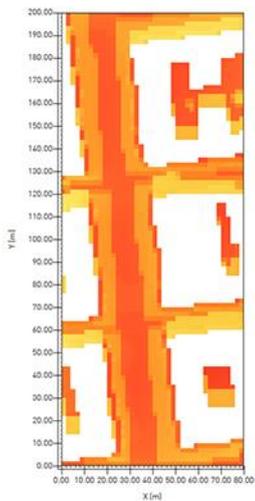
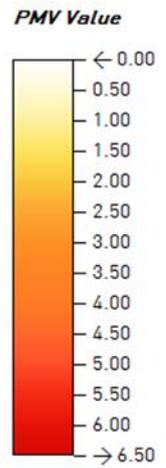
AP 0.50 2050_min: 2.26; max: 6.71



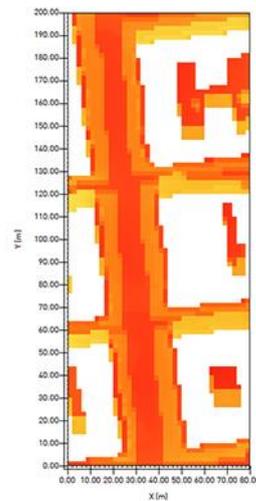
PP 2015_min: 1.75; max: 4.75



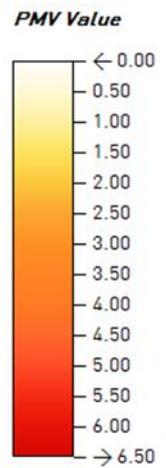
PP 2050_min: 1.89; max: 5.13

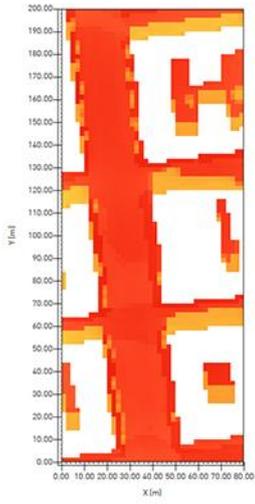


AL 2015_min: 1.39; max: 5.24

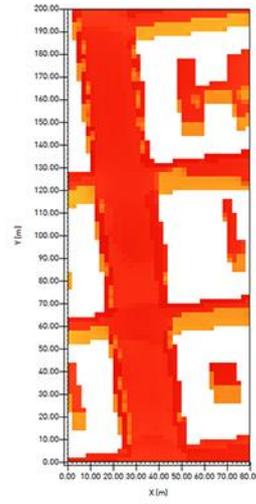


AL 2050_min: 1.50; max: 5.66



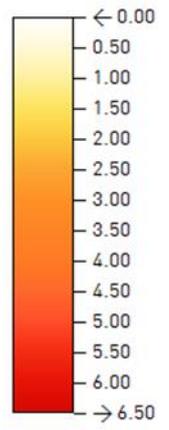


OM 2015_min: 1.96; max: 5.74

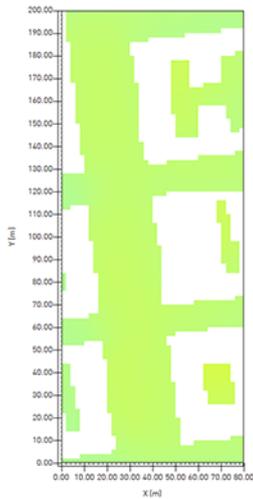


OM 2050_min: 2.12; max: 6.20

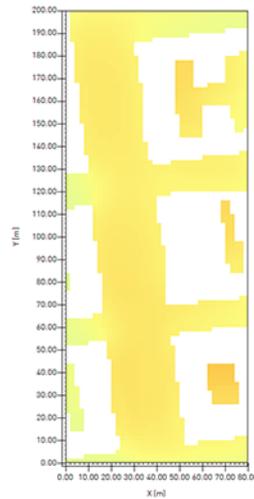
PMV Value



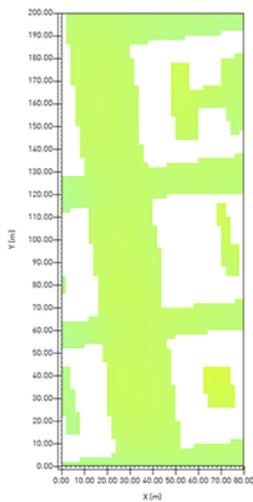
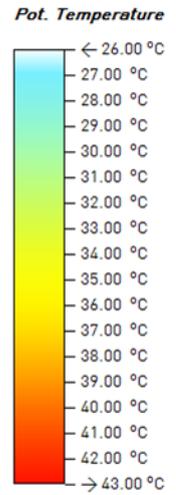
Area T89S: risultati grafici dei test metaprogettuali per l'analisi dei valori di temperatura dell'aria_Ta al 2015 e 2050s per le soluzioni adottate.



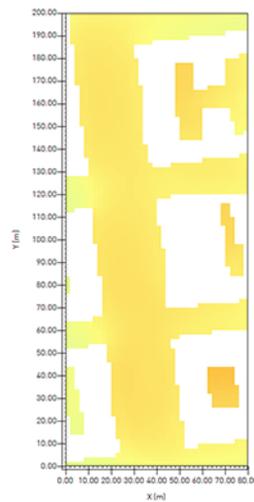
SDF 2015_min: 30.62; max: 32.64



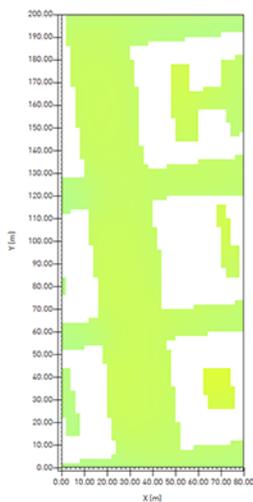
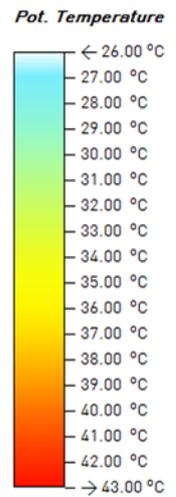
SDF 2050_min: 33.07; max: 35.28



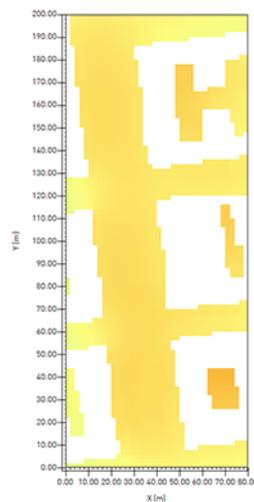
AF 0.28 2015_min: 30.72; max: 32.85



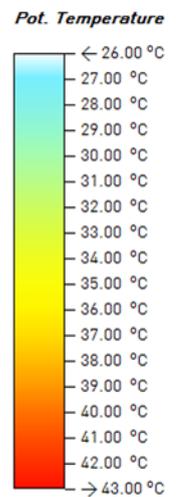
AF 0.28 2050_min: 33.18; max: 35.48

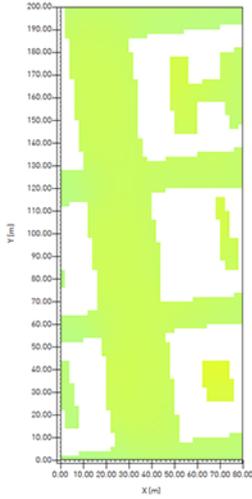


AF 0.40_min: 30.83; max: 33.13

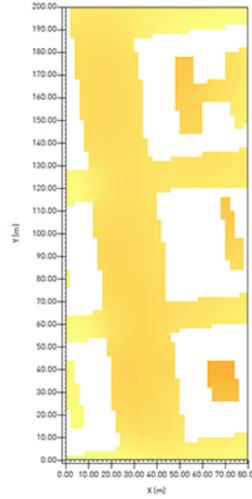


AF 0.40 2050_min: 33.30; max: 35.78

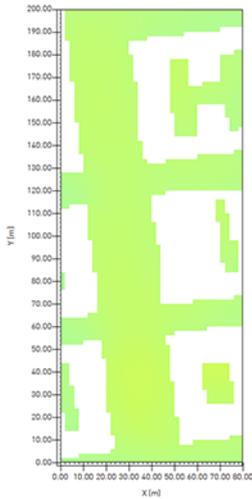
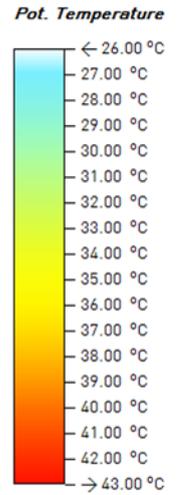




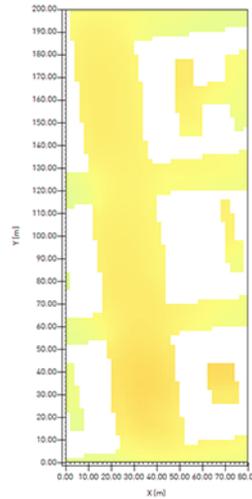
AF 0.50 2015_min: 30.92; max: 33.37



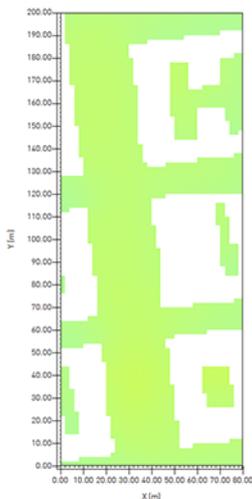
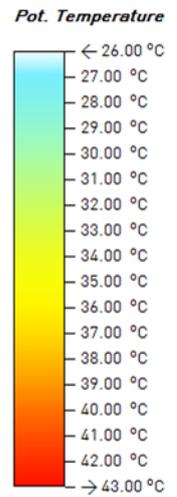
AF 0.50 2050_min: 33.39; max: 36.04



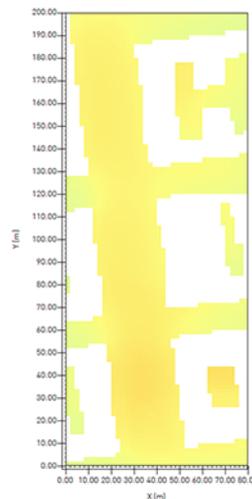
AT 0.68 2015_min: 30.63; max: 32.17



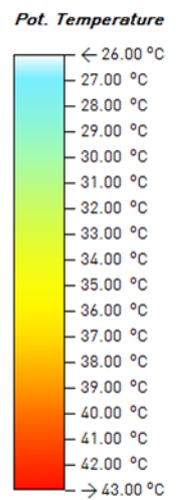
AT 0.68 2050_min: 33.08; max: 34.74

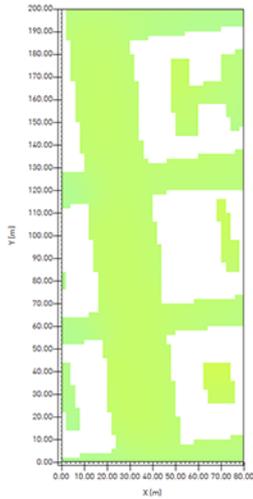


AT 0.90 2015_min: 30.61; max: 32.01

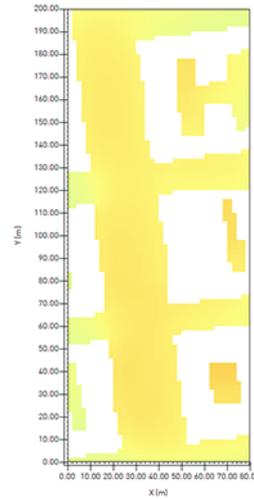


AT 0.90 2050_min: 33.06; max: 34.57

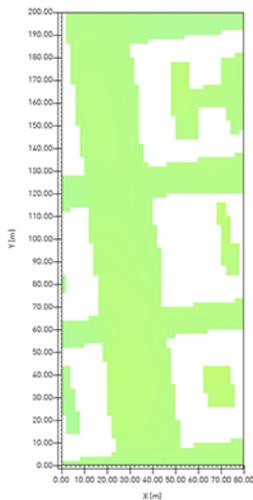
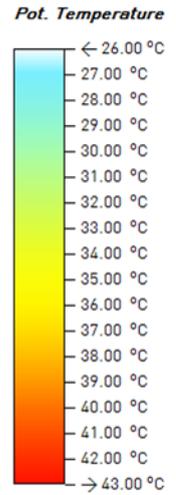




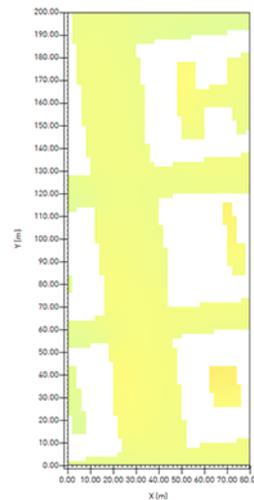
TV 2015_min: 30.61; max: 32.38



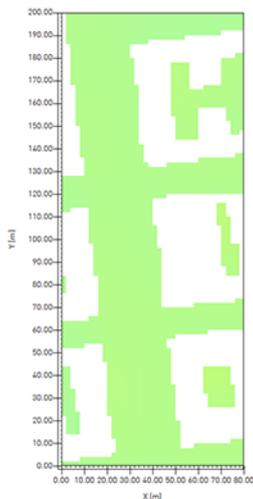
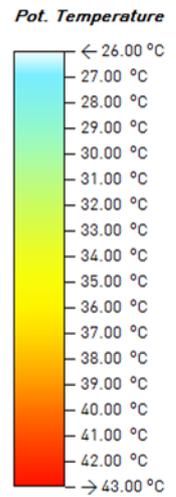
TV 2050_min: 33.06; max: 34.97



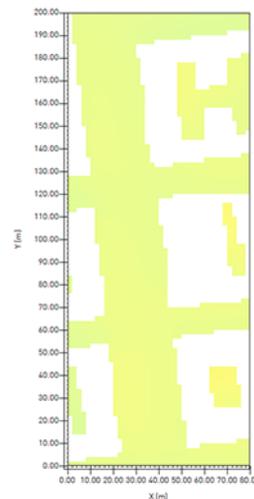
AP 0.28 2015_min: 30.61; max: 31.61



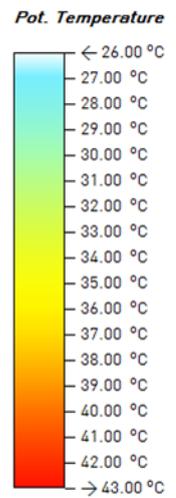
AP 0.28 2050_min: 33.06; max: 34.14

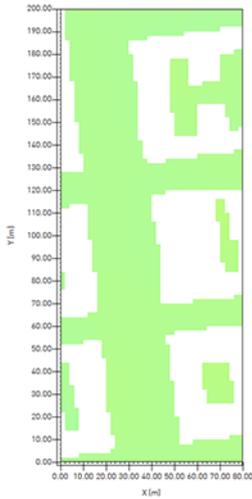


AP 0.40 2015_min: 30.47; max: 31.36

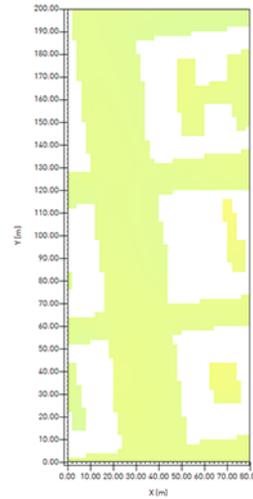


AP 0.40 2050_min: 32.91; max: 33.87

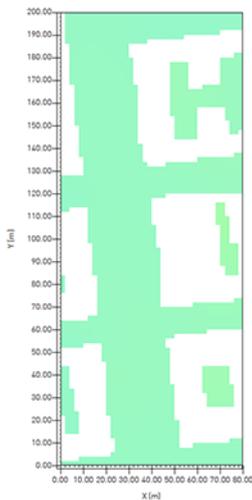
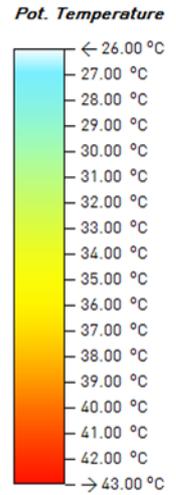




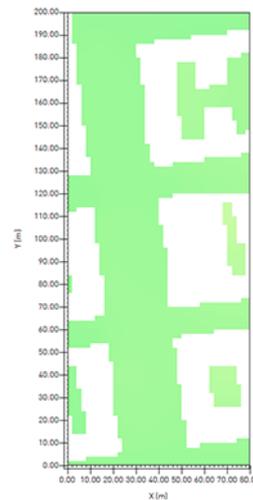
AP 0.50 2015_min: 30.44; max: 31.20



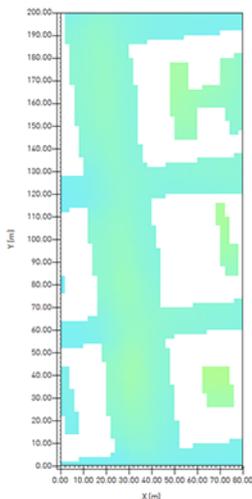
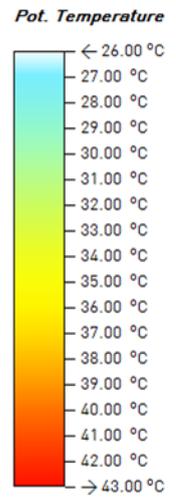
AP 0.50 2050_min: 32.88; max: 33.70



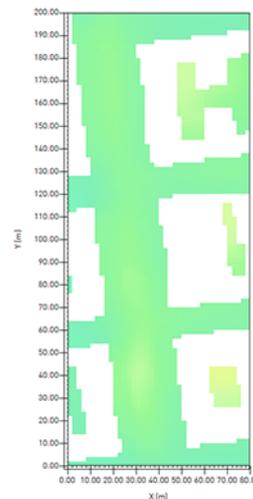
PP 2015_min: 29.14; max: 30.00



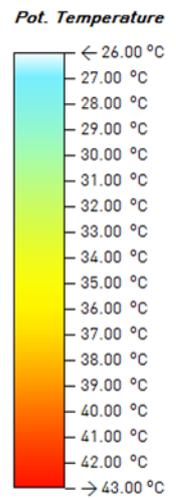
PP 2050_min: 31.47; max: 32.40

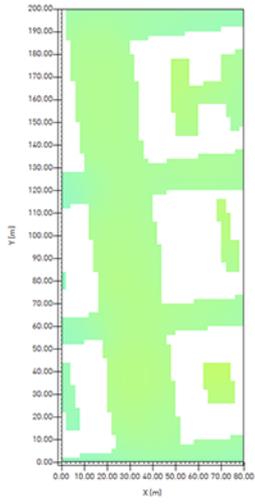


AL 2015_min: 27.45; max: 30.70

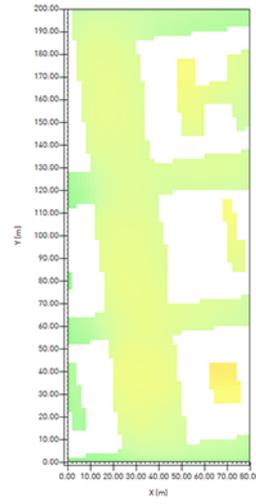


AL 2050_min: 29.65; max: 33.16

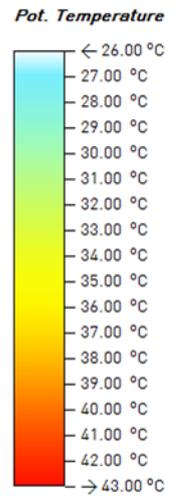




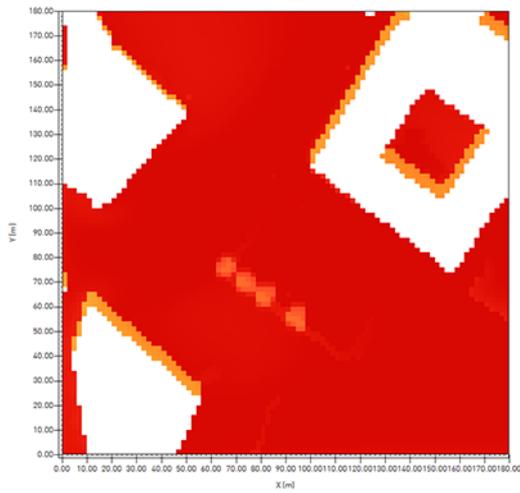
OM 2015_min: 29.32; max: 31.67



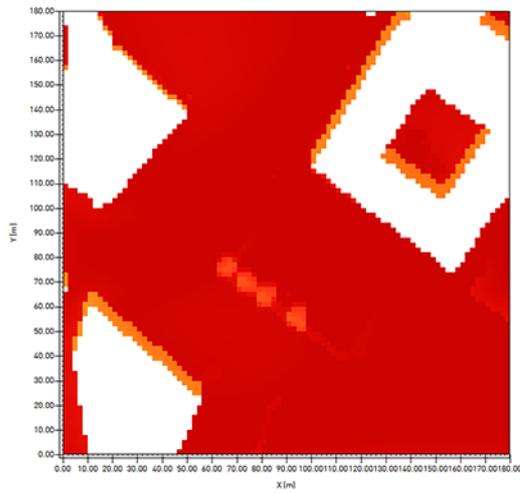
OM 2050_min: 31.67; max: 34.20



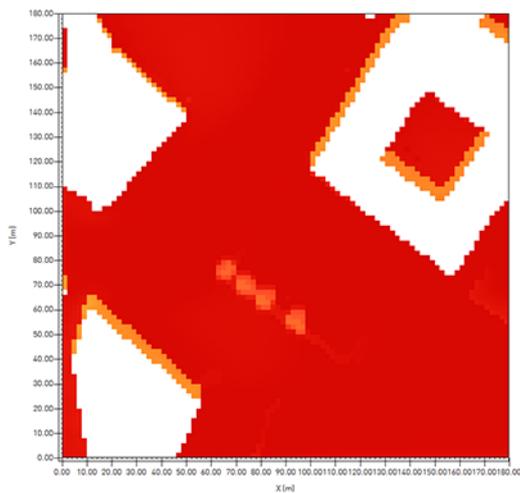
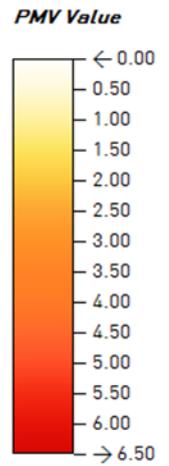
Area T89P: risultati grafici dei test metaprogettuali per l'analisi dei valori di PMV al 2015 e 2050s per le soluzioni adottate.



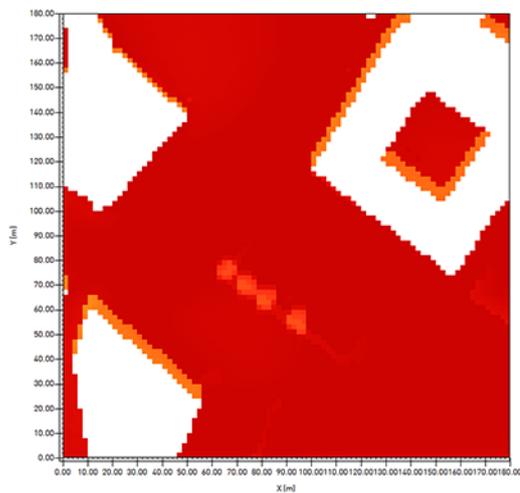
SDF 2015_min: 2.43; max: 7.61



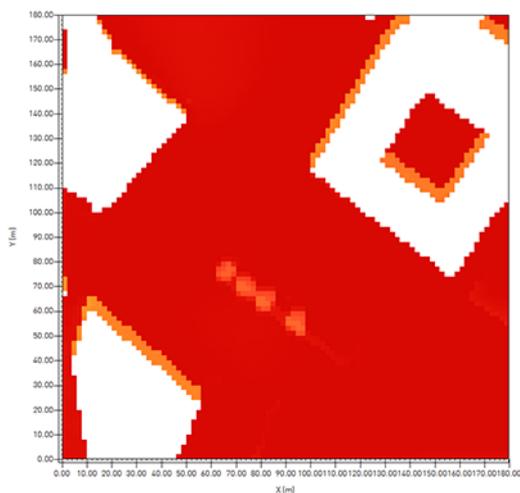
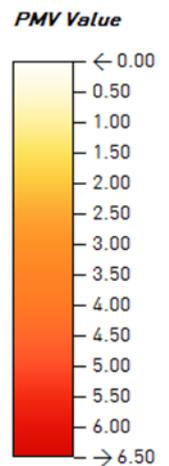
SDF 2050_min: 2.62; max: 8.22



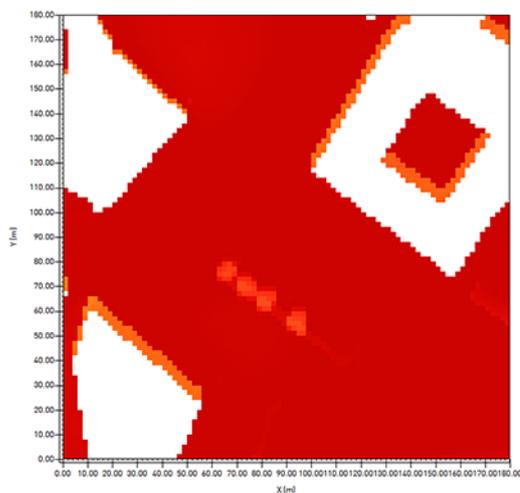
AF 0.28 2015_min: 2.59; max: 7.72



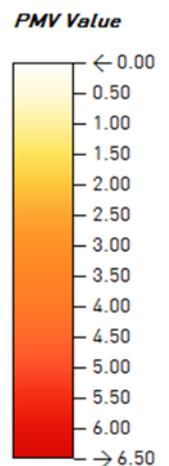
AF 0.28 2050_min: 2.80; max: 8.34

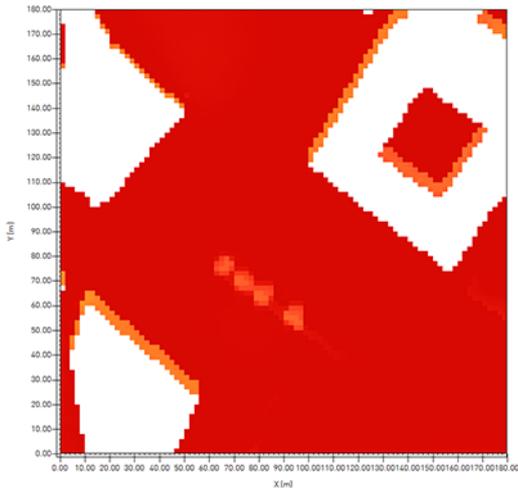


AF 0.40_min: 2.82; max: 7.87

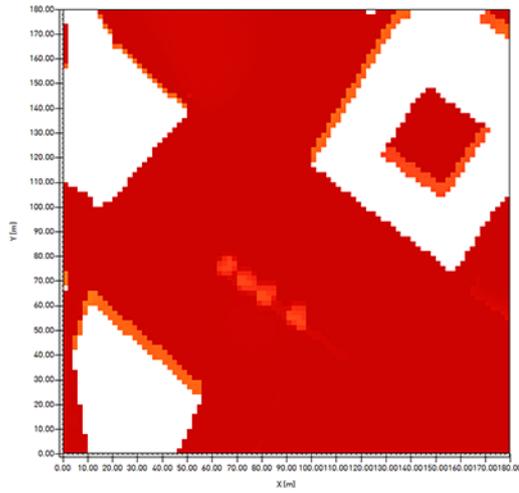


AF 0.40 2050_min: 3.05; max: 8.50

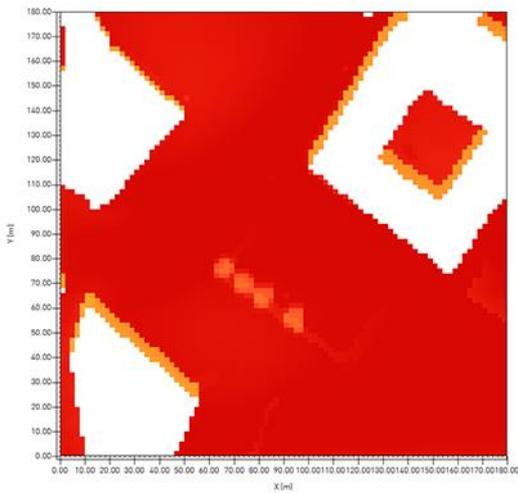
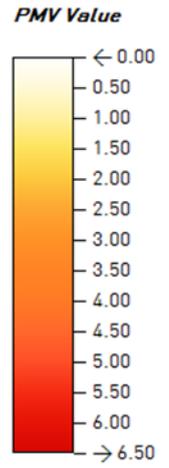




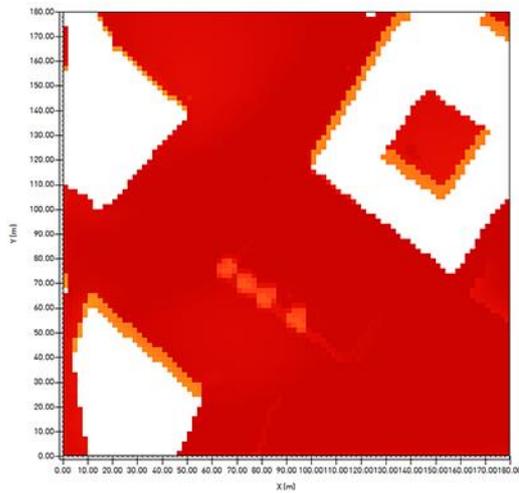
AF 0.50 2015_min: 3.01; max: 8.04



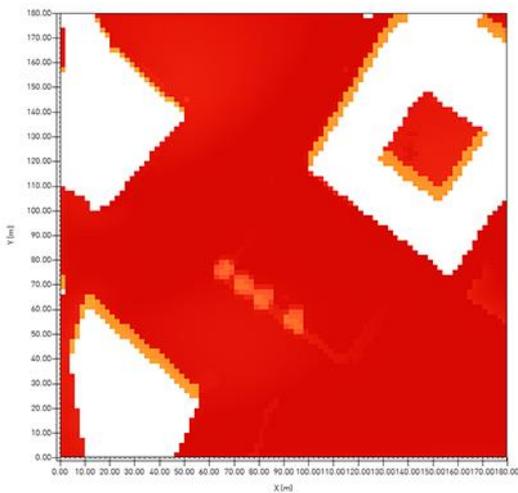
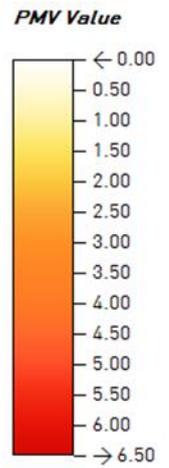
AF 0.50 2050_min: 3.25; max: 8.68



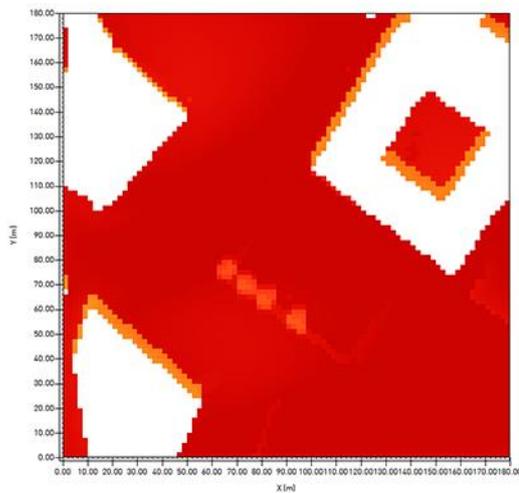
AT 0.68 2015_min: 2.43; max: 7.51



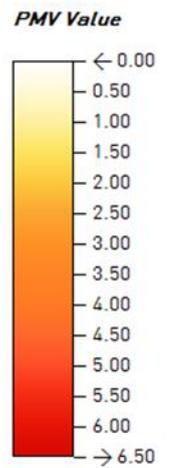
AT 0.68 2050_min: 2.62; max: 8.11

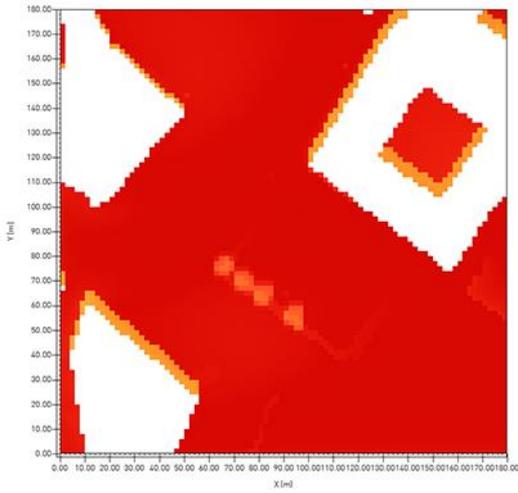


AT 0.90 2015_min: 2.42; max: 7.47

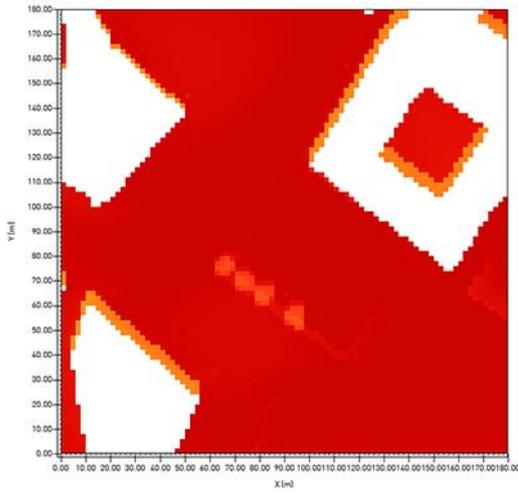


AT 0.90 2050_min: 2.61; max: 8.07

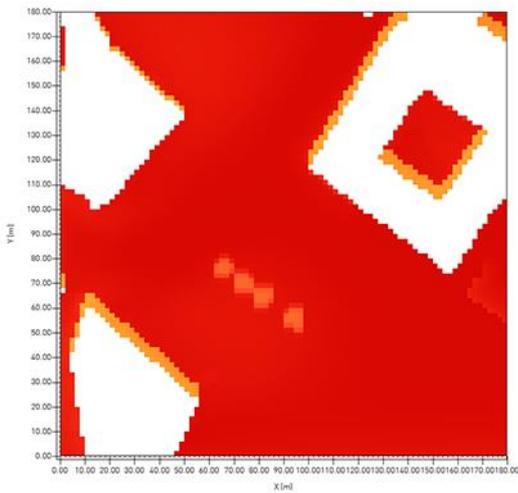
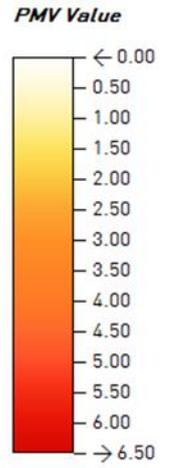




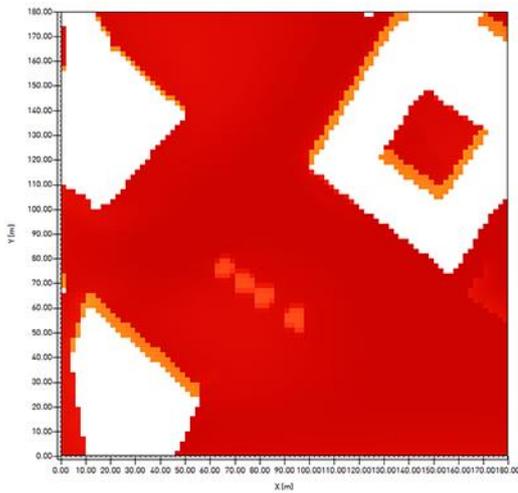
TV 2015_min: 2.42; max: 7.49



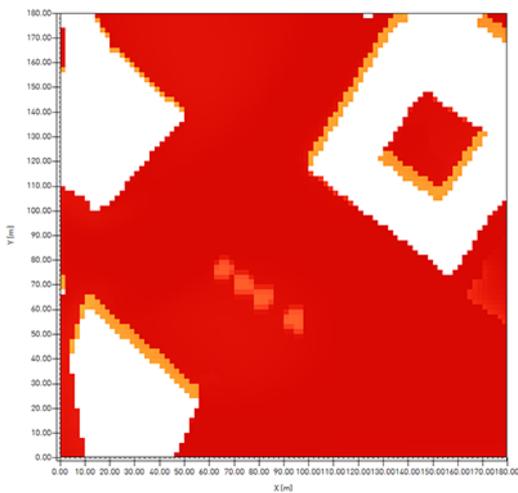
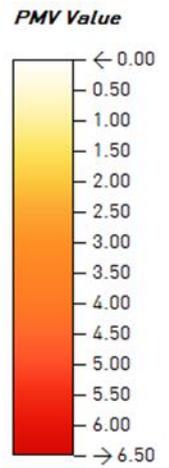
TV 2050_min: 2.61; max: 8.09



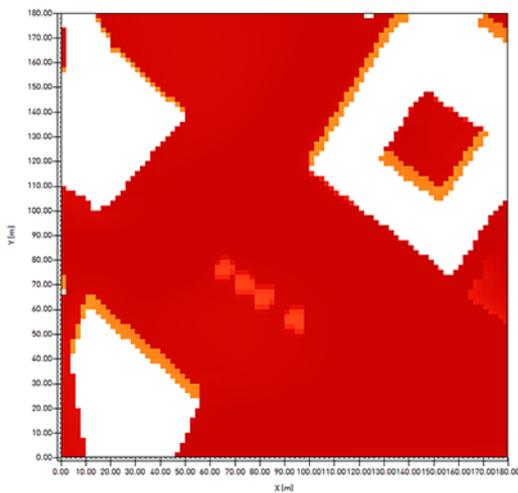
AP 0.28 2015_min: 2.41; max: 7.28



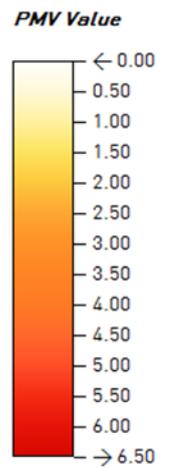
AP 0.28 2050_min: 2.60; max: 7.86

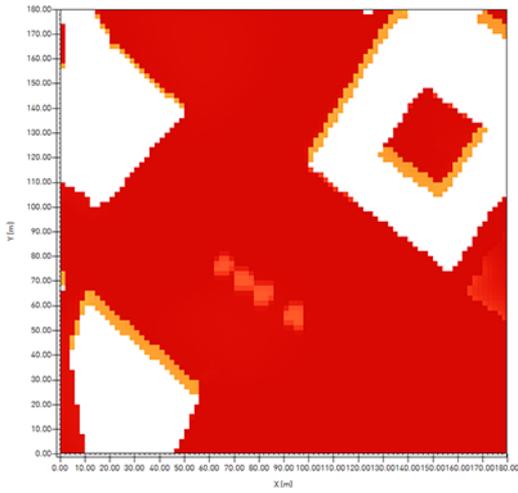


AP 0.40 2015_min: 2.36; max: 7.39

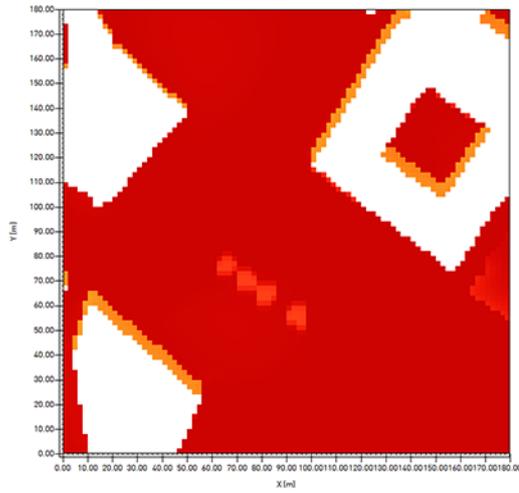


AP 0.40 2050_min: 2.55; max: 7.98

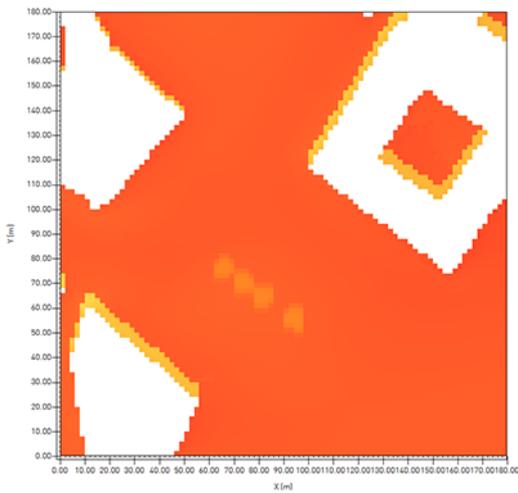
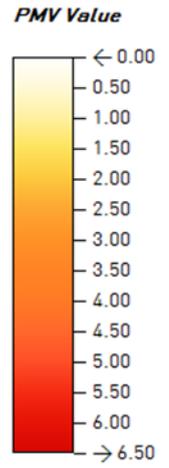




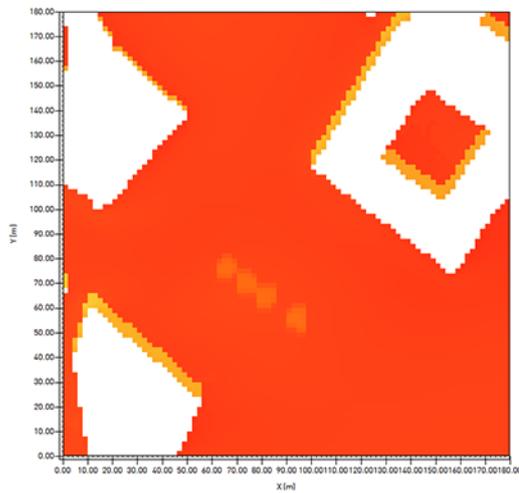
AP 0.50 2015_min: 2.32; max: 7.46



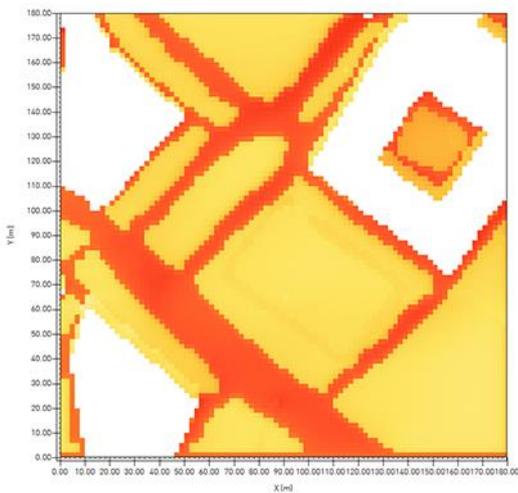
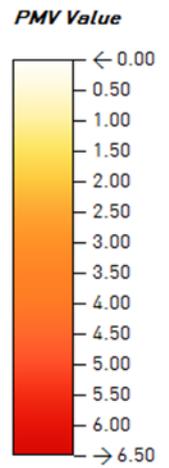
AP 0.50 2050_min: 2.51; max: 8.06



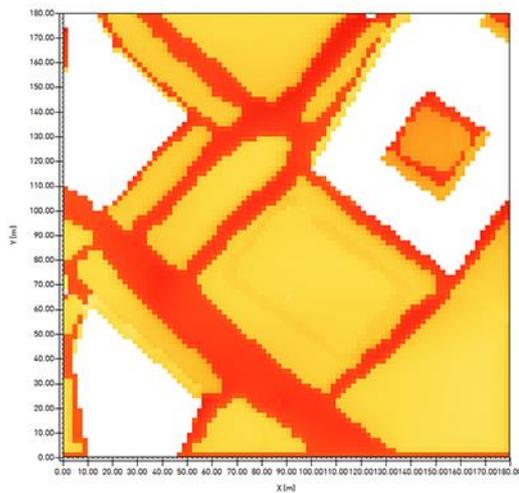
PP 2015_min: 1.77; max: 5.16



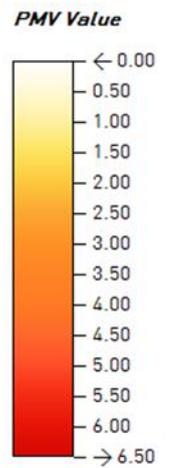
PP 2050_min: 1.91; max: 5.57

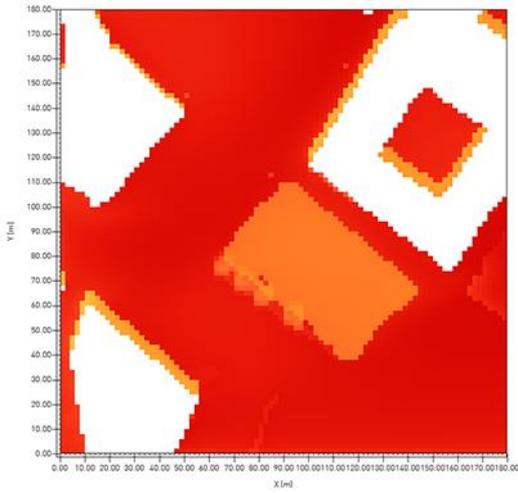


AL 2015_min: 1.05; max: 5.38

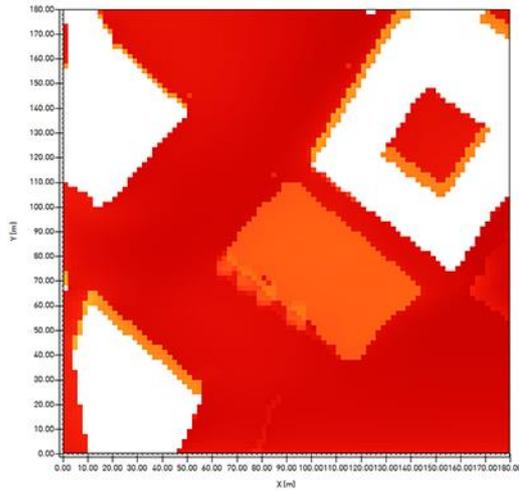


AL 2050_min: 1.13; max: 5.81

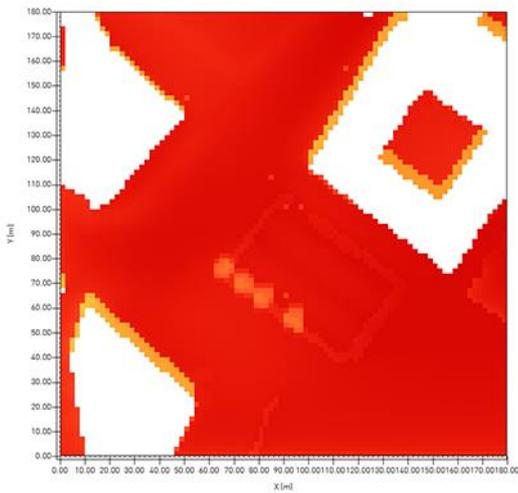
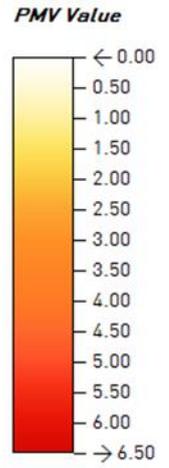




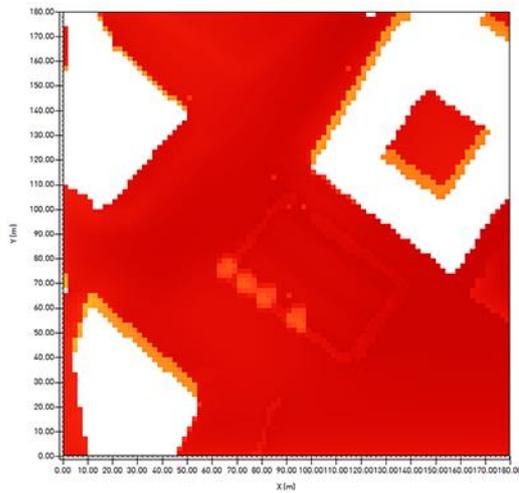
AQ 2015_min: 2.06; max: 6.93



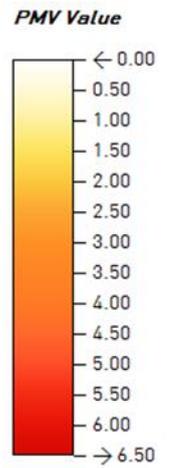
AQ 2050_min: 2.22; max: 7.48



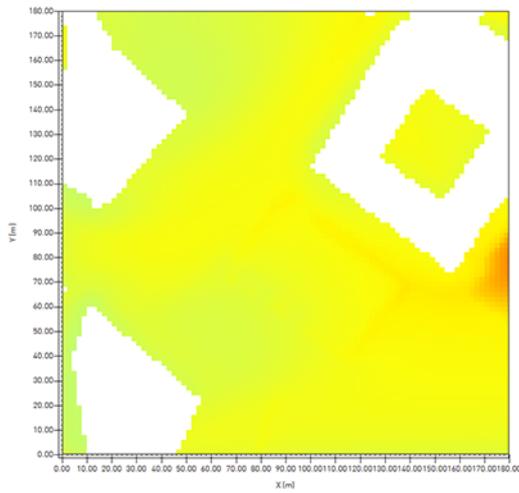
OM 2015_min: 2.04; max: 7.15



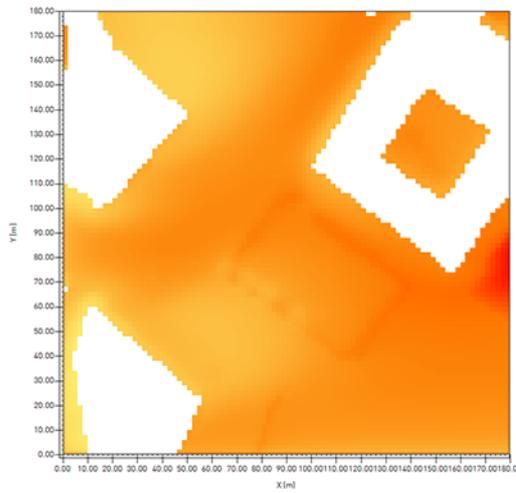
OM 2050_min: 2.20; max: 7.72



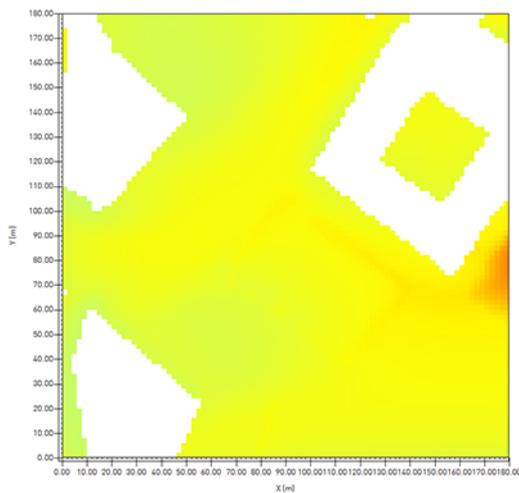
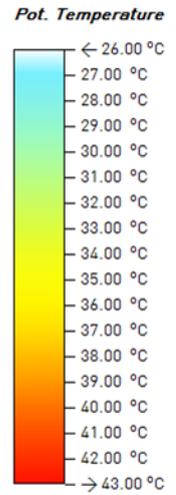
Area T89P: risultati grafici dei test metaprogettuali per l'analisi dei valori di temperatura dell'aria_Ta al 2015 e 2050s per le soluzioni adottate.



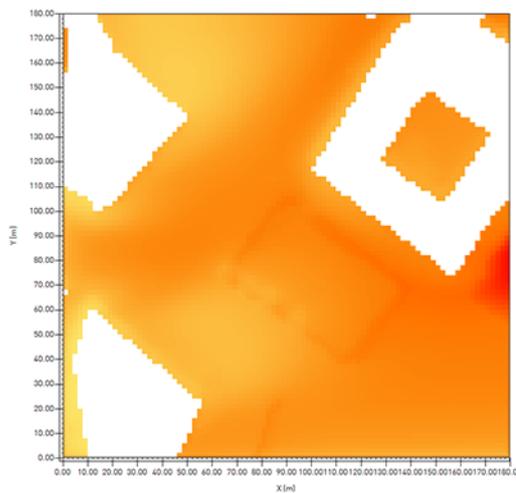
SDF 2015_min: 31.73; max: 39.22



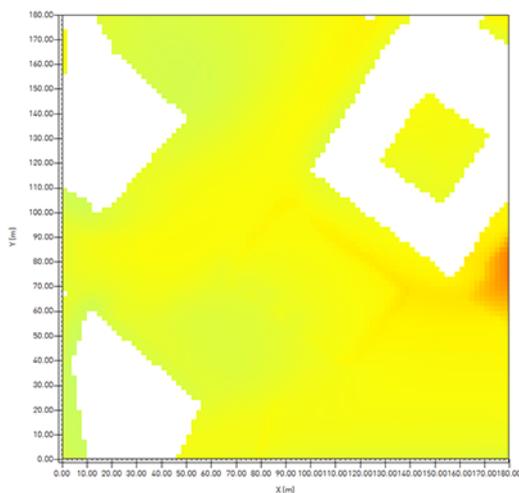
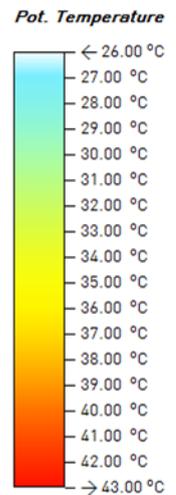
SDF 2050_min: 34.27; max: 42.36



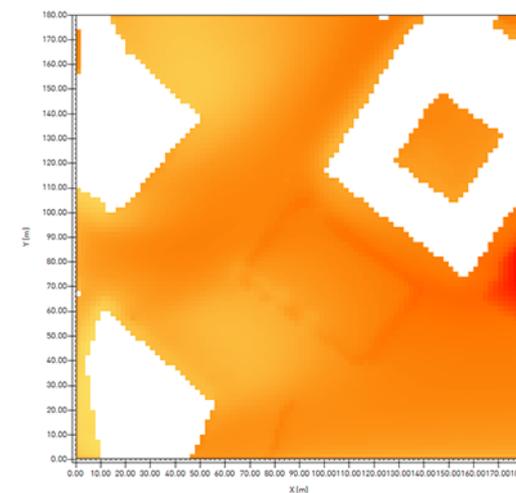
AF 0.28 2015_min: 31.33; max: 39.33



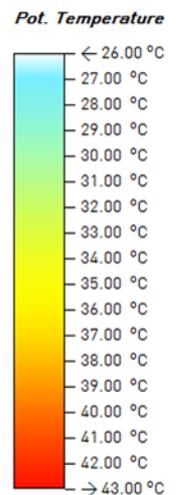
AF 0.28 2050_min: 33.84; max: 42.48

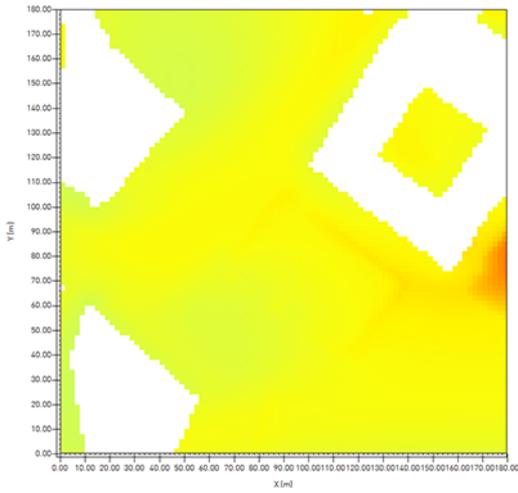


AF 0.40_min: 32.05; max: 39.49

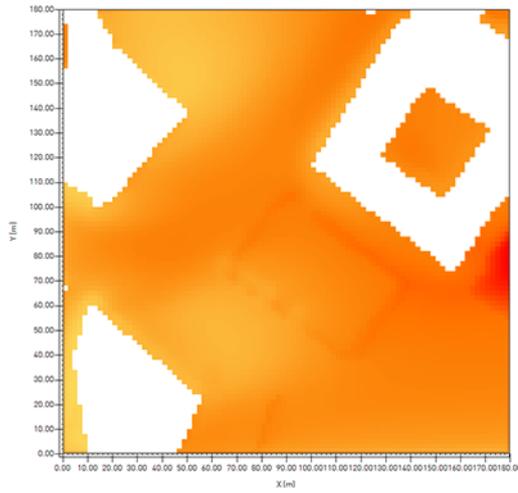


AF 0.40 2050_min: 34.61; max: 42.62

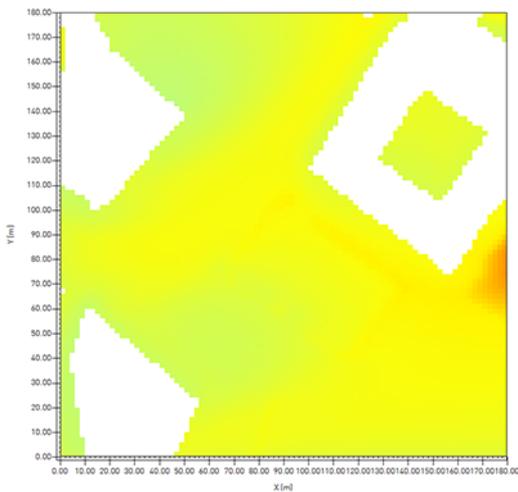
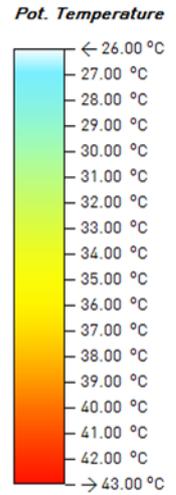




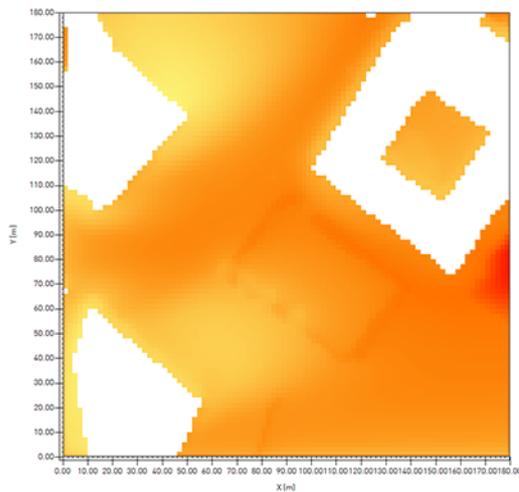
AF 0.50 2015_min: 32.24; max: 39.63



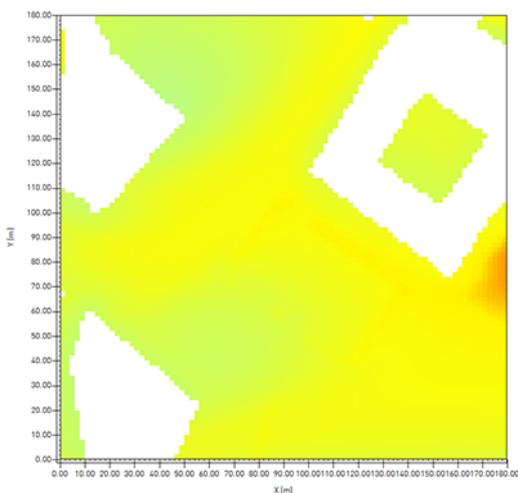
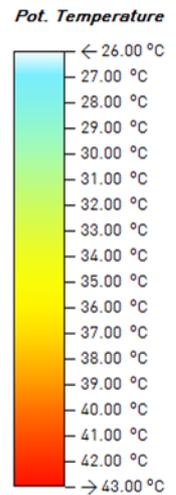
AF 0.50 2050_min: 34.82; max: 42.80



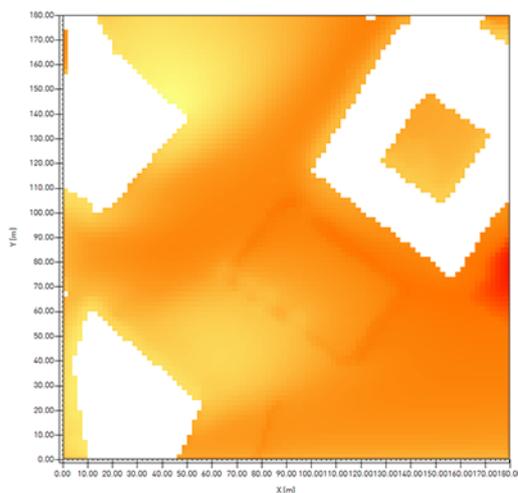
AT 0.68 2015_min: 31.44; max: 39.01



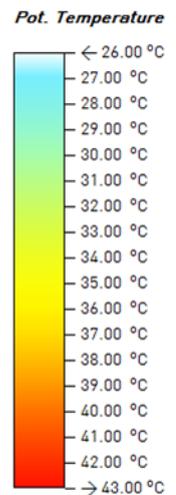
AT 0.68 2050_min: 33.96; max: 42.13

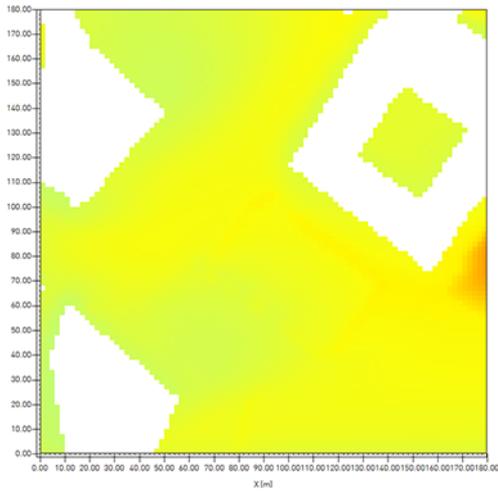


AT 0.90 2015_min: 31.10; max: 38.93

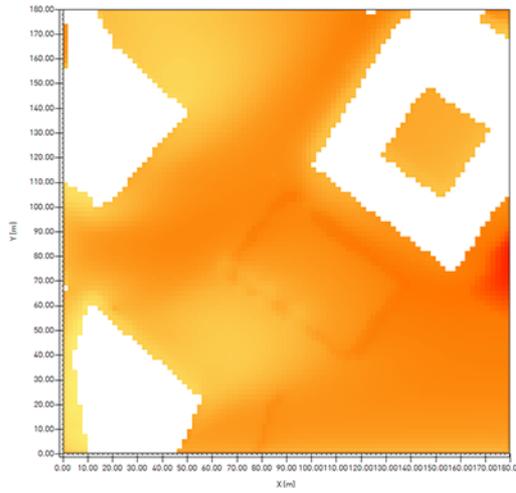


AT 0.90 2050_min: 33.59; max: 42.04

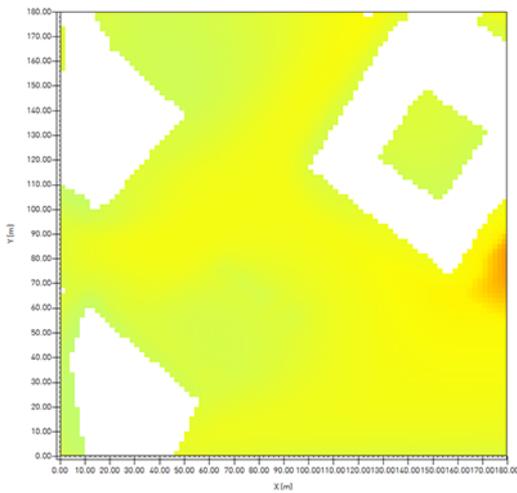
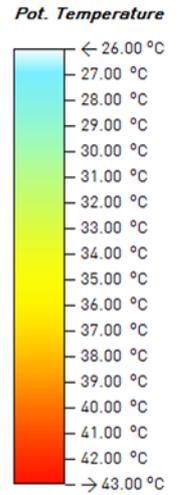




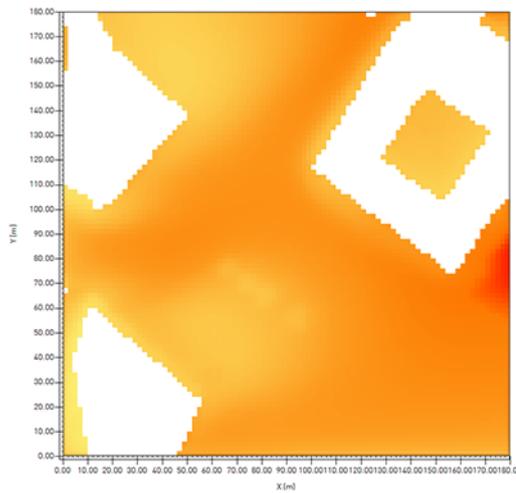
TV 2015_min: 31.68; max: 38.73



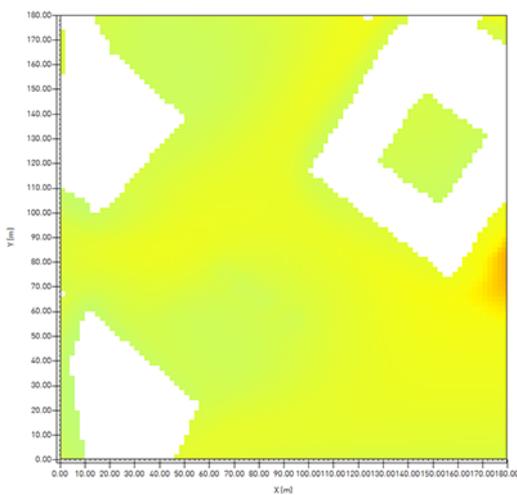
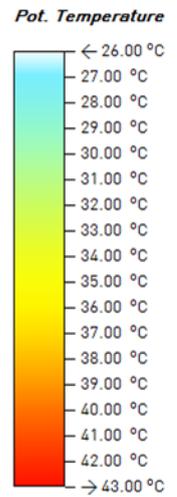
TV 2050_min: 34.21; max: 41.83



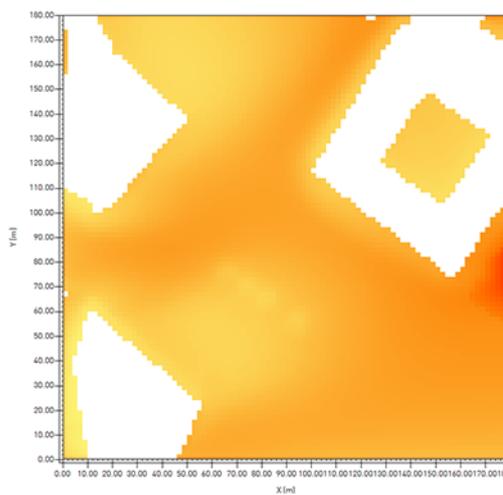
AP 0.28 2015_min: 31.68; max: 38.78



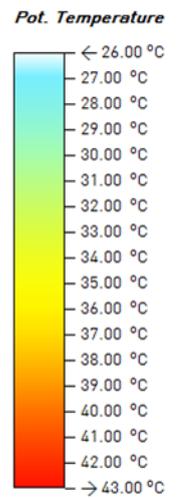
AP 0.28 2050_min: 34.21; max: 41.88

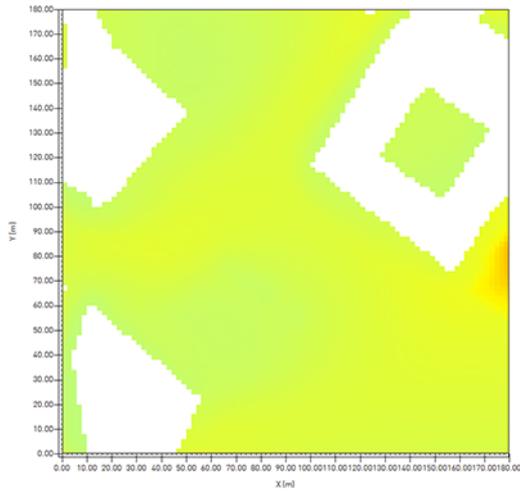


AP 0.40 2015_min: 31.54; max: 38.20

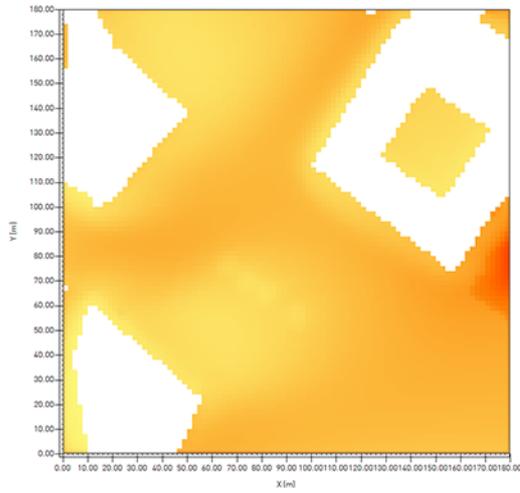


AP 0.40 2050_min: 34.06; max: 41.26

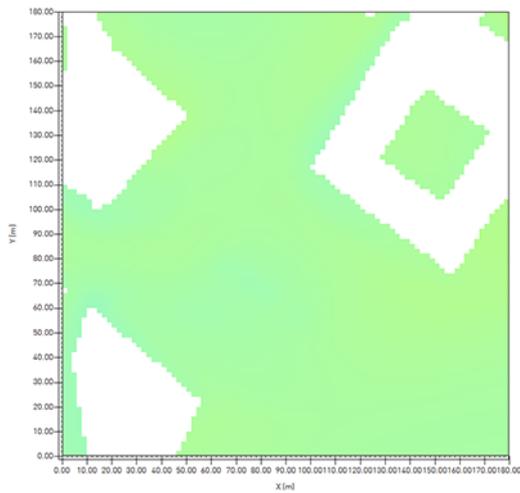
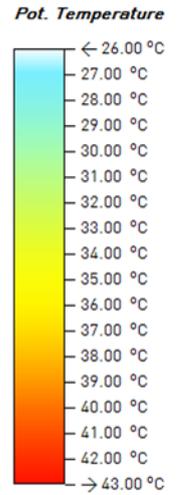




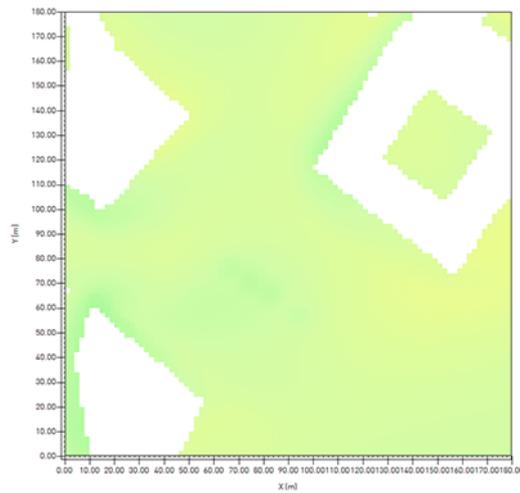
AP 0.50 2015_min: 31.40; max: 37.71



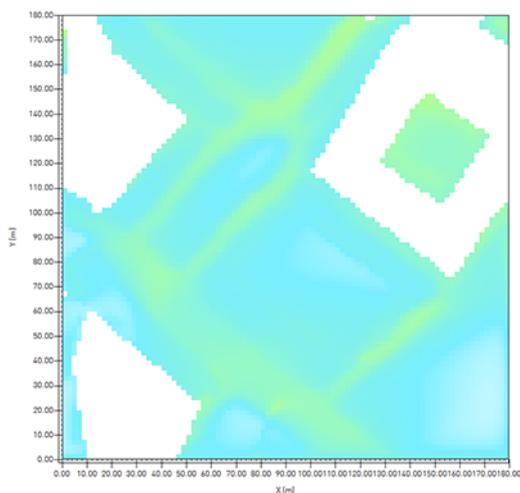
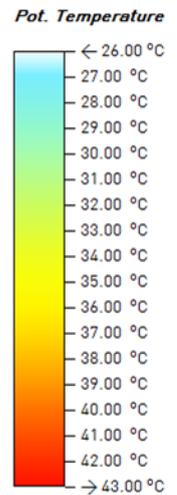
AP 0.50 2050_min: 33.91; max: 40.73



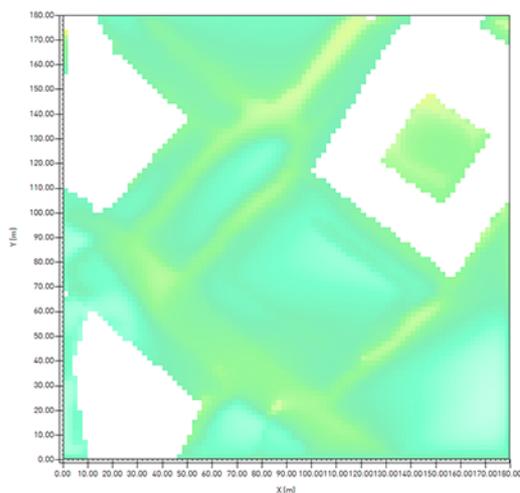
PP 2015_min: 29.58; max: 30.85



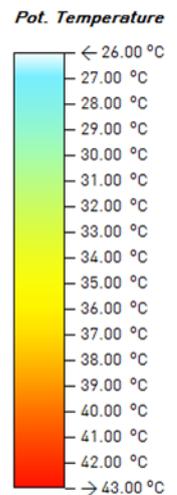
PP 2050_min: 31.95; max: 33.32

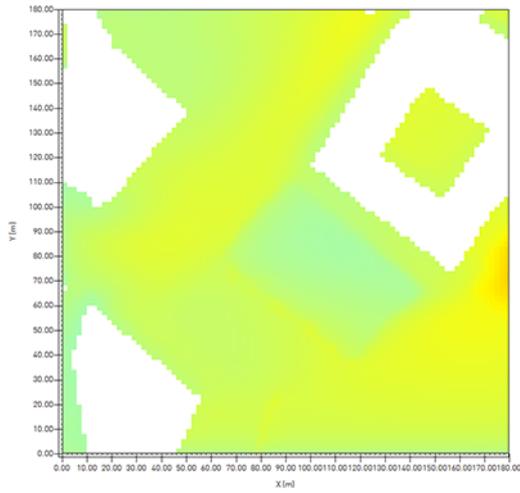


AL 2015_min: 26.47; max: 31.16

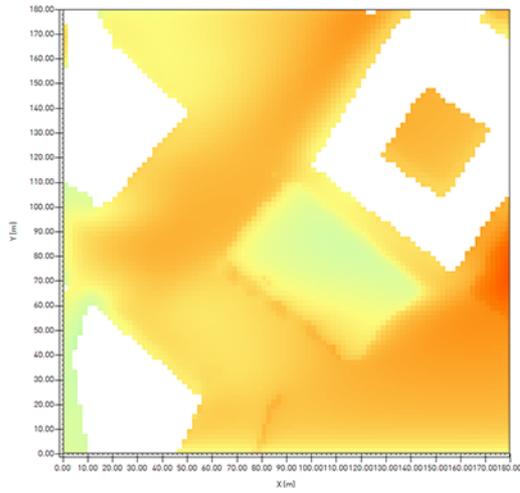


AL 2050_min: 28.59; max: 33.65

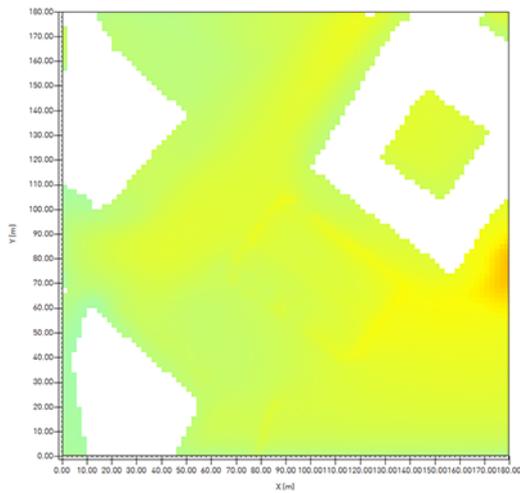
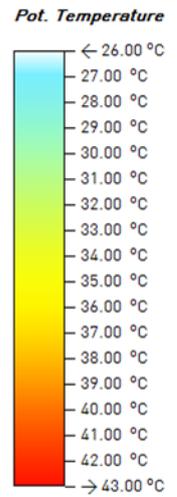




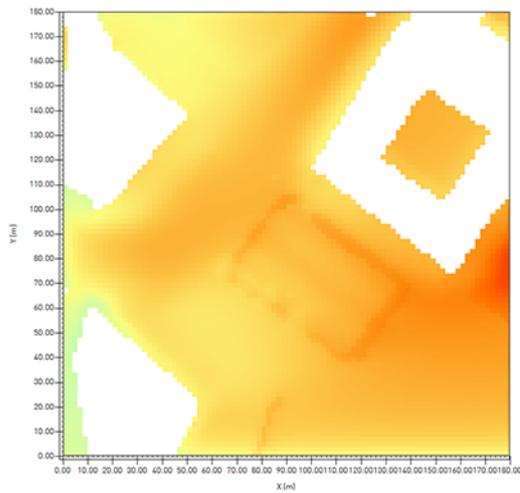
AQ 2015_min: 30.01; max: 37.19



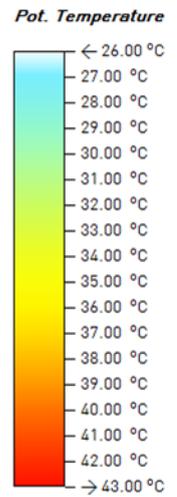
AQ 2050_min: 32.41; max: 40.21



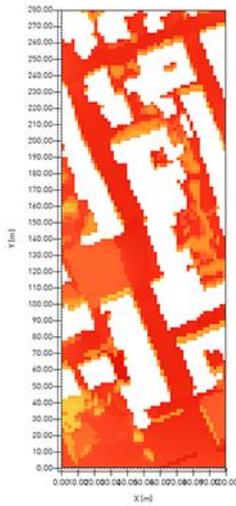
OM 2015_min: 30.00; max: 37.89



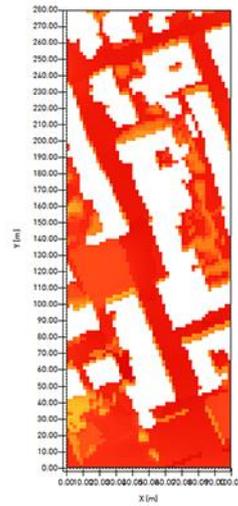
OM 2050_min: 32.40; max: 40.92



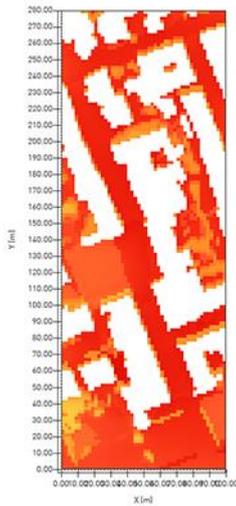
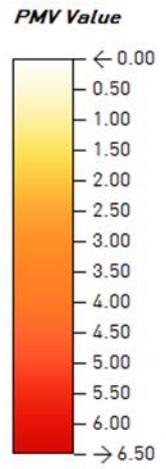
Area TP9S: risultati grafici dei test metaprogettuali per l'analisi dei valori di PMV al 2015 e 2050s per le soluzioni adottate.



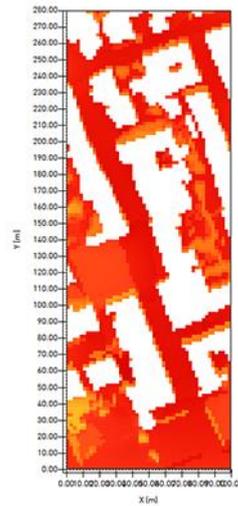
SDF 2015_min: 1.90; max: 5.99



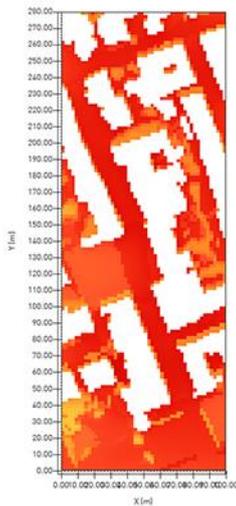
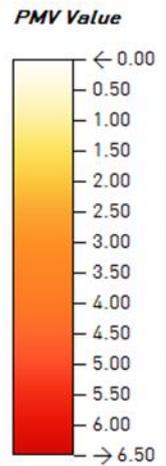
SDF 2050_min: 2.05; max: 6.47



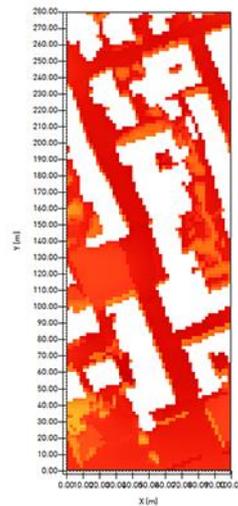
AF 0.28 2015_min: 1.93; max: 6.17



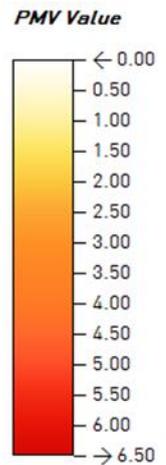
AF 0.28 2050_min: 2.08; max: 6.66

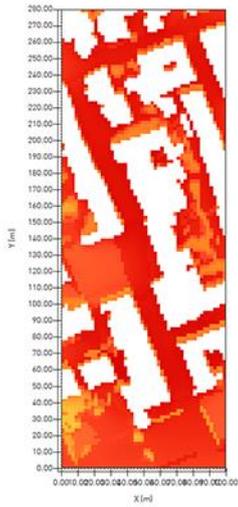


AF 0.40_min: 1.97; max: 6.45

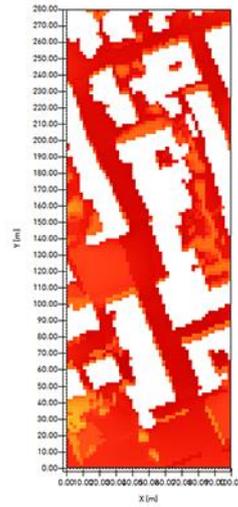


AF 0.40 2050_min: 2.13; max: 6.67

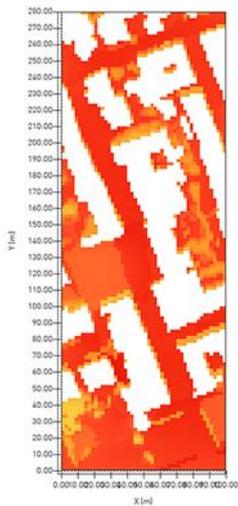
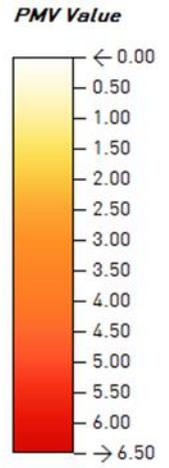




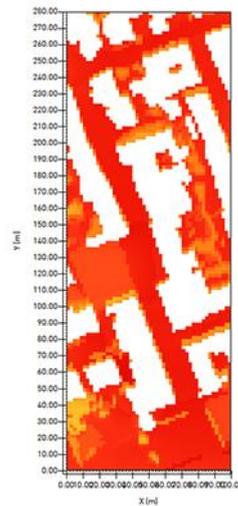
AF 0.50 2015_min: 2.00; max: 6.67



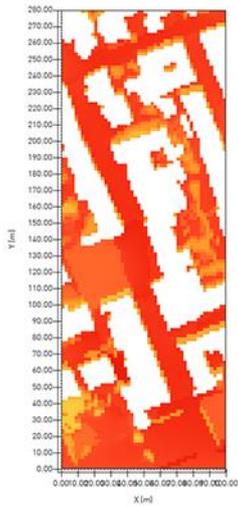
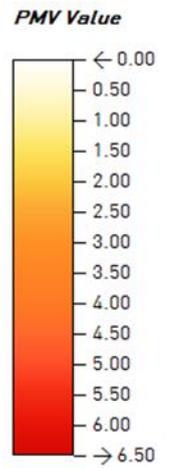
AF 0.50 2050_min: 2.16; max: 7.20



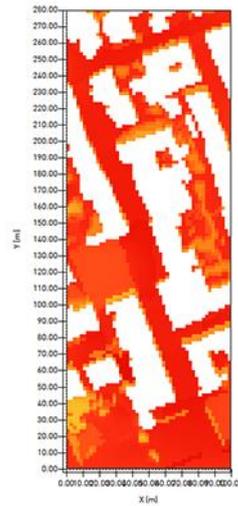
AT 0.68 2015_min: 1.90; max: 5.87



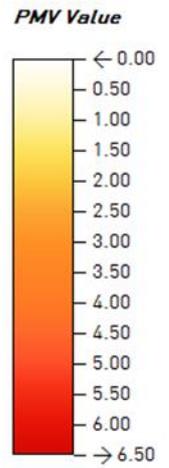
AT 0.68 2050_min: 2.05; max: 6.34

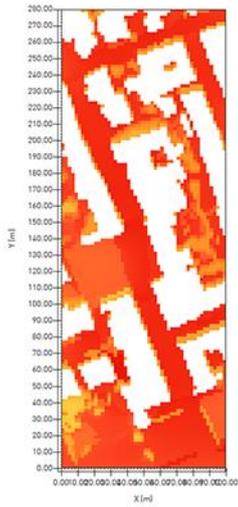


AT 0.90 2015_min: 1.90; max: 5.83

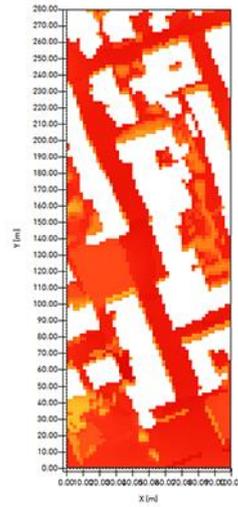


AT 0.90 2050_min: 2.05; max: 6.30

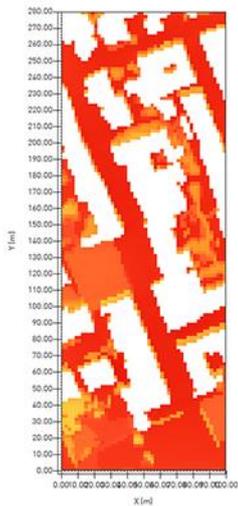
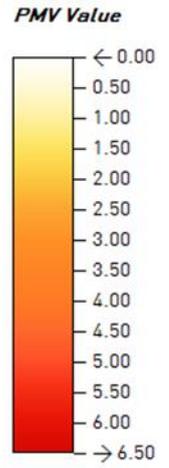




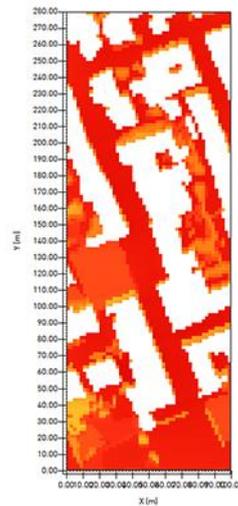
TV 2015_min: 1.90; max: 5.97



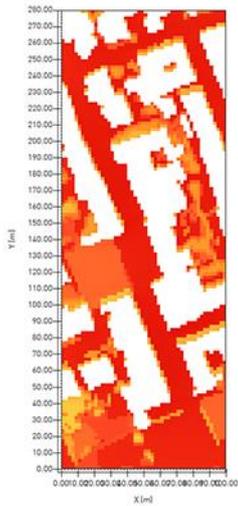
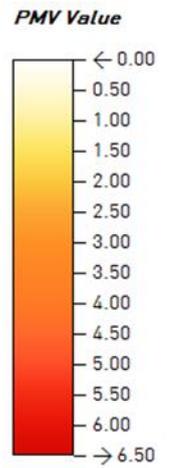
TV 2050_min: 2.05; max: 6.45



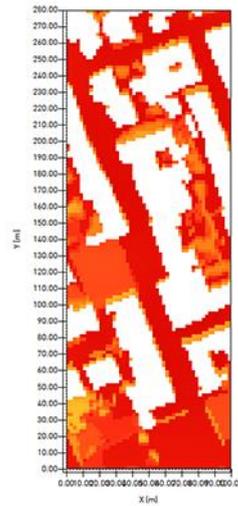
AP 0.28 2015_min: 1.90; max: 5.90



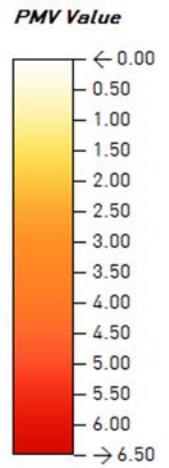
AP 0.28 2050_min: 2.05; max: 6.37

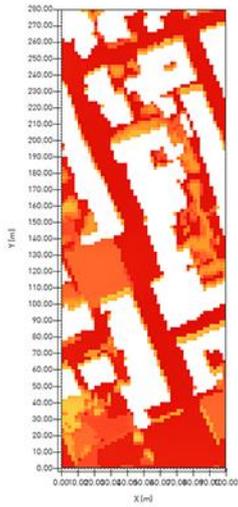


AP 0.40 2015_min: 1.90; max: 6.08

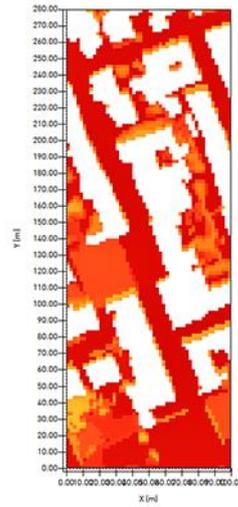


AP 0.40 2050_min: 2.05; max: 6.57

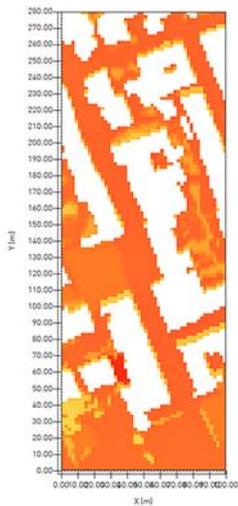
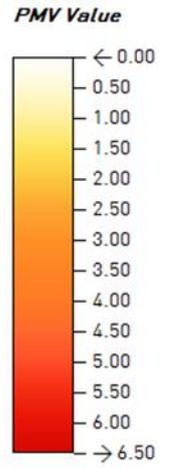




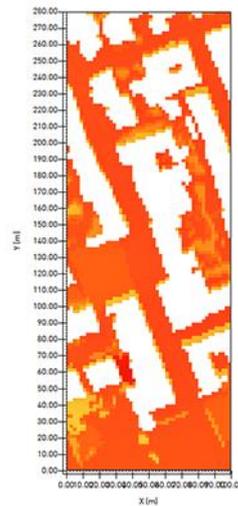
AP 0.50 2015_min: 1.90; max: 6.28



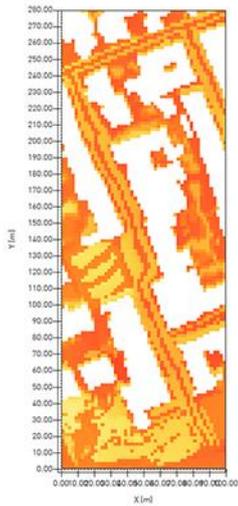
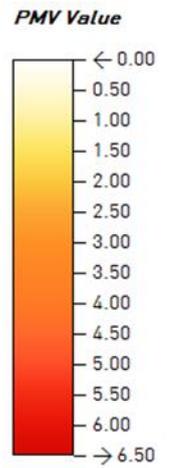
AP 0.50 2050_min: 2.05; max: 6.78



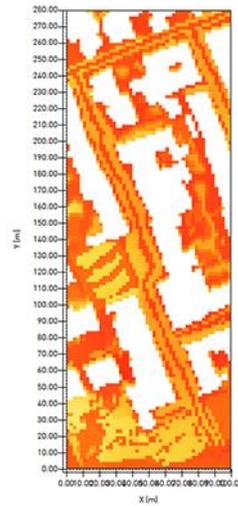
PP 2015_min: 1.73; max: 5.53



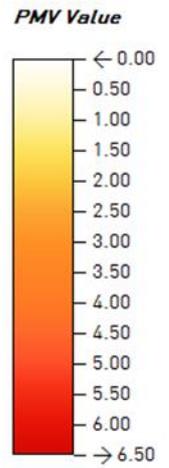
PP 2050_min: 1.87; max: 5.97

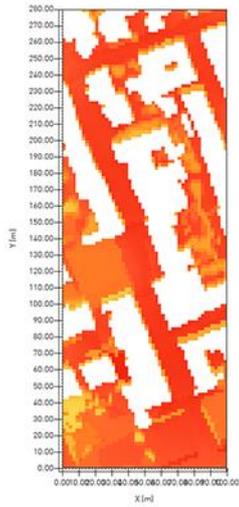


AL 2015_min: 1.14; max: 5.08

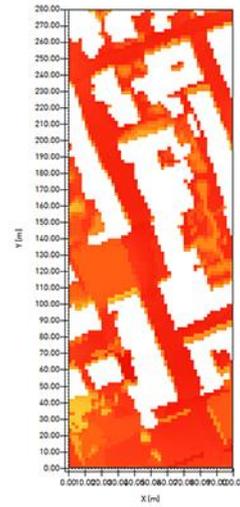


AL 2050_min: 1.23; max: 5.49

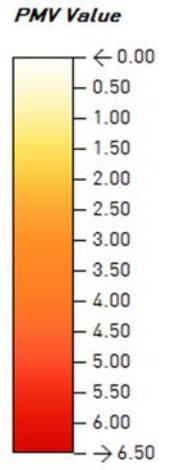




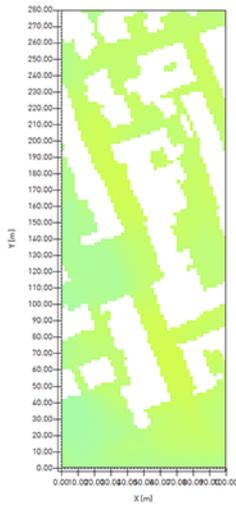
OM 2015_min: 1.72; max: 5.68



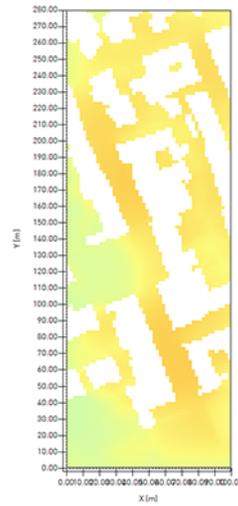
OM 2050_min: 1.86; max: 6.13



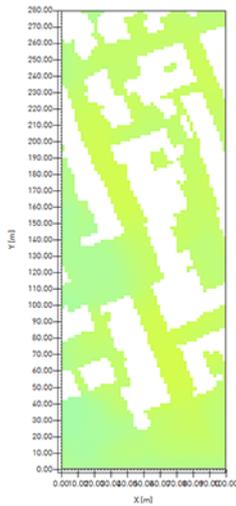
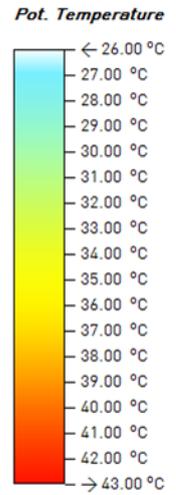
Area TP9S: risultati grafici dei test metaprogettuali per l'analisi dei valori di temperatura dell'aria_Ta al 2015 e 2050s per le soluzioni adottate.



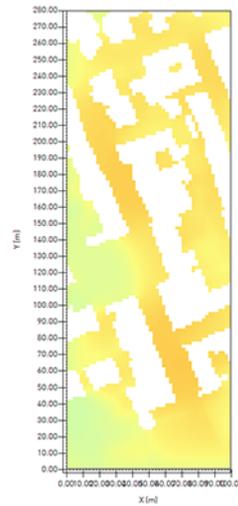
SDF 2015_min: 30.13; max: 32.50



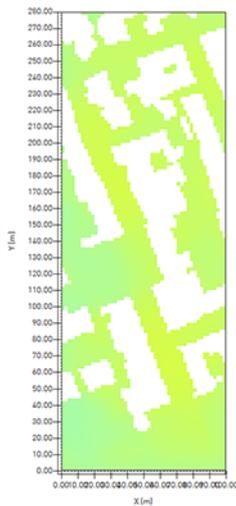
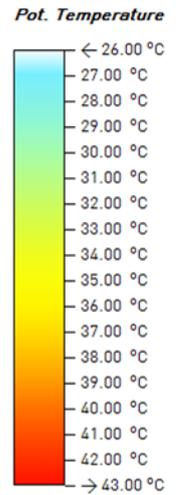
SDF 2050_min: 32.54; max: 35.10



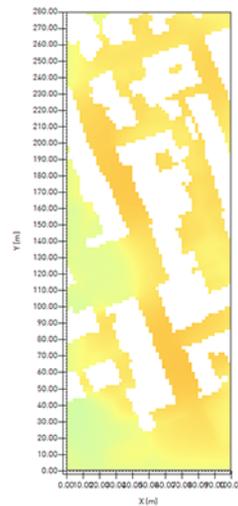
AF 0.28 2015_min: 30.16; max: 32.59



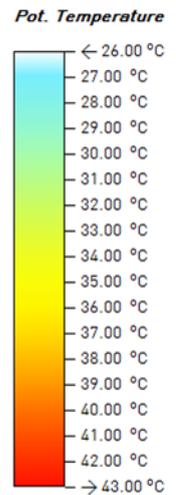
AF 0.28 2050_min: 32.57; max: 35.20

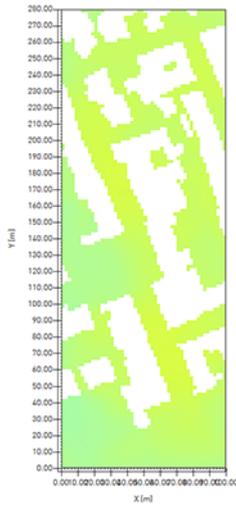


AF 0.40_min: 30.20; max: 32.72

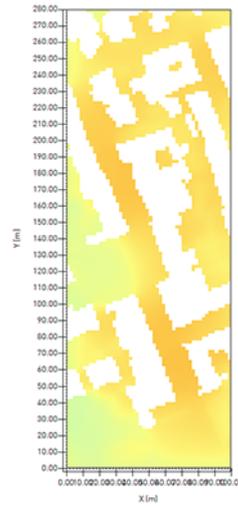


AF 0.40 2050_min: 32.62; max: 35.34

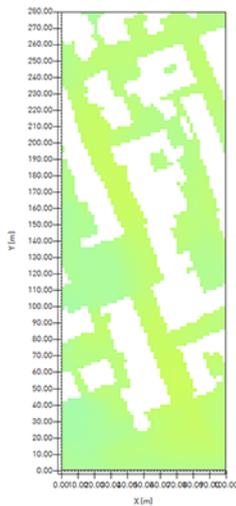
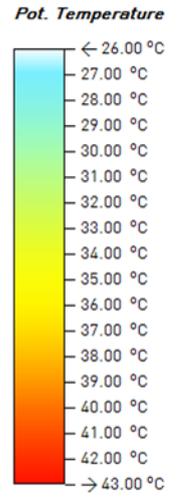




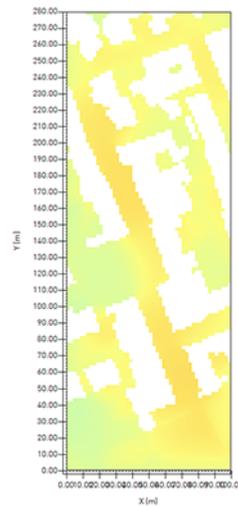
AF 0.50 2015_min: 30.23; max: 32.84



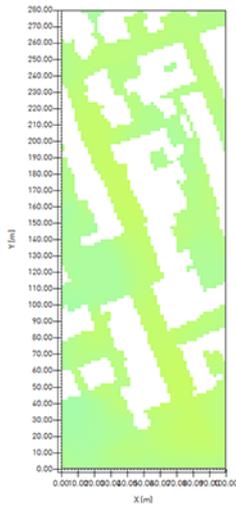
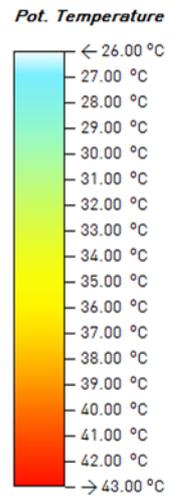
AF 0.50 2050_min: 32.65; max: 35.47



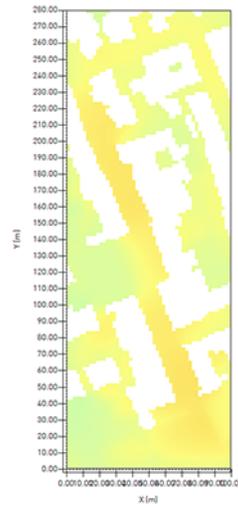
AT 0.68 2015_min: 30.12; max: 32.06



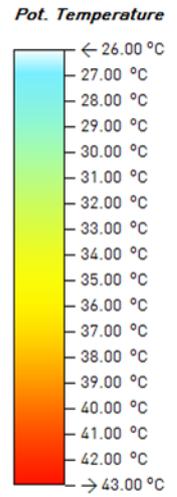
AT 0.68 2050_min: 32.53; max: 34.62

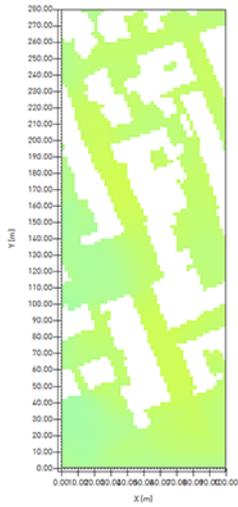


AT 0.90 2015_min: 30.11; max: 31.92

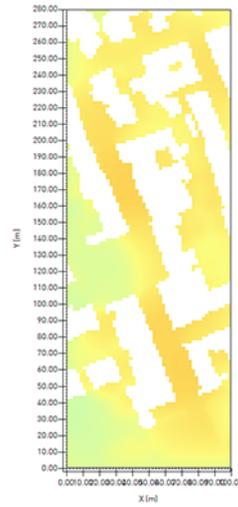


AT 0.90 2050_min: 32.52; max: 34.47

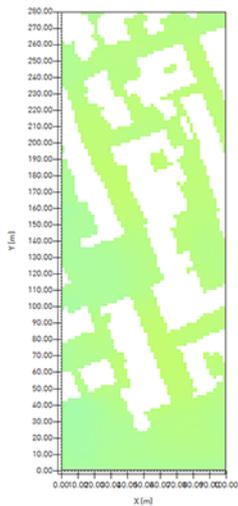
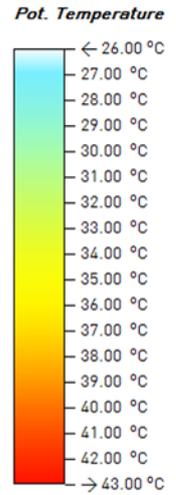




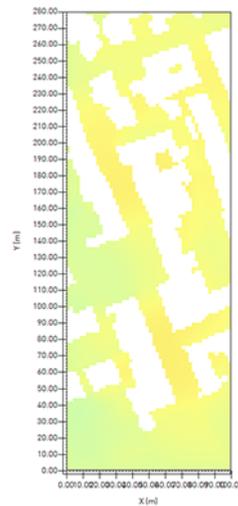
TV 2015_min: 30.12; max: 32.40



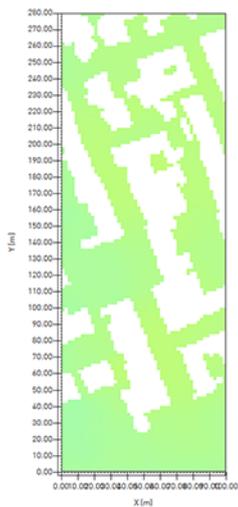
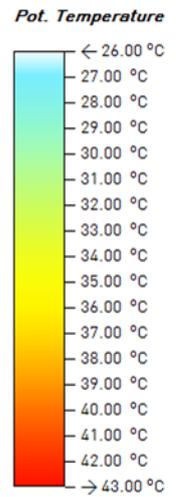
TV 2050_min: 32.53; max: 34.99



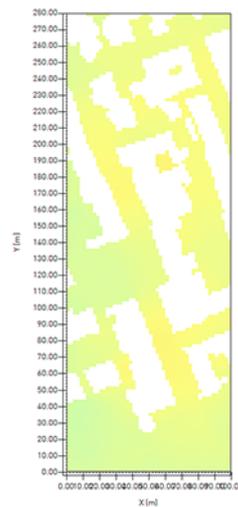
AP 0.28 2015_min: 30.12; max: 31.61



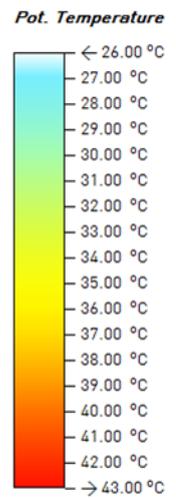
AP 0.28 2050_min: 32.53; max: 34.14

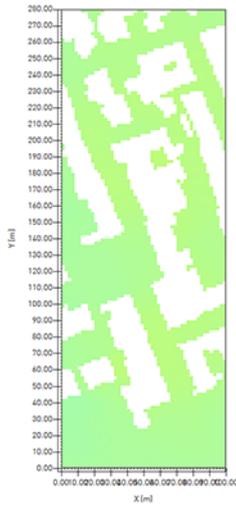


AP 0.40 2015_min: 30.12; max: 31.49

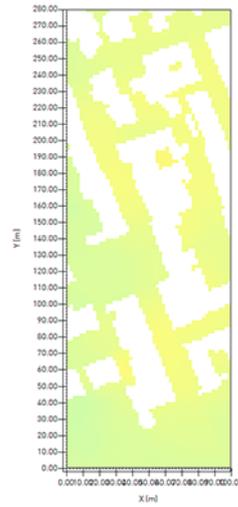


AP 0.40 2050_min: 32.53; max: 34.01

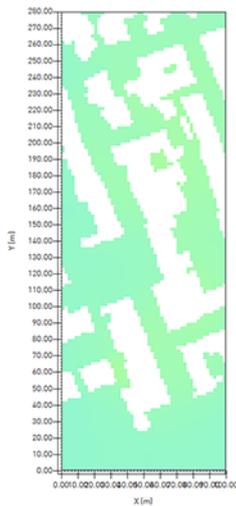
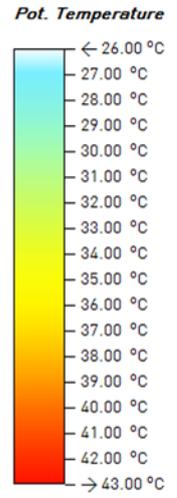




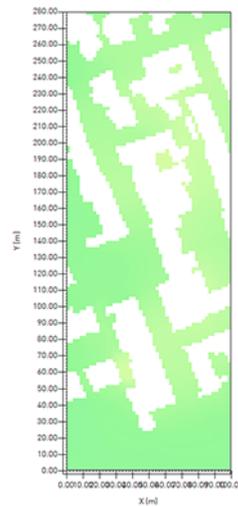
AP 0.50 2015_min: 30.11; max: 31.40



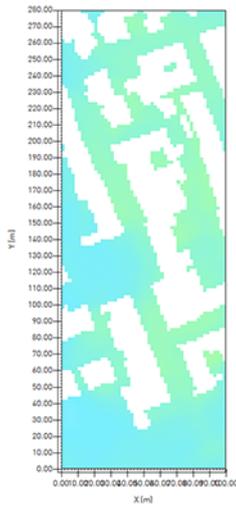
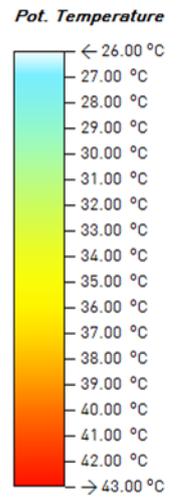
AP 0.50 2050_min: 35.52; max: 33.91



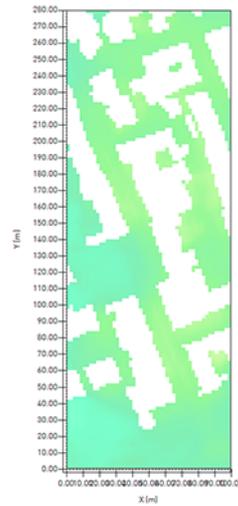
PP 2015_min: 28.98; max: 30.30



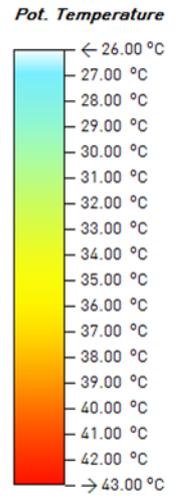
PP 2050_min: 31.30; max: 32.72

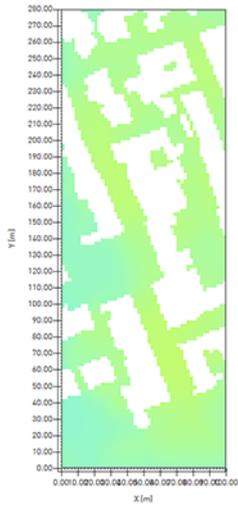


AL 2015_min: 26.94; max: 30.03

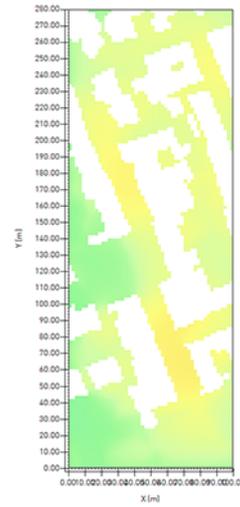


AL 2050_min: 29.10; max: 32.43

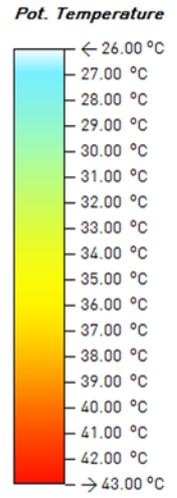




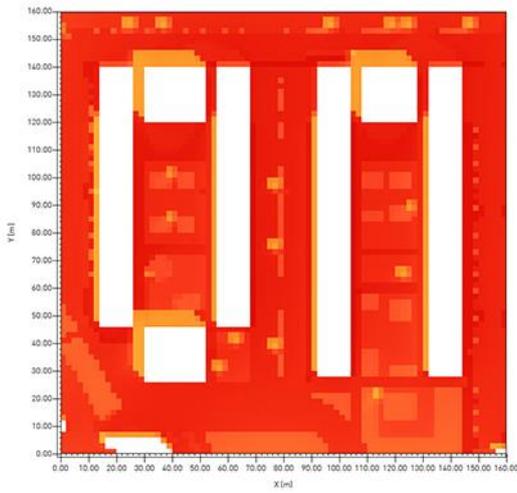
OM 2015_min: 28.99; max: 31.60



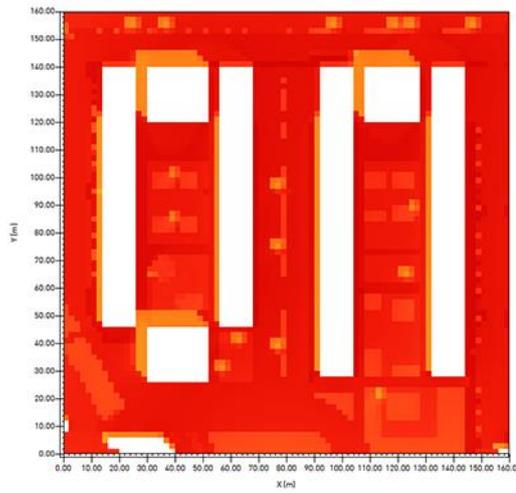
OM 2050_min: 31.31; max: 34.13



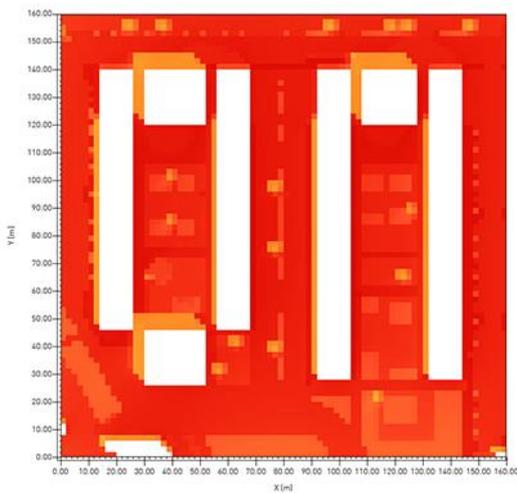
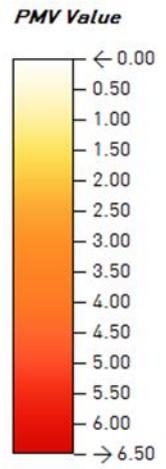
Area TP9C: risultati grafici dei test metaprogettuali per l'analisi dei valori di PMV al 2015 e 2050s per le soluzioni adottate.



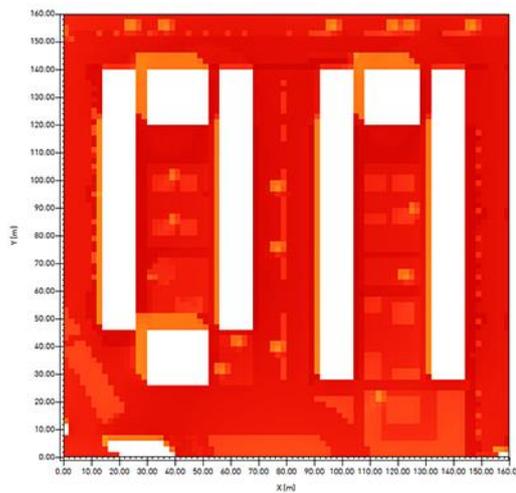
SDF 2015_min: 2.11; max: 6.36



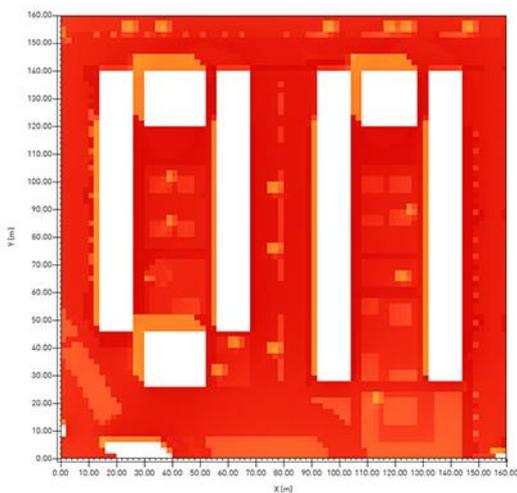
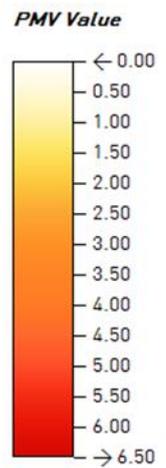
SDF 2050_min: 2.28; max: 6.87



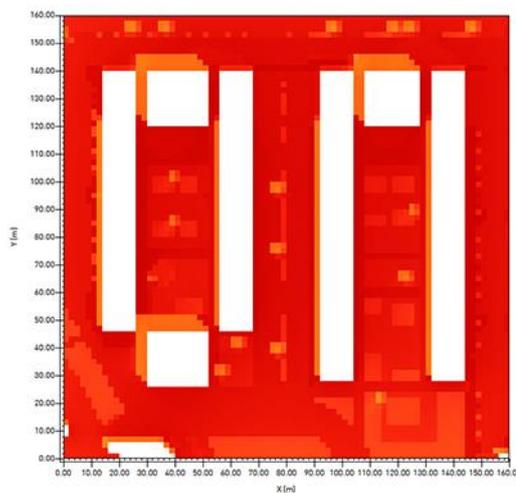
AF 0.28 2015_min: 2.32; max: 6.54



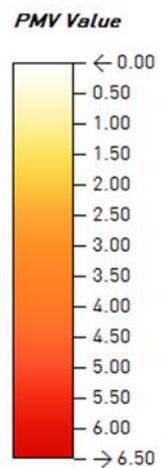
AF 0.28 2050_min: 2.51; max: 7.05

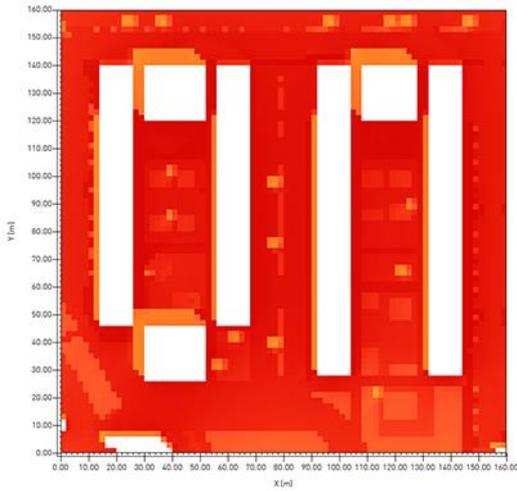


AF 0.40_min: 2.63; max: 6.79

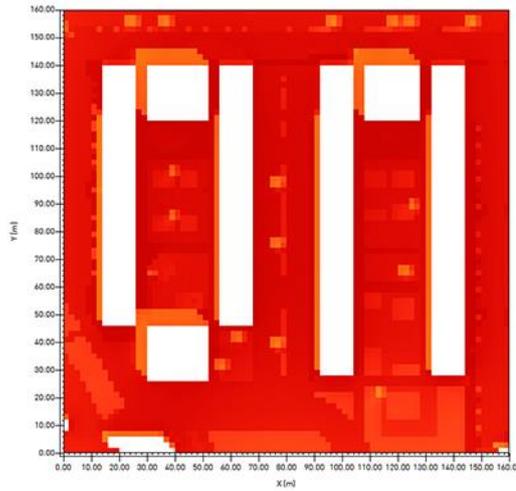


AF 0.40 2050_min: 2.84; max: 7.33

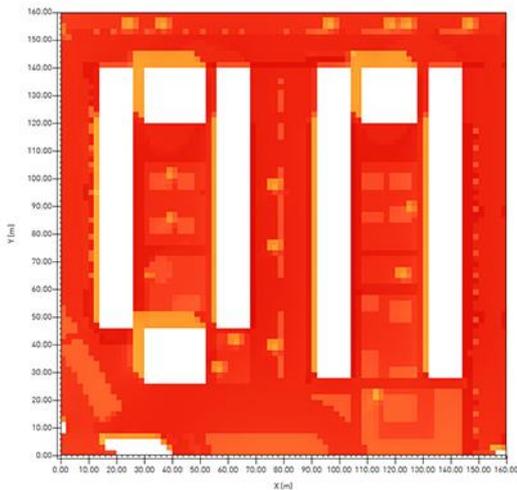
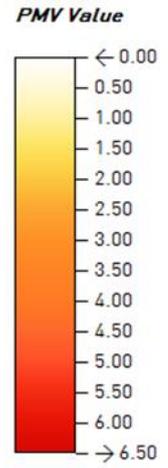




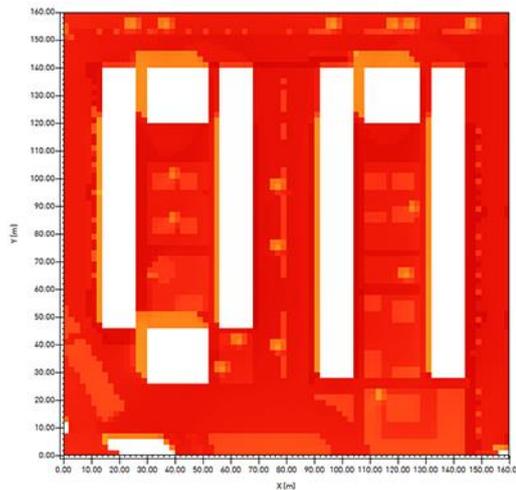
AF 0.50 2015_min: 2.73; max: 7.00



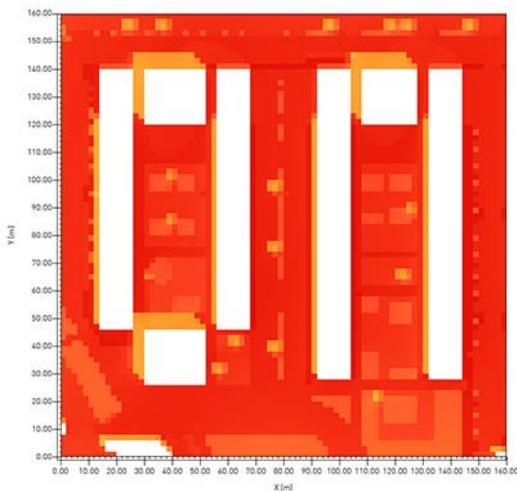
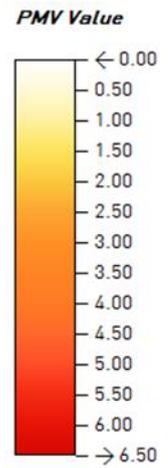
AF 0.50 2050_min: 2.95; max: 7.56



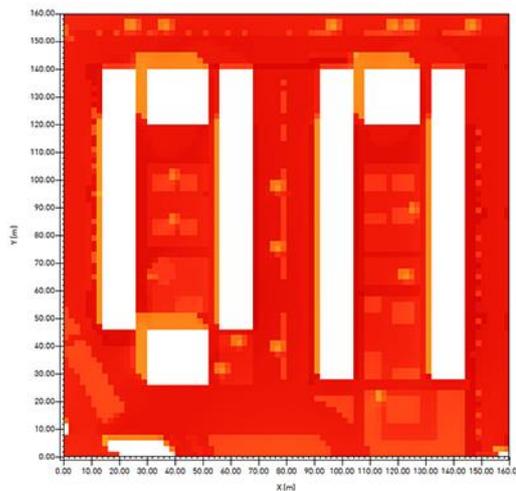
AT 0.68 2015_min: 2.10; max: 6.28



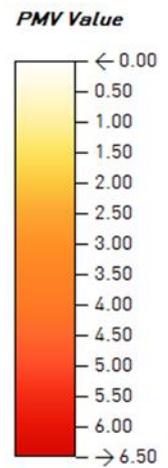
AT 0.68 2050_min: 2.27; max: 6.78

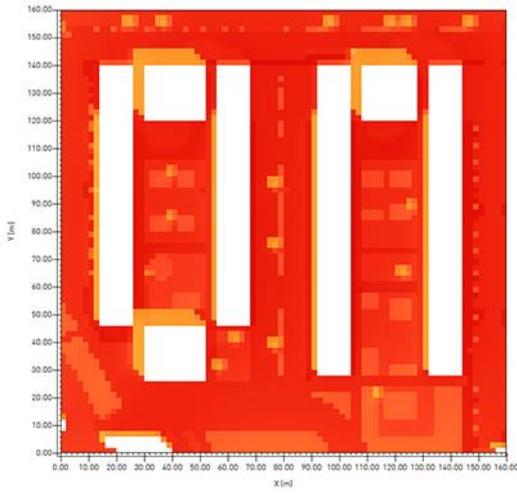


AT 0.90 2015_min: 2.10; max: 6.25

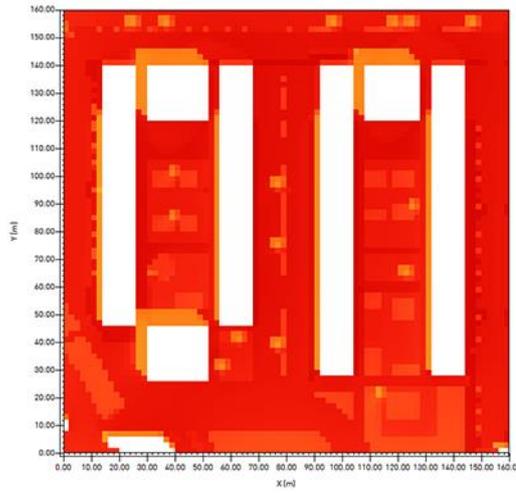


AT 0.90 2050_min: 2.27; max: 6.75

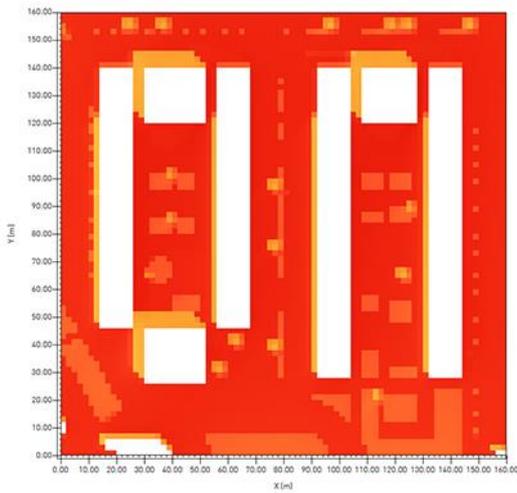
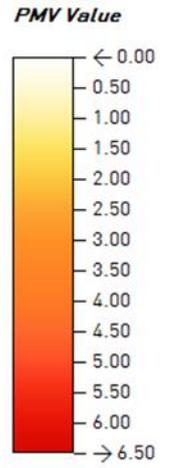




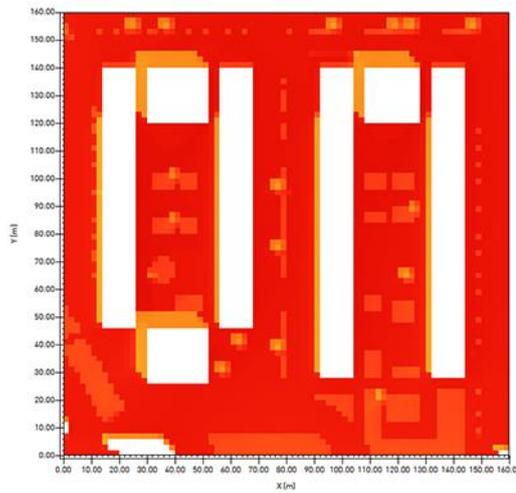
TV 2015_min: 2.10; max: 6.34



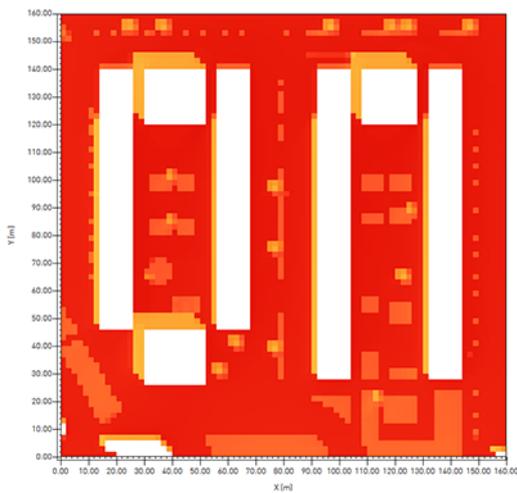
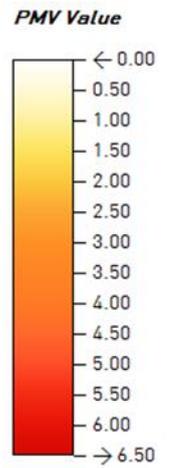
TV 2050_min: 2.27; max: 6.85



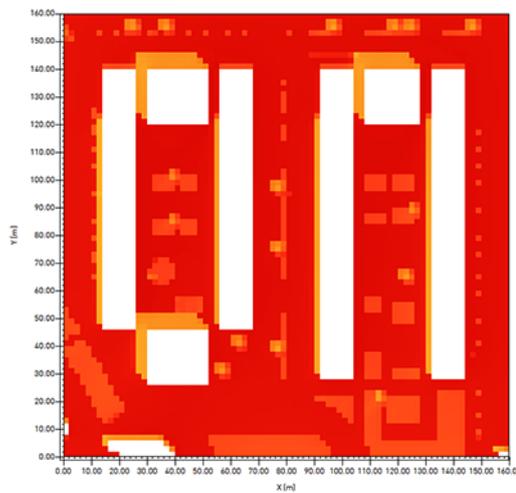
AP 0.28 2015_min: 2.03; max: 5.90



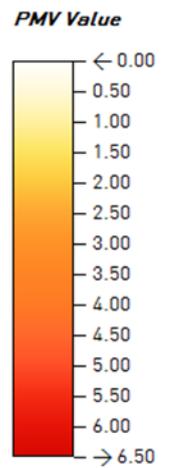
AP 0.28 2050_min: 2.19; max: 6.37

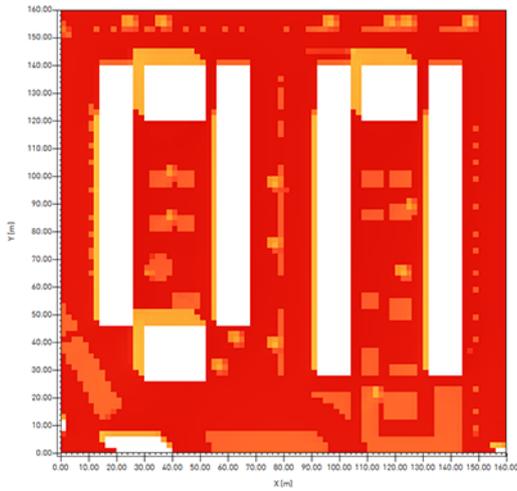


AP 0.40 2015_min: 2.01; max: 6.12

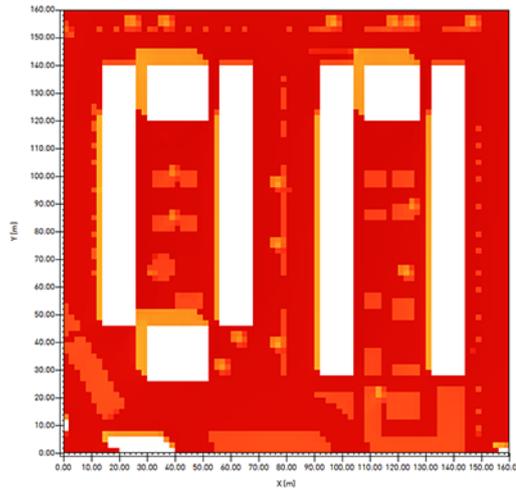


AP 0.40 2050_min: 2.17; max: 6.61

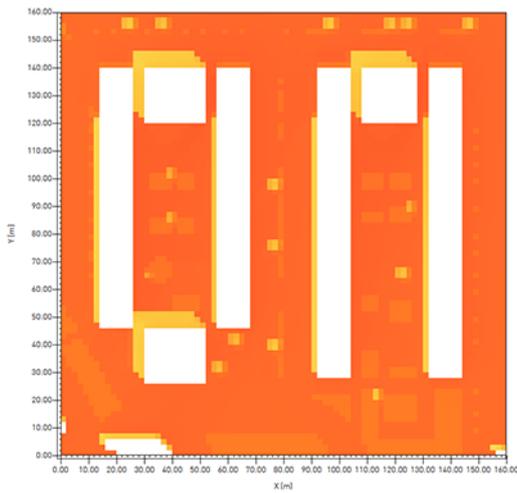
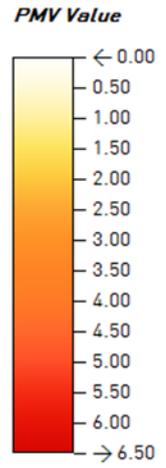




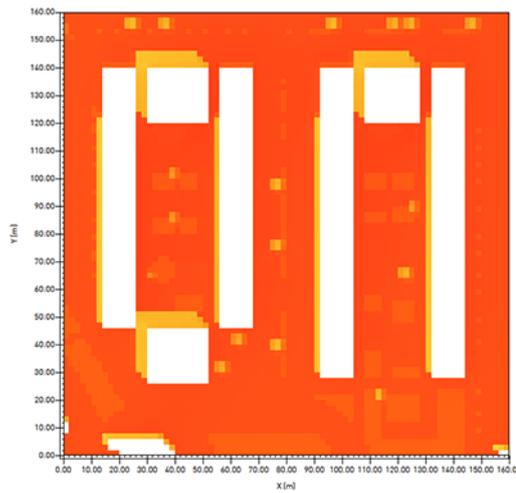
AP 0.50 2015_min: 2.00; max: 6.28



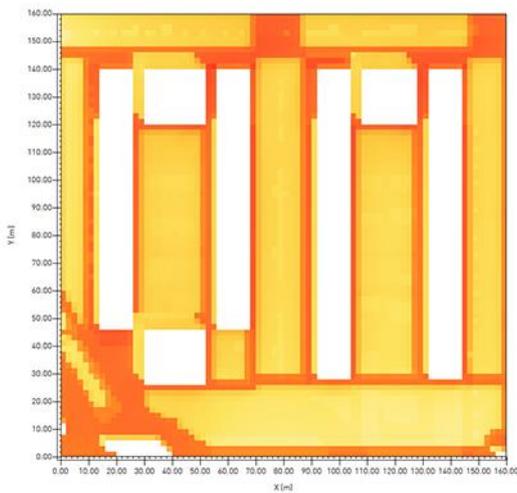
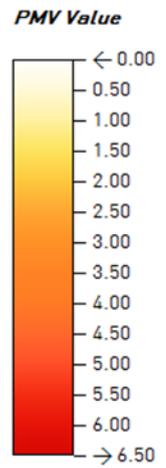
AP 0.50 2050_min: 2.16; max: 6.78



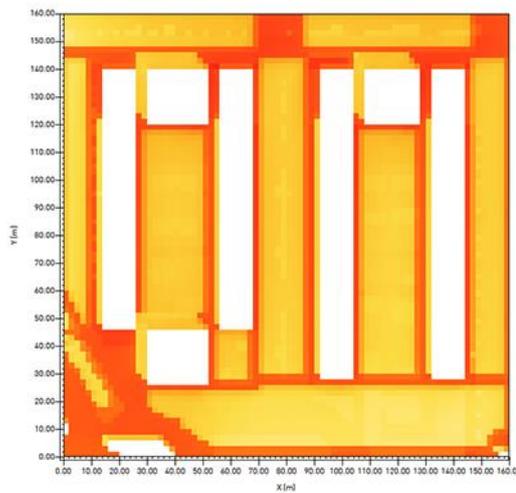
PP 2015_min: 1.68; max: 4.78



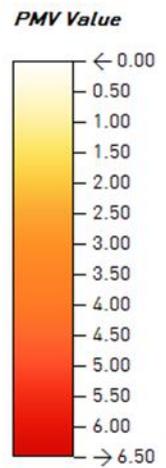
PP 2050_min: 1.81; max: 5.16

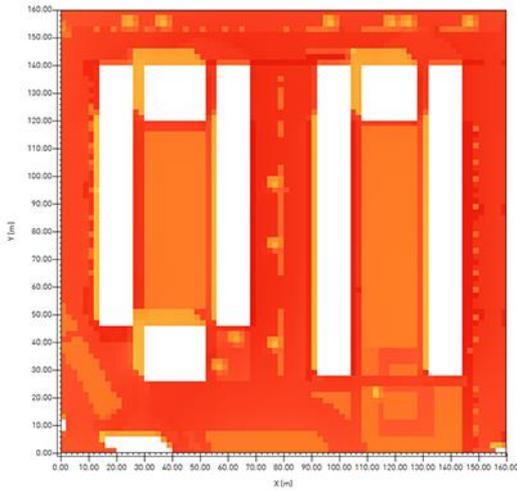


AL 2015_min: 1.08; max: 5.27

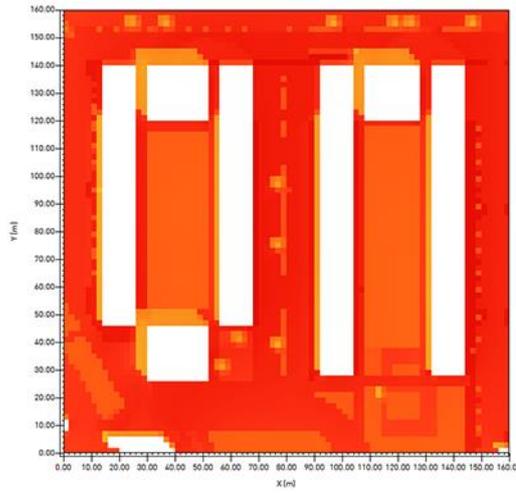


AL 2050_min: 1.17; max: 5.69

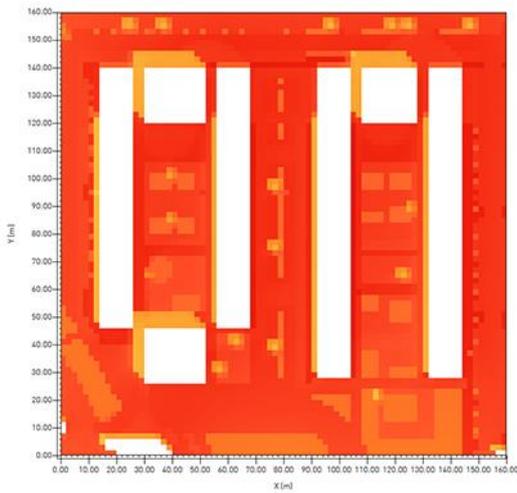
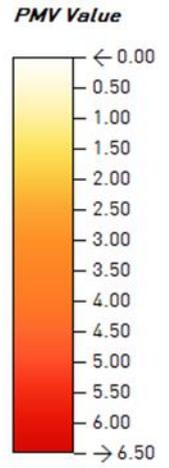




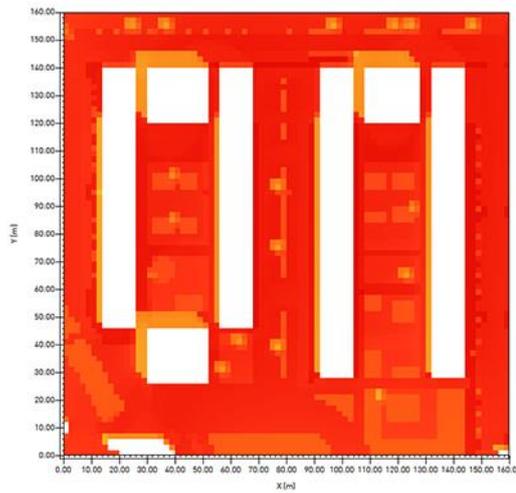
AQ 2015_min: 1.93; max: 5.90



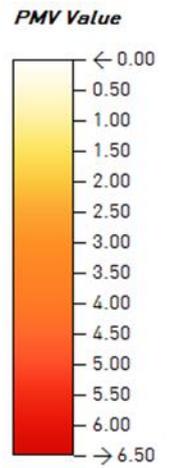
AQ 2050_min: 2.08; max: 6.37



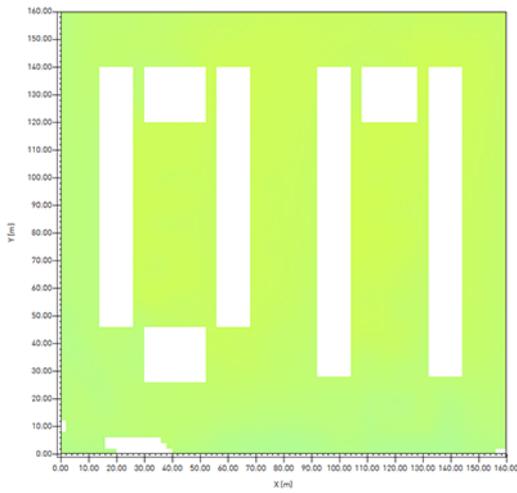
OM 2015_min: 1.95; max: 5.97



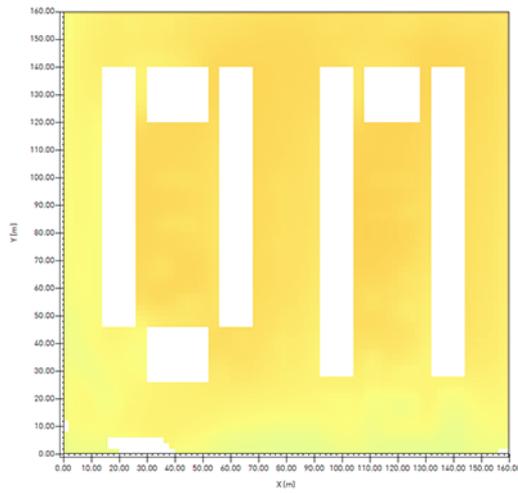
OM 2050_min: 2.11; max: 6.45



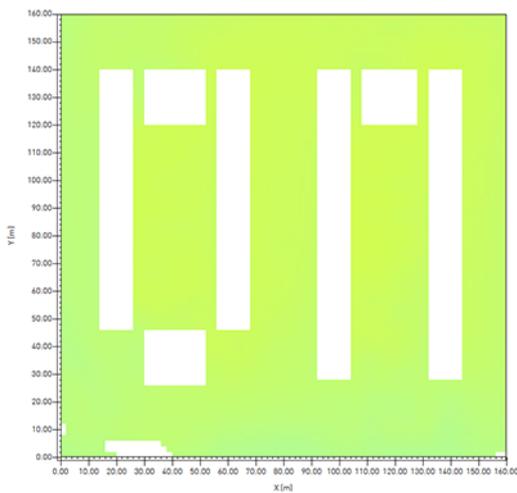
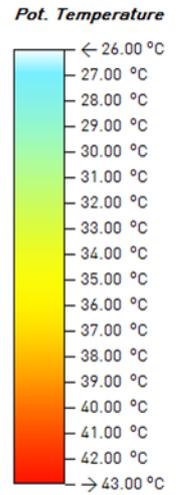
Area TP9C: risultati grafici dei test metaprogettuali per l'analisi dei valori di temperatura dell'aria_Ta al 2015 e 2050s per le soluzioni adottate.



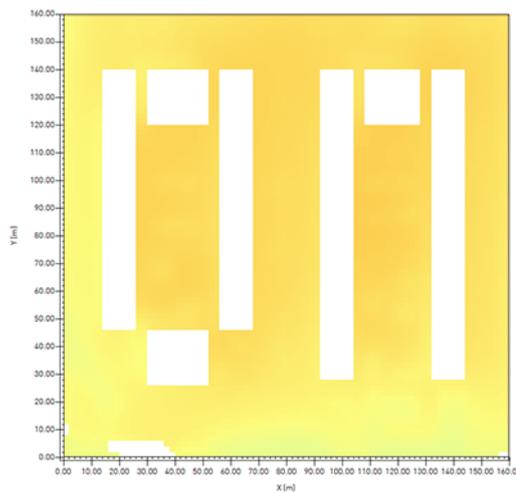
SDF 2015_min: 30.73; max: 32.42



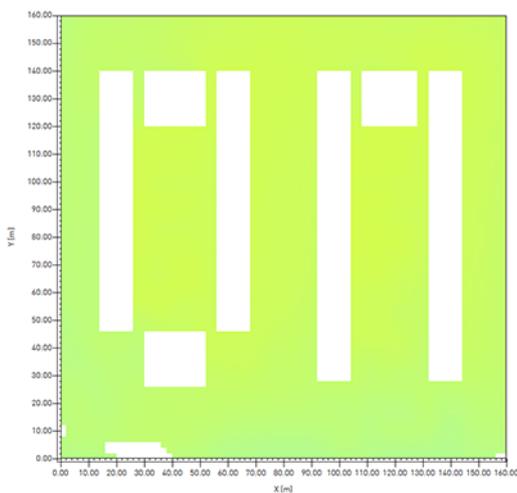
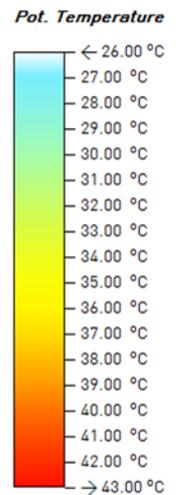
SDF 2050_min: 33.19; max: 35.01



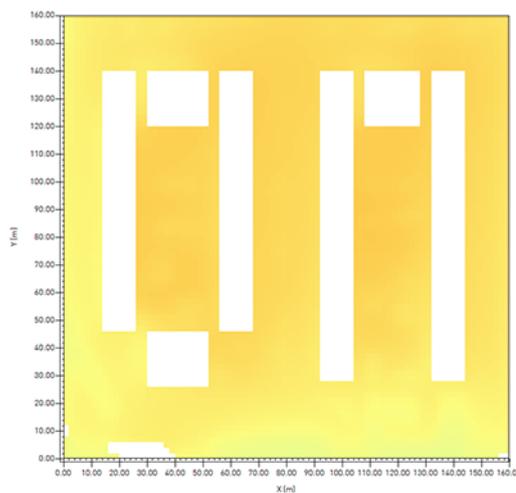
AF 0.28 2015_min: 30.77; max: 32.49



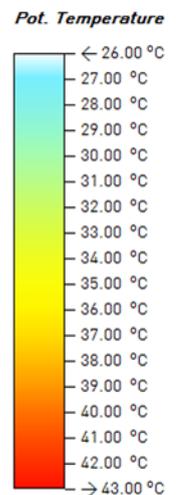
AF 0.28 2050_min: 33.23; max: 35.09

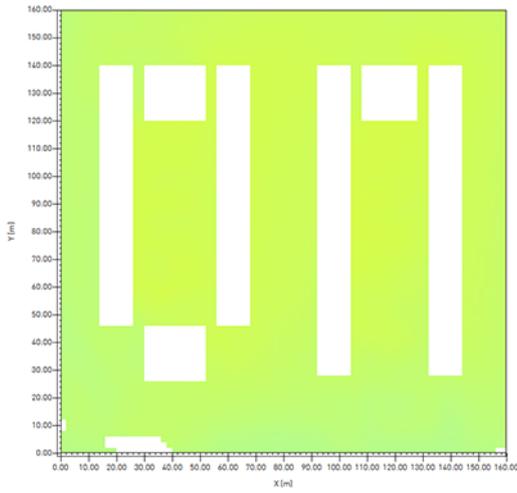


AF 0.40_min: 30.82; max: 32.60

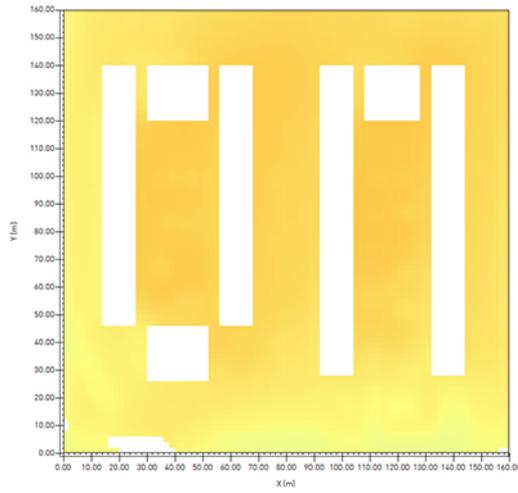


AF 0.40 2050_min: 33.29; max: 35.21

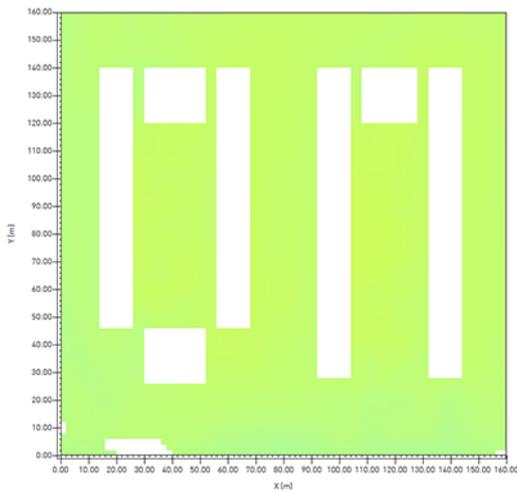
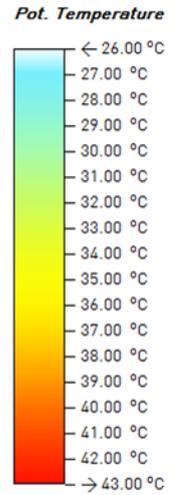




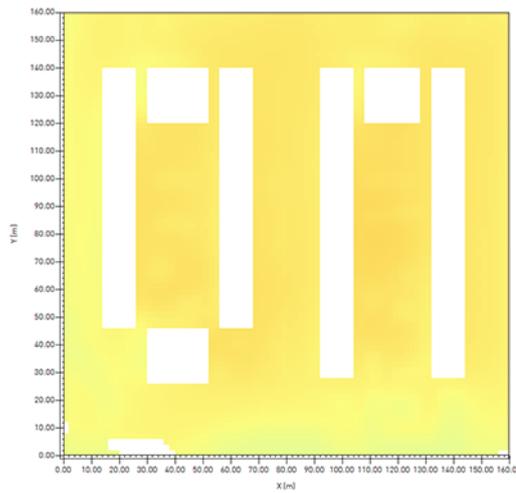
AF 0.50 2015_min: 30.87; max: 32.70



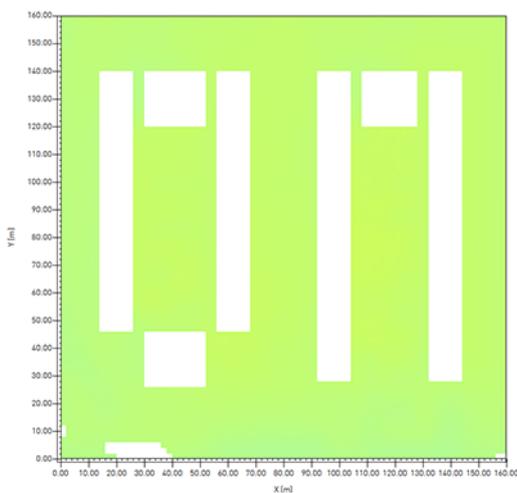
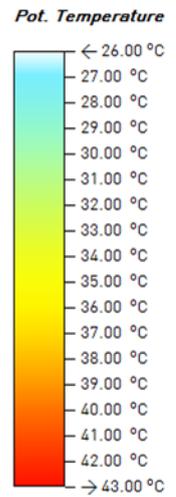
AF 0.50 2050_min: 33.34; max: 35.32



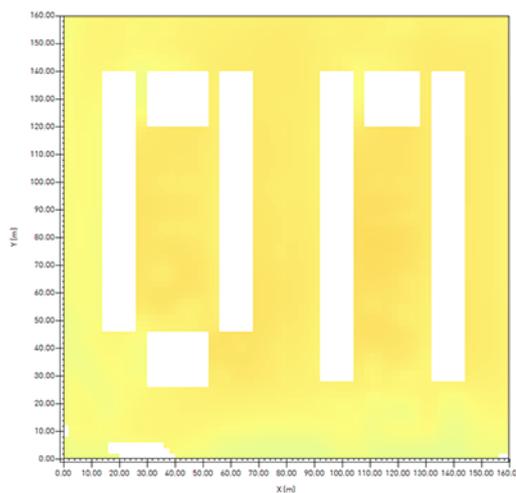
AT 0.68 2015_min: 30.73; max: 32.21



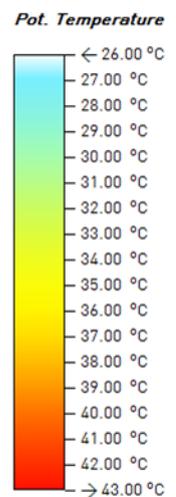
AT 0.68 2050_min: 33.19; max: 34.79

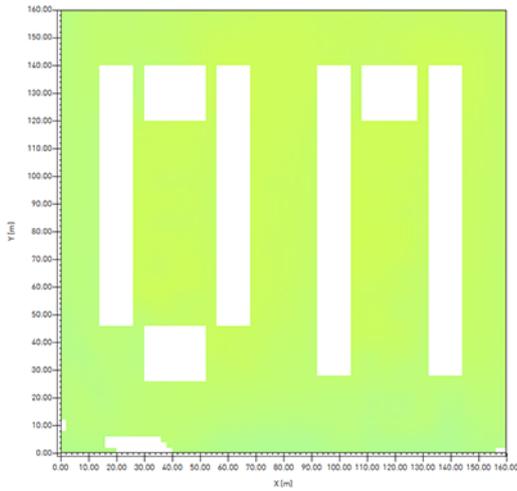


AT 0.90 2015_min: 30.73; max: 32.14

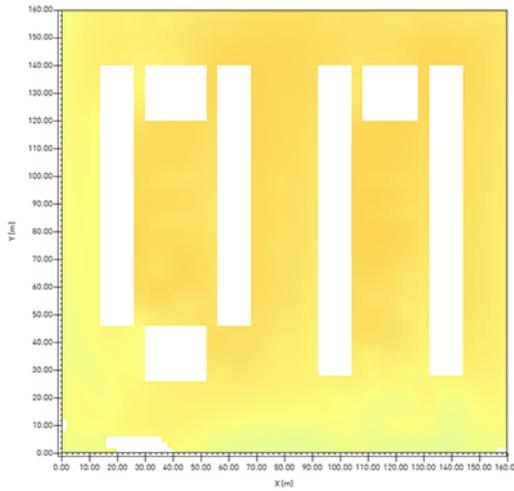


AT 0.90 2050_min: 33.19; max: 34.71

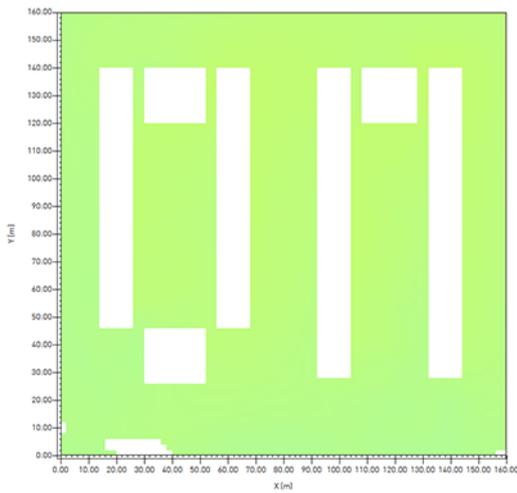
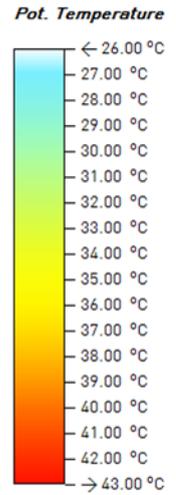




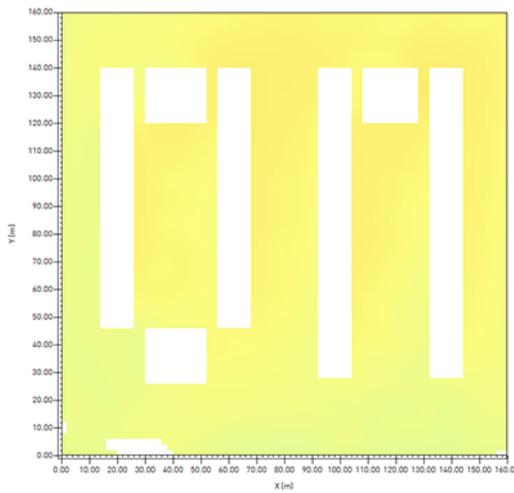
TV 2015_min: 30.71; max: 32.35



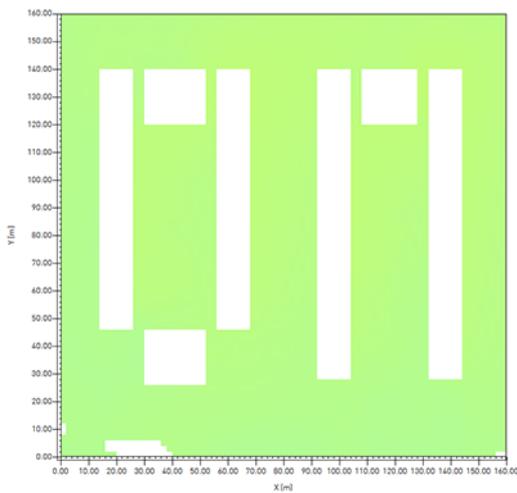
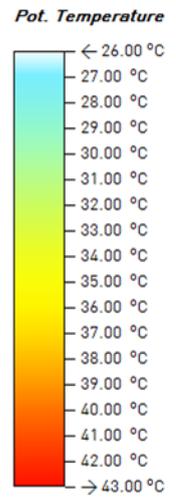
TV 2050_min: 33.17; max: 34.94



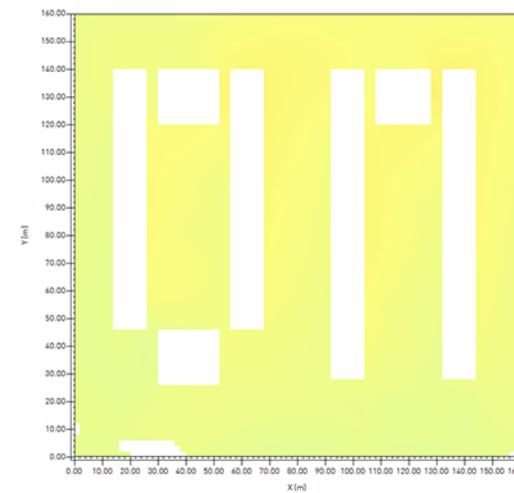
AP 0.28 2015_min: 30.69; max: 31.68



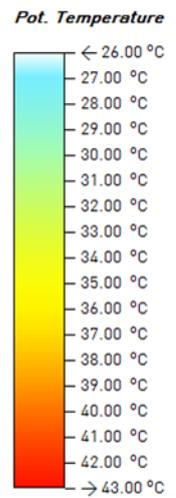
AP 0.28 2050_min: 33.15; max: 34.21

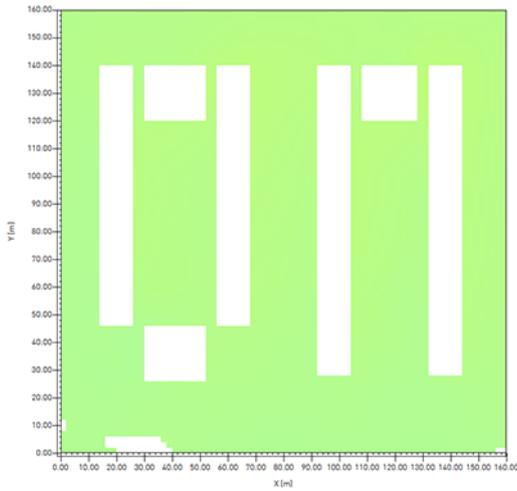


AP 0.40 2015_min: 30.68; max: 31.49

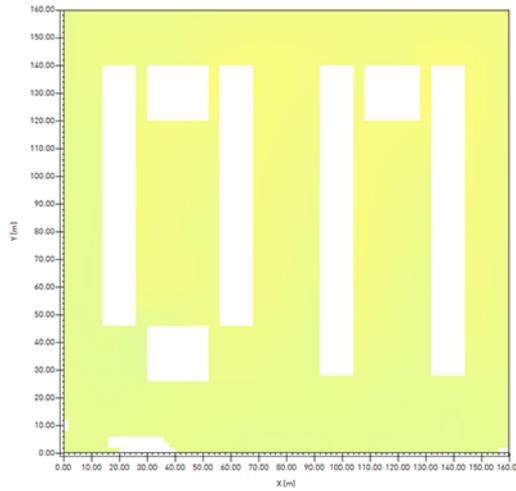


AP 0.40 2050_min: 33.13; max: 34.01

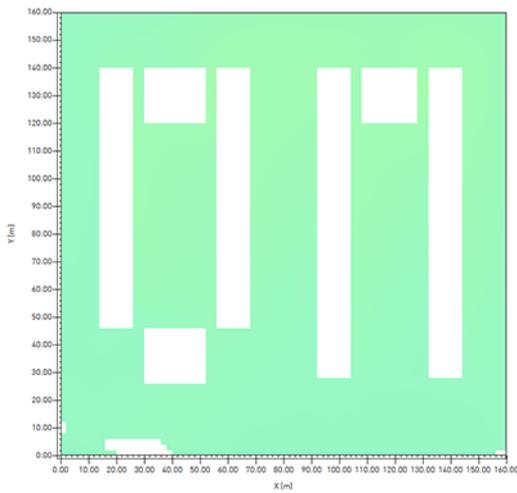
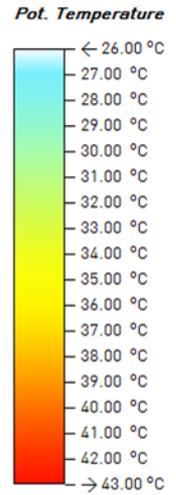




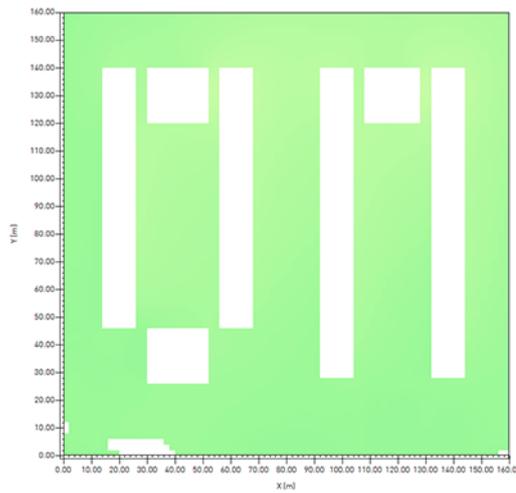
AP 0.50 2015_min: 30.59; max: 31.34



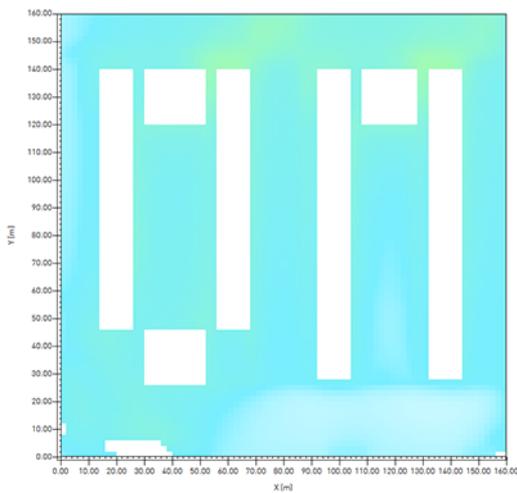
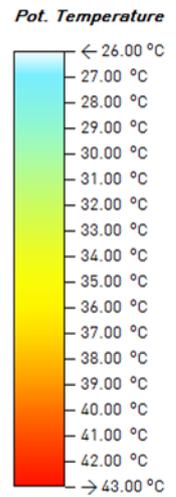
AP 0.50 2050_min: 33.04; max: 33.85



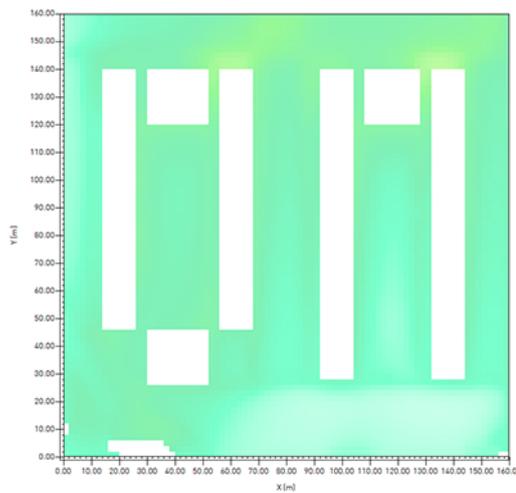
PP 2015_min: 29.24; max: 29.98



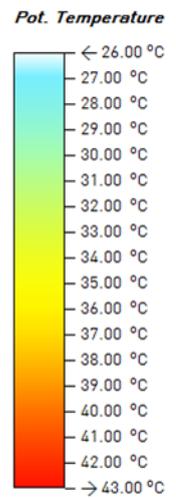
PP 2050_min: 31.58; max: 32.38

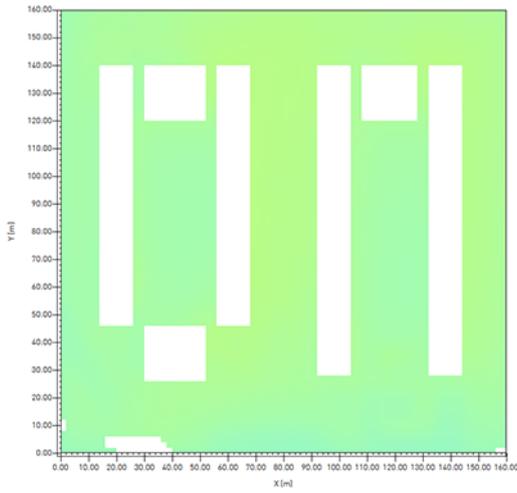


AL 2015_min: 26.41; max: 29.83

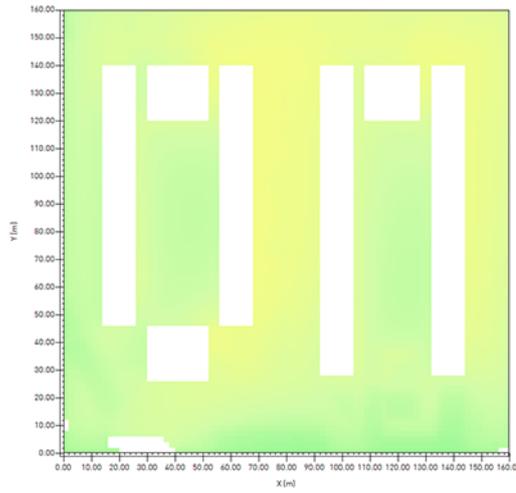


AL 2050_min: 28.52; max: 32.22

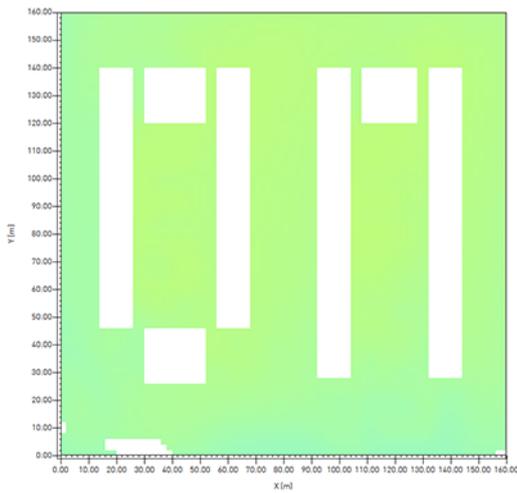
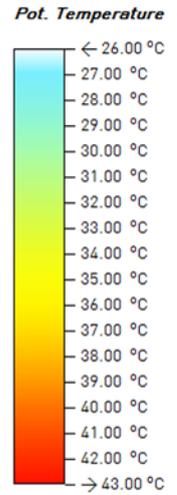




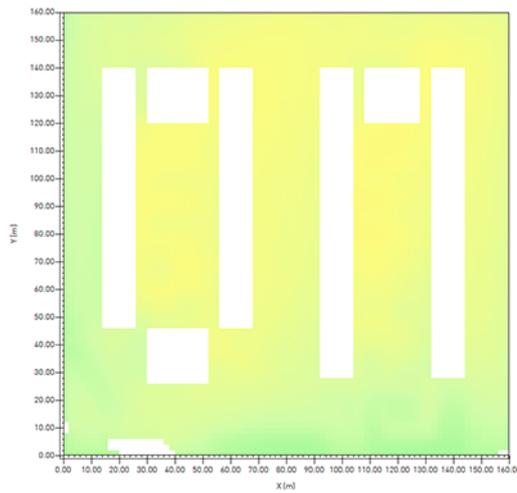
AQ 2015_min: 29.38; max: 31.07



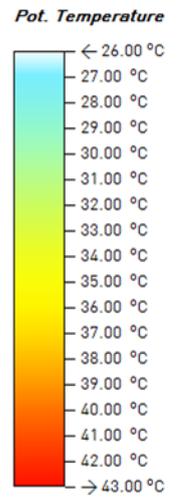
AQ 2050_min: 31.73; max: 33.56



OM 2015_min: 29.53; max: 31.33



OM 2050_min: 31.89; max: 33.84



- Allen E., *How Buildings Work: The Natural Order of Architecture*, Oxford University Press, New York, 1980
- Banham R., *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, University of Chicago, Chicago, 1969
- Sinopoli N., *La tecnologia invisibile. Il processo di produzione dell'architettura e le sue regole*, Franco Angeli, Milano, 1997
- Olgay V. (1962) *Design with Climate, Princeton University, Princetorn, trad. it Progettare con il clima: un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, Franco Muzio Editore, Padova, 1990
- Oke T. R., *Boundary layer climates - Second edition*, Methuen & Co. Ltd, London, 1987

Progettazione tecnologica e ambientale

- Battisti A., *Rinnovare le periferie. Riqualificazione bioclimatica e ambientale delle aree urbane periferiche*, Alinea Editore, Firenze, 2014
- Bouyer J., Musy M., Huang Y., Athamena K., "Mitigating Urban Heat Island Effect by Urban Design: Forms and Materials", in Proceedings of the 5th urban research symposium, cities and climate change: responding to an urgent agenda, Marsiglia, 2009
- Caterina G., "Le tecnologie ambientali", in Gangemi V. e Ranzo P. (a cura di) *Il governo del progetto*, Edizioni Luigi Parma, Bologna, 1978
- C.R.E.S. (a cura di), *Progettare gli spazi aperti nell'ambiente urbano: un approccio bioclimatico*, Centre for Renewable Energy Sources (C.R.E.S.), Grecia, 2004
- Dessi V., "La progettazione bioclimatica degli spazi urbani", in *REBUS® - Renovation of public Buildings and Urban Spaces*, n. 3.1, Regione Emilia-Romagna, 2015
- Dierna S., "Tecnologie per il progetto ambientale. Per una trasformazione sostenibile degli assetti insediativi", in Sala M. (a cura di) *Florence International Conference for Teachers of Architecture - Tecnologie del Progetto Ambientale*, Alinea Editrice, Firenze, 1995
- Dierna S., Orlandi F., *Ecoefficienza per la Città Diffusa. Linee guida per il recupero energetico e ambientale degli insediamenti informali nella periferia romana*, Alinea Editrice, Firenze, 2009.
- Fröhlich D., Matzarakis A., "Modeling of changes in human thermal bioclimate resulting from changes in urban design - Example based on a popular place in Freiburg, SW-Germany", in C.G. Helmis, C.G., Nastos, P. (a cura di) *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, Springer Atmospheric Sciences, Springer, Volume 1, 2012
- Gathing W. with Puckett K., *Design for Climate Change*, RIBA Publishing, London, 2013.

Giacchetta A., Magliaccio A., *Progettare Sostenibile. Dalla pianificazione territoriali all'eco-design*, Carocci Editore, Roma, 2007

Guazzo G., *Il punto su... Eduardo Vittoria: L'utopia come laboratorio sperimentale*, Gangemi Editore, Roma, 1995

Lavagna M., *Progettare con il clima, progettare nel contesto: tipologie, tecnologie e cultura materiale* in *Costruire in Laterizio*, 133 (pag. XIII-XVI), 2010

Magnaghi A., *L'organizzazione del metaprogetto: applicazione esemplificata alla formazione di un sistema di requisiti spaziali per le attività della scuola dell'obbligo*, Franco Angeli, Milano, 1978

Moccia F. D. (a cura di), *Abitare la città ecologica-Housing ecocity*, Clean, Napoli, 2012

Nouri A.S., "A Framework of Thermal Sensitive Urban Design Benchmarks: Potentiating the Longevity of Auckland's Public Realm", in *Buildings*, n.5-2015, pp. 252-281, 2015

Pelsmakers S., *The Environmental Design Pocketbook, 2nd ed.*, RIBA Publishing, Londra, 2015

Perini K., *Progettare il verde in città. Una strategia per l'architettura sostenibile*, Franco Angeli, Roma, 2013

Reven J., "Cooling the Public Realm: Climate-Resilient Urban Design", in *Resilient Cities*, Springer, 2011

Oke, T.R., "Urban Climates and Global Environmental Change", in Thompson R.D., A. Perry (a cura di) *Applied Climatology: Principles & Practices*, pp. 273-287, Routledge, New York, 1997

Vittoria E., "Le «Tecnologie Devianti» per la Progettazione Ambientale", in Gangemi V. e Ranzo P. (a cura di) *Il governo del progetto*, Edizioni Luigi Parma, Bologna, 1978

Climate change

Bulkeley H., *Cities and Climate Change*, Routledge, London and New York, 2013

Conti S., Meli P., Minelli G., Solimini R., Toccaceli V., Vichi M., Beltrano C., Perini L., "Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy", in *Environmental Research*, n. 98(3), pp. 390-399, 2005

EEA - European Environment Agency (a cura di), *Report n. 12/2012. Climate change, impacts and vulnerability in Europe*, 2012

IPCC (a cura di), *Synthesis report: summary for policy-makers 2*, Ginevra, Svizzera, 2007

IPCC (a cura di), "Glossary of terms", in Field C.B., Barros V., Stocker T.F., Qin D., Dokken D.J., Ebi K.L., Mastrandrea M.D., Mach K.J., Plattner G.K., Allen S.K, Tignor M., Midgley P.M. (a cura di), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, pp. 555-564, 2012

IPCC (a cura di), CLIMATE CHANGE 2013, *The Physical Science Basis Summary for Policymakers, Technical Summary and Frequently Asked Questions*, Cambridge University Press, New York, 2013

IPCC (a cura di), Climate Change 2014, *Synthesis Report Summary for Policymakers*, Cambridge University Press, New York, 2013

IPCC (a cura di), Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2014 - Mitigation of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014

Katzschner L., "Outdoor Thermal Comfort under Consideration of Global Climate Change and Urban Development Strategies", in *Adapting to Change: New Thinking on Comfort*, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 2010

MATTM - Ministero dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del Mare (a cura di), *Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia*, Roma, 2014

McGregor G.R., Bessemoulin P., Ebi K., Menne B., (a cura di), *Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System development*, World Meteorological Organization (WMO), Geneva, 2015

Smith P. F., *Architecture in a Climate of Change*, Architectural Press, Oxford, 2001

UN-HABITAT (a cura di), *Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements*, UN-Habitat, Nairobi, Kenya 2011

IT – Information Technology

Giallocosta G., "Tecnologia dell'Architettura e progettazione tecnologica", in *Techne*, n. 2, Journal of Technology for Architecture and Environment, Progettazione Tecnologica, Firenze University Press, Firenze, 2011

Gill L., Hathway E. A., Lange E., Morgan E., Romano D., "Coupling real-time 3D landscape models with microclimate simulations", in *International Journal of E-Planning Research (IJEPR)*, vol. 2, issue 1, 2013

Huttner, S., Bruse, M., Dostal, P., "Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in Central European cities", in *Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg*, n. 18, Friburgo, 2009

Peng C., Elwan A.F.A., "Bridging Outdoor and Indoor Environmental Simulation for Assessing and Aiding Sustainable Urban Neighbourhood Design", in *ArchNet-IJAR: International Journal of Architectural Research*, vol. 6, issue 3, 2012

Peng C., Elwan A.F.A., "How Hot Can the University Campus Get in 2050? Environmental Simulation of Climate Change Scenarios at an Urban Neighborhood Scale", in *The 4th annual Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design (SimAUD)*, vol. 4, San Diego, 2013

Trimmel H., *Using Microscale Climatological Simulation in Landscape Planning - an ENVI-met 3 User's Perspective*, Universität für Bodenkultur Wien, Vienna, 2008

Vangimalla P., Olbina S., Issa R., Hinze J., "Validation of Autodesk Ecotect Accuracy for Thermal and Daylighting Simulations", in Jain S., Creasey R.R., Himmelspach J., White K.P., Fu M., (a cura di), *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC)*, pp. 3383-3394, 2011

Resilienza urbana

Eraydin A., Tasan-Kok T, *Resilience thinking in urban planning*, Springer Netherlands, Dordrecht, 2012

Musco F., Fregolent L. (a cura di), *Pianificazione urbanistica e clima urbano, Manuale per la riduzione dei fenomeni di isola di calore urbano*, Il Poligrafo casa editrice srl, Padova, 2014

Walker B., Salt D., *Resilience practice: building capacity to absorb disturbance and maintain function*, Island Press, Washington, 2012

Adattamento ai cambiamenti climatici

Commissione delle Comunità Europee (a cura di), *Libro Verde. L'adattamento ai cambiamenti climatici in Europa – quali possibilità di intervento per l'UE*, Bruxelles, 2007

Commissione delle Comunità Europee (a cura di), *Libro Bianco. L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europea*, Bruxelles, 2009

Commissione Europea (a cura di), *Strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici*, Bruxelles, 2013

Fröhlich D., Matzarakis A., *Modeling of changes in human thermal bioclimate resulting from changes in urban design - Example based on a popular place in Freiburg, SW-Germany*, in Helmig C.G., Nastos P. (a cura di) *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics - Springer Atmospheric Sciences*, Springer, Volume 1, 2012

Georgescu M., Morefield P. E., Bierwagen B. G., Weaver C. P., *Urban adaptation can roll back warming of emerging megapolitan regions*, in PNAS, vol. 111, n.8, pp. 2909–2914, Clark University, Worcester, 2014

Hiederer et al., *Ensuring Quality of Life in Europe's Cities and Towns, EEA Report no. 5/2009*, EEA, Copenhagen, 2009

Huttner S., Bruse M., Dostal P., Katschner A., *Strategies for Mitigating Thermal Heat Stress in Central European Cities: The Project Klime*, in The seventh International Conference on Urban Climate ICUC-7, Yokohama, 2009

Katschner L., "Outdoor Thermal Comfort under Consideration of Global Climate Change and Urban Development Strategies", in *Adapting to Change: New Thinking on Comfort*, Cumberland Lodge, Windsor, 2011.

Mahdavinejad M. J., Sadeghnejad G., Khademi M., "Enhancement of Outdoor Thermal Comfort through Adoption of Environmental Design Strategies", in *Energy and Environmental Engineering*, vol. 1, issue 2, pp. 81–89, 2013

Matzarakis A., "Città e cambiamenti climatici, il progetto del benessere termico nelle aree urbane per l'urbanistica e l'architettura", in *REBUS® - Renovation of public Buildings and Urban Spaces*, n. 3.1, Regione Emilia-Romagna, 2015

MATTM - Ministero dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del Mare (a cura di), *Elementi per una Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*, Roma, 2013

MATTM - Ministero dell'Ambiente dalla Tutela del Territorio e del Mare (a cura di), *Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia*, Roma, 2014

Müller N., Kuttler W., Barlag A.B., "Counteracting urban climate change: adaptation measures and their effect on thermal comfort", in *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 115, issue 1-2, pp. 243-257, 2014

Shaw R., Colley M., Connell R., *Climate change adaptation by design: a guide for sustainable communities*, TCPA, Londra, 2007

Venturini S., "La strategia di adattamento dell'unione europea", in *Ecoscienza*, n. 5, pp. 12-13, 2013

Indici di comfort ambientale

Alireza M., Klaus R., *Young Cities Research Briefs (03), The Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Urban Layouts*, Universitätsverlag der TU Berlin, Berlino, 2013

Fanger P. O., "Thermal Comfort. Analysis and Application", in *Environment Engineering*, McGraw Hill Book Company, New York, 1982

Honjo T., "Thermal Comfort in Outdoor Environment", in *Global Environmental Research*, vol. 13, pp. 43-47, Japan, 2009

Höppe, P., "Heat balance modelling", in *Experientia* n. 49, issue 11, pp. 741-746, 1993

Höppe P., "The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment", in *International Journal of Biometeorology*, n.43, pp. 71-75, 1999

Katzschner L., *Outdoor Thermal Comfort under Consideration of Global Climate Change and Urban Development Strategies*, in Proceedings of the Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort, Cumberland Lodge, Windsor, 2010

Lin T.P., Matzarakis A., Hwand R.L., "Shading effect on long-term outdoor thermal comfort", in *Building and Environment*, n. 45, pp. 213-211, 2010

Matzarakis A., Mayer H., Iziomon M., *Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature*, in *International Journal of Biometeorology*, n. 43, pp. 76-84, 1999

Matzarakis, A., Amelung, B., *Physiologically Equivalent Temperature as indicator for impacts of climate change on thermal comfort of humans*, in Thomson M. C., Garcia-Herrera R., Beniston M. (a cura di), *Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health. Advances in Global Change Research*, n. 30, pp. 161-172, Springer-Sciences and Business Media, 2008

Matzarakis A., Endler C., "Physiologically Equivalent Temperature and Climate Change in Freiburg", in *Eighth Symposium on the Urban Environment*, American Meteorological Society, Phoenix, 2009

Mayer H., Höppe P., "Thermal comfort of man in different urban environments, in *Theoretical and Applied Climatology*", n. 38, pp.43-49, 1987

Mayer, H., "Urban bioclimatology", in *Experientia* n. 49, issue 11, pp. 957-963, 1993

Mayer H., Holst J., Imbery F., "Human Thermal Comfort in Summer in Different Urban Quarters of a Mid-Size Central European City", in *Eighth Symposium on the Urban Environment*, American Meteorological Society, Phoenix, 2009

Monam A., *Comfortability in urban open spaces; evaluation of outdoor thermal comfort in urban parks - PhD*, Iran University of Science and Technology, Tehran, 2011

Staiger H., Laschewski G., Grätz A., "The perceived temperature - a versatile index for the assessment of the human thermal environment. Part A: scientific basics", in *International Journal of Biometeorology*, n. 56, pp. 165-176, 2012

Forma urbana e morfologia

Alireza M., Klaus R., *Young Cities Research Briefs (03) - The Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Urban Layouts*, Universitätsverlag der TU Berlin, Berlino, 2013

Brown G. Z., Dekay M.W., *Sun, Wind and Light: Architectural Design Strategies*, John Wiley and Sons, New-York, 2001

Morello E., Ratti C., "Raster Cities: image processing techniques for environmental urban analysis", in Thwaites K., Porta S., Romice O., Greaves M. (a cura di), *Urban Sustainability through Environmental Design: approaches to time, people and place responsive urban spaces*, Spon Press, London, pp. 119-122, 2007

Ratti C., Raydan D., Steemers K., "Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate", in *Energy and Buildings*, vol. 35, issue 1, pp. 49-59, Elsevier Science B.V., 2003

Ratti, C.; Baker, N.; Steemers, K., "Urban Infoscapes: New Tools to Inform City Design and Planning", in *ARQ - Architectural Research Quarterly*, n. 7(1), pp. 49-59, 2003

Schmidt M., "A new paradigm in sustainable land use", in *TOPOS*, n.70, p. 99-103, 2010

Stone B. jr, Rodgers M. O., "Urban Form and Thermal Efficiency. How the Design of Cities Influences the Urban Heat Island Effect", in *Journal of American Planning Association*, vol. 67, n. 2, pp. 186-198, Cambridge University Press, Chicago, 2001

Watson I., Johnson G., "Graphical estimation of svfew-factors in urban environments", in *Journal of Climatology*, n. 7, pp. 193-197, 1987

UHI - Effetto isola di calore urbana

Bozonnet E., Musy M., Calmet I., Rodriguez F., "Modeling methods to assess urban fluxes and heat island mitigation measures from street to city scale", in *International Journal of Low-Carbon Technologies Advance Access*, Oxford University Press, 2013

De Rezende Maciel C., Kolokotroni M., de J. A. Nogueira M. C., Giridharan R, Watkins R., "The impact of surface characteristics on ambient temperature at urban micro scale: comparative field study in two climates", in *International Journal of Low-Carbon Technologies Advance Access*, Oxford University Press, 2013

Doick K., Hutchings T., *Air temperature regulation by urban trees and green infrastructure*, Forestry Commission, Farnham, UK, 2013

Environmental Protection Agency (a cura di), *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*, EPA, 2008

Rossi S., Margelli, F., Georgiadis, T., "Il verde pensile come strumento di mitigazione dell'isola di calore urbana", in *Atti della Giornata di Studi "Il Verde pensile nel clima mediterraneo"*, Ed. Universitaria DICAT, Genova, 2007

Shen T., Chow D. H. C., Darkwa J., "Simulating the influence of microclimatic design on mitigating the Urban Heat Island effect in the Hangzhou Metropolitan Area of China", in *International Journal of Low-Carbon Technologies Advance Access*, Oxford University Press, 2013

Oke, T.R., "The Energetic Basis of the Urban Heat Island", in *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, n. 108, pp.1-24, 1982

Materiali cool e materiali permeabili

Cambridge Systematics, Inc. (a cura di), *Cool Pavement Report - EPA Cool Pavements Study, Task 5 (draft report)*, Maryland, 2005

Dessi V., "Urban Material for Comfortable Open Spaces", in *World Renewable Energy Congress 2011 Proceedings*, Linköping, 2011

Environmental Protection Agency (a cura di), *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Cool Pavements*, EPA, 2008

Fanchiotti A., Carnielo E., *Impatto di cool material sulla mitigazione dell'isola di calore urbana e sui livelli di comfort termico negli edifici*, Report RdS/2011/145, ENEA, Roma, 2012

Global Cool Cities Alliance (a cura di), *A Practical Guide to Cool Roofs and Cool Pavements*, on-line, 2012

Li H., Harvey J. T., Holland T. J., Kayhanian M., "Corrigendum: The use of reflective and permeable pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management", in *ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS*, n.8, IOP PUBLISHING, UK, 2013

Li H., "A comparison of thermal performance of different pavement materials", in *Eco-efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs: Design, Properties and Applications*, a cura di F. Pacheco-Torgal, J. Labrincha, L. Cabeza, C.-G. Granqvist, Elsevier, 2015

Zinzi M., Carnielo E., Fasano G., *Determinazione delle proprietà termofisiche di materiali ad elevata riflettanza solare per applicazioni a scala urbana: limiti e potenzialità*, Report RdS/2012/227, ENEA, Roma, 2012

Zinzi M., Carnielo E., Fasano G., *Caratterizzazione e valutazione di pavimentazioni riflettenti per applicazioni urbane*, Report RdS/2013/166, ENEA, Roma, 2013

Zinzi M., Fasano G., Girardello C., *Caratterizzazione e applicazioni di cool materials per le chiusure verticali degli edifici*, Report RdS/PAR2013/144, ENEA, Roma, 2014

Santamouris, M., "Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat islands - A review of the actual developments in *Journal of Renewable and Sustainable Energy*", n.26, pp. 224-240, 2013

Design manual

UACDC (a cura di), *LID-Low Impact Development a design manual for urban areas*, FAY JONES SCHOOL OF ARCHITECTURE, UNIVERSITY OF ARKANSAS PRESS, FAYETTEVILLE, 2010, www.bwdh2o.org/wp-content/uploads/2012/03/Low_Impact_Development_Manual-2010.pdf (ultimo accesso Marzo 2016)

City of Philadelphia (a cura di), *Green Streets Design Manual*, Mayor's Office of Transportation and Utilities, Philadelphia, 2014, www.phillywatersheds.org/img/GSDM/GSDM_FINAL_20140211.pdf (ultimo accesso Marzo 2016)

Gruzen Samton Architects LLP with Mathews Nielsen Landscape Architects PC (a cura di), *SUSTAINABLE URBAN SITE DESIGN MANUAL*, NYC Department of Design & Construction Office of Sustainable Design, 2018, www.nyc.gov/html/ddc/downloads/pdf/ddc_sd-sitedesignmanual.pdf (ultimo accesso Marzo 2016)

Protocolli e indici

COMUNE DI MODENA, SERVIZIO PIANI URBANISTICI ATTUATIVI (a cura di), *POC MO.W-Piano operativo di riqualificazione urbana per il quadrante di Modena ovest villaggio artigiano - Linee guida, studio di fattibilità di indici di qualità ambientale da applicare ai lotti edificati*, 2010

GBC Quartieri (a cura di), *Sistema di verifica GBC QUARTIERI Per progettare, realizzare e riqualificare aree e quartieri sostenibili*, GBC Italia, 2015

Santi V., "Gli strumenti normativi inerenti l'uso del verde in copertura e in facciata", in *ARTEC / IUAV*, pp. 1-19, 2007-2008

UNI, *UNI/PdR 13.0:2015 - Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità, Inquadramento generale e principi metodologici*, Milano, 2015

UNI, *UNI/PdR 13.1:2015 - Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità Edifici residenziali*, Milano, 2015

Casi studio

Arup (a cura di), *Madrid + Natural, Nature-based Climate Change adaptation*, Ayuntamiento de Madrid, Madrid, 2015

City of Copenhagen (a cura di), *Copenhagen Climate Resilient Neighbourhood*, Copenhagen, 2014

REPUBLIC-MED (a cura di), *Energy and the city - L'energia dalla città*, NEWSLETTER #02, 2015

OKRA Landschaftsarchitecten (a cura di), *One step beyond, phase 2 - Rethink Athens, towards a new city Centre*, 2012

Regione Emilia Romagna (a cura di), *REBUS Renovation of public Buildings and Urban Spaces*, Progetto per il Villaggio Artigiano di Modena, 1° laboratorio, 2015

Regione Emilia Romagna (a cura di), *REBUS Renovation of public Buildings and Urban Spaces*, Progetto per il Villaggio Artigiano di Modena, 2° laboratorio, 2015

Regione Emilia Romagna (a cura di), REBUS Renovation of public Buildings and Urban Spaces, Progetto per il Quartiere San Leonardo / Comparto Pasubio a Parma, 1° laboratorio, 2015

The University of Sheffield (a cura di), *THE UNIVERSITY OF SHEFFIELD MASTERPLAN 2014*, Sheffield, 2015

TVK Trévelo & Viger-Kohler architectes urbanistes (a cura di), Place de la République Press kit, Parigi, 2013

Caso applicativo

D'Amborsio V., Leone M, "Controllo dei rischi del cambiamento climatico e progettazione ambientale per una rigenerazione urbana resiliente. Il caso applicativo di Napoli Est", in *TECHNE Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 10, 2015

Losasso M, D'Ambrosio V., "Progetto ambientale e riqualificazione dello spazio pubblico: il grande progetto per il centro storico di Napoli sito Unesco", in *TECHNE Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 07, 2014

American Society of Landscape Architects: www.asla.org

Autodesk: www.autodesk.it

Autodesk Sustainability Workshop: sustainabilityworkshop.autodesk.com

BAF-Biotope Area Factor Senate Department for Urban Development and the Environment, Berlino: www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/landschaftsplanung/bff/index_en.shtml

BiotopeCity: <http://www.biotope-city.net/mission>

CCWEATHERGEN. Climate Change Weather File Generator for UK Weather Data: www.serg.soton.ac.uk/ccweathergen/index.html

Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change: www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/

Climate Change World Weather File Generator for World-Wide Weather Data – CCWorldWeatherGen: www.energy.soton.ac.uk/ccworldweathergen

Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici: www.cmcc.it

Ecoquartieri in Italia: www.ecoquartieri.org

ECOTECH COMMUNITY WIKI!: wiki.naturalfrequency.com/wiki/Create_New_Materials

EnergheiaMagazine: www.energheiamagazine.eu

EnergyPlus Energy Simulation Software - Weather Data: apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm

ENVI-met 3.1 Manual Contents: www.envi-met.com/documents/onlinehelpv3/helpindex.htm

Environmental Science Published for Everybody Round: www.espere.net

European Commission – Climate Action: ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/future/index_en.htm

GBC Italia: www.gbcitalia.org

iA: www.ia.arch.ethz.ch

IPCC: www.ipcc.ch

ITACA: www.itaca.org

Lola Domènech Arquitecta: www.loladomenech.com/en/proyecto.php?id=21 MIT Sustainable Design Lab: web.mit.edu/sustainabledesignlab

RayMan: www.urbanclimate.net/rayman/rayman.htm

REBUS® - Renovation of public Buildings and Urban Spaces: territorio.regione.emilia-romagna.it/paesaggio/formazione-lab-app-1/rebus2

ResilientCity: www.resilientcity.org

pavment interactive: www.pavementinteractive.org/article/cool-pavementgeneral

PROITACA: www.proitaca.org

SkyHelios: www.urbanclimate.net/skyhelios

UMI – Urban Modelling: urbanmodellinginterface.ning.com

UNESCO World Heritage Centre: whc.unesco.org

Urban Climate: www.urbanclimate.net

Urban Climate Change Reserarch Network: uccrn.org/

UTCI UTCI Universal Thermal Climate Index: www.utci.org/utci_doku.php

The University of Sheffield, Building Local Resilience School Platform:
www.sheffield.ac.uk/architecture/research/building-resilience/index

ALBEDO	L'albedo è la quantità di energia solare incidente riflessa da una superficie. Il valore di albedo può essere compreso tra 0 e 1 (corpo che riflette tutta l'energia incidente), dove 1 è il più alto valore di riflettanza (superficie bianca) e 0 è il più alto valore di assorbimento della radiazione solare (superficie nera).
CALORE SPECIFICO	Il calore specifico, è la proprietà termofisica dei materiali che esprime la quantità di calore da fornire per avere un salto di un grado di temperatura. La quantità di calore per l'unità di massa richiesta per aumentare la temperatura di un grado Kelvin (J/kgK)
CFD, COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC	La Computational Fluid Dynamic, è la simulazione fluidodinamica mediante modellazione software. Un software che permette l'analisi CFD, può simulare il flusso d'aria in maniera dettagliata. Viene usato in questo contesto come galleria del vento virtuale.
CLO	L'indice di clothing (clo) esprime la resistenza termica del vestiario. Questa viene misurata attraverso il <i>clo</i> dove $1 \text{ clo} = 0.155 \text{ kW}^2/\text{W}$.
COMFORT TERMICO	La condizione (mentale) nella quale viene espressa soddisfazione in merito all'ambiente termico valutato mediante una valutazione soggettiva (ASHRAE 55).
CONDUCIBILITÀ TERMICA	La Conducibilità termica, è la capacità di un materiale di condurre calore.
DAYLIGHT FACTOR	Il Daylight factor o fattore di luce diurna è il rapporto tra il livello di luce all'interno di una struttura per il livello di luce all'esterno della struttura. Per lo spazio aperto è la quantità di radiazione solare che colpisce la superficie urbana.
EMISSIVITÀ	L'emissività termica è una misura della capacità di una superficie di disperdere il calore, o di emettere onde lunghe di radiazione (raggi infrarossi). Le superfici con valori elevati di emissività della luce rimarranno più fresche, a causa della capacità di rilasciare il calore più facilmente. In Italia, in differenti Regioni italiane è invalso l'uso di definire le ondate di calore come periodi di almeno tre giorni consecutivi (da 7 in poi si parla di ondate di calore lunghe) nelle quali la temperatura media giornaliera sia superiore di almeno una deviazione standard, calcolata sul periodo di riferimento 1961-1990 (o 1971-2000), rispetto alla temperatura media giornaliera "normale".
FLASH FLOOD	Letteralmente tradotto come allagamento, è un fenomeno che si manifesta con piogge improvvise e di forte intensità, che può provocare inondazioni e allagamenti immediati dei sistemi urbani.

HEATWAVE, ONDATA DI CALORE	Un'ondata di calore è caratterizzata da periodi di tempo insolitamente caldi e secchi o caldi e umidi che hanno un inizio e fine non chiaramente discernibile, una durata di almeno due-tre giorni, di solito con un impatto significativo su sistemi umani e naturali.
ISOLA DI CALORE URBANA	Vedi la voce UHI, URBAN HEAT ISLAND
IT, INFORMATION TECHNOLOGY	L'Information Technology (IT) definisce le azioni svolte per mezzo dell'uso di computer per memorizzare, recuperare, trasmettere e manipolare i dati. È considerato un sottoinsieme quello dell'Information and Communication Technology (ICT).
MRT, MEAN RADIANT TEMPERATURE	La Mean Radiant Temperature (MRT) esprime come la temperatura uniforme di un ambiente immaginario circoscritto che risulterebbe in perdita di calore per irraggiamento dalla persona come per lo spazio stesso (UNI-EN-ISO 7726:1998). Viene calcolato come media delle temperature delle superfici riflesse dall'ambiente, che esso sia indoor o outdoor. L'MRT, è importante per la sua forte influenza su indici di benessere termometrico quali PMV e PET.
PDD, PERCENTAGE PERSON DISAFFECTED	Indice di sensazione termica, basato sull'indice PMV, che esprime la percentuale di persone che esprimono sensazioni di disagio rispetto al comfort termico.
PET, PHYSIOLOGICALLY EQUIVALENT TEMPERATURE	La temperatura dell'aria alla quale, in un tipico ambiente chiuso (senza vento e radiazione solare diretta), il bilancio di calore del corpo umano è in equilibrio con la stessa temperatura interna e della pelle che avrebbe in un ambiente esterno complesso. Questo modo permette ad una persona ferma di confrontare gli effetti integrali di condizioni termiche complesse dell'esterno con la propria esperienza in ambienti chiusi.
PMV	Indice di sensazione termica, basato sull'equilibrio termico del corpo umano, che prefigura il valore medio dei voti di un vasto gruppo di persone su una scala di sensazione termica da -4 a +4. È basato su parametri ambientali, quali la temperatura dell'aria, la temperatura media radiante, la velocità del vento e l'umidità dell'aria, così come metabolismo e l'isolamento del vestiario.
PT	La Perceived Temperature (PT), espressa in °C è la temperatura dell'aria di un ambiente di riferimento in cui la percezione di calore e/o freddo sarebbe corrispondente alle condizioni reali. Nell'ambiente di riferimento la velocità del vento viene ridotta ad una leggera brezza, e la temperatura media radiante è uguale alla temperatura dell'aria (ad esempio, una vasta foresta).
RESILIENZA	La resilienza è la capacità di un sistema di adattarsi al cambiamento.
RIFLETTANZA	La frazione della radiazione solare incidente che viene direttamente riflessa da una superficie irradiata; il suo valore varia da 0, per una superficie totalmente assorbente, fino a 1 (o al 100%), per una superficie perfettamente riflettente.

RUGOSITÀ	La rugosità è definita dagli elementi che compongono la città, gli edifici. Maggiore è densa la città, più alto è il valore della rugosità. L'effetto si ripercuote sui flussi d'aria, quindi sulla penetrazione della ventilazione nell'ambiente urbano.
SRI, SOLAR REFLECTANCE INDEX	La Solar Reflectance Index (SRI) è una misura della capacità di un materiale di respingere la radiazione solare. È definita in modo tale che il valore di una superficie nera standard (riflettanza 0,05, emettanza 0,90) sia 0, mentre un materiale bianco standard (riflettanza 0,80, emettanza 0,90) è di 100.
SVF, SKY VIEW FACTOR	Lo Sky View Factor - SVF è la quantità della porzione di cielo visibile da un punto nello spazio urbano. Se il cielo è completamente visibile, il valore è uguale a 1, l'esposizione alla radiazione solare diretta è massima. Lo SVF è la stima precisa dell'illuminazione di un'area urbana. Quando lo SVF è uguale a 0, allora il cielo non è in alcun modo visibile da quel punto. Lo SVF si rivela essere un parametro utile per descrivere gli scambi di radiazione termica. Quest'indice può spiegare alcuni meccanismi legati alla generazione dell'isola di calore urbana (Watson et al. 1987).
UHI, URBAN HEAT ISLAND	L'Urban Heat Island è un fenomeno microclimatico caratteristico delle aree metropolitane e consiste in un incremento significativo della temperatura nelle aree urbane rispetto alle zone periurbane e rurali circostanti.
UTCI, UNIVERSAL THERMAL COMFORT INDEX	L'UTCI – Universal Thermal Comfort Index, è basato su di una funzione di regressione polinomiale del 6° ordine, che valuta l'indice in funzione della velocità del vento, della temperatura dell'aria, dell'MRT e della pressione di vapore dell'aria